

Université de Montréal

Habilité auditive centrale d'enfants malentendants :  
organisation séquentielle de stimuli acoustiques

par

Benoît Jutras

École d'orthophonie et d'audiologie

Faculté de médecine

Thèse présentée à la Faculté des études supérieures  
en vue de l'obtention du grade de  
Philosophiæ Doctor (Ph.D.)  
en sciences biomédicales, option audiologie

septembre 1998

© Benoît Jutras, 1998



W  
4  
US8  
1999  
V. 037

Université de Montréal

Habilité à valider certains domaines méconnus ;  
régulation végétative de stimuli acoustiques

1

par

Geneviève Lefrançois

Travaux de doctorat en biologie

Faculté des sciences

Travaux présentés à l'École de doctorat de la Faculté des sciences  
en vue de l'obtention du grade de  
Docteur en biologie  
en sciences fondamentales, option biologie

septembre 1999



© Bibliothèque de l'Université de Montréal

Université de Montréal  
Faculté des études supérieures

Cette thèse intitulée :  
Habilité auditive centrale d'enfants malentendants :  
organisation séquentielle de stimuli acoustiques

présentée par :  
Benoît Jutras

a été évaluée par un jury composé des personnes suivantes :

*Michel Picard  
Jean-François Gagné  
Isabelle Serfaty  
Ira Hirsh  
Sylvie Bellardie*

Thèse acceptée le : 02.02.1999

## Sommaire

---

L'organisation séquentielle auditive est une capacité dont le traitement s'effectue à des niveaux supérieurs du système auditif. Nous nous interrogeons sur l'influence qu'une perte auditive périphérique pourrait avoir sur cette habileté auditive centrale. Jusqu'à maintenant, les études ont démontré que les personnes ayant une perte auditive avaient des performances significativement inférieures à celles de personnes ayant une acuité auditive normale pour le rappel de stimuli acoustiques. Cependant, ces recherches n'ont pas su démontrer clairement si la capacité réduite d'organisation séquentielle auditive de personnes malentendantes était attribuable à un problème de mémoire à court terme ou le résultat de difficultés dans le traitement de l'information auditive. L'un des objectifs du présent projet de recherche est de tenter de le faire. De plus, dans cette étude, nous voulons explorer l'aspect du développement de la capacité d'organisation séquentielle auditive chez les enfants malentendants puisque aucune étude connue ne l'a fait jusqu'ici.

Quarante-huit sujets ont participé à la recherche. Ils ont été réparti en quatre groupes : deux groupes d'enfants de 6 et 7 ans, dont 12 ont une perte auditive neurosensorielle et 12 n'ont aucune perte auditive, et deux groupes d'enfants de 9 et 10 ans, dont 12 ont une perte auditive neurosensorielle et 12 n'ont aucune perte auditive. Tous les sujets ont été soumis à des tâches d'organisation séquentielle en utilisant des stimuli acoustiques verbaux (/ba/ et /da/) et non verbaux (un son de 1 kHz et un bruit de bande large). L'analyse des résultats des sujets de 6 et 7 ans a

permis de constater une différence significative entre les deux groupes pour le rappel immédiat de deux, de trois et de cinq stimuli verbaux. Cependant, aucune différence significative n'a pu être démontrée entre les sujets malentendants et ceux du groupe contrôle en ce qui concerne les séquences d'éléments acoustiques constituées du même nombre d'éléments non verbaux ou pour la mesure de l'empan auditif verbal et de l'empan auditif non verbal. Pour les tâches de séquences de deux éléments verbaux avec une durée variable de l'intervalle interstimuli (30, 150 ou 425 ms), les résultats ont montré une différence significative entre les sujets entendants et malentendants.

Pour les enfants de 9 et 10 ans, les résultats n'ont pas démontré de différence significative entre les sujets entendants et les sujets malentendants pour la reproduction de séquences de cinq, sept et neuf éléments verbaux ou non verbaux. Toutefois, les enfants malentendants de 9 et 10 ans éprouvaient plus de difficultés que les enfants entendants à reproduire dans l'ordre les séquences de deux éléments verbaux lorsque la durée de l'intervalle interstimuli variait. Par contre, les enfants malentendants ont obtenu des performances significativement supérieures aux sujets entendants pour l'empan auditif non verbal. Pour ce qui est de la mesure de l'empan auditif verbal, aucune différence significative n'a été observée entre les résultats des deux groupes d'enfants.

De façon générale, les résultats de la présente étude suggèrent que les difficultés des enfants malentendants seraient davantage reliées à des troubles perceptifs qu'à un problème de mémoire à court terme. Enfin, la

comparaison des résultats des enfants de 6 et 7 ans avec ceux des sujets de 9 et 10 ans indique que la capacité d'organisation séquentielle auditive s'améliore avec l'âge, autant chez les enfants malentendants que chez les enfants entendants. Certains de ces résultats pourraient laisser croire qu'en vieillissant, les performances des sujets malentendants finiront par rejoindre celles des sujets entendants.

## Table des matières

---

Sommaire. . . . .	iii
Table des matières. . . . .	vi
Liste des tableaux. . . . .	ix
Liste des figures. . . . .	xi
Remerciements. . . . .	xix
Dédicace. . . . .	xxi

### Chapitre 1 : Introduction

1. Position du problème. . . . .	2
1.1 Organisation séquentielle de stimuli acoustiques. . . . .	6
1.1.1 Article 1 : L'organisation séquentielle de stimuli acoustiques : cadre conceptuel et implications cliniques. . . . .	8
1.2 Organisation séquentielle auditive chez des sujets malentendants. . . . .	19
1.2.1 Durée d'un stimulus acoustique. . . . .	19
1.2.2 Perception de l'intervalle minimal entre les stimuli acoustiques. . . . .	20
1.2.3 Perception de l'ordre temporel et mémoire à court terme. . . . .	22
1.3 Aspects du développement. . . . .	25

### Chapitre 2 : Section expérimentale

2. Méthodologie. . . . .	29
2.1 Participants. . . . .	29
2.1.1 Âge. . . . .	31
2.2 Matériel. . . . .	32
2.2.1 Stimuli. . . . .	32
2.2.1.1 Stimuli verbaux. . . . .	32
2.2.1.2 Stimuli non verbaux. . . . .	35

2.2.2	Durée des stimuli et intervalle interstimuli. . . . .	38
2.2.3	Mesure de la pression sonore des stimuli. . . . .	40
2.3	Déroulement. . . . .	41
2.3.1	Préparation des blocs de séquences. . . . .	41
2.3.2	Tâches de perception auditive et de mémoire à court terme. . . . .	43
2.3.3	Exemple de l'application de la procédure. . . . .	44
2.3.3	Maintien de l'intérêt des sujets. . . . .	48
2.4	Dimension éthique. . . . .	49
2.5	Présentation de l'article 2. . . . .	50
2.5.1	Article 2 : Auditory sequential organization among children with and without a hearing loss. . . . .	52

### **Chapitre 3 : Discussion générale**

3.	Discussion. . . . .	108
3.1	Capacité réduite d'organisation séquentielle auditive d'enfants malentendants. . . . .	108
3.2	Données des sujets malentendants. . . . .	114
3.2.1	Degré de la perte auditive. . . . .	117
3.2.2	Niveau de présentation des stimuli. . . . .	118
3.2.3	Âge d'appareillage. . . . .	120
3.2.4	Cause de la surdité. . . . .	122
3.2.5	Facteurs non sensoriels. . . . .	123

### **Chapitre 4 : Conclusion**

4.	Conclusion. . . . .	126
----	---------------------	-----

<b>Références.</b> . . . . .	128
------------------------------	-----

### **Appendice A**

Article A : Auditory sequential organization among children with and without a hearing loss, Part I: Evaluation.. . . .	i
--	---

**Appendice B**

Commentaires des évaluateurs pour l'article A. . . . .	xxxviii
--	---------

**Appendice C**

Article B : Auditory sequential organization among children with and without a hearing loss, Part II: Developmental aspect. . . . .	xlix
---	------

**Appendice D**

Commentaires des évaluateurs pour l'article B. . . . .	lxxxiii
--	---------

**Appendice E**

Pré-expérimentation I. . . . .	xc
--------------------------------	----

**Appendice F**

Pré-expérimentation II. . . . .	xcv
---------------------------------	-----

**Appendice G**

Pré-expérimentation III. . . . .	xcviii
----------------------------------	--------

**Appendice H**

Lettres d'approbation des comités d'éthique et du ministre de la Santé; exemples de lettres de recrutement et de formulaire de consentement. . . . .	cvi
--	-----

## Liste des tableaux

---

### Section expérimentale

Tableau 1 : Exemple de l'ordre de présentation des essais pour les tâches d'organisation séquentielle auditive auxquelles a participé un enfant de 6 ans. Le chiffre apparaissant en haut du carré représente le numéro de l'essai; le premier chiffre de la séquence indique le nombre d'éléments par séquence; les lettres indiquent le type de stimuli («v» pour verbal et «nv» pour non verbal), la dernière série de chiffres indique la durée de l'intervalle interstimuli (30, 150 ou 425 ms). . . . . . 47

Tableau 2 : Exemple de l'ordre de présentation des essais pour les tâches d'organisation séquentielle auditive auxquelles a participé un enfant de 9 ans. La signification des chiffres et des lettres est donnée dans la légende du tableau 1. . . . . . 47

### Article 2

Tableau 1 : Six- to seven-year-old subjects with a hearing loss: age at the first test session; age when the subject started to use hearing aids (H/A); gender; cause of the hearing loss; hearing loss measured in the right ear at 250 to 8 000 Hz no longer than 1 year prior to their participation in the investigation (NT = non tested); and level at which the stimuli were presented (dB HL). . . . . . 97

Tableau 2 : Nine- to ten-year-old subjects with a hearing loss: age at the first test session; age when the subject started to use hearing aids (H/A); gender; cause of the hearing loss; hearing loss measured in the right ear at 250 to 8 000 Hz no longer than 1-year prior their participation in the investigation (NT = non tested) and level at which the stimuli were presented (dB HL). . . . . . 98

## Appendice A

Tableau 1 : Subjects with a hearing impairment: age at the first test session; age when the subject started to use hearing aids (H/A); gender; cause of the hearing loss; hearing loss measured at 250 to 8 000 Hz no longer than 1 year prior to their participation in the investigation (NT = non tested); and level at which the stimuli were presented (dB HL). . . . .  
 ..... xxxiii

## Appendice C

Tableau 1 : Subjects with a hearing impairment: age at the first test session; age when the subject started to use hearing aids (h/a); gender; cause of the hearing loss; hearing loss measured at 250 to 8 000 Hz no longer than 1-year prior their participation in the investigation (NT = non tested) and level at which the stimuli were presented. . . . . lxxxii

## Appendice G

Tableau 1 : Informations concernant les quatre sujets malentendants qui ont participé à la présente expérimentation. Ces informations sont : l'âge de l'enfant lors de la première rencontre; l'âge auquel l'enfant a commencé à porter ses appareils auditifs (A/A); le sexe de l'enfant; la cause de la surdité; la mesure du seuil auditif de l'oreille droite aux fréquences de 250 Hz à 8 kHz. Cette mesure a été réalisée moins d'un an avant la première rencontre (NT = non testé). Dans l'avant-dernière colonne (Niveau), nous avons rapporté le niveau de présentation des stimuli en dB HL. Dans la dernière colonne, on retrouve le nombre d'éléments en séquence déterminé pour chaque sujet. . . . . c

## Liste des figures

---

### Article 1

Figure 1 : L'analyse de l'information et la mémoire à court terme dans le rappel de l'ordre d'une séquence auditive. . . . . 10

Figure 2 : Modèle de la mémoire de travail (adapté de Baddeley, 1986). . . . . 12

### Section expérimentale

Figure 1a : Spectre acoustique de la syllabe [ba] représenté par l'étendue fréquentielle (en kHz) en fonction de sa durée (en millisecondes). La zone colorée en vert correspond au moment où les cordes vocales ont libéré le plus d'énergie sonore. . . . . 33

Figure 1b : Spectre acoustique de la syllabe [da] représenté par l'étendue fréquentielle (en kHz) en fonction de sa durée (en millisecondes). La zone colorée en vert correspond au moment où les cordes vocales ont libéré le plus d'énergie sonore. . . . . 33

Figure 2a : Spectre acoustique du son pur de 1 kHz dont la durée est de 250 ms. On retrouve le niveau de pression sonore (dB SPL) à la sortie de l'écouteur en fonction de la fréquence (kHz). Le niveau de pression sonore était ajusté à 70 dB HL sur l'audiomètre et les mesures ont été prises aux tiers d'octave. . . . . 37

Figure 2b : Spectre acoustique du bruit de bande large dont la durée est de 250 ms. On retrouve le niveau de pression sonore (dB SPL) à la sortie de l'écouteur en fonction de la fréquence (kHz). Le niveau de pression sonore était ajusté à 70 dB HL sur l'audiomètre et les mesures ont été prises aux tiers d'octave. . . . . 37

Figure 3: Schéma illustrant la variation de la durée de l'intervalle entre la présentation du stimulus 1 (S1) et celle du stimulus 2 (S2). Ce laps de temps se nomme l'intervalle interstimuli (ISI). . . . . 39

Figure 4: Schéma illustrant le branchement des équipements utilisés pour la mesure de la pression sonore émise à la sortie de l'écouteur. . . . . 41

## Article 2

Figure 1: Mean number and standard deviation (bars) of sequences correctly reproduced as a function of the number of elements per sequence for the 12 children with normal hearing (NH) and the 12 children with a hearing loss (HL). The maximum number of sequences that could be correctly reproduced was 10. Data are shown for nonverbal (NV) and verbal (V) stimuli. All subjects were 6 and 7 years old. . . . . 101

Figure 2: Mean number and standard deviation (bars) of sequences correctly reproduced as a function of the ISI for the 12 children with normal hearing (NH) and the 12 children with a hearing loss (HL). The maximum number of sequences that could be correctly reproduced was 10. Data are shown for nonverbal (NV) and verbal (V) stimuli. All subjects were 6 and 7 years old. . . . . 102

Figure 3: Mean number and standard deviation (bars) of sequences correctly reproduced as a function of the number of elements per sequence for the 12 children with normal hearing (NH) and the 12 children with a hearing loss (HL). The maximum number of sequences that could be correctly reproduced was 10. Data are shown for nonverbal (NV) and verbal (V) stimuli. All subjects were 9 and 10 years old. . . . . 103

Figure 4 : Mean number and standard deviation (bars) of sequences correctly reproduced as a function of the ISI for the 12 children with normal hearing (NH) and the 12 children with a hearing loss (HL). The maximum number of sequences that could be correctly reproduced was 10. Data are shown for nonverbal (NV) and verbal (V) stimuli. All subjects were 9 and 10 years old. .... 104

Figure 5 : Mean number of sequences correctly reproduced as a function of the number of nonverbal elements. Data are shown for 4 groups of 12 children : 1- Children with normal hearing of 6-7 years of age (NH 6-7); 2- Children with a hearing loss of 6-7 years of age (HL 6-7); 3- Children with normal hearing of 9-10 years of age (NH 9-10); 4- Children with a hearing loss of 9-10 years of age (HL 9-10). .... 105

Figure 6 : Mean number of sequences correctly reproduced as a function of the number of verbal elements. .... 106

### **Discussion générale**

Figure 1a : Moyenne du nombre de séquences verbales correctement reproduites avec un IIS de 30 ms en fonction de l'âge des participants. Vingt-quatre sujets entendants (E) et 24 sujets ayant une surdité (S) ont effectués la tâche (12 enfants âgés de 6-7 ans et 12 enfants âgés de 9-10 ans).. .... 113

Figure 1b : Moyenne du nombre de séquences verbales correctement reproduites avec un IIS de 150 ms en fonction de l'âge des participants. Vingt-quatre sujets entendants (E) et 24 sujets ayant une surdité (S) ont effectués la tâche (12 enfants âgés de 6-7 ans et 12 enfants âgés de 9-10 ans).. .... 113

Figure 1c : Moyenne du nombre de séquences verbales correctement reproduites avec un IIS de 425 ms en fonction de l'âge des participants. Vingt-quatre sujets entendants (E) et 24 sujets ayant une surdité (S) ont effectués la tâche (12 enfants âgés de 6-7 ans et 12 enfants âgés de 9-10 ans)..  
 ..... 114

Figure 2 : Nombre de tâches (maximum 14) d'organisation séquentielle auditive qui se situent sous la limite inférieure de l'intervalle de confiance (95%) pour chaque sujet malentendant de 6 et 7 ans. Les trois enfants ayant le plus de difficultés d'organisation séquentielle sont identifiés par un rectangle plus foncé. L'intervalle de confiance a été établi à partir des résultats des douze sujets entendants de 6-7 ans. .... 115

Figure 3 : Nombre de tâches (maximum 14) d'organisation séquentielle auditive qui se situent sous la limite inférieure de l'intervalle de confiance (95%) pour chaque sujet malentendant de 9 et 10 ans. Les trois enfants ayant le plus de difficultés d'organisation séquentielle sont identifiés par un rectangle plus foncé. L'intervalle de confiance a été établi à partir des résultats des douze sujets entendants de 9-10 ans. .... 116

Figure 4 : Moyenne des seuils d'audition mesurés à 500, 1000 et 2000 Hz. Les valeurs sont illustrées pour les enfants malentendants de 6-7 ans et de 9-10 ans. Les points et losanges noirs identifient les enfants ayant éprouvé le plus de difficultés à exécuter les tâches d'organisation séquentielle auditive. .... 118

Figure 5 : Le nombre de dB SL correspond à la différence entre le niveau de présentation des stimuli et la moyenne des seuils d'audition obtenus à 500, 1000 et 2000 Hz. Les valeurs sont illustrées pour chaque enfant malentendant de 6-7 ans et ceux de 9-10 ans. Les points et losanges noirs identifient les enfants ayant éprouvé le plus de difficultés à exécuter les tâches d'organisation séquentielle auditive. .... 119

Figure 6 : Âge auquel les enfants malentendants de 6-7 ans et de 9-10 ans ont obtenu des appareils auditifs. Les points et les losanges noirs identifient les enfants ayant éprouvé le plus de difficultés à exécuter les tâches d'organisation séquentielle auditive. . . . . 121

Figure 7 : Le nombre d'années d'appareillage est rapporté pour chacun des sujets malentendants de 6-7 ans et de 9-10 ans. Les points et les losanges noirs identifient les enfants ayant éprouvé le plus de difficultés à exécuter les tâches d'organisation séquentielle auditive. . . . . 121

## **Appendice A**

Figure 1 : Mean number and standard deviation (bars) of sequences correctly reproduced as a function of the number of elements per sequence for the 12 subjects with normal hearing (NH) and the 12 subjects with a hearing loss (HL). The maximum number of sequences that could be correctly reproduced was 10. Data are shown for nonverbal (NV) and verbal (V) stimuli. All subjects were 6 and 7 years old. . . . . xxxv

Figure 2 : Mean number and standard deviation (bars) of sequences correctly reproduced as a function of the ISI for the 12 subjects with normal hearing (NH) and the 12 subjects with a hearing loss (HL). The maximum number of sequences that could be correctly reproduced was 10. Data are shown for nonverbal (NV) and verbal (V) stimuli. All subjects were 6 and 7 years old. . . . . xxxvi

Figure 3 : Mean auditory memory span score and standard deviation (bars) as a function of type of acoustic stimuli for the 12 subjects with normal hearing (NH) and the 12 subjects with a hearing loss (HL). Auditory memory span was defined as the sequence with the greatest number of elements for which 50% performance was measured. Data are shown for nonverbal (NV) and verbal (V) stimuli. All subjects were 6 and 7 years old. . . . . xxxvii

## Appendice C

Figure 1 : Mean number of sequences correctly reproduced as a function of the number of elements per sequence for the 12 subjects with normal hearing (NH) and the 12 subjects with a hearing loss (HL). Data are shown for nonverbal (NV) and verbal (V) stimuli. All subjects were 9 and 10 years old. .... lxxiv

Figure 2 : Mean number of sequences correctly reproduced as a function of the ISI for the 12 subjects with normal hearing (NH) and the 12 subjects with a hearing loss (HL). Data are shown for nonverbal (NV) and verbal (V) stimuli. All subjects were 9 and 10 years old. .... lxxv

Figure 3 : Auditory memory span score as a function of the type of acoustic stimuli for the 12 subjects with normal hearing (NH) and the 12 subjects with a hearing loss (HL). Data are shown for nonverbal (NV) and verbal (V) stimuli. All subjects were 9 and 10 years old. .... lxxvi

Figure 4 : Mean number of sequences correctly reproduced as a function of the number of nonverbal elements. Data are shown for 4 groups of 12 subjects : 1- Children with normal hearing of 6-7 years of age (NH 6-7); 2- Children with a hearing loss of 6-7 years of age (HL 6-7); 3- Children with normal hearing of 9-10 years of age (NH 9-10); 4- Children with a hearing loss of 9-10 years of age (HL 9-10). .... lxxvii

Figure 5 : Mean number of sequences correctly reproduced as a function of the number of verbal elements. Data are shown for 4 groups of 12 subjects : 1- Children with normal hearing of 6-7 years of age (NH 6-7); 2- Children with a hearing loss of 6-7 years of age (HL 6-7); 3- Children with normal hearing of 9-10 years of age (NH 9-10); 4- Children with a hearing loss of 9-10 years of age (HL 9-10). .... lxxviii

Figure 6 : Mean auditory memory span scores for nonverbal stimuli as are displayed for 4 groups of 12 subjects : 1- Children with normal hearing of 6-7 years of age (NH 6-7); 2- Children with a hearing loss of 6-7 years of age (HL 6-7); 3- Children with normal hearing of 9-10 years of age (NH 9-10); 4- Children with a hearing loss of 9-10 years of age (HL 9-10). . . . lxxix

Figure 7 : Mean auditory memory span scores for verbal stimuli as are displayed for 4 groups of 12 subjects : 1- Children with normal hearing of 6-7 years of age (NH 6-7); 2- Children with a hearing loss of 6-7 years of age (HL 6-7); 3- Children with normal hearing of 9-10 years of age (NH 9-10); 4- Children with a hearing loss of 9-10 years of age (HL 9-10). . . . . lxxx

Figure 8 : Mean number of sequences correctly reproduced as a function of the duration of the interstimulus interval (ISI) for the 24 subjects with normal hearing (NH) and the 24 subjects with a hearing loss (HL). In both groups, there were 12 subjects of 6-7 year-old and 12 subjects of 9 and 10 year-old. Data are shown for verbal (V) stimuli. . . . . lxxxi

**Appendice E**

Figure 1 : Pourcentage d'identification des syllabes /ba/ et /da/ en fonction des conditions d'écoute : 1) lorsque les stimuli étaient présentés individuellement (1 él.); 2) lorsque les stimuli étaient présentés dans des séquences de deux éléments avec un intervalle interstimuli de 30 ms (2 él.-30 ms) et 3) lorsque les stimuli étaient présentées dans des séquences de six éléments avec un intervalle interstimuli de 425 ms (6 él.-425 ms). Les colonnes de droite illustrent le pourcentage d'identification moyen obtenu pour les trois conditions d'écoute. . . . . xcii

Figure 2 : Pourcentage d'identification du /ba/ et pourcentage associé aux syllabes substituées à /ba/, tel que rapporté par les participants. Ces pourcentages représentent la moyenne des pourcentages obtenus aux trois tâches décrites à la figure 1. . . . . xciii

Figure 3: Pourcentage d'identification du /da/ et pourcentage associé aux syllabes substituées à /da/, tel que rapporté par les participants. Ces pourcentages représentent la moyenne des pourcentages obtenus aux trois tâches décrites à la figure 1. . . . . xciii

**Appendice F**

Figure 1: Pourcentage d'identification des syllabes /ba/ et /da/. . . . . xcvi

**Appendice G**

Figure 1: Pourcentage de séquences correctement reproduites en fonction du nombre d'essais auxquels les sujets malentendants ont participé. . . . . cii

Figure 2: Moyenne et écart-type (barre) du nombre de séquences correctement reproduites par quatre sujets malentendants de 6-7 ans en fonction de l'ordre de présentation des vingt séquences; les dix premières (1 à 10) versus les dix dernières (10 à 20) séquences. . . . . ciii

## **Remerciements**

---

En premier lieu, je tiens à remercier mon directeur de thèse, monsieur Jean-Pierre Gagné Ph.D. pour ses précieux conseils et pour l'appui qu'il m'a donné tout au long de la réalisation de la thèse. De par sa rigueur scientifique et son esprit d'analyse, il a toujours été pour moi (et il l'est encore) un modèle à suivre dans le domaine de la recherche en audiologie.

Je tiens également à remercier madame Nicole Normandin Ph.D. et monsieur John Ryalls Ph.D. qui m'ont dirigé lors de ma première année au doctorat. Je leur en suis reconnaissant.

Je remercie les enfants et leurs parents qui ont accepté de participer à ce projet de recherche. Inutile de souligner le fait que leur collaboration a été très déterminante pour l'aboutissement de ce travail. Merci d'avoir été aussi généreux.

Je remercie les personnes qui m'ont aidé dans le recrutement des enfants et lors du déroulement de l'expérimentation. Un merci particulier s'adresse à mes amies et collègues, Sylvie Bilodeau, Martine Chapdelaine, France Désilets, Liliane Girard, Chantal Laroche et Céline Giroux. Certaines d'entre elles ont été des agentes de recrutement très actives. Merci également aux institutions qui m'ont offert leur soutien durant la phase expérimentale de la thèse. Merci aux audiologistes des centres hospitaliers et centres de réadaptation du Québec, de l'Ontario et du

Nouveau-Brunswick qui ont identifié et référé des candidats potentiels pour la recherche.

Je remercie Hugues Baril et Stéphane Denis pour l'aide apportée dans la fabrication et l'analyse des stimuli. Merci à Francine Giroux et à Yves Lafortune pour leurs conseils lors des analyses statistiques. Merci à Daniel Chrétien pour la révision linguistique de la thèse et à Monique Charest pour la révision linguistique de l'article 2. Merci aux membres du personnel de l'École d'orthophonie et d'audiologie pour avoir rendu agréable mon passage au département.

Enfin, je veux remercier le Réseau de recherche en réadaptation de Montréal et de l'Ouest du Québec (R.R.R.M.O.Q.) pour m'avoir accordé une bourse de recherche durant les deux premières années que j'ai consacrées à mes études doctorales.

À Raymonde  
*pour qu'elle ne sombre pas dans l'oubli*

*À ma mère et à Daniel*

## **Chapitre 1**

---

### **Introduction**

## 1. Position du problème

Les habiletés auditives centrales, surtout les troubles auditifs centraux (TAC), font depuis longtemps l'objet d'investigations auprès d'enfants qui ont une sensibilité auditive dans les limites de la normale. Dans les années 70, Willeford (1977) a développé une série de six épreuves permettant d'évaluer certaines capacités auditives centrales d'enfants sans perte auditive périphérique. La batterie d'examen comprend, entre autres, des épreuves d'écoute monaurale, binaurale et alternée pour lesquelles des normes ont été établies. D'autres épreuves (Musiek, Baran, & Pinheiro, 1990, Katz, 1987; Pinheiro, 1977) ont également été produites afin d'infirmier ou de confirmer des troubles auditifs centraux chez des enfants qui éprouvaient des difficultés scolaires. Katz, Stecker et Henderson (1992) rapportent que les troubles d'apprentissage sont habituellement reliés à des problèmes auditifs centraux chez les enfants ayant une acuité auditive normale. Ils indiquent, tout comme le font Katz et Wilde (1994), que les difficultés de lecture constituent le premier indice de ces troubles. Tallal (1980) abonde dans le même sens en suggérant que les enfants ayant des difficultés de lecture éprouvent des problèmes de perception auditive qui affectent entre autres le traitement de l'information reçue.

Selon Taylor (1988), la prévalence d'enfants qui ont des problèmes d'apprentissage se situe entre 7% et 15%; celle d'enfants ayant une hypoacousie et des problèmes scolaires, varie de 7% à 23% selon les études (Elliot, Powers, & Funderburg, 1988; Karchmer, 1985). Quant aux TAC, la prévalence reste inconnue chez les enfants entendants et malentendants

qui ont des troubles d'apprentissage. La difficulté à estimer la prévalence de ces troubles chez les enfants malentendants serait liée à l'influence que l'atteinte auditive périphérique pourrait exercer sur les résultats des épreuves auditives centrales. C'est d'ailleurs ce qui pousse Stecker (1992), Dempsey (1983) et Arnst (1982) à recommander de ne pas utiliser ces épreuves auprès d'enfants malentendants. Pourtant, certains auteurs mentionnent qu'il est possible de retrouver des TAC chez des enfants ayant une perte auditive périphérique (Bamford, & Saunders, 1992; Musiek, & Lamb, 1994; Northern, & Downs, 1984). Cette affirmation reste toutefois hypothétique et n'a jamais, du moins jusqu'à maintenant, été documentée.

Les études neurophysiologiques, menées sur des animaux, ont montré qu'une atteinte cochléaire empêche le développement normal de certaines structures anatomiques du système auditif central (Hashisaki, & Rubel, 1989; Moore, 1990; Webster, 1983; Webster, & Webster, 1977). Cependant, on ne connaît pas l'impact qu'ont ces changements sur le développement ou le maintien des habiletés auditives centrales de personnes ayant une hypoacousie. Il existe plusieurs habiletés auditives centrales que le groupe de travail sur les capacités auditives centrales de l'Association américaine des orthophonistes et des audiologistes définit comme étant les processus et mécanismes du système auditif responsables des phénomènes comportementaux suivants : latéralisation et localisation du son; discrimination auditive; identification de patterns auditifs; résolution temporelle; masquage temporel; intégration temporelle; organisation séquentielle; diminution des performances auditives en présence de signaux acoustiques compétitifs ou dégradés (ASHA, 1996). Un

trouble auditif central serait le résultat d'une déficience de l'une ou de plusieurs de ces habiletés (ASHA, 1996).

Dans le cas des enfants ayant une surdité, il faudrait au préalable vérifier certaines de leurs habiletés auditives centrales avant de pouvoir déterminer s'ils éprouvent des TAC. L'objectif de la présente recherche est de documenter l'une de ces habiletés auditives centrales chez des enfants malentendants : l'organisation séquentielle auditive. Elle retient notre attention pour deux raisons. Premièrement, elle est sans contredit l'une des fonctions les plus fondamentales et les plus importantes du système nerveux auditif central (Pinheiro, & Musiek 1985). Une dysfonction ou une lésion à un ou aux deux lobes temporaux entraînerait, entre autres, des problèmes auditifs d'organisation séquentielle. En effet, la plupart des études effectuées auprès de personnes aphasiques (d'expression, de réception ou mixte) ou ayant une lésion au lobe temporal droit montrent que ces personnes éprouvent des difficultés à retenir dans l'ordre des éléments acoustiques (Albert, 1972; Brookshire, 1972; Efron, 1963; Nakamura, 1990). Deuxièmement, cette habileté est reliée à la perception de la parole (Hirsh, 1959).

Quelques études portant sur le rappel des stimuli acoustiques non verbaux et verbaux ont été réalisées auprès d'adultes ou d'enfants malentendants (Anooshian & Bryan, 1979; Furth & Pufall, 1966; Ling, 1975; Stark, 1967; Sterritt, Camp & Lipman, 1966; Stoker, 1980). En général, elles démontrent que les sujets malentendants obtiennent des résultats inférieurs à ceux des sujets entendants. Toutefois, dans ces études, certains

facteurs expérimentaux n'ont pas été contrôlés, ce qui aurait pu influencer les conclusions des recherches.

Avant de rapporter les résultats de la présente recherche dans le chapitre 2, nous allons faire état des connaissances sur les composantes sous-jacentes à l'organisation séquentielle auditive, sous forme d'un premier article dans une sous-section du présent chapitre. Cet article traite des implications cliniques reliées à une meilleure connaissance de cette habileté auditive centrale. On y retrouve également un cadre conceptuel qui permet de situer les aspects perceptifs et ceux de la mémoire à court terme associés à la capacité d'organisation séquentielle auditive. Il a été publié en 1996 dans la *Revue d'orthophonie et d'audiologie*, 20, 197-206. À la suite de l'article, nous faisons état des écrits concernant les études menées sur l'organisation séquentielle auditive auprès de sujets malentendants.

Le chapitre 2 est consacré à l'approche méthodologique que nous avons utilisée dans la présente étude. On y retrouve uniquement les informations justifiant les choix expérimentaux effectués lors du déroulement de l'étude; informations qui n'apparaissent pas dans l'article du chapitre 2. Mentionnons que cet article a été soumis au *Journal of Speech-Language-Hearing Research* aux fins d'évaluation par un comité de pairs en vue de publication. Il est le fruit d'un travail de synthèse mené à partir de deux articles soumis à la même revue scientifique. Ces deux articles ont déjà fait l'objet d'une évaluation de la part d'évaluateurs du *Journal of Speech-Language-Hearing Research*, en février et avril 1998. L'éditeur associé de la revue et l'un des évaluateurs ont suggéré que les

deux articles soient combinés. Nous avons suivi leur suggestion et nous avons donc envoyé à cette revue l'article présenté au chapitre 2 (voir les appendice A et B pour consulter les deux articles et les appendices B et D pour connaître les commentaires des évaluateurs).

En résumé, l'article traite de l'évaluation de l'organisation séquentielle auditive chez des enfants entendants et malentendants. Il est divisé en trois sections. Dans la première section, on retrouve les résultats de l'étude effectuée auprès d'enfants entendants et malentendants de 6-7 ans. Dans la deuxième section, l'étude a été reprise auprès d'une population d'enfants entendants et malentendants de 9-10 ans. Dans la troisième section, nous avons comparé les résultats des sujets qui ont participé à l'expérimentation des sections I et II. La comparaison de ces résultats a été effectuée uniquement pour les conditions expérimentales qui étaient identiques aux deux groupes de sujets.

Le chapitre 3 est consacré à une discussion générale. Dans le chapitre 4, des conclusions sont tirées sur l'évaluation de la capacité d'organisation séquentielle auditive d'enfants malentendants et sur les aspects du développement qui s'y rattachent.

### 1.1 Organisation séquentielle de stimuli acoustiques

Dans cette section, nous présentons les aspects se rattachant à l'organisation séquentielle auditive, sous la forme d'un article que nous avons publié dans la *Revue d'orthophonie et d'audiologie* (20, 197-206) en 1996. Nous résumons les études traitant de l'intégration temporelle et de

la résolution temporelle chez des personnes ayant une sensibilité auditive normale. De plus, nous abordons les notions de perception de l'ordre de stimuli acoustiques et de la mémoire à court terme en rapportant les recherches menées auprès des personnes ayant une sensibilité auditive normale et celles menées auprès des personnes ayant des problèmes neurologiques. Enfin, nous présentons les épreuves actuellement utilisées en clinique pour évaluer cette habileté et les implications d'une telle évaluation auprès des personnes qui ont une capacité réduite d'organisation séquentielle auditive.

### **1.1.1 Article 1**

---

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

# 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

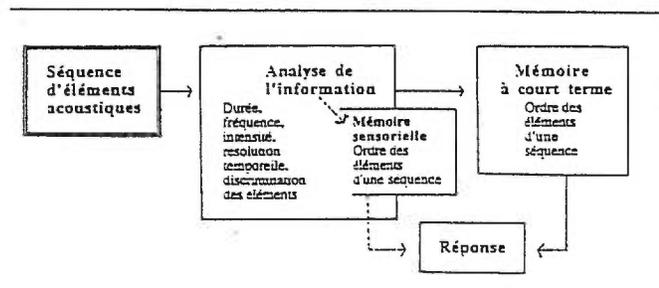
complexes qui nous intéressent. Ils retiennent notre attention puisqu'ils sont reliés à la perception de la parole. En effet, comme le souligne Hirsh (1959), l'ordre dans lequel apparaissent les sons de la parole permet de différencier des mots composés des mêmes phonèmes, comme /trE/-/tEr/; /pri/-/pir/; /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 renseigne 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., 1982) et sont homogènes parmi tous les sujets (Irwin 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.

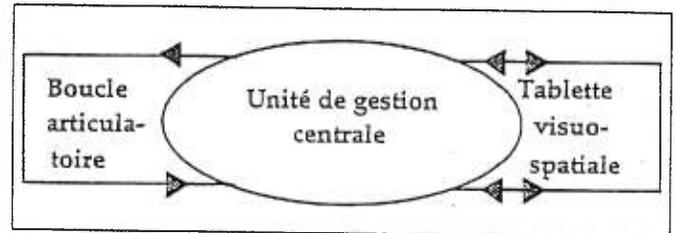
Lorsqu'une séquence est constituée de plus de deux éléments, la durée de chacun de ces éléments devient un facteur important pour permettre l'identification de l'ordre de présentation, par des sujets adultes. Pour une séquence ininterrompue de stimuli acoustiques, la durée de chaque stimulus doit être 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 cérébrolésés 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 aphasia 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*, *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 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 psychophysical 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: Permagon 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.

## 1.2 Organisation séquentielle auditive chez des sujets malentendants

La capacité à retenir dans l'ordre des éléments acoustiques est une tâche complexe, tributaire d'un fonctionnement efficace de certaines habiletés auditives et cognitives. Jutras et Gagné (1996) résument les connaissances sur l'organisation séquentielle auditive. Ils mentionnent que les composantes sous-jacentes à cette capacité sont : la durée d'un stimulus acoustique, l'intervalle interstimuli (IIS), la perception de l'ordre temporel et la mémoire à court terme. Que sait-on sur les résultats des études menées auprès des personnes ayant une hypoacousie et portant sur chacune de ces composantes?

### 1.2.1 Durée d'un stimulus acoustique

La détection d'un signal acoustique suppose une durée critique de présentation qui en permette l'intégration temporelle. En effet, la sommation de l'énergie totale d'un stimulus par les fibres nerveuses du système auditif détermine le seuil de détection de ce signal selon sa durée et le niveau de pression sonore auquel il est présenté. Pour les sons de 200 ms et moins, le seuil de détection varie en fonction de la durée du signal (Campbell, & Counter, 1969).

Pour la majorité des sujets ayant une perte auditive, la capacité d'intégration temporelle de l'énergie sonore d'un signal est réduite (Carlyon, Buus, & Florentine, 1990; Florentine, Fastl, & Buus, 1988; Tyler, Summerfield, Wood, & Fernandes, 1982). En d'autres mots, l'intégration

du stimulus acoustique par le système auditif s'effectue moins efficacement, pour un temps donné, chez les sujets ayant une perte auditive neurosensorielle que chez ceux ayant une acuité auditive normale. De façon générale, on calcule la capacité d'intégration temporelle selon le décalage du seuil de détection d'un stimulus de durées variables par rapport à une durée fixe du même stimulus (étalon). Plus l'intégration de l'énergie est efficace, plus grandes seront les valeurs de décalage. Gerken, Gunnarson & Allen (1983) rapportent que ces valeurs sont plus petites chez les sujets ayant une hypoacousie que chez ceux qui n'en ont pas. Quant aux résultats obtenus chez les enfants ayant une perte auditive, ils sont supérieurs à ceux des adultes du même groupe, mais inférieurs à ceux d'enfants sans perte auditive (Dempsey & Maxon, 1982). Autrement dit, la capacité d'intégration temporelle des sujets malentendants adultes est davantage réduite par rapport à celle des enfants. De plus, l'intégration temporelle semble moins efficace chez les enfants malentendants que chez les enfants entendants (Dempsey & Maxon, 1982).

### 1.2.2 Perception de l'intervalle minimal entre les stimuli acoustiques

Piéron (1967) souligne le fait que la perception de la succession d'événements est possible lorsque l'intervalle entre les stimuli est supérieur au seuil temporel, « sinon, il y a une sensation continue » (p. 112) de l'événement. La capacité du système auditif à percevoir un intervalle entre deux ou plusieurs stimuli acoustiques se nomme généralement la résolution temporelle. Les résultats des recherches sur la résolution temporelle des sujets ayant une perte auditive neurosensorielle varient beaucoup. Cependant, plusieurs chercheurs

s'accordent pour affirmer que ce processus perceptif est altéré chez ces sujets (Boothroyd, 1973; Fitzgibbons et coll., 1987, 1982; Glasberg et coll., 1989, 1987; Irwin et coll., 1987, 1981; Nelson, & Thomas, 1997; Tyler et coll., 1982, 1980). Les données expérimentales permettent de conclure que pour des bruits de bande étroite (BBE) ou des bruits de bande large (BBL) présentés à des niveaux de 70 dB SPL ou plus, les valeurs de résolution temporelle sont au moins une fois et demie plus élevées chez les sujets ayant une perte auditive que chez les sujets sans perte auditive. Cependant, l'écart entre la valeur de résolution temporelle des sujets entendants et celle des sujets malentendants diminue avec l'augmentation du niveau de présentation des stimuli (en dB SPL) (Nelson, & Thomas, 1997). La configuration de la perte auditive a également une certaine influence sur les résultats aux tâches de résolution temporelle. Généralement, les sujets qui ont des seuils auditifs élevés en hautes fréquences ont des valeurs de résolution temporelle plus élevées que ceux qui ont de meilleurs seuils auditifs sur ces mêmes fréquences (Boothroyd, 1973; Florentine, & Buus, 1984).

Avec la présentation de sons purs, la différence entre les résultats des sujets entendants et ceux des sujets ayant une hypoacousie n'existe plus lorsque les données sont comparées entre elles, aux mêmes valeurs de pression sonore (80 dB SPL et plus). Cependant, pour les sujets ayant une perte auditive, les valeurs de résolution temporelle sont inférieures à celles des sujets sans perte auditive lorsque la comparaison des résultats est faite au même niveau de sensation (dB SL) (Glasberg, & Moore, 1989; Moore, & Glasberg, 1988).

### 1.2.3 Perception de l'ordre temporel et mémoire à court terme

Les résultats des quelques études réalisées sur le rappel de stimuli acoustiques démontrent que les sujets malentendants ont des performances inférieures à celles des sujets entendants lorsqu'ils sont soumis à des tâches de rappel de chiffres ou de stimuli acoustiques non verbaux (Anooshian, & Bryan, 1979; Furth, & Pufall, 1966; Grose, & Hall, 1996; Rose, & Moore, 1997; Stark, 1967; Sterritt, Camp, & Lipman, 1966; Stoker, 1980). Les résultats peuvent toutefois varier selon les stimuli utilisés. Ling (1975) a évalué la capacité d'organisation séquentielle d'enfants malentendants et entendants en utilisant des séquences de deux, trois et quatre stimuli acoustiques verbaux (voyelles ou consonnes) ou non verbaux (bruits de l'environnement) en variant l'intervalle interstimuli. L'échantillon était composé de 18 sujets malentendants âgés entre six et quatorze ans, de 18 sujets entendants de 9 ans et de 18 sujets entendants de 5 ans. Les résultats démontrent que les sujets malentendants ont obtenu des performances inférieures à celles des deux groupes de sujets entendants pour les séquences de voyelles et de consonnes composées deux, trois et quatre éléments avec des intervalles interstimuli de 50, 300 et 800 ms. Cependant, pour les séquences de sons non verbaux, les sujets malentendants ont eu des résultats supérieurs à ceux des enfants de 5 ans, mais inférieurs à ceux du groupe formé d'enfants de 9 ans. Les résultats de l'étude de Ling montrent également que les enfants malentendants réussissent mieux à identifier l'ordre de présentation de syllabes composées de voyelles qu'à reconnaître l'ordre de présentation de bruits d'environnement et de syllabes formées de consonnes. L'identification de séquences de stimuli non verbaux était

supérieure à celle de séquences de syllabes comprenant des consonnes. Ling explique cette différence par le fait que les sujets malentendants identifiaient vraisemblablement les consonnes à partir de patterns auditifs partiels, contrairement aux stimuli non verbaux et aux voyelles où leur perception se faisait plus distinctement. Il semble qu'il ne s'agisse pas d'une question de perceptibilité puisque tous les sujets malentendants sélectionnés pour son étude pouvaient identifier tous les stimuli verbaux et non verbaux. Les sujets sans perte auditive ont identifié plus facilement l'ordre de présentation des stimuli verbaux (voyelles et consonnes) que celui des stimuli non verbaux. Ces résultats vont dans le même sens que ceux dont fait état l'étude de Rowe et Cake (1977). Ces derniers ont trouvé qu'il était significativement plus facile pour les sujets (entendants) de leur étude de se rappeler l'ordre de mots entendus que l'ordre de bruits de l'environnement pour un IIS de 500 ms et moins. Selon eux, l'encodage de stimuli non verbaux doit nécessairement s'effectuer en attribuant une étiquette verbale aux sons non verbaux. L'étiquette permet d'avoir accès à l'encodage verbal. Quant aux mots, Rowe et Cake soutiennent qu'ils ne requièrent aucune transformation puisqu'ils possèdent déjà le code verbal, ce qui facilite la rétention de l'information en séquence. Par contre, selon Jones (1993), les sons et la parole ont le même pouvoir de perturber le rappel immédiat de stimuli verbaux lorsqu'ils sont présentés à la suite de la séquence à retenir. Le traitement de la mémoire à court terme ne serait donc pas nécessairement distinct pour les stimuli verbaux et non verbaux.

Dans les études susmentionnées, soulignons le fait que certains chercheurs n'ont pas vérifié si les sujets pouvaient reconnaître l'ordre de

présentation de deux éléments (Anooshian, & Bryan, 1979; Furth, & Pufall, 1966). Cette épreuve aurait permis de déterminer si les sujets étaient capables d'effectuer la tâche d'organisation séquentielle avec un nombre minimal d'éléments (soit deux éléments) avant de les soumettre à une tâche de rappel de séquences ayant un nombre plus élevé d'éléments. D'autres recherches n'ont pas mentionné ou contrôlé la durée des stimuli utilisés (Sterritt et coll., 1966), l'intervalle interstimuli (Sterritt et coll., 1966), le niveau de pression sonore des stimuli (Stoker, 1980) ou le type de perte auditive (neurosensorielle, mixte ou conductive) des sujets (Stark, 1967). De plus, une étude n'a pas jumelé les sujets du groupe expérimental et ceux du groupe contrôle selon l'âge et le sexe (Ling, 1975). L'échantillon du groupe expérimental de l'étude de Ling (1975) était formé de onze filles et sept garçons dont l'âge variait entre six et quatorze ans tandis que dans les deux groupes contrôles, l'âge des enfants (neuf filles et neuf garçons) était de 5 et 9 ans. La formation de groupes plus homogènes selon le sexe et selon l'âge auraient permis d'effectuer des comparaisons intra et intergroupes, dans le but de tenir compte de l'aspect du développement relié à la tâche demandée.

En résumé, l'ensemble des recherches suggère que les personnes malentendantes ont davantage de difficultés que les entendants à reconnaître l'ordre de stimuli acoustiques. Cependant, la majorité d'entre elles ne permettent pas d'identifier si cette incapacité est d'origine perceptive plutôt que mnésique ou si elle est associée à la fois à des troubles perceptifs et mnésiques. Le but de la présente étude est de vérifier la capacité d'organisation séquentielle auditive chez des enfants malentendants. Dans le cas où les sujets malentendants auraient une

réduction de cette capacité, tel que rapporté dans les études antérieures, nous souhaitons être en mesure de mieux la situer, selon sa nature. Est-ce une incapacité perceptive ou mnésique? L'identification d'une telle incapacité aurait des implications autant sur le plan théorique que clinique.

### 1.3 Aspects du développement

La capacité de rappel immédiat de stimuli se nomme généralement l'empan mnésique. L'empan est une épreuve qui évalue la capacité de la mémoire à court terme. La tâche consiste à répéter dans l'ordre des items présentés en séquence. Habituellement, les séquences commencent avec un élément à répéter et le nombre d'éléments augmente progressivement jusqu'à ce que la personne ne puisse plus répéter correctement les éléments dans l'ordre. Le point correspondant à 50% de bonnes réponses représente l'empan mnésique (Jacobs, 1887). Il est connu que cet empan augmente de façon progressive avec l'âge, chez les enfants entendants. L'empan mesuré chez des enfants de 5 ans atteint un nombre qui est deux fois moins élevé que celui obtenu chez des adultes (Chi, 1976). Les résultats de l'étude de Paquet (1993) montrent que l'empan de chiffres passe de 4,2 à 6,3 chez des sujets dont l'âge varie de 7 à 28 ans. Pour le rappel de séquences formées à partir de deux sons purs (500 Hz et 1 kHz), l'empan est de 6,7 pour des enfants âgés entre 7 et 10 ans et de 9,7 pour des adultes (Cacace, & McFarland, 1992).

Bien que Cohen et O'Connor (1994) n'ont pas effectué une mesure d'empan, mais ont plutôt converti les données des sujets en pourcentage

de bonnes réponses, il reste que leurs résultats vont dans le même sens que les études susmentionnées. En effet, le pourcentage de séquences correctement reproduites croît avec l'âge. Les enfants de 4-5 ans, de 8-9 ans, les adolescents de 14-15 ans et les adultes de 19-20 ans obtiennent respectivement des pourcentages de 49%, 77%, 87% et de 90% pour la moyenne de bonnes réponses établie à partir du rappel exact de séquences comprenant entre deux et cinq cris d'animaux.

D'autres composantes sous-jacentes à l'organisation séquentielle auditive semblent varier en fonction de l'âge. Les seuils d'intégration temporelle s'améliorent avec l'âge, mais l'intégration de l'énergie acoustique reste quant à elle invariable (Maxon & Hochberg, 1982). Pour ce qui est de la résolution temporelle, on constate également une amélioration des performances des sujets en fonction de l'âge (Grose, Hall, & Gibbs, 1993; Irwin, Ball, Kay, Stillman, & Rosser, 1985; Trehub, Schneider, & Henderson, 1995; Wightman, Allen, Dolan, Kistler, & Jamieson, 1989). Que ce soit pour la mesure d'empan ou pour le nombre de séquences correctement reproduites, aucune étude connue n'a vérifié l'aspect du développement pour la capacité d'organisation séquentielle auditive chez les enfants malentendants. Dans la présente étude, nous voulons explorer cet aspect. Nous voulons soumettre des enfants entendants et malentendants de deux groupes d'âge à des tâches de rappel de séquences acoustiques afin de vérifier si l'écart entre les résultats des sujets entendants et ceux des sujets malentendants persiste ou s'il diminue avec l'âge. Les résultats auront une incidence sur les plans théoriques et cliniques. Ils permettront, entre autres, de mieux connaître le développement de cette habileté chez les enfants malentendants et

également de mieux élaborer les plans d'interventions audiologiques auprès de cette clientèle.

## Chapitre 2

---

### Section expérimentale

## 2. Méthodologie

L'article 2, que l'on retrouve dans ce chapitre, décrit la méthodologie utilisée dans la présente recherche. Cependant, nous allons aborder certains points qui n'ont pas été développés dans les diverses sections de la méthodologie de l'article (Jutras, & Gagné, 1998).

### 2.1 Participants

Les 24 sujets malentendants de 6-7 ans et de 9-10 ans ont été recrutés par le biais des services d'audiologie de plusieurs hôpitaux du Québec (Centre hospitalier de Chicoutimi, Hôpital Hôtel-Dieu d'Alma, Hôpital Hôtel-Dieu de Roberval), de l'Ontario (Hôpital pour Enfants de l'Est de l'Ontario) et du Nouveau-Brunswick (Centre hospitalier régional Réseau santé Nor'Est) ainsi que par l'entremise de centres de réadaptation du Québec (Institut Raymond-Dewar, Centre de réadaptation Le Bouclier, Centre de réadaptation Estrie inc, Centre de réadaptation La RessourSe, Services montérégiens de réadaptation). Pour ce qui est des sujets entendants, ils proviennent de l'école Les petits castors de Longueuil et du réseau de connaissances de l'auteur.

La sélection des sujets malentendants a été effectuée à partir du dépouillement des informations contenues au dossier des services d'audiologie selon les critères suivants :

1- Les participants avaient une perte neurosensorielle bilatérale, c'est-à-dire des seuils auditifs supérieurs à 25 dB HL sur la moyenne des fréquences de 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz et 4 kHz et dont l'écart entre le seuil auditif mesuré en aérien et en osseux ne dépasse pas 10 dB.

2- Les sujets ont commencé à porter des appareils auditifs avant l'âge de 6 ans et ils les portaient depuis au moins deux ans. Une seule candidate fait exception à la règle. Elle a obtenu ses aides auditives à l'âge 6 ans et 9 mois. Cependant, lors de la première rencontre, elle avait ses appareils auditifs depuis deux ans et trois mois.

3- Les sujets ont eu un suivi de réadaptation en audiologie ou en orthophonie d'au moins trois ans afin de s'assurer qu'ils ont reçu une stimulation auditive et langagière.

4- Les sujets devaient utiliser le mode oral pour communiquer.

5- Les sujets étaient droitiers. La latéralité a été évaluée selon le protocole de De Agostini and Dellatolas (1988). Stocker (1980) a démontré qu'il existe une dominance latérale en faveur de l'oreille droite lorsque des adultes ayant une perte auditive sont soumis à des épreuves de reconnaissance de patterns auditifs.

