



<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

Creative commons : Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale -
Pas de Modification 2.0 France (CC BY-NC-ND 2.0)



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr>

INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LA RÉADAPTATION

Directeur Docteur Xavier PERROT

Utilisation du SII calculé par l'Aurical d'Otometrics et corrélation avec le score
d'intelligibilité pour les listes cochléaires de Lafon

MEMOIRE présenté pour l'obtention du
DIPLOME D'ETAT D'AUDIOPROTHESISTE

par

MICLET Ambroise

Autorisation de reproduction

LYON, le 14 octobre 2016

Directeur de l'Enseignement
Stéphane GALLEGO

N° 679

Président
Pr Frédéric FLEURY

Vice-président CEVU
M. CHEVALIER Philippe

Vice-président CA
M. REVEL Didier

Vice-président CS
M. VALLEE Fabrice

Secrétaire Général
M. HELLEU Alain

Secteur Santé

U.F.R. de Médecine Lyon Est
Directeur
Pr. ETIENNE Jérôme

U.F.R de Médecine Lyon-Sud
Charles Mérieux
Directrice
Pr BURILLON Carole

Département de Formation et
Centre de Recherche en Biologie
Humaine
Directeur
Pr SCHOTT Anne-Marie

Comité de Coordination des
Etudes Médicales (CCEM)
Pr ETIENNE Jérôme

U.F.R d'Odontologie
Directeur
Pr. BOURGEOIS Denis

Institut des Sciences Pharmaceutiques
et Biologiques
Directrice
Pr VINCIGUERRA Christine

Institut des Sciences et Techniques de
Réadaptation
Directeur
Dr Xavier PERROT

Secteur Sciences et Technologies

U.F.R. Des Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives (S.T.A.P.S.)

Directeur

M. VANPOULLE Yannick

Institut des Sciences Financières et d'Assurance (I.S.F.A.)

Directeur

M. LEBOISNE Nicolas

Ecole Supérieure du Professorat et de l'Education

Directeur

M. MOUGNIOTTE Alain

UFR de Sciences et Technologies

Directeur

M. DE MARCHI Fabien

POLYTECH LYON

Directeur

Pr PERRIN Emmanuel

IUT LYON 1

Directeur

M. VITON Christophe

Ecole Supérieure de Chimie Physique Electronique de Lyon (ESCPE)

Directeur

M. PIGNAULT Gérard

Observatoire astronomique de Lyon

Directeur

Mme DANIEL Isabelle

REMERCIEMENTS

Je souhaite tout d'abord remercier ma maîtresse de stage Madame GENY et son fils Sébastien GENY pour m'avoir permis de réaliser ce mémoire dans les meilleures conditions.

Je remercie aussi Xavier Delerce, Jean Baptiste Lemasson, Laure Lefèvre, Stéphane Gallego et Fabien Seldran pour m'avoir fait part de leurs conseils.

Merci également à Claude Parmentier de m'avoir prêté gracieusement un Aurical HIT.

Merci à Sylvie Bayrou pour sa lecture attentive et ses conseils.

Je remercie sincèrement toutes les personnes qui ont pu m'aider à la réalisation de ce mémoire.

Et surtout, un grand merci aux patients qui ont participé aux tests, sans qui ce mémoire n'aurait pas été réalisable.

Sommaire

INTRODUCTION.....	2
DEFINITION ET ORIGINE DU SII.....	2
Qu'est ce que le SII ?.....	2
1. L'indice d'articulation.....	3
2. Emergence de la parole.....	4
3. Fonctions de transfert.....	4
4. Fonction d'importance fréquentielle.....	8
5. Le calcul du SII.....	10
6. Application du SII aux personnes malentendantes.....	12
7. Obtention du SII en mesure in vivo.....	14
Matériel et méthode.....	15
1. Sujets testés.....	15
2. Matériel utilisé.....	16
2.1 Les listes cochléaires de Lafon.....	17
2.2. L'ISTS.....	18
3. Protocole expérimental.....	18
3.1. Déroulement des tests.....	18
3.2. Calculs réalisés.....	20
Résultats.....	21
1. Comparaison des calculs du SII réalisés pour différents paramètres aux valeurs relevées en mesure in vivo.....	21
1.1. FIF CID22.....	22
1.2. FIF SII standard.....	23
1.3. FIF NNS.....	24
1.4. Comparaison des calculs entre les différentes FIFs.....	25
2. Corrélation entre intelligibilité réelle et intelligibilité prédite.....	27
2.1. Elaboration des fonctions de transfert.....	27
2.2. Qualité de la prédiction des fonctions de transfert générales.....	33
3. Conséquences de la perte auditive sur l'erreur de prédiction.....	36
Discussion.....	40
1. SII observé en MIV et SII calculé.....	40
2. Intelligibilité réelle et prédite.....	41
Conclusion.....	49
Bibliographie.....	50

