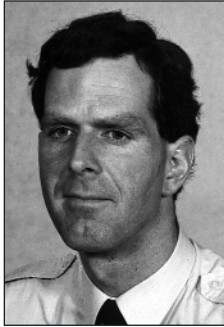


Amélioration de la reconnaissance vocale dans le bruit avec les systèmes personnels de communication sans fil de Phonak

Jan A.P.M. de Laat, Ph.D.
Raymond M. Bonnet, M.Sc.
*Dépt. d'audiologie, centre médical
universitaire RC Leiden, Pays-Bas*

Résumé

Le fabricant suisse d'aides auditives Phonak a récemment développé un émetteur à multi-microphones qui est utilisé conjointement avec des récepteurs FM sans fil, connectés sur des contours d'oreille (CdO). Le but de cette étude était d'examiner l'efficacité de ce système sur la reconnaissance vocale dans le bruit de sujets malentendants. Les seuils de perception vocale dans le calme et dans un bruit entretenu ont été mesurés en laboratoire sur 20 sujets malentendants dans les conditions suivantes: oreilles nues, avec appareils seuls et avec appareils équipés du système FM HandyMic/MicroLink réglé dans trois positions différentes (omni, Zoom et SuperZoom). Les résultats ont été comparés avec ceux que l'on a obtenus chez cinq sujets normo-entendants (non appareillés). L'amélioration moyenne du rapport du signal au bruit (S/B) avec le microphone à main en position SuperZoom était de 9,5 dB. Cette amélioration significative a permis aux sujets malentendants d'atteindre les mêmes performances, dans les situations bruyantes décrites, que le groupe de sujets bien entendants. Les avantages de la transmission FM de la parole associée à des microphones directionnels indiqués dans ce rapport ne concernent pas seulement les enfants à l'école, mais aussi les adultes dans tous leurs environnements auditifs, tels que les ré-



Jan A.P.M. de Laat, Ph.D.
*Département d'audiologie du
centre médical universitaire
Leiden, Pays-Bas*

Jan de Laat a étudié la physique à l'université de technologie de Eindhoven. Il a rédigé sa thèse à l'université libre d'Amsterdam sur le thème: «La perception des sons fluctuants par les malentendants». Il est directeur du service audiologique du centre médical universitaire de Leiden. Il a été l'un des trois organisateurs du deuxième congrès européen d'audiologie à Noordwijkerhout, 1995, ainsi que du 25e congrès international d'audiologie à la Haye, 2000.



Raymond M. Bonnet, M.Sc.
*Département d'audiologie du
centre médical universitaire
Leiden, Pays-Bas*

Raymond M. Bonnet a étudié la médecine au centre universitaire médical de Leiden où il travaille actuellement comme assistant scientifique et clinique.

Bibliographie

- Bronkhorst A.W., Plomp R. The effect of head-induced inter-aural time and level differences on speech intelligibility in noise. *J Acoustic Soc Am* 1983; 86:1374–83.
- Chorus A.M.J., Kremer A., Oortwijn W.J., Schaapveld K. Slechthorendheid in Nederland. TNO-rapport 95076. TNO-PG, Leiden, 1995.
- Kochkin S. MarkeTrak III identifies key factors in determining customer satisfaction. *Hearing J* 1993; 46:39–44.
- Lurquin P., Rafhay S. Intelligibility in noise using multimicrophone hearing aids. *Acta Oto-laryngol* 1996; 50:103–9.
- Plomp R., Mimpfen A.M. Improving the reliability of testing the speech reception threshold for sentences. *Audiology* 1979; 18:43–52.
- Pumford J.M., Seewald R.C., Scollie S.D., Jenstad L.M. Speech Recognition with In-the-Ear and Behind-the-Ear Dual-Microphone Hearing Instruments. *J Am Acad Audiol* 2000; 11(1)
- Stock A., Fichtl E., Heller O. Comparing Determinants of Hearing Instrument Satisfaction in Germany and the United States. *High Performance Hearing Solutions* 1997; 2:40–6.
- Valente M., Fabry D.A., Potts L.G. Recognition of speech in noise with hearing aids using dual microphones. *J Am Acad Audiol* 1995; 6:440–9.
- Valente M., Sweetow R., Potts L.G., Bingea B. Digital Versus Analog Signal Processing: Effect of Directional Microphone. *J Am Acad Audiol* 1999; 10:133–150.
- Voss T. Clinical evaluation of multi-microphone hearing instruments. *Hearing R* 1997; 4:36, 45, 74.
- Wagenaar W.A. Note on the construction of diagram-balanced Latin squares. *Psychological Bulletin* 1969; 72:384–6.

unions, les réceptions, les fêtes et même les conversations dans les transports publics (avion, train, ...)

