

Keller, E. (1987). Mesures ultrasoniques des mouvements du dos de la langue en production de la parole: Aspects cliniques. *Folia Phoniatica*, 39, 52-62.

**Mesures ultrasoniques des mouvements du dos de la langue  
en production de la parole: Aspects cliniques  
(Ultrasound measurements of tongue dorsum movements  
in speech production: Clinical aspects)**

Eric Keller  
Centre de recherche,  
Centre Hospitalier Côte-des-Neiges  
et  
Université du Québec à Montréal

**Running head:** Mesures ultrasoniques de la langue

Adresse de correspondance:  
Eric Keller, Ph.D.  
Centre de recherche  
Centre Hospitalier Côte-des-Neiges  
4565 Queen Mary, Montreal, QC H3W 1W5 Canada  
Tél. (514) 340-3540

## **LE RÉSUMÉ**

Récemment, nous avons établi une instrumentation destinée à l'évaluation de la psychomotricité de la parole chez des personnes souffrant (potentiellement) de lésions cérébrales. Au moyen d'enregistrements ultrasoniques des mouvements verticaux du dos de la langue, il est possible d'évaluer systématiquement plusieurs aspects de la perturbation. En nous référant à des cas de maladie de Parkinson, de démence sénile et de bégaiement, nous illustrons la pertinence des variables de l'étendue et de la régularité du déplacement de la langue, de la durée du mouvement et de la coordination inter-articulatoire.

## **ABSTRACT**

We have recently developed an instrumentation for the evaluation of speech motor disturbances in patients with (potential) cerebral lesions. By means of ultrasonic recordings of vertical tongue displacements, a number of aspects of the disturbance can be systematically evaluated. With reference to cases of Parkinsonism, senile dementia and stuttering, the pertinence of the following measurement variables is illustrated: the extent and regularity of tongue displacement, the duration of the movement and interarticulatory coordination.

## **ZUSAMMENFASSUNG**

Wir haben kürzlich ein Instrumentarium für die Beurteilung von Störungen der Sprechmotorik in (potentiell) hirngeschädigten Patienten entwickelt. Mittels Ultraschallaufnahmen von vertikalen Bewegungen des Zungenrückens können gewisse Aspekte der Störung systematisch untersucht werden. Mit Beziehung auf Fälle von Parkinsonismus, Senildemenz und Stottern wird die Pertinenz der folgenden Messvariablen demonstriert: die Länge und Regelmässigkeit der Bewegung, ihre Dauer und die interartikulatorische Koordination.

La recherche sur l'aphasie a traditionnellement devancé celle portant sur la dysarthrie, essentiellement pour la raison que les erreurs des malades aphasiques sont relativement faciles à transcrire et à analyser, tandis que les perturbations articulatoires des personnes dysarthriques sont presque impossibles à transcrire et difficiles à décrire fidèlement. En dépit de tentatives importantes d'établir des critères perceptuels pour les diverses formes de la dysarthrie (p.ex. dysarthrie cérébelleuse, parkinsonienne ou spasmodique; Darley, Aronson et Brown, 1969; 1975), le clinicien contemporain n'est souvent pas en mesure de les distinguer de façon fiable. Tous ces patients peuvent présenter des signes similaires, en particulier des consonnes indistinctes, une intonation peu variée, une accentuation réduite et une hypernasalité.

L'évaluation instrumentale des mouvements articulatoires, donc de la cinématique de la parole, est prometteuse car elle peut vraisemblablement fournir de meilleurs outils de travail pour l'analyse et le diagnostic des perturbations motrices de la parole, incluant différentes formes de dysarthrie. Combinée avec les concepts de la théorie psychomotrice de l'action (voir Keller, 1986; sous presse), cette approche tente d'identifier les variables de contrôle du système moteur de la parole. La présentation actuelle vise à résumer notre méthode d'enregistrement des mouvements du dos de la langue, et à identifier quelques paramètres de mesure pertinents à l'évaluation des perturbations motrices de la parole.

## **LA MÉTHODE**

### *Instrument de mesure*

Afin d'effectuer des mesures de mouvements du dos de la langue, nous plaçons un transducteur ultrasonique en position verticale au-dessous de la mâchoire inférieure et nous mesurons le délai entre l'émission d'une brève impulsion ultrasonique (4  $\mu$ s, 3.5 MHz) et la réception de son écho (Keller & Ostry, 1983, figure 1). Quant au placement initial du transducteur dans le plan médian, nous avons adopté la convention d'une application à l'angle droit par rapport à la ligne de Francfort, suivie par un ajustement

final visant à mesurer un déplacement lingual plus important pour [ko], par rapport à [ku], et pour [ko], par rapport à [ka] (p. 1310, Keller & Ostry, 1983).

