
L'organisation séquentielle de stimuli acoustiques: cadre conceptuel et implications cliniques

Sequential Organization of Acoustical Stimuli: Conceptual Framework and Clinical Implications

Benoît Jutras, MOA
École d'orthophonie et d'audiologie
Université de Montréal

Jean-Pierre Gagné, PhD
École d'orthophonie et d'audiologie
Université de Montréal

Mots clés : habileté auditive centrale, perception auditive, perception de la parole, mémoire sensorielle, mémoire à court terme, réadaptation auditive

Abrégé

Cet article poursuit deux objectifs : décrire les étapes et les composantes sous-jacentes à l'organisation séquentielle de stimuli acoustiques, et démontrer les implications cliniques reliées aux aspects théoriques de l'organisation séquentielle auditive. Nous proposons un cadre conceptuel illustrant l'importance des processus perceptifs et mnésiques dans la reconnaissance de l'ordre de séquences d'éléments auditifs. Les perspectives de réadaptation des personnes ayant des problèmes auditifs d'organisation séquentielle sont également abordées.

Abstract

This article has two objectives: (a) describe the steps and components underlying the sequential organization of acoustical stimuli, and (b) show the clinical implications of the theoretical aspects of auditory sequential organization. We propose a conceptual framework that illustrates the importance of perceptive and mnemonic processes in the recognition of the order of sequences of auditory elements. Perspectives for the rehabilitation of individuals with auditory sequencing problems are also addressed.

Depuis plusieurs décennies, la perception de la parole fait l'objet de recherches qui permettent de mieux connaître certains phénomènes associés au décodage des éléments acoustiques en unités linguistiques. Parmi ces phénomènes, on trouve une habileté auditive centrale appelée organisation séquentielle auditive. Selon Leroux, Lalonde, Désilets, Fortier et Laroche (1993), l'organisation séquentielle auditive se définit comme étant la capacité de conserver dans l'ordre approprié l'empreinte laissée par une suite de stimuli sonores. Le répertoire des stimuli acoustiques est bien vaste, mais dans la présente revue, ce sont les stimuli sonores

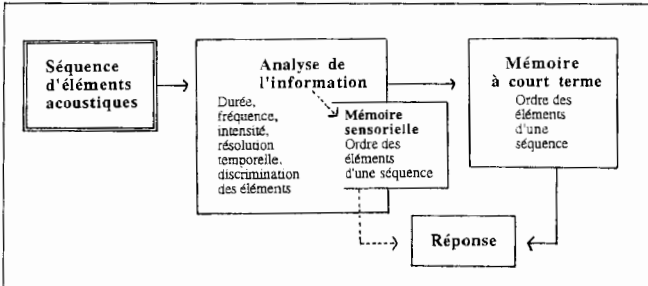
complexes qui nous intéressent. Ils retiennent notre attention puisqu'ils sont reliés à la perception de la parole. En effet, comme le souligne Hirsh (1959), l'ordre dans lequel apparaissent les sons de la parole permet de différencier des mots composés des mêmes phonèmes, comme /trE/-/tEr;/ /pri/-/pir;/ /pla/-/pal/. Si le traitement perceptif ou mnésique de l'information auditive ne permettait pas de retenir dans l'ordre les éléments verbaux, on pourrait alors se retrouver avec de sérieux problèmes de perception de la parole.

L'organisation séquentielle de stimuli acoustiques est l'une des capacités auditives centrales dont le traitement s'effectue à des niveaux supérieurs du système auditif (Pinheiro & Musiek, 1985). Les zones corticales auditives jouent un rôle essentiel dans la différenciation de séries de sons consécutifs (Luria, 1973). Les personnes cérébrolésées éprouvent des difficultés à effectuer des tâches qui requièrent le maintien de l'ordre temporel de stimuli acoustiques (Nakamura, 1990; Swisher & Hirsh, 1972). Les difficultés sont d'autant plus importantes si la lésion cérébrale se situe près de la zone auditive primaire (Swisher & Hirsh, 1972).

L'un des deux objectifs du présent article est de décrire les étapes et les composantes sous-jacentes à l'organisation séquentielle de stimuli acoustiques. Le deuxième objectif consiste à montrer les implications cliniques reliées aux aspects théoriques de l'organisation séquentielle auditive. Nous proposons d'abord un cadre conceptuel qui permettra de mieux situer les étapes nécessaires à la reproduction de l'ordre d'éléments auditifs entendus préalablement. Nous présenterons ensuite les composantes reliées à l'organisation séquentielle auditive. En dernier lieu, nous aborderons les aspects cliniques reliés à cette habileté auditive, notamment la réadaptation des personnes qui présentent des troubles auditifs d'organisation séquentielle.

Cadre conceptuel

Figure 1. L'analyse de l'information et la mémoire à court terme dans le rappel de l'ordre d'une séquence auditive



Légende : Ligne continue = trajet principal; Ligne pointillée = trajet occasionnel

Le cadre conceptuel (Figure 1) démontre que la *séquence d'éléments acoustiques* est d'abord reçue par les structures périphériques de l'oreille (oreille externe, oreille moyenne, oreille interne et nerf auditif). Ces structures permettent une première *analyse de l'information* en transformant les stimuli acoustiques en impulsions nerveuses. La cochlée et le nerf auditif sont responsables de l'encodage de la fréquence, de l'intensité et de la durée de chacun des stimuli acoustiques. Cette information est ensuite transmise aux noyaux des voies auditives centrales jusqu'au cortex auditif primaire et aux régions auditives associatives. La perception des signaux acoustiques peut s'effectuer à différents endroits dans le système auditif central, au niveau sous-cortical ou au niveau du cortex auditif primaire (Zatorre & Samson, 1991). Par ailleurs, le rappel de l'ordre d'éléments acoustiques se fait au niveau cortical (Luria, 1973). Le rappel de l'ordre nécessite, dans la majorité des cas, la participation de la *mémoire à court terme* pour le maintien de l'information. Cependant, la perception de l'ordre pourrait se faire sans la collaboration de la mémoire à court terme grâce à une mémoire de plus courte durée : la *mémoire sensorielle*. Lorsque l'information a été traitée par les structures centrales respectives, une *réponse* est donnée.

Les sections suivantes résument les connaissances sur les composantes sous-jacentes à l'organisation séquentielle de stimuli acoustiques en associant les processus perceptifs à la mémoire sensorielle et les processus mnésiques à la mémoire à court terme. Plus spécifiquement, les composantes retenues sont la durée du stimulus, l'intervalle inter-stimuli, la perception de l'ordre temporel et la mémoire à court terme.

