

L'ORGANISATION TEMPORELLE DE LA PAROLE

Eric Keller
Département de linguistique
et
Laboratoire de psychologie neurocognitive
Université du Québec à Montréal

C.P. 8888, Succ. «A»
Montréal, Québec H3C 3P8, Canada

Résumé: Le temps est un aspect fondamental du contrôle moteur de la parole. Récemment, une importante conception de la parole a proposé que son organisation temporelle provient d'interactions de structures articulatoires périphériques et non d'un contrôle neurocognitif central. Les évidences et les contre-arguments relatifs à cette conception sont soumis à un examen critique. Il est indiqué que les évidences neurolinguistiques appuient minimalement une implication du cortex et du cervelet dans l'organisation temporelle de la parole. Ensuite il est montré comment une telle notion de contrôle central peut être incorporée à une conception multifactorielle du contrôle moteur de la parole. Cette approche est illustrée en regard de la distinction établie par Lindblom entre parole «hypo» et «hyper».

1. Introduction

Sous une forme ou sous une autre, la plupart des investigations concernant la production de la parole traite du temps ou de l'organisation temporelle. Au niveau sémiotique le plus élémentaire, la parole implique une sériation temporelle d'éléments linguistiques. Au niveau phonémique, les voyelles, les fricatives, les occlusives ainsi que les autres segments occupent des espaces-temps spécifiques. Et sur le plan de l'analyse de la production phonétique, les débuts et les fins de différents segments de l'énoncé sont chronométrés selon des interdépendances coarticulatoires complexes qui peuvent changer considérablement selon les occasions, les locuteurs, les débits ou encore selon les dialectes. Dans son ensemble, la production de la parole semble être sujette à un schème temporel particulier, voire complexe.

L'objectif de cet examen consiste à délimiter deux courants de pensée contemporains concernant l'organisation temporelle de la parole et à proposer un travail conceptuel qui incorpore et prolonge les notions en question. Le premier courant stipule que le temps est inhérent à l'action motrice coordonnée de la parole et ne requiert donc aucune référence à un fonctionnement neuronal. La seconde conception propose que certaines structures neuronales soient directement impliquées dans le contrôle temporel sur les actions de la parole. Nous finissons sur un travail conceptuel qui insère le contrôle temporel phonatoire dans l'ensemble des objectifs et contraintes agissant sur la parole humaine.

2. Perspectives historiques: la quête de l'invariance.

Traditionnellement, la clarification des facteurs de complexité et de variabilité temporelle s'est centrée autour de la recherche de facteurs stables et invariables sous-jacents. Depuis les débuts de la science phonétique, l'étude de la parole se calque d'abord sur la transcription graphémique, puis plus tard, sur les transcriptions phonémiques, de manière à concevoir un système reliant des corrélats physiques potentiellement stables aux symboles transcrits et aux contrastes sonores perçues. Dans les années 30, des discussions sur les invariants articulatoires sont à la quête d'une définition du phonème qui soit satisfaisante. Cette tradition s'est perpétuée jusqu'à nos jours par la recherche de corrélats acoustiques stables reliés aux traits phonétiques.

Dans le domaine de l'organisation temporelle de la parole, des invariants ont tout d'abord été envisagés sous la forme d'une soi-disant isochronie de différents segments de parole, et plus tard sous la forme de relations de phase inter et intra articulatoires. Ce dernier courant sera abordé en détail plus loin. En contrepoint à cette recherche d'invariants, un discours parallèle s'est poursuivi concernant la variation observée dans toute activité motrice. A peu près tous les écrits

théoriques des vingt dernières années portant sur les systèmes moteurs de la parole ont au moins touché au problème de l'équivalence motrice. Par équivalence motrice on entend la capacité du système moteur à accomplir un objectif donné par divers moyens. Les exemples traditionnels d'équivalence motrice (voir Tolman, 1932; Hull, 1934; Lashley 1942; Hebb, 1949) se réfèrent à des observations telle que celle d'un rat qui réussit à nager dans un labyrinthe dès le premier essai, et ce, s'il a préalablement été en contact avec un labyrinthe semblable «au sec». Bien que les actions motrices exactes requises pour la nage et la marche soient tout à fait différentes, l'objectif essentiel de la tâche (qui est d'atteindre le stimulus représenté par une boîte de nourriture) est accompli selon le même processus d'apprentissage.

L'équivalence motrice est également évidente dans une simple tâche spatiale. Un exemple frappant est le réflexe de nettoyage de la grenouille (Fukson, Berkinblit et Fel'dman, 1980). Bien que la position initiale du membre qui nettoie puisse varier, le mouvement de nettoyage est accompli avec succès. La bonne exécution est définie par le fait de «passer par dessus les endroits» du corps de la grenouille où la stimulation tactile est appliquée, i.e. là où en situation réelle, les insectes se seraient déposés sur le corps de la grenouille. Un autre exemple important de l'équivalence motrice, emprunté au contexte de la parole cette fois-ci, est issu du paradigme des perturbations de la mâchoire (Folkins et Abbs, 1975). Dans ce paradigme on demande à une personne de produire un mouvement de fermeture des lèvres en vue de prononcer [b] ou [p], et de façon soudaine et inattendue, le mouvement de la mâchoire est entravé par un mécanisme spécialisé. Néanmoins, dans ces conditions expérimentales l'occlusion des lèvres est exécutée de manière satisfaisante, même si le système articulatoire bénéficie de peu de temps pour se réorganiser.

La quête d'invariants moteurs est évidemment difficile à effectuer si elle doit rendre compte de ce type de données. Il n'est pas évident de déterminer quel aspect du mouvement devrait être considéré comme «stable»: est-ce que ce sont les soi-disant point-cibles, certaines jointures cruciales placées aux intersections de trajectoires articulatoires, des relations spatiales ou temporelles sous-jacentes à la définition de telles trajectoires? Il y a quelques années, Kelso et ses collaborateurs ont émis une proposition intéressante afin de réduire la variation de l'organisation temporelle de la parole. C'est de cette proposition dont il sera question maintenant.

3. Temps relatif dans le contexte d'un système de dispersion d'énergie

Dans la première moitié des années '80, Scott Kelso développe une proposition de grande portée théorique en ce qui concerne les aspects moteurs de la parole. Il n'est pas aisé de rendre justice à une approche aussi complexe que celle-ci en si peu de lignes. Malgré cela, l'ingénuité, la spécificité ainsi que le caractère testable

des aspects temporels de cette proposition peuvent être facilement appréciés. L'analyse de cette proposition (Kelso et coll, 1986) constitue un arrière plan fondamental pour la compréhension de ce papier.

Ce modèle rend compte du temps d'une manière indirecte. Tout d'abord deux ou plus mouvements coarticulés sont considérés être en relation mutuelle stable, n'importe le changement d'amplitude affectant ces mouvements (p. 39)¹. Par exemple, les mouvements de la lèvre supérieure sont considérés être en relation stable aux mouvements de la mâchoire. Dans la perspective de ces auteurs, la mesure temporelle des mouvements n'est pas absolue, i.e., n'est pas mesurée en millisecondes. Par une simple transformation métrique de certains termes des fonctions non linéaires décrivant les mouvements articulatoires, il serait possible de modéliser les mouvements plus rapides et plus lents². Le modèle prédit donc des relations de phases stables entre actions de différents articulateurs liées à la même tâche motrice. Quelque soit la vitesse du débit, le début d'un mouvement articulatoire A se produirait au même point dans la phase complète d'un mouvement B. Bien que ce point dans la *phase* serait stable, son point absolu serait variable dans le *temps*.

Ce rejet du temps absolu est tout à fait intentionnel. Kelso *et al.* utilisent une métaphore intéressante pour illustrer ce point. Ils disent qu'une chandelle brûle en temps absolu, mais que la vitesse de sa combustion dépend non du temps absolu mais de la grosseur de la bougie, de la température ambiante, du matériau de la bougie elle-même, etc. Le temps et la mesure temporelle sont donc, soit disant, «contenus» dans la vitesse de consommation de l'énergie, mais pas pour des périodes spécifiques de temps absolu.

Parallèlement, Kelso et al. rejettent la notion selon laquelle la parole est chronométrée par des circuits neuronaux particuliers («central pattern generators»). Puisque le temps est donné par les propriétés du système, il ne dépend pas de l'entrée d'une information neuronale centrale.

Un peu par accident, mes propres réflexions, mes recherches et mes lectures m'ont conduit à prendre une position tout à fait opposée à celle qui vient d'être décrite.

Plus précisément, il me semble que l'évidence contredit les deux aspects suivants de l'hypothèse de Kelso:

¹ Bien que la proposition de Kelso incorpore les concepts de l'approche des tâches dynamiques de Elliot Saltzman, il est important de noter que dans les papiers où il est l'unique auteur, Elliot Saltzman ne fait aucune hypothèse particulière sur la répartition dans le temps des différentes tâches à effectuer (E. S. Saltzman 1986). De plus, les récents modèles de Kelso prévoient, semble-t-il des manipulations précises de la mesure temporelle (K. Munhall, communication personnelle, 1979).