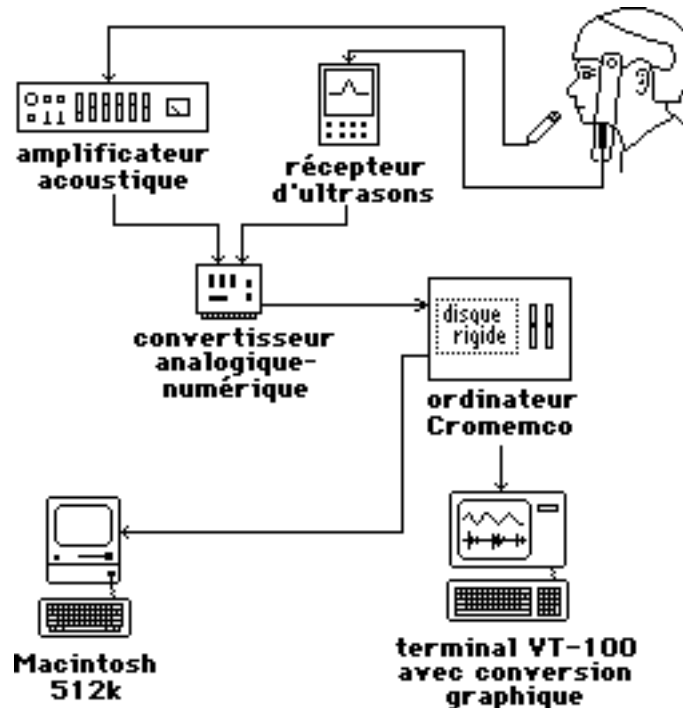


Figure 1: Arrangement instrumental. L'information ultrasonique est captée par un récepteur d'ultrasons, transformée en signal numérique par un convertisseur analogique-numérique à très haute vitesse (précision:  $5\mu\text{s}$ ) et stockée en temps réel dans un ordinateur Cromemco. Le signal acoustique est amplifié, converti en signal numérique et stocké parallèlement. Suite au lissage de l'enregistrement du mouvement lingual, un opérateur repère les points notés dans la figure 2 sur un terminal VT-100 avec conversion graphique. Les mesures d'amplitude et de durée de mouvement, ainsi que de coordination inter-articulatoire, sont transférées à un ordinateur Macintosh 512k pour l'analyse statistique.

À chaque milliseconde d'intervalle, nous obtenons une mesure correspondant à la distance entre le transducteur et le dos de la langue. Spécifiquement, nous repérons dans l'écho de la pulsation ultrasonique, un écho majeur formé à l'interface entre la musculature linguale et l'air ambiante, et nous mesurons le délai entre l'émission de la pulsation et la réception de cet écho. Ces mesures de délai, ou de distance, de même que le signal acoustique accompagnant, sont continuellement emmagasinées dans un ordinateur sur une période donnée (ajustable de 3 à 12 s).

Une fois l'enregistrement terminé, le signal cinématique subit un lissage de courbes au moyen du calcul de fonctions «spline». Ces fonctions cubiques permettent non seulement de suivre la tendance centrale du mouvement, mais fournissent en sus les première et deuxième dérivées du déplacement de la langue, c'est-à-dire, sa vitesse et son accélération instantanées.

#### *Les variables de mesure*

Au moyen de logiciels d'affichages, nous repérons un certain nombre de points dans les mouvements articulatoires (voir Figure 2). À partir de ces points de repère, des calculs simples permettent d'obtenir un nombre de mesures qui estiment des variables susceptibles de contrôler la motricité de la parole (v.g. Tableaux 1 et 2).