Introduction

Les problèmes auditifs sont plus fréquents qu'on ne le pense généralement. Environ 10% de la population hollandaise souffrent d'une perte auditive légère à sévère (> 25 dB HL). Chez les plus de 65 ans, on estime même que ce chiffre atteint 50%. Seulement 22,4% de la population malentendante dont la perte dépasse 35 dB HL ont été appareillée (Chorus et al. 1995). La plupart des personnes tire profit de l'utilisation d'une aide auditive, en particulier dans les situations où un seul locuteur parle dans un environnement calme. De nombreux malentendants appareillés se plaignent souvent dans les conversations en groupe ou les environnements bruyants (Kochkin 1993; Stock et al. 1997). Alors que l'emploi des techniques de microphones directionnels dans les aides auditives s'est révélé être très utile (Valente et al. 1995; Lurquin et Rafhay 1996; Pumford, et al., 2000; Valente, et al., 1999; Voss 1997) il reste probablement des situations dans lesquelles le S/B doit encore être amélioré. Une des solutions possibles à ces problèmes est l'utilisation d'un système FM personnel sans fil, particulièrement utile dans une salle de classe. Dans ce cas, le professeur porte un microphone et un émetteur qui transmet le signal vers un récepteur connecté à l'aide auditive de l'étudiant. L'avantage d'un tel système est que seule la voix du professeur est amplifiée, et non le bruit de la salle de classe. Le MicroLink de Phonak est le tout dernier produit développé. C'est un très petit récepteur FM qui peut être utilisé conjointement avec le microphone émetteur HandyMic.

Dans cet article, nous traiterons les deux questions suivantes:

- Le MicroLink, utilisé conjointement avec le micro-émetteur (HandyMic), offre-t-il une amélioration de l'intelligibilité vocale dans le bruit?
- Si oui, quelle est l'importance de l'amélioration à laquelle on peut s'attendre?

Détails techniques

Le MicroLink est un très petit récepteur FM monté dans un sabot audio, à son tour connecté sur une aide auditive CdO. Il mesure environ 10 x 10 x 9 mm (sans le sabot) et pèse 2 g. L'utilisateur peut choisir entre les modes FM + M (il entend alors les signaux à la fois de la FM et du microphone de l'aide auditive) et FM seule, auquel cas le microphone de l'aide auditive est atténué de 20 dB. La distance entre le récepteur et l'émetteur peut atteindre 15 m (Fig. 1).

Le HandyMic est un microphone sans fil avec émetteur FM intégré. Il mesure 125 x 33 x 18 mm, pèse 75 g et dispose d'une batterie nickel/métal hydride rechargeable/interchangeable. La fréquence de transmission utilisée dans cette étude était de 207,85 MHz avec

Figure 1
Quelques modèles de MicroLink



une bande passante de 100 à 7000 Hz. Des modes «Omnidirectionnel», «Directionnel» et «Super Directionnel» (deux microphones directionnels travaillant en tandem) sont accessibles à l'aide d'un commutateur sur l'appareil (Fig. 2). La Fig. 3 représente les indices de directivité des modes «Directionnel» (Zoom) ainsi que «Super Directionnel» (SuperZoom).