² Kelso et autres postulent de plus des limites sur la transformation métrique agissant sur les mouvements de transition, car ceux-ci requièrent une énergie excessive (voir aussi Nelson, 1983 et Nelson & coll., 1984). Mais cet aspect de la proposition de Kelso n'a pas de retombée immédiate pour notre discussion actuelle et sera donc mis de côté.

1- Sur de nombreux détails importants, l'hypothèse du temps relatif établit de fausses prédictions à propos de l'organisation temporelle de la parole (Keller, 1987c; Munhall, 1985).

2- La parole pathologique montre certaines évidences selon lesquelles la parole serait gouvernée du moins partiellement en regard du temps absolu (voir ci-dessous).

De plus leur proposition est insuffisante sur un certain nombre de points qui sont cruciaux pour notre compréhension de l'organisation temporelle de la parole. Les principales limitations, particulièrement embarrassantes pour leur hypothèse sont:

1- L'hypothèse d'un facteur temporel unique semble inadéquat pour rendre compte de la complexité de la parole humaine, en ce que les humains poursuivent, selon toute probabilité, plusieurs objectifs temporels simultanés en sus de leurs objectifs séquentiels.

2- De plus, dans une hypothèse «d'auto-consommation» (de «bougie brûlante»), axée uniquement sur les performances du système moteur, il n'existe aucune place pour rendre compte des codéterminants temporels non moteurs tels que les pauses syntaxiques, les allongements emphatiques etc.

4. Analyse empirique des prédictions de Kelso

Afin d'étayer leur proposition théorique, Kelso et al. ont fourni certaines données et évaluations statistiques, qui depuis lors ont été sujettes à une vérification singulièrement critique. L'espace ici ne nous permet qu'une description sommaire de cette prise de position et de ses critiques.

Les premières données furent rapportées par Tuller, Kelso et Harris (1982) et reanalysées par la suite par Tuller et Kelso (1984). Notre analyse se base sur le second rapport. Quatre locuteurs ont produit l'énoncé /bapab/, enchâssés dans une phrase porteur, et ceci à un rythme lent ou rapide. La moitié des émissions avait l'accent tonique placé sur la première syllabe et l'autre moitié placée sur la seconde. La mesure était de deux durées et impliquait deux enregistrements de mouvements séparés. Premièrement, le délai entre attaques successives des mouvements descendants pour les deux voyelles étaient mesuré par l'enregistrement du mouvement de la mâchoire (V1 et V2), ce que nous appellerons «la durée du cycle de la mâchoire». Deuxièmement, le délai interarticulatoire entre l'attaque du cycle de la mâchoire (V1) et l'attaque pour la seconde voyelle a été mesuré, et ceci au début du mouvement descendant de la lèvre supérieure lorsque s'amorce l'émission de l'occlusive labiale /b/ (LS). Nous appellerons ce délai V1 à LS «latence interarticulatoire». Ce 2e mouvement descendant de la lèvre supérieure survient approximativement au milieu du cycle de la mâchoire.

L'intérêt de choisir ces deux mesures de temps est que le mouvement de la lèvre supérieure est décalé dans le temps par rapport au mouvement cyclique de la mâchoire. La mâchoire étant l'articulateur le plus lourd il pourrait être tenu pour vrai, selon l'hypothèse de Kelso et al., que le décalage de temps entre les cycles de la mâchoire et de la lèvre établit une proportion stable pour le cycle de la mâchoire, quelque soit le patron d'accent tonique ou le débit. Si cela est vrai, cela supporterait l'hypothèse d'une relation de temps relative s'établissant entre les deux articulateurs.

Les auteurs ont rapporté des coefficients de corrélation de Pearson plutôt forts ($r = .84 - .97$) entre le cycle de la mâchoire et la latence interarticulatoire, ce qui confirme leur hypothèse. Néanmoins, plusieurs auteurs (Barry, 1985; Benoit, 1986; Munhall, 1985) ont indiqué qu'un certain degré de la proportion apparente s'établissant entre les deux durées est dû à un artefact statistique, lequel est lié aux corrélations du tout à la partie du calcul du temps relatif. En calculant ces corrélats, on doit s'assurer que les deux échantillons sont basés sur des mesures indépendantes, condition violée dans le cas présent puisque la durée du cycle de la mâchoire et celle de la latence interarticulatoire partagent un même point de mesure (l'angle gauche). Cependant, cet artefact n'explique pas la totalité de la corrélation. Lorsque Munhall (1985) a établi un facteur de compensation et a recueilli des mesures temporelles ultrasoniques qui étaient semblables à celles de Kelso et al., il a obtenu de nouveau des corrélations significatives. Munhall indique que les fortes corrélations peuvent, en fait, refléter qu'une variation du débit affecte nécessairement toutes les durées mesurables dans un seul geste articulatoire, étant donné que celui-ci est accompli par un ensemble coopératif (non indépendant) de muscles.

Une étude ultérieure entreprise dans notre laboratoire auprès de 12 sujets francophones (Keller 1987c) a confirmé pleinement ces soupçons. En fait, les variations induites par la manipulation de débit sont fort importantes et se répercutent sur l'ensemble de nos mesures de durée. En moyenne, la durée d'une syllabe [ka] en production rapide correspond à peu près au tiers de la durée pour la syllabe [ka] en mode conversationnel. Lorsque des corrélations servent à comparer la même mesure temporelle dans les deux conditions de débit, presque toute la variance mesurée a trait à l'imposante différence de durée induite par la manipulation du débit. En d'autres termes, on pourrait prendre un quelconque segment de temps mesurable de la syllabe, et parce que la syllabe subit une contraction massive en passant du débit conversationnel au débit rapide, une corrélation substantielle entre tous les mouvements de la musculature du conduit vocal supérieur serait pratiquement garantie. De telles observations ne sont donc pas des tests valides pour l'hypothèse d'une mesure relative. L'examen de l'hypothèse dans le cas de données prises séparément en condition lente et rapide devraient être un test plus puissant. Cependant, lorsque les données de cette sorte sont examinées, la relation de phase proposée se désintègre (Keller, 1987c).

Il existe d'autres réserves. Apparemment, l'étude est difficile à reproduire (Lubker 1986; Nittrauer et al. 1988). De même, dans une comparaison portant spécifiquement sur la variation des mesures de durée absolue et relative, les mesures relatives n'étaient pas plus stables (pas moins variables) que les mesures absolues (Keller 1987c). Finalement, une importante réévaluation de l'ensemble des études portant tant sur la parole que sur le contrôle moteur en général a montré que l'activité motrice exécutée à différents débits était en fait plus variable qu'elle ne l'était apparue de prime abord. En utilisant des mesures statistiques précises, Gentner (1987) a démontré qu'un pourcentage important des transformations supposément linéaires entre actions lentes et rapides, postulés au sein de nombreuses études, étaient statistiquement fausses. De façon globale, on peut dire que la vérification empirique de la proposition de la mesure temporelle relative est mal fondée aussi bien pour les études portant sur la parole que pour celles portant sur le contrôle moteur général. Des analyses plus poussées sont donc requises pour analyser l'organisation temporelle de la parole.

5. Le contrôle temporel exercé par le système nerveux central

5.1 PATHOLOGIES NEUROLOGIQUES DU CONTROLE TEMPOREL

On se rappelle que Kelso s'est inscrit expressément contre la notion que certaines structures neurologiques exercent un contrôle central sur l'organisation temporelle des événements de la parole. Dans une perspective de temps calqué sur la dissipation de l'énergie par la musculature, Kelso n'y a pas besoin de contrôle provenant de l'extérieur du système moteur. Cette solution élégante a l'avantage qu'elle évite les argumentations parfois difficiles impliquant le savoir provenant d'un domaine avoisinant.

Cependant, un certain nombre de travaux récents portant sur les perturbations neurologiques de la mesure temporelle des segments de parole alimentent la position voulant que le système nerveux central soit impliqué dans différents aspects du contrôle moteur de la parole. Si différents groupes de patients montraient des patrons opposés dans leurs perturbations neurologiques de la parole, et si en plus ces patrons s'inséraient dans un ensemble cohérent d'hypothèses, il serait difficile d'échapper à la conclusion que certaines structures neurologiques soient impliqués dans la gouvernance centrale des événements temporels à la périphérie. En fait, ceci est l'état qui se dessine de plus en plus clairement.

Depuis longtemps, il est connu que différents groupes de patients (aphasiques de Broca, des patients atteints de parkinsonisme ou de perturbations cérébelleux) montrent des atteintes distinctes du timing articulatoire. Cependant,

ce n'est que relativement récemment que ces perturbations ont été soumis à des mesures précises et à des évaluations statistiques à grande échelle. Pour illustration, nous retiendrons deux courants récents portant d'une part sur l'aphasie (lésion majoritairement corticale), et d'autre part sur les lésions impliquant le cervelet (lésion majoritairement sous corticale).

