

Chapitre 10

La phonologie articulatoire : une introduction

La Phonologie articulatoire développée dans les travaux de Cathy Browman et Louis Goldstein et de leurs collègues, s'inscrit dans une réflexion sur la nature des primitives phonologiques et sur les relations entre phonologie et phonétique. Bien qu'elle soit considérée par beaucoup comme trop proche de la surface pour être un modèle phonologique, et si de nombreux travaux s'inscrivant dans sa lignée se cantonnent effectivement à ses prédictions en tant que modèle de production, nous verrons que par ses postulats, la Phonologie Articulatoire est une théorie phonologique à part entière. Si cette théorie reste encore à affiner, elle a le grand intérêt d'intégrer représentations phonologiques et phonétiques au sein d'un même système, et par là même d'unifier la modélisation de processus de variations aussi bien graduels que catégoriels inscrits dans la Grammaire de la langue.

Dans ce chapitre, nous tenterons d'expliquer les grands principes et implications de cette théorie originale basée sur une seule unité, le Geste articulatoire¹, servant à la fois de primitive dans les représentations phonologiques et d'unité d'action dans la production de la parole. Le lecteur voulant aller plus loin est renvoyé aux articles fondateurs de Browman et Goldstein [BRO 86, 89, 92 ; GOL 03] dont ce chapitre s'inspire largement.

Chapitre rédigé par Cécile FOUGERON.

1. Nous mettrons ici une majuscule à Geste pour indiquer qu'il ne s'agit pas simplement du mouvement d'un articulateur, mais de la primitive de la Phonologie Articulatoire.

10.1. Principes généraux

10.1.1. *Nature et fonction des primitives phonologiques : Une seule et même unité pour la description du contraste phonologique et la description de l'action articulatoire*

Dans toute théorie phonologique, les langues se décrivent en un nombre limité d'unités, les primitives, qui entrent dans des relations de combinaisons et de permutations spécifiques à chaque langue. Ces primitives sont définies comme les unités du contraste (opposition) phonologique. Il n'existe pas de consensus entre les différentes théories sur la nature de ces unités de contraste, et plusieurs candidats ont été proposés : le trait, le phonème, l'auto-segment, l'archi-phonème, etc. (voir Durand, ce volume).

Quelle que soit l'unité choisie dans ces théories, les primitives phonologiques sont discrètes, en nombre limité, et sont des unités abstraites. Pour beaucoup, les primitives ont principalement une réalité au niveau des représentations phonologiques mentales des mots de la langue. Leur réalité physique est secondaire et il n'y a pas forcément de correspondance directe entre la représentation phonologique et sa réalité physique. Un mot acquiert alors une substance physique par l'intermédiaire de règles d'implémentation phonétiques qui transforment ces unités abstraites et discrètes en une séquence articulatoire et un signal de parole continu. Pour prendre un exemple, considérons la réalisation phonétique de la consonne dans les mots *qui* et *cou*. Dans le mot *qui*, la consonne est antériorisée par la voyelle antérieure suivante et devient palatale ([ci]), alors que dans le mot *cou*, la consonne est vélaire ([ku]). Au niveau de leur représentation phonologique, ces deux mots commencent par une consonne spécifiée comme une vélaire. Dans de nombreuses théories classiques, la variation allophonique de /k/ est expliquée par une règle de coarticulation phonétique (par ex. /k/ → [c] / _ [+ant]) permettant de dériver la forme de surface [ci] de la représentation phonologique /ki/. Dans ces approches, lorsque la théorie est modulaire, une composante phonologique nourrit une composante phonétique, et cette dernière a un rôle d'interprétation en donnant une forme physique (articulatoire/acoustique) aux primitives mentales. Comme nous allons le voir, la phonologie articulatoire se distingue de ces théories phonologiques sur deux points essentiels : (a) la nature et la fonction des primitives phonologiques et (b) la relation entre les niveaux phonologique et phonétique.

10.1.1.1. *Nature et fonction des primitives*

Dans la phonologie articulatoire, les primitives phonologiques sont aussi bien les unités de contraste que les unités d'action articulatoire. Ces primitives sont les Gestes articulatoires, qui sont les actions de constriction de différents organes dans le conduit vocal (cette définition est développée en 10.1.2).

À partir des travaux de Fowler [FOW 80], Browman et Goldstein postulent que l'acte de parole est décomposable en unités primitives d'action qui présentent les

propriétés d'un système combinatoire. En effet, comme les autres primitives proposées en phonologie, les Gestes sont limités en nombre, sont indépendants du contexte (invariants), et sont des unités discrètes. Mais, contrairement aux autres primitives, les Gestes ont, par nature, une dimension physique, spatio-temporelle. Nous insisterons sur le fait que, si les Gestes sont des actions articulatoires, des unités dynamiques spécifiées dans le temps, ils sont discrets et invariants. La variation (articulatoire et acoustique) que l'on observe lors de la production de la parole n'est que le résultat de l'exécution du plan articulatoire qui est, lui, spécifié en Gestes discrets.

La fonction de ces primitives est donc double : les Gestes servent à la représentation des contrastes phonologiques, mais aussi à la représentation de l'action articulatoire et la description physique du processus de parole. La fonction de ces primitives est donc double : les Gestes servent à la représentation des contrastes phonologiques, mais aussi à la représentation de l'action articulatoire et la description physique du processus de parole. On a donc une même unité servant à deux niveaux de description.

10.1.1.2. *Relation entre composantes phonologique et phonétique*

Puisque les entrées lexicales sont stockées sous forme de Gestes, et sont également produites sous forme de Gestes, la Phonologie Articulatoire rejette la conception classique du rapport entre composantes phonologique et phonétique. En effet, Browman et Goldstein pensent, avec d'autres, que la spécification des unités phonologiques comme des entités « cognitives », par opposition à « physiques », est un postulat théorique motivé par l'impossibilité de trouver dans le signal continu des unités observables, discrètes et invariantes. Ce postulat requiert alors un niveau d'encodage phonétique dans lequel la planification faite en primitives symboliques est encodée en unités physiques pour l'exécution du plan articulatoire. En postulant le Geste articulatoire comme la primitive servant à la représentation des contrastes lexicaux, la Phonologie Articulatoire n'a plus besoin d'un module d'implémentation phonétique puisque les représentations, au niveau de la planification et de l'exécution, sont encodées sous la même forme (en Gestes).

Reprenons l'exemple de la réalisation palatale de /k/ dans le mot *qui*. La Phonologie Articulatoire ne requiert pas un niveau de représentation phonétique où la forme serait représentée comme [ci]. Le Geste d'occlusion vélaire est spécifié lexicalement et l'exécution du plan articulatoire est faite avec ce Geste. Nous verrons dans la section 10.3.3, que la variation contextuelle est le résultat des propriétés du mécanisme de production, notamment de la co-production des voyelles et des consonnes. Pour prendre un autre exemple, considérons le cas de *samedi* prononcé sans le schwa. Dans une théorie classique dérivationnelle, la représentation à la sortie de la composante phonologique sera de la forme [samdi] (sans schwa) et

c'est cette forme qui sera articulée². Pour la Phonologie Articulatoire, le schwa ne disparaît à aucun niveau de représentation. Le plan articulatoire comporte le Geste associé au schwa et cette représentation est envoyée au système de production ; son apparente disparition ne serait que le produit de l'action articulatoire³ (i.e. du chevauchement des Gestes dans le temps, voir 10.3.3).

10.1.2. Définition et propriétés des Gestes articulatoires

Un Geste articulatoire est une unité d'action : l'action de formation et de relâchement d'une constriction⁴ à un endroit spécifique dans le conduit vocal. Le mot *pas*, par exemple, commence par un Geste d'occlusion labiale, alors que le mot *cas* commence par un Geste d'occlusion du corps de la langue. Un Geste va alors se caractériser par (1) des informations sur les articulateurs qui le forment, (2) des informations sur la constriction qui est son but (sa tâche), et (3) des paramètres dynamiques spécifiant comment cette constriction est faite.

Avant de développer les paramètres qui le caractérisent, revenons sur la définition et la fonction du Geste. Comme nous l'avons déjà dit, le Geste est l'unité de description de l'activité motrice. Dans les exemples ci-dessus, les Gestes vont permettre de décrire l'évolution dans le temps de la distance entre les lèvres, ou entre le corps de la langue et le voile du palais. Il est important de noter que tous les mouvements articulatoires ne sont pas des Gestes⁵. En effet, le Geste est en même temps l'unité du contraste phonologique. Il permet d'exprimer l'opposition entre deux mots commençant par des Gestes différents (*pas* et *cas* par exemple), mais aussi d'exprimer la relation au sein d'un paradigme où les mots partagent le même Geste initial, combiné ou non à un autre Geste : par exemple, entre *pas*, *bas*, et *ma* (les deux derniers items combinant le Geste d'occlusion labial à un Geste de constriction glottale, et un Geste d'ouverture vélaire). Pour remplir cette deuxième fonction, ne vont être considérées comme phonologiques, que les actions articulatoires dont le but est distinctif.