Figure 2
Le HandyMic

- 1 Symboles du commutateur
- 2 Prise d'alimentation externe
- 3 Commutateur coulissant (sélection du mode microphonique)
- 4 Témoin de l'accumulateur
- 5 Prise d'entrée multifonctions (équipements audio; antenne extérieure)
- 6 Clip/pied
- 7 Entrées des microphones
- 8 Module de fréquence enfichable

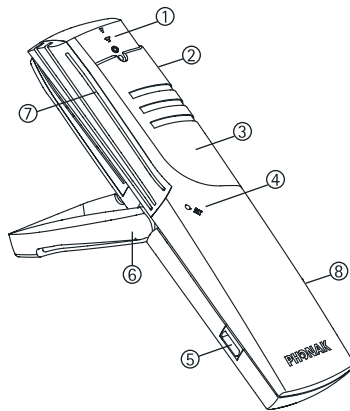
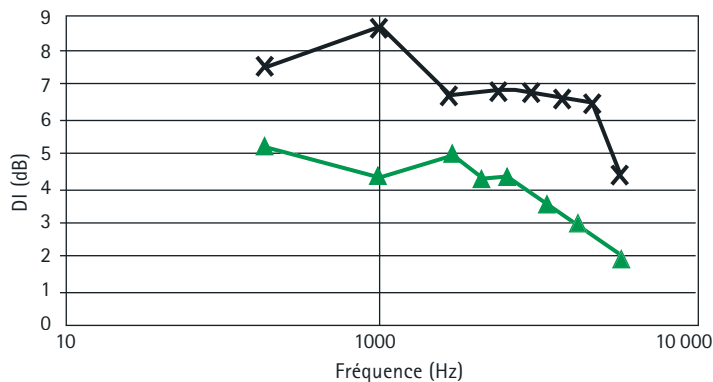


Figure 3
Indice de directivité du HandyMic TX3 dans les positions Zoom (→) et SuperZoom (×)



Sujets, équipements et méthodes

Sujets

Vingt sujets malentendants ont participé à cette étude. Ils ont été sélectionnés dans une liste de clients qui avaient été appareillés au cours des trois dernières années dans le service audiolgique du centre médical universitaire Leiden (LUMC = Leiden University Medical Centre) en Hollande.

La sélection était basée sur les critères suivants:

- Age: minimum 18 ans
- Comportement: lucide et actif
- Perte auditive: entre 35 et 90 dB dans la meilleure oreille selon la définition de l'indice «high Fletcher» (moyenne des pertes auditives à 500, 1000, 2000 et 4000 Hz)
- Discrimination vocale: au moins 50% de discrimination vocale oreilles nues
- Aides auditives: seuls les sujets portant des aides auditives Phonak ont été sélectionnés, bien que les récepteurs MicroLink soient également compatibles avec les aides auditives d'autres fabricants.

Le comité d'éthique médicale du LUMC a approuvé cette étude y compris le formulaire de consentement. Quarante-six personnes ont été invitées à participer à l'étude. Trente ont donné leur accord. Quatre ont participé à une expérience pilote. Deux ne sont pas venues. Un sujet avait un problème de langue. Une autre personne n'a pas réussi à terminer le test en raison d'un état dépressif. Deux autres n'ont pas souhaité le continuer, car elles ne se sentaient pas à l'aise. Elles disaient toutes deux ne pas pouvoir se concentrer suffisamment longtemps pour terminer le test. Les vingt sujets restant ont pu subir toutes les épreuves de cette étude.

Cinq personnes bien entendantentes ont également été priées de participer à des fins de comparaisons.

Le bénéfice du HandyMic/MicroLink

Le S/B moyen pour 50% de réponses correctes des cinq sujets bien entendants et des vingt sujets malentendants est représenté dans la figure. 6. Les quatre situations d'essai différentes sont indiquées pour les sujets malentendants: avec leur(s) propre(s) aide(s) auditive(s) et avec le HandyMic/MicroLink dans les trois positions différentes: omni, Zoom et SuperZoom. La différence moyenne de S/B entre les situations «propres appareils» et «appareils avec le HandyMic dans le mode SuperZoom» était de 9,5 dB SPL. **Le S/B moyen pour les sujets malentendants portant leurs aides auditives avec le HandyMic dans la position SuperZoom est comparable au SRT moyen des normo-entendants.** En d'autres termes, pour ces sujets, la perception vocale d'un interlocuteur dans un environnement bruyant était la même que celle d'un bien entendant, mesurée dans cette installation d'essai et dans cette position.