5.1.1. L'APHASIE DE BROCA

Les troubles moteurs de la parole dus à des lésions corticales pré-rolandiques ou de niveau infracortical se caractérisent par une lenteur excessive (discours laborieux) (se rapporter à Goodglass et Kaplan, 1972; Kent et MacNeill, 1987; Keller, 1987b). Par ailleurs, de tels patients montrent une lenteur excessive dans les transitions consonantiques (Luria 1966/1962) ainsi qu'une altération particulière dans les VOTs (Blumstein et al., 1981; Itoh et al., 1982; Shewan, Leeper et Booth, 1984³; Ziegler, 1987). Dans ce qui pourrait à première vue constituer un paradoxe, de tels patients montrent aussi des durées de voyelles fortement variables et anormalement courtes à l'intérieur de productions monosyllabiques (Duffy et Gawle, 1984).

Lorsque l'on prend en compte le contenu du traitement de la parole, les bases neurophysiologiques ainsi que l'information anatomique concernant la lésion on peut émettre l'hypothèse que de tels patients ont pour la parole une perturbation de la mémoire motrice pour les événements coarticulatoires de la parole (un «savoir instrumental acquis») (hypothèse formulée en détail dans Keller, 1987b). On peut envisager que l'aptitude de tels patients à programmer les relations spatiales et temporelles soit altérée. Dépourvus d'accès facile à la mémoire de quels événements musculaires sont à mettre en relation temporelle pour un mouvement coarticulé, ces patients seraient conduits à une structure anormale au niveau des délais temporels. Les patients seraient en lutte pour imposer un certain degré de coordination musculaire au groupe des 70 muscles et plus impliqués dans la parole.

Cette hypothèse se concilie également avec les résultats de recherche de Duffy et Gawle (1984). En effet, les segments vocaliques de la parole sont les segments les moins exigeants lorsqu'ils parviennent au stade de la coordination inter articulatoire. Il est donc possible que ces patients essaient «de gagner un peu de temps» en raccourcissant les durées des voyelles pour ensuite concentrer leurs efforts sur les transitions consonantiques mal maîtrisées.

Il est à noter que ces perturbations ne nous instruisent pas directement sur la controverse temps relatif/absolu, en ce qu'il est possible de rendre compte de ce trouble en termes à la fois du point de vue d'une hypothèse de temps relatif que de

³ L'étude de Shewan et coll. offre légèrement moins de soutien à cette tendance, compte tenu que dans cette étude seules les occlusives linguo-palatales sont affectées.

temps absolu. Dans Keller (1987b), en fait, j'argumente en faveur d'une conception relative. Toutefois, ces travaux posent la question de l'origine centrale ou périphérique de l'organisation temporelle. Si ces patients souffrent d'une perte systématique de contrôle sur des délais temporels bien spécifiques, cela signifie que ce contrôle doit être acquis, et ce par des structures corticales. D'après ces réflexions, les délais inter articulatoires ne sont pas uniquement une conséquence mécanique de la coordination coarticulatoire périphérique, mais doivent être acquis et contrôlés par des structures spécifiques du système nerveux central.

5.1.2. LES PERTURBATIONS CEREBELLEUSES DE LA PAROLE

Il existe un autre groupe de patients dont les déficits sont associés au problème d'organisation temporelle de la parole. Il s'agit des patients avec lésions cérébelleuses. Il se peut que leur déficit fournisse un argument particulièrement puissant en faveur de la régulation par le système nerveux de la mesure temporelle absolue. De tels patients montrent une irrégularité considérable dans des tâches diadochocinétiques (tapotement de doigts, production de syllabes répétés). Dans une étude en cours auprès de sujets avec atteinte probable du cervelet (ataxie de Friedreich), les syllabes répétées de type plosive-voyelle n'étaient pas produites à un rythme régulier. Il y a tantôt rallongement tantôt raccourcissement, et la variabilité (mesurée en log écarts-type/log moyenne) est systématiquement plus importante que celle obtenue chez les sujets normaux contrôles (fig. 1).

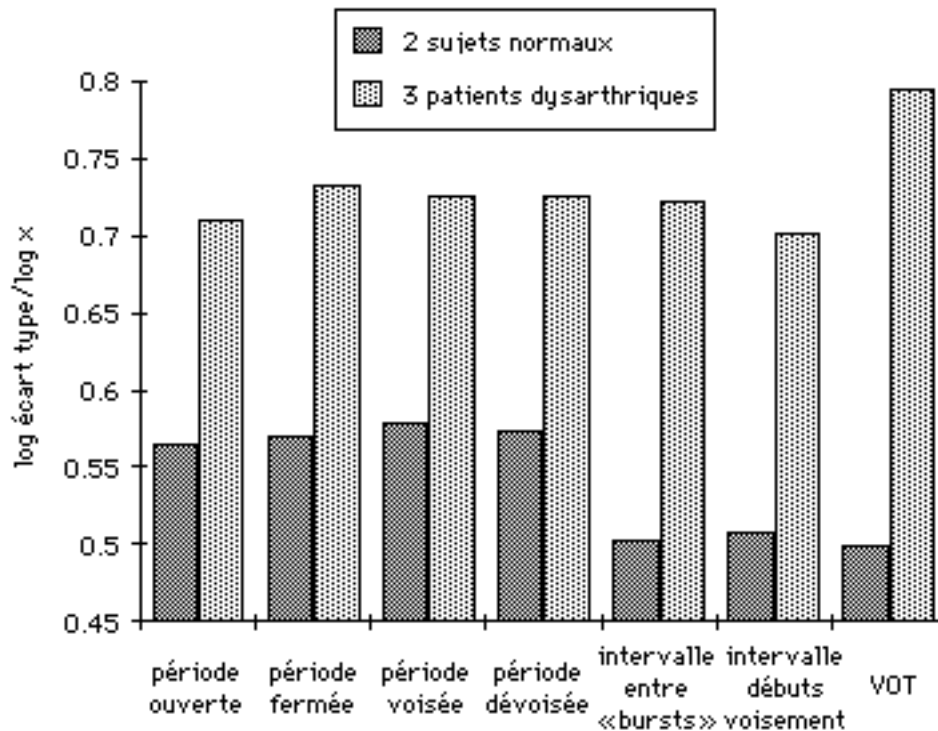
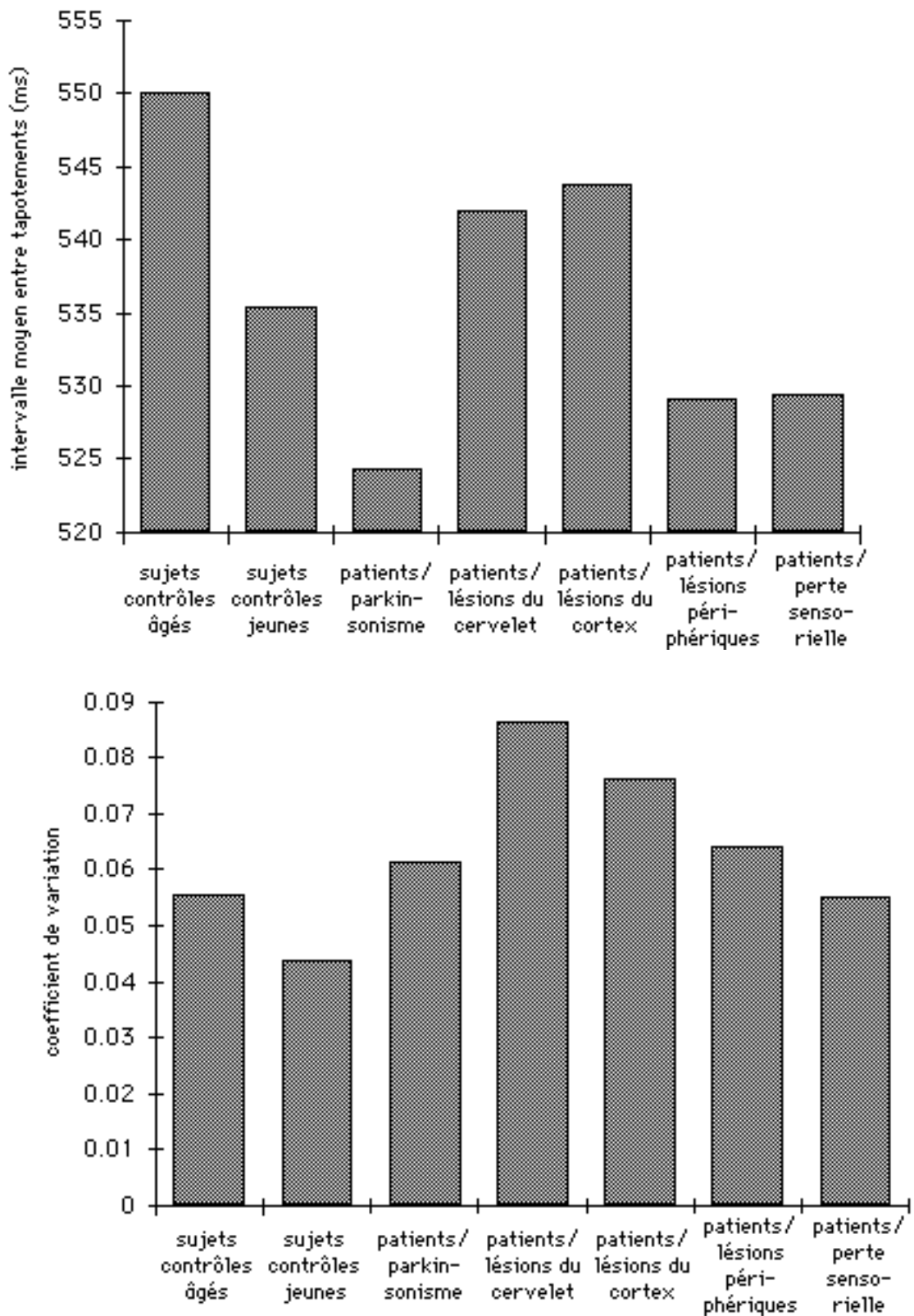