La durée d'un stimulus acoustique

La perception d'un stimulus acoustique est dépendante d'au moins trois facteurs psychoacoustiques : la durée, la

fréquence et l'intensité du signal. La relation qui existe entre ces trois facteurs a été étudiée dans les recherches portant sur l'intégration temporelle. Pour la détection d'un son de courte durée (200 msec et moins), il existe une relation de dépendance entre le seuil de sensibilité auditive et la durée d'un stimulus acoustique (Durrant & Lovrinic, 1984). De plus, l'intégration de l'énergie sonore d'un signal varie en fonction de la fréquence du stimulus (Gengel & Watson, 1971), favorisant les stimuli de moyennes fréquences (1-2 kHz) (Maxon & Hochberg, 1982). Notons par ailleurs qu'il y a une meilleure intégration temporelle de l'énergie acoustique chez les enfants que chez les adultes (Maxon & Hochberg, 1982). Ceci s'observe en mesurant le niveau de pression sonore auquel les sujets peuvent détecter un son de courte durée et un son de longue durée. La différence entre les niveaux de pression sonore des deux sons renseignent sur la capacité d'intégration temporelle des sujets. Plus la différence des valeurs est grande, meilleure est l'intégration de l'énergie.

La perception de l'intervalle minimal entre les stimuli acoustiques

Dans les écrits scientifiques, différents termes sont utilisés pour décrire l'intervalle minimal nécessaire pour percevoir distinctement deux stimuli acoustiques, selon la mesure expérimentale utilisée. Parmi ces termes, on retrouve «la résolution temporelle», qui se définit comme étant l'écart minimal de durée séparant deux stimuli sonores qui permet de distinguer la présence individuelle de ces deux stimuli (Bamford & Saunders, 1992; Hirsh, 1959). Irwin, Hinchcliff et Kemp (1981), Irwin, Ball, Kay, Stillman et Rosser (1985) ainsi que Irwin et McAuley (1987) parlent de «l'acuité temporelle» tandis que Boothroyd (1973), Tyler, Summerfield, Wood et Fernandes (1982), Florentine et Buus (1984), Fitzgibbons et Gordon-Salant (1987), Glasberg et Moore (1989), Moore et Glasberg (1988) et Wightman, Allen, Dolan, Kistler et Jamieson (1989) utilisent l'expression «*gap detection*» pour définir cette perception.

Les résultats des recherches portant sur la résolution temporelle chez des sujets sans perte auditive diffèrent d'une étude à l'autre. Les valeurs obtenues varient selon le niveau sonore de présentation, la ou les fréquence(s) des stimuli et la nature du stimulus. On reconnaît qu'à des niveaux de pression sonore relativement élevés - au-delà de 40 dB SL (Boothroyd, 1973) - les écarts de durée sont plus courts (Irwin et al., 1981; Irwin & McAuley, 1987; Tyler & Summerfield, 1980; Tyler et al., 1981; Irwin & McAuley, 1987). Ces écarts minimaux varient de 3,2 à 13,3 msec. La résolution temporelle de stimuli de hautes fréquences est environ deux fois plus courte que celle des stimuli de basses

fréquences (Fitzgibbons & Gordon-Salant, 1987; Tyler et al., 1982). De plus, Formby, Barker, Abbey et Raney (1993) soulignent que la valeur de l'intervalle de silence entre deux stimuli varie en fonction de la différence entre les fréquences des stimuli. En d'autres mots, plus les fréquences des stimuli sont différentes, plus l'écart de durée sera élevé. Enfin, les valeurs de résolution temporelle de bruits à bande large (BBL) sont similaires à celles de bruits à bande étroite (BBE) centrés sur 4 kHz et sont inférieures à celles de BBE centrés sur 500 Hz et 1 kHz (Fitzgibbons & Gordon-Salant, 1987).

Pour ce qui est de la résolution temporelle chez l'enfant, certaines études démontrent que cette habileté s'améliore avec l'âge (Irwin et al., 1985; Wightman et al., 1989) et que, vers l'âge de 11 ans, les résultats des enfants se rapprochent de ceux obtenus par les adultes (Irwin et al., 1985).

La perception de l'ordre temporel de stimuli acoustiques et la mémoire à court terme

La perception de l'ordre temporel joue un rôle important dans l'organisation séquentielle. Elle s'explique selon deux modèles : holistique ou analytique. Le modèle holistique soutient que la perception de l'ordre temporel d'éléments acoustiques d'une séquence peut se faire selon un traitement global et non selon une analyse discrète de chacun des éléments (Warren, 1982; Warren & Bashford, 1993). Il va sans dire que la durée des éléments, l'intervalle inter-stimuli et le nombre d'éléments de la séquence sont des facteurs primordiaux qui influencent ce genre de traitement. Des éléments et des intervalles de courtes durées peuvent permettre de percevoir des changements qualitatifs de l'ordre de certains éléments dans la séquence. Cependant, lorsque la durée de chacune des composantes d'une séquence excède quelques centaines de millisecondes, l'identification de chacun des éléments et de l'ordre dans lequel ils sont entendus peut contribuer à la reconnaissance de l'organisation séquentielle sans avoir recours au modèle holistique (Warren, 1982). On parle alors d'un traitement selon le modèle analytique.

L'étude classique de Hirsh (1959) illustre bien ce modèle. Hirsh souligne que la perception de l'ordre temporel présuppose au moins deux processus. Premièrement, un sujet devrait percevoir l'intervalle qui sépare deux stimuli. Deuxièmement, après avoir perçu les deux sons non fusionnés, le sujet doit les discriminer. On pourrait ajouter à ces deux processus un troisième qui demande à la personne d'identifier les stimuli pour favoriser le rappel de l'ordre. Divenyi et Hirsh (1974) soulignent que les éléments d'une séquence peuvent être perçus comme des unités séparées lorsque la durée de chacun de ces éléments est suffisamment longue.

Bregman (1990) et Divenyi et Hirsh (1974) rapportent que l'entraînement d'un sujet à la tâche de discrimination ou d'identification de l'ordre temporel est un facteur qui peut déterminer si l'analyse se fera selon le modèle holistique ou analytique. Selon Pinheiro et Musiek (1985), le type de jugement demandé aux tâches de séquences temporelles peut influencer les résultats des études puisque certaines réponses requièrent la contribution de processus cognitifs plus organisés. Les tâches de *discrimination* entre deux séquences de stimuli acoustiques semblent plus faciles à réaliser que les tâches d'*identification* de l'ordre des éléments d'une séquence. Cette dernière tâche, qui demande aux sujets de décrire ou de reproduire verbalement ou avec une réponse motrice l'ordre dans lequel les stimuli ont été entendus, demeure le type de jugement le plus difficile à réaliser (Preusser, 1972).