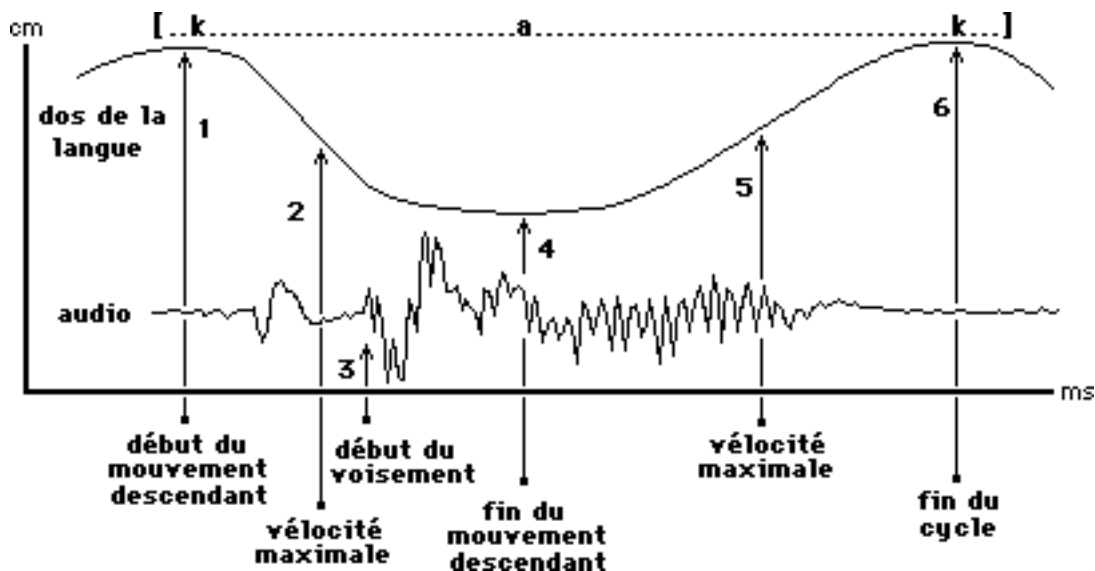


Figure 2. Les points de mesures relevées dans les enregistrements ultrasoniques.

**Tableau 1: Quelques mesures cinématiques d'intérêt**

MESURE	DÉFINITION
<u>Durées:</u>	
1 Durée du cycle	temps 1 - temps 6 <sup>1</sup>
2 Durée du mouvement descendant	temps 1 - temps 4
3 Durée du mouvement ascendant	temps 4 - temps 6
4 Durée du début du mouvement descendant	temps 1 - temps 2
5 Durée du début du mouvement ascendant	temps 4 - temps 5
7 Le délai entre les débuts du mouvement lingual et du mouvement laryngal	temps 1 - temps 3
<u>Déplacements:</u>	
8 Déplacement du mouvement descendant	distance 1 - distance 4 <sup>2</sup>
9 Déplacement du mouvement ascendant	distance 4 - distance 6
10 Déplacement du début du mouvement descendant	distance 1 - distance 2
11 Déplacement du début du mouvement ascendant	distance 4 - distance 5
12 Déplacement de la fin du mouvement descendant	distance 2 - distance 4
13 Déplacement de la fin du mouvement ascendant	distance 5 - distance 6
<u>Vélocités:</u>	
14 Vélocité maximale descendante	vélocité 2 <sup>3</sup>
15 Vélocité maximale ascendante	vélocité 5

<sup>1</sup> Temps: le temps (en ms) ; p.ex. temps 1 - temps 6 = le temps écoulé entre le point 1 et le point 6 sur la figure 2.

<sup>2</sup> Distance: la distance (en cm) entre le transducteur ultrasonique et le dos de la langue; p.ex. distance 1 - distance 4 = distance parcourue par le dos de la langue entre les points 1 et 4 sur la figure 2.

3 Vitesse: la vitesse instantanée aux points indiqués.

**Tableau 2**

**Identification des variables cinématiques**

NOM DE LA VARIABLE	ESTIMATEUR CINÉMATIQUE
Étendue du mouvement	Le déplacement du mouvement descendant
Régularité du déplacement	Écart-type du déplacement du mouvement descendant
Régularité de la durée du cycle	Écart-type de la durée du cycle
Régularité de la durée du mouvement	Écart-type de la durée du mouvement
Vitesse du mouvement	Moyenne et écart type des vitesses du mouv. desc.
Rigidité	Pente de la relation linéaire entre la vitesse maximale et le déplacement du mouvement descendant
Tremblement	Présence importante d'informations spectrales entre 6 et 12 Hz dans les mouvement du dos de la langue

Dans la prochaine section, nous illustrerons des cas de perturbations motrices affectant certaines des variables présentées dans le tableau 2 (étendue du mouvement, régularité du déplacement, régularité de la durée du cycle et régularité de la durée du mouvement). Dans des publications ultérieures, nous traiterons les perturbations du tremblement, de la vitesse du mouvement et de la rigidité musculaire qui peuvent également être évaluées au moyen de cette méthode.