6- Les sujets devaient réussir les tâches d'association et d'identification du protocole expérimental décrites dans l'article 2. Plus spécifiquement, ils devaient être capables d'associer un stimulus entendu à un bouton de la boîte expérimentale. Ensuite, ils devaient identifier auditivement tous les

stimuli de l'expérimentation afin de s'assurer 1) qu'ils étaient présentés à un niveau audible pour chaque sujet et 2) qu'en cas où les résultats démontreraient une capacité d'organisation séquentielle auditive réduite chez les sujets malentendants, on pourrait alors affirmer que cette incapacité n'est pas la conséquence d'un problème d'identification des stimuli.

Les critères de sélection des participants du groupe contrôle étaient définis comme suit :

1- Il devaient pouvoir détecter les sons purs à 15 dB HL pour les fréquences de 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz et 8 kHz (re : ANSI S3.6, 1989). Le seuil à 250 Hz n'a pas été vérifié puisque la mesure de la sensibilité auditive se faisait le plus souvent, dans une pièce du domicile du sujet où le niveau de bruit ne permettait pas la détection de ce son pur à un niveau aussi bas que 15 dB HL.

2- Ils devaient être droitiers. La latéralité a été évaluée selon le protocole de De Agostini and Dellatolas (1988).

3- Ils devaient réussir à identifier tous les stimuli de l'étude.

### 2.1.1 Âge

Tallal (1978) a vérifié la capacité de rappel de l'ordre de deux stimuli non verbaux en variant la durée de l'IIS. Elle a menée son étude auprès d'enfants de 6:6 ans, 7:6 ans et de 8:6 ans, et auprès d'adultes. À la suite

d'un examen des résultats de cette étude, il nous a semblé que 8 ans était l'âge où les performances des enfants se rapprochaient de celles des adultes. Nous nous en sommes tenu au recrutement de sujets dont l'âge se situait juste au-dessous et au-dessus de cette limite. De plus, nous avons choisi des participants qui étaient scolarisés puisque nous voulions qu'ils aient acquis la notion de syllabes. Enfin, les tâches d'écoute demandaient de l'attention et de la concentration en raison du type d'épreuves et de la durée de l'expérimentation. Pour ces raisons, nous avons cru que le plus jeune groupe d'âge des participants devrait être celui correspondant au début de la scolarisation.

## 2.2 Matériel

### 2.2.1 Stimuli

Deux types de stimuli ont été retenus pour l'expérimentation. Il s'agit de stimuli verbaux et non verbaux.

#### 2.2.1.1 Stimuli verbaux

Les deux syllabes utilisées pour l'expérimentation sont un /ba/ et un /da/. Le spectre acoustique des syllabes est présenté dans la figure 1a et 1b. Elles ont été produites par une voix masculine afin de donner le plus de chance aux sujets malentendants de les identifier. De façon générale, la configuration des pertes auditives est plus accentuée sur les hautes fréquences. Selon Hecker (1971), la fréquence fondamentale d'une voix masculine se situe davantage sur les basses fréquences.

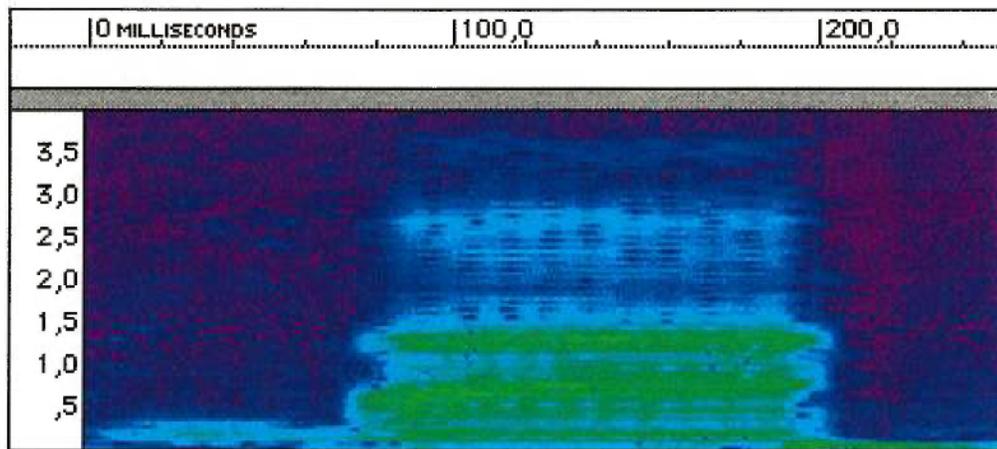


Figure 1a. Spectre acoustique de la syllabe [ba] représenté par l'étendue fréquentielle (en kHz) en fonction de sa durée (en millisecondes). La zone colorée en vert correspond au moment où les cordes vocales ont libéré le plus d'énergie sonore.

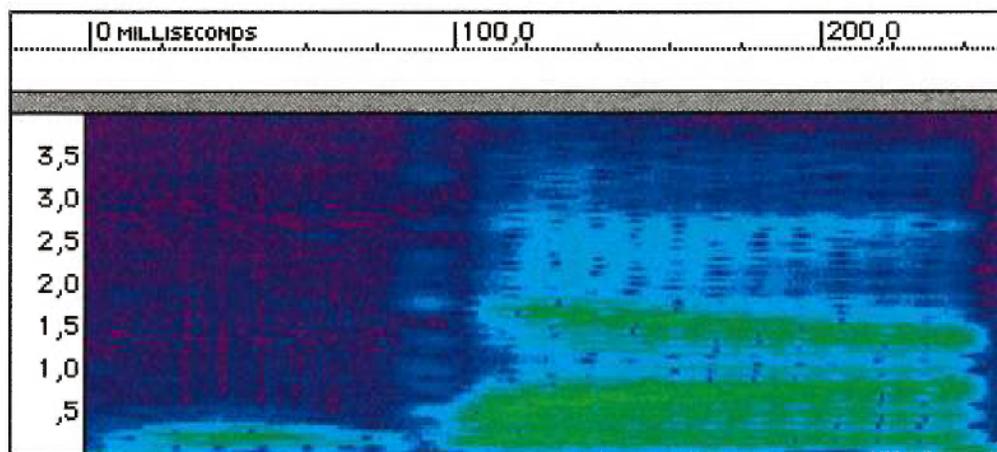


Figure 1b. Spectre acoustique de la syllabe [da] représenté par l'étendue fréquentielle (en kHz) en fonction de sa durée (en millisecondes). La zone colorée en vert correspond au moment où les cordes vocales ont libéré le plus d'énergie sonore.

Les consonnes /b/ et /d/ ont été retenues parce que ce sont des consonnes occlusives qui s'opposent par le lieu d'articulation et que la transition formantique de ce type de consonnes vers la voyelle ne dure que quelques dizaines de millisecondes, soit entre 20 et 50 ms (Wright, 1987). Dans la présente étude, la transition de la consonne à la voyelle a été mesurée avec le logiciel VIS/PC/ (1996). Cette transition s'effectue en 29,2 ms pour la syllabe [ba] et en 27,7 ms pour la syllabe [da] (voir figures 1a et 1b). L'identification de ces consonnes, combinées à une voyelle, demande un traitement rapide de la part du système auditif périphérique et central. Ces consonnes ont également des indices en basses fréquences reliés au voisement; indices pouvant aider les sujets malentendants à les reconnaître.

La voyelle /a/ était le second élément de la syllabe. Ses formants se retrouvent relativement en basses fréquences (Clas, 1983). Dans la présente étude, la fréquence du premier formant de la voyelle dans [ba] et dans [da] se situe à 717 Hz et à 696 Hz respectivement, et celle du deuxième formant est de 1308 Hz et 1519 Hz, respectivement. Ces mesures ont été effectuées avec le logiciel VIS/PC/ (1996). Nous supposons que les indices sur les fréquences graves offrent davantage de possibilités aux sujets malentendants de l'identifier.

Une expérimentation a été menée auprès d'adultes ayant une acuité auditive normale (voir pré-expérimentation I à l'appendice E). Les sujets devaient écouter des syllabes sans avoir aucun indice sur le type de syllabes qui leur étaient présentées. Les résultats ont montré que le /ba/ a été reconnu en moyenne à 74% tandis que le /da/ avait un pourcentage

d'identification de 97%. Toutefois, lors d'une seconde expérimentation effectuée auprès d'enfants et d'adultes ayant une sensibilité auditive normale (voir pré-expérimentation II à l'appendice F), le pourcentage d'identification du /ba/ et du /da/ atteignait 99% lorsqu'elles étaient présentées dans un choix limité à ces deux syllabes.

En ce qui a trait à la durée des syllabes, elle a été modifiée avec le logiciel Mitsyn (1993). Des essais ont été tentés afin de limiter la durée de la syllabe à 250 ms sans en altérer la perception. Pour le /ba/, nous avons essayé de garder entièrement la consonne /b/ en coupant la durée de la voyelle /a/. Cette modification faisait en sorte que l'on percevait davantage la syllabe comme étant /va/. D'autre part, en gardant le spectre entier de la voyelle /a/ en coupant presque toute la durée de la consonne, on pouvait entendre /pa/ au lieu de /ba/. Il nous a semblé que de couper le début de la consonne en maintenant une durée brève de la voyelle permettait une meilleure perception de la syllabe /ba/. Nous avons donc opté pour une durée de 203 ms pour la partie consonne-voyelle suivie d'une section de voisement en basses fréquences d'une durée de 47 ms, ce qui donne une durée totale de 250 ms pour la syllabe /ba/ (voir figure 1a). Quant à la syllabe /da/, nous avons coupé le stimulus dans la partie de la voyelle pour réduire la durée de cette syllabe à 250 ms (voir figure 1b).

#### 2.2.1.2 Stimuli non verbaux

Les stimuli acoustiques non verbaux étaient constitués d'un son pur de 1 kHz et d'un bruit à bande large (BBL) de 250 Hz à 8 kHz. Ces stimuli ont été générés par le logiciel Mitsyn (1993) et stockés dans un ordinateur

Macintosh PowerBook 145. Les figures 2a et 2b montrent le spectre acoustique de ces signaux. Les mesures ont été prises à la sortie de l'écouteur TDH-39 utilisé pour l'expérimentation avec les équipements suivants : sonomètre Larson-Davis Laboratories (modèle 800B), oreille artificielle Larson-Davis Laboratories (modèle AE 100), microphone Larson-Davis Laboratories (modèle 2575), pré-amplificateur Larson-Davis Laboratories (modèle 826), adaptateur Larson-Davis Laboratories (modèle AD 020); analyseur de fréquence Brüel & Kjær (modèle 2123) et pistonphone Brüel & Kjær (modèle 4230).

Le son de 1 kHz est un signal familier pour la plupart des personnes (Yantis, 1994) et il semble le plus fiable lorsqu'on mesure la sensibilité auditive (Dadson, & King, 1952). Pour ce qui est du BBL, il a été choisi parce qu'il avait un spectre fréquentiel axé sur les fréquences de la parole. Nous avons opté pour des signaux qui avaient peu de ressemblances acoustiques afin de faciliter les tâches d'écoute. De cette manière, nous pouvions vérifier si les sujets étaient capables d'effectuer les tâches d'organisation séquentielle auditive.

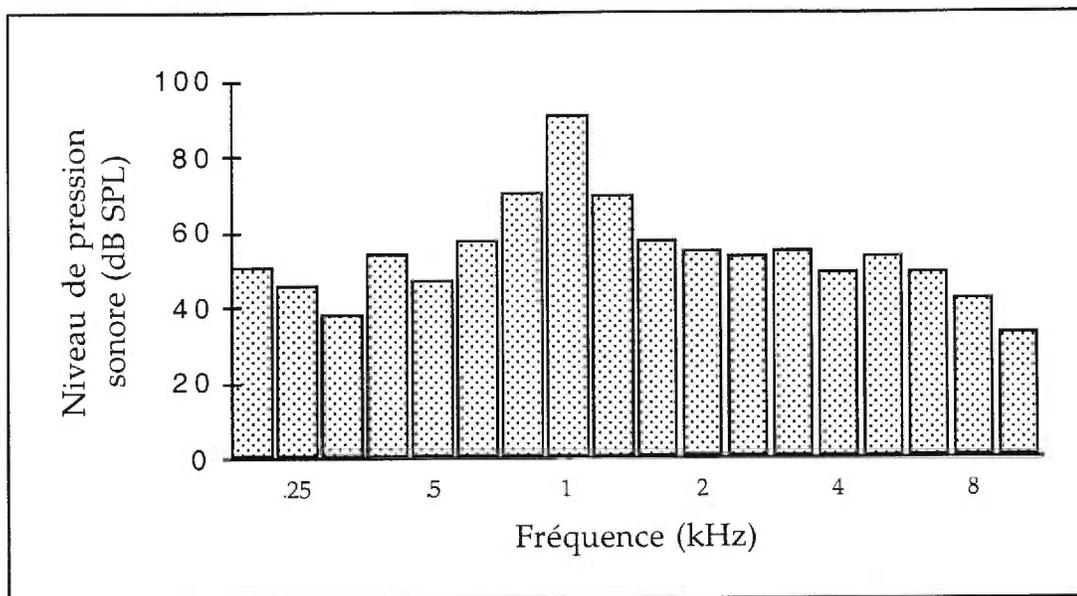


Figure 2a. Spectre acoustique du son pur de 1 kHz dont la durée est de 250 ms. On retrouve le niveau de pression sonore (dB SPL) à la sortie de l'écouteur en fonction de la fréquence (kHz). Le niveau de pression sonore était ajusté à 70 dB HL sur l'audiomètre et les mesures ont été prises aux tiers d'octave.

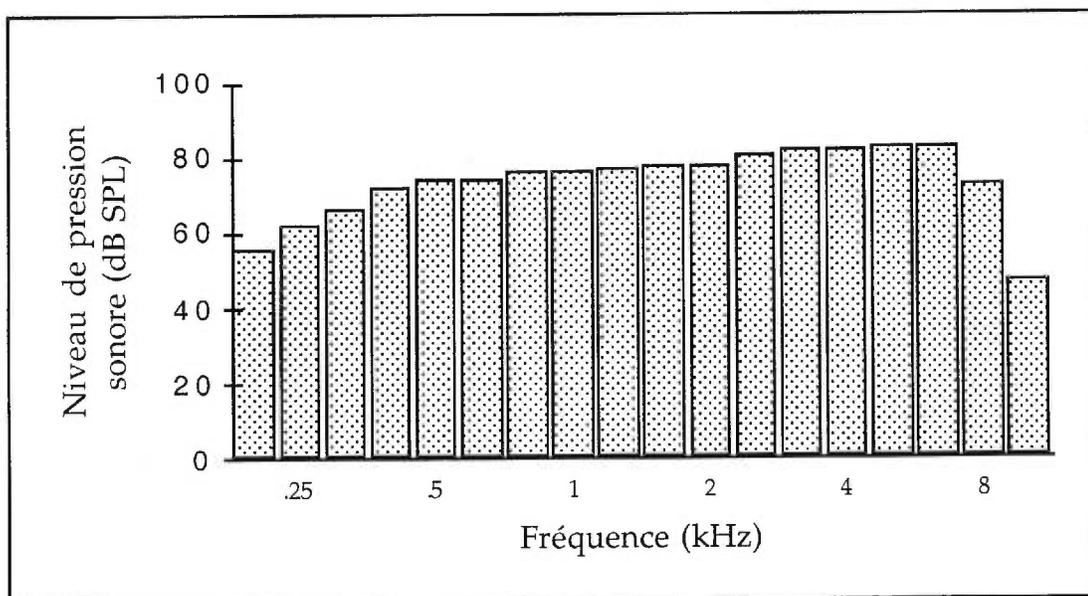


Figure 2b. Spectre acoustique du bruit de bande large dont la durée est de 250 ms. On retrouve le niveau de pression sonore (dB) à la sortie de l'écouteur en fonction de la fréquence (kHz). Le niveau de pression sonore était ajusté à 70 dB HL sur l'audiomètre et les mesures ont été prises aux tiers d'octave.

### 2.2.2 Durée des stimuli et intervalle interstimuli

Les recherches ont démontré que la capacité d'intégration temporelle de stimuli acoustiques est réduite chez les sujets ayant une perte auditive. Nous avons donc choisi de limiter la durée des stimuli acoustiques à 250 ms; durée qui se situe juste au-delà de la valeur critique de 200 ms où il existe une relation de dépendance entre le niveau de pression sonore et la longueur du stimulus, lorsque les mesures sont prises auprès de personnes ayant une acuité auditive normale (Campbell, & Counter, 1969). De plus, les résultats de l'étude de Tallal (1978) montrent qu'un son d'une durée de 250 ms avec un intervalle interstimuli (IIS) maintenu à 428 ms permettait à des enfants dysphasiques de se rappeler l'ordre de présentation des stimuli acoustiques autant que les enfants du groupe contrôle. Pour des durées de IIS plus courtes, ces enfants éprouvaient davantage de difficultés à effectuer la tâche que les enfants sans dysphasie. Bien que les enfants malentendants n'ont pas nécessairement de problèmes de langage reliés à la dysphasie, nous avons choisi, en se basant sur cette étude, de maintenir la durée des stimuli à 250 ms et la durée de ISI à 425 ms pour les tâches évaluant la capacité de la mémoire à court terme par modalité auditive. Nous avons également varié la durée de l'IIS lorsque la tâche consistait à reproduire l'ordre de deux éléments acoustiques. Pour créer cette épreuve, nous nous sommes inspirés du «test perceptif» des études de Tallal et Piercy (1974, 1973a, 1973b). Nous voulions, de cette manière, vérifier davantage les aspects perceptifs de la tâche d'organisation séquentielle. Les durées de l'IIS étaient de 30 ms et de 150 ms en plus du 425 ms (voir figure 3). L'IIS de 30 ms a été choisi sur la

base des études sur la résolution temporelle qui ont démontré que cette capacité est réduite chez les adultes et adolescents malentendants (Boothroyd, 1973; Fitzgibbons et coll., 1987, 1982; Glasberg et coll., 1989, 1987; Irwin et coll., 1987, 1981; Tyler et coll., 1982, 1980). Selon les études, les résultats varient entre 5 et 28 ms. Nous avons donc opté pour une durée qui est un peu plus longue que la valeur limite. Pour ce qui est du choix de l'IIS de 150 ms, nous avons voulu prendre une valeur entre les deux autres durées (30 et 425 ms), mais qui se situait plus près du 30 ms pour augmenter le niveau de difficulté dans l'exécution de la tâche.

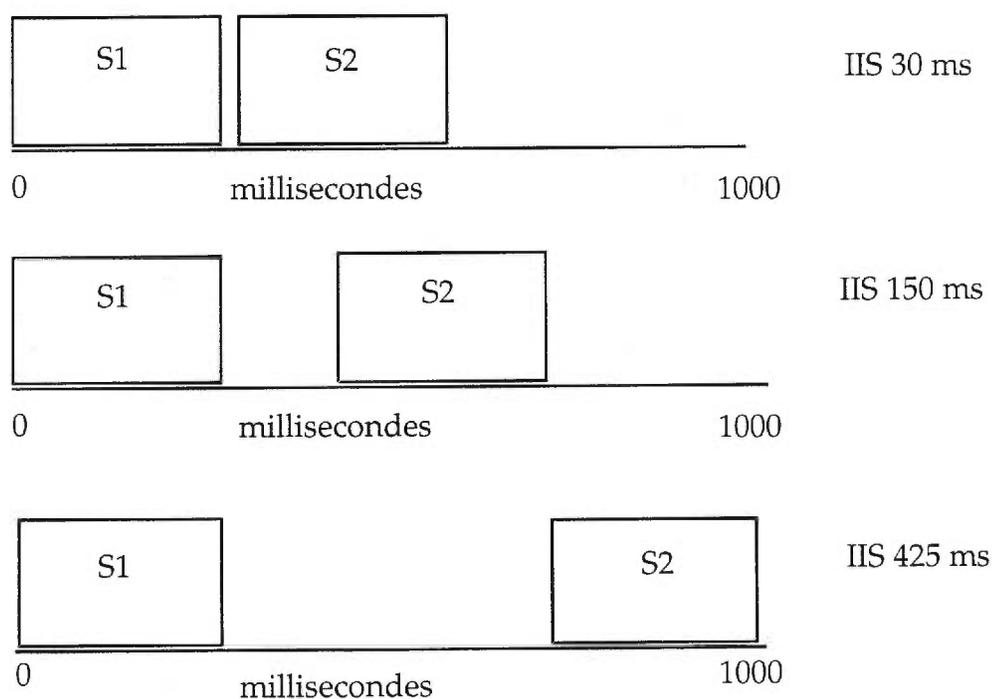


Figure 3. Schéma illustrant la variation de la durée de l'intervalle entre la présentation du stimulus 1 (S1) et celle du stimulus 2 (S2). Ce laps de temps se nomme l'intervalle interstimuli (IIS).

### 2.2.3 Mesure de la pression sonore des stimuli

Nous avons vérifié le niveau de pression sonore émis à la sortie de l'écouteur droit, selon l'installation utilisée lors de la pré-expérimentation et de l'expérimentation. Voici un aperçu de cette installation (voir figure 4) : les stimuli acoustiques ont été emmagasinés dans un ordinateur portable Macintosh PowerBook 145 (1) à l'aide du logiciel SoundEdit Pro (1992). Nous avons relié par un fil la sortie en parallèle de l'ordinateur (1a) à l'entrée en parallèle d'un audiomètre Orbiter 922 (2). Dans la sortie en parallèle de l'audiomètre (2a), nous avons branché un écouteur (3). Le logiciel PsychLab (1992) a permis d'acheminer les stimuli à l'écouteur, via l'audiomètre. Pour la mesure de la pression sonore des stimuli, nous avons utilisé une oreille artificielle B & K 4152 (4) où reposait l'écouteur sur lequel s'exerçait une pression de 500 grammes (4a). Cette oreille artificielle était reliée à un sonomètre Ivie PC-40 (5) muni d'un pré-amplificateur Ivie IE-2P (5a). Nous avons utilisé la procédure de mesure du matériel vocal, recommandée par ANSI S3.6-1989. Les valeurs obtenues respectaient cette norme puisqu'avec un niveau de présentation de 70 dB HL, pour les quatre stimuli utilisés (/ba, /da/, son de 1 kHz, bruit à bande large), les résultats se situaient à  $90 \pm 1$  dB SPL. Les mesures ont été prises sur une échelle de dB (A), en mode de lecture lente.

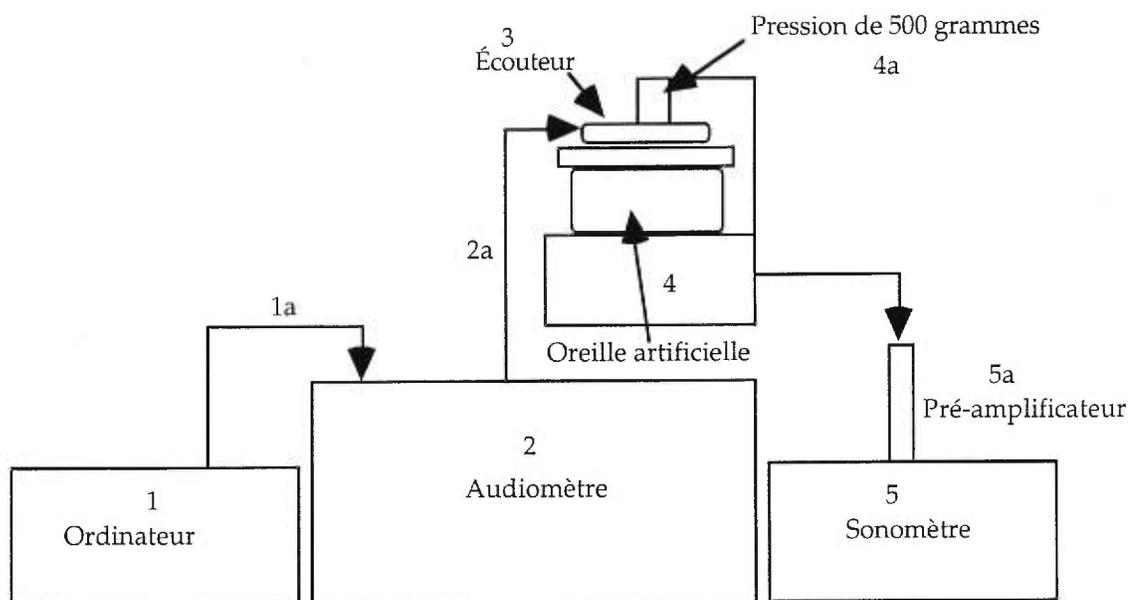


Figure 4. Schéma illustrant le branchement des équipements utilisés pour la mesure du niveau de pression sonore émis à la sortie de l'écouteur.

### 2.3 Déroulement

#### 2.3.1 Préparation des blocs de séquences

Une expérimentation a été effectuée auprès d'enfants malentendants de 6-7 ans (voir pré-expérimentation III à l'appendice G) pour vérifier si les réponses des sujets étaient influencées par la présentation de blocs de 10 ou de blocs de 20 séquences. L'analyse des résultats n'a pas permis de montrer une différence significative entre les données des participants lorsqu'ils étaient exposés à des blocs de 10 séquences ou à des blocs de 20

séquences. À la lumière de ces résultats, nous avons donc soumis les sujets à des tâches impliquant des blocs de dix séquences.

À partir de la même expérimentation (voir Appendice G), nous voulions vérifier si les performances des sujets variaient d'une session à l'autre. Nous avons demandé aux sujets de participer à dix sessions où la tâche consistait à reproduire des séquences de stimuli non verbaux. Les statistiques n'ont pas permis d'observer une différence significative entre les données obtenues auprès des participants d'une session à l'autre. Nous avons tout de même décidé de recueillir deux données pour chacune des différentes tâches expérimentales afin de s'assurer d'une certaine stabilité dans les réponses fournies par les participants. Ces tâches comprenaient au moins 14 blocs de séquences (sept verbales et sept non verbales). Chaque bloc correspondait à un nombre déterminé d'éléments par séquence. D'un bloc à l'autre, l'intervalle interstimuli pouvait varier. La présentation aléatoire des séquences binaires a été effectuée à l'aide du logiciel PsychLab (1992). Cependant, il a fallu décider de l'ordre dans lequel les éléments seraient présentés puisque ce logiciel ne possédait pas cette fonction. Nous avons donc procédé de la façon suivante :

- Pour les séquences de deux éléments, nous avons retenu deux fois les quatre combinaisons possibles en plus de deux autres séquences pigées au hasard.
  
- Pour les séquences de trois éléments, les huit combinaisons ont été conservées en plus de deux autres séquences qui ont été obtenues de façon aléatoire.

- Pour les séquences de quatre éléments, les seize combinaisons ont été divisées en deux versions de huit séquences en plus des deux séquences pigées au hasard parmi les seize arrangements, pour chacune des versions. L'ordre de présentation des versions se faisait de façon alternée d'une rencontre à l'autre et pour chaque sujet.
  
- Pour les séquences composées de cinq à neuf éléments, nous avons déterminé l'ordre des stimuli au hasard parmi toutes les combinaisons possibles. Ces dernières ont été calculées à l'aide de tableaux de pseudo-hasard balancés par ordinateur en utilisant le langage Basic. Nous avons formé six versions de dix séquences. L'ordre de présentation des versions a été déterminé de façon aléatoire.

### 2.3.2 Tâches de perception auditive et de mémoire à court terme

La plupart des études sur l'organisation séquentielle auditive menées auprès de sujets malentendants (Anooshian, & Bryan, 1979; Furth, & Pufall, 1966; Ling, 1975; Stark, 1967; Sterritt, Camp, & Lipman, 1966; Stoker, 1980) n'ont pas permis de déterminer si les difficultés de ces sujets relevaient du domaine de la perception ou de celui de la mémoire. Cependant, Rose, & Moore (1997) et Grose, & Hall (1996) ont soumis des adultes entendants et malentendants à des tâches de résolution temporelle impliquant des séquences de stimuli non verbaux. Les résultats ont montré que les sujets malentendants obtenaient des performances significativement inférieures à celles des sujets entendants. Ces résultats suggèrent que les problèmes auditifs d'organisation séquentielle des sujets

malentendants sont reliées à des difficultés perceptives. Cependant, ces recherches n'ont pas été menées auprès d'enfants malentendants.

Dans la présente recherche, nous avons tenté de mieux connaître les difficultés d'organisation séquentielle auditive d'enfants malentendants en préparant le devis expérimental de façon à ce que les sujets soient soumis à des tâches qui font davantage appel à la perception auditive et à des épreuves qui demandent plus la contribution de la mémoire à court terme. Pour les tâches perceptives, les sujets devaient écouter des séquences formées de deux éléments, dont la durée de l'IIS variait entre 30, 150 et 425 ms. Les stimuli étaient les syllabes /ba/ et /da/ ou les sons non verbaux, un son pur de 1 kHz et un bruit de bande large. L'ordre de présentation des éléments et des séquences se faisaient de façon aléatoire. Pour les tâches de mémoire à court terme, les sujets devaient reproduire les séquences de stimuli verbaux ou non verbaux dont le nombre variait entre 3, 5, 7 ou 9 éléments, selon l'âge des sujets.

### 2.3.3 Exemple de l'application de la procédure

Chaque enfant a participé à deux rencontres. Lors de la première rencontre, il a effectué le test de raisonnement non verbal de Raven (1956), le « Coloured Progressive Matrices ». Cette épreuve durait entre huit et dix minutes. Ensuite, il a été soumis au test de latéralité développé par De Agostini et Dellatolas (1988). Ce test durait moins de 5 minutes. Par la suite, si le sujet faisait partie du groupe contrôle, il se prêtait aux tests de dépistage audiométrique et impédancemétrique (tympanométrie). Ces mesures ont été effectuées aux deux oreilles et la durée des examens ne

dépassait pas dix minutes. Si l'enfant faisait partie du groupe expérimental, l'épreuve de détection des sons purs et l'épreuve impédancemétrique avaient été effectuées antérieurement (moins d'un an) par l'audiologiste qui suit cet enfant. L'expérimentateur a dû évaluer les capacités auditives de deux enfants malentendants à l'épreuve de détection de sons purs et à celle de l'impédancemétrie lors d'une rencontre antérieure au déroulement de l'expérimentation.

Pour la partie expérimentale, l'enfant était assis près d'une table où il y avait une boîte expérimentale avec deux boutons identiques de couleur rouge. L'expérimentateur demandait d'abord à l'enfant s'il connaissait des syllabes. Tous les enfants ont répondu dans l'affirmative et ils ont donné quelques exemples. L'expérimentateur donnait alors les instructions suivantes : « Je vais te mettre les écouteurs sur les oreilles. Dans l'oreille droite seulement, tu vas entendre une syllabe qui ressemble à [da]. Lorsque tu l'entends, tu devras peser sur le bouton de droite, comme ça (démonstration). Quelquefois tu entendras une autre syllabe que [da], tu devras alors peser sur le bouton de gauche, comme ça (démonstration) ». Mentionnons que la moitié des enfants devaient appuyer sur le bouton de droite à l'écoute de la syllabe /da/ et l'autre moitié devait appuyer sur le bouton de gauche lorsqu'ils entendaient cette syllabe. La consigne était alors adaptée en fonction de la réponse attendue. Avant de mettre les écouteurs sur les oreilles de l'enfant, l'expérimentateur faisait quelques essais avec l'enfant en prononçant une des deux syllabes ([ba] ou [da]) et l'enfant devait appuyer sur le bouton correspondant à la syllabe. De cette manière, l'expérimentateur pouvait vérifier si l'enfant comprenait la tâche. Par après, l'expérimentateur mettait les écouteurs sur les oreilles de

l'enfant et actionnait l'ordinateur pré-programmé qui présentait vingt essais d'un stimulus à la fois : dix /da/ en premier, suivi de la présentation de dix /ba/. L'enfant devait appuyer sur le bouton correspondant à la syllabe, tel qu'on lui avait indiqué de le faire. Durant cette pratique, pour les enfants malentendants, l'expérimentateur ajustait le niveau de présentation au niveau de confort de l'enfant. Lorsque l'enfant avait entendu les 20 essais et qu'il avait appuyé correctement sur les boutons, il devait refaire la même tâche. Cependant, la présentation des syllabes a été modifiée et se faisait dans un ordre aléatoire. L'expérimentateur indiquait à l'enfant s'il avait une bonne ou une mauvaise réponse. Nous avons nommé cette partie de l'expérimentation le test d'association.

Lorsque l'enfant avait effectué correctement le test d'association, il se prêtait ensuite au test d'identification. Ce test était semblable au test d'association, mais dans le cas du test d'identification, l'enfant devait réussir 18 essais sur vingt (90%). L'enfant ne recevait aucune indication de la part de l'expérimentateur sur l'exactitude de ses réponses. Les tests d'association et d'identification étaient ensuite effectués avec les stimuli acoustiques non verbaux. Cette partie de l'expérimentation pouvait durer 10 minutes.

Enfin, en ayant réussi le test d'identification pour les deux types de stimuli, l'enfant pouvait passer au test d'organisation séquentielle auditive. Cette épreuve consistait en la présentation aléatoire de dix séquences de stimuli verbaux ou de dix séquences de stimuli non verbaux dont le nombre d'éléments pouvaient varier d'un essai à l'autre. Dans les

tableaux 1 et 2, on retrouve un exemple de l'ordre de présentation des essais pour les tâches d'organisation séquentielle auditive auxquelles ont participé un enfant de 6 ans et un enfant de 9 ans.

1 5v425	2 2v425	3 3v425	4 2nv425	5 2nv30	6 2nv150	7 2v30
8 5nv425	9 3nv425	10 7v425	11 7nv425	12 2v150	13 6nv425	14 6v425

Tableau 1. Exemple de l'ordre de présentation des essais pour les tâches d'organisation séquentielle auditive auxquelles a participé un enfant de 6 ans. Le chiffre apparaissant en haut du carré représente le numéro de l'essai; le premier chiffre de la séquence indique le nombre d'éléments par séquence; les lettres indiquent le type de stimuli («v» pour verbal et «nv» pour non verbal), la dernière série de chiffres indique la durée de l'intervalle interstimuli (30, 150 ou 425 ms).

1 2nv30	2 9nv425	3 7nv425	4 5v425	5 9v425	6 7v425	7 2v425
8 5nv425	9 2v30	10 2v150	11 2nv425	12 2nv150	13 4v425	14 8nv425

Tableau 2. Exemple de l'ordre de présentation des essais pour les tâches d'organisation séquentielle auditive auxquelles a participé un enfant de 9 ans. La signification des chiffres et des lettres est donnée dans la légende du tableau 1.

Mentionnons que pour les essais 13 et 14, le nombre d'éléments en séquence pouvait varier entre 4, 6 ou 8 afin de mesurer l'empan auditif pour chacun des types de stimuli. Le nombre d'éléments était déterminé en fonction du pourcentage de bonnes réponses obtenu lors des essais comprenant des séquences de 3, 5, 7 ou 9 éléments verbaux ou non verbaux.

La durée de chacun des essais variait de 10 secondes à 3 minutes. La durée totale du test d'organisation séquentielle auditive était d'environ 45 minutes. Le test était entrecoupé de deux ou trois pauses de 5 minutes. Durant le déroulement de l'expérimentation, l'enfant recevait des autocollants à intervalle irrégulier.

Lors de la deuxième rencontre, l'enfant était soumis à nouveau au test d'identification de syllabes. De cette manière, l'expérimentateur s'assurait que l'enfant pouvait effectuer correctement la tâche et qu'il obtenait au moins 90% de bonnes réponses. Après cette étape, l'enfant reprenait le test d'organisation séquentielle auditive où la présentation du nombre d'éléments en séquence et du type de stimuli se faisait encore dans un ordre aléatoire.

#### 2.3.4 Maintien de l'intérêt des sujets

Il est connu que la perte d'intérêt des enfants à la tâche peut influencer les résultats d'un test. Nous avons utilisé des autocollants comme renforçateur afin de maintenir leur intérêt. Les sujets pouvaient les obtenir à des intervalles variables pour différents tâches complétées. Selon

Fulton (1978), avec la distribution du renforçateur à intervalles irréguliers, il est plus probable que le comportement opérant résiste à l'extinction que si la distribution du renforçateur s'effectuait après chaque réponse. L'examineur donnait au sujet un carton sur lequel il pouvait apposer ses autocollants durant les différentes épreuves. Paul et Jackson (1993) mentionnent que l'administration d'un test par des évaluateurs peu entraînés et qu'une méconnaissance des personnes sourdes et malentendantes de la part de l'examineur peuvent contribuer à réduire la fiabilité d'un test. Dans la présente étude, les épreuves étaient administrées par un évaluateur qui compte plusieurs années d'expérience comme audiologiste auprès d'enfants malentendants. Cette expérience lui a permis d'être en mesure de juger, entre autres, de l'intérêt des enfants face aux tâches demandées et de leur offrir de prendre une pause au moment où l'intérêt semblait diminuer.

Pour deux enfants (un enfant malentendant de 6 ans et un enfant entendant de 9 ans), il a fallu échelonner les essais sur trois rencontres. Un des enfants disait ressentir de la fatigue tandis que pour l'autre enfant, l'attention ne semblait pas être maintenue.

#### 2.4 Dimension éthique

Pour procéder au recrutement de sujets, il a d'abord fallu soumettre le projet au Comité d'éthique de la recherche de la Faculté de médecine de l'Université de Montréal, de qui nous avons obtenu l'approbation. Nous avons également soumis le projet à plusieurs autres comités d'éthique, comités scientifiques et personnes responsables de la recherche dans

différents établissements au Québec et en Ontario (voir les lettres d'approbation à l'appendice H) : Hôpital Sainte-Justine, Hôpital de Montréal pour Enfants, Hôpital pour enfants de l'est de l'Ontario, Complexe hospitalier de la Sagamie, Institut Raymond-Dewar, Centre de réadaptation Le Bouclier, Centre de réadaptation La RessourSe. Ces comités ou personnes responsables de la recherche ont approuvé les formulaires de consentement destinés aux participants (voir Appendice H). De plus, le projet a reçu l'approbation du ministre de la Santé, Jean Rochon, en vertu de l'article 21 du Code civil.

## 2.5 Présentation de l'article 2

Dans la prochaine sous-section de la section expérimentale, nous vous présentons un article (Jutras, & Gagné, 1998) qui résume notre recherche menée auprès de deux groupes d'enfants malentendants (6-7 ans et 9-10 ans), jumelés à des enfants entendants selon l'âge et le sexe. L'un des objectifs de l'étude était de vérifier si les problèmes auditifs d'organisation séquentielle des sujets malentendants sont plus spécifiquement liés à des difficultés perceptives ou davantage associés à des problèmes de mémoire à court terme. De plus, un autre but de la recherche était d'explorer l'aspect du développement de cette habileté auditive centrale chez des enfants malentendants.

Les sujets ont été soumis à des tâches de rappel de séquences de stimuli verbaux (syllabes /ba/ et /da/) et de stimuli non verbaux (un son pur de 1 kHz et un bruit de bande large de 250 Hz à 8 kHz). Ils devaient au préalable identifier auditivement chacun des stimuli afin de participer aux

tâches susmentionnées. En général, les résultats suggèrent que les difficultés auditives d'organisation séquentielle des enfants malentendants sont plus associées à des problèmes de traitement de l'information auditive qu'à des troubles de mémoire à court terme. De plus, les résultats démontrent une amélioration des performances des enfants en fonction de l'âge, autant chez les enfants malentendants que chez les entendants.

Rappelons que cet article a été soumis au *Journal of Speech-Language-Hearing Research* en vue d'être publié. Il est la synthèse de deux articles initialement soumis à la même revue (voir les appendice A et C). L'éditeur associé de la revue ainsi que l'un des évaluateurs externes ont suggéré de combiner les deux articles en un seul (voir commentaires à l'appendice D) ce qui a été fait.

2.5.1 Article 2

---

**Auditory sequential organization among children  
with and without a hearing loss**

Running head: AUDITORY SEQUENTIAL ORGANIZATION

Auditory sequential organization among children with and without a  
hearing loss

Benoît Jutras

École d'orthophonie et d'audiologie  
Université de Montréal

Jean-Pierre Gagné

École d'orthophonie et d'audiologie  
Université de Montréal

## Abstract

The present investigation examined the ability of children with and without a hearing loss to correctly reproduce sequences of acoustic stimuli that varied in number, temporal spacing, and type. Forty-eight children took part in the investigation. They were divided into 4 groups: 2 groups of 6-7 year-old children, 12 with normal hearing and 12 with a sensorineural hearing loss, and 2 groups of 9-10 year-old children, 12 with normal hearing and 12 with a sensorineural hearing loss. All of the children completed auditory temporal sequencing tasks with verbal (/ba/ and /da/) and nonverbal (a 1-kHz pure tone and a wide band noise) acoustic stimuli. For the 6-7 year-old children, the results revealed a significant difference between the children with a hearing loss and their peers with normal hearing for immediate recall of verbal sequences. There were no significant differences in performance between the children with a hearing loss and their normal-hearing peers on the nonverbal sequencing tasks, or on the nonverbal and verbal memory span tasks. For the 9-10 year-old children, the results did not show any significant differences in performance between the two groups of children for the reproduction of sequences containing more than two verbal or nonverbal elements, nor for the auditory memory span task when the sequences consisted of verbal stimuli. For the recall of two verbal stimuli with a variable inter-stimulus interval (ISI) duration, the results showed that the children with a hearing loss experienced more difficulty than the normal-hearing children. Overall, the results indicated that on the auditory sequential organization tasks, the poorer performance of the

children with a hearing loss is likely attributable to auditory perceptual processing deficits rather than to poorer short-term memory capabilities. Also, an analysis of the data revealed that the older children obtained significantly better results than the younger children on auditory sequential organization tasks.

Auditory sequential organization among children  
with and without a hearing loss

Temporal ordering involves two perceptual processes (Hirsh, 1959), namely 1) perception of the interval between the stimuli, and 2) discrimination of the stimuli from each other. Temporal ordering can be accomplished on the basis of global (holistic) pattern recognition or through the identification of each component of the string (Warren, 1994; Warren & Gardner, 1995). The latter requires the listener to attach a verbal label to each of the individual elements (Belleville, Peretz & Arguin, 1992; Rowe & Cake, 1977; Warren & Gardner, 1995).

Several studies have demonstrated that, when the stimuli consist of verbal or nonverbal acoustic signals, children with a hearing loss perform more poorly than children with normal hearing on temporal sequencing tasks (Anooshian & Bryan, 1979; Furth & Pufall, 1966; Grose & Hall, 1996; Rose & Moore, 1997; Stark, 1967; Sterritt, Camp & Lipman, 1966; Stoker, 1980). However, the results can vary depending on the type of stimuli used. Ling (1975) evaluated the sequential organization performance of children with and without a sensorineural hearing loss using sequences of two, three and four verbal stimuli (vowels or consonants) or nonverbal stimuli (environmental noises), with variable interstimuli interval (ISI) durations. The author reported that, for ISI durations of 50, 300 and 800 msec, the children with a hearing loss performed more poorly than those with normal hearing for sequences of vowels and consonants that consisted of two, three and four elements. For the nonverbal sequences,

the children with a hearing loss (between 6 and 14 years of age) obtained better results than those obtained by normal-hearing 5 year-old children, but worse than those obtained by 9 year-old children with normal hearing.

Rowe and Cake (1977) reported that, when the ISI duration was 500 msec or less, it was easier for participants with normal hearing to recall the order of words than the order of environmental noises. According to these authors, the coding of nonverbal acoustic stimuli must necessarily be accomplished by attributing a verbal label to the nonverbal stimuli. This label then permits access to verbal coding. The coding of words does not require any transformation because the words are already perceived in the verbal code. According to Rowe and Cake (1977), this facilitates the retention of information in sequence. Jones (1993) reported that pure tones and verbal stimuli, presented at the end of a sequence, have equally disruptive effects on immediate recall in an auditory verbal sequencing task (suffix effect). These findings suggest that short-term memory processing does not necessarily differ for verbal and nonverbal sequences.

Certain methodological limitations must be considered when interpreting the results of these studies. Some investigators did not ensure that their participants were able to recognize the presentation order of two elements (Anooshian & Bryan, 1979; Furth & Pufall, 1966). Tallal and Piercy (1973a, 1973b, 1974) have argued that this is an important aspect of auditory perception tasks. Other investigators failed to report or control the stimulus duration (Sterritt et al., 1966), ISI duration (Sterritt et al., 1966), stimulus sound pressure level (Stoker, 1980) or type of hearing loss

(conductive, sensorineural or mixed) of the participants (Stark, 1967). Finally, in one study, the investigators did not match the experimental and control participants according to gender and age (Ling, 1975). The experimental group in Ling's study consisted of 11 girls and 7 boys between the ages of 6 and 14 years. In contrast, the control group consisted of 9 girls and 9 boys between the ages of 5 and 9 years. The results of the investigation would have been more meaningful had the groups been matched for gender and a distinction been made between the younger and the older children with a hearing loss. The latter would have made it possible to investigate the developmental aspects of the task.

For participants with normal hearing, it is known that the immediate recall of auditory stimuli improves with age. On auditory memory span tasks, adults obtain scores that are twice those of 5-year-old children (Chi, 1976). The results of a study by Paquet (1993) show that, between 7 and 28 years of age, the auditory memory span for numbers increases from an average of 4.2 numbers to an average of 6.3 numbers. For the recall of sequences consisting of pure tones (500 Hz and 1 kHz), auditory memory spans of 6.7 for children aged between 7 and 10 years old and 9.7 for adults have been reported (Cacace & McFarland, 1992). Cohen and O'Connor (1994) reported that for participants with normal hearing, the percentage of correctly reproduced auditory sequences increased as a function of age.

Some specific aspects of auditory perceptual abilities involved in auditory sequential organization tasks have been shown to improve as a function of age. Specifically, auditory temporal integration thresholds

(Maxon & Hochberg, 1982) and temporal resolution ability (Grose, Hall & Gibbs, 1993; Irwin, Ball, Kay, Stillman & Rosser, 1985; Trehub, Schneider & Henderson, 1995; Wightman, Allen, Dolan, Kistler & Jamieson, 1989) improve with age. To date, no known study has examined the developmental aspect of auditory sequential organization among children with a sensorineural hearing loss.

In short, the data currently available suggest that persons with a hearing loss experience more difficulties than persons with normal hearing on auditory temporal sequencing tasks. However, most of the previous investigations do not provide sufficient information to determine whether the poorer auditory sequencing competencies of persons with a hearing loss are attributable solely to reduced perceptual abilities or if they are due to poorer perceptual and memory-related processing abilities. Rose and Moore (1997) and Grose and Hall (1996) had adults with and without a hearing loss perform temporal sequencing tasks. The results suggested that the participants with a hearing loss had significantly more difficulties than their peers performing the tasks and that the problem could be related to perceptual difficulties. However, their investigations were not conducted with children. One purpose of the present study was to investigate whether children with a hearing loss perform more poorly than their peers with normal hearing on auditory sequential organization tasks. Further, the experimental tasks were designed to determine whether the poorer performances of the children with a hearing loss (if that is indeed the case) are attributable to perceptual or memory-related disabilities. Another goal of the present study was to

investigate the developmental aspect of auditory sequential organization ability among children with a hearing loss.

The present article is divided into three parts. In Part I, the results obtained from 24 young children (6-7 years old), with and without a hearing loss, on auditory sequential organization tasks are reported. In Part II, the results from 24 older children (9-10 years old) with and without a hearing loss who completed similar tasks are presented. Because there were slight differences in some of the experimental conditions completed by the younger and the older groups of children, as will be noted later, the results obtained from the two groups will initially be analysed separately. In Part III, the data obtained from the experimental conditions completed by children of both age groups are re-analysed in order to investigate the developmental aspects of auditory sequential organization ability.

## General Method

### Material and equipment

The verbal stimuli consisted of two syllables : /ba/ and /da/. They were produced by a male voice and recorded onto an audio cassette using a Sony Stereo ECM-909 microphone and a Sony TCD-D3 Digital Audio Tape (DAT) recorder. A Sony DTC-750 DAT was used to transfer the stimuli to a computer for modification. The Mitsyn software package (1993) was used to standardize the duration of the syllables (i.e., 250 msec). The nonverbal stimuli were created using the Mitsyn software program. They consisted of a 1-kHz pure tone and a wide band noise with a bandwidth ranging from

250 Hz to 8 kHz. Both nonverbal stimuli were also 250 msec in duration. The rise and fall time of all four stimuli was 2.2 msec. The verbal and nonverbal stimuli were stored in a MacIntosh PowerBook 145 using the SoundEdit Pro (1992) software program. The PsychLab (1992) software program was used to control the ISI when the stimuli were presented in sequences.

The two categories of stimuli were chosen to help differentiate between the memory and perceptual aspects of the auditory sequential organization tasks. A pure tone and a wide band noise were chosen to make the tasks easier for the children with a hearing loss. These stimuli were used to investigate short-term memory ability. Furthermore, as mentioned by Fitzgibbons and Gordon-Salant (1996), the use of nonverbal stimuli can provide helpful information regarding the perception of temporal order without the contribution of language processing. With regard to the verbal stimuli /ba/ and /da/, their acoustic similarity, and especially the rapid formant transition between the consonant and the vowel, makes it difficult to recall them in sequences, as shown among children with learning language impairment (Merzenich, et al. 1996; Tallal, et al. 1996; Tallal & Piercy, 1973a, 1973b, 1974, 1975). The verbal stimuli were chosen to investigate the perceptual aspect of the tasks.

### Procedure

Each child participated in two sessions. During the first session, they completed the Coloured Progressive Matrices test (Raven, 1956). This test was used to evaluate nonverbal reasoning capability. The children also

completed an auditory detection threshold test (if these measures were not already available) and a test of laterality (De Agostini & Dellatolas, 1988). The children were then asked to complete a "stimulus-button" association test. For this task, the children were seated at a table facing a response-box that was equipped with two identical buttons. The experimenter demonstrated to the children which of the two buttons to press in response to each of the syllables. When the participants were able to perform this task, they progressed to the identification test. This task was identical to the association test, except that the children were now required to press the correct button following each stimulus, presented in a random order. No feedback was provided to the children. To successfully complete the identification task, the children had to correctly identify 18 out of 20 syllables. The two tests were then repeated with the nonverbal stimuli. Three children with a hearing loss recruited for the investigation failed the identification test. They did not participate further in the experiment.

For the auditory sequential organization test, the participants completed the three following tasks with both verbal and nonverbal stimuli : 1) reproduction, in order, of sequences of elements with a fixed ISI of 425 msec; 2) reproduction, in order, of sequences of two elements with ISI durations of 30, 150 and 425 msec; 3) a measure of auditory memory span. For the first two tasks, the children completed 12 blocks of 10 different sequences. In each block, the number of stimuli presented in a sequence remained constant. Blocks and sequences were presented in a random order (see Appendix A). For the third task, the stimuli were presented in sequences of four, six or eight elements. The measure of

auditory memory span was based on the responses obtained from the children for the first two tasks and the third task. Auditory memory span was defined as the sequence with the greatest number of elements for which the participant was able to obtain a performance level of 50% correct or better.

During the second session, the children repeated the identification test with the verbal stimuli to ensure that they were still able to perform the task. Then, they repeated the auditory sequential organization test with the verbal and the nonverbal stimuli. In some instances, a participant completed a third block of trials. This was done whenever there was a difference in performance that exceeded 20% between the results obtained during the first and second session, for a given experimental condition. For example, if for sequences of three nonverbal stimuli, the difference between a listener's level of performance during the first and the second session exceeded 20%, the participant completed a third block of trials that consisted of three nonverbal stimuli.

The stimuli were stored in a Macintosh PowerBook 145. The output of the computer was connected to an audiometer (Madsen Orbiter 922), which controlled the level at which the stimuli were presented to the right ear of the listener via a TDH-49P earphone. For each child with a hearing loss, the stimuli were presented at a level judged comfortable by the child. This level varied between 70 dB HL and 105 dB HL (see Tables 1 and 2) and was kept constant during the presentation of the verbal and the nonverbal stimuli. For the children with normal hearing, the test level

was fixed at 55 dB HL. At the level selected, each participant was able to obtain a minimum of 90% correct responses on the identification test.

Part I: Evaluation of auditory sequential organization ability  
among 6-7 year-old children

The purpose of this part of the study was to investigate some perceptual and memory aspects of auditory sequential organization ability among young children with and without a hearing loss.

Method

Participants. The participants consisted of two groups of children of 6-7 years of age. Twelve children had a bilateral sensorineural hearing loss and 12 children had normal hearing. The groups were matched for age and gender. There were 6 boys and 6 girls in each group. The mean age of the children with normal hearing was 6 years and 10 months and it was 6 years and 9 months for the children with a hearing loss. The hearing thresholds (re: ANSI S3.6, 1996), the age at which they started to use hearing aids and the cause of the hearing loss (when it was known) of the children with a hearing loss are reported in Table 1. All of the children with normal hearing passed a hearing screening test (detection threshold of 15 dB HL or less for octave frequencies between 500 Hz and 8 kHz; re: ANSI S3.6, 1996). All children were right-handed. Lateral dominance was evaluated according to the protocol proposed by De Agostini and

Dellatolas (1988). The children with a hearing loss were all educated in a regular school system and their mode of communication was oral.

Procedures. All 24 children who took part in the investigation successfully completed the association and identification tasks (described in the General Procedure section). Also, they completed the three auditory sequential organization tasks with verbal and nonverbal stimuli as described in the General Procedure section. For the first of these tasks, they recalled sequences of three, five and seven elements.