Dans les tâches de discrimination ou de reconnaissance de l'ordre temporel de séquences auditives, certains facteurs favorisent parfois un traitement perceptif, parfois un traitement mnésique ou plus souvent une analyse impliquant à la fois des processus perceptifs et mnésiques. Ces facteurs sont, entre autres, la tâche et la familiarisation à la tâche, de même que la durée et le nombre des éléments qui constituent la ou les séquence(s). Il est difficile de départager ce qui relève de la perception de ce qui relève de la mémorisation à court terme, surtout lors de l'analyse d'un ensemble ordonné de stimuli acoustiques. Dans les trois prochaines sections, il sera question de la perception de l'ordre temporel et de la mémoire à court terme chez les sujets sans perte auditive et chez les sujets ayant des problèmes neurologiques.

Chez les sujets sans perte auditive

Hirsh (1959) a démontré qu'avec un intervalle inter-stimuli d'un peu moins de 20 msec, il est possible d'identifier l'ordre dans lequel deux sons non verbaux apparaissent, indépendamment de la durée, de la fréquence et de la nature des stimuli utilisés. Les résultats de certaines études vont à l'encontre de ceux de la recherche de Hirsh (1959) en soutenant que les paramètres de durée (Parker, Kasten, McCroskey, & Hoyer, 1981; Pastore, Harris, & Kaplan, 1982), d'intensité et de fréquence des stimuli (Parker et al., 1981) influencent la reconnaissance de l'ordre temporel. La performance des sujets soumis à des épreuves d'identification de l'ordre temporel de sons purs ou de BBE varie selon les études. La durée minimale de l'intervalle inter-stimuli, permettant aux sujets d'effectuer ces tâches, se situe entre 6 et 25 msec. D'autre part, pour des tâches de reconnaissance de l'ordre temporel de deux consonnes, les sujets peuvent réaliser les épreuves lorsque la durée minimale de l'intervalle inter-stimuli se retrouve entre 10 et 70 msec, selon les phonèmes impliqués (Fay, 1966). Les résultats des études de Tallal et Piercy (1973a, 1973b, 1974)

démontrent que les enfants âgés entre 6:9 et 9:3 ans (moyenne de 8:2 ans) peuvent reconnaître l'ordre temporel à des valeurs de résolution aussi faibles que 8 msec avec deux stimuli verbaux de 250 msec ou deux stimuli acoustiques non verbaux d'une durée de 75 msec. Cependant, Tallal (1978) rapporte que les enfants âgés en moyenne entre 6:6 et 7:6 ans peuvent accomplir des tâches de rappel de l'ordre temporel, avec un taux de réussite d'environ 65%, lorsque l'intervalle entre les deux stimuli non verbaux (d'une durée de 75 msec chacun) est d'au moins 60 msec. Pour un intervalle inter-stimuli de 8 msec, le taux de réussite est d'environ 49% pour les sujets de ce groupe, 70% pour les sujets âgés de 8:6 ans et 84% pour les adultes.

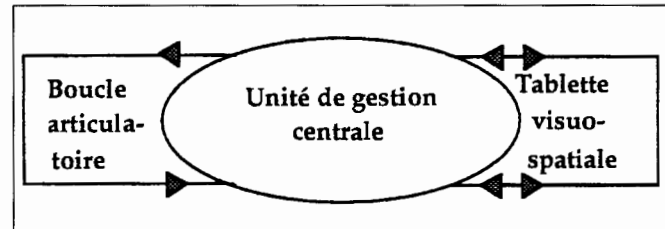
Lorsqu'une séquence est constituée de plus de deux éléments, la durée de chacun de ces éléments devient un facteur important pour permettre l'identification de l'ordre de présentation, par des sujets adultes. Pour une séquence ininterrompue de stimuli acoustiques, la durée de chaque stimulus doit être d'au moins 200 msec pour des séquences composées de stimuli verbaux et non verbaux (Warren & Obusek, 1972) et d'au moins 150 msec pour des séquences de voyelles (Thomas, Hill, Carroll, & Garcia, 1970). Toutefois, la reconnaissance de l'ordre temporel de stimuli de plus courte durée est possible, en ajoutant un intervalle inter-stimuli dans la série d'éléments recyclés et continus (Thomas, Cetti, & Chase 1971).

En ce qui a trait à la capacité de mémorisation à court terme, elle joue un rôle important dans l'emmagasinage d'information pour plusieurs systèmes perceptifs (Baddeley, 1990). Le stockage de l'information auditive à court terme serait possible grâce à deux types de mémoire auditive. Le premier est la mémoire sensorielle (Baddeley, 1990) ou le *short auditory store* (Cowan, 1984, 1988) qui garderait l'information auditive disponible pour les quelques centaines de millisecondes nécessaires à la reconnaissance initiale du stimulus (Cowan, 1984, 1988). Le deuxième type est la mémoire à court terme (Baddeley, 1990) ou le *long auditory store* (Cowan, 1984, 1988) dont la durée de rétention pourrait s'étendre jusqu'à 20 secondes. Cette mémoire permettrait de retenir, entre autres, l'information contenue dans une séquence de stimuli acoustiques (Cowan, 1984).

Il existe plusieurs définitions de la mémoire à court terme mais, selon Paquet (1993), la majorité des auteurs reconnaissent que la capacité limitée de traiter l'information est une caractéristique fondamentale de la mémorisation à court terme. Baddeley (1986) propose un modèle de la mémoire de travail pour expliquer certains paradoxes qui ne pouvaient se justifier par le modèle unitaire de la mémoire à court terme (Baddeley, 1990). Le modèle de Baddeley divise la mémoire de travail en trois modules : l'unité de gestion centrale, la tablette visuo-spatiale et la boucle articulatoire. Ce dernier

module comporte deux sous-systèmes : le stockage phonologique et la répétition subvocale. Le stockage phonologique retient l'information verbale pour une durée d'environ une seconde et demie à deux secondes. Quant au système de répétition subvocal, il permet de ramener de façon cyclique l'information au sous-système de stockage phonologique et de transformer les informations écrites dans un code phonologique.

Figure 2. Modèle de la mémoire de travail (adapté de Baddeley, 1986).



À partir de ce modèle de mémoire de travail, on pourrait supposer que le sous-système de stockage phonologique permet une meilleure reconnaissance des séquences de stimuli verbaux au détriment des stimuli acoustiques non verbaux. Il est bien connu, comme le souligne Belleville, Peretz et Arguin (1992) que le rappel immédiat d'une séquence de courte durée se fait le plus souvent sous forme verbale. Selon Rowe et Cake (1977), le rappel de l'ordre de présentation est meilleur pour les mots que pour des bruits de l'environnement lorsque l'intervalle inter-stimuli est de 500 msec et moins. Ils en ont conclu que l'encodage verbal facilite le rappel de l'ordre de séquences auditives. Ils ajoutent cependant que la différence qui existe entre les sons et les mots ne s'explique pas par le type de stratégies de traitement ou de recouvrement mnésique utilisé par les sujets de l'étude.