*Les variables de tâche*

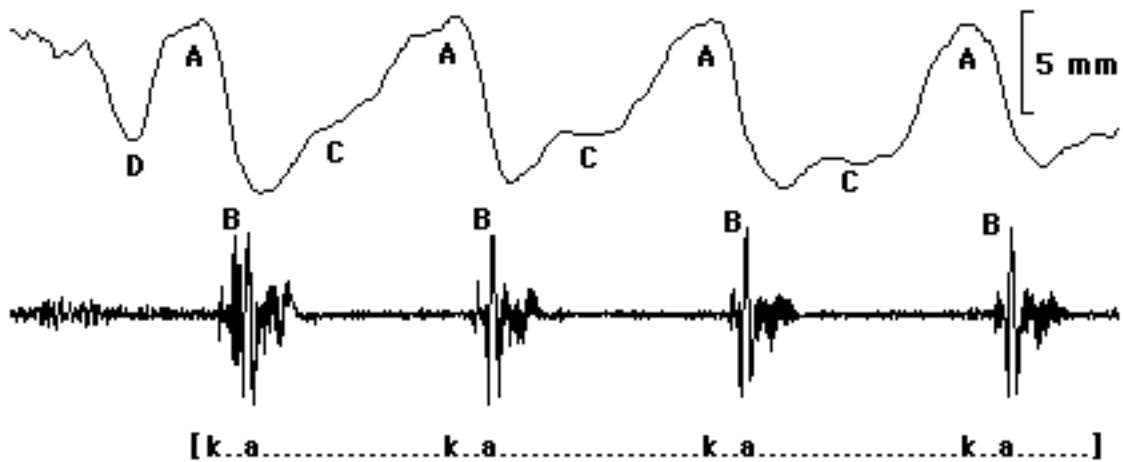
Nous manipulons actuellement trois variables de tâche: (1) le statut linguistique du mouvement, (2) le débit des mouvements (ou la durée de la syllabe) et (3) le degré d'habitude associé à l'articulation du stimulus. Afin de varier le statut linguistique de la syllabe [ka], le protocole distingue la syllabe [ka] imbriquée dans la parole normale, de la syllabe [ka] répétée de manière diadochocinétique. Le débit, ou la durée de la syllabe, est manipulé en opposant dans la parole continue, une syllabe accentuée («macaque») à une syllabe non-accentuée («lac à canards»), et en contrastant dans la répétition diadochocinétique, un débit normal à un débit rapide. Le degré d'habitude motrice du stimulus est varié en demandant au sujet de parcourir le protocole deux fois, une fois en situation normale et une fois avec les dents serrés (condition de contrainte musculaire). Le protocole est construit de façon à obtenir entre 20 et 40 exemplaires de la syllabe [ka] pour chacune de ces huit conditions. Une session d'enregistrement requiert environ 45 minutes.

**RÉSULTATS: QUELQUES CAS DE PERTURBATION MOTRICE**

*La norme*

Une personne normale (F, 23 ans), choisie au hasard parmi dix sujets normaux enregistrés récemment, fournit les informations normatives (représentatives des informations statistiques recueillies pour l'ensemble de l'échantillon). La figure 3 montre les informations relatives aux mouvements linguistiques, produits à des débits jugés «normal» et «rapide» par ce sujet.