---

Insert Table 1 about here

---

### Results and Discussion

The results obtained on the Coloured Progressive Matrices revealed that there was no significant difference between children with normal hearing and those with a hearing loss [ $t(22) = 1.653, p > .05$ ]. The mean scores for the group of children with normal hearing and those with a hearing loss were 26.5/36 and 23.7/36, respectively. Both means reached the 70th percentile according to the test norms (Raven, 1956). These results suggest that children in both groups had similar nonverbal reasoning abilities.

For each experimental condition, a participant's performance was determined by calculating the mean number of correct responses obtained during the first and the second sessions. For children who completed three blocks of trials, performance was determined by calculating the

mean number of correct responses for the two of the three blocks of trials that yielded the most similar level of performance. Seven children with normal hearing and 11 children with a hearing loss were required to perform a third block of trials for at least one experimental condition. Of the blocks that were rejected, 5.6% had higher scores and 10.9% had lower scores than those blocks that were retained. It should be noted that a preliminary investigation conducted with four 6-7 year-old children with a hearing loss (who did not participate in the present study) revealed that there was no indication of a learning effect over a period of ten test sessions. Moreover, in the present investigation, a statistical analysis (t test) did not indicate a significant difference between the data obtained during the first session and those collected during the second session [ $t(287) = -1.476, p > .05$ ].

Number of elements per sequence. The number of verbal and nonverbal sequences of two, three, five and seven elements correctly reproduced by children with normal hearing and children with a hearing loss are displayed in Figure 1. The ISI duration was 425 msec.

---

Insert Figure 1 about here

---

A three-way ANOVA (group, type of stimuli, number of elements per sequence), with repeated measures for type and number, was performed on arcsine transforms of the raw data. These transforms were applied because some data were at or near the minimum or maximum values (note: arcsine transform data were used for all subsequent analyses based

on the results of auditory sequential organization tests). The results revealed significant effects of all three main factors: group (children with normal hearing vs. children with a hearing loss) [ $F(1, 22) = 7.34, p < .05$ ], type (verbal vs. nonverbal) [ $F(1, 22) = 35.85, p < .0001$ ] and number (two, three, five and seven elements per sequence) [ $F(3, 66) = 432.53, p < .0001$ ]. The two-way interaction was significant for Group X Type [ $F(1, 22) = 20.62, p < .001$ ] and for Group X Number [ $F(3, 66) = 3.28, p < .05$ ]. The other two-way interaction, Type X Number [ $F(3, 66) = .75, p > .05$ ], was not significant. However, the three-way interaction of Group X Type X Number was significant [ $F(2.72, 59.94) = 4.50, p < .01$ ]. Additional analyses were performed to explore the nature of the three-way interaction. Analyses of simple effects revealed that there was a significant difference in the results obtained by the two groups for the sequences of two [ $F(1, 22) = 31.33, p < .001$ ], three [ $F(1, 22) = 23.06, p < .0001$ ] and five [ $F(1, 22) = 6.72, p < .05$ ] verbal elements. No significant differences were measured for the blocks of trials consisting of seven verbal elements [ $F(1, 22) = 1.74, p > .05$ ]. Also, no significant differences were observed for any of the nonverbal sequences (two elements [ $F(1, 22) = 0, p > .05$ ]; three elements [ $F(1, 22) = .82, p > .05$ ]; five elements [ $F(1, 22) = .20, p > .05$ ]; seven elements [ $F(1, 22) = .95, p > .05$ ]).

Duration of the inter-stimulus interval (ISI). The results obtained for blocks of trials involving sequences of two nonverbal or two verbal stimuli are displayed as a function of ISI duration in Figure 2.

---

Insert Figure 2 about here

---

A three-way ANOVA (group, type of stimuli, ISI duration), with repeated measures for type and duration, was performed. The results revealed significant effects for two out of the three main factors: group [ $F(1,22) = 11.32, p < .01$ ] and type of stimuli [ $F(1,22) = 13.59, p < .01$ ]. There was no significant effect of ISI duration (30, 150, 425 msec) [ $F(2, 44) = .34, p > .05$ ]. There was a significant Group X Type [ $F(1, 22) = 13.45, p < .01$ ] interaction. Analyses of simple effects revealed a significant difference between the two groups of children for the verbal sequences ( $F(1, 22) = 15.60, p < .01$ ), but not for the nonverbal sequences ( $F(1, 22) = 0.52, p > .05$ ). The Group X ISI duration interaction ( $F(2, 44) = .74, p > .05$ ), Type X ISI duration interaction ( $F(2, 44) = .28, p > .05$ ) and Group X Type X ISI duration interaction ( $F(2, 44) = .55, p > .05$ ) were not significant.

Auditory memory span. For the auditory memory span tasks with the nonverbal stimuli, the mean group performances of the children with normal hearing and the children with a hearing loss were 4.7 (s.d. = 1.2) and 4.3 (s.d. = 0.9), respectively. With the verbal stimuli, the mean group scores of the children with normal hearing and the children with a hearing loss were 4.4 (s.d. = 0.9) and 3.4 (s.d. = 1.2), respectively.

A two-way ANOVA (group, type of stimuli) with repeated measures for type was performed. The results indicated a significant effect for the type of stimuli [ $F(1, 22) = 10.47, p < .01$ ]. The effect of the main factor group [ $F(1, 22) = 2.89, p > .05$ ] and the interaction of Group X Type were not significant [ $F(1, 22) = 3.42, p > .05$ ].

In short, the results showed that with two, three and five verbal elements (/ba/, /da/) presented in sequence, the children with a hearing loss obtained significantly poorer results than their peers in the control group. However, there was not a significant difference between the two groups when the task consisted of reproducing sequences comprised of seven verbal stimuli. This is likely due to a floor effect in the performances observed for both groups of children. Also, there were no significant differences between the two groups when the stimuli consisted of nonverbal sequences (1-kHz pure tone and wide band noise), but this was not due to floor effects for the shorter sequences. The data indicated, however, that regardless of the ISI duration (30, 150, 425 msec), the children with a hearing loss had more difficulty correctly reproducing verbal sequences than did the children with normal hearing . Furthermore, these results suggest that the children with a hearing loss performed significantly better when the task consisted of nonverbal sequences than when it consisted of verbal sequences. For the children with normal hearing , there do not appear to be any differences in the results between the blocks of trials consisting of nonverbal and verbal stimuli. For this group, no firm conclusions can be drawn because the data show a ceiling effect in performance for both types of stimuli. Finally, the auditory memory span was significantly better for all children when the sequences consisted of nonverbal stimuli than when the sequences were composed of verbal stimuli.

Part II: Evaluation of auditory sequential organization ability  
among 9-10 year-old children

The objective of the second experiment was to investigate the ability of older children with a hearing loss to recall auditory sequences. The performances of 9-10 year-old children with normal hearing were compared to those of 9-10 year-old children with a hearing loss.

Method

Participants. Twenty-four 9-10 year-olds were divided into two groups: 12 children with a bilateral sensorineural hearing loss and 12 children with normal hearing . The groups were matched according to age and gender. The mean age was 9 years and 10 months for both groups. Six boys and 6 girls participated in each group. Table 2 provides the hearing detection threshold level (in dB HL, re: ANSI S3.6, 1996) of the children with a hearing loss, the age at which they began wearing hearing aids and the etiology of their hearing loss (when known). All of the children with normal hearing passed a hearing screening test (detection threshold of 15 dB HL or less for octave frequencies between 500 Hz and 8 kHz; re: ANSI S3.6, 1996). A test of laterality (De Agostini & Dellatolas, 1988) demonstrated a right side dominance for all children. The children with a hearing loss were integrated in regular classes and their mode of communication was oral.

Procedures. All 24 children who took part in the experiment successfully completed the association and identification tasks (described in the General Procedure section). Also, they performed the three auditory sequential organization tasks with verbal and nonverbal stimuli as described in the General Procedure section. For the first tasks mentioned, they recalled sequences of five, seven and nine elements.

---

Insert Table 2 about here

---

### Results and Discussion

An analysis of the data (t test) from the Progressive Coloured Matrices test showed that there was no significant difference between the results obtained for the two groups [ $t(22) = -.03, p > .05$ ]. The mean score for the children with a hearing loss was 32.2/36; it was 31.8/36 for the children with normal hearing. For both groups, the mean scores were above the 70th percentile, according to the norms available for the test (Raven, 1956). These results suggest that the children with and without a hearing loss had similar nonverbal reasoning abilities.

As mentioned in Part I, for each experimental condition, a participant's performance was determined by calculating the mean number of correct responses obtained during the first and second sessions. For children who completed three blocks of trials, performance was determined by calculating the mean number of correct responses for the two of the three blocks of trials that yielded the most similar level of performance. Eleven children with normal hearing and 11 children with a

hearing loss were required to complete a third block of trials for at least one experimental condition. Of the blocks that were rejected, 6.7% had higher scores and 8.3% had lower scores than those blocks that were retained. A statistical analysis (t test) was performed to compare the data obtained in the first session and those collected in the second session. The results revealed a statistically significant difference between the two conditions [ $t(287) = -2.133, p < .05$ ], indicating that the performance of the children was better during the second test session. However, the average difference between the scores obtained during the two sessions was 0.2 (4%). This difference was substantially less than the preestablished criteria (more than 2/10 or greater than 20%) used to determine if a participant would be required to complete a third block of trials.

Number of elements per sequence. The mean number of verbal and nonverbal sequences consisting of two, five, seven and nine elements correctly reproduced by both groups of children are displayed in Figure 3. The ISI duration was 425 msec.

---

Insert Figure 3 about here

---

A three-way ANOVA (group, number of elements, type of stimuli) with repeated measures was performed. The results revealed significant effects for two of the three main factors: type of stimuli [ $F(1, 22) = 56.04, p < .0001$ ] and number of elements per sequence [ $F(3, 66) = 456.92, p < .0001$ ]. The main effect of group [ $F(1, 22) = .19, p > .05$ ] was not significant. Two of the three double interaction effects were significant: Group X Type [ $F(1,$

22) = 12.45,  $p < .01$ ] and Type X Number [ $F(3, 66) = 2.98, p < .05$ ]. The double interaction of Group X Number [ $F(3, 66) = 1.34, p > .05$ ] and the triple interaction of Group X Type X Number were not significant [ $F(3, 66) = .80, p > .05$ ].

The analysis of simple effects for the significant interaction of Group X Type showed that the effect of the group factor was not significant for the verbal stimuli [ $F(1, 22) = 2.51, p > .05$ ] nor for the nonverbal stimuli [ $F(1, 22) = 0.66, p > .05$ ]. An analysis of simple effects, performed to decompose the Type X Number interaction, revealed a significant difference between the verbal and nonverbal stimuli for sequences of five [ $F(1, 22) = 20.41, p < .001$ ], seven [ $F(1, 22) = 10.66, p < .01$ ] and nine elements [ $F(1, 22) = 16.35, p < .001$ ]. For the sequences of two elements, this difference was not significant [ $F(1, 22) = 1.76, p > .05$ ].

Duration of the ISI. The results obtained for blocks of trials involving sequences of two nonverbal or two verbal stimuli are displayed as a function of ISI duration in Figure 4.

---

Insert Figure 4 about here

---

A three-way ANOVA (group, type of stimuli, ISI duration) with repeated measures was performed. The results revealed significant effects for two out of the three main factors: group [ $F(1, 22) = 7.60, p < .05$ ], and type of stimuli [ $F(1, 22) = 7.15, p < .05$ ]. The effect of the ISI duration factor was not significant [ $F(2, 44) = 2.95, p > .05$ ]. Significant effects were also

obtained for two out of the three double interactions: Group X Type [ $F(1, 22) = 8.32, p < .01$ ] and Type X ISI duration [ $F(2, 44) = 3.76, p < .05$ ]. The double interaction of Group X ISI duration [ $F(2,44) = 1.57, p > .05$ ] and the triple interaction of Group X Type X ISI duration were not significant [ $F(2, 44) = 1.77, p > .05$ ].

An analysis of simple effects for the significant Group X Type interaction revealed a significant difference between the two groups for the verbal stimuli [ $F(1, 22) = 6.55, p < .05$ ], but not for the nonverbal stimuli [ $F(1, 22) = 1.25, p > .05$ ]. Moreover, the analysis of simple effects for the significant interaction of Type X ISI duration revealed that there was a significant difference between the verbal and the nonverbal stimuli for two of the three ISI durations: 30 msec [ $F(1, 22) = 6.56, p < .05$ ] and 150 msec [ $F(1, 22) = 6.78, p < .05$ ]. There was no significant difference between the groups when the ISI was 425 msec [ $F(1, 22) = 5.39, p > .05$ ].

Auditory memory span. For the auditory memory span tasks with the nonverbal stimuli, the mean group performances of the children with normal hearing and the children with a hearing loss were 6.0 (s.d. = 0.9) and 6.9 (s.d. = 1.1), respectively. With the verbal stimuli, the mean group scores of the children with normal hearing and the children with a hearing loss were 5.5 (s.d. = 0.9) and 5.1 (s.d. = 1.6), respectively.

A two-way ANOVA (group, type of stimuli) with repeated measures revealed a significant effect for the type of stimuli [ $F(1, 22) = 21.38, p < .0001$ ] but not for the group [ $F(1,22) = .51, p > .05$ ]. There was a significant

Group X Type interaction [ $F(1, 22) = 6.60, p < .05$ ]. For this interaction, an analysis of simple effects revealed that there was a significant difference between the two groups, but only for the nonverbal stimuli [ $F(1, 22) = 4.84, p < .05$ ]. The children with a hearing loss performed better than the children with normal hearing. For the verbal stimuli, there was no significant difference between the two groups of children [ $F(1, 22) = .40, p > .05$ ].

In sum, the results did not show any differences in performance between the group of children with a hearing loss and the group of children with normal hearing for the auditory sequential organization tasks consisting of two, five, seven and nine verbal and nonverbal elements, when the ISI duration was 425 msec. However, when the results for 2-stimulus sequences were collapsed across ISI durations, there was a difference between the two groups when the sequences consisted of two verbal elements. Under some experimental conditions, the results may have been influenced by ceiling or floor effects in performance. These phenomena were observed when the sequences were composed of two elements (a ceiling effect) and nine elements (a floor effect).

In the present experiment, it was easier to recall the order of sequences of five, seven and nine nonverbal stimuli than to recall the order of sequences containing the same number of verbal stimuli. This finding was observed for both groups of children. Finally, the children with a hearing loss performed significantly better than their peers with normal hearing on the nonverbal auditory memory span task. These results

suggest that, for the children with a hearing loss, the nonverbal stimuli were easier to reproduce than the verbal stimuli.

### Part III: Developmental aspects of auditory sequential organization ability

Some of the data reported in Part 1 (obtained from the 6-7 year-old children) and in Part II (obtained from the 9-10 year-old children) were re-analysed to investigate developmental aspects of auditory sequential organization. The results obtained by the two groups of children with a hearing loss were of special interest because the developmental aspects of auditory memory and sequential organization tasks have not been extensively investigated among this population. Results indicating that the performance of children improves with age would suggest that these auditory abilities (auditory memory span and auditory sequential organization) develop over time.

#### Method

For this purpose, only the experimental conditions completed by all participants were considered in the analyses. Specifically, the analyses were based on the results of the auditory sequential tasks that consisted of two, five and seven nonverbal and verbal elements and on the nonverbal and verbal auditory memory span tests.

#### Results and Discussion

In order to examine the developmental aspects of auditory sequential organization ability, the statistical analyses were designed in such a way

that they took into account both age and group (hearing status) effects. Each of the main effects (age, group, number of elements per sequence) and their possible interactions were examined separately for the data obtained with the nonverbal sequences, and for the data obtained with verbal sequences.

Sequences of two, five and seven nonverbal elements. Figure 5 displays the results obtained by both groups of 6-7 year-old and both groups of 9-10 year-old children for tasks that required the reproduction of sequences containing two, five and seven nonverbal elements.

---

Insert Figure 5 about here

---

A three-way ANOVA (group, age, number of elements) with repeated measures was performed. The results revealed significant main effects of number of elements [ $F(2, 88) = 372.24, p < .0001$ ] and age [ $F(1, 44) = 42.56, p < .0001$ ], but not of group [ $F(1,44) = .03, p > .05$ ]. The double interaction of Number X Age was also significant [ $F(2, 88) = 23.08, p < .0001$ ]. The two other double interactions, Group X Age [ $F(1,44) = 1.37, p > .05$ ] and Group X Number [ $F(2, 88) = .33, p > .05$ ], as well as the triple interaction of Group X Number X Age [ $F(2, 88) = 1.68, p > .05$ ] were not significant.

An analysis of simple effects was completed to investigate the nature of the Number X Age interaction. The results showed that, as a whole (i.e., irrespective of the children's hearing status), the 9-10 year-old children obtained significantly better scores than the 6-7 year-old children for the sequences of five [ $F(1, 44) = 45.68, p < .0001$ ] and seven [ $F(1, 44) = 29.43, p <$

.0001] nonverbal elements. For sequences consisting of two nonverbal stimuli, there was no significant difference in performance between the younger and the older children [ $F(1, 44) = 1.35, p > .05$ ].

Sequences of two, five and seven verbal elements. Figure 6 displays the results obtained by both groups of 6-7 year-old and both groups of 9-10 year-old children for tasks that required the reproduction of sequences containing two, five and seven verbal elements.

---

Insert Figure 6 about here

---

A three-way ANOVA (group, age, number of elements) with repeated measures was performed. The results revealed that the three main factors were significant: group [ $F(1, 44) = 16.23, p < .001$ ], number [ $F(2, 88) = 432.36, p < .0001$ ] and age [ $F(1, 44) = 45.08, p < .0001$ ]. Two of the three double interactions were also significant: Number X Age [ $F(2, 88) = 4.72, p < .05$ ] and Group X Number [ $F(2, 88) = 3.54, p < .05$ ]. The double interaction of Group X Age [ $F(1,44) = 1.86, p > .05$ ] and the triple interaction of Group X Number X Age [ $F(2, 88) = 0.75, p > .05$ ] were not significant.

An analysis of simple effects was completed to investigate the nature of the Number X Age interaction. However, when the hearing status of the children was not taken into account, the results showed a significant difference between the results obtained for the group of 6-7 year-olds and the group of 9-10 year-olds for all the three numbers of verbal elements

per sequence (two, [ $F(1, 44) = 24.65, p < .0001$ ]; five, [ $F(1, 44) = 30.25, p < .0001$ ] and seven [ $F(1, 44) = 26.53, p < .0001$ ]). For the significant interaction of Group X Number, the results of the analysis of simple effects indicated that the children with a hearing loss performed significantly more poorly than the normal-hearing children for sequences of two [ $F(1, 44) = 39.97, p < .0001$ ] and five verbal elements [ $F(1, 44) = 8.98, p < .01$ ], but not for sequences of seven elements [ $F(1, 44) = 1.74, p > .05$ ].

Auditory memory span for nonverbal stimuli. For the 6-7 year-old participants, the mean group performances of the children with normal hearing and the children with a hearing loss were 4.7 (s.d. = 1.2) and 4.3 (s.d. = 0.9), respectively. For the 9-10 year-old participants, the mean group performances of the children with normal hearing and the children with a hearing loss were 6.0 (s.d. = 0.9) and 6.9 (s.d. = 1.1), respectively.

A two-way ANOVA (group, age) revealed a significant main effect of age [ $F(1, 44) = 51.16, p < .0001$ ], but not of group [ $F(1, 44) = .97, p > .05$ ]. There was a significant Group X Age interaction [ $F(1, 44) = 5.21, p < .05$ ]. The significant interaction was decomposed into its simple effects, and the results revealed a significant difference in nonverbal memory span between 6-7 year-olds and 9-10 year-olds, both for the normal-hearing children [ $F(1, 44) = 10.15, p < .01$ ] and for the children with a hearing loss [ $F(1, 44) = 38.09, p < .0001$ ]. However, the results obtained with the 9-10 year-old children showed that the performance of the children with a hearing loss was significantly better than those of the children with normal hearing (see Part II). For the younger children, there was no

significant difference between the participants with a hearing loss than those with normal hearing (see Part I).

Auditory memory span for verbal stimuli. For the 6-7 year-old participants, the mean group performances of the children with normal hearing and the children with a hearing loss were 4.4 (s.d. = 0.9) and 3.4 (s.d. = 1.2), respectively. For the 9-10 year-old participants, the mean group performances of the children with normal hearing and the children with a hearing loss were 5.5 (s.d. = 0.9) and 5.1 (s.d. = 1.6), respectively. The results of a two-way ANOVA (group, age) revealed a significant main effect of age only [ $F(1, 44) = 16.95, p < .001$ ]. The main factor group [ $F(1, 44) = 3.75, p > .05$ ] and the Group X Age interaction [ $F(1, 44) = 0.94, p > .05$ ] were not significant.

In short, a comparison of the results obtained from the 6-7 year-old children and the 9-10 year-old children showed that performance improved with age. The 9-10 year-old children obtained significantly better results than the younger children for the recall of both verbal and nonverbal sequences. Furthermore, there was a significant Group X Number interaction indicating that the children with normal hearing performed better than the children with a hearing loss for the sequences of two and five verbal elements. For the sequences of seven verbal elements, there was no significant difference between the two groups of children (when the data were collapsed across age). This could be due to the presence of a floor effect in the performance. For this experimental condition, the presentation of complex and highly similar stimuli (/ba/,

/da/) made it difficult for all the children (those with normal hearing as well as those with a hearing loss) to recall the order of the elements in a sequence. Also, on the auditory memory span tasks, the results showed an increase in the number of elements recalled as a function of age. This result was observed for both the children with normal hearing and those with a hearing loss.

### General Discussion

In the present study, the results obtained by the 6-7 year-old children showed that the children with a hearing loss performed significantly worse than their peers in the control group for the recall of most of the verbal sequences. However, there was not a significant difference between the two groups for stimuli comprised of nonverbal sequences or for the nonverbal and the verbal auditory memory span tasks. However, a significant difference was found between the two groups of children for the sequences composed of two verbal elements with variable ISI durations.

Some of the results obtained by the 9-10 year-old children did not follow the same pattern as those obtained by the younger children. With the older children, the results failed to demonstrate a significant difference between the normal-hearing children and those with a hearing loss for the tasks with sequences of verbal or nonverbal elements when the ISI duration was 425 msec. As was the case for the younger children, the 9-10 year-old children with a hearing loss experienced more difficulties than

the normal-hearing children when the task consisted of recalling two verbal elements with variable ISI durations (30, 150 and 425 msec). However, for the nonverbal auditory memory span task, the older children with a hearing loss had significantly better results than their normal-hearing peers. Their superior performance may be attributable to the fact that most of the children with a hearing loss had participated in auditory training exercises as part of their rehabilitation in audiology or in speech/language pathology. Overall, the results suggest that the children with a hearing loss had no specific problem with their short-term memory ability. Their difficulties appear to be associated more with perceptual disorders.

Unlike previous investigations, in the present study the differences between the participants with normal hearing and those with a hearing loss were observed only for the verbal sequences. A possible explanation could be related to the fact that the syllables used for the experiment were more acoustically similar than the nonverbal stimuli. This aspect of the experimental design could have influenced the results. It is more difficult to recall the order of speech sounds with acoustic likeness than it is to recall the order of stimuli bearing little or no acoustic resemblance to each other (Conrad, 1964). This phenomenon is known as the phonological similarity effect. This effect may have a much greater impact on auditory memory span than the number of elements to recall per se (Baddeley, 1986). If the phonological similarity effect applies to the results of the present investigation, why was the effect greater for the children with a hearing loss than those with normal hearing? It is possible that, for the

children with a hearing loss, the phonetic trace could be more susceptible to interference, especially for stimuli sharing similar acoustic cues. It would be of interest to investigate whether similar results would be obtained with nonverbal stimuli that have complex and similar acoustic features. These findings could provide some insights into the perceptual difficulties observed among children with a hearing loss.

Another explanation could be related to auditory processing disorders. For the recognition of stop consonants (/b/ and /d/ in the present investigation), the auditory system has to quickly process the formant transition from the consonant to the vowel because the duration of the transition is only 20 to 50 msec (Wright, 1987). All of the children with a hearing loss who took part in the investigation met the preestablished criteria on the syllable identification test (the mean percentage of identification was more than 95%). In this task, only one stimulus was presented in each trial. Thus, the children with a hearing loss had as much time as they required to process the stimulus. However, in the auditory sequencing tasks, the time allowed to process a stimulus was constrained by the duration of the ISI. The presentation of several elements in quick succession could have "overloaded" their auditory processing system. As mentioned by Fazio (1996), temporal information can easily be lost when the auditory system is stressed, especially by phonological processing.

Furthermore, Schum and Collins (1990) reported that normal-hearing participants extract phonemic information from an earlier portion of a

syllable than do participants with a hearing loss, especially for cues related to place of articulation. This finding indicates that participants with a hearing loss need to hear a longer portion of a speech stimulus before they are able to identify it. The longer period of time required to identify a speech stimulus means that they have less time than normal-hearing participants to process and store the information before the presentation of the next stimulus. It should be noted that for the verbal stimuli, with the 9-10 year-old children, lengthening the ISI duration from 30 to 425 msec resulted in a significant improvement in the performance of all children. Further research should be conducted to explore whether the 6-7 year-old children with a hearing loss would obtain better results when the ISI duration is increased beyond 425 msec. It is possible that a longer ISI duration would give these children sufficient time to identify syllable sequences.

The results also suggest that the children with a hearing loss were better at reproducing nonverbal sequences than verbal sequences. In contrast, the normal-hearing children generally did not perform differently on the tasks that required the reproduction of nonverbal and verbal sequences. For some experimental conditions, a failure to demonstrate a significant difference between those two experimental conditions is likely attributable to a ceiling effect in performance displayed by the normal-hearing children. This is especially the case for the tasks that consisted of two elements. However, for the normal-hearing children, the absence of a significant difference between the two types of stimuli cannot be attributable only to ceiling effects. For instance, in the

experiment conducted with the 6-7 year-old children, there were no ceiling effects when the sequences were comprised of three or five elements. For those conditions, the data did not indicate a difference between the verbal and the nonverbal sequencing tasks completed by the normal-hearing children.

Finally, for the children with a hearing loss, the differences in performance observed between the verbal and the nonverbal signals could be related to the fact that the nonverbal stimuli were highly discriminable from each other. It could also be associated with the nature of the stimuli. However, this possibility is less plausible if one refers to Ling's (1975) study. Ling used two different types of "consonant-vowel" verbal stimuli: the same consonant /p/ with five different vowels /i, ε, a, o, u/ (vowel sequences); and five consonants /l, t, m, g, ʃ/ with the same vowel /a/ (consonant sequences). The nonverbal signals were environmental sounds (dog, gun, sheep, bell, horn). The children with a hearing loss demonstrated better performances for the vowel sequences than for the nonverbal sequences. They also obtained better results for the nonverbal sequences than for the consonant sequences. The results indicated that performance was best with the vowel sequences. It is possible that vowel sequences require less extensive auditory processing than consonant sequences. This could be explained by the fact that although both are verbal stimuli, the frequency spectra of vowels vary less as a function of time than those of consonants. Thus, the vowel sequences were processed more easily.

For the nonverbal sequencing tasks, there exists a disparity between the results of the present study and those of previous investigations. Anooshian and Bryan (1979), Furth and Pufall (1966), Ling (1975), Sterritt, et al. (1966), and Stoker (1980) reported significant differences between the performances of children with normal hearing and those with a hearing loss for the reproduction of acoustic nonverbal sequences. The results of the present study failed to reveal this difference. This could be explained, in part, by the fact that the nonverbal stimuli of the present investigation were highly discriminable compared to the stimuli used in other studies where the acoustic signal belonged to the same category (pure tones or wide band noises). Also, as mentioned earlier, some investigators (Anooshian & Bryan, 1979; Furth & Pufall, 1966) did not report whether their children were able to distinctly identify each of the stimuli used in their experiments. For those investigations, one cannot exclude the possibility that the poorer performances observed for the children with a hearing loss were the result of an identification problem caused by peripheral hearing loss.

#### Developmental aspects

When the data obtained from the 6-7 and 9-10 year-old children were re-analysed, the results showed a significant difference between the two age groups. The 9-10 year-old children demonstrated better performances than the 6-7 year-old children for recalling the auditory sequences and for the auditory memory span tasks. These results are consistent with those reported in previous studies conducted with normal-hearing participants (Cacace & McFarland, 1992; Chi, 1976; Cohen & O'Connor, 1994; Paquet,

1993). These investigators found that the auditory memory span, or the number of correct responses, improved as a function of age. Based on the results of the present investigation, the developmental aspects of auditory memory span can be extended to children with a sensorineural hearing loss.

### Conclusion

The results of the present study suggest that children with a hearing loss have some difficulties with the auditory sequential organization of verbal stimuli. The differences between the results obtained by the normal-hearing children and those with a hearing loss were larger among the 6-7 year-old group than among the 9-10 year-old group. In all instances, the children with a hearing loss performed similarly to their normal-hearing counterparts when the sequences consisted of nonverbal stimuli (1-kHz pure tone, wide band noise). However, the results suggest that all the children with a hearing loss had more difficulty correctly recalling the verbal sequences than the nonverbal sequences. This finding was observed especially when the tasks involved sequences of two elements. The reduced auditory sequential organization performance observed among the children with a hearing loss cannot be attributed solely to a deficient functioning of the peripheral auditory system because those children were able to identify all of the stimuli when they were presented individually. Also, the present findings suggest that the poorer performance of the children with a hearing loss is more closely related to an auditory processing disorder than to a memory problem per se.

The present findings revealed that sequential organization ability develops with age. This finding was observed for both the normal-hearing children and for the children with a hearing loss. The results obtained by the 9-10 year-old children were significantly better than those obtained by the 6-7 year-old children for the auditory memory span tasks and especially for the auditory sequential organization tasks involving sequences of five and seven nonverbal and verbal elements.

## References

ANSI-American National Standard Institute (1996). *American National Standard Specifications for Audiometers*. New York: USA Standard.

Anooshian, L.J., & Bryan, J.M. Jr. (1979). The effects of early deprivation on temporal perceptions : A comparison of hearing and hearing-impaired children on temporal pattern matching tasks. *Journal of Speech and Hearing Research*, 22, 717-730.

Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. New York : Clarendon Press.

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.

Cacace, A.T., & McFarland, D.J. (1992). Acoustic pattern recognition and short-term memory in normal adults and young children. *Audiology*, 31, 334-341.

Chi, M.T.H. (1976). Short-term memory limitations in children : Capacity or processing deficits? *Memory and Cognition*, 4, 559-572.

Cohen, A.J., & O'Connor, J. (1994). Development of memory for sequences of nonverbal sounds. *Proceeding of XXII International Congress of Audiology*, presented at the XXII International Congress of Audiology, Halifax, N. S., Canada.

Conrad, R. (1964). Acoustic confusion in immediate memory. *British Journal of Psychology*, 55, 75-84.

De Agostini M., & Dellatolas G. (1988). Une épreuve simple pour évaluer la préférence manuelle chez l'enfant à partir de 3 ans. *Enfance*, 41, 139-147.

Fazio, B.B. (1996). Serial memory in children with specific language impairment: Examining specific content areas for assessment and intervention. *Topics in Language Disorders, 17*, 58-71.

Fitzgibbons, P.J., & Gordon-Salant, S. (1996). Auditory temporal processing in elderly listeners. *The Journal of the American Academy of Audiology, 7*, 183-189.

Furth, H.G., & Pufall, P.B. (1966). Visual and auditory sequence learning in hearing-impaired children. *Journal of Speech and Hearing Research, 9*, 434-440.

Grose, J.H., & Hall, J.W. (1996). Perceptual organization of sequential stimuli in listeners with cochlear hearing loss. *Journal of Speech and Hearing Research, 39*, 1149-1158.

Grose, J.H., Hall, J.W., & Gibbs (1993). Temporal analysis in children. *Journal of Speech and Hearing Research, 36*, 351-356.

Hirsh, I. J. (1959). Auditory perception of temporal order. *The Journal of the Acoustical Society of America, 31*, 759-767.

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.

Jones, D. (1993). Objects, streams and threads of auditory attention. In A. Baddeley, & L. Weiskrantz, *Attention: Selection, awareness, and control. A tribute to Donald Broadbent* (pp. 87-104). New York: Oxford University Press Inc.

Ling, A.H. (1975). Memory for verbal and nonverbal auditory sequences in hearing-impaired and normal-hearing children. *Journal of the American Audiology Society, 1*, 37-45.

Maxon, A.B. , & Hochberg, I. (1982). Development of psychoacoustic behavior: Sensitivity and discrimination. *Ear and Hearing*, 3, 301-308.

Merzenich, M.M., Jenkins, W.M., Johnston, P., Schreiner, C., Miller, S.L., & Tallal, P. (1996). Temporal processing deficits of language-learning impaired children ameliorated by training. *Science*, 271, 77-81.

Mitsyn. (1993). Software program. Microsoft Windows 3.1. DigiVox, Montréal, Québec, Canada.

Paquet, J. (1993). *Le développement de la mémorisation à court terme est-il cause ou conséquence du développement intellectuel?* Unpublished thesis, Université de Montréal, Montréal, Québec, Canada.

PsychLab (1992). Version 1. Teren Gum, Montréal, Québec, Canada.

Raven, J.C. (1956). *Colored Progressive Matrices*. London : H. K. Lewis & Co.

Rose, M.M., & Moore, B.C.J. (1997). Perceptual grouping of tone sequences by normally hearing and hearing-impaired listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 102, 1768-1778.

Rowe, E.J., & Cake, L.J. (1977). Retention of order information for sounds and words. *Canadian Journal of Psychology*, 31, 14-23.

Schum, D.J., & Collins, M.J. (1990). The time course of acoustic/phonemic cue integration in the sensorineurally hearing-impaired listener. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 87, 2716-2728.

SoundEdit Pro (1992). Version 1.0. Macromedia Canada Inc., Pointe Claire, Québec, Montréal, Canada.

Stark, J. (1967). A comparison of the performance of aphasic children on three sequencing tests. *Journal of Communication Disorders*, 1, 31-34.

Sterritt, G.M., Camp, B.W., & Lipman, B.S. (1966). Effects of early deprivation upon auditory and visual information processing. *Perceptual and Motor Skills*, 23, 123-130.

Stoker, R.G. (1980). *Temporal pattern recognition and speech perception by the hearing impaired*. Unpublished thesis, McGill University, Montréal.

Tallal, P., Miller, S.L., Bedi, G., Byma, G., Wang, X., Nagarajan, S.S., Schreiner, C., Jenkins, W.M., & Merzenich, M.M. (1996). Language comprehension in language-learning impaired children improved with acoustically modified speech. *Science*, 271, 81-84.

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

Tallal, P., & Piercy, M. (1973b). Defects of nonverbal 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.

Trehub, S.E., Schneider, B.A., & Henderson, J.L. (1995). Gap detection in infants, children, and adults. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 98, 2532-2541.

Warren, R.W. (1994). La perception des séquences acoustiques : intégration globale ou résolution temporelle ? In S. McAdams, & E.

Bigand (Eds.), *Penser les sons : Psychologie cognitive de l'audition* (pp. 41-73). Paris : Presses Universitaires de France.

Warren, R.W., & Gardner, D.A. (1995). Aphasics can distinguish permuted orders of phonemes-but only if presented rapidly. *Journal of Speech and Hearing Research*, 38, 473-476.

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 (Eds.), *Practical aspects of audiology : Speech audiometry* (1-32). New Jersey : Whurr Publishers Ltd.

## Appendix A

PsychLab software (1992) was conceived to set the order in which sequences are presented within a block of trials. However, this software program does not make it possible to present the trials in a random order. Thus, the following procedure was developed to generate blocks of ten trials:

For the blocks of trials that consisted of two elements, the four possible sequences ( $2^2$ ) were presented twice in a random order. The remaining two trials were drawn randomly from the four possible sequences.

For the blocks of trials that consisted of three elements, the eight possible sequences ( $2^3$ ) were presented once in a random order. The remaining two trials were drawn randomly from the eight possible sequences.

For the blocks of trials that consisted of four elements, the 16 possible sequences ( $2^4$ ) were divided into two blocks of eight sequences in a random order. Then for each block, the remaining two trials were drawn randomly from the 16 possible sequences.

For each of the blocks that consisted of sequences of five elements ( $2^5$ ; 32 possible sequences), six elements ( $2^6$ ; 64 possible sequences), seven elements ( $2^7$ ; 128 possible sequences), eight elements ( $2^8$ ; 256 possible sequences) and nine elements ( $2^9$ ; 512 possible sequences), six blocks of ten

sequences were made by selecting the respective elements in a random order. Before each test session, one of the six blocks of trials was selected randomly.

## Author note

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

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

This study was supported in part by the "Réseau de recherche en réadaptation de Montréal et de l'Ouest du Québec" (RRRMOQ). The authors are grateful to the children and their parents who took part in the project, and to the audiologists and friends who participated in the recruitment of the children. We wish to express our appreciation to Hugues Baril, Monique Charest, Daniel Chrétien, Francine Giroux and Yves Lafortune for their assistance in the execution of various phases of the research project. Finally, we thank the two anonymous reviewers for their invaluable comments and suggestions.

Correspondence concerning this article should be addressed to Benoît Jutras, École d'orthophonie et d'audiologie, Université de Montréal, C.P. 6128, succursale Centre ville, Montréal (Québec), Canada, H3C 3J7. jutrasb@ere.umontreal.ca

Table 1. Six- to seven-year-old children with a hearing loss: age at the first test session; age when the subject started to use hearing aids (H/A); gender; cause of the hearing loss; hearing loss measured in the right ear at 250 to 8 000 Hz no longer than 1 year prior to their participation in the investigation (NT = not tested); and level at which the stimuli were presented (dB HL).

<i>Subject</i>	<i>Age</i>	<i>H/A</i>	<i>Gender</i>	<i>Cause</i>	<i>Hearing threshold (dB HL)</i>						<i>Level</i>
					250	500	1000	2000	4000	8000	
1	6:01	4:03	m	Unknown	35	45	55	60	35	NT	80
2	7:07	4:03	f	Unknown	55	70	80	75	80	95	85
3	7:03	5:03	f	Hereditary	35	35	40	65	55	65	80
4	6:01	3:01	f	Unknown	20	30	35	35	30	NT	70
5	6:02	1:05	m	Meningitis	25	35	75	80	80	80	85
6	6:01	2:07	m	Unknown <sup>a</sup>	35	50	65	70	70	NT	80
7	7:00	4:03	m	Hereditary	75	80	85	85	70	65	105
8	7:08	3:01	m	Unknown	35	45	45	50	55	55	80
9	6:10	4:02	m	Guil.-Barré S.	70	90	85	85	75	75	95
10	7:05	2:06	f	Unknown	10	15	65	105	110	>100	85
11	6:04	2:10	f	Unknown	15	25	60	60	55	45	85
12	6:00	3:03	f	Unknown <sup>a</sup>	35	45	60	80	60	NT	90

<sup>a</sup> These subjects were born before 31 weeks of gestation.

Table 2. Nine- to ten-year-old children with a hearing loss: age at the first test session; age when the subject started to use hearing aids (H/A); gender; cause of the hearing loss; hearing loss measured in the right ear at 250 to 8 000 Hz no longer than 1-year prior their participation in the investigation (NT = not tested) and level at which the stimuli were presented (dB HL).

<i>Subject</i>	<i>Age</i>	<i>H/A</i>	<i>Gender</i>	<i>Cause</i>	<i>Hearing threshold (dB HL)</i>						<i>Level</i>
					250	500	1000	2000	4000	8000	
1	9:01	6:09	f	Congenital	30	45	45	45	50	50	75
2	9:04	5:00	m	Unknown	5	10	25	35	70	60	75
3	10:04	5:02	m	Meningitis	45	50	50	55	60	60	70
4	9:03	0:10	f	Hereditary	55	60	75	75	60	75	90
5	10:02	2:03	f	Hereditary	60	70	80	85	60	65	100
6	9:10	5:00	m	Congenital	25	35	45	50	45	55	75
7	10:11	5:09	f	Unknown	5	30	55	55	60	70	75
8	9:03	4:03	m	Hereditary	25	35	60	60	90	NT	95
9	10:05	2:05	f	Hereditary	35	55	85	75	70	90	100
10	9:11	4:03	f	Unknown	55	60	85	85	70	85	95
11	9:03	3:06	m	Hereditary	25	30	45	50	45	35	70
12	10:06	4:03	m	Unknown	25	50	65	65	70	80	90

## Figures Captions

Figure 1. Mean number and standard deviation (bars) of sequences correctly reproduced as a function of the number of elements per sequence for the 12 children with normal hearing (NH) and the 12 children with a hearing loss (HL). The maximum number of sequences that could be correctly reproduced was 10. Data are shown for nonverbal (NV) and verbal (V) stimuli. All children were 6 or 7 years old.

Figure 2. Mean number and standard deviation (bars) of sequences correctly reproduced as a function of the ISI for the 12 children with normal hearing (NH) and the 12 children with a hearing loss (HL). The maximum number of sequences that could be correctly reproduced was 10. Data are shown for nonverbal (NV) and verbal (V) stimuli. All children were 6 or 7 years old.

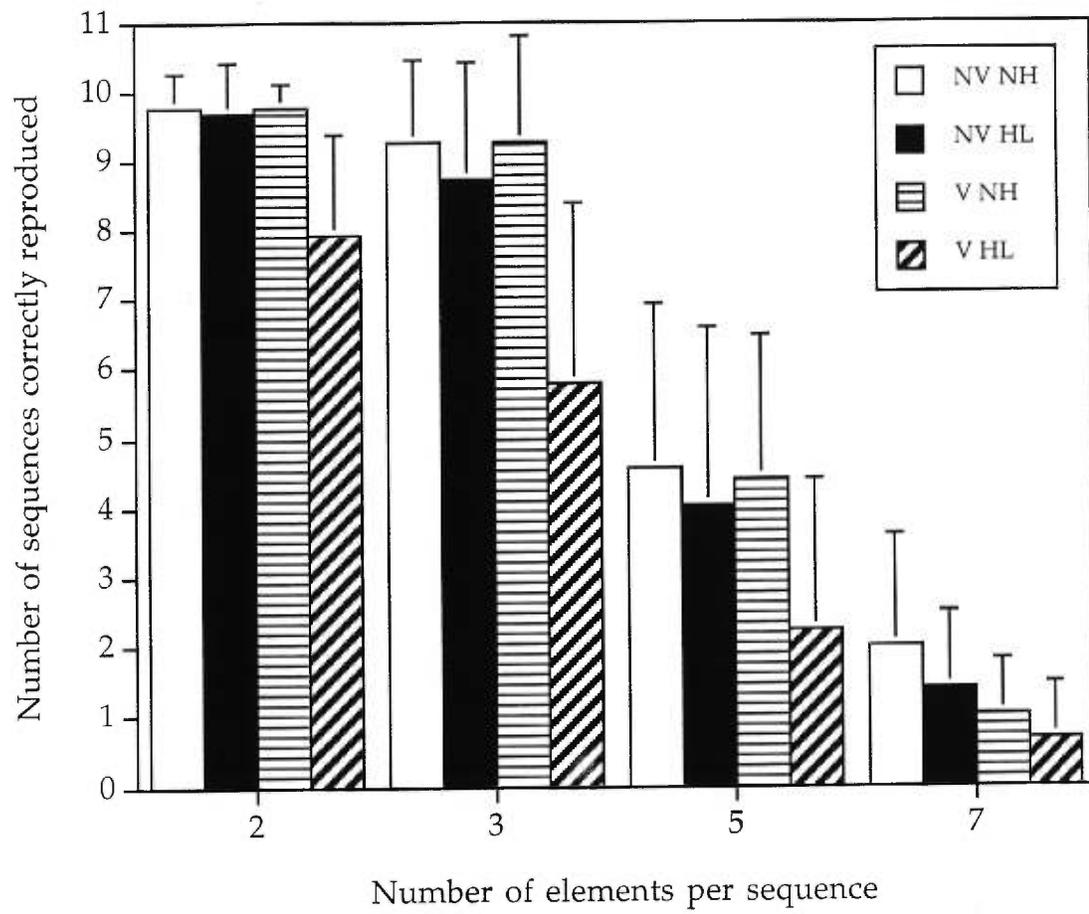
Figure 3. Mean number and standard deviation (bars) of sequences correctly reproduced as a function of the number of elements per sequence for the 12 children with normal hearing (NH) and the 12 children with a hearing loss (HL). The maximum number of sequences that could be correctly reproduced was 10. Data are shown for nonverbal (NV) and verbal (V) stimuli. All children were 9 or 10 years old.

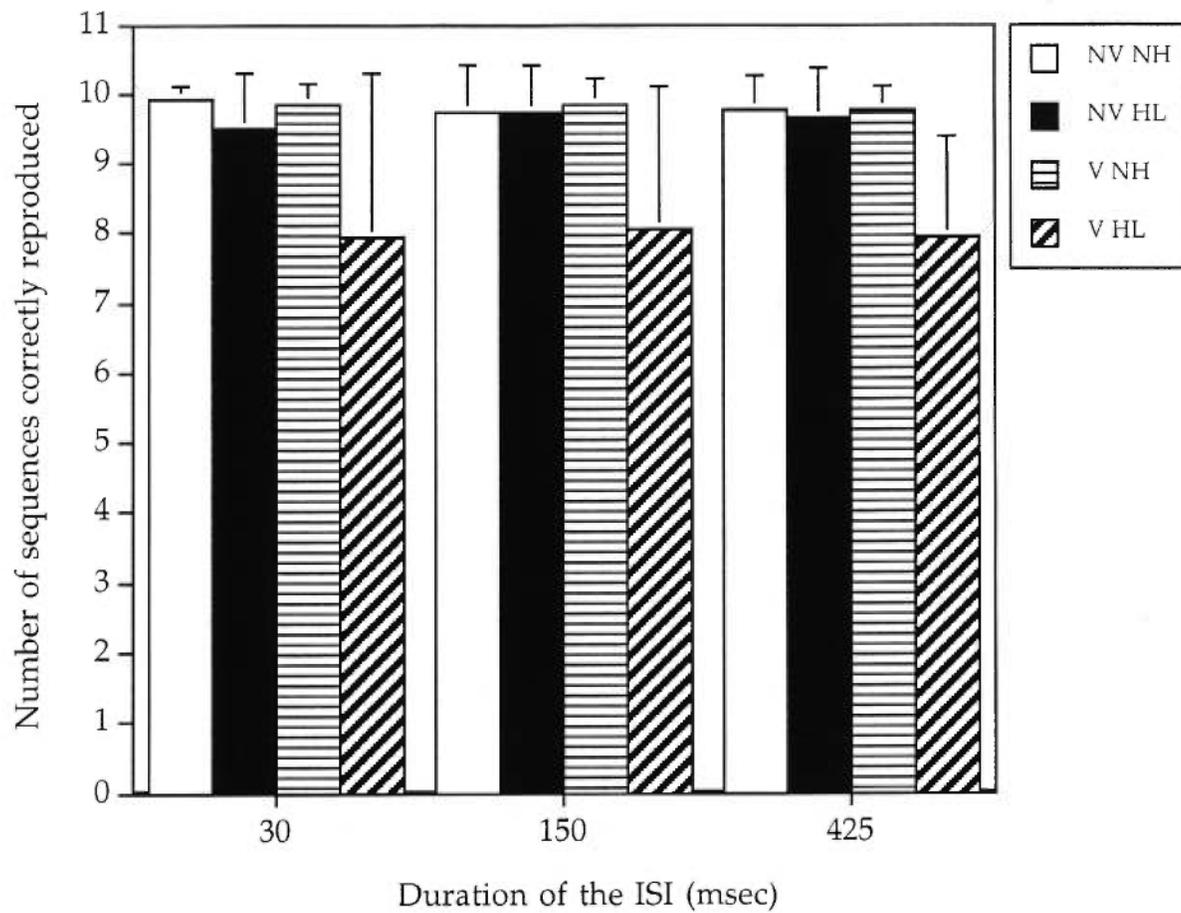
Figure 4. Mean number and standard deviation (bars) of sequences correctly reproduced as a function of the ISI for the 12 children with normal hearing (NH) and the 12 children with a hearing loss (HL). The

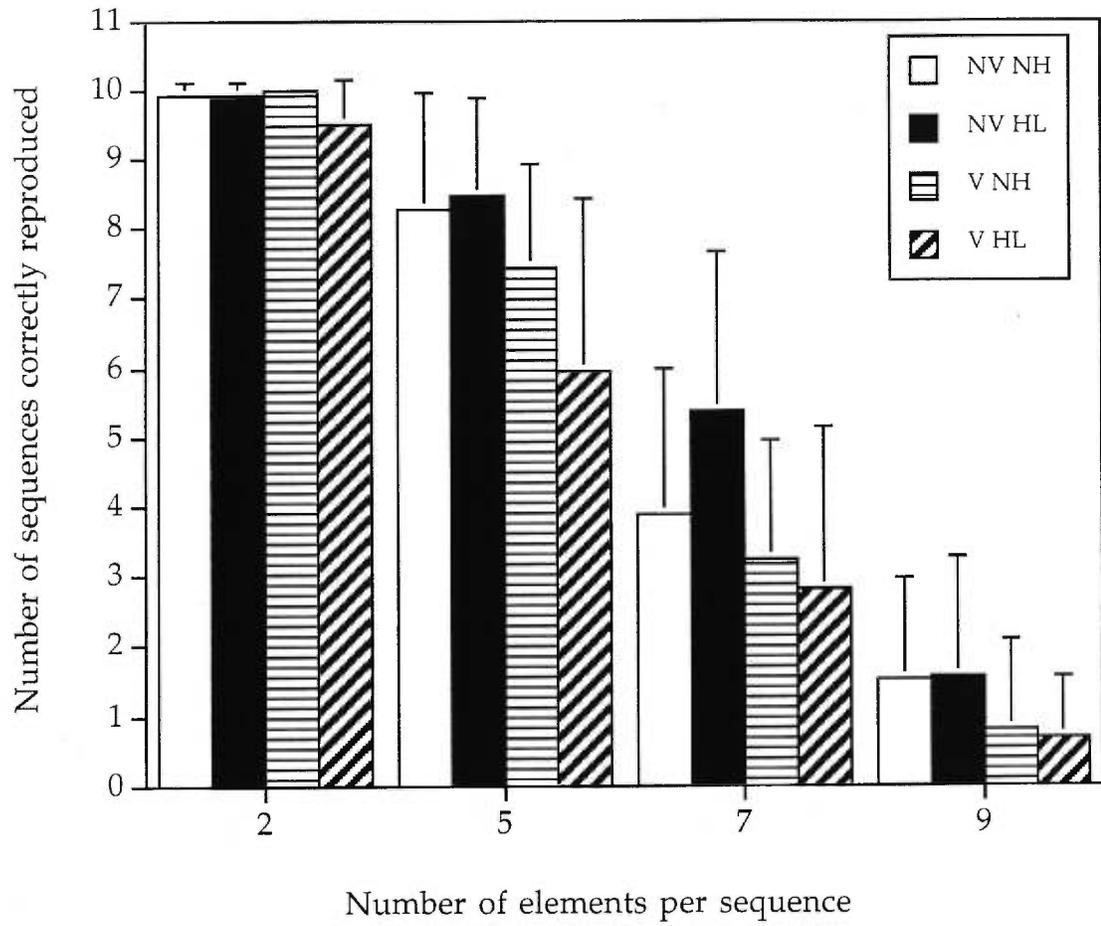
maximum number of sequences that could be correctly reproduced was 10. Data are shown for nonverbal (NV) and verbal (V) stimuli. All children were 9 or 10 years old.