Il existe une différence entre les performances des enfants et celles des adultes lorsqu'ils sont soumis à des tâches de rappel immédiat de stimuli acoustiques. Cette différence pourrait s'expliquer par plusieurs facteurs, comme le débit articulatoire (Hulme, Thomson, Muir, & Lawrence, 1984), le type de matériel utilisé (Dempster, 1978) et la contribution de la mémoire à long terme (Hulme, Maughan, & Brown, 1991). L'empan mnémorique augmente progressivement avec l'âge et le rapport entre les performances des adultes et celles des enfants de cinq ans est de 2:1 (Chi, 1976). La capacité de la mémoire à court terme passe de quatre à sept chiffres de sept ans à l'âge adulte (Paquet, 1993). Toutefois, lorsque des syllabes sans sens (sans répétition d'une syllabe à l'intérieur de la séquence) sont utilisées comme stimuli, la mesure demeure presque inchangée, allant de 3,08 pour les enfants de 7 ans à 3,88 pour les adultes (Paquet, 1993). Dans certains cas, l'empan mnémorique mesuré avec des syllabes

sans sens peut être plus grand que le 3,88 obtenu avec des adultes. Par exemple, l'étude de Tallal et Piercy (1974) démontre que des enfants de sept ans peuvent réussir une tâche de rappel de séquences interrompues contenant jusqu'à cinq éléments de l'une ou l'autre des syllabes synthétiques /ba/ et /da/ d'une durée de 250 msec chacune avec un intervalle inter-stimuli de 428 msec.

Chez les participants ayant des problèmes neurologiques

Les personnes aphasiques (Efron, 1963) ou ayant une aphasie de réception ou d'expression (Albert, 1972; Brookshire, 1972) ou encore une aphasie mixte (Albert, 1972) éprouvent plus de difficultés à rappeler correctement l'ordre des éléments de séquences auditives que les sujets non aphasiques. Nakamura (1990) démontre que des adultes cérébrésés à l'hémisphère droit (incluant, entre autres, une lésion au lobe temporal) ou des personnes ayant une aphasie fluente ont des problèmes à discriminer des *patterns* rythmiques d'un son non verbal (tambour).

Cependant, Swisher et Hirsh (1972) démontrent que des sujets droitiers ayant une lésion corticale à l'un ou à l'autre des hémisphères peuvent reconnaître l'ordre de présentation de stimuli acoustiques lorsque les séquences sont constituées de seulement deux éléments. Ils soulignent toutefois que pour arriver à reproduire correctement l'ordre des stimuli entendus, ces sujets ont besoin d'un intervalle interstimuli plus long que les sujets du groupe contrôle. Cette observation est valable surtout pour les sujets ayant une aphasie fluente, dont la lésion se retrouve, entre autres, dans le lobe temporal supérieur.

Certains chercheurs ont voulu étudier le lien qui existe entre un retard de langage important et les problèmes d'organisation séquentielle d'éléments sonores. Dans les années 60, ils se sont intéressés aux enfants aphasiques (Lowe & Campbell, 1965), aphasiques (Stark, 1967) ou ayant une aphasie «développementale» (Eisenson, 1968). Malgré les différences considérables qui existent au sein de la population étudiée, les trois recherches ont mené aux mêmes conclusions : ces enfants ont des problèmes de langage qui sont reliés à l'incapacité à traiter les séquences auditives. Toutefois, ces études n'ont pas pu établir une relation de cause à effet.

Dans les années 70, les recherches de Tallal (1978) et de Tallal et Piercy (1973a, 1973b, 1974, 1975) ont démontré que les enfants ayant une aphasie développementale éprouvaient des difficultés à traiter l'information auditive verbale ou non verbale lorsque le débit de cette information était rapide. Ces enfants étaient affectés (a) par la durée du stimulus, (b) par la durée de transition formantique entre

deux phonèmes, (c) par la durée de l'intervalle entre les éléments du test et (d) par le nombre d'éléments présentés. Wright (1987) souligne que la transition formantique de la consonne occlusive vers la voyelle dure entre 20 et 50 msec et que cette transition constitue le trait acoustique le plus court de la parole. Tallal et Newcombe (1978) rapportent que la plupart des enfants et des adultes ayant des problèmes de langage qui ont participé à leurs études avaient de la difficulté à analyser les changements rapides reliés à la transition formantique et percevaient difficilement l'ordre temporel de stimuli acoustiques.

Plus récemment, les résultats de recherches montrent que les enfants ayant des problèmes d'apprentissage du langage discriminaient moins facilement des stimuli verbaux (Elliott & Hammer 1988; Elliott, Hammer, & Scholl, 1989) et auraient un déficit sélectif de la mémoire de travail, notamment avec la mémoire phonologique (Gathercole & Baddeley, 1990). Les problèmes de perception auditive et de mémoire peuvent influencer les résultats aux tâches de rappel immédiat de séquences de stimuli acoustiques pour des enfants ayant une dysphasie développementale. Toutefois, selon le profil de chaque enfant dysphasique, les problèmes perceptifs ne seraient pas toujours présents (Fortin, 1993).

Implications cliniques

À la lumière des énoncés théoriques susmentionnés et en se référant au cadre conceptuel (Figure 1), il est évident que l'organisation séquentielle auditive est possible grâce à la contribution de processus perceptifs ou perceptivo-mnésiques. Dans le domaine de la recherche clinique, on tente de plus en plus d'identifier les facteurs contribuant à l'incapacité des personnes à maintenir en ordre des séquences de stimuli auditifs. On veut savoir si cette incapacité relève principalement de la perception ou de la mémoire. Cependant, les professionnels qui interviennent directement auprès des personnes qui présentent des troubles auditifs centraux, ont-ils tous les outils nécessaires pour évaluer la nature exacte d'un problème auditif d'organisation séquentielle?

En audiologie, on retrouve au moins trois épreuves qui permettent d'identifier les personnes qui ont des problèmes à organiser en séquences des stimuli acoustiques. Ce sont le *Staggered Spondaic Word (SSW)* (Rudmin & Normandin, 1983, pour la version française), le *Pitch Pattern Sequence Test (PPST)* (Pinheiro, 1977) et le *Duration Pattern Test (DPT)* (Musiek, Baran, & Pinheiro, 1990).