**Sujet normal SB**  
**Répétition lente de [ka]**



**Répétition rapide de [ka]**

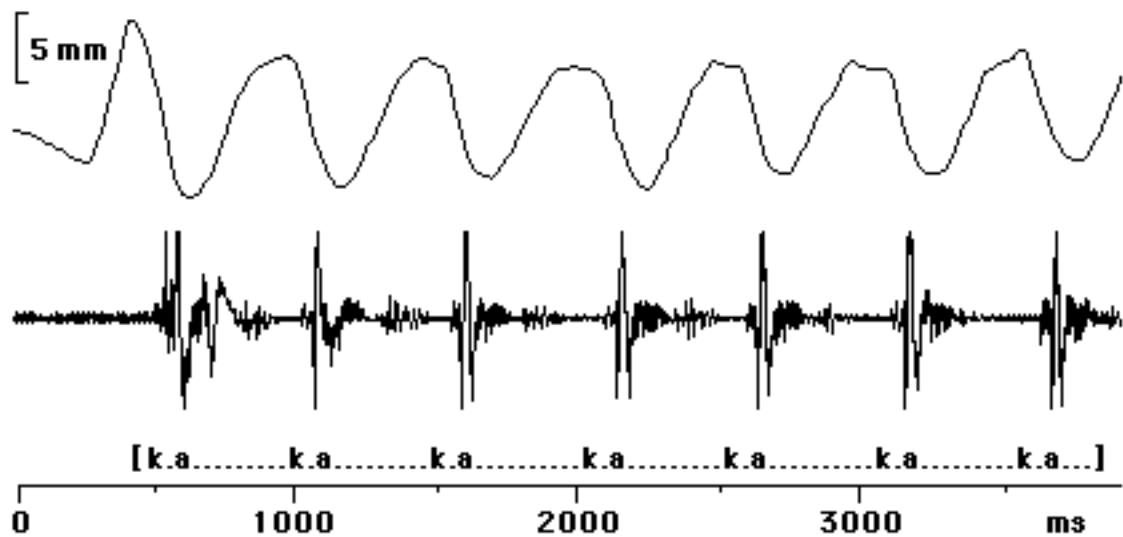


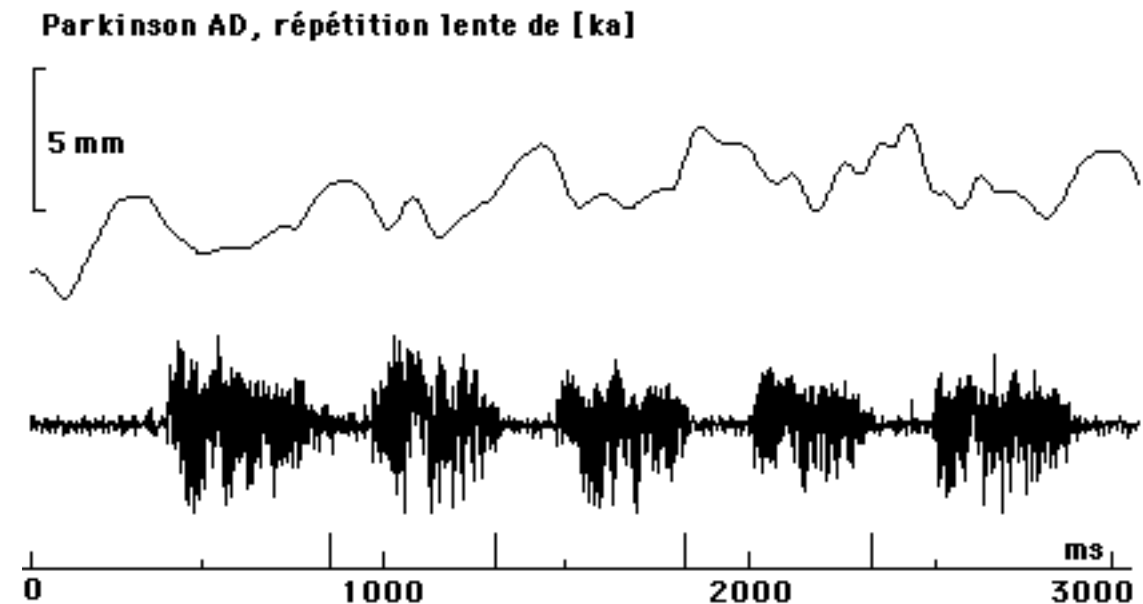
Figure 3. Haut: Tracés du déplacement lingual et de l'onde acoustique lors d'une répétition lente de [ka] par un sujet normal. A = points de contact linguo-palataux; B = points d'initiation de l'activité des cordes vocales; C = «plate-formes» de ralentissement lors du mouvement ascendant entre deux syllabes [ka]; D = mouvement préparatif précédant la première syllabe [ka]. Bas: Répétition rapide de la syllabe [ka] par le même sujet normal.

Il est à noter que l'étendue et la durée du mouvement descendant sont régulières. De plus, les mouvements descendants se font rapidement et sans hésitation, tandis que les mouvements ascendants contiennent souvent une période d'hésitation (les points C). Ensuite, la coordination entre le mouvement lingual et l'activité laryngale est régulière chez ce sujet. Les débuts de l'activité laryngale (les points B) suivent les initiations de l'activité linguale (les points A) à un délai régulier (qui mesure typiquement, en condition rapide, 40-60 ms et en condition lente, 80-150 ms; délai comparable au délai d'établissement du voisement [DÉV ou VOT]). Finalement, il est possible de repérer un

mouvement préparatif à l'articulation dans l'enregistrement lingual de ce sujet (le point D). Dans les enregistrements des sujets normaux, ce mouvement précède régulièrement le mouvement descendant associé à la première syllabe [ka] et il sert vraisemblablement à fournir un élan suffisant au mouvement, afin d'assurer une plosion d'air satisfaisante lors de la production de la première consonne [k]. Les tracés relatifs à la répétition rapide de [ka] se différencient de ceux provenant des mouvements plus lents par une réduction de la durée et de l'étendue du mouvement. Les syllabes courtes de ce sujet durent 500 ms environ, tandis que les syllabes longues mesurent environ 900 ms. Cette réduction de temps est en partie accomplie par l'élimination de la «plate-forme» hésitative au début du mouvement ascendant (les points C).

#### *La maladie de Parkinson*

Les premiers deux sujets avec perturbation de la motricité de la parole sont atteints de la maladie de Parkinson. Le premier (63 ans, M, 5 ans après l'établissement du diagnostic) présentait des signes connus de la dysarthrie parkinsonienne, dont une dédifférentiation des phonèmes. D'après l'examen clinique de la motricité faciale et orale selon Dworkin (1978), il démontrait des difficultés à gonfler les joues et à souffler dans un ballon, à avancer la mandibule et à hausser le voile du palais pour produire le son [a]. Par contre, il ne montrait aucune perturbation de la motricité des lèvres, de la langue ou du larynx. Rappelons que dans cet examen, le client doit (1) tirer la langue, (2) suivre un abaisse-langue avec sa langue, (3) ouvrir la bouche le plus grand possible et élever la langue le plus haut possible à l'intérieur de la bouche, et (4) pousser contre l'abaisse-langue avec la langue. L'enregistrement ultrasonique en répétition lente de [ka] (Figure 4a) montre un mouvement très irrégulier, tant au niveau du déplacement que de la durée. L'enregistrement cinématique de la parole de ces malades peut donc démontrer des difficultés motrices qui ne sont pas nécessairement évidentes au cours d'un examen clinique.