Notre installation d'essai reproduit une situation comparable à celle d'un restaurant où deux convives discutent dans un milieu sonore composé d'un brouhaha et de musique de fond, le HandyMic étant placé sur la table en direction de l'interlocuteur. Cette installation est aussi typique de nombreuses autres situations de la vie réelle telles que l'emploi du HandyMic dans un taxi, pour comprendre le chauffeur, ou au guichet d'une réception ou d'une banque.

Une difficulté possible avec l'emploi du HandyMic/MicroLink peut être que l'utilisateur doit expliquer à ses partenaires comment son équipement fonctionne. Il doit aussi toujours avoir le HandyMic sur lui afin d'être prêt à l'utiliser quand une conversation est trop difficile à suivre. Dans certaines situations de communication il est nécessaire d'avoir une main libre afin de tenir le HandyMic. Les avantages du système compensent cependant très largement de tels problèmes.

Figure 6

S/B moyen pour 50% d'intelligibilité des 5 sujets normo-entendants (SNE) et des 20 sujets malentendants pour les quatre situations d'essai.

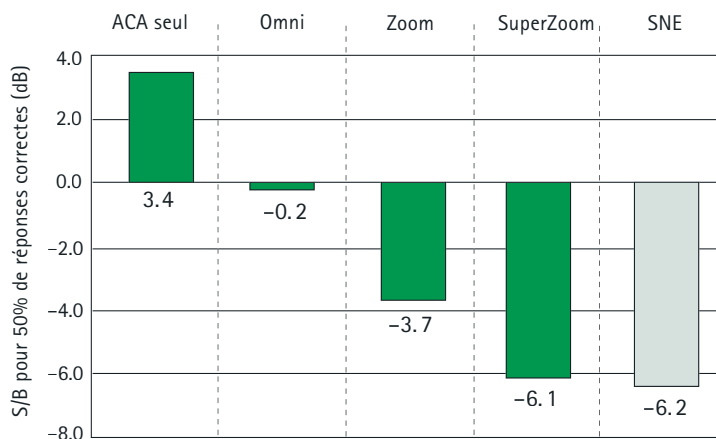


Table 4

Seuil de perception vocale (dB SPL), dans un bruit de 70 dB SPL, de tous les sujets malentendants

	Niveau du signal vocal pour 50% d'intelligibilité				
	ACA seul	Omni	Zoom	SuperZoom	Gain SRT
PP 1	72.6	66.6	63.8	61.4	11.2
PP 2	66.2	65.8	63	60.6	5.6
PP 3	73.8	69.2	66.6	62.8	11
PP 4	76.2	69.2	67	66.4	9.8
PP 5	75.4	72.6	70.4	67.2	8.2
PP 6	73.6	70.6	64	62.2	11.4
PP 7	73	71.4	67.4	66	7
PP 8	69.6	66.8	63	62.6	7
PP 9	71.4	68.4	67.8	62.2	9.2
PP 10	73	69.6	69	67.4	5.6
PP 11	78.6	70.6	65	61.6	17
PP 12	73.6	69	65	62.2	11.4
PP 13	72.4	66.8	62.2	59.3	13.1
PP 14	75.2	76	69.2	66.2	9
PP 15	72.2	70	65.4	60.6	11.6
PP 16	78.2	76	71.8	69.6	8.6
PP 17	76.3	70.6	70.8	70	6.3
PP 18	70	69.6	64	61.8	8.2
PP 19	70.8	64.8	63	61.6	9.2
PP 20	74.4	71.6	67.8	65.8	8.6
	ACA seul	Omni	Zoom	SuperZoom	Gain SRT
Avg.	73.4	69.8	66.3	63.9	9.5
St.dev.	2.96	2.94	2.90	3.14	2.7

Discussion et conclusions

Comparaison de l'installation d'essai à une situation standard en champ libre

Les audiogrammes des cinq sujets normo-entendants de notre expérience se situaient dans la gamme normale. Leur seuil de perception vocale dans un bruit de 70 dB SPL était de 63,8 dB avec un écart type de 0,4 dB SPL, soit un S/B de -6,2 dB SPL. Dans leurs expériences utilisant de la parole et du bruit issus d'un haut-parleur situé en face de l'auditeur, Bronkhorst & Plomp (1983) avaient trouvé un S/B moyen de -6,4 dB avec un écart type de 1,5 dB. Ceci confirme que notre installation d'essai est comparable à une situation standard en champ libre.