Fig. 1. Variabilité accrue de différents segments de syllabes répétées (p.ex., [papapa...]) en ataxie cérébello-spineuse (ataxie de Friedreich). Période ouverte/fermée: durée de l'ouverture/fermeture du conduit vocal supérieur. Période voisée/dévoisée: durée du voisement/dévoisement. Intervalle entre «bursts»: intervalle entre débuts de VOT. Intervalle débuts voisement: intervalle entre débuts du voisement pour voyelles subséquentes. A noter est la variabilité systématiquement plus importante des segments produits par des personnes avec dysarthrie. Les différences entre «périodes» et «intervalles/VOT» ne sont pas statistiquement fiables.

Ces résultats s'inscrivent en ligne droite avec les travaux antérieurs menés auprès de patients similaires (Grémy, Chevrie-Muller et Garde, 1967). Une comparaison de résultats obtenus à partir de tâches de contrôle moteur général (tapotements réguliers de doigts) montre que ces problèmes se généralisent au contrôle moteur des membres. Ivry et Keele (1989) ont trouvé que des patients avec lésion corticale et cérébelleuse effectuaient les mouvements les plus lents (il en est de même pour les sujets normaux âgés) ainsi que montraient la plus importante variabilité dans les délais inter mouvement (Figs. 2 et 3).



Figs. 2 et 3: Moyennes d'intervalles de tapotements et coefficient de variation (ét./moy.) portant sur les intervalles entre tapotements dans une tâche manuelle simple exécutée par divers groupes de sujets. Données issues de Ivry et Keele (1989).

Bien que ceci et d'autres données similaires soutiennent la notion d'une implication du système nerveux central dans le contrôle de l'organisation temporelle de la parole, il existe un contre-argument de taille. En effet, il est notoirement difficile de dissocier les déficits moteurs généraux des déficits spécifiques de l'organisation de la parole. Le ralentissement pathologique de la parole, par exemple, peut être dû à des effets secondaires résultant d'une désorganisation motrice primaire. Toutefois, des évidences expérimentales récentes ont porté un rude coup à cet argument, car il a été montré que suite à une telle lésion, la *perception temporelle* était affectée d'une façon comparable à la perturbation motrice. Ivry et Keele (1989) (fig. 4) ont mesuré la capacité à juger la distance existant entre deux signaux sonores de 1 kHz. Les attaques de la paire de référence étaient toujours espacées de 400 ms, alors que l'espacement pour les paires expérimentales variait entre 160 ms à 640 ms. Ils ont également mesuré la performance perceptuelle de divers degrés de sonorité s'échelonnant de 64.9 à 81.1 db.

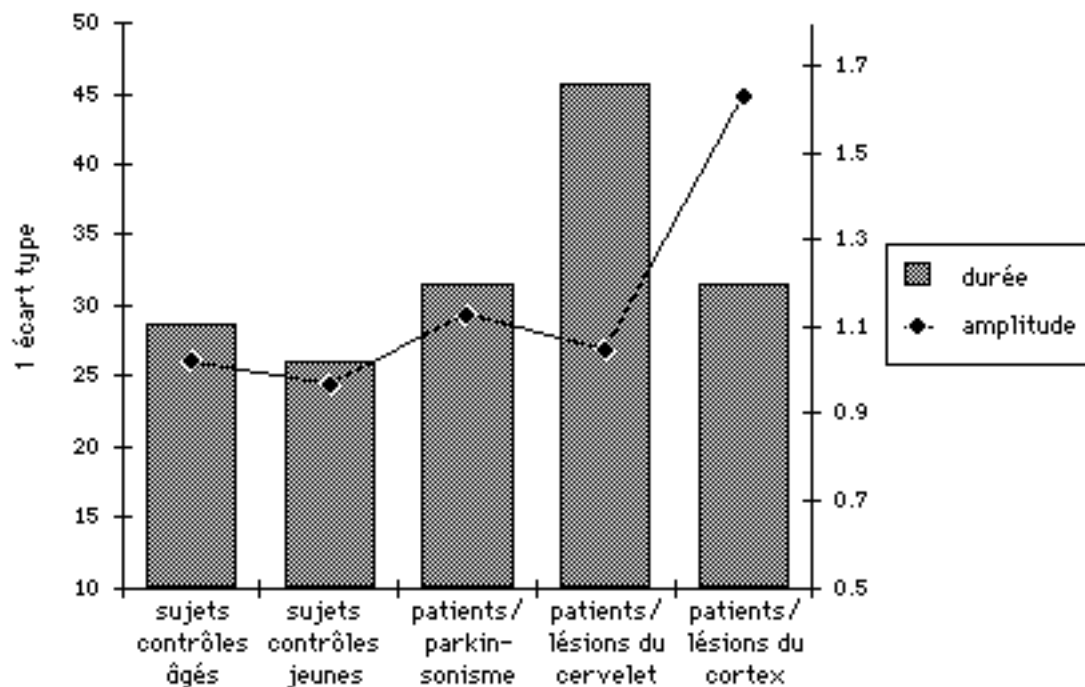


Fig. 4: Performance à deux tâches perceptuelles (durée et sonorité) chez des sujets normaux et des sujets cérébro-lésés (données issues de Ivry et Keele, 1989).

Dans la figure 4 on constate que les résultats portant sur la tâche de perception de la durée sont étroitement parallèles à ceux pour la tâche de tapotement; on y retrouve le même ordre de perturbation moyen. Sur un continuum ,allant de la pire performance à la meilleure, les groupes étudiés incluent: des personnes avec lésion cérébelleuse, des sujets avec lésion corticale et avec parkinsonisme, des

sujets normaux âgés et des sujets normaux jeunes. Par contre, l'affaiblissement de la performance à la tâche de perception de la sonorité est tout à fait différente, les patients corticaux étant les plus sévèrement touchés. La performance inférieure des patients cérébelleux est d'autant plus surprenante que rien dans la littérature ne permettait de s'attendre à ce que le cervelet soit impliqué dans le jugement de la durée⁴.

Cette démonstration d'un affaiblissement des jugements portés sur une mesure temporelle suggère une interprétation où les perturbations cérébelleuses de l'organisation temporelle de la parole sont indépendantes des effets généraux de lésion motrice. Puisqu'il est difficile d'argumenter en faveur d'une conception de temps relatif dans le domaine purement perceptuel (relatif à quoi, sinon le passage du temps lui-même?), il est possible que les difficultés d'organisation temporelle suite à des lésions cérébelleuses soient reliées à une perturbation de jugement opératoire du temps absolu, plutôt qu'aux effets secondaires de la désorganisation motrice. Si ces résultats peuvent être dupliqués, alors ils fourniraient la démonstration que le système de contrôle moteur de la parole opère, en partie du moins, par référence au temps absolu.

5.2. GENERATEURS CENTRAUX DE PATTERNS?

Le papier précité de Kelso et al. (1988) a rejeté l'idée de générateurs centraux de patterns («central pattern generators») comme fondement de l'organisation temporelle de la parole. Il est donc important d'aborder brièvement cette hypothèse dans ce contexte. Les générateurs centraux sont des réseaux de cellules nerveuses qui activent des motoneurones de façon sérielle et rythmique. On en trouve dans un nombre imposant de systèmes neuronaux. Au sein de tels réseaux les neurones qui s'excitent à des seuils précis sont connus comme «des cellules stimulatrices». Par exemple, la moëlle épinière de chats décérébrés contient un réseau suffisamment sophistiqué pour initier et sérier les actions impliquées dans la marche (Shik et al., 1966). Ces réseaux ne sont pas de simples générateurs de pulsation, ainsi que certains le pensent. Grillner (1986) récapitule la position selon laquelle ces réseaux modifieraient la performance motrice périphérique dépendant du type d'action requise (différents types de reflexes de grattage ou de mouvements locomoteurs). Des démonstrations à partir de criquets indiquent que l'impulsion sensorielle provenant de la périphérie peut moduler la production rythmique de pulsations de ces générateurs.