Ainsi, les Gestes possibles dans le conduit vocal et potentiellement distinctifs vont être définis en types catégoriquement distincts. Pour cela, comme nous l'avons dit au paragraphe précédent, les Gestes sont premièrement catégorisés en fonction des « structures coordinatives »⁶ qui forment la constriction dans le conduit. Un Geste est

2. Voir aussi Angoujard, ce volume, pour une approche non-dérivationnelle de la chute de schwa.

3. À notre connaissance, ce postulat n'a pas encore été vérifié expérimentalement en français (voir KOH 92 pour une critique sur ce point).

4. Ici le terme « constriction » signifie un ajustement d'aperture dans le conduit vocal (resserrement, occlusion, ouverture...).

5. Ainsi, le mouvement d'élévation de la lèvre inférieure provoqué par l'élévation de la mâchoire pour la production d'une voyelle fermée par exemple, n'est pas un Geste.

6. Suivant les conventions utilisées dans le champ du contrôle moteur, Browman et Goldstein différencient les termes *articulator* et *organs*. Le premier renvoie aux éléments anatomiques

toujours spécifique à une structure coordinative, et cette structure est composée d'une série d'articulateurs indépendants travaillant en synergie. Par exemple, le Geste d'occlusion labiale emploie une structure coordinative composée de trois articulateurs dont l'action est coordonnée : la lèvre inférieure, la lèvre supérieure et la mâchoire. Cette catégorisation des Gestes va se faire par une division du conduit vocal en cinq structures coordinatives distinctes⁷, qui sont présentées dans le tableau 10.1 avec les articulateurs qui les forment.

Deuxièmement, les Gestes sont caractérisés par un certain nombre de « variables du conduit vocal ». Ces variables spécifient à la fois l'objectif fonctionnel (la tâche) de chaque Geste (les caractéristiques de la constriction, où et comment elle est formée) et définissent les paramètres dynamiques qui lui sont associés. Dans l'exemple du mot *pas*, le premier Geste se caractérisera par une double variable du conduit vocal qui spécifie que la constriction doit être totale et au niveau labial et qui y associe des caractéristiques dynamiques spatio-temporelles déterminant les trajectoires articulatoires de l'ensemble des articulateurs compris dans la structure coordinative concernée (ici, lèvres inférieure et supérieure, mâchoire)⁸. Dans le tableau 10.1, sont indiquées les variables implémentées à l'heure actuelle dans une simulation mathématique développée à Haskins Laboratories pour l'anglais. Cette simulation repose sur un modèle *Task dynamics* [SAL 86, 89, 00 ; KEL 86] qui calcule les trajectoires évoluant dans le temps des différents articulateurs des structures coordinatives. Il est clair que ces seules variables sont insuffisantes pour représenter la diversité des systèmes phonologiques des langues du monde, et plusieurs travaux cherchent à les compléter.

Les variables du conduit sont spécifiques aux structures coordinatives qui forment la constriction. Pour les structures coordinatives « labiale », « pointe de la langue », « corps de la langue », les Gestes se caractérisent par deux variables du conduit vocal couvrant les deux dimensions de degré et de lieu de constriction le long du conduit vocal. Dans le modèle proposé à Haskins Laboratories, les modes et lieux d'articulation communément utilisés de façon contrastive dans les langues du monde sont implémentés sous forme d'étiquettes (*descriptors*) correspondant aux plages de valeurs associées aux paramètres contrôlant les degrés et les lieux de constriction. Ces étiquettes sont :

- degré de constriction : occlusion, critique, étroite, moyenne, large
- lieu de constriction : labiale, dentale, alvéolaire, palatale, vélaire, uvulaire, pharyngale

se déplaçant de façon indépendante (ex. la lèvre inférieure), alors que le second renvoie à un ensemble d'articulateurs dont l'activité est coordonnée (*constricting devices* ou *coordinative structure*, par ex. la structure « lèvre inférieure-mâchoire »). Pour éviter les confusions, nous emploierons ici les termes « articulateur » pour *articulators* et « structure coordinative » pour *organ* et *coordinative structures*.

7. Voir [STU 03] pour une justification de cette division basée sur des données d'acquisition du langage.

8. Dans le modèle *Task Dynamics* [SAL 86, 89] adopté, les trajectoires sont calculées à partir d'un paramètre spécifiant la cible (le point d'équilibre), la rapidité des mouvements (raideur) et le degré de rigidité de la constriction (amortissement).

Il est à noter que ces valeurs n'ont pas de statut théorique particulier (contrairement à la catégorisation des Gestes en structures coordinatives). Les valeurs numériques correspondant à ces étiquettes vont pouvoir varier d'une langue à l'autre en fonction des systèmes phonologiques [BRO 00].

Afin d'exemplifier les notions présentées, décrivons le début de la représentation phonologique du mot *tas*. Elle comporte un Geste de la pointe de la langue (impliquant l'action coordonnée de trois articulateurs : mâchoire, pointe et corps de la langue) se caractérisant par une variable spécifiée pour la production d'une occlusion complète et une variable spécifiée pour que cette constriction se fasse au niveau des alvéoles. Ces variables sont quantifiées à l'aide de paramètres dynamiques qui permettront au système de production de créer les trajectoires des articulateurs concernés.

structures coordinatives (organs/coordinative structure)	Articulateurs dont l'action est coordonnée (articulators)	variables du conduit vocal (tract variable)
« labiale »	lèvre inférieure et supérieure, mâchoire	protrusion des lèvres (<i>LP : Lip protrusion</i>)
		aperture des lèvres (<i>LP : Lip aperture</i>)
« pointe de la langue »	pointe de la langue, corps de la langue, mâchoire	lieu de constriction de la pointe de la langue (<i>TTCL : tongue tip constriction location</i>)
		degré de constriction de la pointe de la langue (<i>TTCD : tongue tip constriction degree</i>)
« corps de la langue »	corps de la langue, mâchoire	lieu de constriction du corps de la langue (<i>TBCL : tongue body constriction location</i>)
		degré de constriction du corps de la langue (<i>TBCD : tongue body constriction degree</i>)
« velum »	velum	aperture vélaire (<i>VEL : velic aperture</i>)
« glotte »	glotte	aperture glottale (<i>GLO : glottal aperture</i>)

Tableau 10.1. Catégorisation des Gestes articulatoires en fonction des cinq structures coordinatives formées par l'action coordonnée d'articulateurs individuels et en fonction des variables du conduit vocal qui leur sont associées. Les termes anglais utilisés par Browman et Goldstein sont indiqués entre parenthèses.

En résumé, un Geste articulatoire est un système dynamique impliquant l'action coordonnée d'un ou plusieurs articulateurs regroupés en structures coordinatives. Ces structures sont fonctionnellement indépendantes et catégoriquement distinctes. Leur objectif fonctionnel (leur tâche) est la formation et le relâchement d'une constriction dans le conduit vocal. Cet objectif est spécifié sous forme de paramètres dynamiques qui vont déterminer les trajectoires des articulateurs. Comme toute action, un Geste existe donc dans l'espace et aussi dans le temps.

10.1.3. *Coordination entre les gestes*

Pour la phonologie articulatoire, les Gestes sont à l'image des atomes qui se combinent entre eux pour former des structures plus larges, des molécules, en se coordonnant les uns avec les autres. Ainsi, les unités lexicales sont directement représentées sous forme de Gestes, et ces unités combinatoires sont liées les unes aux autres par différents degrés de couplage dynamique (ou de relations de phase)⁹. Comme illustré dans les exemples de la figure 10.1, un Geste peut être coordonné à un autre de sorte que (a) les deux Gestes débutent de façon synchrone, (b) qu'ils atteignent leur cible de façon synchrone, (c) que le début de l'un soit synchrone avec l'arrivée à la cible de l'autre ou (d) avec le début du mouvement s'éloignant de la cible (début du relâchement). Les Gestes sont donc couplés deux à deux et cette information de coordination temporelle est fixe et spécifiée dans l'entrée lexicale.

Ainsi, les primitives phonologiques que sont les Gestes se combinent les unes avec les autres, non pas en une séquence linéaire d'unités, mais en une structure, une « constellation de gestes » (*gestural constellation*), dans laquelle les gestes peuvent se chevaucher dans le temps. Cette notion de chevauchement, qui prend origine dans l'observation du fait que les mouvements des différents articulateurs sont co-produits dans la parole [OHM 66], est essentielle dans le modèle. On distingue différents degrés de chevauchement (par exemple : un chevauchement minimal, partiel ou complet entre deux Gestes). Comme nous le verrons dans la section 10.3, c'est grâce à cette spécification de l'organisation temporelle entre les Gestes que la Phonologie Articulatoire va pouvoir rendre compte de la cohésion phonologique particulière entre certains Gestes que d'autres théories vont expliquer en faisant intervenir des particularités d'appartenance ou de structure syllabique. Ce sont aussi des différences de coordination et de chevauchement entre Gestes qui vont expliquer les variations contextuelles (allophonie, assimilation, ...) que subissent les primitives gestuelles qui sont par nature invariantes.