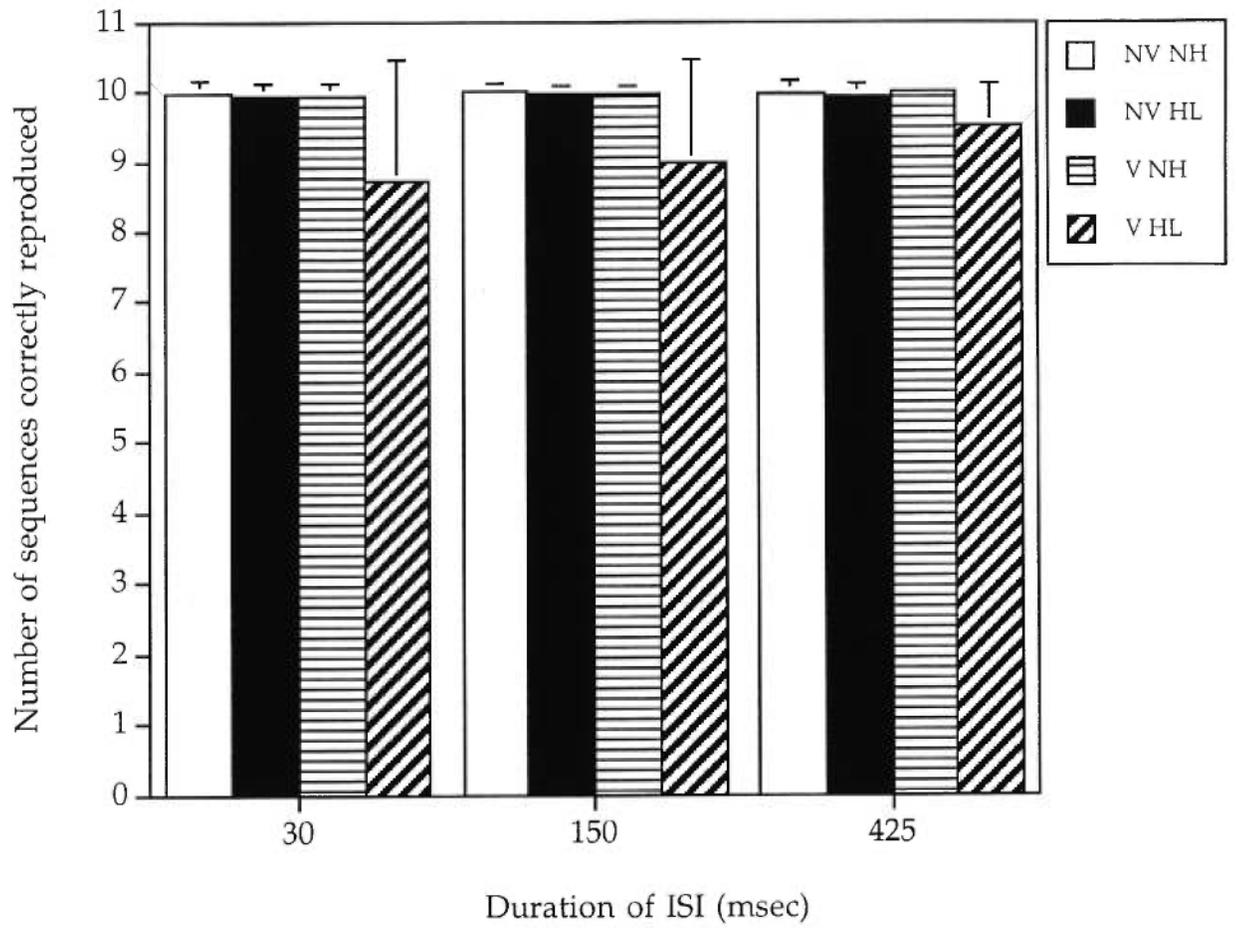
Figure 5. Mean number of sequences correctly reproduced as a function of the number of nonverbal elements. Data are shown for 4 groups of 12 children : 1- Children with normal hearing of 6-7 years of age (NH 6-7); 2- Children with a hearing loss of 6-7 years of age (HL 6-7); 3- Children with normal hearing of 9-10 years of age (NH 9-10); 4- Children with a hearing loss of 9-10 years of age (HL 9-10).

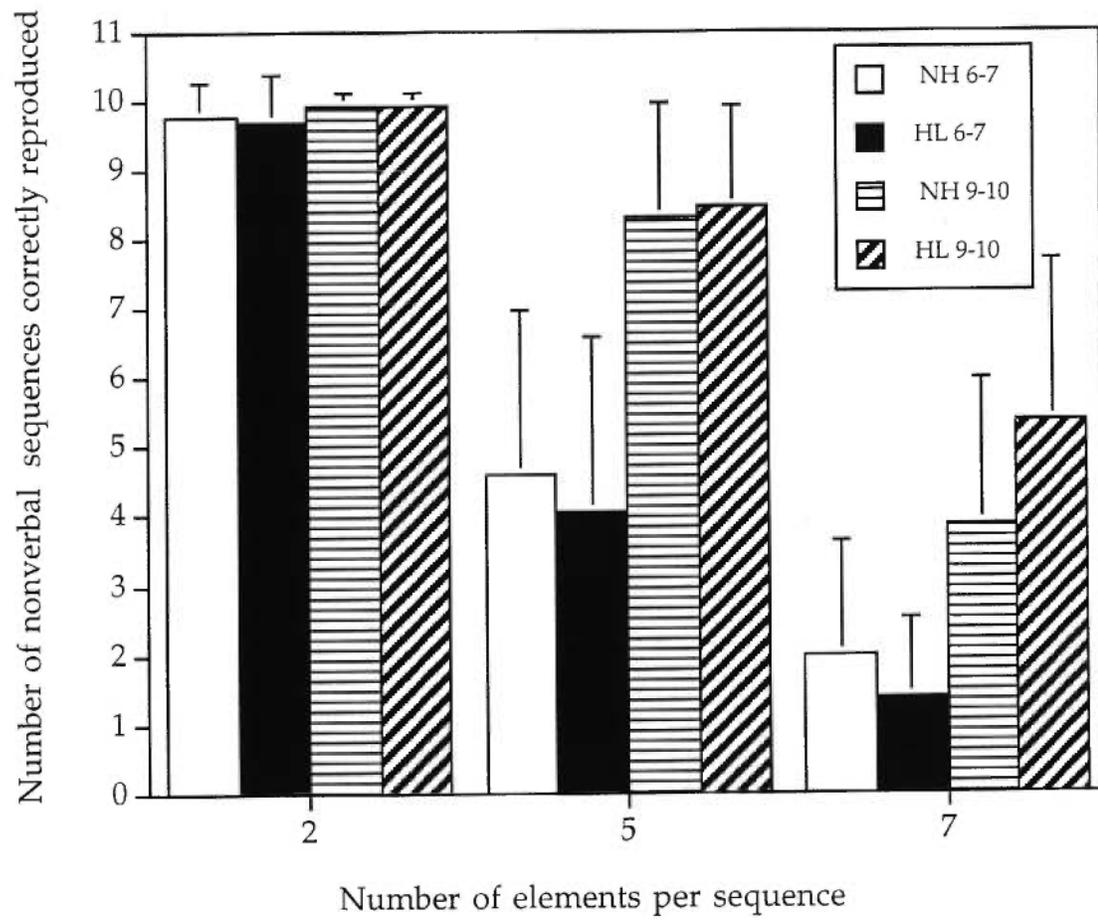
Figure 6. Mean number of sequences correctly reproduced as a function of the number of verbal elements.

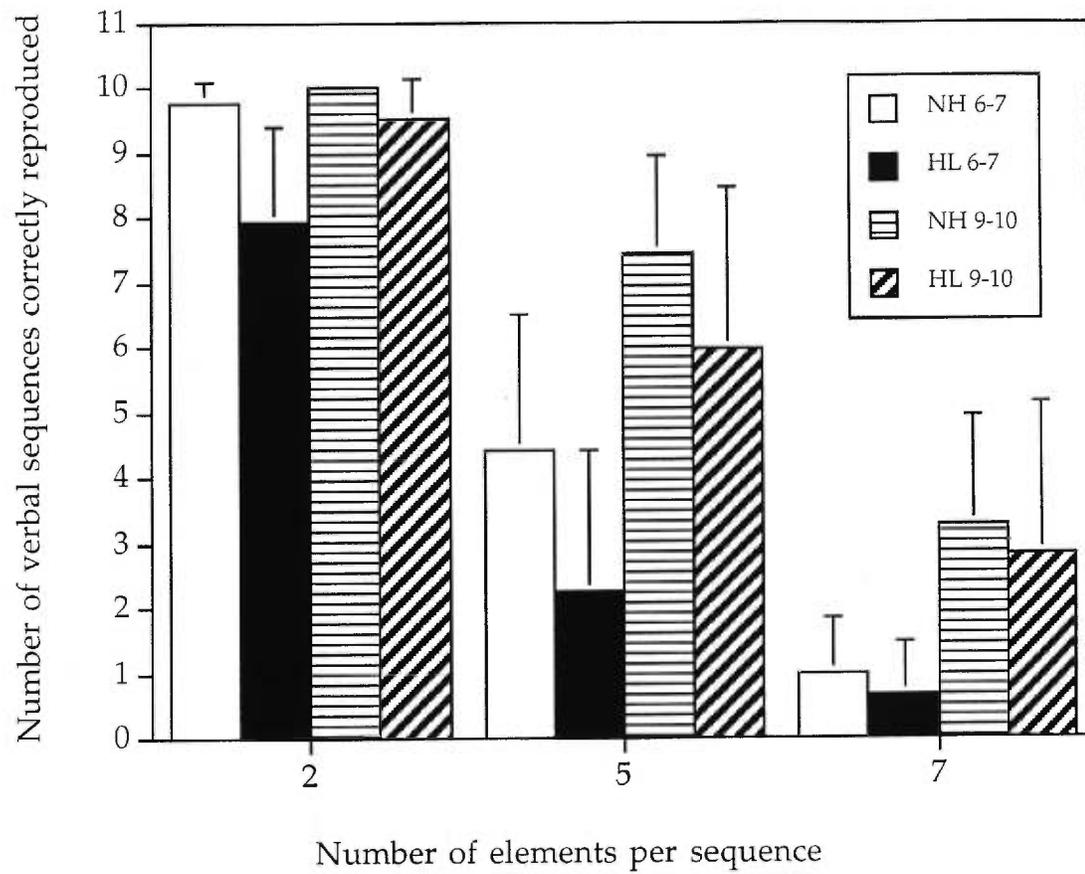












## Chapitre 3

---

### Discussion générale

### 3. Discussion

Cette section de la thèse se divise en deux sous-sections. Dans la première sous-section (3.1), nous discutons des résultats de la recherche effectuée auprès d'enfants entendants et malentendants de 6-7 ans et de 9-10 ans. Nous tentons d'expliquer les différences observées entre les performances des enfants entendants et celles des enfants malentendants. De plus, nous abordons les aspects du développement de la capacité d'organisation séquentielle auditive. Dans la deuxième sous-section (3.2), nous examinons les données individuelles des sujets malentendants. Cet examen a permis d'identifier les enfants malentendants qui ont le plus de difficultés d'organisation séquentielle auditive. Nous passons en revue des facteurs pouvant potentiellement influencer les performances des sujets malentendants afin de vérifier s'ils sont communs aux enfants en difficulté.

#### 3.1 Capacité réduite d'organisation séquentielle auditive d'enfants malentendants

L'objectif de la présente étude était de vérifier si les difficultés d'organisation séquentielle auditive des enfants malentendants étaient davantage reliées à des problèmes perceptifs qu'à des troubles de mémoire à court terme. Les résultats d'une première expérimentation (Partie I de l'article 2), effectuée auprès d'enfants entendants et malentendants de six et sept ans, ont révélé des différences statistiquement significatives entre les deux groupes de sujets pour les séquences contenant des éléments verbaux (/ba/ et /da/). Les sujets malentendants avaient des performances

inférieures à celles des sujets entendants. La capacité d'organisation séquentielle de stimuli acoustiques non verbaux (son pur et bruit de bande large), quant à elle, semble peu varier parmi les sujets des deux groupes. Des résultats identiques ont été observés chez des sujets entendants et malentendants de neuf et dix ans, lors d'une deuxième expérimentation (Partie II de l'article 2).

Les résultats de la présente recherche suggèrent que les difficultés d'organisation séquentielle auditive des sujets malentendants sont davantage associées à un problème perceptif spécifique aux stimuli verbaux utilisés pour l'étude qu'à un problème de mémoire à court terme. Gillam, Cowan & Day (1995) ont mené une étude auprès d'enfants ayant des problèmes spécifiques de langage (sans perte auditive) pour vérifier leur mémoire séquentielle. Ils rapportent une différence significative entre ces enfants et ceux du groupe contrôle lorsque les sujets devaient reproduire dans l'ordre les chiffres entendus. Ils expliquent cette différence par le traitement plus lent des stimuli. Selon eux, les sujets ayant des problèmes spécifiques de langage ont besoin de plus de temps pour traiter un stimulus, ce qui rend ce traitement plus vulnérable aux interférences de la trace acoustique et phonétique des stimuli subséquents. Cette explication pourrait également s'appliquer aux sujets malentendants de la présente étude. On a observé que les sujets malentendants n'ont aucune difficulté à identifier les stimuli verbaux lorsqu'ils sont présentés un à la fois. Toutefois, lorsqu'il y a deux éléments verbaux en séquence, ils éprouvent déjà plus de difficultés que les sujets entendants à les reproduire dans l'ordre. C'est comme si le système de traitement se retrouvait dans un état de surcharge et qu'il n'a plus assez de temps pour

identifier correctement chacun des stimuli pour les reproduire selon l'ordre de présentation. Ce traitement est d'autant plus difficile que les deux stimuli étaient de consonance similaire. De plus, la différence entre ces consonnes se trouve dans la transition du deuxième formant de la consonne à la voyelle, transition qui s'effectue très rapidement. Rappelons que selon Conrad (1964), les stimuli ayant des similarités acoustiques sont moins bien retenus dans l'ordre que ceux qui n'ont aucune ressemblance acoustique.

Les résultats obtenus s'apparentent et contredisent à la fois ceux de Ling (1975). En effet, dans la recherche de Ling, les sujets malentendants (18 sujets dont l'âge variait entre six et quatorze ans) avaient des résultats inférieurs à ceux des sujets entendants de cinq ans (18) et de neuf ans (18), pour les séquences verbales. Toutefois, nos résultats diffèrent de ceux de la recherche de Ling pour les séquences non verbales (cris d'animaux). Cette différence pourrait s'expliquer par le traitement supplémentaire qu'exigent ces signaux acoustiques pour emmagasiner l'information dans la mémoire de travail, contrairement aux sons purs et au bruit de bande large où l'accès au stockage serait plus facile.

De plus, les résultats de la présente étude vont dans le même sens que ceux de plusieurs recherches menées auprès d'enfants et d'adultes sourds pour des tâches nécessitant le rappel dans l'ordre d'éléments verbaux (chiffres, mots, syllabes, etc.) ou non verbaux (formes, lumières, dessins, photographies, etc.) présentés visuellement ou pour des tâches d'organisation visuo-spatiale (ex. : Knox Cube Test). Pour la plupart de ces études (quoique Conrad (1979) rapporte plusieurs contradictions entre les

recherches), les participants sourds avaient significativement des performances inférieures à celles des participants sans perte auditive pour le rappel dans l'ordre de séquences composées de mots, de chiffres ou de syllabes (Arens Krakow & Hanson, 1985; Blair, 1957; Hanson, 1982; O'Connor & Hermelin, 1973; Olsson & Furth, 1966; Tomlinson-Keasey & Smith-Winberry, 1990). Par contre, les sujets sourds avaient des performances semblables ou supérieures à celles des personnes du groupe contrôle pour les tâches impliquant le rappel dans l'ordre de stimuli non verbaux (O'Connor & Hermelin, 1973; Olsson & Furth, 1966; Tomlinson-Keasey & Smith-Winberry, 1990) ou pour certaines tâches d'organisation visuo-spatiale (Blair, 1957).

Pour ce qui est de la mesure d'empan de stimuli acoustiques verbaux et non verbaux, les résultats de la présente recherche suggèrent que les enfants malentendants réussissent cette tâche aussi bien (et parfois mieux) que les enfants entendants. Ces résultats renforcent l'idée que les enfants malentendants n'ont pas de problèmes de mémoire à court terme. Mentionnons à nouveau que la mesure d'empan est une façon de mesurer la mémoire à court terme (Jacobs, 1887). Leur difficulté à reproduire dans l'ordre des éléments acoustiques serait davantage liée à l'aspect perceptif de la tâche. Ce sont les épreuves formées de séquences verbales qui ont permis de mettre en lumière leur difficulté perceptive. Toutefois, on ne sait pas si leur problème est essentiellement lié à la nature ou à la complexité des signaux verbaux utilisés, ou à l'interaction de ces deux facteurs. Afin de vérifier si le problème est spécifiquement d'ordre linguistique ou s'il est provoqué par un trouble plus général de perception auditive, il serait d'abord nécessaire de mener des études en

utilisant des stimuli non verbaux complexes et acoustiquement similaires ainsi que des stimuli verbaux de consonance très différente.

En ce qui a trait au développement de la capacité d'organisation séquentielle auditive, les résultats ont démontré une amélioration des performances des sujets entendants et malentendants en fonction de leur âge. Cette capacité auditive peut donc se développer chez des enfants ayant une surdité neurosensorielle.

Par ailleurs, certains résultats suggèrent que les performances des enfants malentendants finiront par rejoindre celles des enfants entendants. En effet, les figures 1a, 1b et 1c illustrent les données obtenues auprès des sujets entendants et malentendants des deux groupes d'âge, pour le rappel immédiat de séquences de deux éléments verbaux avec un IIS de 30 ms (figure 1a), de 150 ms (figure 1b) et de 425 ms (figure 1c). En examinant les données, on remarque que l'écart entre la moyenne des données des sujets entendants et celle des réponses des sujets malentendants des deux groupes d'âge reste assez stable pour les IIS de 30 ms et de 150 ms. Par contre, pour un IIS de 425 ms, l'écart diminue entre les données des enfants malentendants et celles des enfants entendants de 9 et 10 ans. Quant aux données recueillies avec l'IIS de 425 ms auprès des deux groupes d'enfants de 6 et 7 ans, l'écart est semblable à celui observé pour les IIS plus courts. Ces résultats suggèrent qu'un phénomène de rattrapage pourrait survenir en fonction de l'âge. Des études subséquentes menées auprès d'enfants malentendants plus âgés permettraient de mieux documenter ce phénomène de rattrapage.

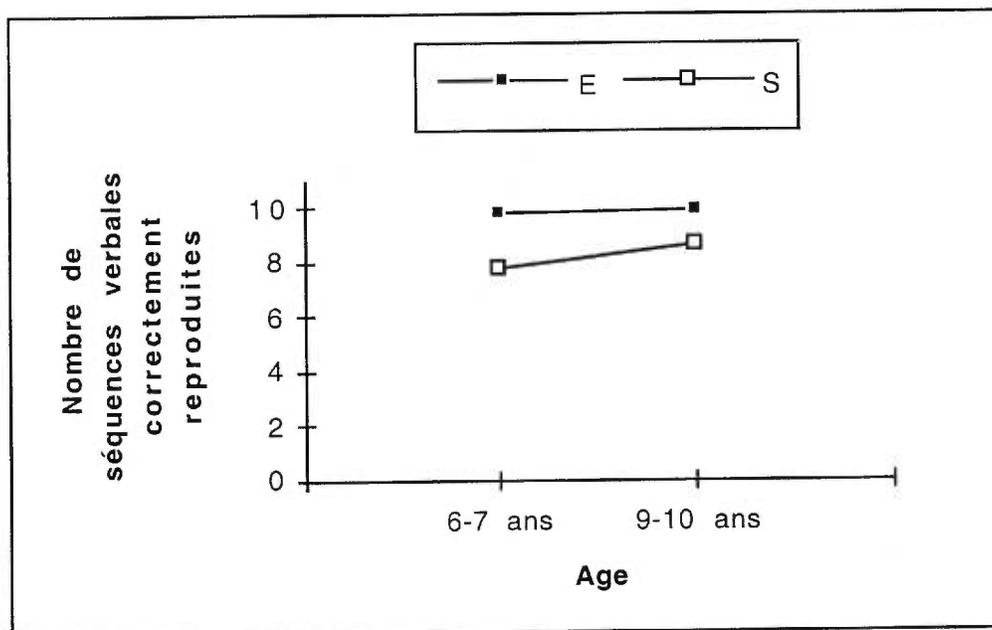


Figure 1a. Moyenne du nombre de séquences verbales correctement reproduites avec un IIS de 30 ms en fonction de l'âge des participants. Vingt-quatre sujets entendants (E) et 24 sujets ayant une surdité (S) ont effectués la tâche (12 enfants âgés de 6-7 ans et 12 enfants âgés de 9-10 ans).

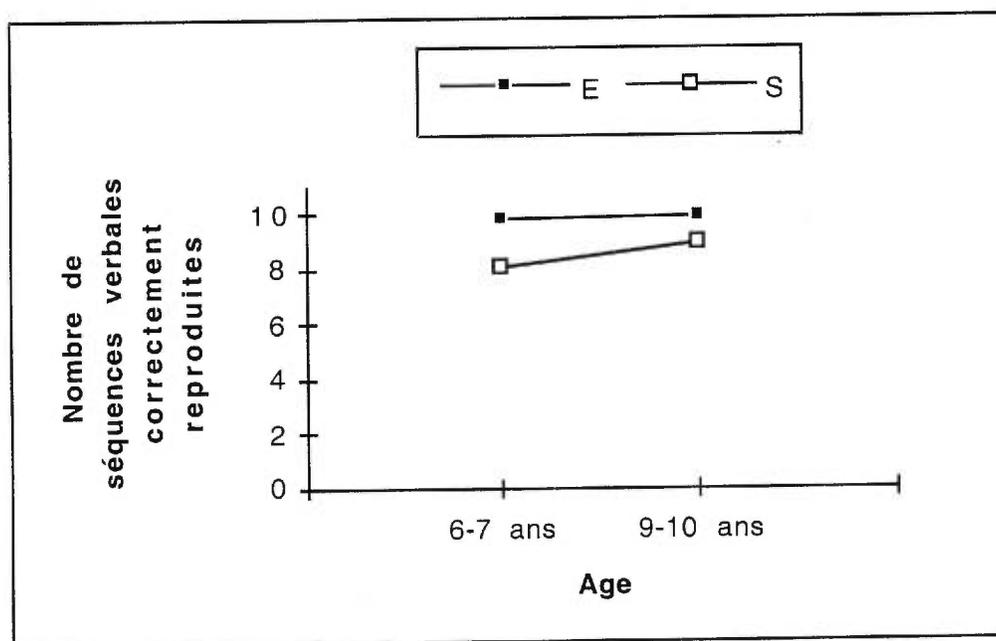


Figure 1b. Moyenne du nombre de séquences verbales correctement reproduites avec un IIS de 150 ms en fonction de l'âge des participants. Vingt-quatre sujets entendants (E) et 24 sujets ayant une surdité (S) ont effectués la tâche (12 enfants âgés de 6-7 ans et 12 enfants âgés de 9-10 ans).

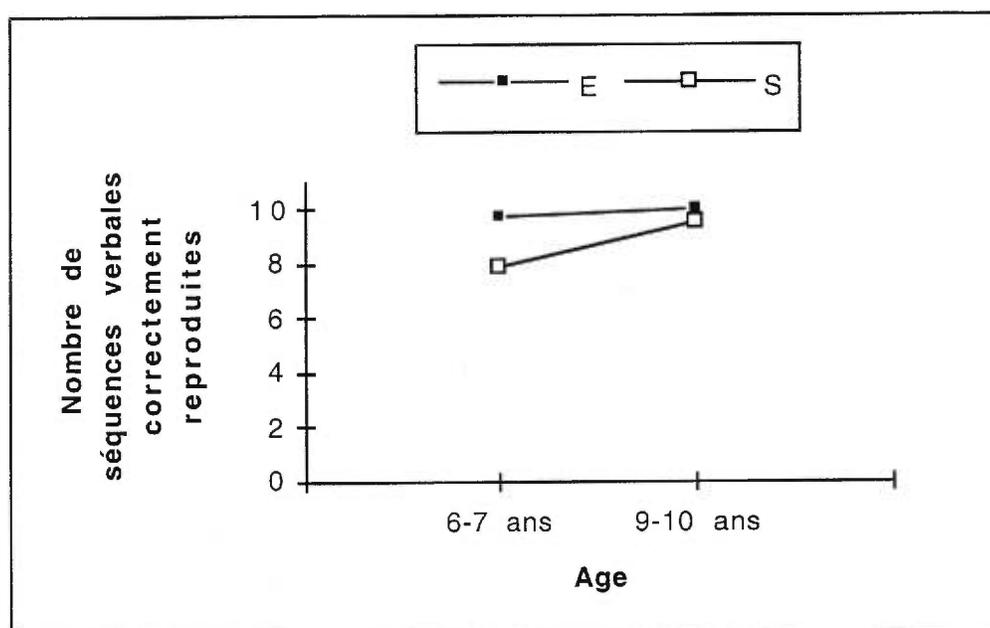


Figure 1c. Moyenne du nombre de séquences verbales correctement reproduites avec un IIS de 425 ms en fonction de l'âge des participants. Vingt-quatre sujets entendants (E) et 24 sujets ayant une surdité (S) ont effectués la tâche (12 enfants âgés de 6-7 ans et 12 enfants âgés de 9-10 ans).

### 3.2 Données des sujets malentendants

Jusqu'à maintenant, les résultats de la présente recherche ont révélé une différence significative entre les performances des enfants entendants et celles des enfants malentendants. Ces derniers ont significativement moins bien réussi certaines tâches expérimentales. Un examen des figures 1 à 10 de l'article 2 suggère que la variabilité des réponses des sujets malentendants est généralement plus grande que celle des sujets entendants. Ils ont un profil de réponses plus étendu. Nous avons donc examiné les performances des ces enfants afin d'identifier ceux qui ont davantage de problèmes d'organisation séquentielle auditive. Pour ce faire, nous avons utilisé les données des sujets entendants de six-sept ans

et celles des neuf-dix ans comme valeurs normatives pour établir l'intervalle de confiance (95%) pour chacun des 14 blocs d'essai reliés aux trois tâches expérimentales décrites dans l'article 2. Nous avons retenu les sujets malentendants qui se retrouvaient le plus souvent sous la limite inférieure de l'intervalle de confiance. À partir de ces données, nous avons compilé le nombre de fois qu'un même sujet a obtenu des résultats se situant sous cette limite pour les différentes tâches demandées. Les figures 1 et 2 regroupent les résultats de cette compilation pour les deux groupes d'âge.

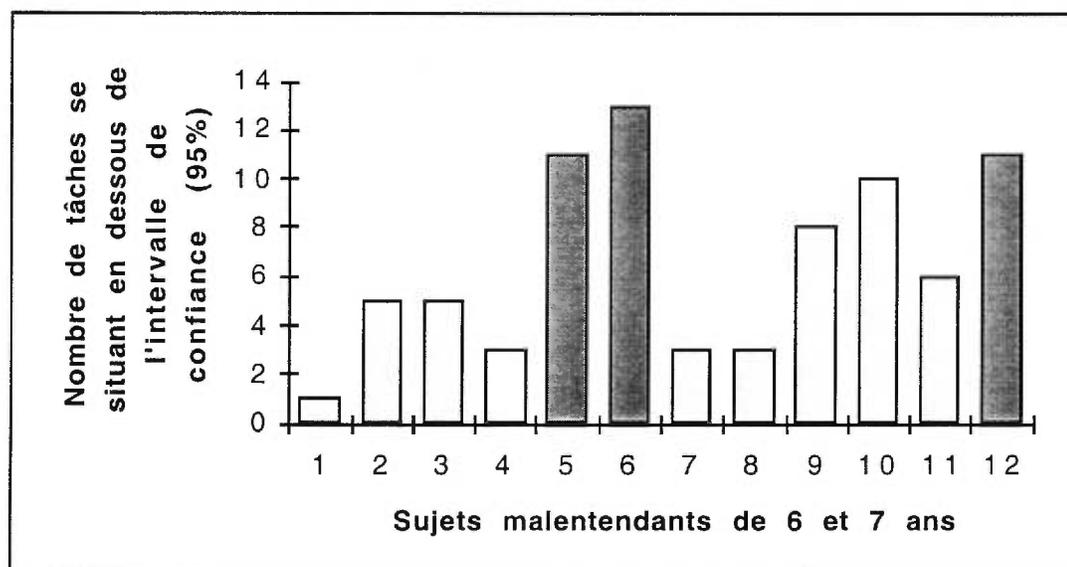


Figure 2. Nombre de blocs expérimentaux (maximum 14) qui se situent sous la limite inférieure de l'intervalle de confiance (95%) pour chaque sujet malentendant de 6 et 7 ans. Les trois enfants ayant le plus de difficultés d'organisation séquentielle sont identifiés par un rectangle plus foncé. L'intervalle de confiance a été établi à partir des résultats des douze sujets entendants de 6-7 ans.

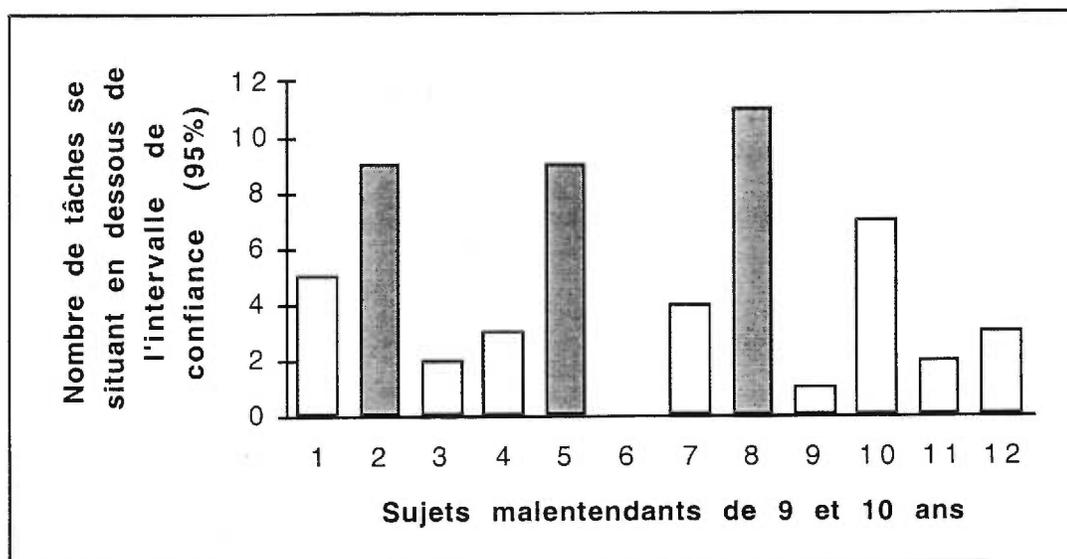


Figure 3. Nombre de blocs (maximum 14) qui se situent sous la limite inférieure de l'intervalle de confiance (95%) pour chaque sujet malentendant de 9 et 10 ans. Les trois enfants ayant le plus de difficultés d'organisation séquentielle sont identifiés par un rectangle plus foncé. L'intervalle de confiance a été établi à partir des résultats des douze sujets entendants de 9-10 ans.

Les résultats illustrés dans les figures 2 et 3 suggèrent que certains sujets malentendants éprouvent plus de difficultés que d'autres enfants du même groupe pour les tâches d'organisation séquentielle auditive. Par exemple, dans la figure 2, on constate que le sujet 6 se retrouve en dessous de l'intervalle de confiance pour 13 des 14 épreuves effectuées tandis que le sujet 1 se situe une seule fois en dessous de cette limite. Il en va de même pour les résultats du sujet 8 et du sujet 6 illustrés à la figure 3. Onze fois sur 14, le sujet 8 est en dessous de la limite de l'intervalle de confiance tandis que le sujet 1 ne s'y retrouve aucune fois.

Dans chacun des groupes, nous avons donc retenu les trois sujets présentant le plus de difficultés, c'est-à-dire ceux qui ont eu le plus grand

nombre de tâches se situant sous la limite inférieure de l'intervalle de confiance. Il s'agit des sujets 5, 6 et 12 de six-sept ans et les sujets 2, 5 et 8 de neuf-dix ans. Dans le texte, nous utilisons l'expression «enfants D+» (enfants ayant le plus de difficultés) pour désigner ces participants. Nous passons en revue certains facteurs qui auraient pu influencer leurs performances. Parmi ces facteurs, on retrouve le degré de la perte auditive, le niveau sonore de présentation des stimuli, l'âge d'appareillage, la cause de la surdité et les facteurs non sensoriels.

### 3.2.1 Degré de perte auditive

Si le traitement de l'information par les structures auditives périphériques joue un rôle primordial dans la capacité d'organisation séquentielle auditive, on serait alors porté à croire que les personnes dont la perte auditive est plus importante devraient moins bien réussir à retenir dans l'ordre des stimuli acoustiques. Dans le présente étude, il semble que ce facteur n'ait pas influencé les résultats aux tâches de rappel de stimuli acoustiques. En effet, les enfants D+ ne sont pas ceux dont la perte auditive était la plus importante (voir figure 4). Cette observation rejoint les propos de Ling (1975) voulant que la capacité d'identifier des séquences auditives de personnes malentendantes va bien au-delà de la mesure de la sensibilité auditive. L'étude de Grose et Hall (1996) portant sur la résolution temporelle arrive à une conclusion similaire. Ils suggèrent que le degré de la perte auditive ne semble pas être un facteur déterminant pour expliquer les performances de sujets malentendants soumis à des épreuves de détection/discrimination de silences entre des séquences de sons non verbaux.

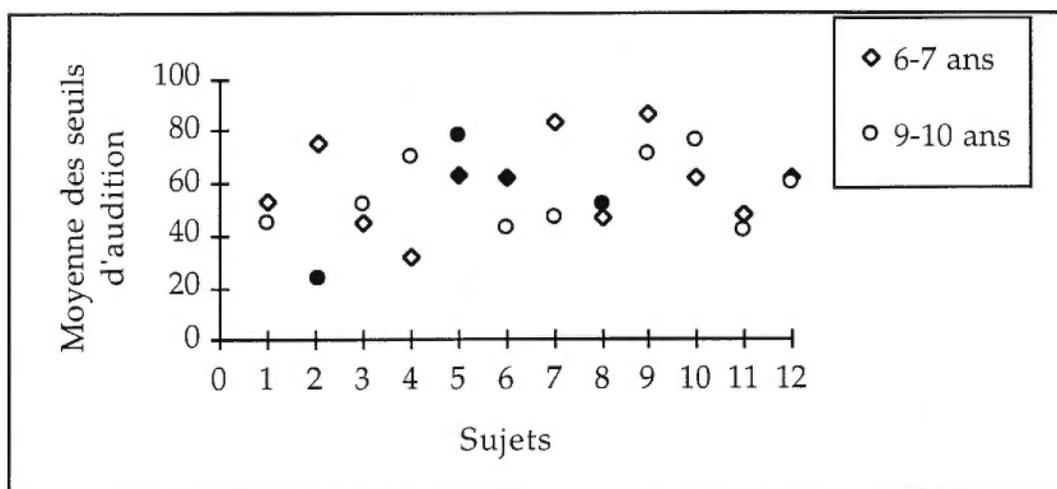


Figure 4. Moyenne des seuils d'audition mesurés à 500, 1000 et 2000 Hz. Les valeurs sont illustrées pour les enfants malentendants de 6-7 ans et de 9-10 ans. Les points et losanges noirs identifient les enfants ayant éprouvé le plus de difficultés à exécuter les tâches d'organisation séquentielle auditive.

### 3.2.2 Niveau de présentation des stimuli

Pour les sujets malentendants, le niveau de présentation des stimuli en dB HL (ou en dB SL, re : la moyenne des seuils d'audition mesurés à 500 Hz, 1 kHz et 2 kHz) variait d'un enfant à l'autre puisque le degré de la perte auditive différait pour chaque sujet. Il fallait présenter les stimuli à un niveau jugé «confortable» par chacun des enfants et s'assurer en même temps que chaque enfant identifiait les stimuli présentés individuellement. De cette manière, nous savions que le niveau de présentation des stimuli était au-dessus du seuil d'audibilité de chaque participant. En regardant les données plus en détails, on constate que le niveau de sensation auditive (dB SL) était plus élevé pour la majorité des

sujets entendants (au moins 40 dB SL) que pour les sujets malentendants (moyenne de 27 dB SL). Cette constatation pourrait laisser croire que le niveau de présentation en dB SL est un facteur important pour identifier correctement des séquences de stimuli acoustiques. Cependant, en poussant plus loin ce raisonnement, on pourrait également penser que les sujets malentendants ayant le plus haut niveau de sensation auditive (dB SL) devraient mieux réussir dans les tâches d'organisation séquentielle auditive. Il semble que ce ne soit pas le cas. Dans la présente étude, certains sujets ont eu de bonnes performances aux différentes tâches avec un niveau de sensation auditive (dB SL) inférieur à celui des enfants D+ (voir figure 5).

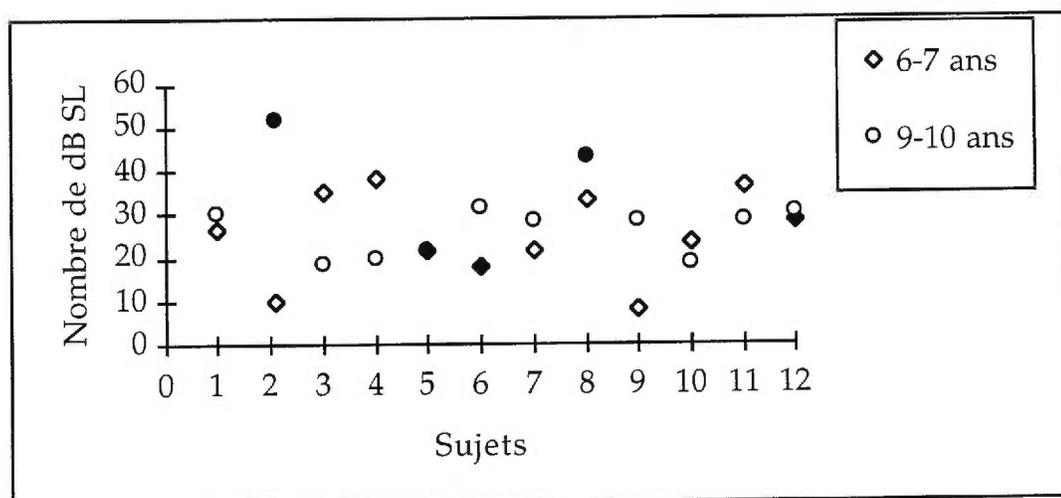


Figure 5. Le nombre de dB SL correspond à la différence entre le niveau de présentation des stimuli et la moyenne des seuils d'audition obtenus à 500, 1000 et 2000 Hz. Les valeurs sont illustrées pour chaque enfant malentendant de 6-7 ans et ceux de 9-10 ans. Les points et losanges noirs identifient les enfants ayant éprouvé le plus de difficultés à exécuter les tâches d'organisation séquentielle auditive.

### 3.2.3 Âge d'appareillage

Dans la présente étude, on ne connaît pas de façon précise l'expérience auditive de chacun des sujets malentendants. Cependant, selon les informations recueillies au dossier des enfants, auprès des parents et auprès de l'audiologiste qui offrait le suivi, les enfants portaient de façon régulière les appareils auditifs et ils avaient des appareils ajustés selon leur perte auditive.

Nous avons également obtenu l'information concernant l'âge d'appareillage de l'enfant. Selon l'examen de cette information pour l'ensemble des enfants malentendants, il semble n'y avoir aucune correspondance directe entre l'âge auquel les sujets ont commencé à porter des appareils auditifs et les difficultés d'organisation séquentielle. Les enfants D+ ont été appareillés à un âge variant entre 1 an et 5 mois, et 5 ans. On retrouve une variation semblable chez les sujets ayant le mieux réussi les tâches de rappel (voir figure 6). De plus, le nombre d'années d'appareillage ne semble pas non plus un facteur pouvant expliquer les difficultés auditives d'organisation séquentielle des enfants D+. La figure 7 illustre la distribution des enfants malentendants selon le nombre d'années qu'ils portent des appareils auditifs. On constate que les enfants D+ se trouvent dispersés parmi les autres enfants malentendants sans que l'on puisse observer un pattern commun à ces enfants.

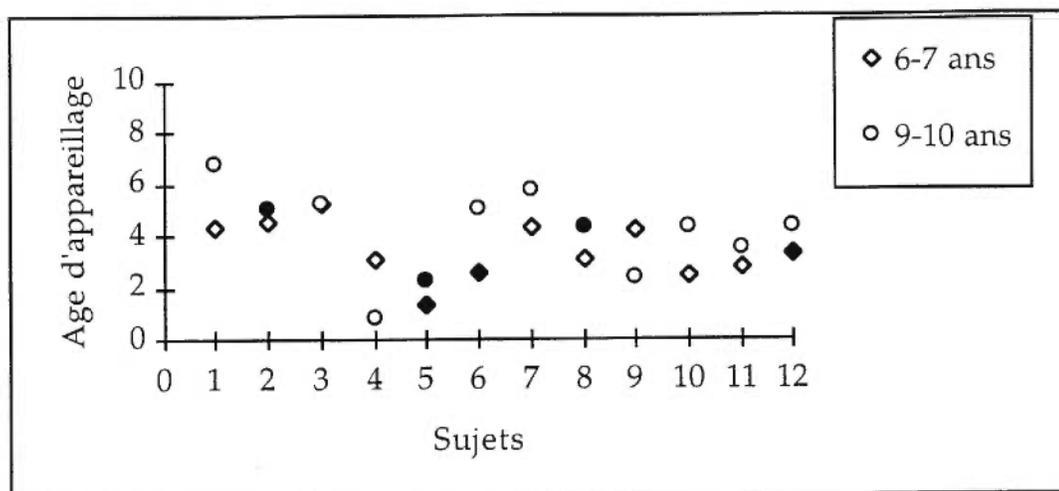


Figure 6. Âge auquel les enfants malentendants de 6-7 ans et de 9-10 ans ont commencé à porter des appareils auditifs. Les points et les losanges noirs identifient les enfants ayant éprouvé le plus de difficultés à exécuter les tâches d'organisation séquentielle auditive.

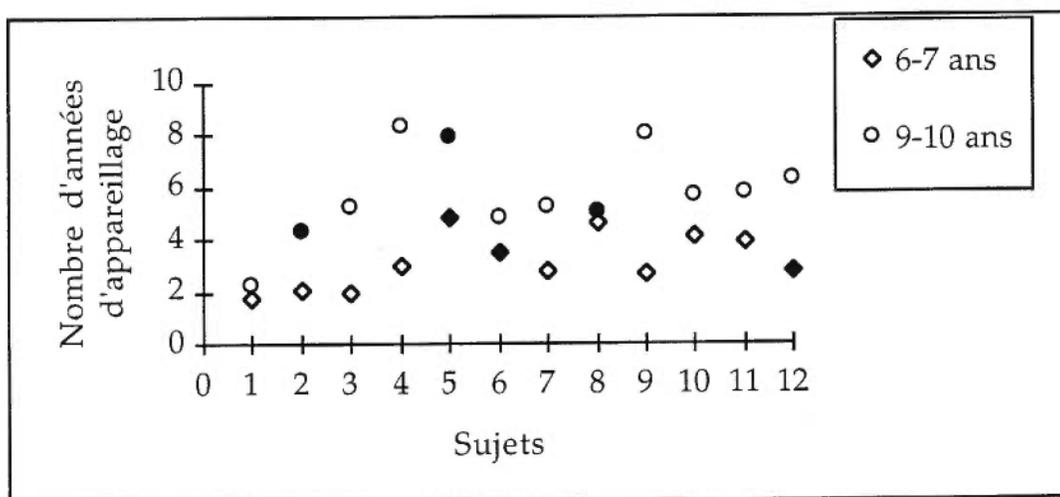


Figure 7. Le nombre d'années d'appareillage est rapporté pour chacun des sujets malentendants de 6-7 ans et de 9-10 ans. Les points et les losanges noirs identifient les enfants ayant éprouvé le plus de difficultés à exécuter les tâches d'organisation séquentielle auditive.

### 3.2.4 Cause de la surdité

L'étiologie de la surdité parmi les 24 sujets malentendants de l'étude se répartit comme suit : dix des sujets ont une surdité de cause inconnue (41,7%), sept des sujets ont une surdité d'origine héréditaire (29,2%), deux sujets ont une surdité d'origine congénitale (8,3%), deux sujets ont eu la méningite (8,3%), deux sujets sont nés prématurément après 30 et 31 semaines de gestation (8,3%) et un sujet a le syndrome de Guillain-Barré (4,2%). Il n'est pas étonnant d'avoir un taux élevé d'enfants malentendants dont la cause de la surdité est inconnue ou héréditaire puisque selon le «Center for Assessment and Demographic Studies» (1989), ces étiologies figurent au premier rang des causes de problèmes auditifs chez les enfants : cause de surdité inconnue, 49,5% et cause de surdité héréditaire, 26,1%.

Parmi les six enfants D+, deux ont une surdité d'origine héréditaire, deux sont nés prématurément et un a eu la méningite à l'âge de 9 mois. La cause de la surdité du sixième enfant D+ n'a pas été déterminée. Selon un examen attentif des résultats obtenus par les sujets malentendants, il est impossible d'établir un lien de causalité entre l'étiologie de la surdité et les résultats de ces enfants aux épreuves d'organisation séquentielle auditive. Cependant, nous tenons à souligner le fait que les deux seuls enfants nés prématurément (à la 30<sup>e</sup> et à la 31<sup>e</sup> semaines) se retrouvent dans le groupe des sujets ayant eu les moins bonnes performances. Jamieson (1994) rapporte qu'entre autres, la prématurité est souvent associée à des incapacités multiples. Elle mentionne que les trois incapacités les plus courantes qui s'ajoutent à celles liées à la surdité sont le retard mental

(8%), les problèmes d'apprentissage (8%) et les problèmes de comportement (6%). Dans le cas de la présente étude, on ne peut pas se prononcer sur ces incapacités.

### 3.2.5 Facteurs non sensoriels

Wightman & Allen (1992) rapportent que les différences observées entre des adultes et des enfants entendants d'âge préscolaire lors de l'évaluation d'habiletés auditives peuvent être le résultat de l'influence de facteurs non sensoriels, tels que la mémoire et l'attention. Dans la présente étude, la capacité d'attention n'a pas été formellement évaluée, mais lors du déroulement de l'expérimentation, nous avons distribué des renforçateurs de façon aléatoire, tel que recommandé par Fulton (1978). Nous avons également accordé des pauses à l'enfant afin de réduire les risques d'une diminution de sa capacité d'attention. Il ne nous est pas apparu de façon évidente que les enfants D+ avaient une capacité d'attention très différente de celle d'autres participants malentendants ou entendants, sauf pour un enfant D+ de 6 ans où il a fallu échelonner les essais sur trois rencontres à cause de la fatigue qu'il disait ressentir.

Rappelons que la fiabilité d'un test effectué auprès de personnes sourdes ou malentendantes peut être influencée aussi bien par l'expérience que l'expérimentateur possède pour administrer ce test que par sa connaissance de cette clientèle (Paul & Jackson, 1993). Pour la présente étude, les épreuves ont été administrées par un évaluateur ayant à son actif plusieurs années de travail comme audiologiste auprès d'enfants malentendants. Son expérience clinique lui permettait, entre

autres, de trouver des moyens pour éviter les distractions, de maintenir et de ramener l'intérêt des enfants à la tâche.

**Chapitre 4**

---

**Conclusion**

#### 4. Conclusion

La présente étude a été menée auprès de 48 enfants répartis en quatre groupes : 12 enfants entendants de 6-7 ans; 12 enfants malentendants de 6-7 ans; 12 enfants entendants de 9-10 ans et 12 enfants malentendants de 9-10 ans. Tous les sujets devaient reproduire des séquences de sons non verbaux (un son pur de 1 kHz et un bruit de bande large de 250 Hz à 8kHz) et des séquences de stimuli verbaux (/ba/ et /da/). Le nombre d'éléments en séquence pouvaient varier entre deux et huit pour les enfants de 6-7 ans et entre deux et neuf pour les enfants de 9-10 ans. La durée de l'intervalle interstimuli (IIS) était maintenue à 425 ms, sauf pour les séquences de deux éléments où l'IIS pouvait être d'une durée de 30 ms et de 150 ms en plus de celui de 425 ms.

À partir des résultats de cette étude, il est possible retenir six points généraux.

1- Pour les tâches d'organisation séquentielle de stimuli acoustiques non verbaux, il n'y a pas de différence significative entre le nombre de séquences correctement reproduites par les sujets malentendants et par les sujets entendants, autant chez les sujets de 6-7 ans que chez les sujets de 9-10 ans. De plus, les sujets malentendants de 9-10 ans ont obtenu des performances significativement supérieures à celles des sujets entendants pour la mesure d'empan avec ces stimuli. Ces résultats suggèrent que les sujets malentendants n'ont pas de problèmes de mémoire à court terme.

2- Pour certaines tâches d'organisation séquentielle auditive de stimuli verbaux, les sujets malentendants ont des performances inférieures à celles des sujets entendants, autant chez les sujets de 6-7 ans que chez les sujets de 9-10 ans.

3- Les résultats suggèrent que les performances des sujets malentendants sont supérieures pour les séquences non verbales que pour les séquences verbales.

4- Les difficultés des sujets malentendants pour les tâches de rappel de stimuli verbaux semblent être davantage liées à un problème perceptif qu'à un trouble de la mémoire à court terme. Leurs performances semblent être influencées soit par la nature des stimuli verbaux, soit par leur complexité ou soit par l'interaction de ces deux facteurs.

5- La capacité d'organisation séquentielle auditive se développe avec l'âge, autant chez les sujets malentendants que chez les sujets entendants pré-adolescents.

6- Certains résultats suggèrent qu'avec les années, les performances des enfants malentendants finiront par rejoindre celles des sujets entendants.

## Références

---

ANSI-American National Standard Institute (1989). *American National Standard Specifications for Audiometers*. New York: USA Standard.

Albert, M. (1972). Auditory sequencing and left cerebral dominance for language. *Neuropsychologia*, 10, 245-248.

ASHA-American Speech-Language-Hearing Association (1996). Central auditory processing: Current status of research and implications for clinical practice. *American Journal of Audiology*, 5, 41-54.

Anooshian, L.J., & Bryan, J.M. Jr (1979). The effects of early deprivation on temporal perceptions : A comparison of hearing and hearing-impaired children on temporal pattern matching tasks. *Journal of Speech and Hearing Research*, 22, 717-730.

Arens Krakow, R., & Hanson, V.L. (1985). Deaf signers and serial recall in visual modality: Memory for signs, fingerspelling, and print. *Memory and Cognition*, 13, 265-272.

Arnst, D.J. (1982). SSW test results with peripheral hearing loss. Dans J. Arnst & J. Katz (Eds.), *The SSW Test: Development and Clinical Use* (287-293). San Diego: College-Hill Press.

Bamford, J., & Saunders, E. (1992). *Hearing Impairment, Auditory Perception and Language Disability*. Londres: Whurr Publishers.

Boothroyd, A. (1973). *Detection of temporal gaps by deaf and hearing subjects (S.A.R.P. # 12)*. Northampton : Clarke School For The Deaf.

Blair, F.X. (1957). A study of the visual memory of deaf and hearing children. *American Annals of the deaf*, 102, 254-263.

Brookshire, R. H. (1972). Visual and auditory sequencing by aphasic subjects. *Journal of Communication Disorders*, 5, 259-269.

Cacace, A.T., & McFarland, D.J. (1992). Acoustic pattern recognition and short-term memory in normal adults and young children. *Audiology*, 31, 334-341.

Campbell, R.A., & Counter, S.A. (1969). Temporal integration and periodicity pitch. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 45, 691-693.

Carlyon, R.P., Buus, S., & Florentine, M. (1990). Temporal integration of trains of tone pulses by normal and by cochlearly impaired listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 87, 260-268.

Center for Assessment and Demographic Studies (1989). *Annual Survey of Hearing-Impaired Children and Youth, 1988-1989*. Washington, D.C.: Gallaudet University.

Chi, M.T.H. (1976). Short-term memory limitations in children : Capacity or processing deficits? *Memory and Cognition*, 4, 559-572.

Clas, A. (1983). *Sons et langage : initiation à la phonétique théorique et pratique*. Montréal: Sodalis.

Cohen, A.J., & O'Connor, J. (1994). Development of memory for sequences of nonverbal sounds. *Proceeding of XXII International Congress of Audiology*, presented at the XXII International Congress of Audiology, Halifax, Nova Scotia, Canada.

Conrad, R. (1979). *The Deaf Schoolchild: Language and Cognitive Function*. Londres : Harper & Row.

Conrad, R. (1964). Acoustic confusion in immediate memory. *British Journal of Psychology*, 55, 75-84.

Dadson, R.S., & King, J.H. (1952). A determination of the normal threshold of hearing and its relation to the standardization of audiometers. *Journal of Laryngology and Otology*, 66, 366-378.

De Agostini M., & Dellatolas G. (1988). Une épreuve simple pour évaluer la préférence manuelle chez l'enfant à partir de 3 ans. *Enfance*, 41, 139-147.

Dempsey, C. (1983). Selecting test of auditory function in children. Dans E.Z. Lasky & J. Katz (Eds.), *Central Auditory Processing Disorders* (203-221). Austin: Pro-Ed.

Dempsey, J.J., & Maxon, A.B. (1982). Temporal integration functions in hearing impaired children. *Ear and Hearing, 3*, 271-273.

Efron, R. (1963). Temporal perception, aphasia and déjà vu. *Brain, 89*, 403-424.

Elliott, R., Powers, A., & Funderburg, R. (1988). Learning disabled hearing-impaired students: Teacher survey. *The Volta Review, 90*, 277-286.

Fitzgibbons, P.J., & Gordon-Salant, S. (1987). Minimum stimulus levels for temporal gap resolution in listeners with sensorineural hearing loss. *The Journal of the Acoustical Society of America, 81*, 1542-1545.

Fitzgibbons, P.J., & Wightman, F. L. (1982). Gap detection in normal and hearing impaired listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America, 72*, 761-765.

Florentine, M., & Buus, S. (1988). Temporal gap detection in sensorineural and simulated hearing impairments. *Journal of Speech and Hearing Research, 27*, 449-455.

Florentine, M., Fastl, H., & Buus, S. (1988). Temporal integration in normal hearing, cochlear impairment, and impaired simulated by masking. *The Journal of the Acoustical Society of America, 84*, 195-203.