Facteurs sans influence sur l'amélioration de la reconnaissance vocale avec le HandyMic

La relation entre la perte auditive moyenne et l'amélioration de la reconnaissance vocale des sujets malentendants a été déterminée à l'aide d'une ligne de régression tendant vers une valeur Student-T de 0,51. Cela signifie qu'il n'y a pas de relation significative entre ces deux mesures. La relation entre le SRT moyen dans le bruit avec l'aide auditive seule (sans le HandyMic) et avec le HandyMic a également été déterminée. Les sujets dont le SRT était mauvais dans le bruit devaient profiter encore plus du HandyMic, car il leur faut un meilleur S/B pour pouvoir communiquer dans le bruit. Dans ce cas, nous avons trouvé une valeur Student-T de 0,08 à la limite du significatif. La valeur Student-T pour la relation entre l'âge et l'amélioration de la reconnaissance vocale avec le HandyMic atteignait 0,28, valeur non significative. Il n'y avait pas non plus de relation significative entre le type d'aide auditive et l'amélioration de la reconnaissance vocale avec le HandyMic.

Appareils et installation

L'audiogramme et les tests vocaux dans le bruit ont été mesurés dans une cabine audiométrique. Le temps de réverbération était inférieur à 0,15 seconde (Fig. 4).

L'audiométrie en sons purs a été réalisée chez chaque participant avec un audiomètre Interacoustics AC5 et un casque Telephonics.

Le matériel sonore du test vocal dans le bruit était enregistré sur compact disc. Il s'agissait du «Spraakmateriaal behorende bij de test voor het meten van de spraakverstaanbaarheiddrempel voor korte zinnen in stilte en in stationaire ruis» (en français: matériel vocal pour le test de mesure du seuil de perception vocal (SRT = Speech Reception Threshold) dans le calme et dans un bruit stationnaire). Le CD a été préparé par l'institut de recherche perceptive (TNO) à Soesterberg et la fédération des centres audiologiques hollandais à Utrecht. Les phrases étaient diffusées par un lecteur de CD (Sony XA2ES) connecté à l'audiomètre Interacoustics AC5. Le logiciel, Creative Wave Studio, a été utilisé pour obtenir quatre enregistrements non corrélés de bruits, répartis sur deux fichiers audio stéréo (au format «wav»). Le bruit du test vocal dans le bruit était diffusé au moyen de deux PC, tous deux équipés du Creative Sound Blaster 16.

L'installation d'essai était organisée comme suit: le sujet soumis à l'épreuve était assis sur une chaise entourée de cinq haut-parleurs. Le bruit était présenté dans les quatre haut-parleurs placés à 45°, 135°, 225° et 315°, dans le plan horizontal, à la même hauteur que la tête du sujet (1,2 m). Les quatre haut-parleurs étaient placés aux angles d'un carré de 2,9 m de côté. Le sujet était placé au milieu de ce carré. Le cinquième haut-parleur, destiné à la diffusion du matériel vocal, était placé à la même hauteur que les quatre