### Parkinson JL, répétition lente de [ka]

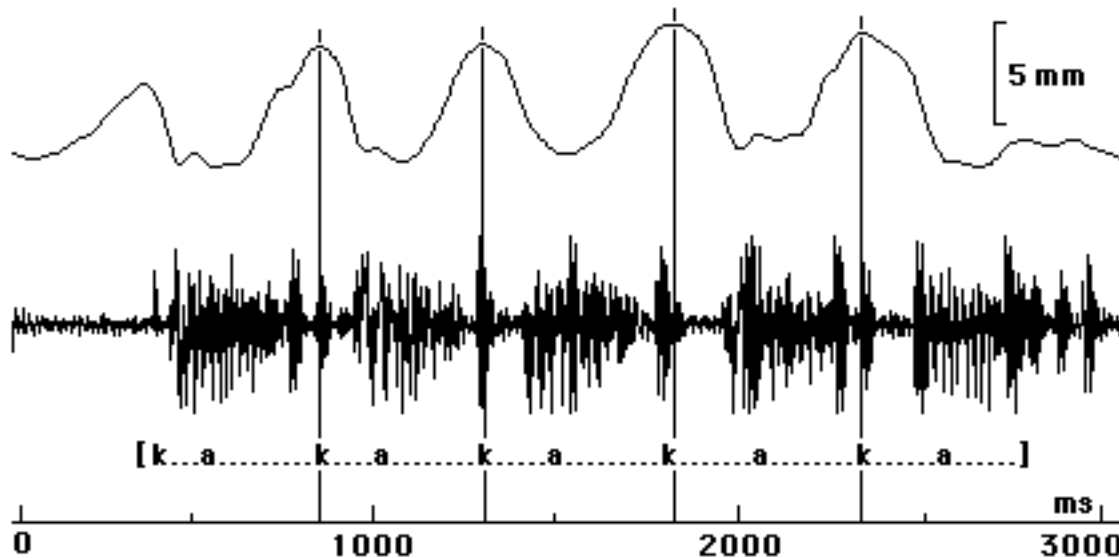


Figure 4. Deux patients avec maladie de Parkinson. Haut: Tandis que ce malade ne montrait aucune perturbation de la motricité de la langue lors d'un examen clinique de la motricité faciale et orale, l'enregistrement ultrasonique de ses mouvements linguaux indique une perturbation profonde. Bas: L'activité des cordes vocales de ce malade est dérèglée par rapport à l'activité linguale. Aux lignes verticales, il y a des productions sonores aux moments des occlusions linguo-palatales pour [ka] (un phénomène jamais observé auprès de sujets normaux).

Le deuxième cas de maladie de Parkinson (62 ans, M, six ans post diagnostic) (Figure 4b) témoigne d'une perturbation de coordination interarticulatoire. Sur l'examen clinique de la motricité faciale et orale, ce malade démontrait exclusivement des difficultés au niveau de la motricité du voile du palais. Cependant dans son enregistrement ultrasonique, il y a un manque de coordination frappante entre les mouvements de la langue et ceux des cordes vocales; en fait, les cordes vocales sont fréquemment actives au moment exact où la langue touche au palais pour la consonne [a], un phénomène qui n'est jamais observée auprès des sujets normaux.

#### *Démence sénile*

Les prochaines observations concernent une femme de 68 ans présentant les conséquences d'une démence sénile. Parmi les signes facilement observables de sa perturbation motrice figuraient un tremblement marqué et intermittent de la mâchoire inférieure, autant durant le repos que durant la production de la parole, une voix faible et rauque et des distorsions de l'articulation. De plus, la cliente tendait à persévérer sur les stimuli au-delà des périodes d'enregistrement de 4.5 secondes, répétant durant plusieurs minutes des séquences telles que «le macaque assommé» ou «le lac à canards». De plus, elle marchait avec difficulté et lenteur.

L'examen de l'enregistrement ultrasonique (Figure 5) révèle une irrégularité générale du mouvement, accompagnée d'une réduction substantielle de l'étendue du mouvement. Au lieu d'un déplacement de 8 à 10 mm, typiquement relevé auprès de sujets normaux en condition de répétition lente, cette malade produisait des déplacements mesurant typiquement 2 et 3 mm et au maximum 6 mm. En outre, la patiente était incapable de produire de façon distincte le rythme de la répétition lente et de la répétition rapide. Elle produisait une répétition à chaque 900 ms environ, un rythme



typique de la répétition lente chez le sujet normal. (La répétition rapide se fait généralement à 3 - 5 fois cette fréquence chez le sujet normal). Apparemment, cette malade éprouvait des difficultés à programmer les paramètres moteurs distinguant l'élocution rapide de l'élocution normale.