En situation de parole, la notion de mesure temporelle induite par générateur central a atteint une certaine popularité à la fin des années 60, lorsque

⁴ L'implication du cervelet dans l'organisation temporelle du mouvement et de ses déficits est bien connue tel qu'en témoignent certaines tentatives qui en rendent compte en termes de modèles neurophysiologiques (Braitenberg 1967; Kornhuber, 1974).

le champ d'activité de 4.5 Hz dans le noyau ventro-latéral du thalamus a été mis en relation avec le tremblement parkinsonien de façon expérimentale (Hassler et al., 1970). Etant donné que le thalamus, partie intégrante de la boucle cortico-thalamique/cortico-basale, semble impliqué de manière cruciale dans la programmation de l'action motrice; et étant donné que la parole des patients parkinsoniens est également affectée par le tremblement et par une exécution motrice de la parole ralentie (Darley, Aronson et Brown, 1975, p. 190), un lien causal a été postulé entre les aspects rythmiques de la production normale de la parole et cette pulsation neuronale centrale.

Cependant, de plus récentes recherches portant sur l'origine du tremblement tant normal que pathologique a jeté un doute quant au bon sens de vouloir appliquer au discours normal les explications valant pour le comportement moteur anormal des patients parkinsoniens. Bien qu'il se peut que l'activité rythmique soit inhibée dans le thalamus de manière insuffisante ou fortement anormale et qu'elle contribue à désorganiser l'organisation temporelle de la parole chez le patient avec parkinsonisme, il ne coule pas de source que cette même activité soit responsable de la parole chez le sujet normal. Les rythmes (dont la fréquence fondamentale est de 4-5 Hz, mais avec des fréquences composées pouvant atteindre 12 Hz) sont difficilement mis en relation avec les phénomènes de l'organisation temporelle de la parole. Comme nous l'avons vu auparavant, la parole normale requiert semble-t-il des jugements de mesure temporelle absolus, qui ne couvre pas nécessairement des périodes multiples de la fréquence fondamentale. De plus, sujets normaux et sujets cérébrolésés (Braun et al., 1985) peuvent facilement dans des tâches diadochocinésiques dépasser l'étendue des 4-5 Hz. Certains auteurs de surcroît, soutiennent que la cause neurophysiologique du tremblement n'a rien à voir avec l'activité du générateur central. Cela peut être associé aux effets, amplifiés au niveau central, de l'impulsion désordonnée des muscles fuséiformes, sans être lié directement au contrôle central des mouvements sériés et coordonnés (Freund et Dietz, 1978).

En résumé, les démonstrations issues de la neuropathologie du langage défend l'idée d'une différenciation au niveau du système nerveux pour l'organisation temporelle de la parole. Les structures corticales peuvent être envisagées comme responsables de l'acquisition de la coordination coarticulatoire, tandis que les structures cérébelleuses imposeraient tant à la perception qu'à la production de la parole, des jugements opératoires de durée absolue. D'un autre côté, alors que personne ne remet en question l'existence de générateurs centraux au sein des structures reliées à la plus haute organisation neuronale, ni même la présence de cellules stimulatrices chez les humains (possiblement responsables des rythmes respiratoires et cardiaques), il n'existe actuellement aucun lien solide entre les générateurs centraux et l'organisation temporelle de la parole.

6. Une approche alternative: expliquer la variance dans le cadre des objectifs multiples de la communication

Au début de cet article, nous avons rapidement passé en revue les approches basées sur la quête d'invariants. Considérant la difficulté à identifier de façon satisfaisante les «bons» ou «uniques» invariants de l'organisation temporelle, il est légitime de se demander si la question a été bien posée. Au lieu de satisfaire une succession d'objectifs articulatoires uniques, il est possible que le système de production de la parole tente de satisfaire un nombre d'objectifs concurrentiels. Parmi ces derniers, certains seraient de nature articulatoire, d'autres d'ordre psycholinguistique, et encore d'autres auraient leur origine dans les stratégies communicatives du locuteur. La suite du papier trace les grandes lignes de la manière dont on pourrait entreprendre les recherches sur l'organisation temporelle de la parole dans le contexte d'une approche psycholinguistique beaucoup plus large, c'est-à-dire une approche à objectifs temporels multiples et concurrentiels.

Dans l'identification de ces objectifs, la première étape consiste à identifier les bons critères de succès d'une tâche de production de la parole. Prenons une communication type s'établissant entre une tour de contrôle et un pilote. Le critère de succès ultime de cette communication est bien entendu une régulation précise du trafic. Mais le succès se mesure également par des critères subsidiaires tels que un juste équilibre entre débit et clarté d'expression, un bon échelonnage de phrases correctes, un respect des règles régissant le tour de parole, une bonne compréhension des messages transmis. Chaque critère subsidiaire de succès implique sa propre exigence en termes de l'organisation temporelle et certaines de ces exigences peuvent se retrouver en mutuelle compétition. Dans des conditions de bruit, il existe également des raisons pour penser que les locuteurs structurent leur discours en fonction de leur prévision de ce que peut entendre l'interlocuteur. Par conséquent, une analyse méthodique de l'organisation temporelle de la parole devrait obligatoirement passer par l'analyse des *critères de succès* de la communication.

Toutefois, les critères de succès n'épuisent pas les prédicteurs des mesures temporelles de la parole. Les *contraintes* agissant sur les différents systèmes de génération, transmission et réception de la parole semblent également intervenir dans l'organisation temporelle. Dans notre exemple, les contraintes ayant trait au système de *transmission* et à *l'environnement* recouvrent: les limitations inhérentes au canal acoustique (p.ex., présence de bruit), au temps disponible pour fournir des réponses, ainsi qu'aux activités parallèles se déroulant dans la tour et dans la cabine de pilotage. Au niveau du système de *production et de réception*, les contraintes incluent les limites de vitesse de l'organisation linguistique et cognitive, le niveau de familiarité pour les procédures de communication aérospatiale, les capacités linguistiques, etc.

Tributaire du statut de chacune des variables de succès et de contrainte, l'exécution motrice d'un même énoncé varie entre formes rapides et lentes. Cette hypothèse est facilement vérifiée. Si ces variables sont reliés systématiquement à l'organisation temporelle de la parole, la durée des divers segments de la parole devrait être prévisible à partir de l'interaction dynamique des facteurs de succès et de contrainte. D'après ce point de vue, ce n'est donc pas une invariabilité théorique qui se cache sous le couvert d'erreur de mesure et d'imprécision articulatoire. Au contraire, la variabilité serait théoriquement prédite comme la manifestation inévitable et concomitante d'un comportement communicatif co-déterminé à tout moment par un ensemble important de facteurs.

6.1 L'ECHANGE COMPETITIF ENTRE CLARTE ET VITESSE

Un sous ensemble de ces divers prédicteurs de l'organisation temporelle est esquissé dans le tableau I. Les deux prédicteurs moteurs et perceptuels sont dépeints comme de potentiels compétiteurs puisqu'il est possible que le même mot soit sujet à des demandes concurrentielles entre un rallongement qui favorise la clarté perceptuelle et un raccourcissement dû à un débit rapide.

TABLEAU I

Schéma de communication hypothétique, effets linguistiques et effets de mesure temporelle motrice en production de la parole (indépendant des contraintes de tâches et du système)

EFFETS PSYCHOLINGUISTIQUES	EFFETS MOTEURS ET PERCEPTUELS
tour de parole emphase sémantique frontières syntaxiques règles d'accentuation ...	compétition entre la clarté perceptuelle et la vitesse de transmission ...

Cette compétition a trait à un phénomène classique de la phonétique qui est celui de la réduction de la voyelle en production rapide, mesurable au niveau des formants comme centralisation dans le triangle vocalique, et résumé par le terme anglais de «undershoot» (traduction libre: «action écourtée qui n'atteint pas sa cible») (Lindblom, 1963). Notons que ceci suppose la notion d'une cible vocalique «invariable» sous jacente, c'est-à-dire, une cible qui se définit de façon unique. Dans cette conception, tous les membres de la famille de productions ayant trait à

cette cible sont censés être des performances plus ou moins incomplètes ou partielles digirées vers une cible idéale.

Il est intéressant à noter que Lindblom lui-même reconnaît aujourd'hui qu'un concept de cible invariante n'est pas empiriquement tenable et qu'il a redéfini la question sous forme d'une différenciation entre formes de parole «hyper» (produites avec beaucoup d'effort et clarté) et «hypo» (produites avec moins d'effort ou clarté) (Lindblom, sous presse). Il semblerait que le cadre théorique dessiné ci-dessus pourrait servir à mieux définir la question. En particulier, une reformulation de la question sous son angle de la compétition entre besoins moteurs et perceptuels offre des possibilités.