9. Nous n'entrerons pas ici dans les détails sur la modélisation dynamique des gestes et de leur mise en phase, le lecteur intéressé pourra lire, outre les articles originaux de Browman et Goldstein [BRO 90a, 90b], les travaux de Saltzman et collègues [SAL 86, 89, 00].

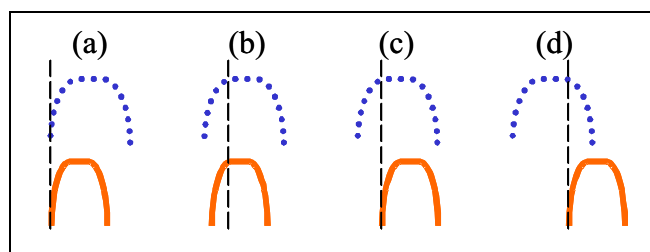


Figure 10.1. Quatre exemples de couplage entre deux Gestes (un en trait plein, l'autre en pointillé). Les Gestes sont dessinés schématiquement sous forme de cloche représentant le déroulement temporel du Geste de constriction, avec à gauche : le mouvement vers la cible pour la formation de la constriction, au sommet : la tenue de la constriction cible, et à droite : le mouvement s'en allant de la cible pour un relâchement de la constriction. Les deux Gestes n'ont pas la même durée. La ligne verticale indique sur quel point ils sont synchronisés : début du geste, atteinte de la cible, départ de la cible.

Une façon élégante de représenter comment les Gestes s'organisent dans le temps en constellations est illustrée dans la figure 10.2 pour le mot anglais *palm* (« palme »). Dans cette « partition gestuelle » (*gestural score*), les Gestes contrôlant l'aperture vélaire, la constriction de la pointe de la langue, la constriction aux lèvres et l'aperture glottale sont représentés sur une ligne différente. La partition indique :

- l'intervalle d'activation de chaque Geste (l'intervalle pendant lequel le geste est actif et exerce une influence sur la dynamique du conduit vocal) qui est représenté par les boîtes grisées,
- les courbes de mouvements calculées par le modèle *Task Dynamics* à partir des paramètres numériques dynamiques associés à chaque variable du conduit vocal,
- les étiquettes (*descriptors*) spécifiant les valeurs pour les variables du conduit vocal se rapportant au lieu et au degré de constriction. Cette représentation graphique est la sortie du modèle mathématique développé à Haskins, dont nous avons parlé plus haut.

Ici, le chevauchement entre les différents Gestes est apparent si l'on considère l'alignement temporel des boîtes. On s'aperçoit que plusieurs Gestes peuvent affecter en même temps la forme du conduit vocal. Par exemple, entre 20 et 90 ms environ, le Geste d'aperture glottale (ici spécifié pour produire une aperture maximale) et le Geste de constriction labiale (ici spécifié pour une occlusion labiale) sont actifs en même temps. Si on raisonne en termes de phonèmes, pour la clarté de l'exposé, la coordination de l'occlusion labiale et de l'ouverture glottale permet la production du /p/ initial aspiré en anglais¹⁰. D'autre part, si l'on regarde la

10. Dans ce même intervalle de temps, il n'y a pas de Geste contrôlant activement la structure coordinative incluant le corps de la langue (il n'y a pas de boîte sur cette ligne marquant l'activation d'un Geste), mais il y a un mouvement au niveau de cette structure coordinative,

coordination temporelle entre le Geste de constriction du corps de la langue (pour une constriction pharyngale étroite) et les autres Gestes, on s'aperçoit que ce Geste très long (qui correspond à /a/) chevauche le Geste d'aperture glottale (pour l'aspiration du /p/), le Geste d'aperture vélaire (dont l'aperture maximale permet la nasalisation pour le /m/) et le dernier Geste de constriction labiale (dont l'occlusion correspond au /m/).

Il faut noter que le modèle actuel n'est pas assez développé pour rendre compte de la variété des mécanismes laryngés utilisés distinctivement dans les langues. En effet, à l'heure actuelle, les cordes vocales sont considérées par défaut en position de vibration et le seul Geste modélisé est celui d'une ouverture glottale pour la cessation de voisement.

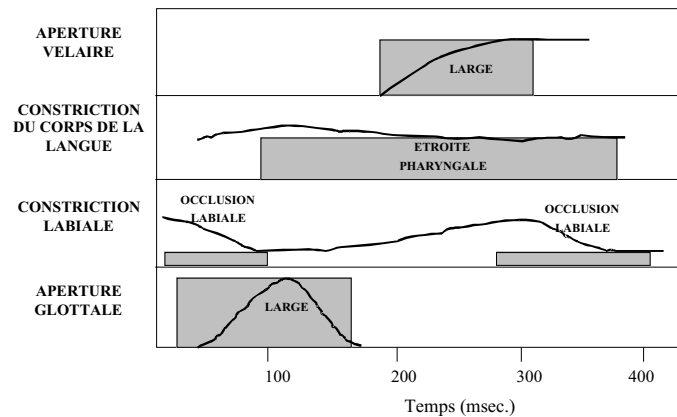


Figure 10.2. Représentation de la constellation de Geste formant le mot anglais « palm » [pʰam] sous forme de partition gestuelle (adapté de la figure 4 de [BRO 92]).

En résumé, le ciment permettant la combinaison des Gestes pour former le mot est le couplage dynamique qui lie les Gestes entre eux. Les spécifications sur cette coordination temporelle, ainsi que sur les caractéristiques dynamiques des Gestes, font partie intégrante des représentations lexicales.

comme l'indique la courbe noire. Ce mouvement non contrôlé par un Geste peut résulter soit du retour à la position neutre d'un articulateur non sollicité activement par un Geste (ex. la langue), soit du mouvement passif d'un articulateur qui entre en action pour un autre Geste (par exemple, la mâchoire qui entre en mouvement pour le Geste d'occlusion labiale) alors qu'il fait aussi partie de la structure coordinative non contrôlée (celle du corps de la langue).

10.2. Arguments et données en faveur d'une représentation phonologique sous forme de Gestes

Le développement de la Phonologie Articulaire repose sur de nombreuses observations issues d'études phonétiques (et plus récemment d'études sur les erreurs de production et l'acquisition) concernant la variabilité de la parole. Ces travaux ont montré que la variabilité dans la production des items lexicaux est souvent bien moins aléatoire qu'on a pu le penser et que de nombreuses variantes de surface sont gouvernées par des règles, ou contraintes, inscrites dans la Grammaire des langues et/ou qui ont trait à la structure linguistique du message (par ex. syllabique et prosodique).

L'objectif de la Phonologie Articulaire a donc été de développer un modèle où la nature de l'unité de représentation phonologique des formes lexicales est à même de capturer de façon satisfaisante la variabilité de ces mêmes formes en surface. Dans cette section nous allons brièvement présenter quelques données qui ont servi d'arguments en faveur d'une représentation phonologique sous forme de Gestes. Dans la section suivante, nous reviendrons sur la question de savoir comment une représentation gestuelle permet de rendre compte de la variabilité.

10.2.1. Les phénomènes de compensation

Si l'observation des mouvements articulaires date de fort longtemps, l'amélioration des techniques d'investigation est pour beaucoup dans le développement de la Phonologie articulaire. En effet, depuis la fin du 19^{ème} siècle, des inventions originales ont permis d'observer, souvent indirectement, les mouvements des organes de production. Mais ce n'est que dans la seconde moitié du 20^{ème} siècle qu'avec l'essor de la cinéradiographie et de ses successeurs (*X-ray microbeam*, électro-magnétométrie, IRM) il a été possible d'étudier relativement facilement l'évolution dans le temps et dans l'espace de plusieurs articulateurs de façon simultanée, et donc de découvrir leur coordination. En particulier, dans les années 1980, de nombreuses études à Haskins Laboratories se sont intéressées à la production de la parole sous l'angle de son contrôle moteur et de ses particularités cinématiques. L'acte de parole a alors été directement comparé aux autres actions motrices humaines ou animales.