Le *SSW* est une épreuve d'écoute dichotique constituée de quatre mots monosyllabiques (e.g., grand-mère-pôle-nord) qui peuvent également former trois bisyllabes (grand-mère, pôle-nord, grand-nord). Les mots sont présentés, au moyen

d'écouteurs, de façon à ce que le premier monosyllabe soit entendu dans une oreille (e.g. : à l'oreille droite, grand). Les deuxième et troisième mots sont émis simultanément à chacune des oreilles (e.g. : à l'oreille droite, mère et à l'oreille gauche, pôle). Finalement, le dernier monosyllabe est entendu à l'autre oreille (e.g. : à l'oreille gauche, nord). La même procédure s'applique pour la deuxième série de monosyllabes (e.g. : pré-lard-grand-dire), mais, cette fois-ci, le premier mot commence à l'oreille où le dernier mot de la série précédente s'est terminé (e.g. : à l'oreille gauche, pré) et le dernier à la première oreille (e.g. : oreille droite, dire). L'épreuve est constituée de 40 séries de quatre monosyllabes. La tâche de la personne est de répéter dans l'ordre les mots entendus. Une personne éprouve des difficultés d'organisation séquentielle lorsqu'elle commet des erreurs d'inversion de mots qui se situent au-delà des normes établies selon l'âge. L'analyse des résultats permet également de tenir compte des erreurs reliées au biais du mot (order effect). Si le nombre d'erreurs est plus élevé que les valeurs normatives franco-québécoises sur les deux premiers monosyllabes que sur les deux derniers, on est en mesure de croire que la personne a des problèmes de rappel immédiat.

Le PPST est un test d'écoute monaurale constitué de 30 séries de deux sons purs de différentes fréquences : 800 Hz (Bas) et 1430 Hz (Haut). Les séries comportent seulement trois éléments en séquence selon six *patterns* : HBH, BHB, HHB, BBH, HBB, BHH. La personne doit reproduire en sifflant ou en chantonnant la séquence entendue et elle doit répéter verbalement ou de façon motrice d'autres séquences. Un nombre de réponses erronées plus élevé que la norme établie selon l'âge est interprété comme étant un indice de problème d'organisation séquentielle.

Le DPT est également un test d'écoute monaurale élaboré sur le même principe que le PPST. La fréquence du son est cependant la même tout au long du test : 1 kHz. Par contre, le stimulus est présenté selon deux différentes durées : 250 msec (Court) et 500 msec (Long). Les six *patterns* possibles sont : CLC, LCL, CCL, LLC, CLL et LCC. On demande aux sujets de répéter verbalement la séquence entendue. Les résultats sont calculés à partir du pourcentage de bonnes réponses. Les sujets ayant un pourcentage se situant en dehors des normes ont un problème d'organisation séquentielle. Il faut cependant souligner le fait que les valeurs normatives de l'étude de Musiek et al. (1990) ont été obtenues chez des sujets adultes (19-39 ans) et qu'aucune donnée préliminaire n'est disponible chez les enfants.

Selon Musiek (1994), le PPST et le DPT sont sensibles aux lésions corticales qui prennent origine dans l'un ou l'autre des hémisphères ou dans le corps calleux. Cependant, le DPT détecte des lésions autres que celles décelées par le PPST. L'inverse s'applique également puisque le PPST est

plus sensible que le DPT pour identifier certaines atteintes (Musiek, 1994; Musiek et al., 1990).

Il existe des limites quant à l'interprétation des résultats de ces épreuves. En effet, des résultats hors normes ne renseignent pas précisément sur la nature réelle du problème. Un individu qui obtient des résultats anormaux à ces tests pourrait avoir des problèmes perceptifs plutôt que mnésiques ou l'inverse. Par exemple, si une personne échoue le PPST, il est possible que la cause de cet échec soit attribuable au fait que la personne ne peut pas identifier individuellement les deux sons constituant la séquence. Toutefois, sa capacité à reproduire l'ordre des éléments acoustiques pourrait ne pas être affectée. On peut la vérifier en présentant des stimuli auditifs autres que ceux utilisés pour le PPST.

Il est indéniable que des outils diagnostiques normalisés et plus précis sont nécessaires pour permettre une meilleure évaluation de la capacité d'organisation séquentielle auditive d'une personne chez qui on soupçonne ce problème. Dans certains domaines de recherche, comme en psychoacoustique, il existe des pistes intéressantes qui pourraient mener éventuellement à l'élaboration d'outils d'évaluation. Ces outils permettraient de distinguer plus précisément les habiletés auditives qui relèvent de la perception. On retrouve, entre autres, des études qui traitent de la résolution temporelle d'éléments acoustiques. On a vu que cette capacité est inhérente à l'organisation séquentielle et qu'une évaluation en clinique de l'habileté à différencier deux événements acoustiques pourrait renseigner davantage sur les habiletés/incapacités auditives d'une personne. Il y a également les études de Tallal et Piercy (1973a, 1973b, 1974, 1975) démontrant qu'une perception anormale de la transition formantique entre des phonèmes pouvait contribuer au problème de langage d'enfants ayant une aphasie développementale. L'utilisation d'épreuves semblables en clinique, jumelées à d'autres tests, devrait donner une meilleure idée des capacités/incapacités perceptives reliées à l'organisation séquentielle auditive.

D'autres tests normalisés utilisés en audiologie, en orthophonie ou en psychologie peuvent mesurer la capacité de la mémoire à court terme à partir de la présentation de stimuli auditifs. Parmi ceux-ci, on retrouve le *Auditory Memory Span Test* (Wepman & Morency, 1973a), le *Auditory Sequential Memory Test* (Wepman & Morency, 1973b), le *Digit Memory Span* (Terman & Merrill, 1937), le *California Verbal Learning Test* (Delis, Kramer, Kaplan, & Obler, 1987), le test des 15 mots de Rey (Rey, 1970), etc. Pour certains de ces tests, la tâche consiste à répéter, dans un ordre déterminé par l'évaluateur, les mots ou les chiffres entendus. Pour les autres tests, on demande à l'individu de répéter tous les mots en rappel immédiat ou en rappel différé, sans tenir compte de l'ordre dans lequel ils ont été entendus. Les stimuli sont présentés oralement ce qui

pourrait avoir une influence sur les résultats. En effet, il est difficile pour l'évaluateur de contrôler de façon précise son débit articulatoire ainsi que l'intervalle entre les mots. Des résultats qui se situent en dehors des normes pourraient être biaisés par l'un des deux facteurs ou par les deux à la fois. De plus, l'utilisation de mots comme stimuli peut créer un biais de réponses à cause de la dimension sémantique qui s'y rattache. Un enfant qui ne connaît pas le sens d'un mot pourrait éprouver de la difficulté à le retenir. Si l'on veut mesurer uniquement la capacité de mémorisation, il faudrait vérifier, avant l'application du test, si la personne connaît tous les mots.