Une étude pertinente dans ce contexte est celle de Keller (1989). Nous avons exploré deux variables de temps reconnues pour leur capacité à prédire les divers segments de la syllabe. La première était un estimateur de débit, la seconde un estimateur de délai interarticulaire. Il y avait des estimateurs séparés pour chacun des 12 sujets et 4 conditions qui étaient débits lent/rapide et production répétée/enchâssée.

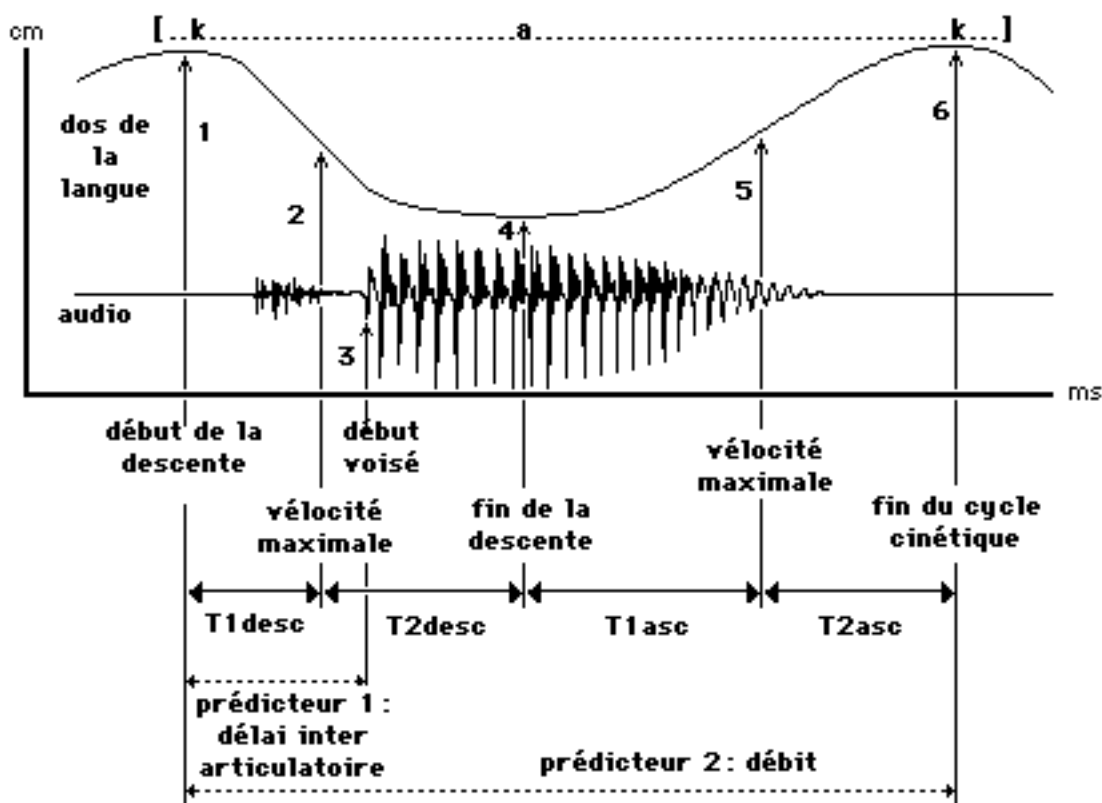


Fig. 5. Mesures temporelles définies dans Keller (1989). Production de [ka] répété, mesure verticale du mouvement du dos de la langue (haut), tracé acoustique (bas). Les deux prédicteurs, déduits de moyennes par sujet et conditions, sont utilisés pour prédire l'ensemble des mesures de durée des quatre segments du cycle linguistique.

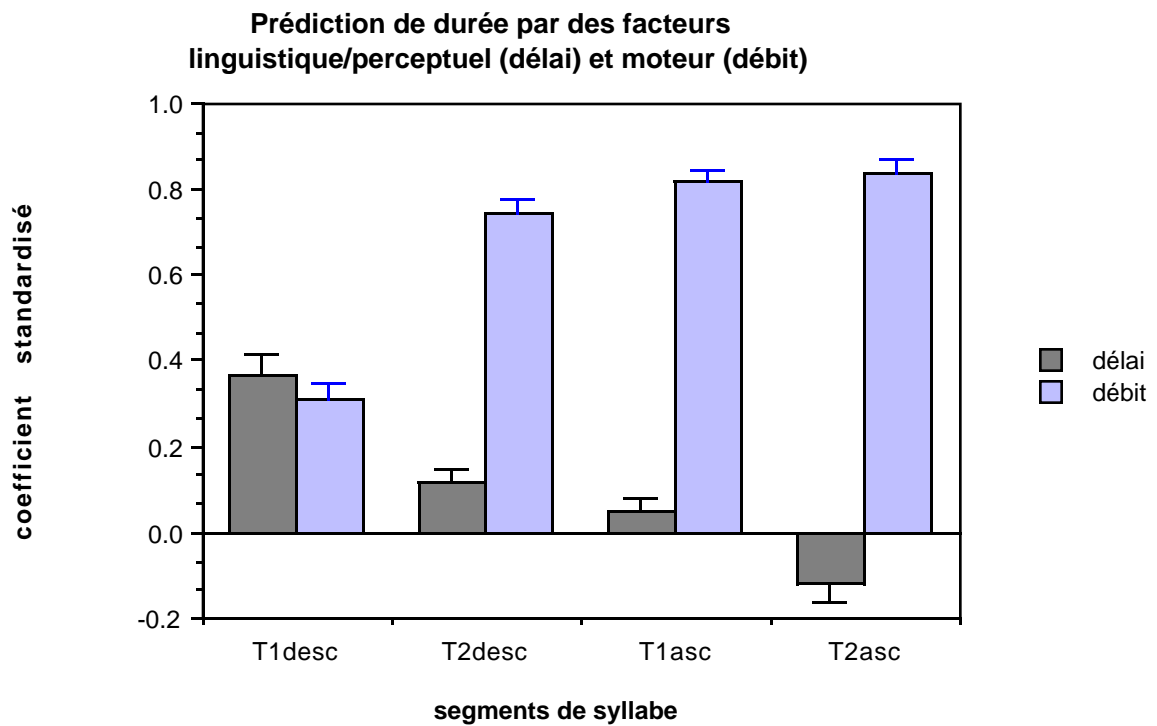


Fig. 6. Prédiction des quatre segments du cycle lingual dans la production de [ka] répété. Une proportion importante de la variance de la partie initiale de la syllabe est prédite conjointement par les deux prédicteurs, tandis que la variance des trois autres segments de la syllabe est prédite presque exclusivement par le débit.

On peut postuler que le paramètre de débit correspond à un paramètre moteur général, puisqu'il correspond conceptuellement au rythme qu'on peut imposer à n'importe quelle activité motrice (telle la marche, un tapotement du doigt, etc.). Par contre, le délai inter articulatoire en début de syllabe incorpore une information de distinction linguistique perceptuelle, étant donné qu'il est fortement relié au VOT qui en français sert à distinguer des phonèmes plosives. Selon les prédictions du modèle précité, ces deux prédicteurs devraient entrer en compétition par rapport à la partie initiale de la syllabe. De fait, l'étude a montré que la durée de l'attaque vocalique était prédite avec fiabilité par la *combinaison* de ces deux variables indépendantes. Par contre, les parties vocaliques mitoyenne et finale de la syllabe étaient mieux prédites par le paramètre de débit. Voici donc un excellent exemple de la nature rivale de deux tâches objectives qui sont respectivement le débit et la clarté perceptuelle.

En employant la même banque de données il est possible d'entreprendre un autre test de l'hypothèse de prédicteurs compétitifs. S'il existe une compétition à l'intérieur du système pour les demandes de production de vitesse d'une part et de clarté perceptuelle d'autre part, on peut pour des conditions de discours conversationnel, s'attendre à ce que les deux demandes se concilient relativement facilement. Après tout, il reste suffisamment de temps pour satisfaire l'ensemble des objectifs temporels du système. En revanche, pour la condition de discours rapide on peut prévoir que les deux demandes entrent en compétition. Ceci aurait

des conséquences pour la durée des mouvements des organes impliqués dans ces articulations (p.ex., pour le mouvement descendant de la langue, pour la transition d'un [k-a]). En situation conversationnelle et non compétitive on peut postuler des corrélations mineures s'établissant entre le temps et le déplacement, tandis qu'en situation compétitive la contrainte temporelle aurait la prééminence sur le déplacement. Par conséquent, nous prévoyons obtenir en situation conversationnelle une faible corrélation entre le déplacement et la durée, et dans la condition de débit rapide, une forte corrélation.