Fulton, R.T. (1978). Pure-tone tests of hearing: Age one through five years. Dans M. Martin (Ed.), *Pediatric Audiology* (201-235). Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall Inc.

Furth, H.G., & Pufall, P.B. (1966). Visual and auditory sequence learning in hearing-impaired children. *Journal of Speech and Hearing Research*, 9, 434-440.

Gerken, G.M., Gunnarson, A.D., & Allen, C.M. (1983). Three models of temporal summation evaluated using normal-hearing and hearing-impaired subjects. *Journal of Speech and Hearing Research*, 26, 256-262.

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*, Supplément 32, 1-25.

Glasberg, B.R., Moore, B.C.J., & Bacon, S.P. (1987). Gap detection and masking in hearing-impaired and normal-hearing subjects. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 81, 1546-1556.

Grose, J.H., & Hall, J.W. (1996). Perceptual organization of sequential stimuli in listeners with cochlear hearing loss. *Journal of Speech and Hearing Research*, 39, 1149-1158.

Grose, J.H., Hall, J.W., & Gibbs (1993). Temporal analysis in children. *Journal of Speech and Hearing Research*, 36, 351-356.

Guillam, R.B., Cowan, N., & Day, L.S. (1995). Sequential memory in children with and without language impairment. *Journal of Speech and Hearing Research, 38*, 393-402.

Hanson, V.L. (1982). Short-term recall by deaf signers of american sign language: Implications of encoding strategy for order recall. *Journal of Experimental Psychology, 8*, 572-583.

Hashisaki, G.T., & Rubel, E.W. (1989). Effects of unilateral cochlea removal on anteroventral cochlear nucleus neurons in developing gerbils. *The Journal of Comparative Neurology, 283*, 465-473.

Hecker, M.H.L. (1971). Speaker recognition: An interpretative survey of the literature. *ASHA Monographs, 16*, 1-103.

Hirsh, I.J. (1959). Auditory perception of temporal order. *The Journal of the Acoustical Society of America, 31*, 759-767.

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. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 81, 1557-1565.

Jacobs, J. (1887). Experiments on "prehension". *Mind*, 12, 75-79.

Jamieson, J.R. (1994). The impact of hearing impairment. Dans J. Katz (Ed.), *Handbook of Clinical Audiology* (4<sup>e</sup> éd.) (596-615). Baltimore: Williams & Wilkins.

Jutras, B., & Gagné, J.-P. (1996). L'organisation séquentielle de stimuli acoustiques: cadre conceptuel et implications cliniques. *Revue d'orthophonie et d'audiologie*, 20, 197-206.

Jutras, B., & Gagné, J.-P. (1998). Auditory sequential organization among children with and without a hearing loss. *Journal of Speech-Language-Hearing Research* (soumis).

Karchmer, M.A. (1985). A demographic perspective. Dans E. Cherow (Ed.), *Hearing Impaired Children and Youth with Development Disabilities* (36-56). Washington: Gallaudet College Press.

Katz, J. (1987). *S.S.W. Workshop Manual*. Buffalo : Jack Katz.

Katz, J., Stecker, N., & Henderson, D. (1992). Introduction to central auditory processing. Dans J. Katz, N. Stecker, & D. Henderson (Eds.),

*Central Auditory Processing: A Transdisciplinary View* (3-8). Toronto: Mosby Yearbook.

Katz, J., & Wilde, L. (1994). Auditory processing disorders. Dans J. Katz (Ed.), *Handbook of Clinical Audiology* (4<sup>e</sup> éd.) (490-502). Baltimore: Williams & Wilkins.

Ling, A.H. (1975). Memory for verbal and nonverbal auditory sequences in hearing-impaired and normal-hearing children. *Journal of the American Audiology Society*, 1, 37-45.

Maxon, A.B., & Hochberg, I. (1982). Development of psychoacoustic behavior: Sensitivity and discrimination. *Ear and Hearing*, 3, 301-308.

Mitsyn. (1993). Software program. Microsoft Windows 3.1. DigiVox, Montréal, Québec, Canada.

Moore, D.B. (1990). Auditory brainstem of the furret: Early cessation of developmental sensitivity of neurons in the cochlear nucleus to removal of the cochlea. *The Journal of Comparative Neurology*, 302, 810-823.

Moore, B.C.J., & Glasberg, B.R. (1988). Gap detection with sinusoids and noise in normal, impaired, and electrically stimulated ears. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 83, 1093-1101.

Musiek, F.E., Baran, J.A., & Pinheiro, M.L. (1990). Duration pattern recognition in normal subjects and patients with cerebral and cochlear lesions. *Audiology*, 29, 304-313.

Musiek, F.E., & Lamb, L. (1994). Central auditory assessment: An overview. Dans J. Katz (Ed.), *Handbook of Clinical Audiology* (4<sup>e</sup> éd.) (197-211). Baltimore: Williams & Wilkins.

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.

Nelson, P.B., & Dwyer Thomas, S. (1997). Gap detection as a function of stimulus loudness for listeners with and without hearing loss. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 40, 1387-1394.

Northern, J.L., & Downs, M. (1984). *Hearing in Children*. Baltimore: Williams & Wilkins.

O'Connor, N., & Hermelin, B. (1973). Short-term memory for the order of pictures and syllables by deaf and hearing children. *Neuropsychologia*, 11, 437-442.

Olsson, J.E., & Furth, H.G. (1966). Visual memory span in the deaf. *American Journal of Psychology*, 79, 480-484.

- Paquet, J. (1993). *Le développement de la mémorisation à court terme est-il cause ou conséquence du développement intellectuel?* Unpublished thesis, Université de Montréal, Montréal, Québec, Canada.
- Paul, P.V., & Jackson, D.W. (1993). *Toward a psychology of deafness : Theoretical and empirical perspectives*. Toronto: Allyn & Bacon.
- Piéron, H. (1967). *La sensation* (5<sup>e</sup> édition). Paris : Presses Universitaires de France.
- Pinheiro, M.L. (1977). Tests of central auditory function in children with learning disabilities. Dans R.B. Keith (Ed.), *Central Auditory Dysfunction* (223-256). Toronto: Grune & Stratton.
- Pinheiro, M L, & Musiek, F. E. (1985). Sequencing and temporal ordering in the auditory system. Dans F. E. Musiek, & M. L. Pinheiro (Eds.), *Assessment of Central Auditory Dysfunction : Foundations and Clinical Corralates* (219-238). Baltimore: Williams et Wilkins.
- PsychLab (1992). Version 1. Teren Gum, Montréal, Québec, Canada.
- Raven, J.C. (1956). *Colored Progressive Matrices*. Londres : H. K. Lewis & Co. Ltd.
- Rose, M.M., & Moore, B.C.J. (1997). Perceptual grouping of tone sequences by normally hearing and hearing-impaired listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 102, 1768-1778.

Rowe, E.J., & Cake, L.J. (1977). Retention of order information for sounds and words. *Canadian Journal of Psychology*, 31, 14-23.

SoundEdit Pro (1992). Version 1.0. Macromedia Canada Inc., Pointe Claire, Québec.

Stark, J. (1967). A comparison of the performance of aphasic children on three sequencing tests. *Journal of Communication Disorders*, 1, 31-34.

Stecker, N.A. (1992). Central auditory processing: Implications in audiology. Dans J. Katz, N. Stecker & D. Henderson (Eds.), *Central Auditory Processing: A Transdisciplinary View* (117-127). Toronto: Mosby Yearbook.

Sterrit, G.M., Camp, B.W., & Lipman, B.S. (1966). Effects of early deprivation upon auditory and visual information processing. *Perceptual and Motor Skills*, 23, 123-130.

Stoker, R.G. (1980). *Temporal pattern recognition and speech perception by the hearing impaired*. Unpublished thesis, McGill University, Montréal.

Tallal, P. (1978). An experimental investigation of the role of auditory processing in normal and disordered language development. Dans A. Caramazza, & E. Zurif (Eds.), *Language Acquisition and Language Breakdown: Parallels and Divergences* (25-61). Baltimore: The John Hopkins University Press.

Tallal, P. (1980). Auditory temporal perception, phonics and reading difficulties in children. *Brain and Language*, 9, 182-198.

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. (1973a). Developmental aphasia : Impaired nonverbal processing as a function of sensory modality. *Neuropsychologia*, 11, 389-398.

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

Taylor, G. (1988). Learning difficulties. Dans E. Mash & I. Terdal (Eds.), *Behavioral Assessment of Childhood Disorders* (402-450). New York: Guilford.

Tomlinson-Keasey, C., & Smith-Winberry, C. (1990). Cognitive consequences of congenital deafness. *The Journal of Genetic Psychology*, 151, 103-115.

Trehub, S.E., Schneider, B.A., & Henderson, J.L. (1995). Gap detection in infants, children, and adults. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 98, 2532-2541.

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.

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* (458-465). Delft : Delft University Press.

VIS/PC/ (1996). Version 4.26. Département de linguistique, Université de Montréal, Montréal.

Webster, D.B. (1983). Effects of peripheral hearing loss on the auditory brainstem. Dans E.Z. Lasky, & J. Katz (Eds.), *Central Auditory Processing Disorders* (185-199). Austin: Pro-Ed.

Webster, D.B., & Webster, M. (1977). Neonatal sound deprivation affects brain stem auditory nuclei. *Archives of Otolaryngology*, 103, 392-396.

Wightman, F., & Allan, P. (1992). Individual differences in auditory capability among preschool children. Dans L.A. Werber, & E.W. Rubel (Eds.), *Developmental Psychoacoustics* (113-133). Washington, D.C.: American Psychological Association.

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

Willeford, J.A. (1977). Assessing central auditory behavior in children: A test battery approach. Dans R.B. Keith (Ed.), *Central Auditory Dysfunction* (43-72). Toronto: Grune & Stratton.

Wright, R. (1987). Basic properties of speech. Dans M. Martin (Ed.), *Practical Aspects of Audiology: Speech Audiometry* (1-32). Londres: Whurr Publishers.

Yantis, P.A. (1994). Puretone air-conduction threshold testing. Dans J. Katz (Ed.), *Handbook of Clinical Audiology* (4<sup>e</sup> éd.) (97-108). Baltimore: Williams & Wilkins.

**Appendice A**

---

**Article A**

**Auditory sequential organization among children  
with and without a hearing loss, Part I: Evaluation**

Auditory sequential organization: Part 1

Running head: AUDITORY SEQUENTIAL ORGANIZATION:  
EVALUATION

Auditory sequential organization among children with and without a  
hearing loss, Part I: Evaluation

Benoît Jutras

École d'orthophonie et d'audiologie

Université de Montréal

Jean-Pierre Gagné

École d'orthophonie et d'audiologie

Université de Montréal

## Abstract

Twenty-four 6- and 7-year-olds, 12 with normal hearing and 12 with a sensorineural hearing loss, completed auditory temporal sequencing tasks with verbal (/ba/ and /da/) and nonverbal (a 1-kHz pure tone and a wide band noise) acoustic stimuli. The results showed a significant difference between the two groups for immediate recall of auditory sequences containing 2, 3 and 5 verbal stimuli. There were no significant differences in performance between the children with normal hearing and those with a hearing impairment on the verbal task with sequences of 7 elements (most likely attributable to a floor effect observed in the performances of both groups of subjects), on any of the nonverbal sequencing tasks (2, 3, 5, 7 elements), or on the nonverbal and verbal memory span tasks. For the sequences that consisted of 2 nonverbal elements, a ceiling effect was observed. That is, almost all the subjects obtained the maximum score possible. Overall, the results suggest that children with a hearing loss have difficulty with auditory sequential organization. However, the poorer performances of the children with a hearing loss appear to be related more to the type or the complexity of the stimuli used in the experimental tasks than to memory-related processes per se.

## Auditory sequential organization among children with and without a hearing loss, Part I: Evaluation

The task of keeping acoustic elements in order is a complex one that demands the efficient functioning of a variety of auditory and cognitive abilities. The central auditory nervous system plays an important role in the ability to recall acoustic stimuli. Intact temporal lobes, especially the transverse gyri of Heschl, are essential to ensure proper auditory sequential organization (Pinheiro, & Musiek, 1985). Persons with brain injuries in the area of the temporal lobes experience difficulties in auditory tasks that require the recall of acoustic elements presented in sequence (Albert, 1972; Brookshire, 1972; Efron, 1963; Nakaruma, 1990; Warren, & Gardner, 1995).

Hirsh (1959) stated that temporal ordering requires two perceptual processes. The subject has to: 1) perceive the interval between the stimuli and, 2) discriminate the stimuli from each other. Temporal ordering can be accomplished on the basis of global (holistic) pattern recognition or through the identification of each component of the string (Warren, 1994; Warren, & Gardner, 1995). The latter requires the subject to attach a verbal label to each of the individual elements (Belleville, Peretz, & Arguin, 1992; Rowe, & Cake, 1977; Warren, & Gardner, 1995). According to one working memory model (Baddeley, 1986), this a necessary step in order to incorporate the stimuli into the phonological loop system.

Several studies have demonstrated that, when the stimuli consist of numbers, or verbal or nonverbal acoustic signals, subjects with a hearing loss perform more poorly than normal-hearing subjects on temporal

sequencing tasks (Anooshian & Bryan, 1979; Stark, 1967; Furth & Pufall, 1966; Grose, & Hall, 1996, Rose, & Moore, 1997, Sterritt, Camp & Lipman, 1966; Stoker, 1980). However, the results can vary according to the type of stimuli used. Ling (1975) evaluated the sequential organization performances of children with and without a sensorineural hearing loss using sequences of two, three and four verbal stimuli (vowels or consonants) or nonverbal stimuli (environmental noises), with variable ISI durations. The author reported that, for ISI durations of 50, 300 and 800 ms, the subjects with a hearing impairment performed more poorly than those in the normal-hearing groups for sequences of vowels and consonants that consisted of two, three and four elements. For the nonverbal sequences, the subjects with a hearing impairment (between 6 and 14 years of age) obtained better results than those obtained by normal-hearing 5-year-old children, but worse than those obtained by a group of 9-year old subjects with normal hearing.

Rowe and Cake (1977) reported that, when the ISI duration was 500 ms or less, it was easier for normal-hearing subjects to recall the order of words than the order of environmental noises. According to these authors, the coding of nonverbal acoustic stimuli must necessarily be accomplished by attributing a verbal label to the nonverbal stimuli. This label would then permit access to verbal coding. The coding of words does not require any transformation because the words are already perceived in the verbal code. According to Rowe and Cake (1977), this facilitates the retention of information in sequence. Jones (1993) reported that pure tones and verbal stimuli, presented at the end of a sequence, have the same power to disrupt immediate recall in an auditory verbal sequencing

task (suffix effect). These findings suggest that mnemonic processing does not necessarily differ for verbal and nonverbal sequences.

With regard to the studies mentioned above, it should be noted that some investigators did not ensure that their subjects were able to recognize the presentation order of two elements (Anooshian & Bryan, 1979; Furth & Pufall, 1966). Tallal and Piercy (1974, 1973a, 1973b) consider this to be an auditory perception task. Other investigators failed to mention or control the duration of the stimuli used (Sterritt et al., 1966), ISI duration (Sterritt et al., 1966), sound pressure level of the stimuli (Stoker, 1980) or type of hearing loss (conductive, sensorineural or mixed) of the subjects (Stark, 1967). Finally, in one study, the investigators did not match the experimental and control subjects according to gender and age (Ling, 1975). The experimental group in Ling's study consisted of 11 girls and 7 boys between the ages of 6 and 14 years. In contrast, the control group consisted of 9 girls and 9 boys between the ages of 5 and 9 years. The results of the investigation would have been more meaningful if the groups had been matched for gender and if a distinction had been made between the younger and the older subjects with a hearing loss. The latter would have made it possible to investigate the developmental aspects of the task. For normal-hearing subjects, it is well known that the memory span improves with age. The memory span of adults can reach twice the number measured for 5-year-old children (Chi, 1976). To date, there exist no known studies that specifically measure auditory memory span among subjects with a hearing impairment.

In short, the above-mentioned studies suggest that persons with a hearing loss may experience more difficulties than normal-hearing persons on auditory temporal sequencing tasks. However, most of the previous investigations do not provide sufficient information to determine whether the poorer auditory sequencing competencies of persons with a hearing loss are attributable solely to reduced perceptual abilities or if they are due to poorer perceptual and memory-related processing abilities. Rose and Moore (1997) and Grose and Hall (1996) had adults with and without a hearing loss perform temporal sequencing tasks. The results suggested that the participants with a hearing loss had significantly more difficulties than their peers performing the tasks and that the problem could be related to perceptual difficulties. However, their investigations were not conducted with children. The purpose of the present study was to investigate whether children with a hearing loss exhibit poorer performances than their normal-hearing peers on auditory sequential organization tasks. Further, the tasks were designed to determine if the poorer performances of the children with a hearing loss (if that is the case) are due to perceptual or memory disabilities.

## Method

### Subjects

Two groups of 6- and 7-year-old children participated in the study. Twelve subjects had a hearing loss and 12 subjects had normal hearing. The groups were matched for age and gender. There were 6 boys and 6 girls in each group. The mean age of subjects was 6 years and 10 months for the normal-hearing group, and 6 years and 9 months for the subjects with a hearing loss. The hearing thresholds, the age at which they started

to use hearing aids and the cause of the hearing loss (when it was known) of the children with a hearing impairment are reported in Table 1. All of the normal-hearing subjects passed a hearing screening test (detection threshold of 15 dB HL for octave frequencies between 500 Hz to 8 kHz). All subjects were right-handed. Lateral dominance was evaluated according to the protocol proposed by De Agostini and Dellatolas (1988). The hearing-impaired subjects were all educated in a regular school system. All 24 subjects who took part in the investigation successfully completed the association and identification tasks (described in the Procedure section).

---

Insert Table 1 about here

---

### Material and equipment

The verbal stimuli consisted of two syllables : /ba/ and /da/. They were produced by a male voice and recorded onto an audio cassette using a Sony Stereo ECM-909 microphone and a Sony TCD-D3 DAT recorder. A Sony DTC-750 DAT was used to transfer the stimuli to a computer for modification. The Mitsyn software package (1993) was used to make both of the syllables a uniform duration of 250 ms. The nonverbal stimuli were created using the Mitsyn software program. They consisted of a 1-kHz pure tone and a wideband noise centered around the speech frequencies (250 Hz-8 kHz). The duration of both nonverbal stimuli was also 250 ms. The rise and the fall time of all four stimuli was 2.2 ms. The verbal and nonverbal stimuli were stored in a MacIntosh PowerBook 145 using the

SoundEdit Pro (1992) software program. The PsychLab (1992) software program was used to control the ISI when the stimuli were presented in sequences.

The two categories of stimuli were chosen to help differentiate between the mnemonic and the perceptual aspects of the auditory sequential organization tasks. A pure tone and a wide band noise were chosen to make the tasks easier for the children with a hearing loss. These stimuli were used to investigate short-term memory ability. Furthermore, as mentioned by Fitzgibbons and Gordon-Salant (1996), the use of nonverbal stimuli can provide helpful information about the perception of temporal order without the contribution of language processing. With regard to the verbal stimuli /ba/ and /da/, their acoustic similarity, and especially the rapid formant transition between the consonant and the vowel, makes it more difficult to process these stimuli, as shown among children with learning language impairments (Merzenich, Jenkins, Johnston, Schreiner, Miller, & Tallal, 1996; Tallal, et al., 1996, Tallal, & Piercy, 1973a, 1973b, 1974, 1975). The verbal stimuli were chosen to investigate the perceptual aspect of the tasks.

### Procedure

Each subject participated in two sessions. During the first session, they completed the Coloured Progressive Matrices test (Raven, 1956). This test was used to evaluate nonverbal reasoning capability. The children also completed an auditory detection threshold test (if these measures were not already available) and a test of laterality (De Agostini & Dellatolas, 1988). The subjects were then asked to complete a "stimulus-button" association

test. For this task, the subjects were seated at a table facing a box that was equipped with two identical buttons. The experimenter demonstrated to the subjects which of the two buttons to press in response to each of the syllables. When the subjects were able to perform this task, they progressed to the identification test. This task was identical to the association test, except that subjects were now required to press the correct button following each stimulus presented in a random order. No feedback was provided to the subjects. To successfully complete the identification task, the subjects had to correctly identify 18 out of 20 syllables. The two tests were then repeated with the nonverbal stimuli. Two subjects with a hearing impairment recruited for the investigation failed the identification test. They did not participate further in the experiment.

For the auditory sequential organization test, the subjects completed the three following tasks with both verbal and nonverbal stimuli : 1) reproduction, in order, of sequences of two elements with ISI durations of 30, 150 and 425 ms; 2) reproduction, in order, of sequences of three, five and seven elements with constant ISI of 425 ms; 3) a measure of auditory memory span. For the two first tasks combined, the subjects completed 12 blocks of 10 different sequences. In each block, the number of stimuli presented in a sequence remained constant. Blocks and sequences were presented in a random order (see Appendix A). For the third task, the stimuli were presented in sequences of four, six or eight elements. The measure of auditory memory span was based on the responses obtained from the subjects for the first two tasks and the third task. Auditory memory span was defined as the sequence with the greatest number of

elements for which a subject was able to obtain a performance level of 50% correct or better.

During the second session, the subjects repeated the identification test with the verbal stimuli to ensure they were still able to perform the task. Then, they repeated the auditory sequential organization test with the verbal and the nonverbal stimuli. In some instances, a subject completed a third block of trials. This was done whenever there was a difference in performance that exceeded 20% between the results obtained during the first and second session, for a given experimental condition. For example, if for sequences of three nonverbal stimuli, a subject's level of performance between the first and the second session exceeded 20%, the subject completed a third block of trials that consisted of three nonverbal stimuli. Seven children with normal hearing and 11 children with a hearing impairment were required to perform a third block of trials for at least one experimental condition. It should be noted that a preliminary investigation conducted with four children with a hearing loss (who did not participate to the present study) revealed that there was no indication of a learning effect over a period of ten test sessions. Moreover, in the present investigation, the statistical analysis (t test) did not indicate a significant difference between the data obtained during the first session and those collected during the second session [ $t(287) = -1.476, p > .05$ ].

The stimuli were delivered by a Macintosh PowerBook 145. The output of the computer was connected to an audiometer (Madsen Orbiter 922). The audiometer controlled the level at which the stimuli were presented to the right ear of the subject via a TDH-49P earphone. For each

child with a hearing impairment, the stimuli were presented at a level judged comfortable by the subject. At the level selected, each subject was able to obtain at least 90% correct on the identification test. The test level varied between 70 dB HL and 105 dB HL (mean of 92.9 dB HL) for the subjects with a hearing impairment (see Table 1). For the normal-hearing subjects the test level was fixed at 55 dB HL.

### Results

The results obtained on the Coloured Progressive Matrices revealed that there was no significant difference between normal-hearing subjects and those with a hearing impairment [ $t(22) = 1.653, p > .05$ ]. The mean scores for the group of subjects with normal hearing and those with a hearing impairment were 26.5/36 and 23.7/36, respectively. Both means reached the 70th percentile according to the norms (Raven, 1956). The results suggest that subjects in both groups had similar nonverbal reasoning abilities.

For each experimental condition, a subject's performance was determined by calculating the mean number of correct responses obtained during the first and the second sessions. For subjects who completed three blocks of trials, performance was determined by calculating the mean number of correct responses for the two of the three blocks of trials that yielded the most similar level of performance. An alpha level of .05 was adopted as the significance level for main effects and interactions for all following analyses.

### Number of elements in sequence

The number of verbal and nonverbal sequences of two, three, five and seven elements correctly reproduced by subjects with normal hearing and subjects with a hearing impairment are displayed in Figure 1. The ISI duration was 425 ms.

---

Insert Figure 1 about here

---

A three-way ANOVA (Group X Type of stimuli X Number of elements per sequence), with repeated measures for type and number, was performed. The results revealed significant effects for all three main factors: group [ $F(1, 22) = 6.24, p < .05$ ], type [ $F(1, 22) = 30.62, p < .0001$ ] and number [ $F(3, 66) = 378.66, p < .0001$ ]. The only significant 2-way interaction was for Group X Type [ $F(1, 22) = 15.93, p < .001$ ]. The two other 2-way interactions: Group X Number [ $F(3, 66) = 2.79, p > .05$ ] and Type X Number [ $F(3, 66) = .84, p > .05$ ] were not significant. In addition, the 3-way interaction of Group X Type X Number was significant [ $F(2.12, 46.62) = 4.77, p < .01$ ]. Additional analyses were performed to explain the nature of the 3-way interaction. Analyses of simple effects revealed that there was a significant difference in the results obtained by the two groups for the sequences of two [ $F(1, 22) = 17.99, p < .001$ ], three [ $F(1, 22) = 15.87, p < .001$ ] and five [ $F(1, 22) = 6.25, p < .05$ ] verbal elements. No significant difference was measured for the blocks of trials consisting of seven verbal elements [ $F(1, 22) = 1, p > .05$ ]. Also, no significant differences were observed for any

of the nonverbal sequences (two elements [ $F(1, 22) = .03, p > .05$ ]; three elements [ $F(1, 22) = .82, p > .05$ ]; five elements [ $F(1, 22) = .29, p > .05$ ]; seven elements [ $F(1, 22) = 1.2, p > .05$ ]). These results suggest that the subjects with a hearing loss were able to reproduce the nonverbal sequences better than the verbal sequences.

#### Duration of the inter-stimuli interval (ISI)

The results obtained for blocks of trials consisting of 2 nonverbal and 2 verbal stimuli are displayed as a function of ISI duration in Figure 2. Data are shown for the group of subjects with normal hearing and for the group of subjects with a hearing impairment.

---

Insert Figure 2 about here

---

A three-way ANOVA (Group X Type of stimuli X ISI Duration), with repeated measures for type and duration, was performed. The results revealed significant effects for two out of the three main factors: group (subjects with normal hearing vs. subjects with a hearing impairment) [ $F(1,22) = 9.66, p < .01$ ] and type of stimuli (verbal vs. nonverbal) [ $F(1,22) = 10.04, p < .01$ ]. There was no significant effect of ISI duration (30, 150, 425 ms) [ $F(2, 44) = .10, p > .05$ ]. There was a significant Group X Type [ $F(1, 22) = 10.38, p < .01$ ] interaction. Analyses of simple effects revealed a significant difference between the two groups of subjects for the verbal sequences (30 ms [ $F(1, 22) = 7.63, p < .01$ ]; 150 ms [ $F(1, 22) = 8.67, p < .01$ ]; 425 ms [ $F(1, 22)$ ])

= 17.99,  $p < .001$ ], but not for the nonverbal sequences (30 ms [ $F(1, 22) = 3.09, p > .05$ ]; 150 ms [ $F(1, 22) = 0, p > .05$ ]; 425 ms [ $F(1, 22) = .11, p > .05$ ]). The Group X ISI duration interaction ( $[F(2, 44) = .75, p > .05]$ ), Type X ISI duration interaction ( $[F(2, 44) = .11, p > .05]$ ) and Group X Type X ISI duration interaction [ $F(2, 44) = .26, p > .05$ ] were not significant.

In sum, the data indicate that, regardless of the ISI duration, the subjects with a hearing loss had more difficulty correctly reproducing verbal sequences than did the normal-hearing subjects. Also, these results suggest that the subjects with a hearing loss performed significantly better when the task consisted of nonverbal sequences than when it consisted of verbal sequences. For the normal-hearing subjects, there were no differences in the results between the blocks of trials consisting of nonverbal and verbal stimuli. For this group of subjects no firm conclusions can be drawn since the data show a ceiling effect in performances for both types of stimuli.

#### Auditory memory span

The mean auditory memory span measured with the verbal and the nonverbal sequences are displayed in Figure 3. Data are shown for the subjects with normal hearing and those with a hearing loss.

---

Insert Figure 3 about here

---

A two-way ANOVA (Group X Type of stimuli) with repeated measures for type was performed. The results indicated a significant effect for the type of stimuli [ $F(1, 22) = 10.47, p < .01$ ]. The effect of the main factor group [ $F(1, 22) = 2.89, p > .05$ ] and the interaction of Group X Type were not significant [ $F(1, 22) = 3.42, p > .05$ ].

### Discussion

In the present study, the results showed that with two, three and five verbal elements (/ba/, /da/) presented in sequence, the subjects with a hearing loss obtained significantly poorer results than their peers in the control group. However, there was not a significant difference between the two groups when the task consisted of reproducing sequences comprised of seven verbal stimuli. This is likely due to a floor effect in the performances observed among both groups of subjects. Also, there was no significant difference between groups for stimuli comprised of nonverbal sequences (1-kHz pure tone and wide band noise). These results suggest that the subjects with a hearing impairment had no specific problem with their short-term memory ability. For the sequences that were comprised of verbal elements, the results show that the subjects with a hearing loss have reduced auditory sequential organization abilities in comparison with the normal-hearing subjects. To a certain extent, the present findings are consistent with those reported in previous investigations (Anooshian & Bryan, 1979; Ling, 1975; Stark, 1967; Furth & Pufall, 1966; Sterritt, Camp & Lipman, 1966; Stoker, 1980).

Unlike previous investigations, in the present study the differences between the two groups were observed only for the verbal sequences. A

possible explanation could be related to the fact that the syllables used for the experiment were more acoustically similar than the nonverbal stimuli. This aspect of the experimental design could have influenced the results. It is more difficult to recall the order of speech sounds with acoustic likeness than it is to recall the order of stimuli bearing little or no acoustic resemblance to each other (Conrad, 1964). This phenomenon is known as the phonological similarity effect. This effect may have a much greater impact on auditory memory span than the number of elements to recall per se (Baddeley, 1986). If the phonological similarity effect does apply to the results of the present investigation, why was the effect greater for the subjects with a hearing loss than those with normal hearing? It is possible that, for the subjects with a hearing impairment, the phonetic trace could be more susceptible to interference, especially for stimuli sharing similar acoustic cues. It could be of interest to investigate if similar results would be obtained with nonverbal stimuli that have complex and similar acoustic features. These findings could provide some insights into the perceptual difficulties observed among subjects with a hearing loss.

Another explanation could be related to auditory processing disorders. For the recognition of stop consonants (/b/ and /d/ in the present investigation), the auditory system has to quickly process the formant transition from the consonant to the vowel since the duration of the transition is only 20 to 50 ms (Wright, 1987). All the subjects with a hearing impairment who took part in the investigation met the preestablished criteria on the syllable identification test (the mean score for this group was 19.3/20). In this task, only one stimulus was presented in each trial. Thus, the subjects with a hearing loss had as much time as

they required to process the stimulus. However, in the auditory sequencing tasks, the time allowed to process a stimulus was constrained by the duration of the ISI. The presentation of several elements in quick succession could have "overloaded" their auditory processing system. As mentioned by Fazio (1996), temporal information can easily be lost when the auditory system is stressed, especially by phonological processing. Further research could be conducted to explore this hypothesis. For example, the effect of lengthening the ISI duration beyond 425 ms on auditory sequencing performances could be examined. It is possible that a longer ISI duration would have given the children with a hearing impairment sufficient time to identify syllable sequences. It should be noted that, in the present investigation, reducing the ISI duration from 425 to 30 ms did not result in a significant main effect for this factor. However, the results did show a significant Group X Type interaction effect, indicating that the subjects with a hearing loss performed more poorly than the normal-hearing subjects when the sequences consisted of two verbal stimuli. This finding supports the hypothesis that the poorer performances of these children are attributable more to difficulties in perceptual processing than to memory-related problems.

The results also suggest that the subjects with a hearing loss were better at reproducing nonverbal sequences than verbal sequences. In general, the normal-hearing subjects did not perform differently on the tasks that required the reproduction of nonverbal and verbal sequences. For some experimental conditions, a failure to demonstrate a significant difference between those two experimental conditions could be due to a ceiling effect in performance displayed by the normal-hearing subjects.

This is especially the case for the tasks that consisted of two elements. However, in the present investigation, there were no ceiling effects when the sequences were comprised of three or five elements. In these conditions, the normal-hearing subjects did not display a significant difference between the verbal and the nonverbal sequencing tasks.

For the subjects with a hearing impairment, the differences in performance observed between the verbal and the nonverbal signals could also be related to the nature of the stimuli. However, this possibility is less plausible if one refers to Ling's (1975) study. Ling used two different types of "consonant-vowel" verbal stimuli: the same consonant /p/ with 5 different vowels /i, ε, a, o, u/ (vowel sequences); and 5 consonants /l, t, m, g, ʃ/ with the same vowel /a/ (consonant sequences). The nonverbal signals were environmental sounds (dog, gun, sheep, bell, horn). The subjects with a hearing loss demonstrated better performances for the vowel sequences than for the nonverbal sequences. They also obtained better results for the nonverbal sequences than for the consonant sequences. These results indicate that performance was best with the vowel sequences. It is possible that the vowel sequences required less extensive auditory processing than the consonant sequences. This could be explained by the fact that although both are verbal stimuli, the frequency spectrum of vowels varies less as a function of time than that of consonants. Thus, the vowel sequences were processed more easily.

For the nonverbal sequencing tasks, there exists a disparity between the results of the present study and those of the previous investigations. Anooshian and Bryan (1979), Ling (1975), Stark (1967), Furth and Pufall

(1966), Sterritt, Camp and Lipman (1966), and Stoker (1980) reported significant differences between the performances of subjects with normal hearing and those with a hearing impairment for the reproduction of acoustic nonverbal sequences. The results of the present study failed to reveal this difference. As mentioned earlier, some investigators (Anooshian & Bryan, 1979; Furth & Pufall, 1966) did not report whether their subjects were able to distinctly identify each of the stimuli used in their experiments. For those investigations, one cannot exclude the possibility that the poorer performances observed for the subjects with a hearing loss was the result of an identification problem caused by peripheral hearing loss.

### Conclusion

The results of the present study indicate that children with a hearing impairment performed more poorly than their normal hearing peers on tasks that require the reproduction, in order, of sequences of verbal stimuli (/ba/, /da/). In all instances, they performed similarly to the normal-hearing subjects when the sequences consisted of nonverbal stimuli (1-kHz pure tone, wide band noise). The reduced auditory sequential organization performances observed among the subjects with a hearing impairment cannot be attributed solely to a deficient functioning of the peripheral auditory system since those subjects were able to identify all of the stimuli when they were presented separately. Furthermore, the results demonstrate that the subjects with a hearing loss performed as well as the control subjects on recall of the nonverbal sequences. However, with the verbal stimuli, which require more complex auditory processing abilities, the subjects with a hearing loss had more difficulty. This finding

was observed even when the task involved sequences of only two elements. These results suggest that the reduced auditory sequential organization ability of the subjects with a hearing impairment is more closely related to an auditory processing disorder than to a memory problem per se.

Moreover, the results revealed that shortening the ISI duration from 425 to 30 ms did not have a significant effect on the recall of the verbal and the nonverbal sequences. Further research is required to explore the influence of the complexity and the nature of the signals on auditory recall. Studies of this nature could help explain the differences observed between the two types of stimuli used in the present study. It is important to investigate whether the difficulties with the verbal stimuli experienced by the subjects with a hearing impairment stem from a general problem with linguistic material or from a more specific difficulty with stop consonants. It would be interesting to examine the performance of subjects with a hearing impairment on sequential organization tasks using pairs of complex nonverbal stimuli that were more acoustically similar. Results from these types of experiments would provide information on the effect of signal complexity on the processing of auditory sequences.

Finally, it would be of interest to examine if differences in auditory sequential organization tasks are also observed between older normal-hearing children and children with a hearing impairment. It is known that for children with normal hearing some auditory abilities (temporal integration and temporal resolution) improve as a function of age (Grose,

Hall & Gibbs, 1993, Maxon & Hochberg, 1982). Perhaps, older children with a hearing impairment would perform significantly better than their younger peers. Moreover, these studies may reveal the existence of a catching-up phenomenon as a function of age among children with a hearing impairment.

## References

Albert, M. (1972). Auditory sequencing and left cerebral dominance for language. *Neuropsychologia*, 10, 245-248.

Anooshian, L.J., & Bryan, J.M. Jr (1979). The effects of early deprivation on temporal perceptions : A comparison of hearing and hearing-impaired children on temporal pattern matching tasks. *Journal of Speech and Hearing Research*, 22, 717-730.

Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. New York : Clarendon Press.

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.

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.

Conrad, R. (1964). Acoustic confusion in immediate memory. *British Journal of Psychology*, 55, 75-84.

De Agostini M., & Dellatolas G. (1988). Une épreuve simple pour évaluer la préférence manuelle chez l'enfant à partir de 3 ans. *Enfance*, 41, 139-147.

Efron, R. (1963). Temporal perception, aphasia and déjà vu. *Brain*, 89, 403-424.

Fazio, B.B. (1996). Serial memory in children with specific language impairment: Examining specific content areas for assessment and intervention. *Topics in Language Disorders*, 17, 58-71.

Fitzgibbons, P.J., & Gordon-Salant, S. (1996). Auditory temporal processing in elderly listeners. *Journal of the American Academy of Audiology*, 7, 183-189.

Furth, H.G., & Pufall, P.B. (1966). Visual and auditory sequence learning in hearing-impaired children. *Journal of Speech and Hearing Research*, 9, 434-440.

Grose, J.H., & Hall, J.W. (1996). Perceptual organization of sequential stimuli in listeners with cochlear hearing loss. *Journal of Speech and Hearing Research*, 39, 1149-1158.

Grose, J.H., Hall, J.W., & Gibbs (1993). Temporal analysis in children. *Journal of Speech and Hearing Research*, 36, 351-356.

Jones, D (1993). Objects, streams and threads of auditory attention. In A. Baddeley, & L. Weiskrantz, *Attention: Selection, awareness, and control*.

*A tribute to Donald Broadbent (87-104)*. New York: Oxford University Press Inc.

Ling, A.H. (1975). Memory for verbal and nonverbal auditory sequences in hearing-impaired and normal-hearing children. *Journal of the American Audiology Society*, 1, 37-45.

Maxon, A.B. , & Hochberg, I. (1982). Development of psychoacoustic behavior: Sensitivity and discrimination. *Ear and Hearing*, 3, 301-308.

Merzenich, M.M., Jenkins, W.M., Johnston, P., Schreiner, C., Miller, S.L, & Tallal, P. (1996). Temporal processing deficits of language-learning impaired children ameliorated by training. *Science*, 271, 77-81.

Mitsyn (1993). Software program. Microsoft Windows 3.1. DigiVox, Montréal, Québec.

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 Medecine*, 161, 183-202.

Pinheiro, M L, & Musiek, F. E. (1985). Sequencing and temporal ordering in the auditory system. Dans F. E. Musiek, & M. L. Pinheiro (Eds.), *Assessment of central auditory dysfunction : Foundations and clinical correlates* (pp. 219-238). Los Angeles : Williams et Wilkins.

PsychLab (1992). Version 1. Teren Gum, Montréal, Québec, Canada.

Raven, J.C. (1956). *Colored Progressive Matrices*. London : H. K. Lewis & Co. Ltd.

Rose, M.M., & Moore, B.C.J. (1997). Perceptual grouping of tone sequences by normally hearing and hearing-impaired listeners. *Journal of the Acoustical Society of America*, 102, 1768-1778.

Rowe E.J., & Cake, L.J. (1977). Retention of order information for sounds and words. *Canadian Journal of Psychology*, 31, 14-23.

SoundEdit Pro (1992). Version 1.0. Macromedia Canada Inc., Pointe Claire, Québec.

Stark, J. (1967). A comparison of the performance of aphasic children on three sequencing tests. *Journal of Communication Disorders*, 1, 31-34.

Sterrit, G.M., Camp, B.W., & Lipman, B.S. (1966). Effects of early deprivation upon auditory and visual information processing. *Perceptual and Motor Skills*, 23, 123-130.

Stoker, R.G. (1980). *Temporal pattern recognition and speech perception by the hearing impaired*. Unpublished thesis, McGill University , Montréal.

Tallal, P., Miller, S.L., Bedi, G., Byma, G., Wang, X., Nagarajan, S.S., Schreiner, C., Jenkins, W.M., & Merzenich, M.M. (1996). Language comprehension in language-learning impaired children improved with acoustically modified speech. *Science*, 271, 81-84.

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

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. (1973a). Developmental aphasia : Impaired nonverbal processing as a function of sensory modality. *Neuropsychologia*, 11, 389-398.

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

Warren, R.W. (1994). La perception des séquences acoustiques : intégration globale ou résolution temporelle ? In S. McAdams, & E. Bigand (Eds.), *Penser les sons : Psychologie cognitive de l'audition* (41-73). Paris : Presses Universitaires de France.

Warren, R.W., & Gardner, D.A. (1995). Aphasics can distinguish permuted orders of phonemes-but only if presented rapidly. *Journal of Speech and Hearing Research*, 38, 473-476.

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

## Appendix A

PsychLab software (1992) was conceived to set the order in which sequences are presented within a block of trials. However, this software program does not make it possible to present the trials in a random order. Thus, the following procedure was developed to generate blocks of ten trials:

For the blocks of trials that consisted of two elements, the four possible sequences ( $2^2$ ) were presented twice in a random order. The remaining two trials were drawn randomly from the four possible sequences.

For the blocks of trials that consisted of three elements, the eight possible sequences ( $2^3$ ) were presented once in a random order. The remaining two trials were drawn randomly from the eight possible sequences.

For the blocks of trials that consisted of four elements, the 16 possible sequences ( $2^4$ ) were divided into two blocks of eight sequences in a random order. Then for each block, the remaining two trials were drawn randomly from the 16 possible sequences.

For each of the blocks that consisted of sequences of five elements ( $2^5$ ; 32 possible sequences), six elements ( $2^6$ ; 64 possible sequences), seven elements ( $2^7$ ; 128 possible sequences), eight elements ( $2^8$ ; 256 possible sequences) and nine elements ( $2^9$ ; 512 possible sequences), six blocks of ten sequences were made by selecting the respective elements in a random order. Before each test session, one of the six blocks of trials was selected randomly.

## Acknowledgments

This study was supported in part by the "Réseau de recherche en réadaptation de Montréal et de l'Ouest du Québec" (RRRMOQ). The authors are grateful to the children and their parents who took part in the project, and to the audiologists and friends who participated in the recruitment of the subjects. We wish to express our appreciation to Hugues Baril, Monique Charest, Daniel Chrétien, Francine Giroux and Yves Lafortune for their assistance in the execution of various phases of the research project. Finally, we thank the two anonymous reviewers for their invaluable comments and suggestions.

## Note

Contact author: Benoît Jutras, École d'orthophonie et d'audiologie,  
Université de Montréal, C.P. 6128, succursale Centre ville, Montréal  
(Québec), Canada, H3C 3J7. E-mail: jutrasb@ere.umontreal.ca

Table 1. Subjects with a hearing impairment: age at the first test session; age when the subject started to use hearing aids (H/A); gender; cause of the hearing loss; hearing loss measured at 250 to 8 000 Hz no longer than 1 year prior to their participation in the investigation (NT = non tested); and level at which the stimuli were presented (dB HL).

Table 1

Subject	Age	H/A	Gender	Cause	Hearing threshold (dB HL)						Level
					250	500	1000	2000	4000	8000	
1	6:01	4:03	m	Unknown	35	45	55	60	35	NT	80
2	7:07	4:03	f	Unknown	55	70	80	75	80	95	85
3	7:03	5:03	f	Hereditary	35	35	40	65	55	65	80
4	6:01	3:01	f	Unknown	20	30	35	35	30	NT	70
5	6:02	1:05	m	Meningitis	25	35	75	80	80	80	85
6	6:01	2:07	m	Unknown <sup>a</sup>	35	50	65	70	70	NT	80
7	7:00	4:03	m	Hereditary	75	80	85	85	70	65	105
8	7:08	3:01	m	Unknown	35	45	45	50	55	55	80
9	6:10	4:02	m	Guil.-Barré S.	70	90	85	85	75	75	95
10	7:05	2:06	f	Unknown	10	15	65	105	110	>100	85
11	6:04	2:10	f	Unknown	15	25	60	60	55	45	85
12	6:00	3:03	f	Unknown <sup>a</sup>	35	45	60	80	60	NT	90

<sup>a</sup> These subjects were born before 31 weeks of gestation.

## Figures caption

Figure 1. Mean number and standard deviation (bars) of sequences correctly reproduced as a function of the number of elements per sequence for the 12 subjects with normal hearing (NH) and the 12 subjects with a hearing loss (HL). The maximum number of sequences that could be correctly reproduced was 10. Data are shown for nonverbal (NV) and verbal (V) stimuli. All subjects were 6 and 7 years old.

Figure 2. Mean number and standard deviation (bars) of sequences correctly reproduced as a function of the ISI for the 12 subjects with normal hearing (NH) and the 12 subjects with a hearing loss (HL). The maximum number of sequences that could be correctly reproduced was 10. Data are shown for nonverbal (NV) and verbal (V) stimuli. All subjects were 6 and 7 years old.

Figure 3. Mean auditory memory span score and standard deviation (bars) as a function of type of acoustic stimuli for the 12 subjects with normal hearing (NH) and the 12 subjects with a hearing loss (HL). Auditory memory span was defined as the sequence with the greatest number of elements for which 50% performance was measured. Data are shown for nonverbal (NV) and verbal (V) stimuli. All subjects were 6 and 7 years old.

Figure 1

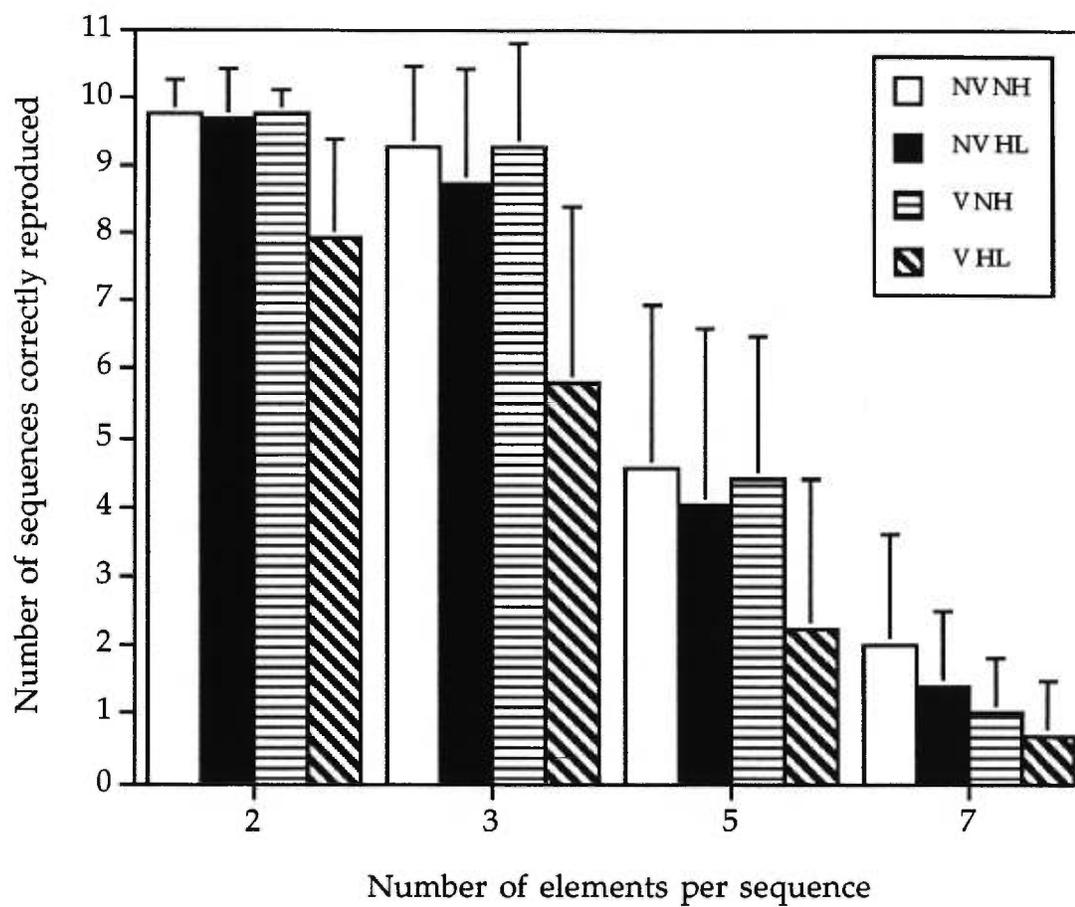


Figure 2

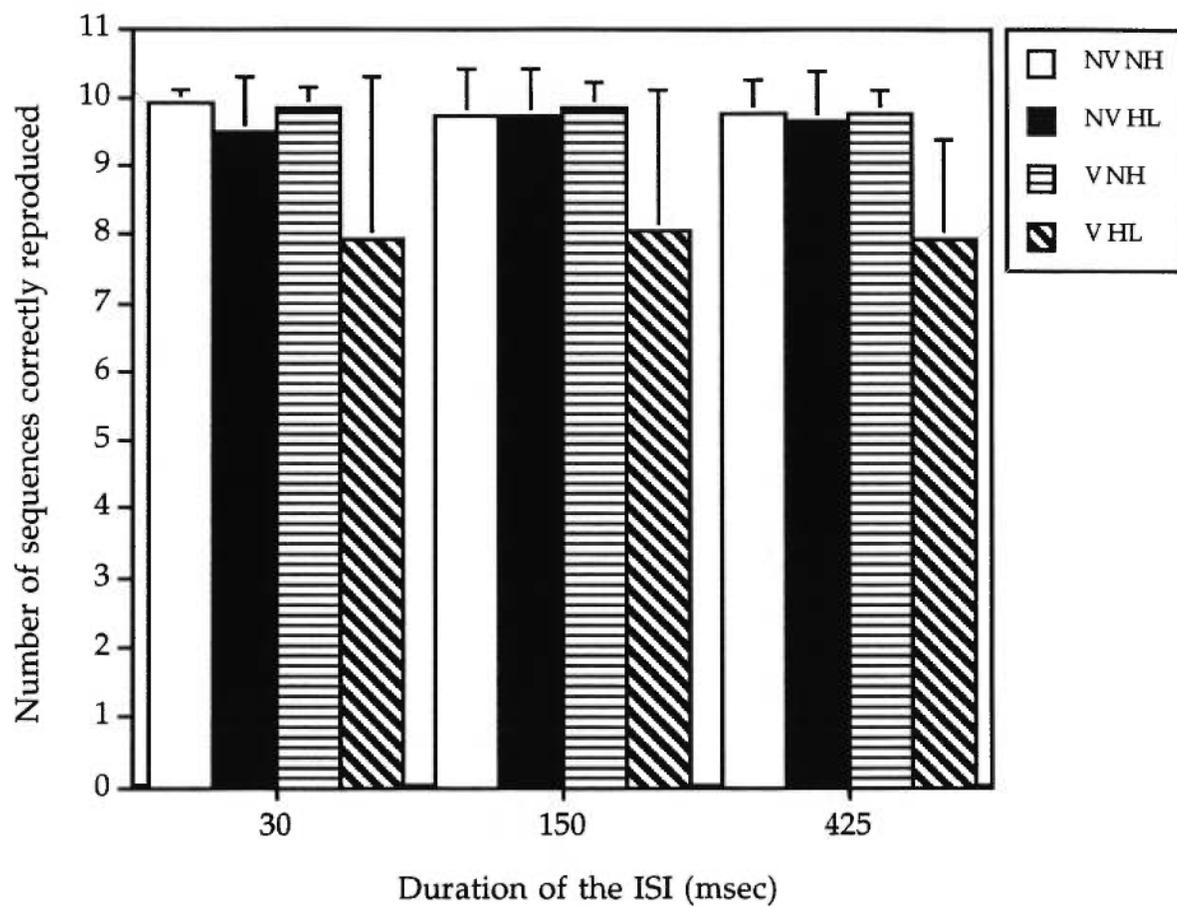
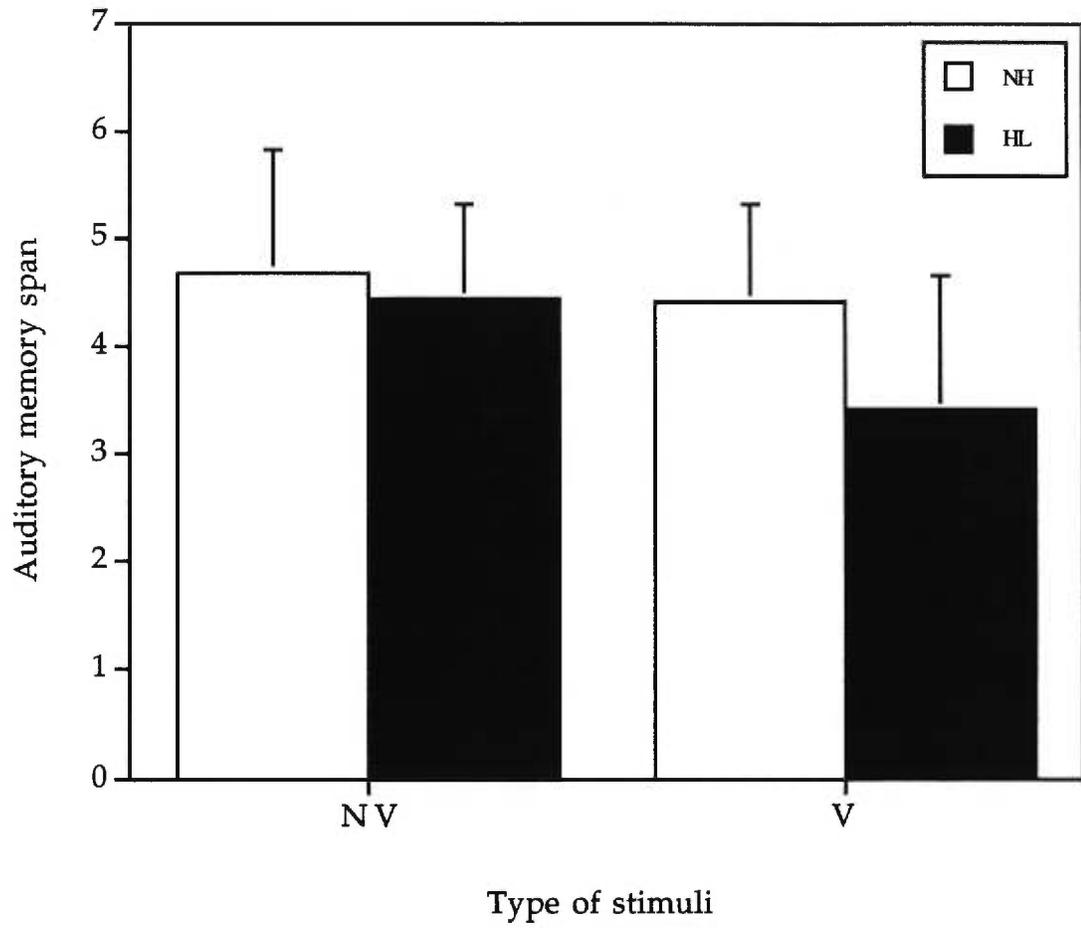


Figure 3



**Appendice B**

---

**Commentaires des évaluateurs  
pour l'article A**



AMERICAN  
SPEECH-LANGUAGE-  
HEARING  
ASSOCIATION

ASSOCIATE EDITOR - HEARING  
JOURNAL OF SPEECH AND HEARING RESEARCH

xxxix

SID P. BACON, PH.D.