Figure 4

Courbe d'amortissement d'un clic pulsé en champ libre dans la salle d'examen

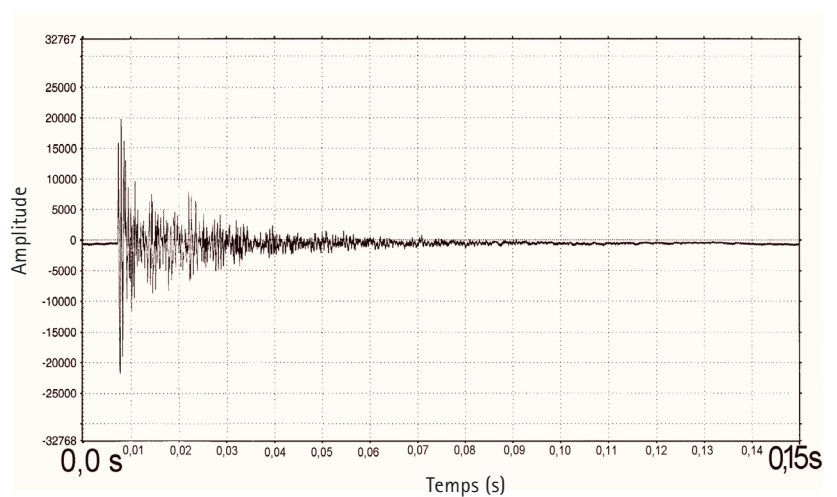
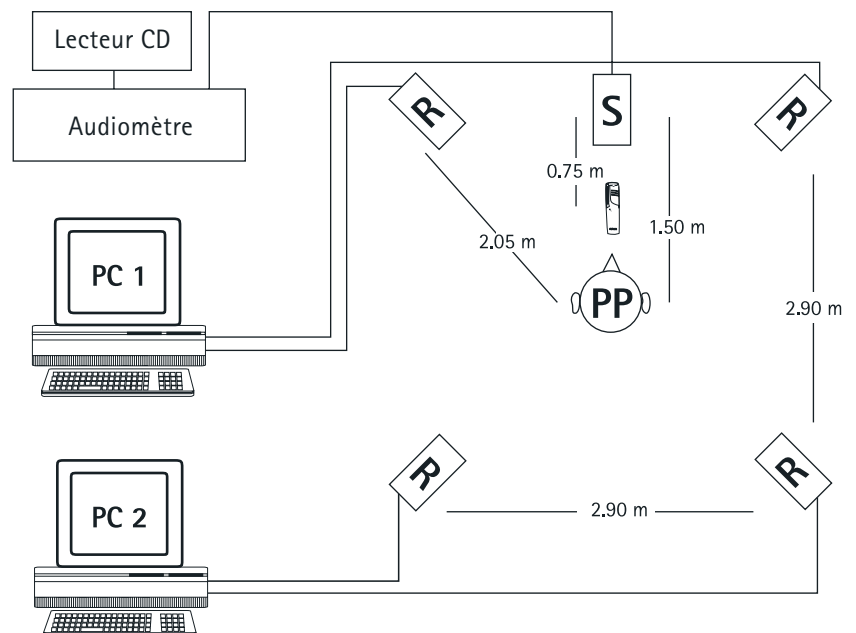


Figure 5

Installation d'essai

- R Haut-parleur pour le bruit
- S Haut-parleur pour les phrases
- PP Sujet test



autres, à une distance de 1,5 m en face du sujet (0°). La distance choisie correspond à la distance conversationnelle moyenne entre deux personnes. Le HandyMic était placé à 75 cm (longueur d'un bras) du haut-parleur frontal (Fig. 5).

Toutes les mesures vocales dans le bruit ont été faites en audition binaurale, aussi bien chez les bien entendants que chez les malentendants. Les appareils ont été adaptés selon la règle NAL-R. Les sujets pouvaient ajuster le gain de leurs appareils selon leur préférence au début de chaque série de tests. Ce réglage n'a aucune influence sur le rapport du signal au bruit.

Méthode

Une audiométrie tonale a été réalisée à 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz et 4 kHz à la fois pour des sujets malentendants et bien entendants. Le seuil de perception vocale (SRT), c.-à-d. le niveau vocal pour 50% de réponses correctes à un test de phrases hollandaises dans un bruit de fond, a été relevé en utilisant la méthode Plomp et Mimpen (1979) par pas de 2 dB. Le récepteur MicroLink était utilisé en mode FM seule. Un bruit à pondération vocale a été présenté à un niveau fixe de 70 dB SPL. Toutes les mesures ont été réalisées deux fois (dans un ordre aléatoire) pour vérifier la fiabilité du test. L'ordre de présentation a été rendu aléatoire selon le «carré Latin» décrit par Wagenaar (1969) (table 1).

Résultats

Normo-entendants

Pour comparer les résultats des sujets malentendants avec les performances des personnes bien entendantes, cinq normo-entendants ont été testés. Le seuil tonal moyen de ce groupe était de 1,13 dB HL avec un intervalle de confiance de 95% entre -4,3 dB et 6,5 dB. Le seuil de reconnaissance vocale (SRT) a été mesuré à un niveau de bruit de 70 dB HL. Le rapport du signal au bruit (S/B) peut ainsi être calculé en soustrayant 70 dB du SRT. Le S/B indique de combien une personne doit parler plus ou moins fort que le bruit ambiant pour être comprise à 50% par l'auditeur. Les scores de SRT des normo-entendants étaient compris entre 63,4 et 64,2 dB avec un niveau de bruit de 70 dB SPL. Le SRT moyen des cinq sujets était de 63,8 dB SPL, soit un S/B de -6,2 dB (63,8 - 70,0 = -6,2 dB) (table 2).