Un des arguments en faveur de l'existence d'unités gestuelles a été trouvé dans l'observation de la coopération entre les articulateurs pour la production d'un objectif. À l'image de ce qu'on observe pour les mouvements du bras et de la main pour la préhension d'un objet, les articulateurs de la parole, qui se déplacent d'ordinaire de façon indépendante, se regroupent pour travailler en synergie afin d'atteindre la configuration articulaire qui est leur but. Cette collaboration entre

articulateurs au sein d'une structure coordonnée (la structure coordinative, voir tableau 10.1) apparaît clairement lorsqu'on introduit une perturbation sur un des articulateurs de la structure [KEL 84, ABB 84]. Par exemple, pendant qu'un locuteur est en train de produire une suite /papapapa/, on tire à l'aide d'un mécanisme expérimental sa mâchoire vers le bas. On observe alors que la lèvre inférieure produit de façon quasi instantanée un mouvement compensateur vers le haut pour maintenir l'occlusion labiale. Cette activité compensatrice, ou d'équivalence motrice, entre les articulateurs collaborant à la réalisation du même objectif moteur peut s'observer aussi en parole naturelle lorsqu'un locuteur parle avec une pipe ou un stylo dans la bouche.

Cette observation fournit un argument à la Phonologie Articulatoire pour avancer que le système de production de la parole repose sur des buts articulatoires¹¹, et que le Geste en tant qu'action articulatoire coordonnée dont le but est contrastif est un candidat approprié pour être la primitive tant au niveau du système de production qu'au niveau de la représentation phonologique. Pour ce second niveau, nous allons voir qu'un argument peut-être plus convaincant a été trouvé dans l'analyse d'erreurs de production.

10.2.2. Les erreurs de production

L'étude des erreurs de production a depuis longtemps permis à différentes théories de promouvoir telle ou telle unité (trait puis segment) au rang d'unité d'encodage phonologique dans la production de la parole. Récemment, plusieurs travaux ont montré que les erreurs de production pouvaient fournir des arguments en faveur d'un encodage en Geste.

En particulier, des études articulatoires et acoustiques ont permis de montrer que les erreurs de production ne sont pas aussi catégorielles que peuvent le laisser penser les corpora d'erreurs retranscrites, mais peuvent être graduelles ou partielles [MOW 90], [FRI 02], [POU 03], [POU soum.]. Par exemple, les travaux de Pouplier *et al.* montrent, dans des expériences où les erreurs sont provoquées expérimentalement, que certaines répétitions d'une séquence de type « *cop top* » présentent un mouvement du corps de la langue (un Geste d'occlusion du corps de la langue correspondant au /k/) qui est produit simultanément avec le Geste d'occlusion de la pointe de la langue pour le /t/ de « *top* ». De plus, la magnitude du Geste « intrus » est variable d'une répétition à l'autre. Si la conséquence de cette double articulation est souvent imperceptible, la présence de ce Geste est néanmoins

11. Il existe d'autres modèles de production de la parole basés sur des représentations articulatoires mais qui considèrent que le but des actions articulatoires est acoustique (voir par ex. [PER 90]).

très informative pour le modèle. En effet, ces observations se trouvent difficilement expliquées par un modèle classique qui suppose que ce type d'erreur relève d'une manipulation (échange ou substitution) d'unités telles que le segment ou le trait, au niveau de la planification : si un segment est déplacé à une mauvaise position dans le plan articulatoire, rien n'explique pourquoi le Geste lui correspondant est partiel, ni comment deux Gestes correspondant à deux segments peuvent être produits en même temps. Par contre, la Phonologie Articulatoire y trouve un argument en faveur d'une représentation gestuelle au niveau de la planification (et de la production), et explique ces erreurs par une activation (complète ou partielle) d'un Geste à un moment inapproprié durant la production.

10.3. Modélisation des contrastes lexicaux, des régularités phonologiques et des variantes de production

Nous avons vu que selon la Phonologie Articulatoire, les entrées lexicales sont représentées sous forme d'une structure de Gestes qui contient (a) une information sur les Gestes présents dans la structure, et (b) une information sur les caractéristiques dynamiques des Gestes et la façon dont ces Gestes sont temporellement coordonnés entre eux. C'est par le stockage de ces informations temporelles et dynamiques que la Phonologie Articulatoire se distingue beaucoup des approches classiques qui, elles, considèrent ces informations comme des détails phonétiques non stockés.

Dans cette section, nous montrerons comment la dimension dynamique d'une telle représentation gestuelle peut rendre compte des contrastes phonologiques, des cohésions phonologiques structurelles entre certains Gestes et d'une grande variété d'alternances aussi bien phonétiques que phonologiques.

10.3.1. *Oppositions phonologiques : contrastes lexicaux et systèmes phonologiques*

La Phonologie Articulatoire rend compte du contraste phonologique entre les entrées lexicales d'une même langue par trois types d'oppositions :

- un premier type de contraste possible entre deux constellations peut se traduire par la présence d'un Geste dans l'une et pas dans l'autre. Par exemple, si l'on oppose le mot *panne* et le mot *âne*, le premier commence par un Geste d'occlusion labiale, absent pour le second.

- un second type de contraste relève d'une différence de paramétrage dynamique des Gestes présents, c'est-à-dire de la spécificité de leurs variables du conduit vocal. Par exemple, les mots *sac* et *chaque* commencent tous les deux par un Geste impliquant la structure coordinative de la pointe de la langue, mais pour le premier les variables du conduit sont spécifiées pour une constriction critique au niveau alvéolaire, alors que le second mot commence par un Geste de constriction critique au niveau post-alvéolaire. De même, pour opposer *sa* et *ta*, on aura une opposition entre deux Gestes de la pointe de la langue, l'un pour une occlusion alvéolaire et l'autre pour une constriction critique alvéolaire. Ainsi, les oppositions de lieu et de degré de constriction sont capturées. Les oppositions traditionnelles entre voyelles et consonnes sont également modélisées par des différences dans le paramétrage des Gestes. Au niveau des variables du conduit, on aura des spécifications différentes pour le degré et le lieu des strictions. Au niveau du paramétrage dynamique associé à ces variables, on aura également des spécifications particulières permettant de modifier temporellement la trajectoire des articulateurs. Par exemple, le paramètre quantifiant la raideur des Gestes sera plus important pour ce qui correspond à une consonne (ou semi-consonne).

- enfin, les constellations peuvent s'opposer sur la coordination temporelle des Gestes présents. Par exemple, les mots *panne* et *nappe* contiennent les mêmes Gestes, mais leur organisation temporelle est différente.

Pour rendre compte des différences entre systèmes phonologiques, les mêmes types d'opposition vont être utilisés. Les langues vont se distinguer par leur inventaire de Gestes, mais aussi par des principes de coordination temporelle entre Gestes qui leur sont propres. Par exemple, on a vu dans la figure 10.2 que le couplage entre le Geste d'occlusion labiale et le Geste d'aperture glottale est spécifié en anglais de façon à produire ce qui correspond à une occlusive aspirée au début du mot [p^ham]. En français, le chevauchement entre les Gestes sera différent, de sorte que le Geste d'aperture glottale se termine en même temps, ou peu de temps après le relâchement de l'occlusion labiale. La figure 10.3 présente une partition gestuelle qui correspondrait au mot français *pâme*. De la même façon, la présence de relâchement pour des occlusives simples dans des langues comme le géorgien, dans des groupes de consonnes hétéroorganiques comme en sierra popoluca, ou les oppositions entre occlusives nasales et prénasalisées vont pouvoir être expliquées par des spécifications de coordination temporelle particulières [BRO 91], [GAF 02]. Les différences rythmiques entre les langues peuvent aussi s'expliquer par des différences de coordination temporelle (voir [SMI 95] pour une comparaison entre l'anglais, l'italien et le japonais).

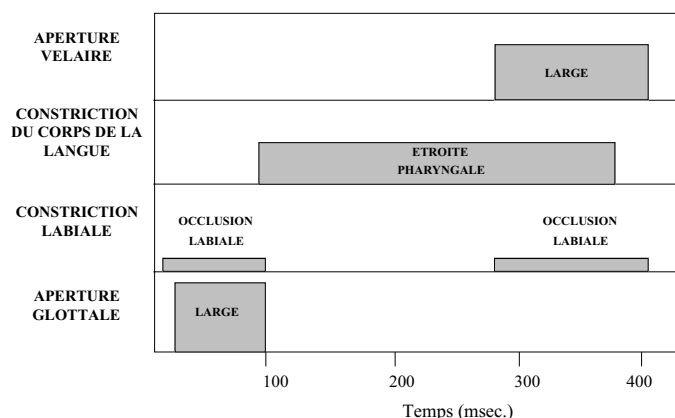


Figure 10.3. *Partition gestuelle pour le mot pâme [pam] en français. La coordination temporelle entre les Gestes est à comparer à celle illustrée figure 10.2.*

C'est également par des spécificités dans la coordination entre Gestes que la Phonologie Articulaire va pouvoir rendre compte de différences entre les patrons coarticulatoires qui semblent spécifiques aux langues [BOY 90], [MAN 90], [BED 02]. Par exemple, si l'on considère le chevauchement entre les Gestes à la fin du mot [p^ham] en anglais sur la figure 10.2, on s'aperçoit qu'une large portion de la constriction pharyngale du corps de la langue (qui correspond à la voyelle) est co-produite avec un Geste d'ouverture vélaire. Ce Geste vélaire devance de beaucoup le Geste labial. En conséquence, une grande partie de la voyelle est nasalisée. En français, où la nasalisation contextuelle des voyelles est fortement contrainte par la présence de voyelles nasales dans la langue [COH 90], une telle coordination temporelle n'est pas adéquate : le début d'activation des Gestes labial et vélaire doit être plus synchrone comme illustré figure 10.3.