Enfin, le *Lindamood Auditory Conceptualization Test* (Lindamood & Lindamood, 1979) utilisé pour évaluer et pour travailler la conscience phonologique chez l'enfant, pourrait également servir d'outil d'évaluation de la capacité d'organisation séquentielle auditive. L'épreuve est conçue de façon à ce que l'évaluateur puisse mesurer les habiletés perceptives des unités de la parole ainsi que la capacité de rétention. Cependant, le nombre de phonèmes présentés est limité à quatre éléments en séquence ce qui pourrait conduire rapidement à un effet de plafonnement. De plus, le test est disponible en version anglaise uniquement. La version standardisée en français n'existe pas.

Nous pourrions maintenant nous interroger sur la pertinence d'une évaluation des aspects perceptifs et mnésiques dans des tâches d'organisation séquentielle de stimuli acoustiques. Cette évaluation est justifiable si elle est effectuée dans le but de poser un diagnostic précis, mais elle est surtout nécessaire pour permettre une meilleure intervention auprès d'une personne qui éprouve des difficultés à retenir en séquences des éléments acoustiques. En sachant que l'incapacité de cette personne est occasionnée par des aspects perceptifs plutôt que mnésiques, les interventions seront orientées vers un modèle plus analytique. L'approche de Sloan (1986) et celle de Katz (1983) sont deux exemples de modèles qui touchent systématiquement certains aspects de la perception auditive. Mais ce qui semble essentiel, c'est de créer une approche ou d'en adapter une aux besoins de la personne qui consulte et en fonction des incapacités identifiées. Dans le cas où la personne éprouve des problèmes mnésiques sans aucune difficulté perceptive, il serait alors préférable de s'appliquer à maintenir les capacités mnésiques et à utiliser des stratégies qui lui fourniront des moyens pour retenir l'information entendue.

La réadaptation des personnes ayant des problèmes auditifs d'organisation séquentielle

Katz (1992) croit qu'il est possible de réadapter une personne ayant ce genre d'incapacité. En effet, il propose de remédier au problème en intégrant dans les thérapies des

activités qui sollicitent l'organisation séquentielle. Harrell, Parenté, Bellingrath et Licisia (1992) ont d'ailleurs élaboré des exercices de rééducation de la mémoire en incluant des activités qui permettent plus spécifiquement de travailler l'organisation séquentielle d'éléments auditivo-verbaux. Toutefois, ces auteurs n'ont pas nécessairement mesuré, de façon méthodique, l'impact des interventions sur les personnes impliquées. Ling (1976) l'a fait auprès d'enfants malentendants et elle démontre qu'il est possible d'améliorer cette capacité chez des sujets qui ont été identifiés comme ayant des problèmes d'organisation séquentielle avec des stimuli acoustiques. Cependant, Ling (1976) souligne que l'entraînement à retenir des séquences d'un type d'éléments sonores ne favorise pas la rétention d'autres types de stimuli acoustiques. En effet, les sujets qui ont été soumis à l'entraînement pour retenir des *séquences de chiffres* n'ont pas amélioré leur performance aux tâches de reconnaissance de *séquences de mots*. Elle mentionne également que les sujets entraînés à reconnaître les *séquences de mots* n'étaient pas meilleurs à identifier des *séquences de chiffres*. Ling (1976) ajoute que ce problème de généralisation peut être attribuable au nombre d'heures d'entraînement qui était insuffisant.

Bien que ce genre d'entraînement soit louable, il n'en demeure pas moins qu'il est souhaitable que le clinicien fournisse également des stratégies à la personne qui éprouve des problèmes de rétention de séquences auditives. Moffat (1992) présente une série de stratégies qui peuvent être utilisées par des personnes ayant des problèmes mnésiques pour leur permettre de diminuer les situations de handicap causées par leur déficit. Certaines de ces stratégies, notamment l'imagerie visuelle et les stratégies verbales, pourraient s'appliquer aux personnes ayant plus spécifiquement des troubles auditifs d'organisation séquentielle. Le principe de l'imagerie visuelle consiste à former une image mentale de l'information que la personne veut retenir. Ceci devrait, en principe, l'aider à se rappeler l'information qui lui a été transmise auditivement. Quant aux stratégies verbales, elles favorisent une meilleure rétention pour certaines personnes. Elles consistent à ajouter un élément verbal qui permet de faire un lien entre les autres éléments de la séquence à mémoriser.

Conclusion

L'organisation séquentielle auditive est un phénomène complexe qui est relié à la perception de la parole. Afin de mieux le comprendre, nous avons proposé un cadre conceptuel qui schématise les étapes et les composantes nécessaires à la reproduction de l'ordre d'éléments acoustiques. Ce cadre conceptuel illustre bien le fait qu'il y a au moins deux thèmes génériques qui font partie du processus d'organisation : la perception et la mémoire à court terme.

Dans le milieu clinique, il est important que l'on tienne compte de ces deux éléments lorsque l'on veut mesurer la capacité d'organisation séquentielle auditive d'une personne. Une évaluation complète de cette habileté devrait inclure des tests visant à identifier les capacités et les incapacités perceptives et mnésiques de la personne. Les résultats de cette évaluation devront permettre de mieux adapter les interventions effectuées auprès d'elle.

Par ailleurs, il existe présentement peu de tests normalisés pouvant aider à l'évaluation globale de la capacité d'organisation séquentielle auditive. Les recherches cliniques devront se tourner vers l'élaboration d'épreuves qui contribueront à distinguer les aspects perceptifs et mnésiques associés à cette habileté. De tels outils d'évaluation auront sans contredit un impact sur les modèles d'intervention en réadaptation.

Prière d'envoyer toute correspondance à : Benoît Jutras, École d'orthophonie et d'audiologie, Université de Montréal, C.P. 6128, succursale Centre-ville, Montréal (Québec), H3C 3J7.