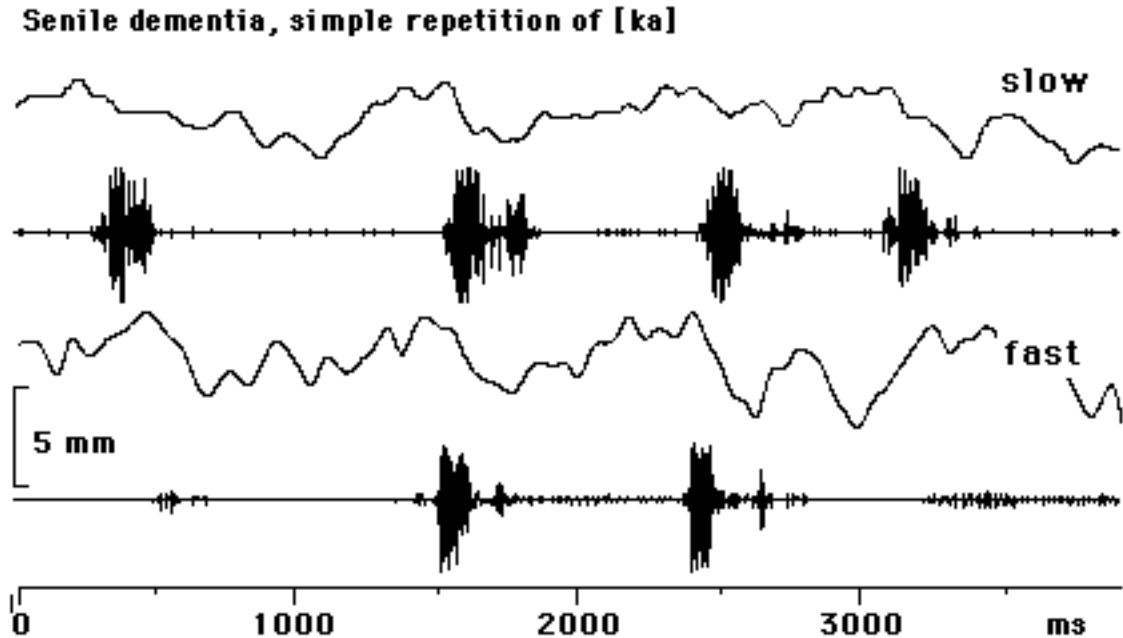


Figure 5. Deux enregistrements de l'articulation en répétition simple de [ka] d'une personne avec démence sénile. Cette malade n'était pas en mesure de distinguer systématiquement un débit rapide d'un débit normal (voir tracé acoustique).

#### *Bégaiement adulte*

Plusieurs enregistrements pilotes avec bégues adultes et adolescents ont laissé voir des aspects systématiques dans leur perturbation motrice. Dans un travail effectué dans notre laboratoire, Garcia (1981) a pu mettre en évidence que les déplacements pour la syllabe [ka] de deux sujets bégues étaient significativement plus variables que ceux de deux sujets normaux comparables. De plus, nous avons identifié différentes perturbations motrices dans les enregistrements de la répétition du stimulus [kàkà], relevée d'un bégue anglophone d'environ 40 ans. Premièrement, le mouvement initial paraissait excessif en comparaison avec les mouvements initiaux des sujets normaux, une observation qui va de pair avec le constat fréquent que la syllabe initiale d'un énoncé bégue subit des perturbations plus importantes que les syllabes non-initiales. Parallèlement, l'amplitude des mouvements linguaux de ce sujet bégue diminuait au cours des différentes répétitions du stimulus, un phénomène inconnu chez les sujets normaux.

Une difficulté d'un autre ordre relevait de la distinction entre les mouvements courts (associés à syllabe [k4]) et les mouvements longs (typiques de la syllabe [kà]). Tandis que les sujets normaux anglophones effectuent généralement des mouvements courts mesurant entre un tiers et un quart de l'amplitude des mouvements longs, ce sujet bégue effectuaient des mouvements « courts » qui mesuraient typiquement deux tiers de l'amplitude des mouvements « longs ». Ces observations appuient davantage l'hypothèse que la difficulté de distinction de mouvements courts et longs relève d'une difficulté

motrice. Si nous pourrions établir que les irrégularités rapportées ici et par Garcia ne se produisent en outre que dans les cas de perturbations avec origine cérébrale, nous serions en droit d'appuyer la position selon laquelle le bégaiement serait d'origine constitutionnelle (quoique fortement influencé dans ses manifestations et son évolution par la réaction provoquée par le sujet bègue dans son environnement social) (p.ex. Sussman & MacNeilage, 1975; Wood, Stump, McKeehan, Sheldon, & Proctor, 1980).

## **CONCLUSIONS**

Ces observations permettent certaines conclusions d'ordre méthodologique et clinique. Au niveau méthodologique, l'évaluation ultrasonique de la motricité linguale paraît prometteuse pour l'analyse des perturbations neuromotrices de la parole. Plusieurs cas présentés ici ne témoignaient que de perturbations minimales lors de l'examen clinique de la motricité de la parole, tandis que leur perturbation motrice était clairement visible sur les tracés ultrasoniques. De plus, l'information quantitative disponible au moyen de cette méthode est de loin plus détaillée que l'information provenant de l'examen clinique et se prête donc à la quantification statistique.