En résumé, le chevauchement entre les Gestes articulatoires, qui est expliqué au niveau du système de production par un souci d'efficacité de la transmission (transmission en parallèle des informations)¹², et qui est contraint au niveau de la perception par un souci de récupérabilité des informations (le chevauchement ne doit pas être trop grand pour que les Gestes soient audibles), apparaît dans ce modèle comme un moyen utilisé par les langues pour produire du sens. En permettant le stockage de cette information dynamique au niveau des représentations phonologiques, la Phonologie Articulaire présente le grand avantage de pouvoir rendre compte directement de principes d'organisation articulatoire qui semblent inscrits dans la Grammaire des langues.

12. Sur ce point et sur la variabilité de la parole, voir aussi Meunier, ce volume.

10.3.2. *Coordination et cohésion structurelle entre les Gestes*

La coordination temporelle entre les Gestes est également importante pour rendre compte des relations structurelles entre les unités constitutives du mot. Comme nous l'avons vu, les Gestes sont organisés entre eux en constellations. Dans leurs différentes présentations de la Phonologie Articulatoire, Browman et Goldstein n'ont pas toujours été très clairs concernant l'existence d'unités d'organisations intermédiaires entre le niveau gestuel et le niveau lexical. Si dans les versions initiales, il n'est question que de constellations de la taille du mot ([BRO 86] par ex.), les auteurs ont introduit une organisation en constellations de la taille d'une syllabe traditionnelle. Ainsi, les travaux dans cette lignée font très souvent, explicitement ou non, référence à la constituance syllabique, pour évoquer, par exemple, les contraintes de structure syllabique existantes dans les langues [BRO 90, p. 355] ou les variantes positionnelles au sein de la syllabe (voir ci-dessous).

Nous ne rentrerons pas ici dans le détail de l'organisation hiérarchique entre les Gestes¹³. Pourtant, il est important de noter une distinction essentielle qui est faite entre Gestes consonantiques et Gestes vocaliques. Ces deux types de Gestes sont conçus comme deux couches fonctionnelles différentes [BRO 90]. Cette séparation permet de rendre compte du fait que les articulations consonantiques sont superposées sur des articulations vocaliques continues [OHM 66]. Gestes consonantiques et vocaliques sont co-produits, et mis en phase les uns par rapport aux autres.

Nous allons voir comment la Phonologie Articulatoire va rendre compte de ce qui est traditionnellement conçu comme un segment, une attaque ou une coda syllabique, grâce à des schèmes de coordination temporelle spécifiques reflétant les relations particulières qui existent entre certains Gestes. Ces relations ne sont pas uniquement mises en évidence par l'observation des comportements phonologiques de ces unités mais aussi par l'observation de caractéristiques articulatoires dynamiques qui marquent leur cohésion. Ces caractéristiques sont modélisées par des spécifications de la synchronisation temporelle, de la présence ou absence de couplage entre les Gestes et de la stabilité de cette coordination temporelle.

Plusieurs études articulatoires sur les variations allophoniques conditionnées par la position du segment dans le mot ou la syllabe ont montré que ces variantes positionnelles résultent de différentes synchronisations entre les Gestes articulatoires leur correspondant. Par exemple, l'occurrence des variantes claires et sombres de /l/

13. Le lecteur intéressé est renvoyé aux différents articles comparant cette théorie gestuelle aux théories phonologiques basées sur les traits distinctifs, comme par exemple [CLE 92, STE 90, BRO 89, BRO 90].

en anglais en fonction de la position dans la syllabe, peut s'expliquer par une différence de chevauchement entre les Gestes du corps et de la pointe de la langue [SPR 93]. Comme illustré dans la figure 10.4, dans la variante claire à l'initial, le Geste de constriction (rétraction) du corps de la langue est synchronisé avec celui d'occlusion de la pointe de la langue, alors que dans la variante sombre finale, le premier Geste est anticipé par rapport au second¹⁴. Une différence de coordination similaire apparaît lorsque l'on compare un /m/ initial dans *see more* à un /m/ final dans *seem ore* [KRA 99]. Browman et Goldstein posent pour principe que les Gestes correspondant à une attaque répondent à un mode synchrone, alors qu'en coda ils sont séquentiels [BRO 95].

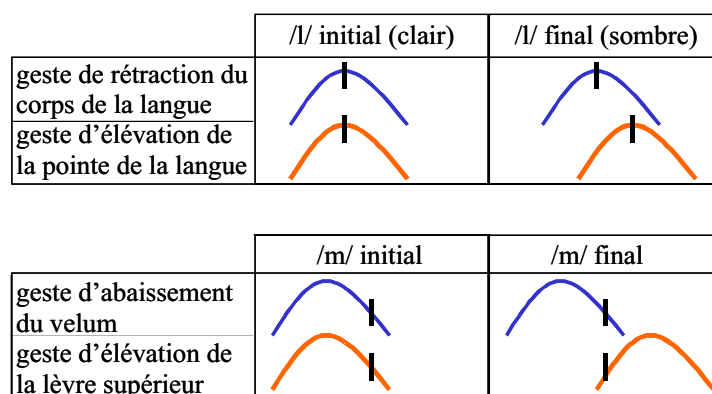


Figure 10.4. Illustration schématique de la coordination temporelle entre les Gestes correspondant à un /l/ ou /m/ initial (à gauche) ou à un /l/ ou /m/ final (à droite).

Une seconde série de travaux (voir en particulier ceux de Byrd [BYR 94, 96]) ont montré que la coordination temporelle entre les Gestes est plus stable en position d'attaque qu'en position de coda. Par exemple, le chevauchement temporel entre les Gestes de constriction orales pour un groupe de consonnes en position d'attaque ne varie que très peu d'une répétition à l'autre ou en fonction du débit, alors que ces mêmes Gestes ont un degré de chevauchement variable pour un groupe de consonnes coda ou un groupe de consonnes hétérosyllabiques. La même stabilité a été trouvée pour les Gestes correspondant à une attaque simple comparée à une coda [KRA 99].

D'autre part, les Gestes ne sont pas couplés directement entre eux au travers de certains types de frontière alors qu'il le sont au travers d'autres. La présence ou l'absence de couplage entre les Gestes vont produire des patrons spécifiques de cohésion temporelle, de chevauchement, de stabilité temporelle, etc. entre ces

14. Voir également les travaux de [GIC 03] pour les variantes de /w/ et /r/ en anglais.

Gestes. Ces patrons deviennent alors eux-mêmes un indice de tel ou tel type de frontières¹⁵. Par exemple, dans une séquence VC#CV où # indique une frontière de mot, les consonnes ne sont pas couplées entre elles alors que les voyelles le sont. Dans une séquence tautosyllabique CV, le Geste consonantique est coordonné avec le Geste vocalique. Dans une séquence tautosyllabique CCV, il y a un double couplage : les consonnes sont toutes deux coordonnées au Geste vocalique et en même temps, elles sont coordonnées entre elles. C'est ce qu'on appelle l'effet *c-center* : l'ajout de consonnes à l'attaque d'une syllabe modifie la coordination de tous les Gestes consonantiques par rapport au Geste vocalique, mais de façon à préserver la coordination globale du centre (milieu) de la suite consonantique par rapport au Geste vocalique [BRO 88, BYR 95]. Cet effet de *c-center* n'apparaît pas pour les consonnes coda : dans une suite VCC, seule la première consonne est coordonnée à la voyelle, alors que la consonne suivante n'est coordonnée qu'à la consonne précédente. Cette modélisation de la coordination temporelle entre les Gestes au sein de ce qui est traditionnellement conçu comme une syllabe, s'appuie sur des résultats expérimentaux montrant une asymétrie dans la stabilité de coordination temporelle entre attaques et codas. Cette asymétrie, bien connue pour expliquer des alternances phonologiques synchroniques et diachroniques dépendantes de la position syllabique, est mise en évidence expérimentalement lorsque l'on observe les patrons de cohésion temporelle à débit rapide, sous l'accent, ou lorsqu'on observe des groupes consonantiques de taille variable.