Références

- Albert, M. (1972). Auditory sequencing and left cerebral dominance for language. *Neuropsychologia*, 10, 245-248.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. New York: Clarendon Press.
- Baddeley, A. D. (1990). *Human memory : Theory and practice*. Hillsdale: Erlbaum.
- Bamford, J., & Saunders, E. (1992). *Hearing impairment, auditory perception and language disability*. London: Whurr Publishers.
- Belleville, S., Peretz, I., & Arguin, M. (1992). Contribution of articulatory rehearsal to short-term memory: Evidence from a case of selective disruption. *Brain and Language*, 43, 713-746.
- Boothroyd, A. (1973). *Detection of temporal gaps by deaf and hearing subjects (S.A.R.P. # 12)*. Northampton: Clarke School For the Deaf.
- Bregman, A. S. (1990). *Auditory scene analysis : The perceptual organization of sounds*. London: MIT Press.
- Brookshire, R. H. (1972). Visual and auditory sequencing by aphasic subjects. *Journal of Communication Disorders*, 5, 259-269.
- Chi, M. T. H. (1976). Short-term memory limitations in children : Capacity or processing deficits? *Memory and Cognition*, 4, 559-572.
- Cowan, N. (1984). On short and long auditory stores. *Psychological Bulletin*, 96, 341-370.
- Cowan, N. (1988). Evolving conceptions of memory storage, selective attention, and their mutual constraints within the human information-processing system. *Psychological Bulletin*, 104, 163-191.
- Delis, D. C., Kramer, G. H., Kaplan, E., & Obler, B. A. (1987). *California Verbal Learning Test (CVLT)*. San Antonio, Texas: The Psychological Corporation (Harcourt Brace Jovanovich Inc.).
- Dempster, F. N. (1978). Memory span and short-term memory capacity : A developmental study. *Journal of Experimental Child Psychology*, 26, 419-431.
- Divenyi, P. L., & Hirsh, I. J. (1974). Identification of temporal order in three-tone sequences. *Journal of the Acoustical Society of America*, 56, 114-151.
- Durrant, J. D., & Lovrinic, J. H. (1984). *Bases of hearing sciences* (2nd Ed.). Baltimore: Williams & Wilkins.
- Efron, R. (1963). Temporal perception, aphasia and déjà vu. *Brain*, 89, 403-424.
- Eisenson, J. (1968). Developmental aphasia (dyslogia): A postulation of a unitary concept of the disorder. *Cortex*, 4, 184-200.
- Elliott, L. L., Hammer, M. A., & Scholl, M. E. (1989). Fine-grained auditory discrimination in normal children with language-learning problems. *Journal of Speech and Hearing Research*, 32, 112-119.
- Elliott, L. L., & Hammer, M. A. (1988). Longitudinal changes in auditory discrimination in normal children and children with language-learning problems. *Journal of Speech and Hearing Research*, 53, 467-474.
- Fay, W. H. (1966). *Temporal sequence in the perception of speech*. London: Mouton.
- Fitzgibbons, P. J., & Gordon-Salant, S. (1987). Minimum stimulus levels for temporal gap resolution in listeners with sensorineural hearing loss. *Journal of the Acoustical Society of America*, 81, 1542-1545.
- Florentine, M., & Buus, S. (1984). Temporal gap detection in sensorineural and simulated hearing impairments. *Journal of Speech and Hearing Research*, 27, 449-455.
- Formby, C., Barker, C., Abbey, H., & Raney, J. J. (1993). Detection of silent temporal gaps between narrow-band noise markers having second-formant like properties of voiceless stop/vowel combinations. *Journal of the Acoustical Society of America*, 93, 1023-1027.
- Fortin, J. (1993). *Les habiletés auditivo-séquentielles perceptives et mnésiques dans la dysphasie développementale*. Thèse non-publiée, Université de Montréal, Montréal.
- Gathercole, S. E., & Baddeley, A. D. (1990). Phonological memory deficits in language disordered children: Is there a causal connection? *Journal of Memory and Language*, 29, 336-360.
- Gengel, R. W., & Watson, C. S. (1971). Temporal integration: I. Clinical implications of a laboratory study; II. Additional data from hearing-impaired subjects. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 36, 213-224.
- Glasberg, B. R., & Moore, B. C. J. (1989). Psychoacoustic abilities of subjects with unilateral and bilateral cochlear hearing impairments and their relationship to the abilities to understand speech. *Scandinavian Audiology, Suppl.* 32, 1-25.