En contrepartie, cette méthode a aussi ses limites. Dans notre expérience, un sujet sur cinq présente de sérieux problèmes d'enregistrements. Le problème le plus fréquent est celui de l'écho ultrasonique trop faible pour effectuer un enregistrement fiable. Puisque ceci semble être lié avant tout aux limites de puissance et de résolution de notre système actuel, il est à prévoir que des appareils plus performants pourraient dans le futur amener des solutions à ce type de problème. Une autre difficulté que nous avons identifiée a trait aux tremblements ou mouvements involontaires de certains malades. Évidemment, seuls des sujets qui peuvent maintenir leur tête en position stable et équilibrée pendant au moins un quart d'heure peuvent être enregistrée par cette méthode.

Nous effectuons des contrôles particuliers contre les effets potentiellement nocifs des ultrasons. Nous utilisons un appareil «A-scan» Picker, modèle 103, qui n'emploie qu'un seul faisceau ultrasonique et qui est construit pour l'utilisation clinique. De plus, lors du positionnement initial du transducteur, nous ajustons l'amplitude de l'émission à son minimum, et nous nous assurons que l'émission ne traverse que du tissu musculaire. Rappelons aussi qu'aucun effet nocif des ultrasons n'a jamais été démontré auprès de personnes adultes, aux amplitudes de radiation ultrasonique habituellement employées en milieu clinique.

La conclusion d'ordre clinique est que plusieurs paramètres cinématiques peuvent capter des aspects importants des perturbations motrices de la parole. En particulier ce sont (1) le degré de variabilité dans l'étendue et la durée du mouvement, (2) le degré de coordination entre les mouvements de différents organes d'articulation, (3) le maintien de l'amplitude du mouvement durant un énoncé complet, (4) la différenciation entre mouvements longs et mouvements courts. Dans des recherches ultérieures, nous chercherons à voir s'il est possible d'associer ces déficits de façon fiable à des syndromes spécifiques. En outre, nous viserons à intégrer ces observations à la théorie actuelle de la motricité humaine.

## **REMERCIEMENTS**

Je remercie Mme A.E. Simon, orthophoniste, pour les résultats des examens cliniques de la motricité orale et faciale de deux malades présentés dans ce travail, ainsi que le docteur Serge Gauthier, pour m'avoir référé les cas de parkinsonisme et le docteur J.-F. Demonet, pour m'avoir référé le cas de démence sénile. Le texte a subi des améliorations fort utiles suite aux suggestions de Françoise Cot et Michelle Dumont. Ces recherches reçoivent l'appui financier du Conseil de Recherche en Science et Génie (CRSNG) du Canada (subvention no. A1034), du F.C.A.R.-Québec (équipe 128), du Programme de l'aide financière aux chercheurs et aux créateurs (P.A.F.A.C.C.) de l'Université du

Québec à Montréal et du Conseil de Recherche en Médecine du Canada (C.R.M.C.) dans le cadre du programme de recherche PG-28 accordé au Centre de recherche, CHCN.

#### **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- Darley, F.L.; Aronson, A.E.; Brown, J.R.: Differential diagnostic patterns of dysarthria. *J Speech Hear Res*, 12: 246-269 (1969).
- Darley, F.L.; Aronson, A.E.; Brown, J.R.: *Motor speech disorders* (W.B. Saunders Company, Philadelphia, PA 1975).
- Dworkin, J.P.: II. Differential diagnosis of motor speech disorders: The clinical examination of the speech mechanism. *J Nat Stud Speech Hear Ass*, December: 37-62 (1978).
- Garcia, L.: *Ultrasonic Measurement of Tongue Displacement in Stutterers* (Projet de maîtrise, Université McGill 1981).
- Hécaen, H.; Angelergues R.: *Pathologie du langage* (Larousse, Paris 1965).
- Keller, E.: The cortical representation of motor processes of speech. In Keller, E.; Gopnik M.: *Motor and sensory processes of language* (Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ 1986).
- Keller, E.: Analyse fonctionnelle des perturbations neurologiques de la motricité de la parole. Cohen, H.: *Perspectives contemporaines en neuroscience*. Montréal: Études Vivantes (sous presse).
- Keller, E.; Ostry, D.: Computerized pulsed echo ultrasound measurements of tongue dorsum movements. *J Acoust Soc Am*, 73: 1309-1315 (1983).
- Sussman, H.M.; MacNeilage, P.F.: Hemispheric specialization for speech production and perception in stutterers. *Neuropsychologia*, 13, 19-26 (1975).
- Wood, F.; Stump, D.; McKeehan, A.; Sheldon, S.; Proctor, J.: Patterns of regional cerebral blood flow during attempted reading aloud by stutterers both on and off Haloperidol medication: Evidence for inadequate left frontal activation during stuttering. *Brain Lang*, 9: 141-144 (1980).