Un développement récent de la phonologie articulatoire a formalisé ces résultats en introduisant une notion de « rigidité » dans le couplage, le lien (*bonding strength* [BRO 00]), qui existe entre les Gestes. À chaque relation de phase entre deux Gestes est associée une spécification sur la rigidité du lien qui va traduire la cohésion qui peut exister entre ces Gestes, et va expliquer la stabilité dans la coordination temporelle que l'on peut observer. De cette façon, la Phonologie Articulatoire rend compte du fait que les liens les plus forts se font entre les Gestes formant ce qui est traditionnellement décrit comme un segment, entre les Gestes correspondant à une attaque et un nucleus, ou entre les deux membres d'un groupe consonantique en attaque. Ainsi, dans la Phonologie Articulatoire, la structure syllabique émerge de la coordination entre les Gestes.

10.3.3. *Variantes de production*

Un des intérêts majeurs de la Phonologie Articulatoire est la façon dont elle a pu rendre compte de façon unifiée de variantes de production considérées jusqu'alors

15. Récemment, plusieurs études ont montré comment la coordination gestuelle peut expliquer des variations liées à la proéminence et aux frontières prosodiques (voir parmi d'autres [BYR 03a, CHO 01]).

comme relevant de processus différents : des variantes phonétiques graduelles et des variantes phonologiques catégorielles. L'observation de nombreuses données articulatoires a en effet permis de démontrer que ces variantes relèvent de processus similaires liés aux caractéristiques dynamiques du système de production. Ainsi, pour la Phonologie Articulatoire, la variation de surface est toujours considérée comme une modification (quantitative) des caractéristiques dynamiques spatio-temporelles des paramètres gestuels. Les trajectoires des articulateurs ou les relations de phase entre les Gestes sont ré-échelonnées en fonction du contexte, du débit ou du style de parole, mais sans changer l'identité du Geste ni la relation particulière de couplage (le lien et sa rigidité) qu'il a avec un autre Geste au sein de la constellation lexicale. De la sorte, aucun Geste ne peut être supprimé ou ajouté et aucun Geste ne peut se transformer en un autre Geste. Les variantes de production ne peuvent alors résulter que de deux mécanismes : une modification dans le chevauchement entre les Gestes et une modification de la magnitude des Gestes (dans le temps et l'espace)¹⁶. Si les approches classiques caractérisent les variantes de surface comme des insertions, délétions, assimilations, lénitions, etc., c'est que ces deux mécanismes vont avoir des conséquences acoustico/perceptives différentes en fonction de la nature des Gestes se chevauchant.

10.3.3.1. *Chevauchement entre Gestes ne partageant pas les mêmes variables du conduit*

La figure 10.4 illustre les différences bien connues dans la position de la langue pendant l'articulation d'une occlusive bilabiale en fonction de la voyelle suivante. Comme nous l'avons dit plus haut, la Phonologie Articulatoire considère que Gestes consonantiques et vocaliques sont organisés sur deux couches fonctionnelles différentes. Du fait de leur co-production, Gestes vocaliques et Gestes consonantiques se chevauchent. Dans les exemples donnés sur la figure, Gestes consonantiques et vocaliques n'entrent pas en compétition puisqu'ils n'utilisent pas les mêmes variables du conduit. Dans le cas de [ba] et [bi] (fig. 10.4.a), il y a un chevauchement entre un Geste de constriction labiale occlusif pour la consonne et un Geste de constriction du corps de la langue vélaire ou palatal, large ou étroit en fonction de la voyelle. Dans le cas de [di] et [dy] (fig. 10.4.b), il y a un chevauchement entre un Geste de constriction de la pointe de la langue, dental et occlusif, pour le [d] et un Geste de constriction du corps de la langue palatal et étroit pour les voyelles, associé à un Geste de protrusion labiale pour [y]. Dans ces exemples, le chevauchement entre les Gestes n'aura pas ou peu de conséquences

16. Il faut noter que dans les développements actuels du modèle, la majorité des variantes sont expliquées par des différences de coordination temporelle. Les variations dans le chevauchement des gestes sont inversement proportionnelles à la rigidité du lien entre les Gestes [BRO 00].

acoustiques (seule une bémolisation de l'explosion du [d] résultera de la protrusion des lèvres dans [dy]).

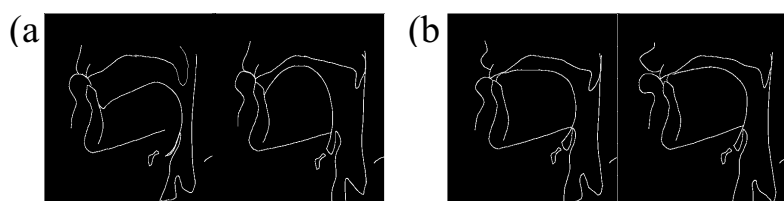


Figure 10.4. (a) Articulaton de /b/ dans les séquences [ba] et [bi]. Chevauchement entre les Gestes d'occlusion labiale et de constriction du corps de la langue ; (b) Articulaton de /d/ dans [di] et [dy]. Chevauchement entre les Gestes de constriction de la pointe de la langue, du corps de la langue et de protrusion labiale. Données de [VIL 00].

Le même type de chevauchement entre des Gestes ne partageant pas les mêmes variables du conduit peut avoir des conséquences perceptives plus drastiques. Dans les exemples présentés sur les figures 10.5.a et b, deux répétitions des séquences *perfect memory* (« mémoire parfaite ») et *seven plus* (« sept plus ») sont présentées : sur le panneau du haut, le chevauchement entre les gestes est minime, alors que sur le panneau du bas, le chevauchement est plus important comme lors d'une production à débit rapide. Si on observe le Geste de la pointe de la langue pour une occlusion alvéolaire (pour le /t/) de *perfect*, on s'aperçoit dans le panneau du bas qu'il est masqué par le Geste d'occlusion des lèvres et le Geste du corps de la langue pour une occlusion vélaire (correspondants aux consonnes adjacentes). Ce masquage (*gestural hiding*) aura pour conséquence perceptive une délétion apparente de la consonne puisque le relâchement alvéolaire se fait alors que l'occlusion labiale est déjà formée. L'observation de données articulatoires cinéradiographiques ([BRO 90b]) permet de voir que le Geste est présent, mais il est inaudible.

Dans le cas de *seven plus*, le même mécanisme de chevauchement produit un masquage du Geste de la pointe de la langue pour une occlusion alvéolaire par le Geste d'occlusion des lèvres et le Geste d'ouverture du voile du palais. Dans ce cas, puisqu'une bonne partie du Geste d'occlusion labial est concomitante à une ouverture vélaire, la résultante perceptive sera une assimilation apparente de lieu d'articulation entre le /n/ et le /p/.

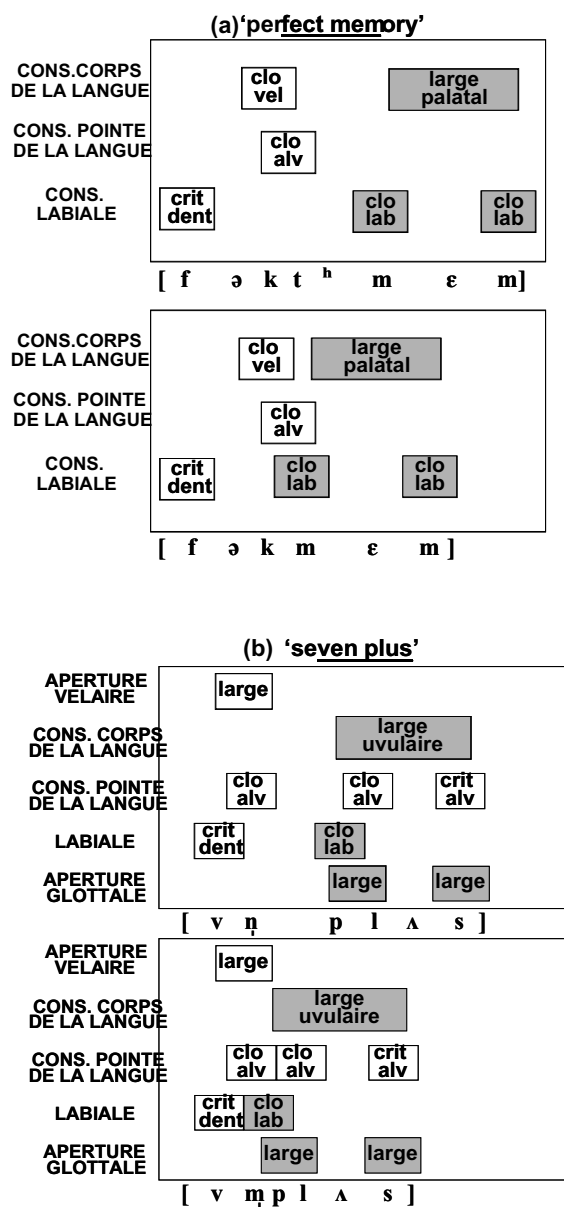


Figure 10.5. (a). Un cas de délétion apparente d'un segment dans « perfec(t) memory »; (b) un cas d'assimilation apparente dans « seve(n) plus ». (adapté des figures 19.13 et 19.15 de [BRO 90b]).