- Harrell, M., Parenté, F., Bellingrath, E. G., & Lisicia, K. A. (1992). *Cognitive rehabilitation of memory : A practical guide*. Gaithersburg: Aspen.
- Hirsh, I. J. (1959). Auditory perception of temporal order. *Journal of the Acoustical Society of America*, *31*, 759-767.
- Hulme, C., Maughan, S., & Brown, G. D. A. (1991). Memory for familiar and unfamiliar words : Evidence for a long-term memory contribution to short-term memory span. *Journal of Memory and Language*, *30*, 685-701.
- Hulme, C., Thomson, N., Muir, C., & Lawrence, A. (1984). Speech rate and the development of short-term memory span. *Journal of Experimental Child Psychology*, *38*, 241-253.
- Irwin, R. J., Ball, A. K. R., Kay, N., Stillman, J. A., & Rosser, J. (1985). The development of auditory temporal acuity in children. *Child Development*, *56*, 614-620.
- Irwin, R. J., Hinchcliff, L. K., & Kemp, S. (1981). Temporal acuity in normal and hearing-impaired listeners. *Audiology*, *20*, 234-243.
- Irwin, R. J., & McAuley, S. F. (1987). Relations among temporal acuity, hearing loss, and the perception of speech distorted by noise and reverberation. *Journal of the Acoustical Society of America*, *81*, 1557-1565.
- Katz, J. (1992). Classification of auditory processing disorders. In J. Katz, N. A. Stecker, & D. Henderson (Eds.), *Central auditory processing: A transdisciplinary view* (pp. 81-91). Toronto: Mosby Year Book.
- Katz, J. (1983). Phonemic synthesis. In E. Z. Lasky & J. Katz (Eds.), *Central auditory processing disorders: Problems of speech, language and learning* (pp. 269-296). Baltimore: University Park Press.
- Leroux, T., Lalonde, M., Désilets, F., Fortier, P., & Laroche, C. (1993). Proposition d'une nomenclature enrichie des capacités liées aux sens et à la perception-Audition. *Réseau international CIDIH*, *5 et 6*, 35-39.
- Lindamood, C. H., & Lindamood, P. C. (1979). *The LAC Test: Lindamood Auditory Conceptualization Test*. Hingham, MA: Teaching Resources Corporation.
- Ling, A. (1976). Training of auditory memory in hearing-impaired children: Some problems of generalization. *Journal of the American Society*, *1*, 150-155.
- Lowe, D.A., & Campbell, R.A. (1965). Temporal discrimination in aphasic and normal children. *Journal of Speech and Hearing Research*, *8*, 313-314.
- Luria, A. R. (1973). *The brain working: An introduction to neuropsychology*. New York : Basic Books.
- Maxon, A. B., & Hochberg, I. (1982). Development of psychoacoustic behavior: Sensitivity and discrimination. *Ear and Hearing*, *3*, 301-308.
- Moffat, N. (1992). Strategies of memory therapy. In B. A. Wilson, & N. Moffat (Eds.), *Clinical management of memory problems* (pp. 86-119). New York: Chapman & Hall.
- Moore, B. C. J., & Glasberg, B. R. (1988). Gap detection with sinusoids and noise in normal, impaired, and electrically stimulated ears. *Journal of the Acoustical Society of America*, *83*, 1093-1101.
- Musiek, F. E. (1994). Frequency (pitch) and duration pattern tests. *Journal of the American Academy of Audiology*, *5*, 265-268.
- Musiek, F., Baran, J., & Pinheiro, M. (1990). Duration pattern recognition in normal subjects and patients with cerebral and cochlear lesions. *Audiology*, *29*, 304-313.
- Nakamura, H. (1990). Thalamic mechanisms in language and rhythm (temporal perception and expression): Comparison of cortical and thalamic damaged patients from the neurobehavioral aspect. *The Tohoku Journal of Experimental Medicine*, *161*, 183-202.
- Paquet, J. (1993). *Le développement de la mémorisation à court terme est-il cause ou conséquence du développement intellectuel?* Thèse non-publiée, Université de Montréal, Montréal.
- Parker, R. M., Kasten, R. N., McCroskey, R. L., & Hoyer, E. A. (1981). Effects of stimulus frequency, level and duration on auditory temporal ordering. *The Journal of Auditory Research*, *21*, 195-200.
- Pastore, R. E., Harris, L. B., & Kaplan, J. K. (1982). Temporal order identification: Some parameter dependencies. *Journal of the Acoustical Society of America*, *71*, 430-436.
- Pinheiro, M. L. (1977). Auditory pattern perception in patients with left and right hemisphere lesions. *Ohio Journal of Speech and Hearing*, *12*, 9-20.
- Pinheiro, M. L., & Musiek, F. E. (1985). Sequencing and temporal ordering in the auditory system. In F. E. Musiek, & M. L. Pinheiro (Eds.), *Assessment of central auditory dysfunction: Foundations and clinical correlates* (pp. 219-238). Los Angeles: Williams & Wilkins.
- Preusser, D. (1972). The effect of the structure and the rate on the recognition and description of auditory temporal patterns. *Perception & Psychophysics*, *11*, 233-240.
- Rey, A. (1970). *Examen clinique en psychologie* (3e éd.). Paris : Presses universitaires de France.
- Rowe, E. J., & Cake, L. J. (1977). Retention of order information for sounds and words. *Canadian Journal of Psychology*, *31*, 14-23.
- Rudmin, F., & Normandin, N. (1983). Experimental dichotic tests in French modeled on SSW design. *Human Communication Canada*, *3*, 348-360.
- Sloan, C. (1986). *Treating auditory processing difficulties in children*. San Diego: College-Hill Press.
- Stark, J. (1967). A comparison of the performance of aphasic children on three sequencing tests. *Journal of Communication Disorders*, *1*, 31-34.
- Swisher, L., & Hirsh, I. J. (1972). Brain damage and the ordering of two temporally successive stimuli. *Neuropsychologia*, *10*, 137-152.

Tallal, P. (1978). An experimental investigation of the role of auditory temporal processing in normal and disordered language development. In E. Caramazza & E. Zurif (Eds.), *Acquisition and breakdown of language: Parallels and divergencies* (pp. 25-61). Baltimore : John Hopkins Press.

Tallal, P., & Newcombe, F. (1978). Impairment of auditory perception and language comprehension in dysphasia. *Brain and Language*, 5, 13-24.

Tallal, P., & Piercy, M. (1973a). Developmental aphasia: Impaired non-verbal processing as a function of sensory modality. *Neuropsychologia*, 11, 389-398.

Tallal, P., & Piercy, M. (1973b). Defects of non-verbal auditory perception in children with developmental aphasia. *Nature*, 241, 468-469.

Tallal, P., & Piercy, M. (1974). Developmental aphasia: Rate of auditory processing and selective impairment of consonant perception. *Neuropsychologia*, 12, 83-93.

Tallal, P., & Piercy, M. (1975). Developmental aphasia: The perception of brief vowels and extended stop consonants. *Neuropsychologia*, 13, 69-74.

Terman, L. M., & Merrill, M. A. (1937). *Measuring intelligence: A guide to the administration of the new revised Stanford-Binet Tests of intelligence*. New York: Houghton Mifflin.

Thomas, I. B., Cetti, R. P., & Chase, P. W. (1971). Effect of silent intervals on the perception of temporal order for vowels. *Journal of the Acoustical Society of America*, 49, 85.

Thomas, I. B., Hill, P. B., Carroll, F. S., & Garcia, B. (1970). Temporal order in the perception of vowels. *Journal of the Acoustical Society of America*, 48, 1010-1013.

Tyler, R. S., & Summerfield, A. Q. (1980). Psychoacoustical and phonetic measures of the temporal processing in normal and hearing-impaired listeners. In G. V. Brink & F. A. Filsen (Eds.), *Psychophysical, Physiological and Behavioral Studies in Hearing: Proceeding of the 5th International Symposium on Hearing* (pp. 458-465). Delft : Delft University Press.

Tyler, R. S., & Summerfield, Q., Wood, E. J., & Fernandes, M. A. (1982). Psychoacoustic and phonetic temporal processing in normal and hearing-impaired listeners. *Journal of the Acoustical Society of America*, 72, 740-752.

Warren, R. M. (1982). *Auditory perception: A new synthesis*. Toronto: Pergamon Press.

Warren, R. M., & Bashford, J. A., Jr (1993). When acoustic sequences are not perceptual sequences: The global perception of auditory patterns. *Perception & Psychophysics*, 54, 121-126.

Warren, R. M., & Obusek, C. J. (1972). Identification of temporal order within auditory sequences. *Perception and Psychophysics*, 12, 86-90.

Wepman, J. M., & Morency, A. (1973a). *Auditory Memory Span Test (AMST)*. Chicago: Language Research Association.

Wepman, J. M., & Morency, A. (1973b). *Auditory Sequential Memory Test (ASMT)*. Chicago: Language Research Association.

Wightman, F., Allen, P., Dolan, T., Kistler, D., & Jamieson, D. (1989). Temporal resolution in children. *Child Development*, 60, 611-624.

Wright, R. (1987). Basic properties of speech. In M. Martin (Ed.), *Practical aspects of audiology: Speech audiometry* (pp. 1-32). New Jersey: Whurr.

Zattore, R. J., & Samson, S. (1991). Role of the right temporal neocortex in retention of pitch in auditory short-term memory. *Brain*, 114, 2403-2417.