DEPARTMENT OF SPEECH AND HEARING SCIENCES

ARIZONA STATE UNIVERSITY

- P.O. BOX 871908

TEMPE, AZ 85287-1908

PHONE: (602) 965-8227

FAX: (602) 965-0965

E-MAIL: SPB@ASU.EDU

Benoît Jutras  
Ecole d'orthophonie et d'audiologie  
Université de Montréal  
C.P. 6128, succursale Centre-ville  
Montréal Québec  
H3C 3J7

21 April 1998

RE: MS# 98JH0011  
Title: *Auditory Sequential Organization ... Part I: Evaluation*

Dear Ms. Jutras:

Your manuscript, cited above, has been evaluated by two reviewers; their comments are enclosed. As you can see, the reviewers have raised several important and substantive issues with regard to your manuscript. I agree with their comments. Indeed, I think these are particularly thoughtful and thorough reviews, and I hope that you will use them to guide a *substantial* revision of your manuscript. I have also enclosed some of my own comments for you to consider. Finally, I have enclosed revision notes from the Editorial Assistant. These notes indicate the changes that will be necessary in order for your manuscript to conform to APA style.

Please return three copies of the revised manuscript to me within 60 days of your receipt of this letter. This will insure that your paper will continue to be processed under the original date of receipt and number. I am also requesting that a detailed cover letter accompany the revision. This letter should specify which changes were made and where in the revised manuscript. If you have not followed suggestions made by me or one or more of the reviewers, you should provide a rationale for your decision.

Thank you for submitting your work to JSLHR; I look forward to receiving your revised manuscript.

Sincerely yours,

[REDACTED]  
Sid P. Bacon, Ph.D.  
Associate Editor  
Journal of Speech, Language, and Hearing Research

copy: Sandra Gordon-Salant, Ph.D.  
Editor for Hearing, JSLHR

Enclosures: reviewers' comments, associate editor's comments, revision notes

Associate Editor's comments:

**General comments:**

Many of my concerns were already noted by the reviewers. I will re-iterate only some of those in order to reduce the redundancy across reviews.

- 1) I wish to underscore reviewer A's comments regarding the first two sections (duration and minimal ISI) of the Introduction; these should be omitted, and the first paragraph should be modified to more appropriately lead into the review of the perception of temporal order.
- 2) As noted by reviewer B, the choice of stimuli – in particular, having two very different nonverbal stimuli and fairly similar verbal stimuli -- “undermines the verbal/nonverbal” comparison. Indeed, it is *not possible* to make general claims regarding the processing of verbal versus nonverbal stimuli from the present data. This is a serious problem that cannot be salvaged by simply revising your manuscript; you would need to collect additional data. However, I do not believe that you must collect the data in order for me to recommend publication, given the clear and interesting finding that the hearing-impaired subjects performed worse than the normal-hearing subjects on the verbal task. (Note, however, that such data would certainly strengthen your manuscript, and I think you would be happier with your contribution to the literature if your manuscript included such data.) In your revision, you should acknowledge this problem up front in the Discussion (if not earlier), and then avoid making any general claims about verbal versus nonverbal processing. In this regard, it is not even possible to claim that it is the verbal nature of the “verbal” stimuli that causes the hearing-impaired subjects to perform worse than the normal-hearing subjects. They may have had just as much trouble had the nonverbal stimuli been a 1.0- and 1.1-kHz tone. These kinds of issues should be addressed in your revision.
- 3a) I think the Introduction would be clearer without the hypotheses, at least as stated [#1 is no longer relevant; #2 and #3 are unclear (not only see comments by reviewer A, but it is unclear why one might hypothesize a difference in memory span when, on p 6, you state “...no known studies that specifically measure auditory memory span...”); and it was very difficult to see how you derived #4 based on your written review of Ling (1975)]. I suggest that you finish your Introduction by summarizing a) what important comparisons are missing in the literature, b) why are they important, and c) what you plan to do.
- 3b) The Discussion section would necessarily change as a result of changing the introduction.
- 4) Make clear whenever comparisons are affected by a floor or ceiling effect. Although these effects are mentioned in the Discussion, they are not mentioned in the results section where the results are first described.
- 5) I am concerned that some differences in Figure 1 between verbal and nonverbal stimuli for the hearing-impaired subjects might be due to differences in identification performance. If the nonverbal stimuli were identified with 100% accuracy and the nonverbal with only 90% accuracy, then perhaps some of the differences in recall could reflect that difference. Your revision should address this.
- 6) Finally, in light of suggestions 1-3b, it will be important to shorten the manuscript considerably, restricting the review and discussion to the issues that your manuscript can truly address.

**Specific comments:**

- p 1: indicate floor and ceiling problems
- p 5, line 1: "partial acoustic patterns" is unclear
- p 5, line 8: "consistent"; also, "Rowe and Cake" (use "&" only in parentheses – this occurs throughout, with various citations)
- p 6, line 8: omit first "had"
- p 6, line 16: suggest "may experience"
- p 10, line 7: "reproduction, in order, ... seven elements with constant"
- p 11, line 3: "The stimuli were delivered to a TDH-49P earphone by a ... The audiometer controlled the level .. were presented."
- p 11, line 11: "Table 1); test level was 55 dB ..."
- p 11, mid: 23.7 (one decimal place accuracy is sufficient)
- p 11, bottom: delete "(i.e., the smallest deviation)".
- p 12, bottom, and elsewhere: indicate nonsignificant F values
- p 13, line 8: omit hyphen before "sequences"
- p 13, line 10: omit hyphen before "impairment"
- p 14, line 6: need ")" after the last "]"
- p 16, line 6: omit "as"
- p 16, line 11: "Further"
- p 16, l 13: change "over" to "beyond"
- p 17, mid: change "regards" to "regard" ... twice
- p 17, l 17: omit "the"
- p 19, line 1: do you mean "differences in recall"?
- p 19, line 5: change "variable" to "different"
- p 19, 6th line from bottom: change "with" to "when"
- Figures: I disagree with reviewer B's suggestion to omit the error bars. I think they should be there, but please indicate what error they are referring to (s.d., s.e., etc.). Also, for Figures 1 and 2, it would be useful if the captions indicated that the maximum number that could be reproduced was 10.
- Table: I'm unsure how 30 (or 31) weeks G.A. indicates a "cause" of loss. Also, in the caption, omit hyphen between "1" and "year"; insert "to" after "prior"; and insert a semicolon after "tested".
- p 31: Acknowledgments; also, on line 2, change the first "to" to "in"; change the semicolon after "project" to a comma; insert "and" after "project"; and change "for" to "with"

## MS# 98JH0011 'Auditory Sequential Organization Among Children With and Without a Hearing Loss'

This study compared the ability of 6-year-old children with and without hearing impairment to correctly reproduce sequences of sounds which varied in number, temporal spacing, and type. The main result was that children with hearing loss performed more poorly than normal when the stimuli were speech sounds.

**1) Adequacy of rationale**

The rationale is difficult to grasp immediately because the introduction begins by reviewing the coding of two temporal features (stimulus duration & detectability of gaps) which, as it turns out, have little to do with the present study. The Introduction would be tighter, and the purpose of the study more clear, if the authors went straight into the section on temporal order effects.

**2) Accuracy and scope of literature review**

The literature review is weak for several reasons, including omission of key references and use of dated or inappropriate citations. The weaknesses are highlighted as follows:

"INTRODUCTION" (P2) - The Introduction presents this paper as being a study of auditory sequential organization in listeners with hearing impairment. It is probably appropriate, therefore, to include references to studies specifically on sequential organization in listeners with hearing loss (e.g. Rose & Moore (1997) 'Perceptual grouping of tone sequences by normally hearing and hearing-impaired listeners, *J. Acoust. Soc. Am.* 102, 1768 -1778; Grose & Hall (1996) 'Perceptual organization of sequential stimuli in listeners with cochlear hearing loss,' *J. Speech Hear. Res.* 39, 1149-1158; Fitzgibbons & Gordon-Salant (1995) 'Age effects on duration discrimination with simple and complex stimuli,' *J. Acoust. Soc. Am.* 98, 3140-3145.)

"Duration of the acoustic stimulus" (P2) - Citation of an out-of-date edition of a textbook for temporal integration is not appropriate; an original reference or review should be included. Also, the citations for temporal integration in listeners with cochlear hearing loss do not include the important newer reference of Carlyon et al. (1990) 'Temporal integration of trains of tone pulses by normal and by cochlearly impaired listeners,' *J. Acoust. Soc. Am.* 87, 260-268.

"Perception of the minimal inter-stimuli interval (ISI)" (P3) - There have been a number of more recent articles relevant to gap detection in listeners with cochlear hearing loss (e.g. Nelson & Thomas (1997) 'Gap detection as a function of stimulus loudness for listeners with and without hearing loss,' *J. Speech Hear. Res.* 40, 1387-1394). It makes little sense to give specific thresholds ("...vary between 5 and 28 msec.") without giving the conditions under which those thresholds were obtained -- even listeners with normal hearing can show greater variations than this for different conditions. Moore's book *Perceptual Consequences of Cochlear Damage* (Oxford Med. Pubs., 1995) is a fairly current place to catch up on this area.

"Perception of temporal order and short-term memory" (P4) - I am not familiar with most of the references in this section but I notice that many of them are quite dated. Given that the citations in the two sections that I am more familiar with lacked current references, I wonder whether this general criticism carries over to this section as well.

**3) Appropriateness of research design, data analysis and interpretation of results.**

In terms of research design, the hypotheses formulated on P7 have some weaknesses. Hypothesis predicts that impaired listeners will do poorly on short ISIs because they may have difficulty detecting gaps that are less than 28 ms. However, the shortest ISI used in the experiment is 30 ms and - in any case the "detectable gap" varies with stimulus type. It is not clear to me how Hypotheses 2 and 3 differ. Hypothesis 2 predicts that the impaired listeners will have poorer performance because of "memory related aspects" and Hypothesis 3 presumes that these listeners have "shorter auditory memory spans." Isn't this saying the same thing?

**Procedures section:**

- No explanation is given of what the Colored Progressive Matrices Test quantifies.
- Did any children *not* meet the inclusion criterion of identifying 18/20 stimuli?
- Auditory memory span: As I understand it, this was not taken as the "highest performance" (P10, Line 14) but rather the sequence with the greatest number of elements for which 50% performance was measured.
- More detail should be given about the number of blocks tested. On P10/P11, we are told that a third block of trials was undertaken when there was at least a 20% difference between

the results of the first two blocks. How often did this occur and, when it did, was the direction of the difference always towards better performance? In other words, was there a marked learning effect between session 1 and session 2? This information influences how the reader interprets the fact that, when data for 3 blocks of trials were obtained for a listener, only the data from the 2 blocks yielding the most similar results were used.

#### Results section:

- Again, no indication is given as to what the Colored Progressive Matrices are measuring.
- It is evident from Table 1 that the sensation level associated with a “comfortable” presentation level varied across listeners. For example, Subject 2 apparently received the 1-kHz tone at 5 dB SL whereas Subject 4 received it at 35 dB SL. Sensitivity to temporal gaps is very dependent on level at low sensation levels so it would not be surprising if the effect of ISI was influenced by the presentation level. Was this the case?
- The maximum score that can be obtained is 10. Because much of the data shown in Figs. 1 & 2 were at or near this ceiling, it must be presumed that the data are quite skewed. In this case, is the mean the best representation of central tendency and, if so, shouldn't the data be transformed before analysis (e.g. arcsin transform)?
- The shading used in the figures (especially Fig. 1) may not distinguish between the bars when the figures are reduced. I recommend using more contrast between the bars and keeping the same shading assignments between Figs. 1 and 2.

#### Discussion section:

- P18 suggests that “It is likely that a task requiring subjects to recall sequences containing stimuli of the same class would be more difficult than...sequences of stimuli belonging to two different classes.” However, on P19 the authors are not unsettled by presenting data from Ling showing that vowel sequences (presumably ‘same class’) are better recalled than disparate environmental sounds (presumably ‘different class’).

#### 4) Organization of the manuscript.

As noted above, the sections “Duration of the acoustic stimulus” and “Perception of the minimal inter-stimuli interval (ISI)” actually have little to do with the rationale for the study. Most of the motivation is presented in the section “Perception of temporal order and short-term memory.” I suggest removing the first two sections.

#### 5) Clarity of writing:

- P1, line 11: “attributable”
- P2, line 3: “organization”
- P2, line 8: “detection threshold”
- P4, line 4 (and elsewhere): “non-verbal”
- P5, line 4: “audibility”
- P5, line 19: “(Jones, 1993).”
- P5, line 21: “With regard to”
- P5, line 24: “Other”
- P6, line 15 (and elsewhere): “mentioned”
- P7, line 1: “...organization that included subjects...”
- P7, lines 10 & 14: “hypothesis”
- P7, lines 11 & 15: “addresses”
- P7, line 19: “reasonable”
- P8, line 17: “All 24 subjects...”
- P9, line 1 (and elsewhere): “syllables”
- P9, line 7: “1-kHz”
- P9, line 14 vs P11, line 12: be consistent with “Colored”
- P11, line 1: remove repeated “the”
- P11, line 3: “The stimuli were...”
- P14, line 4: “differences were”
- P15, line 13: “reproducing”
- P16, line 8: “...may have required...”
- P16, line 12: “lengthening”

- P16, line 13: "...duration beyond 425 msec."  
P16, line 14: remove 'and'  
P16, line 22: "...why was it greater..."  
P17, line 2: "...if similar results..."  
P17, line 8: "fourth"  
P17, line 23: "these conditions"  
P18, line 16 (X2): "noises"  
P19, line 1: "...non-verbal signals observed among...hearing impairment could also..."  
P19, line 15: "processed"  
P20, line 3: "difficulty"  
P20, line 23: "Hall & Gibbs"  
P20, line 24: "Perhaps"  
P21, line 1: suggest 'an accelerated development' rather than 'a catching-up phenomenon'

I hope these comments are useful to the authors.

(B)

xlv

**Review of ms 98JH0011:  
Auditory sequential organization: Part 1**

This manuscript describes an experiment designed to compare the sequence perception & item recall (span) abilities of young children having either normal hearing or sensorineural hearing loss. Unlike previous studies in this area, the listeners in this experiment were carefully matched in age (6-7 years) and gender (half male and half female in each group). Binary sequences were employed, with the verbal items consisting of natural utterances of /ba/ and /da/, and with the nonverbal items consisting of a 1-kHz pure tone and a broadband noise. The two groups of listeners were found not to differ in sequence reproduction performance for nonverbal sequences, nor did they differ in estimated memory span (vaguely defined) for either verbal or nonverbal sequences. The groups did differ in their ability to reproduce the verbal sequences. For sequences having 2, 3 or 5 items, children with hearing loss reproduced fewer sequences than children with normal hearing. When 7-item sequences were presented, an obvious floor effect eliminated group differences. Also, when 2-item sequences were employed, varying ISI from 30 ms to 425 ms had no effect upon performance for either type of sequence for either group of listeners.

The overall rationale for the present study is reasonable. Previous experiments have failed to examine these clinical populations with rigorous control for age, and, unlike the present study, did not ensure that sequence items were identifiable in isolation. The major problem with this study -- aside from the need for a careful proofreading of the manuscript for grammatical and spelling errors -- has to do with the authors' choice of stimuli. It is too bad that they did not employ verbal and nonverbal sequences more similar to those used in previous studies, both because this would have allowed direct comparison of these and previous results, and, more importantly, because there appears to be a very serious difference in the inherent discriminability of the two types of stimuli employed in this study. Categorical perception notwithstanding, the perceptual difference between /ba/ and /da/ was bound to be less than that between a pure tone and a broadband noise! Evidence of this asymmetry can be found in the span data where both groups of listeners performed better with nonverbal sequences! Although this does not invalidate the study, it certainly undermines the verbal/nonverbal manipulation. My own inclination would be to conduct a second experiment using, as the authors suggest, either less discriminable nonverbal items, more discriminable verbal items, or both. It's just not very clear to me that this experiment tells us much more than that hearing impaired children can perform about as well with auditory sequences as children with normal hearing when the sequences are: (1) binary and (2) comprised of items as radically different as a pure tone vs. a 5-octave band of gaussian noise.

If this manuscript is to be published, a number of details need to be attended to. The items used for the verbal and nonverbal sequences should be mentioned in the abstract, given the large difference in discriminability. This will allow the readers to temper their interpretation of the sequence-type manipulation. The method section should include a description of the response (did listeners call out the sequences, write them down, or push buttons indicating items and their order). The method also should include a description of the possible sequences presented and the counterbalancing employed (i.e., were all two-item sequences equally likely, as in /da/-/ba/, /ba/-/da/, /da/-/da/, and /ba/-/ba/)?

The authors should consider revising their rationale for manipulating ISI. It was an interesting parameter to vary, and I think the results indicate clearly that 280 ms is sufficient time for verbal encoding of 2-item sequences by both groups of listeners. To go beyond this and suggest that the manipulation tests for limited temporal resolution for HL listeners and finds none is, well, not very logical, since the shortest ISI employed in this study is longer than the upper limit for temporal resolution (28 ms) cited in the introduction! It probably would be best to drop all discussion of hypothesis 1, both in the introduction and on page 15 (Actually, much of the discussion at the top of page 15 seems out of place anyway!)

It is not clear what the error bars in Figures 1-3 correspond to (e.g., standard deviations, standard errors, t confidence intervals...). In any case they probably should be omitted from all figures, since they overestimate error relative to that employed for hypothesis testing by ANOVA.

It is not very clear what measure is being employed for memory span. A clearer description is needed on page 10 and in the caption for figure 3. Also, the F value for the (nonsignificant) group effect for memory span should be included on page 14.

On page 16 the authors suggest that the inferior performance of HL listeners for verbal sequences might have been due to possible time limitations in dealing with brief consonant transitions. They further suggest that extending the ISI beyond 425 ms might result in improved performance; but, if this were the case, wouldn't we expect that shortening the ISI to 30 ms would degrade performance?

### Minutiae:

There are occasional problems with subject-verb agreement (e.g., page 2, line 8)  
 page 2, line 9: "duration" rather than "detection"  
 page 3, line 14: It is not clear to whom the cited range of values for temporal resolution apply (e.g., all normal-hearing or normal-hearing vs. hearing-impaired, or hearing-impaired alone?).  
 page 4, line 4 and elsewhere: "nonverbal" rather than "non verbal" or "non-verbal"

- page 4, line 13: "durations" rather than "duration"
- page 4: the description of Ling's (1975) study and findings could be much more coherent.
- page 4, line 23: "when the signals included consonants..." rather than "consisted of".
- page 5, line 2: "from one another" rather than "among each other."
- page 5, line 4: "audibility" rather than "auditability"
- page 5, line 6: "stimuli" rather than "stamuli"
- page 5, line 19: (Jones, 1993) followed by a period rather than a comma. Also, rewrite the following sentence as "According to these results, mnemonic processing does not necessarily differ for verbal and nonverbal sequences."
- page 5, line 24: "Other" rather than "Others"
- page 6, line 12: "measured" rather than "mesured"; also "there exist" rather than "there exist"
- page 6, line 15: above-mentioned
- page 7, line 1: replaced "reported among" with "examined."
- page 7, line 14: "hypothesis" misspelled; line 15, "addresses" misspelled; penultimate line, "mentioned" misspelled, as is "reasonable"
- page 9, line 5: "syllables" misspelled here and on the first line of the page, also syllables should be modified by "both" rather than "all" since there were only two of them.
- page 9 line 11: Is "SounEdit" spelled correctly?
- page 11, line 7; I think you mean that the level was adjusted to a comfortable level individually for each subject.
- page 11, bottom of page, your statement leaves room for throwing out a block of trials that was better than the other two, did this ever occur?
- page 13, line 18: "Additional" is misspelled
- page 14, line 11: "Data are"
- page 15, 5th line of second paragraph: "reproducing" is misspelled.
- page 15, 7th line of second paragraph: rewrites as: "Also, there was no significant difference between groups for stimuli comprised of nonverbal sequences. For the sequences...."
- page 15: The second paragraph should be revised to eliminate some of the repetition in statements of results.
- page 15, last line: "...were not observed for all of the..."
- page 16: There are lots of misspelled words here (e.g., syllabes rather than syllables; also line 8: "However, they may have required..";
- page 16: line end of first full paragraph, "to identify and sequences of syllabes." Perhaps omit "and" and change to "syllables."
- page 16: third line from bottom "it was" goes to "was it"
- page 17, line 2: similar rather than same; line 4—support is misspelled; line 8—fourth is misspelled
- page 19: I think the word "signals" on line 2 belongs between "nonverbal" and "observed" on line 1. Also on line 2-3, do you mean "...the nature of the verbal stimulus."
- page 19, bottom of first paragraph: rewrite as "Thus the vowel sequences were processed more easily."
- page 20, second line from bottom: "Perhaps" rather than "perharps"

---

**Appendice C**

**Article B**

**Auditory sequential organization among  
children with and without a hearing loss,**

**Part II: Developmental aspects**

**AUDITORY SEQUENTIAL ORGANIZATION  
AMONG CHILDREN WITH AND WITHOUT A HEARING  
LOSS**

**PART II: DEVELOPMENTAL ASPECTS**

---

Benoît Jutras  
Ph.D. student in audiology  
Université de Montréal

Jean-Pierre Gagné, Ph.D.  
École d'orthophonie et d'audiologie  
Université de Montréal

## ABSTRACT

Twelve 9- and 10- year-old children with a hearing loss and twelve 9- and 10-year-old children with normal hearing performed sequential organization tasks using verbal and nonverbal acoustic stimuli. The results did not show any significant differences in performance between the two groups of subjects for the reproduction of sequences of 5, 7 and 9 verbal or nonverbal elements. Also, no differences between the two groups were observed on an auditory memory span task when the sequences consisted of verbal stimuli. However, the comparison of the data for sequences of two elements suggested that the subjects with a hearing loss experience more difficulty than the normal-hearing subjects for the recall of verbal stimuli when the inter-stimulus interval (ISI) duration was 30, 150 or 425 ms. These results indicate that in the auditory sequential organization tasks, the poorer performances of the subjects with a hearing loss is likely attributable to auditory perceptual processing deficits rather than to poorer mnemonic capabilities. This explanation is further supported by the fact that the subjects with a hearing loss performed significantly better than the normal-hearing subjects on a task of nonverbal auditory memory span. In addition, the data of the present study were compared to those obtained in a previous study that examined auditory sequential organization among 6- and 7-year olds children with normal hearing and with a hearing impairment (Jutras & Gagné, 1998). In general, the results revealed that both groups' performances improved with age.

## INTRODUCTION

It is known that the immediate recall of auditory stimuli improves with age. On auditory memory span tasks, adults obtain scores that are twice those of 5-year-old children (Chi, 1976). The results of a study by Paquet (1993) show that, between 7 and 28 years of age, the auditory memory span for numbers increases from 4.2 to 6.3. For the recall of sequences consisting of pure tones (500 Hz and 1 kHz), auditory memory spans of 6.7 for children aged between 7 and 10 years old and 9.7 for adults have been reported (Caccace & McFarland, 1992). However, Paquet (1993) found that the auditory memory span measured for the recall of verbal stimuli that consisted of non-words did not differ between a group of 7-year-old children and a group of adults (3.08 and 3.88, respectively).

Cohen & O'Connor (1994) reported findings that are consistent with the above-mentioned studies. They found that for subjects with normal hearing, the percentage of correctly reproduced auditory sequences increased with age. The subjects were children of 4-5 and 8-9 years of age, adolescents of 14-15 years of age and adults of 19-20 years of age. The subjects were asked to recall sequences that consisted of 2 to 5 animal noises. The mean scores, as a function age-group, were 49%, 77%, 87% and 90% respectively.

Some aspects of auditory perceptual abilities involved in auditory sequential organization tasks have been shown to improve as a function of age. Specifically, auditory temporal integration thresholds (Maxon & Hochberg, 1982) and temporal resolution ability (Grose, Hall III & Gibbs, 1993; Irwin, Ball, Kay, Stillman & Rosser, 1985; Trehub, Schneider &

Henderson, 1995; Wightman, Allen, Dolan, Kistler & Jamieson, 1989) improve with age. To date, no known study has examined the developmental aspect of auditory sequential organization among children with a sensorineural hearing loss. This specific issue is addressed in the present report. The article is divided into two sections. Section I presents the results obtained from a group of 9-10 year-old children with a hearing impairment and a control group that consisted of children of a similar age, with normal hearing. Section II compares the results obtained from the subjects in section I to previously reported data obtained, on similar tasks, for 6-7 year-old children with normal hearing and with a hearing loss (Jutras & Gagné, 1998).

## SECTION I

Jutras & Gagné (1998) demonstrated that 6-7 year-old children with a hearing loss experienced significantly more difficulty than their normal-hearing peers on auditory sequential organization tasks that consisted of reproducing verbal sequences of 2, 3 and 5 elements. The objective of this present study was to investigate the ability of older children with a hearing loss to recall auditory sequences. The performances of 9-10 year old children with normal hearing and with a hearing loss were compared. If auditory sequential organization disabilities persists as a function of age or the development of this ability is delayed or progresses at a slower rate then older children with a hearing loss should obtain significantly lower scores than their normal-hearing peers on tasks that require the reproduction of auditory sequences.

Jutras & Gagné (1998) suggested that, relative to their normal-hearing peers, the poorer performances of children with a hearing loss on tasks of sequential organization of verbal stimuli was attributable more to a perceptual disorder than a reduced mnemonic capabilities for the recall of acoustic stimuli. The authors noted that, regardless of the duration of the inter-stimulus interval (ISI: 30, 150 or 425 ms), the subjects with a hearing loss obtained significantly poorer results than the normal-hearing subjects when they had to recall sequences of two verbal elements. If these abilities develop during childhood, then subjects older than 6-7 years of age, with a hearing loss, should obtain significantly better results to those obtained by their younger peers. However, even if an improvement in the results of the subjects with a hearing loss as a function of age is measured, it could be possible that the perceptual problem persists for these subjects (i.e., their performances, although improved, could be significantly poorer than those of older children with normal hearing). If it is the case, a significant difference in performance should be observed between the subjects of 9-10 year old with a hearing loss and those of similar age, with normal hearing.

## METHOD

### Participants

Twenty-four 9- and 10-year-olds were divided into two groups: 12 subjects with a hearing loss and 12 normal-hearing subjects. The groups were matched according to age and gender. The mean age was 9 years and 10 months for both groups. Six boys and 6 girls participated in each group. Table 1 provides the hearing detection threshold level (in dB HL, re: ANSI S3.6, 1989) of the subjects with a hearing loss, the age at which they began

wearing hearing aids and the etiology of their hearing loss (when known). All the normal-hearing subjects had hearing threshold levels  $\leq 15$  dB HL (re: ANSI S3.6, 1989) at octave frequencies between .5 to 8 kHz. For a test of laterality (De Agostini & Dellatolas, 1988), the results demonstrated a lateral dominance on the right side for all the subjects. Subjects in both groups successfully completed the association and identification tests, described in the procedure section of Jutras & Gagné (1998). The subjects with a hearing impairment were integrated in regular classes and their mode of communication was oral.

---

Insert Table 1 about here

---

### Material and equipment

The two verbal stimuli were the syllables /ba/ and /da/ and the two nonverbal stimuli were a wide band noise (250 Hz-8 kHz) and a 1 kHz pure tone. The verbal and nonverbal stimuli were 250 ms in duration with a rise and fall time of 2.2 ms. All the stimuli were stored on a laptop computer (Macintosh PowerBook 145) with the SoundEdit Pro (1992) software program. The PsychLab (1991) software program was used to control the presentation of the acoustic stimuli. A more detailed description of the material and equipment used for the present investigation was provided by Jutras & Gagné (1998).

### Procedure

During a first test session, the participants completed the Colored Progressive Matrices (Raven, 1956), a test of lateral dominance (De

Agostini & Dellatolas, 1988) and a hearing evaluation, when the data were not already available. They also completed the "stimulus-button" association test and the identification test of the stimuli as described in Jutras & Gagné (1998). All the subjects correctly identified at least 18 out of 20 consecutively-presented verbal and nonverbal stimuli.

Finally, the subjects completed the auditory sequential organization test. They performed three tasks with both the verbal and the nonverbal stimuli: 1) the reproduction of sequences of 5, 7 and 9 elements with an ISI duration of 425 ms, 2) the reproduction of sequences of two elements with an ISI duration of 30, 150 and 425 ms and 3) an auditory memory span measure. For each of these three tasks, one block of 10 verbal sequences and one block of 10 nonverbal trials was presented at each experimental condition. The auditory span was defined as the greatest number of elements for which the subject correctly reproduced at least 50% of the sequences for a given experimental condition. Blocks and sequences were presented in a random order.

During a second session, the subjects repeated the identification test with the verbal stimuli and the auditory sequential organization test with both the verbal and the nonverbal stimuli. The stimuli were digitized and stored in the computer. From the computer, the signals were routed to an audiometer (Madsen Orbitor 922). The stimuli were presented to the subject's right ear via a TDH-49P earphone. For each subject with a hearing loss, the stimuli were presented at a level that was comfortable for the listener and at which the subjects were able to correctly identify 90% of the verbal and nonverbal stimuli (see "identification test"). For this group

of subjects, the presentation level varied between 70 dB HL and 100 dB HL (mean of 84.2 dB HL). For all the normal-hearing subjects, the presentation level was 55 dB HL.

## RESULTS

### Progressive Coloured Matrices

An analysis of the data (t-test) showed that there was no significant difference between the results obtained for the two groups [ $t(22) = -.03, p > .05$ ]. The mean score for the subjects with a hearing loss was 32.2/36; it was 31.8/36 for the normal-hearing subjects. For both groups, the mean scores were above the 70th percentile, according to the norms available for the test (Raven, 1956).

### AUDITORY SEQUENTIAL ORGANIZATION TASK

For each block of 10 trials, the total number of sequences correctly reproduced was calculated. For each experimental condition, the mean performance was calculated based on the scores obtained for each of the two blocks of trials. If, for a given subject, there was a difference in performance that exceeded 20% between the results obtained during the first and the second session, for a given experimental condition, a third block of trials was administered. Whenever more than two blocks of trials were completed, the mean score was calculated by averaging the results of the 2 blocks of trials that yielded the smallest standard deviation. An alpha level of .05 was used for all analyses (main effects and interactions).

### Number of elements per sequence

The mean number of verbal and nonverbal sequences consisting of two, five, seven and nine elements correctly reproduced by both groups of subjects are displayed in Figure 1. The ISI duration was 425 ms.

---

Insert Figure 1 about here

---

A 3-way ANOVA (Group, Number of elements, Type of stimuli) with repeated measures revealed significant effects for two of the three main factors: Type of stimuli [ $F(1, 22) = 45.46, p < .0001$ ] and Number of elements per sequence [ $F(3, 66) = 382.86, p < .0001$ ]. Two of the three double interaction effects were significant: Group X Type [ $F(1, 22) = 11.25, p < .01$ ] and Type X Number [ $F(3, 66) = 4.02, p < .05$ ]. The triple interaction of Group X Type X Number was not significant [ $F(3, 66) = 1.41, p > .05$ ].

The analysis of simple effects for the significant interaction of Group X Type showed that the group factor was not significant for the verbal stimuli [ $F(1, 22) = 2.04, p > .05$ ] nor for the nonverbal stimuli [ $F(1, 22) = 0.89, p > .05$ ]. The significant interaction reported may be due to the significant difference in performance observed between the verbal and the nonverbal stimuli among the group of subjects with a hearing loss. The results obtained for the group of normal-hearing subjects did not show a significant difference in performance between the verbal and the nonverbal stimuli. An analysis of simple effects performed to decompose Type X Number interaction, when the results obtained for each group

were collapsed, revealed a significant difference between the verbal and nonverbal stimuli for sequences of 5 [ $F(1, 22) = 17.78, p < .001$ ], 7 [ $F(1, 22) = 10.04, p < .01$ ] and 9 elements [ $F(1, 22) = 10.25, p < .01$ ]. For the sequences of 2 elements, this difference was not significant [ $F(1, 22) = 2.75, p > .05$ ].

#### Duration of the ISI

The results obtained for blocks of trials that consisted of 2 nonverbal and 2 verbal stimuli are displayed in Figure 2. Data are shown as a function of ISI duration for each group of subjects.

---

Insert Figure 2 about here

---

A 3-way ANOVA with repeated measures revealed significant effects for the three main factors: Group [ $F(1, 22) = 6.32, p < .05$ ], Type of stimuli [ $F(1, 22) = 7.15, p < .05$ ] and ISI duration [ $F(2, 44) = 3.27, p < .05$ ]. Significant effects were also obtained for two out of the three double interactions: Group X Type [ $F(1, 22) = 6.71, p < .05$ ] and Type X ISI duration [ $F(2, 44) = 3.92, p < .05$ ]. The triple interaction of Group X Type X ISI duration was not significant [ $F(2, 44) = 2.49, p > .05$ ].

An analysis of simple effects for the significant Group X Type interaction revealed a significant effect of group for the verbal stimuli [ $F(1, 22) = 6.55, p < .05$ ], but not for the nonverbal stimuli [ $F(1, 22) = 1.25, p > .05$ ]. Moreover, the analysis of simple effects for the significant interaction of Type X ISI duration revealed that there was a significant difference between the verbal and the nonverbal stimuli for two of the three

different ISI durations: 30 ms [ $F(1, 22) = 6.56, p < .05$ ] and 150 ms [ $F(1, 22) = 6.78, p < .05$ ], but not for 425 ms [ $F(1, 22) = 5.39, p > .05$ ].

### Auditory memory span

The mean auditory memory span scores obtained for the verbal and the nonverbal stimuli are illustrated in Figure 3. A 2-way ANOVA with repeated measures revealed a significant effect for the Type of stimuli [ $F(1, 22) = 21.38, p < .0001$ ] and a significant Group X Type interaction [ $F(1, 22) = 6.60, p < .05$ ]. The results of the simple effects analyses showed that a significant difference between the two groups exists for the nonverbal stimuli only [ $F(1, 22) = 4.84, p < .05$ ]. The subjects with a hearing loss performed better than the subjects with normal hearing. These results also suggest that, for the subjects with a hearing impairment, the nonverbal stimuli were easier to reproduce than the verbal stimuli (see Figure 3).

---

Insert Figure 3 about here

---

## DISCUSSION

The results of the present study failed to show any differences between the group of children with a hearing impairment and the group of children with normal hearing for the auditory sequential organization tasks consisting of 2, 5, 7 and 9 verbal and nonverbal elements when the ISI duration was 425 ms. Furthermore, for both groups, it was easier to recall the order sequences of 5, 7 and 9 nonverbal stimuli than to recall the order of sequences containing the same number of verbal stimuli. However, the difference between the two groups was more evident for

sequences of two verbal elements as a function of ISI duration. These results are similar to those reported by Jutras & Gagné (1998). In that study, 6-7 year-old subjects with a hearing loss performed significantly more poorly than their normal-hearing peers when the sequences consisted of verbal stimuli.

The results of the present study further support Jutras & Gagné's (1998) hypothesis that the difficulty experienced by children with a hearing loss, on auditory sequential organization tasks, is related more to a perceptual problem than to a problem with auditory memory. In the present investigation, the subjects with a hearing loss did not perform more poorly than their normal-hearing peers on tasks that required the recall of nonverbal stimuli. These results suggest that the subjects with a hearing impairment did not exhibit any auditory memory problems. Their superior performance on the acoustic nonverbal memory span measure may be attributable to the fact that all the subjects with a hearing impairment had participated in auditory training exercises as part of their rehabilitation in audiology or in speech/language pathology.

Overall, for the data collapsed across the three ISI conditions, the subjects with a hearing loss experienced more difficulties than their normal-hearing peers when they were required to recall sequences of two verbal elements. Also, when the data are collapsed across the two groups, the results showed that, when the ISI was 30 and 150 ms, the subjects performed more poorly when the stimuli consisted of verbal sequences than when they consisted of nonverbal sequences. There was no significant difference between the two types of stimuli when the ISI was

425 ms. An examination of the means and standard deviations reported in Figure 2 suggests that the significant difference observed between the results obtained with the two types of stimuli when the two groups were collapsed was attributable mainly to the reduced performances of the group of subjects with a hearing impairment with the verbal stimuli.

More research is needed to investigate the perceptual component of auditory sequential organization tasks. The difficulties demonstrated by the subjects with a hearing loss could be related to the nature of the signal. In the present investigation, the difference between the two groups was observed for tasks in which verbal stimuli consisted of syllables with a "plosive consonant-vowel" pattern. According to Turner, Smith, Aldridge & Stewart, 1997, the formant transition for this type of consonant requires a rapid spectral analysis as a function of time, which could contribute to the difficulties observed among the subjects with a hearing loss. Sussman (1993) reported that children with language impairments (with normal hearing) have problems with the perception of formant transition cues related to the place of articulation. She suggested that the problem could be related to the "difficulty in creating the phonological representation or perhaps in encoding (i.e., linking the acoustic information to its phonological representation)" (p. 1296). In the present study, the subjects' peripheral hearing loss did not appear to interfere with the identification of the syllables or with the phonological representation. All the subjects with a hearing impairment were able to identify each of the syllables when they were presented to them one at the time. One possible explanation is that the auditory trace created by the syllables is more vulnerable to interference among individuals with a hearing loss than

among persons with normal hearing. When sequences consisting of two verbal stimuli were presented at a given ISI duration, the subjects with a hearing impairment had difficulty reproducing them in order. This could be due to the fact that, for this experimental condition, the second syllable produced a form of suffix effect, which caused more confusion, especially because the two syllables used had similar acoustic characteristics. The auditory template of acoustic cues could be less well defined among the subjects with a hearing loss than among the normal-hearing subjects, resulting in greater susceptibility to interference.

Schum & Collins (1990) reported that normal-hearing subjects extract phonemic information from an earlier portion of a syllable than do subjects with a hearing impairment, especially for cues related to place of articulation. This finding indicates that subjects with a hearing loss need to hear a longer portion of a speech stimulus before they are able to identify it. The longer period of time required to identify a speech stimulus means that they have less time than normal-hearing subjects to process and store the information before the presentation of the next stimuli. Based on this information, on auditory sequential organization tasks, one would expect to observe better performances among subjects with a hearing loss for longer duration stimuli than for short duration stimuli. Further research is needed to explore this hypothesis.

Finally, for the auditory sequential organization tasks that included the use of verbal stimuli, the poorer performances observed among the group of subjects with a hearing impairment could be more related to the complexity and similarity of the two stimuli used rather than the fact that

they were verbal stimuli per se. It would be possible to verify this hypothesis by designing an auditory sequential task that included two acoustically complex (and similar) nonverbal stimuli and another similar task that included two acoustically dissimilar verbal stimuli. The results of such research would help to ascertain whether the difficulties observed among subjects with a hearing loss are the consequence of an auditory perceptual problem in general or if it is due more to a specific disorder in the processing of linguistic material.

## SECTION II

In order to investigate the developmental aspect of auditory sequential organization, the data reported for the 6-7 year old children, with and without a hearing impairment (Jutras & Gagné, 1998), were compared to the results obtained from the children 9-10 years old (reported in Section I). Results indicating that the performances of children improve with age would suggest that these auditory abilities (auditory memory span and auditory sequential organization) develop over time. The findings obtained for the two groups of subjects with a hearing impairment were of special interest because the developmental aspects of auditory memory and sequential organization tasks have not been extensively investigated among this population. A narrowing of the gap (as a function of age) between the results of the subjects with a hearing loss and those of the normal-hearing subjects would suggest that children with a hearing impairment do develop these abilities (albeit at a slower rate) despite the presence of a peripheral hearing loss.

## RESULTS

In order to examine the developmental aspects of auditory sequential organization ability, the statistical analyses were designed in such a way that they took into account both age and group effects. Each of the main effects (Age, Group, Number of elements per sequence) and their possible interactions were first examined for the data obtained with the nonverbal sequences, and then for the data obtained with verbal sequences.

### Sequences of 2, 5 and 7 nonverbal elements

Figure 4 displays the results obtained by both groups of 6-7 year-old and both groups of the 9-10 year-old subjects for tasks that required the reproduction of sequences containing 2, 5 and 7 nonverbal elements.

---

Insert Figure 4 about here

---

The results of the statistical analysis (ANOVA) revealed significant main effects for the Number of elements [ $F(2, 88) = 298.55, p < .0001$ ] and Age [ $F(1, 44) = 47.78, p < .0001$ ]. The double interaction of Number X Age was also significant [ $F(2, 88) = 26.68, p < .0001$ ], but the triple interaction of Group X Number X Age [ $F(2, 88) = 1.90, p > .05$ ] was not.

An analysis of simple effects was completed to investigate the nature of the Number X Age interaction. The results showed that, as a whole (i.e., both the subjects with and without a hearing loss), the 9-10 year-old subjects obtained significantly higher scores than the 6-7 year-old subjects for the sequences of 5 [ $F(1, 44) = 46.45, p < .0001$ ] and 7 [ $F(1, 44) = 30.24, p <$

.0001] nonverbal elements. For sequences consisting of 2 nonverbal stimuli, there was no significant difference in the performances obtained for each group of subjects [ $F(1, 44) = 1.99, p > .05$ ].

#### Sequences of 2, 5 and 7 verbal elements

Figure 5 displays the results obtained by both groups of 6-7 year-old and both groups of the 9-10 year-old subjects for tasks that required the reproduction of sequences containing 2, 5 and 7 verbal elements.

---

Insert Figure 5 about here

---

An ANOVA revealed that the three main factors were significant : Group [ $F(1, 44) = 11.39, p < .01$ ], Number [ $F(2, 88) = 376.27, p < .0001$ ] and Age [ $F(1, 44) = 42.48, p < .0001$ ]. Two of the three double interactions were also significant: Group X Number [ $F(2, 88) = 3.57, p < .05$ ] and Number X Age [ $F(2, 88) = 10.25, p < .0001$ ], The triple interaction was not significant [ $F(2, 88) = 0.87, p > .05$ ].

An analysis of simple effects was completed to investigate the nature of the Number X Age interaction. The results showed that, as a whole (i.e., when the results obtained from the subjects with normal hearing and those with a hearing loss were collapsed), a significant difference was obtained between the results obtained for the group of 6-7 year-olds and the group of 9-10 year-olds for the sequences of 2 [ $F(1, 44) = 15.21, p < .001$ ], 5 [ $F(1, 44) = 30.89, p < .0001$ ] and 7 [ $F(1, 44) = 24.39, p < .0001$ ] verbal elements. For the significant interaction of Group X Number, the results

of the analysis of simple effects (i.e., when the data obtained for the normal-hearing children were collapsed and compared to those obtained for both groups of subjects with a hearing impairment) indicated that the subjects with a hearing loss performed significantly more poorly than the normal-hearing subjects for sequences of 2 [ $F(1, 44) = 24.64, p < .0001$ ] and 5 verbal elements [ $F(1, 44) = 9.02, p < .01$ ], but not for sequences of 7 elements [ $F(1, 44) = 0.70, p > .05$ ].

#### Auditory memory span for nonverbal stimuli

Figure 6 illustrates the results obtained on the nonverbal auditory memory span task for both groups of normal-hearing subjects and both groups of subjects with a hearing loss.

---

Insert Figure 6 about here

---

A two-way ANOVA revealed a significant main effect for the factor Age [ $F(1, 44) = 51.16, p < .0001$ ] and a significant Group X Age interaction [ $F(1, 44) = 5.21, p < .05$ ]. The significant double interaction was decomposed into its simple effects, and the results revealed a significant difference in nonverbal memory span between 6-7 year-olds and 9-10 year-olds, both for the normal-hearing subjects [ $F(1, 44) = 10.15, p < .01$ ] and for the subjects with a hearing loss [ $F(1, 44) = 38.09, p < .0001$ ].

#### Auditory memory span for verbal stimuli

The results obtained for the verbal auditory memory span task are shown in Figure 7. Data are illustrated for both groups of children with

normal hearing and both groups of subjects with a hearing impairment. The results of a two-way ANOVA revealed a significant main effect for age only [ $F(1, 44) = 16.95, p < .001$ ].

---

Insert Figure 7 about here

---

## DISCUSSION

A comparison of the results obtained for 6-7 year-old subjects and the 9-10 year-old subjects showed that performance improved with age. The 9-10 year-old subjects obtained significantly better results than the younger subjects for the recall of both verbal and nonverbal sequences. Furthermore, there was a significant Group X Number interaction indicating that on the auditory sequential organization task consisting of 2 and 5 verbal elements, the subjects with normal hearing (both groups collapsed) performed better than the subjects with a hearing loss (both groups collapsed). For the sequences of 7 verbal elements, there was no significant difference between the two groups of subjects (when the data were collapsed for age). This could be due to the presence of a floor effect in the performance. For this experimental condition, the presentation of complex, and similar stimuli made it difficult for all the subjects (those with normal hearing as well as those with a hearing impairment) to recall the order of the elements in a sequence.

The analysis of the results for the auditory memory span tasks also showed an increase in the number of elements recalled as a function of age. This result was observed for both the normal-hearing subjects and the

subjects with a hearing loss. These results are consistent with those reported in previous studies conducted with normal-hearing subjects (Cohen & O'Connor, 1994; Paquet, 1993; Cacace & McFarland, 1992, Chi, 1976). These investigators found that the auditory memory span, or the number of correct responses, improved as a function of age. Based on the results of the present investigation, the developmental aspects of auditory memory span can be extended to subjects with a sensorineural hearing loss.

#### Catching-up phenomenon

The results for the 6-7 year-old subjects reported by Jutras & Gagné (1998) showed that the subjects with a hearing loss experienced greater difficulty than the normal-hearing subjects when they were asked to reproduce sequences of two verbal elements. These results were observed at three different ISI durations (i.e., 30, 150 and 425 ms). The results of the present investigation revealed a significant difference between the groups when the data for the different ISI durations were collapsed. Figure 8 displays the data for both groups of 6-7 and 9-10 year-old subjects for the reproduction of the verbal sequences as a function of the duration of the ISI. A visual examination of the data reveals that the mean performances of both groups of normal-hearing subjects (6-7 year old and 9-10 year old) varied little as a function of the ISI duration and were close to the maximum possible values. On the other hand, at least for the tasks investigated, the responses obtained from the older subjects with a hearing loss approach the scores obtained by the normal-hearing subjects. The data reveal that the gap between the subjects with normal hearing and those with a hearing loss is greater for the results obtained for the 6-7

year old children than those obtained for the older children. Even though some differences in performance remain between the subjects with a hearing loss and those with normal hearing, the present results suggest that a catching-up phenomenon occurs with age.

---

Insert Figure 8 about here

---

## CONCLUSION

In the present study, the results obtained from 9-10 year-old children suggest that the subjects with a hearing loss have some difficulties in the auditory sequential organization of verbal stimuli. The results also demonstrated that the 9-10 year-old and 6-7 year-old subjects (Jutras & Gagné, 1998) with a hearing impairment performed on par with, and in some cases better than, the subjects with normal hearing on tasks that required the reproduction of nonverbal sequences. These results suggest that subjects with a hearing loss have a good capacity for the immediate recall of acoustic material and are capable to accomplish those types of tasks. However, for tasks involving verbal stimuli, notably those that required the recall of syllables with very high phonological similarity, the subjects with a hearing loss performed more poorly than normal-hearing subjects. The difficulties observed among the subjects with a hearing impairment may be attributable to a disorder in auditory perception. However, it was not possible to ascertain whether their difficulty was related to the nature of the signal (verbal vs nonverbal) or to the complexity of the signal per se (e.g., rapid changes in the spectral content of the signal as a function of time).

In addition, a comparison of the data obtained in the present investigation with those reported by Jutras & Gagné (1998) showed that sequential organization ability develops with age. This finding was observed for both the normal-hearing subjects as well as for the subjects with a hearing loss. The results obtained for the 9-10 year-old subjects were significantly better than those obtained by the 6-7 year-old subjects for the auditory memory span tasks and especially for the auditory sequential organization tasks involving sequences of 5 and 7 nonverbal and verbal elements. Several indications suggest that, for these types of tasks, a catching-up phenomenon occurs as a function of age among subjects with a hearing loss. Further research involving older subjects with a hearing loss is required to describe this catching-up phenomenon in greater detail.

## REFERENCES

American National Standard Institute (1989). *American National Standard Maximum Permissible Ambient Noise Levels for Audiometric Test Rooms*. New York: USA Standard.

Cacace, A.T., & McFarland, D.J. (1992). Acoustic pattern recognition and short-term memory in normal adults and young children. *Audiology*, 31, 334-341.

Chi, M.T.H. (1976). Short-term memory limitations in children : Capacity or processing deficits? *Memory and Cognition*, 4, 559-572.

Cohen, A.J., & O'Connor, J. (1994). Development of memory for sequences of nonverbal sounds. *Proceeding of XXII International Congress of Audiology*, presented at the XXII International Congress of Audiology, Halifax, Nova Scotia, Canada.

De Agostini M., & Dellatolas G. (1988). Une épreuve simple pour évaluer la préférence manuelle chez l'enfant à partir de 3 ans. *Enfance*, 41, 139-147.

Grose, J.H., Hall III, J.W., & Gibbs, C. (1993). Temporal analysis in children. *Journal of Speech and Hearing Research*, 36, 351-356.

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.

Jutras, B., & Gagné, J.-P. (1998). Auditory sequential organization among children with and without a hearing loss, Part I: Evaluation. Submitted to *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*.

Maxon, A. B., & Hochberg, I. (1982). Development of psychoacoustic behavior : Sensitivity and discrimination. *Ear and Hearing*, 3, 301-308.

Mitsyn (1993). Software program for Microsoft Windows 3.1 version. DigiVox, Montréal, Québec.

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.

PsychLab (1988). Version 0,8. Distributed by Teren Gum, Montréal, Québec, Canada.

Raven, J.C. (1956). *Colored Progressive Matrices*. London : H. K. Lewis & Co. Ltd.

SounEdit Pro (1992). Version 1.0. Micromind.

Sussman, J.E. (1993). Perception of formant transition cues to place of articulation in children with language impairments. *Journal of Speech and Hearing Research, 36*, 1286-1299.

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

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.

Trehub, S.E, Schneider, B.A., & Henderson, J.L. (1995). Gap detection in infants, children, and adults. *Journal of the Acoustical Society of America, 98*, 2532-2541.

Turner, C.W., Smith, S.J., Aldridge, P.L., & Stewart, S.L. (1997). Formant transition duration and speech recognition in normal and hearing-impaired listeners. *Journal of the Acoustical Society of America, 101*, 2822-2825.