Inversement, une modification de la coordination entre Gestes peut produire l'épenthèse perceptive d'un segment. Par exemple, dans la production du mot *prince* en anglais (« prince »), une modification de la coordination entre le Geste d'occlusion alvéolaire et le Geste d'ouverture vélaire (correspondant au /n/) peut résulter en l'apparition d'un [t] épenthétique entre le /n/ et le /s/. En effet, si l'achèvement du Geste d'occlusion alvéolaire est retardé par rapport à l'achèvement du Geste d'ouverture vélaire et du Geste de fermeture glottique, il y aura une fenêtre temporelle pendant laquelle une occlusion alvéolaire sera produite avec un velum relevé et une glotte ouverte, ce qui produira acoustiquement (et perceptivement) un [t] épenthétique.

10.3.3.2. Chevauchement entre Gestes partageant les mêmes variables du conduit

Lorsque deux Gestes partageant les mêmes variables du conduit vocal avec des spécifications différentes sont co-produits, les structures coordinatives impliquées dans chacun des Gestes vont devoir accommoder deux cibles articuloires différentes. La compétition entre ces cibles résultera en une modification des trajectoires des deux Gestes, un mélange entre leurs paramètres dynamiques, et une fusion entre les deux Gestes (*gestural blending*).

Ce cas de figure est illustré dans la figure 10.6 qui reprend l'exemple de l'antériorisation (assimilation de lieu) des consonnes vélaires en contexte vocalique antérieur cité en section 10.1.1. Si l'on compare le lieu d'articulation de la consonne [g] en trait plein, on s'aperçoit qu'il est fortement modifié en fonction du lieu d'articulation (antérieur ou postérieur) de la voyelle (en traits pointillés). Le chevauchement entre Gestes vocalique et consonantique utilisant tous deux le corps de la langue produit une fusion des deux Gestes, et une antériorisation du Geste d'occlusion vélaire dans la séquence /igi/.

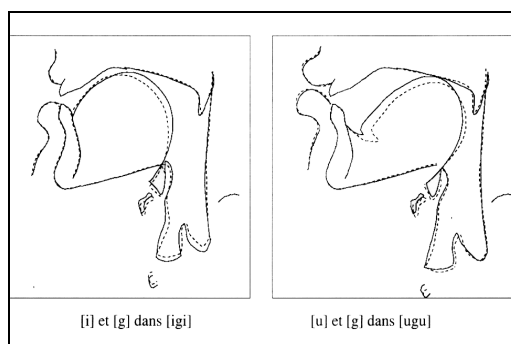


Figure 10.6. Lieu d'articulation de la consonne /g/ (trait plein) en fonction du lieu d'articulation des voyelles environnantes [i] et [u] (trait pointillé), données de [VIL 00]. Les Gestes vocaliques et consonantiques utilisant tous deux le corps de la langue sont co-produits et s'influencent mutuellement.

10.3.3.2. *Modification de la magnitude des Gestes*

Les variantes de production dans la parole peuvent résulter d'un autre mécanisme que le chevauchement temporel entre les Gestes. Bien que ce mécanisme soit moins développé dans les versions actuelles de la Phonologie Articulatoire, Browman et Goldstein ont proposé que les Gestes pouvaient également subir des modifications quantitatives de leurs paramètres dynamiques. C'est-à-dire que la magnitude des Gestes peut être augmentée ou diminuée dans le temps et dans l'espace dans certains contextes. Ce mécanisme affectant la magnitude des Gestes opère principalement sous l'influence de facteurs prosodiques liés à l'accent et à la position dans un constituant prosodique.

Prenons l'exemple de l'aspiration en anglais des consonnes occlusives sourdes à l'initiale de mot et en attaque de syllabe accentuée. Dans une description traditionnelle, le phénomène sera modélisé par une alternance (catégorielle) entre allophones aspiré [+spread glottis] et non-aspiré [-spread glottis], conditionnée par la position et l'accentuation. Or l'observation de données articulatoires montre que dans certaines positions bloquant l'aspiration des consonnes, il y a une ouverture glottique ([COO 91]). En surface, ce Geste d'ouverture glottique va être audible ou non en fonction du timing de ce Geste par rapport aux Gestes supra-glottaux (on a alors une variation de chevauchement entre Gestes), mais aussi en fonction de la magnitude de ce Geste. Dans ce deuxième cas, on observe que le Geste d'ouverture glottique peut être graduellement réduit (ouverture moins grande et moins longue), comme par exemple en attaque d'une deuxième syllabe dans un mot, et quand cette syllabe ne porte pas l'accent lexical ([COO 91, BRO 92]). Une réduction de Geste (*gestural shrinking*) peut également apparaître en fin de mot pour expliquer les phénomènes de réduction consonantiques apparaissant dans de nombreuses langues ou en position intervocalique pour expliquer des phénomènes tels que le *flapping*.

10.4. Conclusion

La Phonologie Articulatoire repose sur des primitives spécifiées sous forme de Gestes articulatoires : des actions de constriction, formées par un groupe d'articulateurs fonctionnant en synergie, dont les caractéristiques dynamiques sont spécifiées. À la différence d'autres théories, la Phonologie Articulatoire présuppose donc des entrées lexicales riches en spécification. Elle se distingue également des autres théories par l'importance donnée aux aspects physiques (et non cognitifs) des représentations phonologiques. Ceci lui permet de rendre compte plus naturellement de la façon dont les contraintes imposées par l'organisation articulatoire contribuent à la structuration des systèmes phonologiques. La représentation sous forme de Gestes lui permet aussi de rendre transparente la relation entre les primitives fonctionnelles phonologiques et les primitives articulatoires. La Phonologie

Articulatoire présente également l'intérêt de formaliser par des principes généraux de la dynamique articulatoire différentes variantes de production (phonétiques et phonologiques) traditionnellement modélisées à l'aide de règles phonologiques discrètes et de représentations catégorielles abstraites.

La Phonologie Articulatoire répond donc aux objectifs principaux qu'elle s'est fixés, à savoir la représentation des contrastes lexicaux, la formalisation des comportements phonologiques et la modélisation des mouvements articulatoires lors de la production de la parole. Pourtant, la Phonologie Articulatoire reste une théorie en développement et de nombreux points restent à élaborer. Nous n'avons pas détaillé dans ce chapitre ses points faibles et les critiques qui lui ont été adressées, par manque de place. Le lecteur intéressé pourra lire le numéro spécial du *Journal of Phonetics* (n°49, 1992) sur la Phonologie Articulatoire et les articles de [STE 90, BYR 03b, APP 04], entre autres. Les critiques, notamment formulées par les phonologues qui y voient essentiellement un modèle de production de la parole et non un modèle phonologique, portent sur le fait qu'elle n'apporte pas toujours des réponses convaincantes sur des points essentiels à toute théorie phonologique. Par exemple, dans l'état actuel de son développement, elle ne permet pas de caractériser de façon adéquate la diversité des sons des langues du monde. Elle ne peut rendre compte de plusieurs généralisations phonologiques, comme les classes naturelles ou des processus post-lexicaux. Elle manque également de contraintes suffisamment explicites et prédictibles, ce qui lui donne un pouvoir génératif trop important. D'autre part, pour des spécialistes de la production de la parole et du contrôle moteur, la Phonologie Articulatoire peut apparaître comme un modèle trop abstrait, et basé sur trop peu de données, pour être réaliste. La primauté donnée à l'articulatoire dans la définition des primitives phonologiques au détriment des caractéristiques acoustiques et perceptives est également l'objet de nombreuses critiques. Enfin, un des plus grands challenges de la Phonologie Articulatoire, comme pour toute autre théorie phonologique ou phonétique, est son intégration dans un modèle plus complet d'encodage (et de décodage) de la parole, incluant non seulement l'encodage des unités minimales distinctives, mais aussi l'encodage des structures plus larges d'organisation de ces unités (syllabe, mot, phrase).

10.5. Bibliographie

- [ABB 84] ABBS J.H., GRACCO V.L., « Control of complex motor gestures: Orofacial muscle responses to load perturbations of the lip during speech », *Journal of Neurophysiology*, 51, p. 705-723, 1984.
- [APP 04] APPELBAUM I., « Physical segments and functional gestures », AGWUELE A., WARREN W., PARK S.-H., *Proceedings of the 2003 Texas Linguistic Society conference: Coarticulation in speech production and perception*, Somerville MA, Cascadilla Proceedings Project, p 1-8, 2004.