Les résultats⁵ (figs. 7 et 8) confirment pleinement la prédiction par un r de .306 pour le [ka] conversationnel (df. 252, $p < .0001$)⁶ et par un r de .761 pour le [ka] rapide (df. 593, $p < .0001$). C'est en situation rapide que les deux demandes temporelles entrent en concurrence, ce qui entraîne de toute évidence des mouvements articulatoires qui sont davantage sous gouverne du temps disponible qu'en situation conversationnelle.

De façon générale l'hypothèse d'une relation concurrentielle entre demandes articulatoires et perceptuelles se trouve donc confirmée par les données que nous venons d'examiner. Il en va de même pour la notion de poursuite d'objectifs multiples et simultanés. Il semblerait que cette redéfinition des concepts offre de nouvelles perspectives au problème posée par Lindblom par rapport au «undershoot» et plus récemment, par rapport à la parole «hyper» et «hypo». Dans cette conception des événements, il ne s'agit pas de trouver une seule et unique transformation s'appliquant à un élément idéal sous-jacent; au contraire, il faudrait comprendre l'interaction entre différents objectifs poursuivis par un locuteur, et les différentes contraintes agissant sur l'exécution d'une action articulatoire, et ce, pour mieux comprendre les durées particulières s'établissant dans différents segments de la parole.

7. Conclusion

Cet examen critique concernant certaines questions centrales pour l'organisation temporelle de la parole a débouché sur des propositions et conclusions qui sont autant de nouvelles orientations pour la connaissance phonétique ainsi que pour l'exercice de l'analyse:

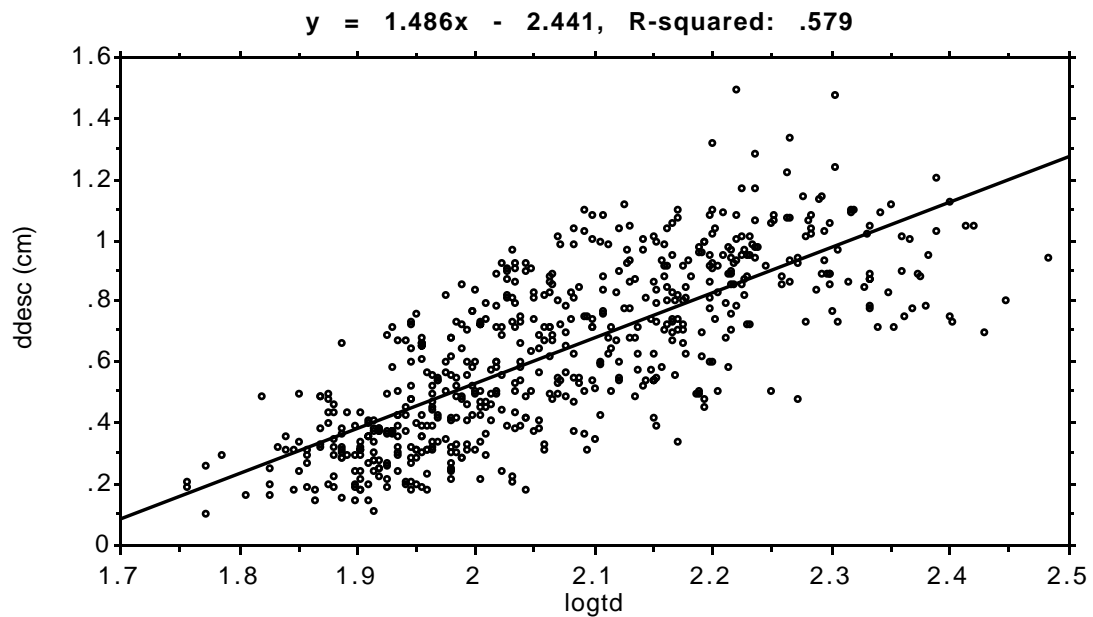
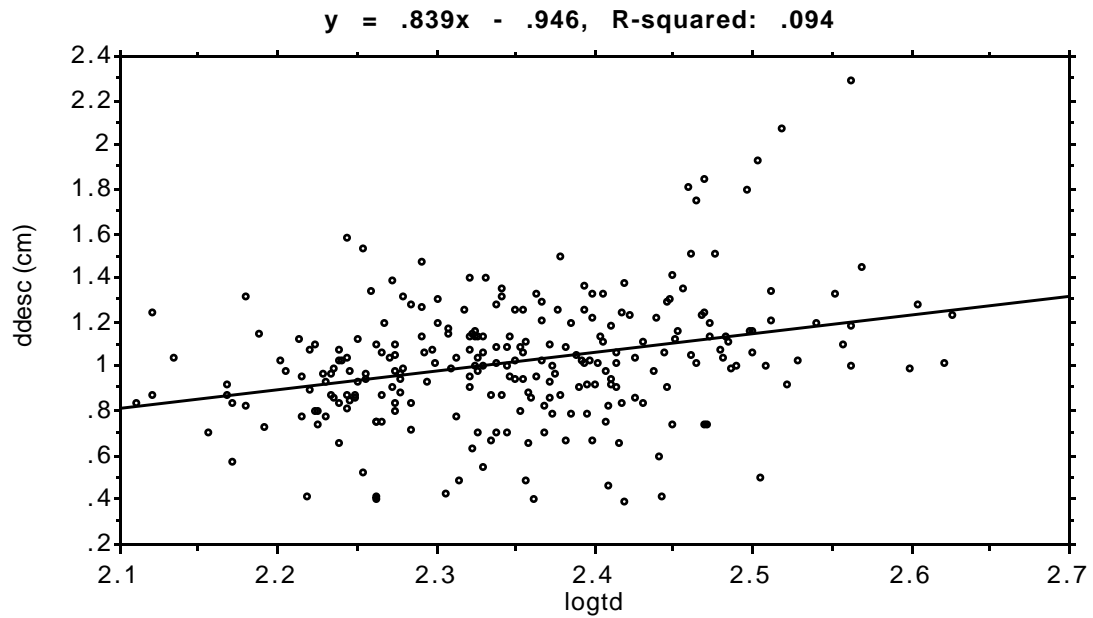
1. Contrairement aux propositions formulées il y a plusieurs années par Kelso et al., il existe des démonstrations à l'effet que l'organisation temporelle de la parole utiliserait l'information en temps absolu. Certaines évidences montrent que cette information peut être minimalement modulée par le cortex et le cervelet.

⁵ On a employé le log du temps afin de pouvoir travailler avec des corrélations linéaires.

⁶ De façon alternative, on peut argumenter concernant cette corrélation, que la même variable sous-jacente contrôle à la fois le déplacement et la durée. Cette interprétation accrédirait que pour les objectifs concurrentiels les variables spatiale et temporelle soient contrôlées par la même variable sous-jacente.

2. Etant donné la difficulté théorique et empirique à identifier les invariants de l'organisation temporelle, il serait préférable de chercher à identifier de bons agents de prédiction (parfois compétitifs) de différents segments de la parole.

3. La relation d'échanges compétitifs s'instaurant entre les objectifs de clarté perceptuelle d'une part et de vitesse de transmission d'autre part est accréditée par les résultats d'un certain nombre de tests. Cette conception atteste que la tâche motrice de la parole s'effectue au moyen d'une poursuite d'objectifs multiples et simultanés.



Figs. 7 et 8: La relation des log 10 en ms du mouvement descendant pour [ka] en condition répétée(logtd) et le déplacement pour le même mouvement (ddesc). En haut: débit en mode conversationnel, en bas: débit rapide. La corrélation linéaire entre les deux variables est deux fois plus forte pour le débit rapide.

Remerciements

Ces travaux sont en partie soutenus par des fonds provenant de Conseil National de Recherche Scientifique et de Génie, Canada, Conseil de Recherche Médicale, Canada, FCAR, Québec et F.O.D.A.R., Université du Québec (partagés avec J. Rouat, UQAC), et de fonds de coopération internationale provenant du Conseil de Recherche du Canada avec l'ICP, Université de Grenoble, France. Je remercie Frédérique Gardye pour la traduction d'un texte anglais sur lequel une première version du présent texte fut basé. L'accès aux patients avec lésion cérébelleuse et spino-cérébelleuse a été rendu possible par le Dr. M. Botez, Hôtel-Dieu de Montréal. L'analyse manuelle des ondes acoustiques fut prise en charge par Martine Laframboise et Patrick Vigneux que je remercie également.