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

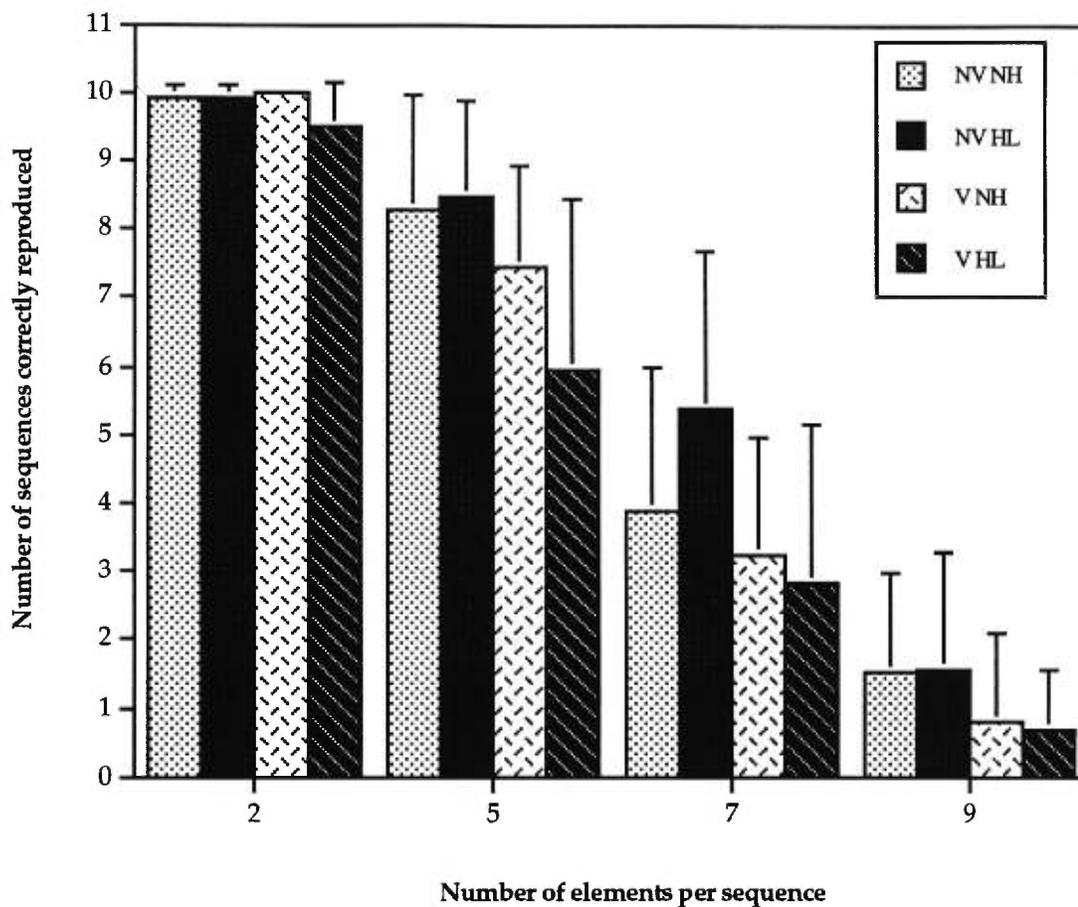


FIGURE 1. Mean number of sequences correctly reproduced as a function of the number of elements per sequence for the 12 subjects with normal hearing (NH) and the 12 subjects with a hearing loss (HL). Data are shown for nonverbal (NV) and verbal (V) stimuli. All subjects were 9 and 10 years old.

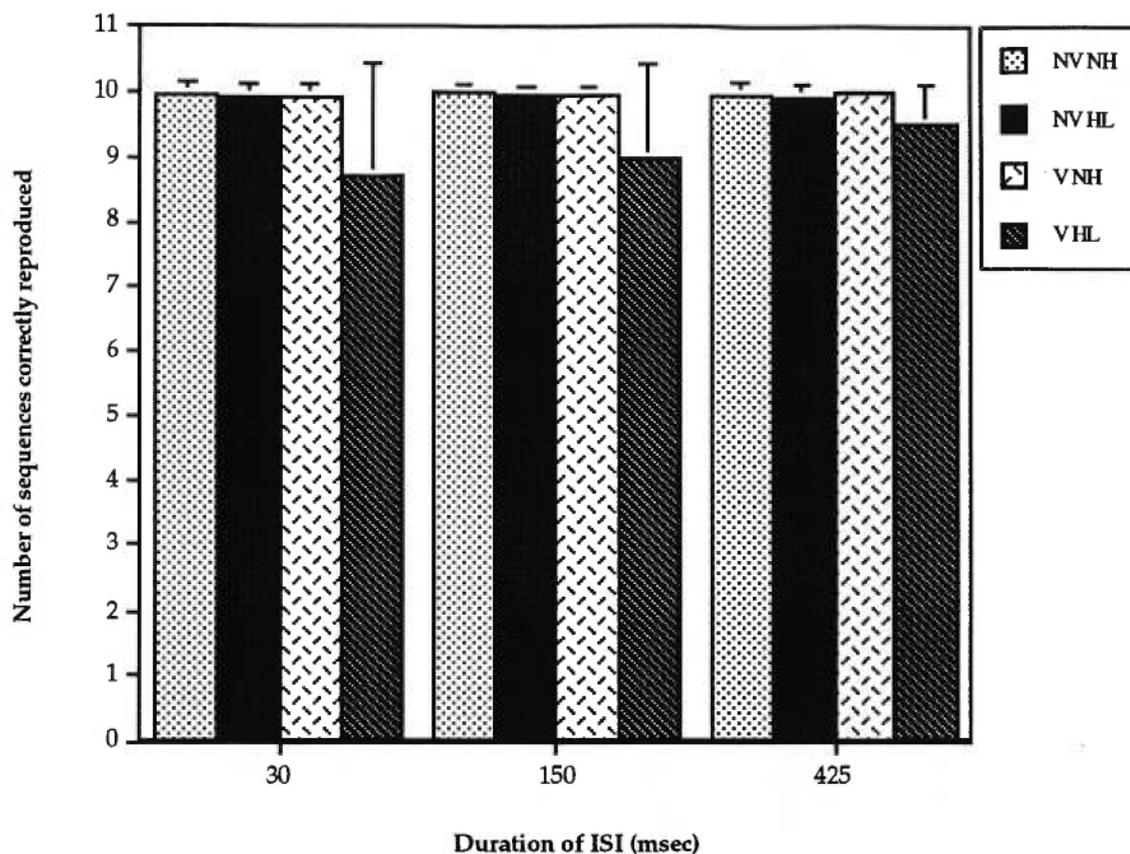


FIGURE 2. Mean number of sequences correctly reproduced as a function of the ISI for the 12 subjects with normal hearing (NH) and the 12 subjects with a hearing loss (HL). Data are shown for nonverbal (NV) and verbal (V) stimuli. All subjects were 9 and 10 years old.

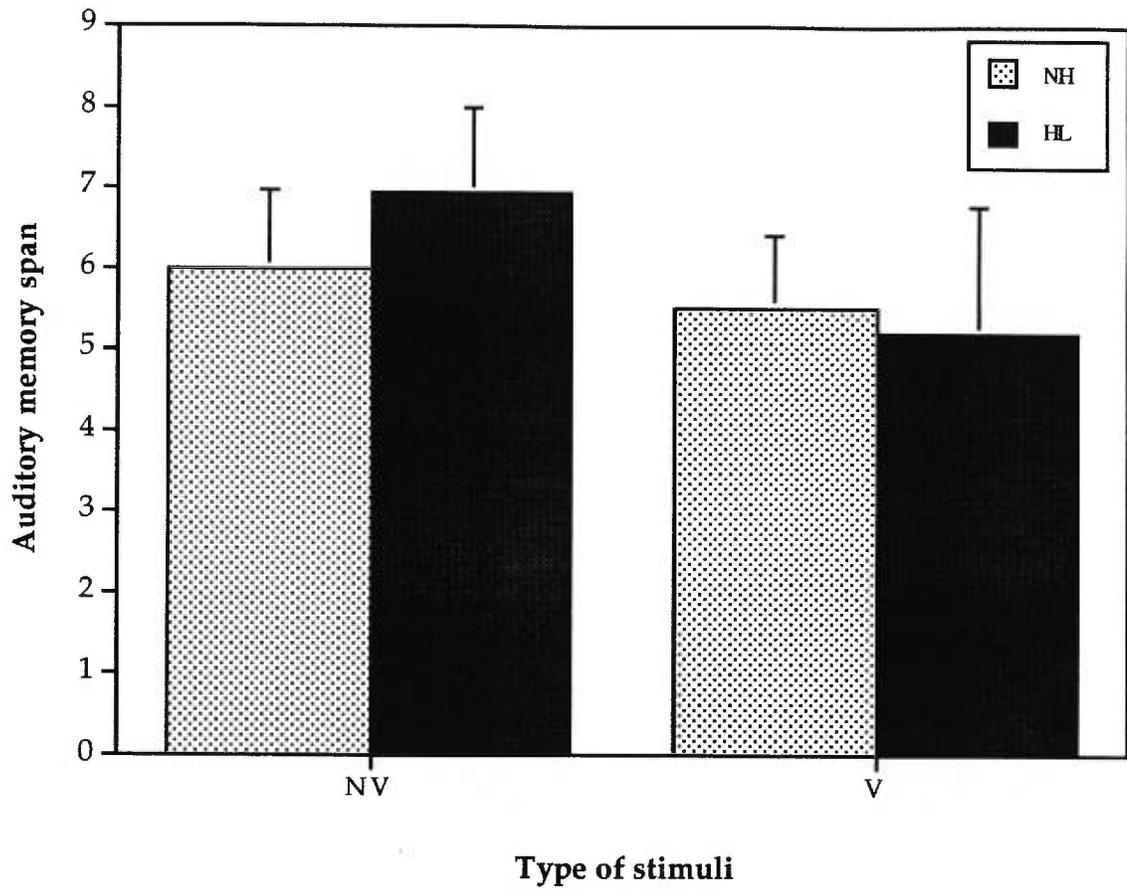


FIGURE 3. Auditory memory span score as a function of the type of acoustic stimuli for the 12 subjects with normal hearing (NH) and the 12 subjects with a hearing loss (HL). Data are shown for nonverbal (NV) and verbal (V) stimuli. All subjects were 9 and 10 years old.

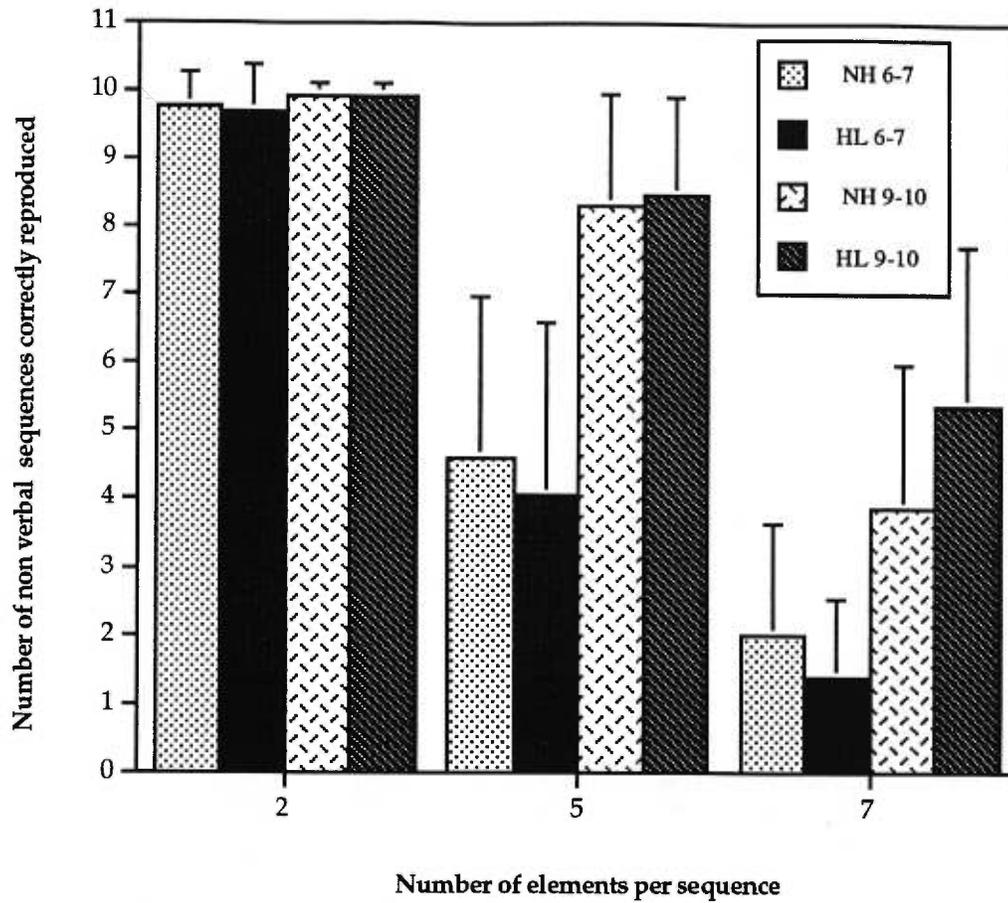


FIGURE 4. Mean number of sequences correctly reproduced as a function of the number of nonverbal elements. Data are shown for 4 groups of 12 subjects : 1- Children with normal hearing of 6-7 years of age (NH 6-7); 2- Children with a hearing loss of 6-7 years of age (HL 6-7); 3- Children with normal hearing of 9-10 years of age (NH 9-10); 4- Children with a hearing loss of 9-10 years of age (HL 9-10).

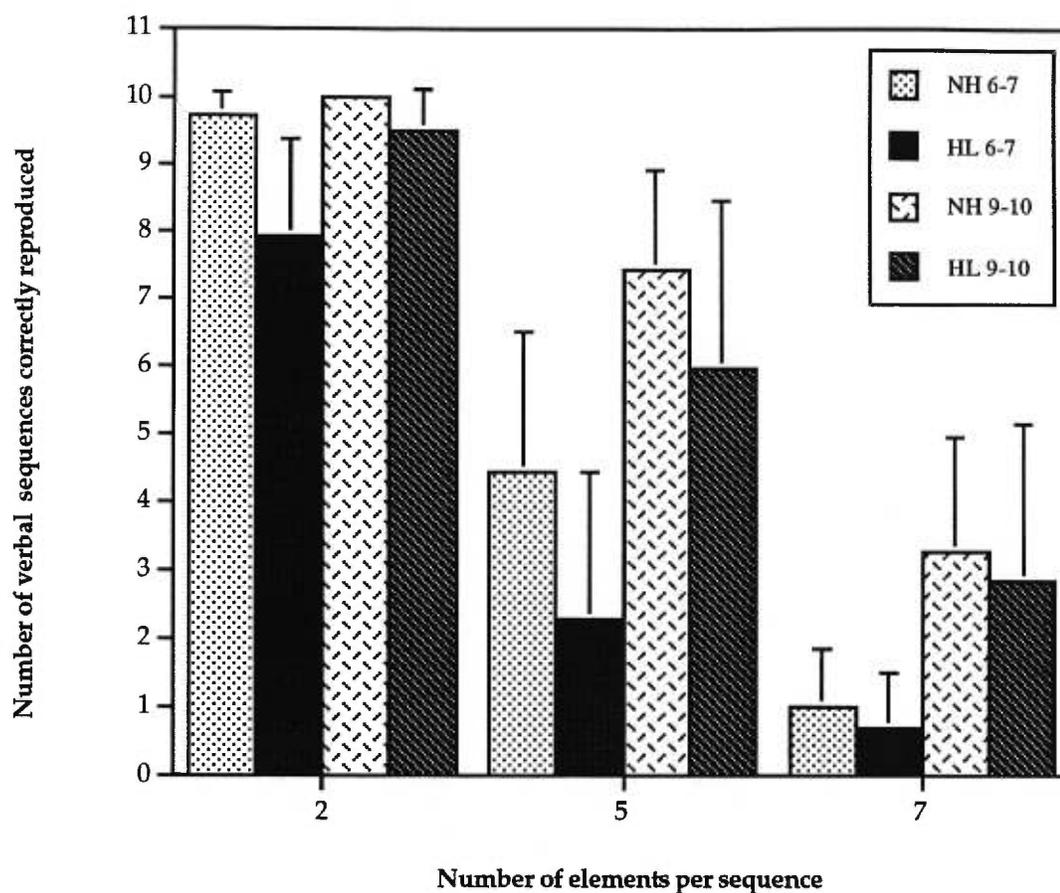


FIGURE 5. Mean number of sequences correctly reproduced as a function of the number of verbal elements. Data are shown for 4 groups of 12 subjects : 1- Children with normal hearing of 6-7 years of age (NH 6-7); 2- Children with a hearing loss of 6-7 years of age (HL 6-7); 3- Children with normal hearing of 9-10 years of age (NH 9-10); 4- Children with a hearing loss of 9-10 years of age (HL 9-10).

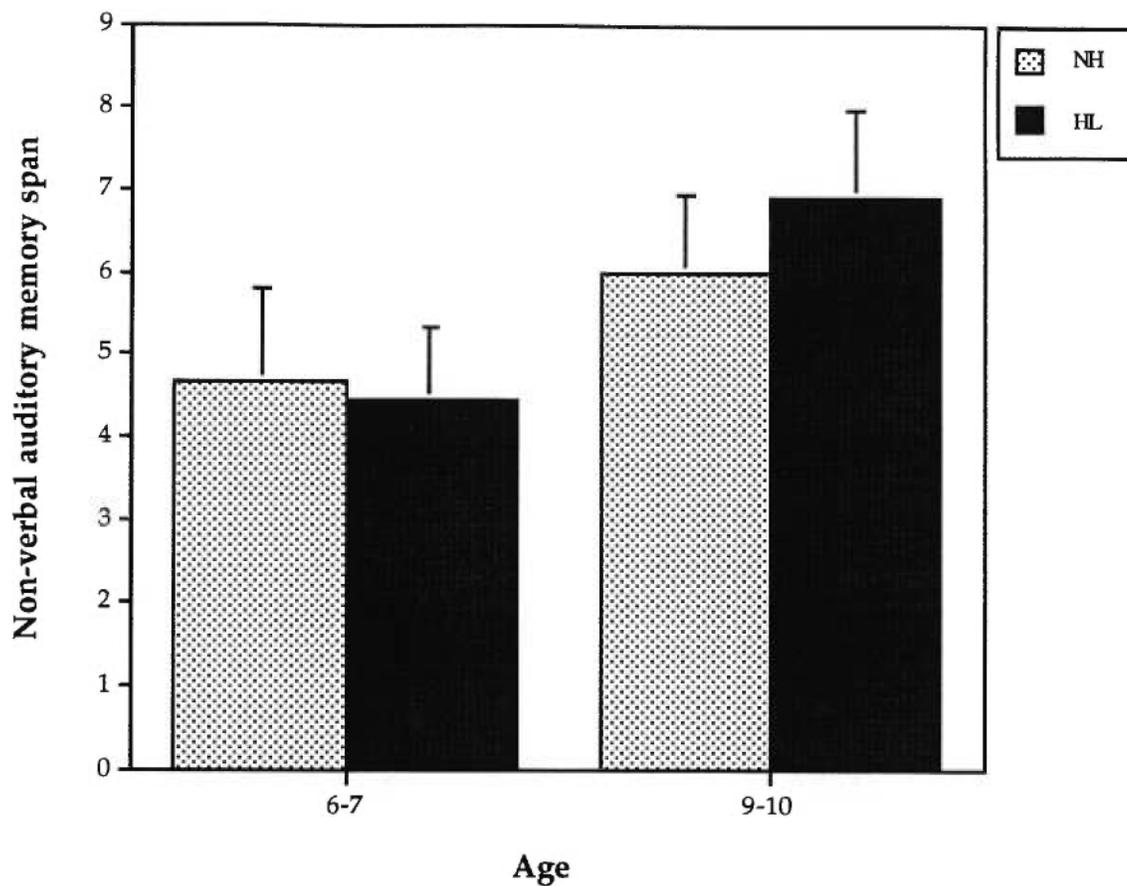


FIGURE 6. Mean auditory memory span scores for nonverbal stimuli as are displayed for 4 groups of 12 subjects : 1- Children with normal hearing of 6-7 years of age (NH 6-7); 2- Children with a hearing loss of 6-7 years of age (HL 6-7); 3- Children with normal hearing of 9-10 years of age (NH 9-10); 4- Children with a hearing loss of 9-10 years of age (HL 9-10).

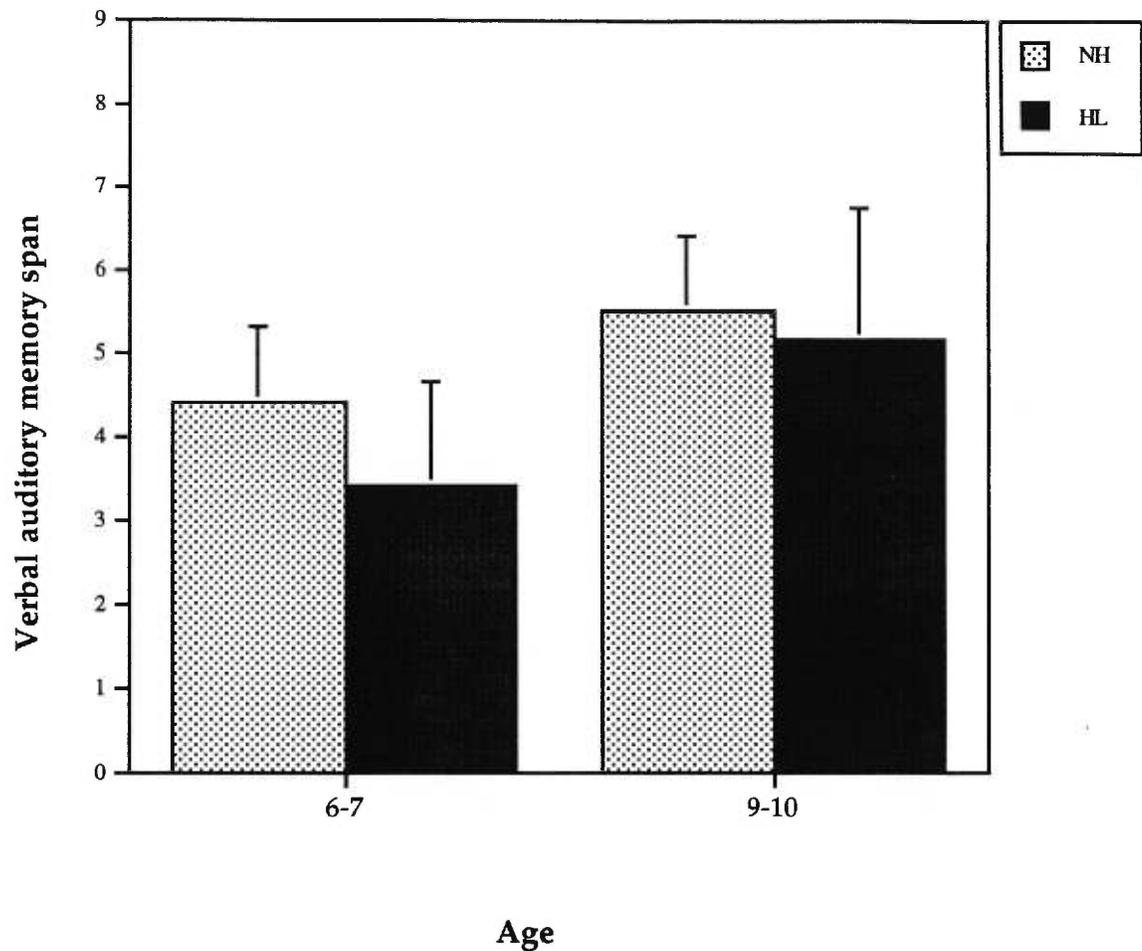


FIGURE 7. Mean auditory memory span scores for verbal stimuli as are displayed for 4 groups of 12 subjects : 1- Children with normal hearing of 6-7 years of age (NH 6-7); 2- Children with a hearing loss of 6-7 years of age (HL 6-7); 3- Children with normal hearing of 9-10 years of age (NH 9-10); 4- Children with a hearing loss of 9-10 years of age (HL 9-10).

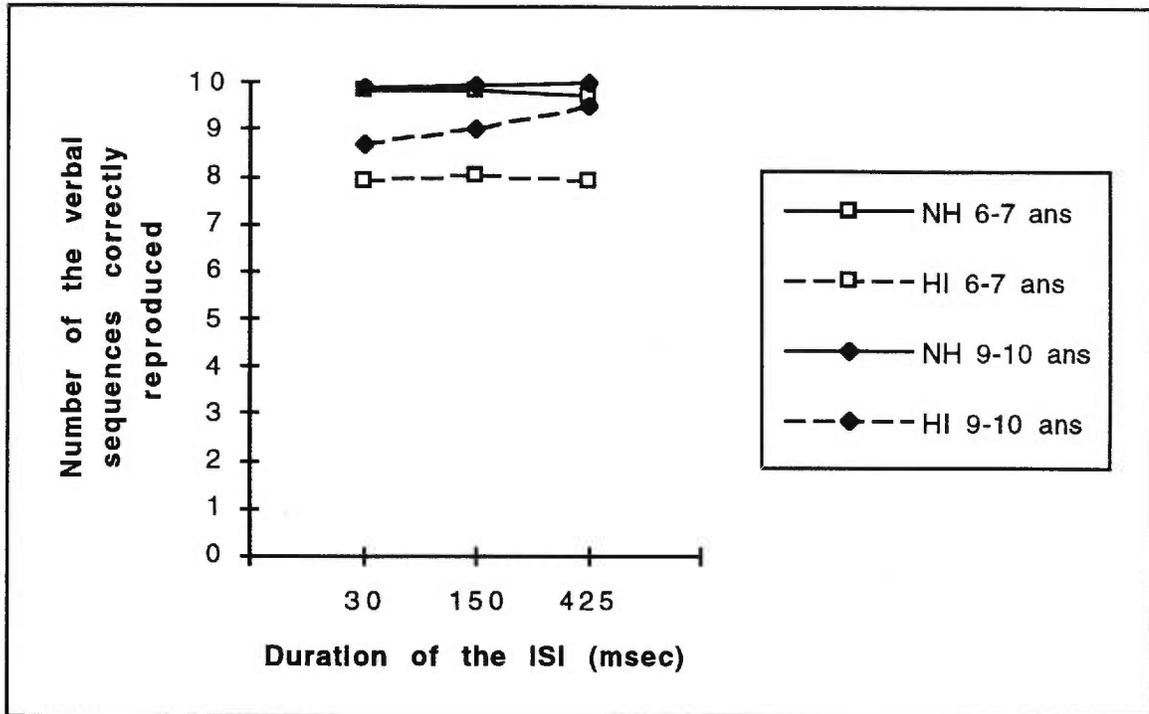


FIGURE 8. Mean number of sequences correctly reproduced as a function of the duration of the interstimulus interval (ISI) for the 24 subjects with normal hearing (NH) and the 24 subjects with a hearing loss (HL). In both groups, there were 12 subjects of 6-7 year-old and 12 subjects of 9 and 10 year-old. Data are shown for verbal (V) stimuli.

<i>Subject</i>	<i>age</i>	<i>h/a</i>	<i>gender</i>	<i>cause</i>	<i>Hearing threshold (dB HL)</i>						<i>Level (dB HL)</i>
					250	500	1000	2000	4000	8000	
1	9:01	6:09	f	Congenital	30	45	45	45	50	50	75
2	9:04	5:00	m	Unknown	5	10	25	35	70	60	75
3	10:04	5:02	m	Meningitis	45	50	50	55	60	60	70
4	9:03	0:10	f	Hereditary	55	60	75	75	60	75	90
5	10:02	2:03	f	Hereditary	60	70	80	85	60	65	100
6	9:10	5:00	m	Congenital	25	35	45	50	45	55	75
7	10:11	5:09	f	Unknown	5	30	55	55	60	70	75
8	9:03	4:03	m	Hereditary	25	35	60	60	90	NT	95
9	10:05	2:05	f	Hereditary	35	55	85	75	70	90	100
10	9:11	4:03	f	Unknown	55	60	85	85	70	85	95
11	9:03	3:06	m	Hereditary	25	30	45	50	45	35	70
12	10:06	4:03	m	Unknown	25	50	65	65	70	80	90

TABLE 1. Subjects with a hearing impairment: age at the first test session; age when the subject started to use hearing aids (h/a); gender; cause of the hearing loss; hearing loss measured at 250 to 8 000 Hz no longer than 1-year prior their participation in the investigation (NT = non tested) and level at which the stimuli were presented.

---

**Appendice D**

**Commentaires des évaluateurs  
pour l'article B**



AMERICAN  
SPEECH-LANGUAGE-  
HEARING  
ASSOCIATION

ASSOCIATE EDITOR - HEARING  
JOURNAL OF SPEECH AND HEARING RESEARCH  
SID P. BACON, PHD  
DEPARTMENT OF SPEECH AND HEARING SCIENCES  
ARIZONA STATE UNIVERSITY  
P.O. BOX 871908  
TEMPE, AZ 85287-1908  
PHONE: (602) 965-8227  
FAX: (602) 965-0965  
E-MAIL: SPB@ASU.EDU

Benoît Jutras  
Ecole d'orthophonie et d'audiologie  
Université de Montréal  
C.P. 6128, succursale Centre-ville  
Montréal Québec  
H3C 3J7

7 July 1998

RE: MS# 98JH0021  
Title: *Auditory Sequential Organization ... Part II: Developmental Aspects*

Dear Mr. Jutras:

The purpose of this letter is simply to follow-up on our telephone conversation and to send hard copies of the reviews of your manuscript that I faxed to you last week. I have also enclosed revision notes from the Editorial Assistant. These notes indicate the changes that will be necessary in order for your manuscript to conform to APA style, if you should choose to submit part II as a separate manuscript.

Again, I strongly encourage you to combine your two manuscripts (#s 11 and 21) into a single manuscript. I do not believe that the points you wish to make will be weakened by a combined presentation. Indeed, I believe your contribution to the literature would be stronger with a single manuscript. If you do choose to re-submit a single, combined manuscript, you should submit five copies to the Editor, Dr. Gordon-Salant; the single manuscript will be given a new manuscript number and the files on #s 11 and 21 will be closed. I will, of course, ask the same two reviewers to review your new manuscript.

As we discussed, if you choose to keep the manuscripts separate, Part II (#21) will need to be streamlined to omit any redundancies (e.g., with the methodology) with Part I. In that case, you will need to submit three copies of your revised part II to me within 60 days of your receipt of this letter. I am also requesting that a detailed cover letter accompany the revision. This letter should specify which changes were made and where in the revised manuscript. If you have not followed suggestions made by me or one or more of the reviewers, you should provide a rationale for your decision.

Thank you for submitting your work to JSLHR.

Sincerely yours,



Sid P. Bacon, Ph.D.  
Associate Editor  
Journal of Speech, Language, and Hearing Research

copy: Sandra Gordon-Salant, Ph.D.  
Editor for Hearing, JSLHR

Enclosures: reviewers' comments, revision notes

**Review of ms 98JH0021: Auditory Sequential Organization among children with and without a hearing loss Part II: Developmental Aspects**

**Overview.** As indicated in my review of Part 1 of this series, the research described represents a potentially useful contribution to the Journal. However, my judgment, based upon examination of part 2 of the series, is that the current division into two manuscripts is absolutely inappropriate. The data for 6-7 and 9-10 year-olds should be considered to comprise a single, 4-factor experiment (e.g., age x group x stimulus type x ISI), and should be analyzed accordingly and written up in a single manuscript. In my view this is mandatory. The same methodology was employed for both groups of listeners and the appropriate developmental comparisons, both statistical and logical, require integrated treatment. Adequate revision into a single manuscript should result in a useful addition to the literature, and should also help outweigh the problems associated with the verbal/nonverbal manipulation discussed in the earlier reviews.

**Literature review.** The scope and adequacy of the literature review has been covered in detail by another reviewer. I would add two comments pertaining to this ms: (1) The citation for Schum & Collins (1990) is missing from the bibliography; and (2) Some reference for the suffix effect (e.g., Crowder, 1967, 1969 or later general reference) would be appropriate.

**Data analysis and interpretation of results:**

Page 8, The explanation given for the group x type interaction seems inappropriate. The likely explanation is that although the two groups of listeners (HL and NH) did not differ significantly in individual, simple-effects comparisons involving either verbal or nonverbal stimuli, the numerical differences for these comparisons were in the **opposite** direction: That is, HL listeners were better with nonverbal stimuli overall, and NH listeners were better with verbal stimuli overall. When these opposing differences are considered simultaneously in the interaction term, the result is a statistically significant effect.

Page 17, In describing the decomposition of the group X age interaction, the authors actually describe simple effect contrasts confirming the main effect of age. The appropriate decomposition would involve comparison of normal hearing vs. hearing impaired listeners separately at each age level. As in the case of the group x type interaction on page 8 (described immediately above), it could turn out that neither of those individual comparisons is significant, but that the interaction term is because of the opposing differences (i.e., HL listeners scored slightly lower than NH listeners at age 6-7 and scored a bit higher than NH listeners at age 9-10).

**miscellany:**

page 2, line 9, "...non-words did not differ significantly between a group of 7-year old..."

page 3, line 7: It appears to me the tasks are not similar, but rather are identical, hence the artificiality of considering the data sets for the two age groups separately.

page 3, line 18: insert comma "...or progresses at a slower rate, the older children..."

page 4, line 7: "significantly better results than ..."

page 4, line 12: "If this is the case,"

page 4, line 13-14: rewrite as "...should be observed between the 9-10 year old subjects having a hearing loss and those of similar age having normal hearing."

- page 4, Participants: change "9 and 10 year-olds" to "9-10 year-olds" to avoid ambiguity (i.e., you didn't have 24 nine year olds and 24 ten year olds)
- page 5, line 1-3: rewrite as "A test of laterality (De Agostini & Dellatolas, 1988) demonstrated a right side dominance for all subjects.
- page 9, line 1: "obtained across groups were collapsed,..."
- page 9, line 6: rewrite as: "Figure 2 presents the results obtained for blocks of trials involving 2-item sequences of verbal or nonverbal stimuli."
- page 11, line 2: "...to recall the order of sequences..."
- page 13, line 2 of first full paragraph, "syllable" misspelled.
- page 14, line 8, "they are" rather than "it is"
- page 14, line 14, here and elsewhere "performance" rather than "performances" Also "improves" rather than "improve"

I think that line figures, such as Figure 8, are much easier to interpret than the bar graphs used for most of your presentations. This will be increasingly important with the addition of the age variable to overall analyses, yielding more three-way interactions of the sort readily apprehended via Figure 8.

MS# 98JH0021 'Auditory Sequential Organization Among Children With and Without a Hearing Loss:  
Part II: Developmental Aspects'

This study is the second in a series examining the ability of children with and without hearing impairment to correctly reproduce sequences of sounds that varied in number, temporal spacing, and type. The present paper introduces data from older children (9-10 yrs) and also compares these findings to those from younger children (6-7 yrs). In general, children with hearing loss tend to perform more poorly than normal when the stimuli are speech sounds.

**1) Adequacy of rationale**

The present study builds upon the findings of the first paper in the series. Until the rationale for the first paper is more secure, the adequacy of the rationale for the present paper is somewhat moot. In particular, the fundamental problem that the perceptual contrast for the stimuli used as verbal tokens was less pronounced than the stimuli used as non-verbal tokens means that the basic issue of verbal/non-verbal effects is questionable. (This possibility is broached in the paragraph beginning at the bottom of Page 13.)

**2) Accuracy and scope of literature review**

-I don't think the reference provided in the bibliography for ANSI (1989) is the correct one for the designation of audiometric threshold.

-Page 13, Para 2: Schum & Collins (1990) is not in the references.

-None of the Tallal & Piercy references in the bibliography are cited in the text.

**3) Appropriateness of research design, data analysis and interpretation of results.**

-Abstract, line 11: I didn't think that the analysis showed a significant effect for the 425-msec ISI.

-Many of the comments of the first paper are applicable here:

-The rationale/interpretation of the Colored Progressive Matrices test is omitted.

-The reader is told that a third block of trials was undertaken when there was at least a 20% difference between the results of the first two blocks and that, when this occurred, only the data from the 2 blocks yielding the most similar results were used. In order to interpret this, it is necessary to know how often this occurred and whether the direction of the difference was always towards better performance (suggesting a learning effect between session 1 and session 2).

-From Figs. 1, 2, 4, 5, & 8, it is evident that a ceiling and/or a floor effect was present in some conditions. This deserves comment in the discussion of the results.

The statement on Page 11, line 6 indicating that the present results are similar to those of the first paper is a little misleading. Here, there were no group differences for either verbal or non-verbal stimuli as a function of sequence length; however, in the first paper, there was a group difference for verbal stimuli as a function of sequence length.

The suggestion (Page 11, line 17) that the superior non-verbal memory span for the children with hearing loss is due to their auditory training exercises seems a bit of a stretch to me. This contention needs some support, especially since such training did not apparently give an advantage for verbal memory span.

Page 19 (Catching-up phenomenon): Why not do statistics here instead of relying on "visual examination of the data?"

**4) Organization of the manuscript.**

In terms of organization of the MS., the question of the division of material in the first and second papers is raised. The first paper is subtitled Evaluation and deals with the younger age group. The second paper is subtitled Developmental Aspects and deals both with the older age group and with the comparison of the older group with the younger group. Given that there are 3 general sets of analyses: (1) performance of younger children; (2) performance of older children; and (3) comparative performance of younger and older children, it is not clear to me that the choice of subtitles is particularly meaningful.

The heading styles under RESULTS (page 7) lead to some confusion. The heading AUDITORY SEQUENTIAL ORGANIZATION TASK is given the same style as RESULTS and therefore gives the appearance that this is a separate section.

## 5) Clarity of writing:

- Abstract, line 14 (and elsewhere): I'm not sure "mnestic" is real word – why not stick to "memory"
- Abstract, lines 20/21: "...revealed that the performance of both groups improved..."
- Page 2, 3<sup>rd</sup> line from bottom: "Hall & Gibbs"
- Page 3, Section I, lines 7 – 9: "If...disabilities for verbal stimuli persist as a function of age, or if the development...slower rate, then older..."
- Page 4, line 1: "a reduced memory capability"
- Page 5, Material, line 2: "1-kHz pure tone."
- Page 6, last Para: I suggest moving the sentence "During a second session,..." to the preceding paragraph so that the new paragraph begins with "The stimuli were digitized..."
- Page 8, last line: "...decompose the Type X..."
- Page 11, line 19: "exercises"
- Page 12, line 14: "...& Stewart (1997)..."
- Page 13, line 13 : "syllable"
- Page 19: How about "Maturational effects" instead of "Catching-up phenomenon"
- Page 20, line 9 (and Page 21, lines 16 & 18): Again, "catching-up phenomenon" is an awkward phrase.
- Page 23, bottom: "SoundEdit"

I hope these comments are useful to the authors.

**Appendice E**

---

**Pré-expérimentation I**

## **Objectif**

Nous voulions vérifier si les syllabes utilisées pour l'étude étaient bel et bien perçues comme étant /ba/ et /da/, et ce sans qu'aucun indice sur le type de syllabes ne soit donné aux participants.

## **Méthodologie**

Une expérimentation a été effectuée auprès de 12 adultes (11 femmes et 1 homme) sans perte auditive dont l'âge variait entre 20 et 29 ans. Les stimuli ont été enregistrés et présentés selon la procédure décrite dans la section « Material et equipment » de l'article 2. À l'aide d'écouteurs, on présentait aux sujets /ba/ ou /da/ et ceux-ci devaient écrire la syllabe qu'ils avaient entendue. Les stimuli étaient émis à 55 dB HL à l'oreille droite. Chaque syllabe était présentée cinq fois, de façon aléatoire. Par la suite, les sujets devaient identifier les syllabes qui composaient des séquences de deux éléments (/ba/ ou /da/) avec un intervalle interstimuli (IIS) d'une durée 30 ms. Les sujets devaient aussi effectuer la même tâche avec des séquences de six éléments avec un IIS de 425 ms. Nous voulions ainsi vérifier si la perception de la syllabe pouvait varier lorsqu'elle était émise avec un IIS de très courte durée. De plus, nous voulions savoir si un nombre important d'éléments en séquence pouvait changer la perception de la syllabe.

## **Résultats**

Le tableau 1 illustre le pourcentage moyen obtenu pour l'identification du /ba/ et du /da/, respectivement. Les tableaux 2 et 3 montrent les substitutions de syllabes commises par certains sujets.

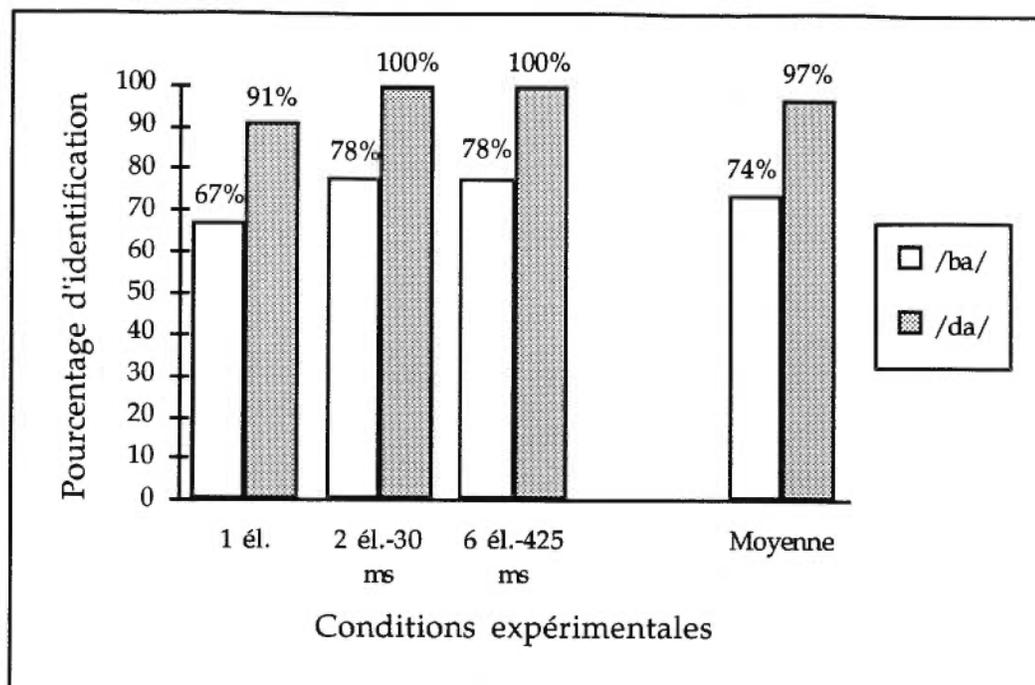


Figure 1. Pourcentage d'identification des syllabes /ba/ et /da/ en fonction des conditions d'écoute : 1) lorsque les stimuli étaient présentés individuellement (1 él.); 2) lorsque les stimuli étaient présentés dans des séquences de deux éléments avec un intervalle interstimuli de 30 ms (2 él.-30 ms) et 3) lorsque les stimuli étaient présentés dans des séquences de six éléments avec un intervalle interstimuli de 425 ms (6 él.-425 ms). Les colonnes de droite illustrent le pourcentage d'identification moyen obtenu pour les trois conditions d'écoute.

Pour toutes les tâches expérimentales, on constate qu'en moyenne le /da/ est mieux reconnu que le /ba/ (97% et 74%, respectivement). Le pourcentage d'identification de chaque syllabe présentée individuellement se situe légèrement sous le pourcentage moyen (/da/, 91%; /ba/, 67%). Par contre, lorsque les syllabes se retrouvent dans une séquence, le pourcentage est au-dessus du pourcentage moyen (/da/, 100%; /ba/, 78%).

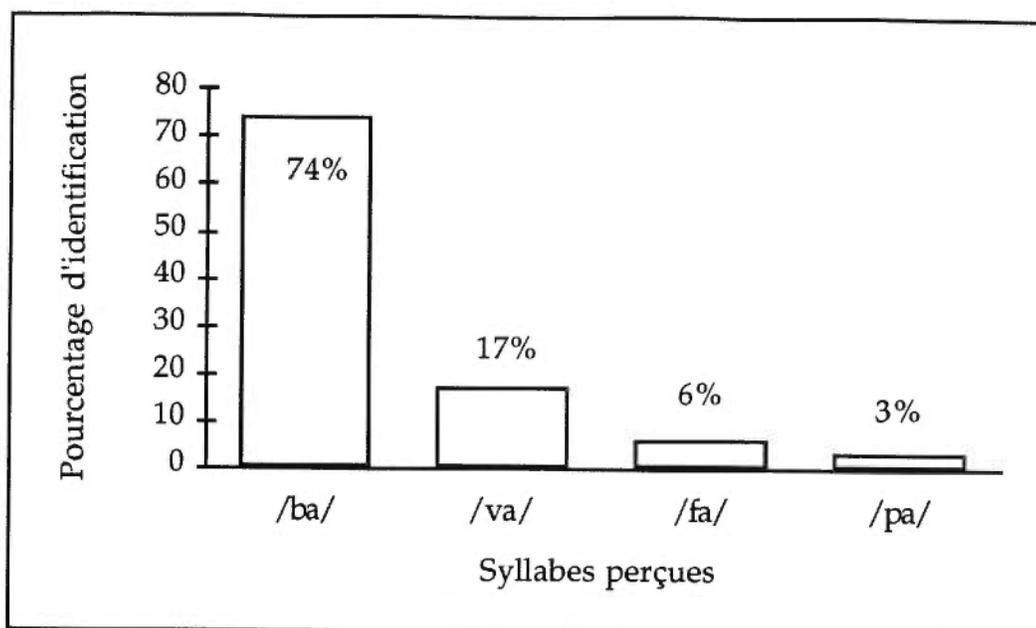


Figure 2. Pourcentage d'identification du /ba/ et pourcentage associé aux syllabes substituées à /ba/, tel que rapporté par les participants. Ces pourcentages représentent la moyenne des pourcentages obtenus aux trois tâches décrites à la figure 1.

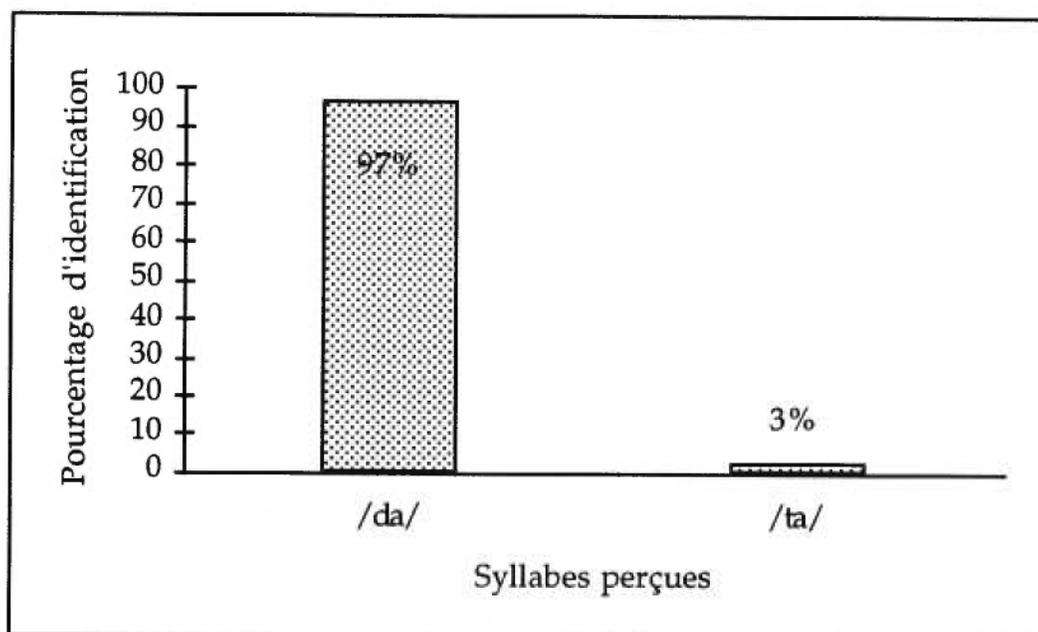


Figure 3. Pourcentage d'identification du /da/ et pourcentage associé aux syllabes substituées à /da/, tel que rapporté par les participants. Ces pourcentages représentent la moyenne des pourcentages obtenus aux trois tâches décrites à la figure 1.

Les erreurs associées au test de reconnaissance du /ba/ sont /va/ pour 17%, /fa/ pour 6% et /pa/ pour 3%. Ce type d'erreurs pourrait s'expliquer par le lieu d'articulation du /b/, qui est très près du /v/ et du /f/, ou par le trait distinctif de voisement. Le fait que le pourcentage de substitution le plus élevé soit obtenu par /va/ n'est donc pas le fruit du hasard. D'ailleurs, en espagnol, le phonème /b/ se prononce /b/ ou /v/, selon le contexte (Bénaben, 1993; Bouzet, 1971). Pour ce qui est du /da/, les erreurs de substitution sont liées au voisement. Un des participants a entendu /ta/ au lieu de /da/.

### **Conclusion**

Compte tenu que les sujets ont effectué les épreuves d'identification à choix ouvert, nous considérons les résultats très bons. Le pourcentage d'identification varie d'une syllabe à l'autre. La syllabe /da/ atteint l'excellent pourcentage d'identification de 100% lorsqu'elle est présentée en séquence. Pour ce qui est de la syllabe /ba/, ce pourcentage est bon puisqu'il se situe presque à 80%. En aucun cas, il ya eu confusion entre la syllabe /ba/ et la syllabe /da/. Il est possible de croire que ces pourcentages pourraient s'améliorer dans la condition expérimentale où les participants seront informés à l'avance du type de syllabes qu'ils auront à identifier, lorsque présentées de façon aléatoire. Ceci fait l'objet de la deuxième pré-expérimentation (voir appendice F).

### **Références**

- Bénaben, M. (1993). *Manuel de linguistique espagnole*. Paris: Ophrys.
- Bouzet, J. (1971). *Grammaire espagnole*. Paris: Eugène Belin.

**Appendice F**

---

**Pré-expérimentation II**

## **Objectif**

Nous voulions connaître le pourcentage d'identification des syllabes /ba/ et /da/ lorsque les participants sont informés à l'avance du type de syllabes qu'ils auront à identifier, lorsque présentées de façon aléatoire. Cette pré-expérimentation a permis de s'assurer que les stimuli verbaux utilisés pour l'expérimentation de l'étude pouvaient être reconnus distinctement (à travers l'équipement qui servirait à l'expérimentation) avec un pourcentage d'identification élevé.

## **Méthodologie**

Une expérimentation a été effectuée auprès de douze participants âgés entre 10 et 36 ans (3 filles, 6 femmes et 3 hommes). Tous les sujets avaient une sensibilité auditive normale. Les stimuli ont été enregistrés et présentés selon la description des sections « Material et equipment » et « Procedure » de l'article 2. À l'aide d'écouteurs, les sujets entendaient le /ba/ ou le /da/ et devaient presser le bouton de la boîte expérimentale correspondant à la syllabe. Les stimuli étaient émis à 55 dB HL à l'oreille droite. Les deux syllabes ont été présentées dix fois chacune, de façon aléatoire.

## **Résultats**

Le tableau 1 illustre le pourcentage moyen obtenu pour l'identification du /ba/ et du /da/, respectivement. Ce pourcentage est de 99% pour les deux syllabes pour cette condition expérimentale. Les deux seules erreurs retracées ont été commises par deux sujets. Un des sujets a substitué le /ba/ pour le /da/ et l'autre sujet a effectué l'erreur inverse.

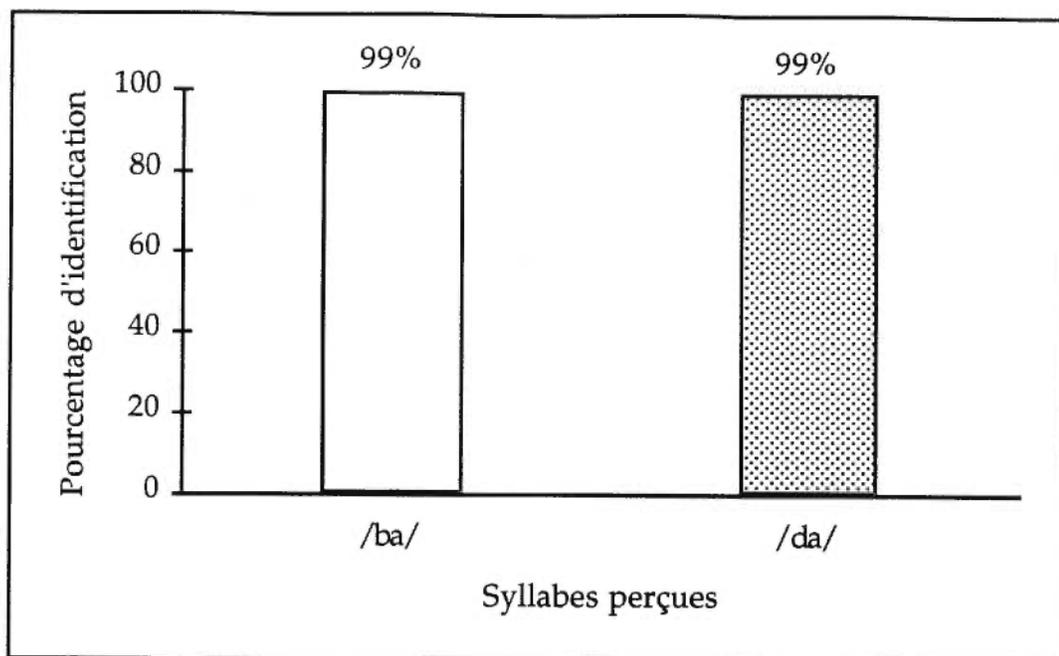


Figure 1. Pourcentage d'identification des syllabes /ba/ et /da/.