- [BED 02] BEDDOR P.S., HARNSBERGER J.D., LINDEMANN S., « Language-specific patterns of vowel-to-vowel coarticulation: acoustic structures and their perceptual correlates », *Journal of Phonetics*, 30, p. 591-627, 2002.
- [BOY 90] BOYCE S.E., « Coarticulatory organization for lip rounding in Turkish and English », *Journal of the Acoustical Society of America*, 88, p. 2584-2595, 1990.
- [BRO 86] BROWMAN C.P., GOLDSTEIN L., « Towards an articulatory phonology », *Phonology Yearbook*, 3, p. 219-252, 1986.
- [BRO 88] BROWMAN C.P., GOLDSTEIN L., « Some notes on syllable structure in articulatory phonology », *Phonetica*, 45, p. 140-155, 1988.
- [BRO 89] BROWMAN C.P., GOLDSTEIN L., « Articulatory gestures as phonological units », *Phonology*, 6, p. 201-251, 1989.
- [BRO 90a] BROWMAN C.P., GOLDSTEIN L., « Gestural specification using dynamically-defined articulatory structures », *Journal of Phonetics*, 18, p. 299-320, 1990.
- [BRO 90b] BROWMAN C.P., GOLDSTEIN L., « Tiers in articulatory phonology, with some implications for casual speech », KINGSTON J., BECKMAN M.E., eds., *Papers in Laboratory Phonology I: Between the Grammar and Physics of Speech*, p. 341-376, Cambridge University Press, 1990.
- [BRO 91] BROWMAN C.P., GOLDSTEIN L., « Gestural structures: distinctiveness, phonological processes, and historical change », LIBERMAN A.M., MATTINGLY I.M., STUDDERT-KENNEDY M., eds., *Modularity and the Motor Theory of Speech Perception*, Hillsdale, N.J., Lawrence Erlbaum Associates, p. 313-338, 1991.
- [BRO 92] BROWMAN C.P., GOLDSTEIN L., « Articulatory phonology: An overview », *Phonetica*, 49, p. 155-180, 1992.
- [BRO 95] BROWMAN C.P., GOLDSTEIN L., « Gestural syllable position effects in American English », BELL-BERTI F., RAPHAEL L., eds., *Producing Speech: Contemporary Issues*, p. 19-33, New-York, American Institute of Physics, 1995.
- [BRO 00] BROWMAN C.P., GOLDSTEIN L., « Competing constraints on intergestural coordination and self-organization of phonological structures », *Les Cahiers de l'ICP, Bulletin de la Communication Parlée*, 5, p. 25-34, 2000.
- [BYR 94] BYRD D., *Articulatory Timing in English Consonant Sequences*, UCLA dissertation (UCLA Working Paper, 86), 1994.
- [BYR 95] BYRD D., « C-Center revisited », *Phonetica*, 52, p. 285-306, 1995.
- [BYR 96] BYRD D., « Influences on articulatory timing in consonant sequences », *Journal of Phonetics*, 24, p. 209-244, 1996.
- [BYR 03a] BYRD D., SALTZMAN E., « The elastic phrase: Modeling the dynamics of boundary-adjacent lengthening », *Journal of Phonetics*, 31(2), p. 146-180, 2003.
- [BYR 03b] BYRD D., « Frontiers and challenges in Articulatory Phonology », *Proceedings of the 15th International Congress of Phonetic Sciences*, Barcelone, p. 89-92, 2003.

- [CHO 01] CHO T., « Effects of morpheme boundaries on intergestural timing: evidence from Korean », *Phonetica*, 58, p. 129-162, 2001.
- [CLE 92] CLEMENTS G. N., « Phonological primes: Features or gestures ? », *Phonetica*, 49, p. 181-193, 1992.
- [COH 90] COHN A.C., *Phonetic and Phonological Rules of Nasalization*, UCLA PhD dissertation, (UCLA Working Papers in Phonetics 76), 1990.
- [COO 91] COOPER A., *An Articulatory Account of Aspiration in English*, Yale University PhD dissertation, New Haven, 1991.
- [FOW 80] FOWLER C.A., « Coarticulation and theories of extrinsic timing », *Journal of Phonetics*, 8, p. 113-133, 1980.
- [FRI 02] FRISCH S., WRIGHT R., « The phonetics of phonological speech errors: An acoustic analysis of slips of the tongue », *Journal of Phonetics*, 30(2), p. 139-162, 2002.
- [GAF 02] GAFOS A., « A grammar of gestural coordination », *Natural Language and Linguistic Theory*, 20, p. 269-337, 2002.
- [GIC 03] GICK B., « Articulatory correlates of ambisyllabicity in English glides and liquids », LOCAL J., OGDEN R., TEMPLE R., eds., *Papers in Laboratory Phonology VI: Constraints on Phonetic Interpretation*, Cambridge, Cambridge University Press, p. 222-236, 2003.
- [GOL 03] GOLDSTEIN L., FOWLER C., « Articulatory phonology: a phonology for public language use », MEYER A.S., SCHILLER N., eds., *Phonetics and Phonology in Language Comprehension and Production: Differences and Similarities*, Mouton de Gruyter, p. 159-207, 2003.
- [KEL 84] KELSO J.A.S., TULLER B., VATIKIOTIS-BATESON E., FOWLER C.A., « Functionally specific articulatory cooperation following jaw perturbations during speech: Evidence for coordinative structures », *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10, p. 812-832, 1984.
- [KEL 86] KELSO J.A.S., SALTZMAN E.L., TULLER B., « The dynamical perspective on speech production: data and theory », *Journal of Phonetics*, 14, p. 29-59, 1986.
- [KOH 92] KOHLER K., « Gestural reorganization in connected speech: a functional viewpoint on 'Articulatory Phonology' », *Journal of Phonetics*, 49, p. 205-211, 1992.
- [KRA 99] KRAKOW R., « Physiological organization of syllables: a review », *Journal of Phonetics*, 27, p. 23-54, 1999.
- [MAN 90] MANUEL S.Y., « The role of contrast in limiting vowel-to-vowel coarticulation in different languages », *Journal of the Acoustical Society of America*, 88, p. 1286-1298, 1990.
- [MOW 90] MOWREY R.A., MACKAY I., « Phonological primitives: Electromyographic speech error evidence », *Journal of the Acoustical Society of America*, 88(3), p. 1299-1312, 1990.
- [OHM 66] ÖHMAN S.E.G., « Coarticulation in VCV utterances: Spectrographic measurements », *Journal of the Acoustical Society of America*, 39, p. 151-168, 1966.

- [PER 90] PERKELL J.S., « Testing theories of speech production: Implications of some detailed analyses of variable articulatory data », HARDCASTLE W.J., MARCHAL A., eds., *Speech Production and Speech Modeling*, p. 263-288, Dordrecht, Kluwer, 1990.
- [POU 03] POUPLIER M., *Units of phonological encoding: Empirical evidence*, Yale University PhD Dissertation (Dissertation Abstracts International, AAT 3109449), 2003.
- [POU soum] POUPLIER M., GOLDSTEIN L., « Asymmetries in speech errors: Production, perception and the question of underspecification » (soumis).
- [SAL 86] SALTZMAN E., « Task dynamic coordination of the speech articulators: A preliminary model », HEUER H., FROMM C., eds., *Experimental Brain Research Series*, 15, p. 129-144, New York, Springer-Verlag, 1986.
- [SAL 89] SALTZMAN E.L., MUNHALL K.G., « A dynamical approach to gestural patterning in speech production », *Ecological Psychology*, 1, p. 333-382, 1989.
- [SAL 00] SALTZMAN E., BYRD D., « Task-dynamics of gestural timing: Phase windows and multi-frequency rhythms », *Human Movement Science*, 19, p. 499-526, 2000.
- [SMI 95] SMITH C., « Prosodic patterns in the coordination of vowel and consonant gestures », CONNELL B., ARVANITI A., eds., *Phonology and Phonetic Evidence: Papers in Laboratory Phonology IV*, p. 205-222, Cambridge, Cambridge University Press, 1995.
- [SPR 93] SPROAT R., FUJIMURA O., « Allophonic variation in English /l/ and its implications for phonetic implementation », *Journal of Phonetics*, 21, p. 291-311, 1993.
- [STE 90] STERIADE D., « Gestures and autosegments: comments on Browman and Goldstein's paper », KINGSTON J., BECKMAN M.E., eds., *Papers in Laboratory Phonology I: Between the Grammar and Physics of Speech*, p. 341-376, Cambridge University Press, 1990.
- [STU 03] STUDDERT-KENNEDY M., GOLDSTEIN L., « Launching language: The gestural origin of discrete infinity », CHRISTIANSEN, M.H., KIRBY S., eds., *Language Evolution*, Studies in the Evolution of Language, New York, Oxford University Press, p. 235-254, 2003.
- [VIL 00] VILAIN A., *Apports de la modélisation des degrés de liberté articulatoires à l'étude de la coarticulation et du développement de la parole*, Thèse de Doctorat, ICP, Grenoble, 2000.