Références

- Barry, W.J. (1983). Some problems of interarticulator phasing as an index of temporal regularity in speech. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9, 826-828.
- Benoit, C. (1986). Note on the use of correlations in speech timing. *Journal of the Acoustical Society of America*, 80, 1846-1849.
- Blumstein, S.E., Cooper, W.E., Goodglass, H., Statlender, S., & Gottlieb, J. (1980). Production deficits in aphasia: A voice onset time analysis. *Brain and Language*, 9, 153-170.
- Bolinger, D.L. (1965). Pitch accent and sentence rhythm. In *Forms of English: Accent, Morpheme, Order*. P. 163 ff. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Braitenberg, V. (1967). Is the cerebellar cortex a biological clock in the millisecond range? *Progress in Brain Research*, 25, 334-346.
- Braun, C.M.J., Duguay, M., Robitaille, M., & Daignault, S. (1985). Effets d'une thérapie de relaxation sur les symptômes physiques, la performance motrice et le niveau d'anxiété de personnes atteintes de sclérose en plaques. *Revue de modification du comportement*, 15, 176-187.
- Darley, F.L., Aronson, A.E., & Brown, J.R. (1975). *Motor Speech Disorders*. Philadelphia: W.B. Saunders.
- Duffy, J.R., & Gawle, C.A. (1984). Apraxic speakers' vowel duration in consonant-vowel-consonant syllables. In J.C. Rosenbek, M.R. McNeil, & A.E. Aronson (Eds.), *Apraxia of Speech* (pp. 167-196). San Diego, CA: College-Hill.

- Folkins, J.W., & Abbs, J.H. (1975). Lip and jaw motor control during speech: Responses to resistive loading of the jaw. *Journal of Speech and Hearing Research, 18*, 207-220.
- Freund, H.J., & Dietz, V. (1978). The relationship between physiological and pathological tremor. In J.E. Desmedt (ed.), *Progress in Clinical Neurophysiology, Volume 5* (pp. 66-89). Basel: Karger.
- Fukson, O.I., Berkinblit, M.B., & Fel'dman, A.G. (1980). The spinal frog takes into account the scheme of its body during the wiping reflex. *Science, 209*, 1261-1263.
- Gentner, D.R. (1987). Timing of skilled motor performance: Tests of the proportional duration model. *Psychological Review, 94*, 255-276.
- Goodglass, H., & Kaplan, E. (1972). *The assessment of aphasia and related disorders*. Philadelphia: Lea & Febiger.
- Gopal, H.S., & Syrdal, A.K. (1988). Effects of speaking rate on temporal and spectral characteristics of American English vowels. *Speech Communication Group Working Papers, VI*, 162-180. (Research Laboratory of Electronics, Massachusetts Institute of Technology).
- Grémy, F., Chevrie-Muller, C., & Garde, E. (1967). Étude phoniatrique clinique et instrumentale des dysarthries. *Revue Neurologique, 116*, 401-426.
- Grillner, S. (1986). The transfer of terminology from one field to another may be hazardous and counterproductive for interdisciplinary interaction. *Journal of Phonetics, 14*, 109-110.
- Hassler, R., Mundinger, F., & Riechert, T. (1970). Pathophysiology of tremor at rest derived from the correlation of anatomical and clinical data. *Confinia Neurologica, 32*, 79-87.
- Hebb, D.O. (1949). *Organization of Behavior*. New York: John Wiley & Sons.
- Hull, C.L. (1934). *Principles of behavior: An introduction to behavior theory*. New York: Appleton-Century.
- Itoh, M., Sasanuma, S., Tatsumu, I.F., Murakami, S., Fukusako, Y., & Suzuki, T. (1982). Voice onset time characteristics in apraxia of speech. *Brain and Language, 17*, 193-210.
- Ivry, R.B., & Keele, S. (1989). Timing functions of the cerebellum. *Journal of Cognitive Neuroscience, 1*, 136-152.
- Keller, E. (1987a). Factors underlying tongue articulation in speech. *Journal of Speech and Hearing Research, 30*, 223-229.
- Keller, E. (1987b). The representation of motor processes of speech. In E. Keller & M. Gopnik (Eds.), *Motor and Sensory Processes of Language*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Keller, E. (1987c). The variation of absolute and relative measures of speech activity. *Journal of Phonetics, 15*, 335-347.
- Keller, E. (1989). Predictors of subsyllabic durations in speech motor control. *Journal of the Acoustical Society of America, 85*, 322-326.

- Kelso, J.A.S., Saltzman, E.L., & Tuller, B. (1986). The dynamical perspective on speech production: Data and theory. *Journal of Phonetics*, 14, 29-59.
- Kent, R.D., & McNeil, M.R. (1987). Relative timing of sentence repetition in apraxia of speech and conduction aphasia. In J.H. Ryalls (ed.), *Phonetic Approaches to Speech Production in Aphasia and Related Disorders* (pp. 181-220). San Diego, CA: College-Hill.
- Kornhuber, H.H. (1974). Cerebral cortex, cerebellum and basal ganglia: An introduction to their motor functions. In F.O. Schmitt & F.G. Wordern (Eds.), *The Neurosciences*, vol. 3 (pp. 267-280). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Lashley, K.S. (1942). The problem of cerebral organization in vision. In Klüver, H. (ed.), *Visual mechanisms. Biological Symposia*, 7, 301-322.
- Lea, W.A. (1974). *Prosodic aids to speech recognition: IV. A general strategy for prosodically-guided speech understanding*. Univac Report No. PX10791. St. Paul, MN: Sperry Univac, DSD.
- Lehiste, I. (1977). Isochrony reconsidered. *Journal of Phonetics*, 5, 253-263.
- Lindblom, B. (sous presse). Explaining Phonetic Variation: A Sketch of the H&H Theory». In W.J. Hardcastle & A. Marchal (Eds.), *Speech Production and Speech Modeling*. Dordrecht: Kluwer.
- Lindblom, B.E.F. (1963). Spectrographic study of vowel reduction. *Journal of the Acoustical Society of America*, 35, 1773-1781.
- Lubker, J. (1986). Articulatory timing and the concept of phase. *Journal of Phonetics*, 14, 133-137.
- Luria, A.R. (1966). *Higher cortical function in man* (B. Haigh, Trans.). New York: Basic Books. (Original work published in 1962).
- Munhall, K.G. (1985). An examination of intra-articulatory relative timing. *Journal of the Acoustical Society of America*, 78, 1548-1553.
- Munhall, K.G. (1989). Articulatory variability. In Paula Storer (Ed.), *Acquired apraxia of speech in aphasic adults*. London: Taylor & Francis.
- Nelson, W.L. (1983). Physical principles for economies of skilled movements. *Biological Cybernetics*, 46, 135-147.
- Nelson, W.L., Perkell, J.S., & Westbury, J.R. (1984). Mandible movements during increasingly rapid articulations of single syllables: Preliminary observations. *Journal of the Acoustical Society of America*, 75, 945-951.
- Nittrauer, S., Munhall, K., Kelso, J.A.S., Tuller, B., & Harris, K.S. (1988). Patterns of interarticulator phasing and their relation to linguistic structure. *Journal of the Acoustical Society of America*. 84, 1653-1661.
- O'Connor, J.D. (1965). The perception of time intervals. *Progress Report 2*, Phonetics Laboratory, University College, London, 11-15.
- O'Connor, J.D. (1968). The duration of the foot in relation to the number of component sound-segments. *Progress Report 3*, Phonetics Laboratory, University College, London, 1-6.

- Pike, K.L. (1945). *The Intonation of American English*. Ann Arbor, MI: University of Michigan Press.
- Saltzman, E. (1986). Task dynamic coordination of the speech articulators: A preliminary model. *Experimental Brain Research Series* (Springer-Verlag), 15, 130-144.
- Shen, Y., & Peterson, G.G. (1962). Isochronism in English. University of Buffalo, Studies in Linguistics. *Occasional Papers*, 9, 1-36.
- Shewan, C.M., Leeper, H.A., & Booth, J.C. (1984). An analysis of voice onset time (VOT) in aphasic and normal subjects. In J.C. Rosenbek, M.R. McNeil, & A.E. Aronson (Eds.), *Apraxia of Speech* (pp. 197-220). San Diego, CA: College-Hill.
- Shik, M.L., Severin, F.V., & Orlovskii, G.N. (1966). Control of walking and running by means of electrical stimulation of the mid-brain. *Biophysics*, 11, 756-765.
- Tolman, E.C. (1932). *Purposive behavior in animals and men*. New York: Century.
- Tuller, B., & Kelso, J.A.S. (1984). The timing of articulatory gestures: Evidence for relational invariants. *Journal of the Acoustical Society of America*, 71, 1030-1036.
- Tuller, B., Kelso, J.A.S., & Harris, K.S. (1982). Interarticulator phasing as an index of temporal regularity in speech. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8, 460-472.
- Uldall, E.T. (1972). Relative durations of syllables in two-syllable rhythmic feet in R.P. in connected speech. *Work in Progress*, 5, 110-111. Edinburgh University Department of Linguistics.
- Ziegler, W. (1987). Phonetic realization of phonological contrast in aphasic patients. In J.H. Ryalls (Ed.), *Phonetic Approaches to Speech Production in Aphasia and Related Disorders* (pp. 163-179). San Diego, CA: College-Hill.