### Conclusion

Tel qu'attendu, on constate que l'identification des syllabes /ba/ et /da/ atteint un pourcentage presque maximal lorsque la tâche est effectuée dans un choix fermé de syllabes. Ces résultats démontrent que ces syllabes sont identifiées de façon distincte avec l'équipement utilisé pour l'expérimentation de l'étude.

## **Appendice G**

---

### **Pré-expérimentation III**

## **Objectif**

Afin de choisir le nombre de séquences nécessaire à l'expérimentation, nous avons mené une pré-expérimentation. Plus spécifiquement, nous voulions vérifier auprès des enfants malentendants s'il existait une différence significative entre les performances des sujets lors de la reproduction de blocs de dix séquences et celles des sujets pour la présentation de 20 séquences. De plus, nous avons étudié l'effet d'apprentissage relié à l'exposition répétée du rappel de l'ordre de stimuli acoustiques auprès de cette population.

## **Méthodologie**

### Participants

Quatre sujets malentendants (deux garçons et deux filles) de 6-7 ans ont participé à cette expérimentation. La moyenne d'âge était de 7 ans et 3 mois. Nous avons choisi des enfants de cet âge parce qu'ils étaient les plus susceptibles de montrer le plus de variations dans les résultats. Leurs seuils audiométriques sont rapportés dans le tableau 1. Trois sujets étaient droitiers et un sujet était gaucher, selon le test de latéralité de De Agostini et Dellatolas (1988).

### Matériel et équipement

Des stimuli non verbaux ont été utilisés au lieu de stimuli verbaux parce qu'ils étaient plus faciles à distinguer. Nous pouvions obtenir ainsi les mesures voulues sans augmenter inutilement le degré de difficulté de la tâche. Les stimuli étaient donc formés d'un son pur de 1 kHz et d'un bruit à bande large axé sur les fréquences de la parole (250 Hz - 8 kHz). Ils

ont été créés à partir du logiciel Mitsyn (1993). La durée des stimuli était de 250 ms avec des temps de montée et de descente de 2,2 ms. Ils ont été stockés dans un ordinateur Macintosh PowerBook 145 à l'aide du logiciel SoundEdit Pro (1992). La présentation des stimuli se faisait à partir de l'ordinateur PowerBook 145 via un audiomètre Madsen Orbiter 922 auquel était branché une paire d'écouteurs TDH-39. L'audiomètre permettait de contrôler les niveaux de pression sonore. Le logiciel PsychLab (1992) servait à préserver l'ordre prédéterminé des séquences lors de leur présentation et à maintenir la durée de l'intervalle interstimuli à 425 ms. De plus, ce logiciel permettait l'enregistrement des réponses des sujets. Les stimuli étaient présentés uniquement à l'oreille droite.

Sujet	Âge	A/A	Sexe	Cause	Seuils auditifs (dB HL)						Niveau	Nombre
					250	500	1000	2000	4000	8000		
1	7:09	1:02	f	Hérédité	85	100	105	105	90	95	105	4
2	7:11	1:10	f	Hérédité	50	65	70	75	65	65	85	6
3	6:03	2:04	m	Anoxie	15	35	55	60	70	90	85	4
4	7:01	2:01	m	Inconnue	55	85	90	90	95	NT	105	4

Tableau 1. Informations concernant les quatre sujets malentendants qui ont participé à la présente expérimentation. Ces informations sont : l'âge de l'enfant lors de la première rencontre; l'âge auquel l'enfant a commencé à porter ses appareils auditifs (A/A); le sexe de l'enfant; la cause de la surdité; la mesure du seuil auditif de l'oreille droite aux fréquences de 250 Hz à 8 kHz. Cette mesure a été réalisée moins d'un an avant la première rencontre (NT = non testé). Dans l'avant-dernière colonne (Niveau), nous avons rapporté le niveau de présentation des stimuli en dB HL. Dans la dernière colonne, on retrouve le nombre d'éléments en séquence déterminé pour chaque sujet.

## Déroulement

Nous avons rencontré les sujets à deux reprises. Lors de la première rencontre, les sujets devaient se soumettre au test de raisonnement non verbal (Raven, 1956), à une mesure de la sensibilité auditive, si les résultats de la dernière évaluation dataient de plus d'un an, et à un test de latéralité (De Agostini et Dellatolas, 1988). Ils devaient également effectuer les épreuves d'association et d'identification de stimuli non verbaux, telles que décrites dans l'article 2. Ensuite, nous avons demandé aux sujets de reproduire des séquences d'éléments non verbaux dont le nombre variait à chaque bloc de vingt séquences. Ces essais ont permis de déterminer, pour chaque sujet, le nombre précis d'éléments en séquence nécessaire pour évaluer une amélioration dans le temps des performances (voir tableau 1). Pour éviter les effets plancher et plafond, ce nombre devait se situer entre 8 et 14 séquences correctement reproduites sur un total de vingt séquences. Selon le nombre d'éléments préalablement établi pour chacun d'eux, les sujets devaient effectuer dix essais de reproduction de blocs de vingt séquences. Une partie de ces essais a été effectuée lors de la première rencontre et les autres essais ont été menés lors de la deuxième rencontre. Au début de la deuxième rencontre, les sujets devaient refaire l'épreuve d'identification des stimuli acoustiques non verbaux.

## **Résultats**

### Test de raisonnement non verbal

Pour deux des sujets, les résultats au test de «Coloured Progressive Matrices» de Raven (1956) se situaient entre le 25<sup>e</sup> et le 50<sup>e</sup> percentile tandis que ceux des deux autres sujets se retrouvaient au-delà du 75<sup>e</sup>

percentile. Ces résultats suggèrent que ces sujets sont «intellectuellement» dans la moyenne ou au-dessus de la moyenne selon Raven (1956).

### Épreuve d'organisation séquentielle auditive

Nous avons alloué un point à chaque séquence correctement reproduite. Pour chaque sujet, nous avons calculé la somme de ces séquences à chacun des essais.

La figure 1 illustre les moyennes des valeurs obtenues par les sujets pour chacune des sessions. Quant à la figure 2, elle présente la moyenne des valeurs obtenues pour les dix premières séquences et celle des dix dernières séquences lors de la présentation d'un bloc de vingt séquences.

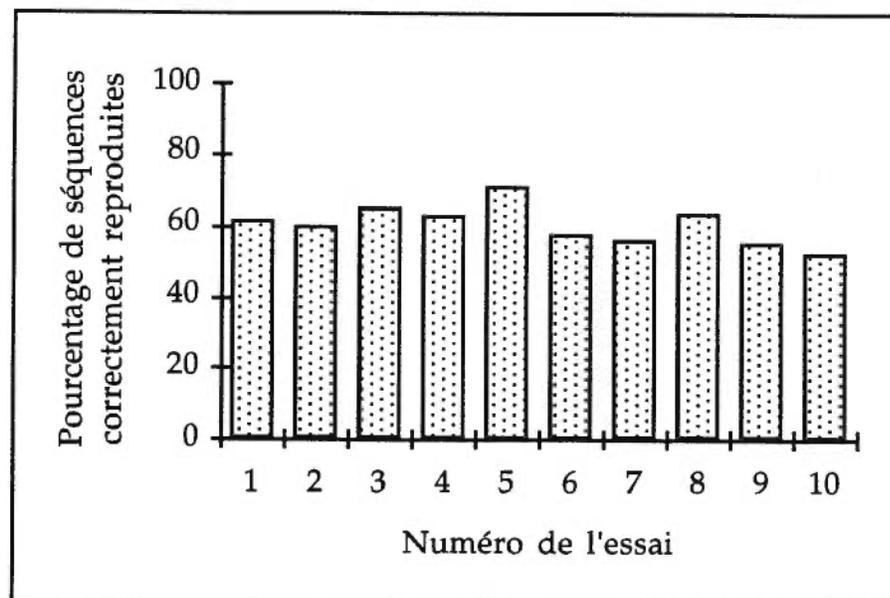


Figure 1. Pourcentage de séquences correctement reproduites en fonction du nombre d'essais auxquels les sujets malentendants ont participé.

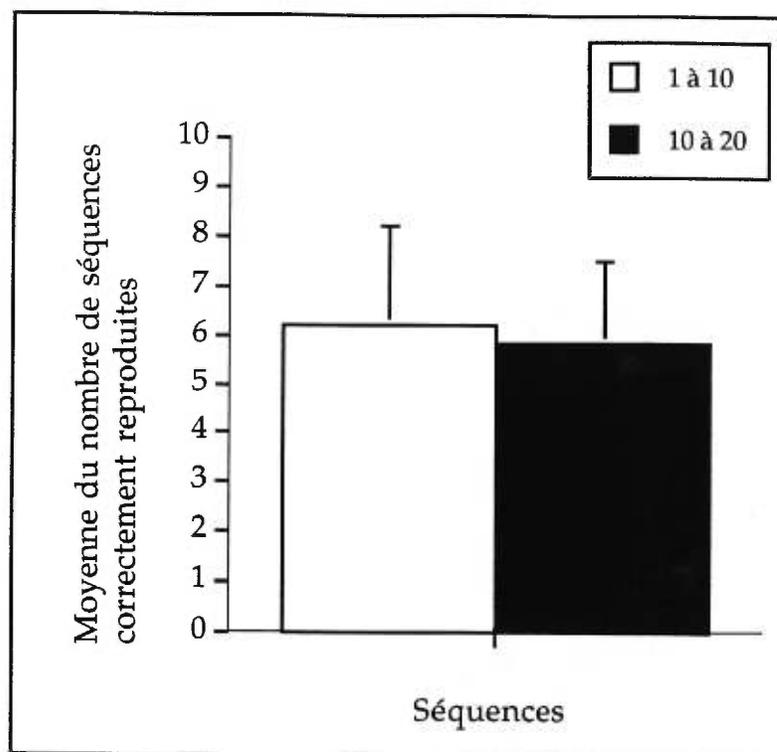


Figure 2. Moyenne et écart-type (barre) du nombre de séquences correctement reproduites par quatre sujets malentendants de 6-7 ans en fonction de l'ordre de présentation des vingt séquences; les dix premières (1 à 10) versus les dix dernières (10 à 20) séquences.

Une analyse de variance (ANOVA) à mesures répétées a été effectuée à partir des deux variables indépendantes : le nombre de sessions (1 à 10) et l'ordre de présentation des blocs de 10 séquences (les dix premières séquences versus les dix dernières séquences).

Les résultats de l'ANOVA ne démontrent aucune différence significative pour les facteurs principaux : nombre de sessions [ $F(9, 27) =$

3.06,  $p > .05$ ]; ordre de présentation [ $F(1, 3) = 1.27, p > .05$ ], et pour l'effet d'interaction entre ces deux facteurs [ $F(9, 27) = .8, p > .05$ ].

### **Conclusion**

Pour cette expérimentation auprès d'enfants malentendants, nous poursuivions deux objectifs : 1) vérifier si une différence significative pouvait exister entre la présentation de blocs de 10 séquences et celle de 20 séquences et 2) identifier si une amélioration des performances des participants pouvait survenir après une exposition répétée à la tâche de rappel de séquences de stimuli acoustiques. Ces informations étaient utiles pour concevoir une expérimentation permettant de recueillir des données fiables auprès d'enfants ayant des problèmes d'audition lorsqu'ils doivent reproduire des séquences de stimuli acoustiques.

Les résultats suggèrent qu'une exposition à dix sessions d'entraînement ne semble pas permettre une amélioration significative des performances des sujets malentendants d'une session à l'autre. L'analyse statistique n'a pas permis de montrer une différence significative entre les différentes sessions d'entraînement. À la lumière de ces résultats, nous avons décidé de soumettre les sujets à l'épreuve d'organisation séquentielle auditive en ne répétant qu'une seule fois les différentes tâches d'écoute. De plus, les résultats ont permis de constater qu'il n'y avait pas de différence significative entre les valeurs obtenues lors des dix premières présentations de séquences et celles recueillies durant la présentation des dix dernières séquences de blocs de vingt séquences. Pour l'expérimentation, nous avons donc diminué le nombre de séquences par bloc à dix au lieu de maintenir la présentation de blocs de vingt séquences.

## Références

De Agostini M., & Dellatolas G. (1988). Une épreuve simple pour évaluer la préférence manuelle chez l'enfant à partir de 3 ans. *Enfance*, 41, 139-147.

Mitsyn. (1993). Software program. Microsoft Windows 3.1. DigiVox, Montréal, Québec, Canada.

PsychLab (1992). Version 1. Teren Gum, Montréal, Québec, Canada.

SoundEdit Pro (1992). Version 1.0. Macromedia Canada Inc., Pointe Claire, Québec.

Raven, J.C. (1956). *Colored Progressive Matrices*. Londres : H. K. Lewis & Co. Ltd.

## **Appendice H**

---

**Lettres d'approbation des comités d'éthique  
et du ministre de la Santé,  
exemples de lettres de recrutement et  
de formulaires de consentement**



Université de Montréal  
Faculté de médecine  
Vice-décanat  
Recherche et études supérieures

**APPROBATION DU COMITÉ D'ÉTHIQUE DE LA RECHERCHE  
DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE**

Le Comité d'éthique a étudié le projet intitulé : **Habilité  
auditive centrale d'enfants malentendants : organisation  
séquentielle de stimuli acoustiques.**

présenté par : M. Benoît Jutras / Dr Jean-Pierre Gagné

et a convenu que la recherche proposée sur des humains est  
conforme à l'éthique.



Signature de Pierre Biron, Président

Date : 20 mars 1995

Numéro de référence : CERFM:SCE(A)-7(95)4#22

**N.B.** Veuillez utiliser le numéro de référence dans toute  
correspondance avec le Comité d'éthique relativement à ce  
projet.

Le 16 janvier 1996



CENTRE  
DE RECHERCHE  
DE L'HÔPITAL  
SAINTE-JUSTINE

Monsieur Benoît Jutras  
Étudiant au doctorat  
Sciences biomédicales, option audiologie  
Université de Montréal

OBJET: Projet intitulé: Habilité auditive centrale d'enfants malentendants:  
organisation séquentielle de stimuli acoustiques.  
Responsables: Benoît Jutras, M.O.A. (étudiant au Ph.D.), Jean-  
Pierre Gagné, Ph.D.(Collaboration HSJ: Nicole Lessard, chef des  
Services en orthophonie et en audiologie)

Monsieur,

Tel que le requiert le règlement établi par le Centre de recherche de l'Hôpital  
Sainte-Justine, concernant la soumission d'un projet de recherche pour  
approbation, à titre de directeur j'ai pris connaissance et approuve votre projet de  
recherche mentionné en objet.

De plus, conformément à l'article 21 du nouveau Code civil, votre projet sera  
soumis au Ministre de la santé pour approbation finale.

Le Directeur du Centre de recherche,



Robert Collu, M.D., FRCPC

RC/nb

THE INSTITUTIONAL REVIEW BOARD

A Montreal Children's Hospital Committee consisting of:

Jane McDonald, M.D., Chairperson  
 Julie D. Paquin, M.D.  
 Carol Schopflocher  
 Carl Elliot, M.D., Ph.D.  
 Susan Drouin, M.Sc.N.  
 Donald Meloche, Ph.D.  
 Sharon Abish, M.D.  
 Andrée Prendergast, S.R.N.  
 Laurel Kimoff, M.D.  
 Kathleen Glass, LL.M.

Microbiology  
 Rheumatology  
 Psychology  
 Ethicist  
 Nursing  
 Pastoral Services  
 Hematology  
 Nonaffiliated  
 Pediatrics  
 Ethicist

has reviewed the clinical research project entitled:

Habilité auditive centrale d'enfants malentendants: organisation séquentielle de stimuli acoustiques

submitted by: Anne-Marie Hurteau, Dr. J.P. Gagné et Benoit Jutras

and consider it to be within acceptable limits of clinical investigation solely from the point of view of medical ethics. The following conditions apply to the ethical approval of the above-named study:

1. Receipt of scientific approval by the McGill University/Montreal Children's Hospital Research Institute. Final approval of the IRB, i.e. the dated and signed IRB stamp on the French and English versions of the consent form will confirm scientific approval from the Research Institute. The protocol will then be submitted to the Minister of Health and Social Services as required by law.
2. The study is approved for a period of one year from the date shown below.
3. Prior to the end of the one-year period, the investigator(s) must advise the Institutional Review Board of the number and status of patients enrolled in the study. We wish to be advised promptly of any significant adverse outcomes.
4. The investigator(s) must inform the Institutional Review Board should any changes be made to the study protocol and/or consent form.
5. **AS OF JANUARY 1ST, 1994, ACCORDING TO ARTICLE 21 OF THE QUEBEC CIVIL CODE, NO PROTOCOL MAY PROCEED UNTIL IT HAS BEEN APPROVED BY THE MINISTER OF HEALTH AND SOCIAL SERVICES. ALSO, THE INVESTIGATOR(S) MUST NOTIFY THE IRB OF THE STARTING DATE OF THE PROTOCOL AND THE DATE IT IS COMPLETED. The IRB reserves the right to examine your study data, including signed consent forms.**

  
 Jane McDonald, M.D., F.R.C.P.(C)  
 Chairperson  
 Institutional Review Board

April 2, 1996  
 Date

cc: June Paterson, MCH Research Institute

L'Hôpital de Montréal pour Enfants  
The Montreal Children's Hospital

UN HÔPITAL D'ENSEIGNEMENT • MCGILL UNIVERSITY • A TEACHING HOSPITAL



INSTITUTIONAL REVIEW BOARD

TO: **Monsieur Benoît Jütras**

FROM: **Madeleine Hollingdrake, Administrative Secretary  
Institutional Review Board**

RE: **MHSS APPROVAL OF RESEARCH PROJECT**

PROJECT NUMBER/TITLE: Habilité auditive centrale d'enfants malentendants:  
organisation séquentielle de stimuli acoustiques

---

---

---

Article 21 of the Quebec Civil Code, which went into effect January 1, 1994, stipulates that not only new research projects but also all ongoing projects which involve minors or incapacitated adults be approved by the Minister of Health and Social Services.

The above-named protocol received ethical approval 2 avril, 1996 and was given final approval by the Minister of Health and Social Services May 16, 1996. Please notify the IRB Committee of the date that the study will commence.

Sincerely,



Madeleine Hollingdrake  
Administrative Secretary  
Institutional Review Board

mh



Children's Hospital of Eastern Ontario  
Hôpital pour enfants de l'est de l'Ontario

401 SMYTH, OTTAWA, ONT. K1H 8L1 TELEPHONE (613) 737-7600

January 27, 1997

Mr. Benoit Jutras  
Ecole d'orthophonie et d'audiologie  
University de Montreal  
C.P. 6128, succursale Centre-ville  
Montreal (Quebec)  
H3C 3J7

Re: Proposal 96/56E - Habileté auditive centrale d'enfants malendants: organisation sequentielle de stimuli acoustiques

Dear Mr. Jutras:

Thank you for your letter of January 6, 1997, with enclosed changes recommended by the Research Ethics Committee. These additions address the majority of concerns raised by our Committee. We are still concerned about your wish to have non-participating families complete the form. However, if you agree to add a sentence explaining that "this is to assure that they will not receive a subsequent letter", the Research Ethics Review Committee is agreeable to this approach.

With the proviso as stated above, please accept this letter as written approval from the Research Ethics Committee for these changes.

It is your obligation to notify the REC prior to the institution of any modifications to this study, or any adverse events which may occur during the course of this study.

To ensure that the REC is kept informed of the progress of clinical studies, we request a yearly progress report from each investigator.

Sincerely,

Alasdair Hunter, M.D.  
Chairman  
Research Ethics Committee

/rw



Hôpital  
de Chicoutimi



Institut Roland-Saucier

---

COMPLEXE HOSPITALIER DE LA SAGAMIE

Le 1996.10.02.

Monsieur Benoit Jutras  
M.O.A.  
Étudiant au doctorat  
Sciences biomédicales, option audiologie  
École d'orthophonie et d'audiologie  
Université de Montréal  
C.P. 6128  
Succursale Centre-ville Montréal (Qc)  
H3C 3J7

SUJET: *HABILITÉ AUDITIVE CENTRALE D'ENFANTS MALENTENDANTS  
ORGANISATION SÉQUENTIELLE DE STIMULI ACOUSTIQUES*

*Cher monsieur,*

*Le sous-comité de bioéthique à la recherche a évalué votre demande d'effectuer votre étude dans les centres hospitaliers de Chicoutimi et de Jonquière.*

*Le sous-comité donne son accord à la poursuite de vos études dans ces deux centres. Cependant, il faudra ajouter le nom de l'audiologiste qui travaille à l'Hôpital de Jonquière soit: Monsieur Raoul Simard.*

*Comme déjà mentionné lors d'une première correspondance, ces projets n'ont pas été soumis au ministre puisque ceux-ci ont été présentés, à deux occasions, par deux comités d'éthique différents soit : l'Hôpital Ste-Justine et l'Hôpital de Montréal pour enfants.*

*En espérant que ces renseignements vous seront utiles, veuillez agréer, cher monsieur, l'expression de mes sentiments les meilleurs.*

  
Patrice Perron  
Président du sous-comité de bioéthique  
PP/lo

 Centre hospitalier  
Affilié à l'Université de Sherbrooke



## Hôpital de Chicoutimi

Une richesse à conserver

Le 1996.09.11.

Monsieur Benoit Jutras .  
M.O.A.  
Étudiant au doctorat  
Sciences biomédicales, option audiologie  
École d'orthophonie et d'audiologie  
Université de Montréal  
C.P. 6128  
Succursale Centre-ville Montréal (Qc)  
H3C 3J7

**SUJET: HABILITÉ AUDITIVE CENTRALE D'ENFANTS MALENTENDANTS  
ORGANISATION SÉQUENTIELLE DE STIMULI ACOUSTIQUES**

Monsieur Jutras,

Le sous-comité de bioéthique à la recherche a évalué, lors de sa dernière réunion du 09 septembre 1996, votre projet ci-haut mentionné.

Le comité donne son accord à la réalisation de votre projet.

Cependant, étant donné le fait que votre projet a été soumis à deux reprises au Ministre et qu'il a été approuvé par celui-ci, nous avons décidé de ne pas le soumettre au Ministre pour une autre approbation.

Le comité désirerait être informé des effets secondaires possibles qui peuvent survenir au cours des études et souhaite avoir, de façon périodique, un compte rendu de l'évolution du protocole de recherche en cours.

Espérant le tout à votre entière satisfaction, veuillez agréer, cher monsieur, l'expression de mes sentiments les meilleurs.

  
Patrice Perron  
Président du sous-comité de bioéthique

PP/lo

Centre hospitalier   
Affilié à l'Université de Sherbrooke



Hôpital  
de Chicoutimi

Chicoutimi, le 11 juillet 1996

Monsieur Benoit Jutras, M.O.A.  
Étudiant au doctorat  
Sciences biomédicales, option audiologie  
École d'orthophonie et d'audiologie  
Université de Montréal  
Case Postale 6128  
Succursale Centre-Ville  
Montréal (Québec)  
H3C 3J7

Monsieur Jutras,

Étant donné que le sous-comité d'éthique à la recherche affilié à l'hôpital de Chicoutimi ne se réunit pas au cours de l'été, j'ai pris connaissance des lettres d'acceptation de l'hôpital Ste-Justine et de l'hôpital Montréal pour enfants.

Je vous donne donc mon accord pour poursuivre votre étude à l'hôpital de Roberval.

Le projet sera soumis au comité d'éthique au retour en septembre 1996 et une correspondance sera alors envoyée au ministre de la santé pour l'approbation officielle étant donné l'article 21 du code civil.

Veuillez recevoir, cher monsieur, mes salutations.



Patrice Perron, M.D. F.R.C.P.(c)  
Endocrinologue  
Président du sous-comité d'éthique

PP/ns

C.C.: Monsieur Jean-Louis Foltz, chef des services de réadaptation fonctionnelle à l'Hôtel-Dieu de Roberval.



Centre hospitalier  
Affilié à l'Université de Sherbrooke

405 St. Vallier Chicoutimi (Québec) C.H. 5H6 Tél. (418) 540-2105



Centre de réadaptation  
**LE BOUCLIER**

Repentigny, le 13 mars 1996

Monsieur Benoît Jutras MOA  
Audiologiste et étudiant au doctorat  
en Sciences biomédicales, Université de Montréal  
CP 6128 Succ A  
Montréal Qc J3Y 5Y7

Monsieur,

Nous avons le plaisir de vous annoncer que, lors de notre comité scientifique du 6 mars 1996, il a été décidé que Le Centre de Réadaptation Le Bouclier accepte votre demande de collaboration au projet de recherche "*Habilité auditive centrale d'enfants malentendants: organisation séquentielle de stimuli acoustiques*".

Pour l'utilisation des cabines audiométriques, vous pourrez contacter directement Lyne Bourbonnais au 514 5823990 ou au 514 755 2741 et Marie Claude Biron au 514 432 7588. La liste des sujets vous sera transmise directement par moi.

Pour toute question, n'hésitez pas à me contacter.  
En espérant ceci à votre convenance, nous vous souhaitons le meilleur déroulement possible pour vos études doctorales.

  
Bernard Michallet  
Coord. progr. de recherche  
C.R. Le Bouclier

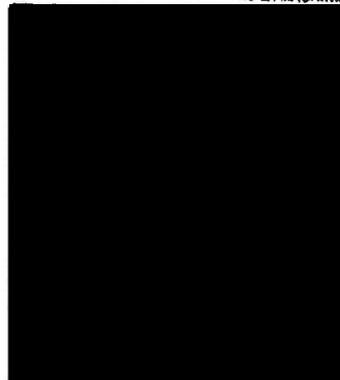
 Gouvernement  
du Québec

Le ministre de la Santé  
et des Services sociaux

Québec, le 9 février 1996

M ACCR CE BORD EN PREMIER DANS LA MACHINE

Monsieur Philippe Chessex, m.d.  
Président du Sous-comité d'éthique  
Centre de recherche de  
l'Hôpital Sainte-Justine  
3175, Côte Sainte-Catherine  
Montréal (Québec)  
H3T 1C5



Québec

Objet : Article 21 du Code civil

Monsieur,

En vertu des pouvoirs qui me sont conférés par l'article 21 du Code civil, j'approuve les huit projets d'expérimentation clinique, que vous me soumettiez le 19 janvier 1996 et pour lesquels le Sous-comité d'éthique a émis des avis favorables. La liste des projets acceptés est jointe à cette lettre.

Je vous prie d'agréer, Monsieur, l'expression de mes sentiments les meilleurs.

Le Ministre,



Jean Rochon

p-j. (1)

Liste des projets soumis au Ministère de la santé  
en date du 19 janvier 1996

- 1.
- 2.
3. Titre du projet: Habileté auditive centrale d'enfants malentendants:  
organisation séquentielle de stimuli acoustiques.  
Responsables: Benoît Jutras, M.O.A. (étudiant au Ph.D.), Jean-Pierre  
Gagné, Ph.D.
- 4.
- 5.
- 6.
- 7.
- 8.

---

LETTRE D'INFORMATION

---

ET

---

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

---

Pour les parents d'enfants entendants

## BESOIN D'ENFANTS POUR PARTICIPER À UNE RECHERCHE

Chers parents,

Je suis un étudiant inscrit au doctorat en audiologie à l'Université de Montréal et je suis à la recherche d'enfants qui pourraient collaborer à mon projet de thèse. Mon projet porte sur la capacité des enfants, avec ou sans problème auditif, à reproduire dans l'ordre des syllabes ou des bruits qu'ils ont préalablement entendus. Les résultats des enfants sans problème auditif seront comparés à ceux des enfants ayant une perte auditive pour connaître si ces deux groupes d'enfants ont des performances semblables. Je vérifie cette habileté à retenir dans l'ordre des syllabes ou des bruits entendus puisque cette capacité est importante pour la perception de la parole.

Les critères de sélection sont :

- ▲- enfants âgés de 6 ans à 7 ans 11 mois ou de 9 ans à 10 ans 11 mois;
- ▲- enfants avec une audition normale;
- ▲- enfants droitiers.

La durée de l'expérience est une session de deux (2) heures. L'expérience aura lieu à l'Institut Raymond-Dewar et se déroulera durant l'été ou l'automne 1995.

Vous trouverez ci-joint une lettre qui vous donnera plus de détails sur le projet et sur l'implication de votre enfant dans cette recherche. Si vous désirez plus d'informations, veuillez communiquer avec moi par téléphone au (514) 284-2581 ou au (514) 343-6057. Si vous voulez que votre enfant participe à ce projet, je vous demanderais de me retourner le coupon qui est au bas de la lettre d'information en utilisant l'enveloppe-réponse et je vous contacterai pour convenir d'un temps de rencontre.

Merci beaucoup de l'attention que vous porterez à ma demande.

Benoît Jutras  
Institut Raymond-Dewar  
3600, rue Berri  
Montréal (Québec)  
H2L 4G9

ÉCOLE D'ORTHOPHONIE ET D'AUDIOLOGIE  
UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL  
ET  
INSTITUT RAYMOND-DEWAR

**LETTRE D'INFORMATION**  
pour les parents d'enfants entendants

Votre enfant est invité à participer à une étude scientifique approuvée par le comité de recherche de la Commission des écoles catholiques de Montréal, par la Direction des services professionnels de l'Institut Raymond-Dewar et par le comité d'éthique de la Faculté de médecine de l'Université de Montréal. La recherche s'intitule «Habilité auditive centrale d'enfants malentendants : organisation séquentielle de stimuli acoustiques».

Nous évaluerons en premier lieu l'audition de votre enfant et ses aptitudes non verbales. Une évaluation de la fonction de l'oreille moyenne sera aussi effectuée afin de savoir si le tympan bouge bien aux deux oreilles. Par la suite, nous procéderons à l'expérimentation qui consiste à reproduire des séquences de syllabes ou de bruits. L'évaluation se fera en chambre insonore et les syllabes ou bruits seront transmis par des écouteurs. Votre enfant aura, dans un premier temps, à distinguer entre la syllabe «ba» et la syllabe «da» ou entre un bruit de bande large qui ressemble à un bruit de douche et un son de 1 kHz. Les syllabes ou bruits seront présentées dix fois chacun. S'il réussit cette épreuve, alors il entendra des séquences formées de deux, de trois, de quatre et de cinq syllabes ou bruits. La durée de l'intervalle entre les syllabes ou bruits sera parfois variable.

Votre enfant sera assis à une table et aura devant lui deux boîtes identiques, de forme carrée et ayant un bouton sur la surface supérieure. Il devra presser le bouton qui correspond à la syllabe ou au bruit qu'il a entendu. Auparavant, nous indiquerons à votre enfant lequel des boutons correspond à chacune des syllabes ou bruits. Il pourra se pratiquer plusieurs fois avant de commencer le test. Pour ces épreuves, nous ne pourrons pas vous communiquer les résultats de votre enfant puisque l'analyse des résultats sera effectuée seulement pour l'ensemble des enfants qui participent à l'étude. Aucun risque n'est relié aux tâches que votre enfant aura à effectuer.

Une caméra vidéo sera placée dans la salle où les tests seront effectués pour enregistrer les réponses de votre enfant. Ceci permettra de vérifier ultérieurement les réponses que l'expérimentateur n'aurait pas pu relever ou de s'assurer de l'exactitude de certaines d'entre elles. Les cassettes vidéo seront effacées dans cinq ans.

Tous les documents qui contiennent des renseignements reliés à votre enfant resteront confidentiels et seront gardés dans un classeur muni d'un verrou de sûreté. Aucun renseignement qui permettrait d'identifier votre enfant n'apparaîtra lors du dépouillement, du traitement et de la divulgation des résultats.

La participation de votre enfant à l'étude est entièrement volontaire et elle implique un déplacement à l'Institut Raymond-Dewar où se déroulera l'expérimentation. La durée de la session sera d'environ deux heures. Les épreuves se feront durant la semaine entre 8h30 et 17h30, pendant la saison estivale ou à l'automne. Vous devrez accompagner votre enfant et si vous le désirez, vous pourrez l'observer durant le déroulement des épreuves.

En donnant votre accord pour que votre enfant participe à l'étude, il aura une évaluation audiolinguistique récente. Vous pouvez refuser que votre enfant participe à l'étude ou vous pouvez annuler votre consentement en tout temps sans préjudice en communiquant avec Benoît Jutras. Il est aussi entendu que votre enfant peut mettre fin à sa participation à n'importe quel moment durant le projet sans qu'il n'y ait aucun effet sur l'enseignement ou les services que votre enfant reçoit à l'école.

---

Personnes responsables :

Benoît Jutras M.O.A.	tél.: 343-6057 ou 284-2581
Jean-Pierre Gagné, Ph.D.	tél.: 343-2499
Jacqueline Labrèche, D. S. P.	tél.: 284-2581

~~~~~ découpez ~~~~~

Je consens à ce que vous me contactiez pour que mon enfant participe à votre recherche qui s'intitule «Habileté auditive centrale d'enfants malentendants : organisation séquentielle de stimuli acoustiques».

Nom de l'enfant

\_\_\_\_\_

Nom du tuteur légal (lien de parenté)

\_\_\_\_\_

Signature du tuteur légal

\_\_\_\_\_

Numéro de téléphone

\_\_\_\_\_

Date

\_\_\_\_\_

ÉCOLE D'ORTHOPHONIE ET D'AUDIOLOGIE  
UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL  
ET  
INSTITUT RAYMOND-DEWAR

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT  
pour les parents d'enfants entendants

Votre enfant est invité à participer à une étude scientifique approuvée par le comité d'éthique de la Faculté de médecine de l'Université de Montréal, par le comité de la recherche à la Commission des écoles catholiques de Montréal et par la Direction des services professionnels de l'Institut Raymond-Dewar.

Nature du protocole

La recherche s'intitule «Habilité auditive centrale d'enfants malentendants : organisation séquentielle de stimuli acoustiques». Elle porte sur la capacité des enfants, avec ou sans problème auditif, à reproduire dans l'ordre des syllabes ou des bruits qu'ils ont préalablement entendus. Les résultats des enfants sans problème auditif seront comparés à ceux des enfants ayant une perte auditive pour connaître si ces deux groupes de sujets ont des performances semblables. Nous vérifions cette habileté à retenir dans l'ordre des syllabes ou des bruits entendus puisque cette capacité est importante pour la perception de la parole.

Nous évaluerons l'audition de votre enfant si la dernière évaluation audiolgogique qu'il a eu date de plus de six mois et la fonction de l'oreille moyenne afin de savoir si le tympan bouge bien aux deux oreilles. Aussi, nous évaluerons ses aptitudes de raisonnement non verbal en lui demandant de compléter des séries d'images. Par la suite, nous procéderons à l'expérimentation qui consiste à reproduire des séquences de syllabes ou de bruits. L'évaluation se fera en chambre insonore et les syllabes ou bruits seront transmis par des écouteurs. Votre enfant aura, dans un premier temps, à distinguer entre la syllabe «ba» et la syllabe «da» ou entre un bruit de bande large qui ressemble à un bruit de douche et un son de 1 kHz. Les syllabes ou bruits seront présentées dix fois chacun. S'il réussit cette épreuve, alors il entendra des séquences formées de deux, de trois, de quatre et de cinq syllabes ou bruits. La durée de l'intervalle entre les syllabes ou bruits sera parfois variable.

Votre enfant sera assis à une table et aura devant lui deux boîtes identiques, de forme carrée et ayant un bouton sur la surface supérieure. Il devra presser le bouton qui correspond à la syllabe ou au bruit qu'il a entendu. Auparavant, nous indiquerons à votre enfant lequel des boutons correspond à chacune des syllabes ou bruits. Il pourra se pratiquer plusieurs fois avant de commencer le test. Pour ces épreuves, nous ne pourrons pas vous communiquer les résultats de votre enfant puisque l'analyse des résultats sera effectuée seulement pour l'ensemble des enfants qui participent à l'étude.

Une caméra vidéo sera placée dans la salle où les tests seront effectués pour enregistrer les réponses de votre enfant. Ceci permettra de vérifier ultérieurement les réponses que l'expérimentateur n'aurait pas pu relever ou de s'assurer de l'exactitude de certaines d'entre elles. Les cassettes vidéo seront effacées dans cinq ans.

La durée de l'expérience sera d'environ deux (2) heures et l'expérimentation se déroulera à l'Institut Raymond-Dewar ce qui implique un déplacement. Les épreuves se feront durant la semaine entre 8h30 et 17h30, pendant la saison estivale ou à l'automne. Vous devrez accompagner votre enfant et si vous le désirez, vous pourrez l'observer durant le déroulement des épreuves.

#### Risques et avantages

Aucun risque n'est relié aux tâches que votre enfant aura à effectuer. En donnant votre accord pour que votre enfant participe à l'étude, il aura une évaluation audiolinguistique récente.

#### Personnes contact

**Benoît Jutras M.O.A.**  
Audiologiste et étudiant au doctorat  
en sciences biomédicales, Université de Montréal  
Tél.: 343-6057 ou 284-2581

**Jean-Pierre Gagné, Ph.D.**  
Professeur à l'École d'orthophonie et  
d'audiologie, Université de Montréal  
Tél.: 343-2499

**Jacqueline Labrèche, T.S.**  
Directrice des services professionnels  
Institut Raymond-Dewar  
Tél.: 284-2581

#### La confidentialité

Tous les documents qui contiennent des renseignements reliés à votre enfant resteront confidentiels et seront gardés dans un classeur muni d'un verrou de sûreté. Aucun renseignement qui permettrait d'identifier votre enfant n'apparaîtra lors du dépouillement, du traitement et de la divulgation des résultats.

Liberté du consentement et de se retirer

La participation de votre enfant à l'étude est entièrement volontaire. Vous pouvez refuser que votre enfant participe à l'étude ou vous pouvez annuler votre consentement en tout temps sans préjudice en communiquant avec Benoît Jutras. Il est aussi entendu que votre enfant peut mettre fin à sa participation à n'importe quel moment durant le projet sans qu'il n'y ait aucun effet sur l'enseignement ou les services que votre enfant reçoit à l'école.

Votre signature apposée au formulaire de consentement indique que vous avez lu l'information contenu dans ce formulaire, que les personnes responsables ont répondu de façon satisfaisante à toutes vos questions concernant le projet et que vous consentez à ce que votre enfant participe à l'étude ci-haut mentionnée.

---

**SIGNATURE DU FORMULAIRE DE CONSENTEMENT**  
pour les parents d'enfants malentendants

J'ai lu la lettre d'information, on a répondu à mes questions et je consens de façon volontaire à ce que mon enfant participe à l'étude intitulée «Habilité auditive centrale d'enfants malentendants : organisation séquentielle de stimuli acoustiques». De plus, je reconnais qu'on m'a expliqué verbalement le projet, qu'on m'a remis des notes explicatives complémentaires et qu'on m'a aussi laissé le temps voulu pour prendre ma décision. Enfin, j'atteste que mon enfant a donné son assentiment et qu'il ne s'y oppose pas.

Nom du sujet :

\_\_\_\_\_

Nom du tuteur légal et lien de parenté :

\_\_\_\_\_

Signature du tuteur légal :

\_\_\_\_\_

Numéro de téléphone :

\_\_\_\_\_

Date de naissance du sujet :

\_\_\_\_\_

Nom du témoin :

\_\_\_\_\_

Signature du témoin :

\_\_\_\_\_

Nom du chercheur :

\_\_\_\_\_

Signature du chercheur :

\_\_\_\_\_

Signé à Montréal (Québec), le \_\_\_\_/\_\_\_\_/199\_\_

**Expérimentation**

---

**LETTRE D'INFORMATION**

---

**ET**

---

**FORMULAIRE DE CONSENTEMENT**

---

**Pour les parents d'enfants malentendants**

## BESOIN D'ENFANTS POUR PARTICIPER À UNE RECHERCHE

Chers parents,

Je suis un étudiant inscrit au doctorat en audiologie à l'Université de Montréal et je suis à la recherche d'enfants qui pourraient collaborer à mon projet de thèse. Mon projet porte sur la capacité des enfants, avec ou sans problème auditif, à reproduire dans l'ordre des syllabes ou des bruits qu'ils ont préalablement entendus. Les résultats des enfants sans problème auditif seront comparés à ceux des enfants ayant une perte auditive pour connaître si ces deux groupes d'enfants ont des performances semblables. Je vérifie cette habileté à retenir dans l'ordre des syllabes ou des bruits entendus puisque cette capacité est importante pour la perception de la parole.

Avec l'autorisation de madame Jacqueline Labrèche, Directrice des services professionnels et la collaboration de l'archiviste de l'Institut Raymond-Dewar (IRD), votre enfant a été sélectionné comme candidat potentiel pour participer à mon projet de thèse. Les critères de sélection sont les suivants :

- ▲- enfants âgés de 6 ans à 7 ans 11 mois ou de 9 ans à 10 ans 11 mois
- ▲- ayant une perte auditive neurosensorielle aux deux oreilles
- ▲- qui auront commencé à porter des appareils auditifs avant l'âge de 6 ans et depuis au moins 2 ans
- ▲- qui ont été suivis en orthophonie et en audiologie au moins 2 ans
- ▲- droitiers (à vérifier avec vous)

L'expérience proposée s'échelonne sur deux ou trois rencontres et aura lieu au printemps et à l'été 1996. La première rencontre se fera à l'Institut Raymond-Dewar qui est situé au 3600, rue Berri à Montréal. Les autres rencontres se dérouleront à l'endroit et à l'heure qui conviendront le mieux à votre enfant et à vous.

Le succès de cette étude repose sur la participation du plus grand nombre d'enfants. Votre collaboration s'avère fort précieuse. Si vous acceptez ou non que votre enfant participe à cette recherche, remplissez le coupon qui est au bas de la lettre d'information et retournez le en utilisant l'enveloppe-réponse. Dans le cas où vous donnez votre accord, je vous contacterai pour convenir d'un temps de rencontre. Soyez assurés que votre réponse ne modifiera aucunement les services que votre enfant reçoit à l'Institut Raymond-Dewar.

Je vous remercie de contribuer à l'avancement des connaissances dans le domaine de la surdité et recevez, chers parents, mes sincères salutations.

Benoît Jutras  
 Institut Raymond-Dewar  
 3600, rue Berri  
 Montréal (Québec)  
 H2L 4G9

ÉCOLE D'ORTHOPHONIE ET D'AUDIOLOGIE  
UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL  
ET  
INSTITUT RAYMOND-DEWAR

LETTRE D'INFORMATION  
pour les parents d'enfants malentendants

Votre enfant est invité à participer à une étude scientifique approuvée par la Direction des services professionnels de l'Institut Raymond-Dewar et le comité d'éthique de la Faculté de médecine de l'Université de Montréal. La recherche s'intitule «Habilité auditive centrale d'enfants malentendants : organisation séquentielle de stimuli acoustiques».

Nous évaluerons l'audition de votre enfant si la dernière évaluation audiolgogique qu'il a eu date de plus de six mois et la fonction de l'oreille moyenne afin de savoir si le tympan bouge bien aux deux oreilles. Aussi, nous évaluerons ses aptitudes de raisonnement non verbal en lui demandant de compléter des séries d'images. Par la suite, nous procéderons à l'expérimentation qui consiste à reproduire des séquences de syllabes ou de bruits. L'évaluation se fera en chambre insonore et les syllabes ou bruits seront transmis par des écouteurs. Votre enfant aura, dans un premier temps, à distinguer entre la syllabe «ba» et la syllabe «da» ou entre un bruit de bande large qui ressemble à un bruit de douche et un son de 1 kHz. Les syllabes ou bruits seront présentés dix fois chacun. S'il réussit cette épreuve, alors il entendra des séquences formées de deux, de trois, de cinq syllabes ou bruits ou plus. La durée de l'intervalle entre les syllabes ou bruits sera parfois variable.

Votre enfant sera assis à une table et aura devant lui une boîte de forme carrée ayant deux boutons identiques sur la surface supérieure. Il devra presser le bouton qui correspond à la syllabe ou au bruit qu'il a entendu. Auparavant, nous indiquerons à votre enfant lequel des boutons correspond à chacune des syllabes ou bruits. Il pourra se pratiquer plusieurs fois avant de commencer le test. Pour ces épreuves, nous ne pourrons pas vous communiquer les résultats de votre enfant puisque l'analyse des résultats sera effectuée seulement pour l'ensemble des enfants qui participent à l'étude. Aucun risque n'est relié aux tâches que votre enfant aura à effectuer.

Nous demanderons à votre enfant de répondre verbalement à certaines questions. Ces questions porteront sur les stratégies que votre enfant utilise pour retenir les séquences de syllabes ou de sons. Nous enregistrerons les réponses sur cassettes audio. Les cassettes seront effacées dans cinq ans.

Tous les documents qui contiennent des renseignements reliés à votre enfant resteront confidentiels et seront gardés dans un classeur muni d'un verrou de sûreté. Aucun renseignement qui permettrait d'identifier votre enfant n'apparaîtra lors du dépouillement, du traitement et de la divulgation des résultats.

La participation de votre enfant à l'étude est entièrement volontaire et elle implique un déplacement à l'Institut Raymond-Dewar où se déroulera la première rencontre. La durée des sessions sera d'environ une heure et demi. Vous devrez accompagner votre enfant et si vous le désirez, vous pourrez l'observer durant le déroulement des épreuves.

En donnant votre accord pour que votre enfant participe à l'étude, il aura une évaluation audiolinguistique récente si la dernière évaluation date de plus de six mois. Vous pouvez refuser que votre enfant participe à l'étude ou vous pouvez annuler votre consentement en tout temps sans préjudice en communiquant avec Benoît Jutras. Il est aussi entendu que votre enfant peut mettre fin à sa participation à n'importe quel moment durant le projet sans qu'il n'y ait aucun effet sur les services que votre enfant reçoit à l'Institut Raymond-Dewar.

---

Personnes responsables :    Benoît Jutras M.O.A.                    tél.: (514) 343-6057 ou 284-2581  
                                          Jean-Pierre Gagné, Ph.D.                tél.: (514) 343-2499  
                                          Jacqueline Labrèche, D.S.P.            tél.: (514) 284-2581

~~~~~ découpez ~~~~~ découpez ~~~~~

Cochez un des deux choix suivants et retournez ce coupon dans l'enveloppe-réponse

Je consens à ce que vous me contactiez pour que mon enfant participe à votre recherche qui s'intitule «Habilité auditive centrale d'enfants malentendants : organisation séquentielle de stimuli acoustiques».

ou

Je refuse que mon enfant participe à votre recherche qui s'intitule «Habilité auditive centrale d'enfants malentendants : organisation séquentielle de stimuli acoustiques».

Nom de l'enfant \_\_\_\_\_

Nom du tuteur légal (lien de parenté) \_\_\_\_\_

Signature du tuteur légal \_\_\_\_\_

Date de naissance de l'enfant \_\_\_\_\_

Numéro de téléphone \_\_\_\_\_

Date \_\_\_\_\_

**ÉCOLE D'ORTHOPHONIE ET D'AUDIOLOGIE  
UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL  
ET  
INSTITUT RAYMOND-DEWAR**

**FORMULAIRE DE CONSENTEMENT  
pour les parents d'enfants malentendants**

Votre enfant est invité à participer à une étude scientifique approuvée par le comité d'éthique de la Faculté de médecine de l'Université de Montréal, par le comité scientifique du Centre de réadaptation Le Bouclier et par la Direction des services professionnels de l'Institut Raymond-Dewar.

**Nature du protocole**

La recherche s'intitule «Habilité auditive centrale d'enfants malentendants : organisation séquentielle de stimuli acoustiques». Elle porte sur la capacité des enfants, avec ou sans problème auditif, à reproduire dans l'ordre des syllabes qu'ils ont préalablement entendus. L'expérience permettra de vérifier si les enfants peuvent apprendre à retenir des séquences de syllabes après plusieurs sessions.

L'expérience se déroulera en deux rencontres. La première rencontre aura lieu au Centre de réadaptation Le Bouclier et durera environ une heure et demi. Durant cette rencontre, nous évaluerons l'audition de votre enfant si la dernière évaluation audiolinguistique qu'il a eu date de plus de six mois et la fonction de l'oreille moyenne afin de savoir si le tympan bouge bien aux deux oreilles. Aussi, nous évaluerons ses aptitudes de raisonnement non verbal en lui demandant de compléter des séries d'images. Ensuite, nous procéderons à l'expérimentation qui consiste à reproduire des séquences de syllabes. L'évaluation se fera en chambre insonore et les syllabes seront transmises par des écouteurs. Votre enfant aura, dans un premier temps, à distinguer entre la syllabe «ba» et la syllabe «da». Les syllabes seront présentées dix fois chacune. S'il réussit cette épreuve, alors il entendra des séquences formées d'au moins quatre ou cinq syllabes. La durée de l'intervalle entre les syllabes sera toujours la même.

Votre enfant sera assis à une table et aura devant lui une boîte de forme carrée ayant deux boutons identiques sur la surface supérieure. Il devra presser le bouton qui correspond à la syllabe qu'il a entendue. Auparavant, nous indiquerons à votre enfant lequel des boutons correspond à chacune des syllabes. Il pourra se pratiquer plusieurs fois avant de commencer le test. Pour ces épreuves, nous ne pourrons pas vous communiquer les résultats de votre enfant puisque l'analyse des résultats sera effectuée seulement pour l'ensemble des enfants qui participent à l'étude.

Nous demanderons également à votre enfant de répondre verbalement à certaines questions. Ces questions porteront sur les stratégies que votre enfant utilise pour retenir les séquences de syllabes ou de sons. Nous enregistrerons les réponses sur cassettes audio. Les cassettes seront effacées dans cinq ans.

La rencontre suivante durera environ une heure et demi et se déroulera sur plusieurs sessions. Pour chaque session, votre enfant devra reproduire vingt séquences de trois, de quatre, de cinq ou de six syllabes. Selon les résultats obtenus à la fin de chacune des sessions, votre enfant pourrait participer jusqu'à un maximum de dix sessions. Cette rencontre se fera à l'endroit et à l'heure qui conviendront le mieux à votre enfant et à vous. Toutes les rencontres auront lieu au printemps 1996. Vous devrez accompagner votre enfant lors de la première session et si vous le désirez, vous pourrez l'observer durant le déroulement des épreuves.

### Risques et avantages

Aucun risque n'est relié aux tâches que votre enfant aura à effectuer. En donnant votre accord pour que votre enfant participe à l'étude, il aura une évaluation audiolinguistique récente, si la dernière évaluation date de plus de six mois.

### Personnes contact

**Benoît Jutras M.O.A.**  
Audiologiste et étudiant au doctorat  
Sciences biomédicales  
Université de Montréal  
Tél.: 343-6057 ou 284-2581

**Jean-Pierre Gagné, Ph.D.**  
Professeur à l'École d'orthophonie et d'audiologie  
Université de Montréal  
Tél.: 343-2499

**Bernard Michallet, M.O.A.**  
Coordonnateur du comité scientifique  
Centre de réadaptation Le Bouclier  
Tél.: 1-800-361-3990

### La confidentialité

Tous les documents qui contiennent des renseignements reliés à votre enfant resteront confidentiels et seront gardés dans un classeur muni d'un verrou de sûreté. Aucun renseignement qui permettrait d'identifier votre enfant n'apparaîtra lors du dépouillement, du traitement et de la divulgation des résultats.

### Liberté du consentement et de se retirer

La participation de votre enfant à l'étude est entièrement volontaire. Vous pouvez refuser que votre enfant participe à l'étude ou vous pouvez annuler votre consentement en tout temps sans préjudice en communiquant avec Benoît Jutras. Il est aussi entendu que votre enfant peut mettre fin à sa participation à n'importe quel moment durant le projet sans qu'il n'y ait aucun effet sur les services que votre enfant reçoit au Centre de réadaptation Le Bouclier.

Votre signature apposée au formulaire de consentement indique que vous avez lu l'information contenue dans ce formulaire, que les personnes responsables ont répondu de façon satisfaisante à toutes vos questions concernant le projet et que vous consentez à ce que votre enfant participe à l'étude ci-haut mentionnée.

**ÉCOLE D'ORTHOPHONIE ET D'AUDIOLOGIE**  
**UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL**  
**ET**  
**INSTITUT RAYMOND-DEWAR**

**SIGNATURE DU FORMULAIRE DE CONSENTEMENT**  
 pour les parents d'enfants malentendants

J'ai lu le formulaire de consentement, on a répondu à mes questions et je consens de façon volontaire à ce que mon enfant participe à l'étude intitulée «Habilité auditive centrale d'enfants malentendants : organisation séquentielle de stimuli acoustiques». De plus, je reconnais qu'on m'a expliqué verbalement le projet, qu'on m'a remis des notes explicatives complémentaires et qu'on m'a aussi laissé le temps voulu pour prendre ma décision. Enfin, j'atteste que mon enfant a donné son assentiment et qu'il ne s'y oppose pas.

Nom du sujet : \_\_\_\_\_

Nom du tuteur légal et lien de parenté : \_\_\_\_\_

Signature du tuteur légal : \_\_\_\_\_

Numéro de téléphone : \_\_\_\_\_

Date de naissance du sujet : \_\_\_\_\_

Nom du témoin : \_\_\_\_\_

Signature du témoin : \_\_\_\_\_

Nom du chercheur : \_\_\_\_\_

Signature du chercheur : \_\_\_\_\_

Signé à Montréal (Québec), le \_\_\_\_/\_\_\_\_/199\_\_