Malentendants

La moyenne des résultats des tests auditifs des sujets malentendants, mesurés aux quatre fréquences 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz et 4 kHz sont indiqués dans la table 3. La perte auditive moyenne de tous les sujets malentendants était de 69 dB SPL avec une médiane

Table 1

Ordre de présentation selon un «carré Latin».

Sujet 1	Aide auditive seule	Omni	Zoom	SuperZoom
Sujet 2	Omni	SuperZoom	Aide auditive seule	Zoom
Sujet 3	Zoom	Aide auditive seule	SuperZoom	Omni
Sujet 4	SuperZoom	Zoom	Omni	Aide auditive seule
Sujet 5	Aide auditive seule	Omni	Zoom	SuperZoom
Etc.	Etc.	Etc.	Etc.	Etc.

Table 2

Valeurs de SRT (niveau de la parole pour 50% de reconnaissance vocale dans un bruit de 70 dB SPL) des sujets normo-entendants (SNE)

		SNE 1	SNE 2	SNE 3	SNE 4	SNE 5	moyenne	Ec.-type
SRT		63.4	63.4	64.2	63.8	64.2	63.8	0.4
High	R	-8.75	5	7.5	0	5	1.75	
Fletcher*	L	-3.75	3.75	13.75	3.75	5	4.5	

* Indice «High Fletcher»: moyenne des seuils auditifs à 500, 1000, 2000 et 4000 Hz.

Table 3

Age, sexe et perte auditive moyenne (dB HL)
de tous les sujets malentendants

	Audiogramme			Age	Sexe
	Gauche	Droit	Moyen		
PP 1	63	81	72	38	F
PP 2	68	43	55	68	M
PP 3	75	70	73	49	F
PP 4	43	41	42	77	M
PP 5	60	65	63	92	F
PP 6	84	78	81	64	F
PP 7	63	75	69	78	M
PP 8	93	63	78	34	M
PP 9	78	53	65	52	F
PP 10	45	68	56	82	M
PP 11	64	74	69	42	F
PP 12	70	56	63	75	M
PP 13	80	48	64	39	F
PP 14	63	95	79	66	M
PP 15	94	86	90	70	M
PP 16	86	76	81	30	F
PP 17	75	80	78	38	F
PP 18	54	74	64	72	F
PP 19	85	86	86	58	F
PP 20	63	59	61	44	M
Moyenne	70	69	69	58	

de 70 dB SPL. Les résultats des tests vocaux dans le bruit sont présentés table 4. Le sujet 1 par exemple avait un SRT avec appareil de 72,6 dB SPL. Cela signifie un rapport du signal de parole au bruit (S/B) de +2,6 dB. En d'autres termes, quand ce sujet est dans une pièce avec un bruit ambiant de 70 dB SPL, il sera tout juste capable de comprendre 50% de ce que dit quelqu'un qui parle à un niveau de 72,6 dB SPL. Notez que quand ce sujet utilise le MicroLink en mode SuperZoom, son SRT atteint 61,4 dB SPL ce qui signifie un S/B de -8,6 dB. En d'autres termes, elle est maintenant capable d'entendre quelqu'un qui parle à un niveau de 8,6 dB inférieur au niveau de bruit ambiant!

La table 4 montre l'amélioration maximale du SRT pour chaque sujet avec le HandyMic/MicroLink. Celle-ci a été calculée en soustrayant le SRT avec HandyMic en mode SuperZoom du SRT du sujet utilisant l'aide auditive seule (sans FM). Le gain moyen du seuil de perception vocal est de 9,5 dB, le gain médian étant de 9,1 dB. Une «vedette» s'est distinguée (n° 11), en atteignant 17 dB d'amélioration. Prenons le sujet 1 comme exemple: dans son cas, l'avantage d'utiliser le HandyMic/MicroLink était de $2,6 + 8,6 = 11,2$ dB.