INTRODUCTION

La mesure in vivo permet de visualiser avec précision l'énergie sonore transmise au tympan d'un patient. Elle est de plus en plus utilisée et certains fabricants la prennent en compte dans leur logiciel de réglages. Plusieurs chaînes de mesure in vivo donnent à ces informations un caractère qualitatif en affichant le Speech Intelligibility Index (SII) ou indice d'intelligibilité de la parole dans leur logiciel. Le SII donne une prédiction de l'intelligibilité d'une personne à travers un calcul basé sur son seuil auditif et la quantité d'informations sonores qu'elle reçoit sur les différentes fréquences. Il est utilisé depuis de nombreuses années dans la recherche notamment en télécommunications d'où il est issu mais aussi dans le domaine de l'audioprothèse à travers des méthodologies de réglage comme NAL-NL2.

DEFINITION ET ORIGINE DU SII

Qu'est ce que le SII ?

Pour qu'un message verbal soit intelligible, il est nécessaire qu'il soit correctement perçu et donc audible. Certains modèles tentent de prédire l'intelligibilité d'un message à partir de son audibilité.

Le Speech Intelligibility Index est un modèle macroscopique basé sur le spectre moyen à long terme de la parole, par opposition aux modèles microscopiques qui se focalisent sur les caractéristiques à court terme du signal. Il a fait l'objet de la norme S3.5-1997 de l'ANSI qui le définit comme une méthode pour calculer une mesure

physique fortement corrélée avec l'intelligibilité de la parole. En d'autres termes le SII est une prédiction de l'intelligibilité attendue.

1. L'indice d'articulation

Le SII se fonde sur les recherches effectuées pour l'élaboration de l'Indice d'Articulation (AI). Les laboratoires Bell ont développé l'AI dans les années 40 afin de mesurer l'intelligibilité d'un message transmis par téléphone. Ces recherches initiées par French et Steinberg (1947) vont aboutir à la création de la norme ANSI en 1969.

Le calcul de l'AI, tout comme celui du SII, s'appuie sur l'idée que l'intelligibilité d'un signal de parole repose sur la somme des contributions des bandes de fréquence qui le composent. La contribution d'une bande de fréquence est considérée comme indépendante de la contribution apportée par les autres bandes.

L'AI est défini par l'équation suivante :

$$AI = \sum_{i=1}^n A_i W_i$$

AI varie entre 0 pour une intelligibilité nulle et 1 pour une intelligibilité maximale.

n correspond au nombre de bandes de fréquences.

A_i est la proportion de message vocal audible dans chaque bande i en considérant l'émergence du signal par rapport au bruit ou au seuil de perception du sujet.

W_i est l'importance attribuée à la bande de fréquence i .

2. Emergence de la parole

Les informations contenues dans un signal de parole s'étalent sur un champ de 30dB de dynamique. L'émergence de la voix par rapport à un seuil ou un bruit, donnée par le facteur A est déterminée par le calcul d'un rapport signal sur bruit pour chaque bande de fréquence i.

Ce Rapport Signal sur Bruit (RSB) est compris entre -12dB et +18dB (Dunn et White, 1940). Pour un RSB inférieur ou égal à -12dB on estime qu'aucune information du signal de parole n'est audible, A est donc nul. Lorsque le RSB augmente, l'audibilité augmente linéairement jusqu'à atteindre une valeur asymptotique. De ce fait, pour un RSB supérieur ou égal à +18, A est maximal et est égal à 1. Son équation s'écrit :

$$A_i = \frac{RSB_i + 12}{30}$$

3. Fonctions de transfert

Dans leurs travaux, French et Steinberg (1947) découpent le spectre en bandes de fréquence et déterminent leur importance. Leur protocole consiste à mesurer l'intelligibilité dans différentes conditions de filtrages passe-haut et passe-bas ainsi que pour différentes intensités.

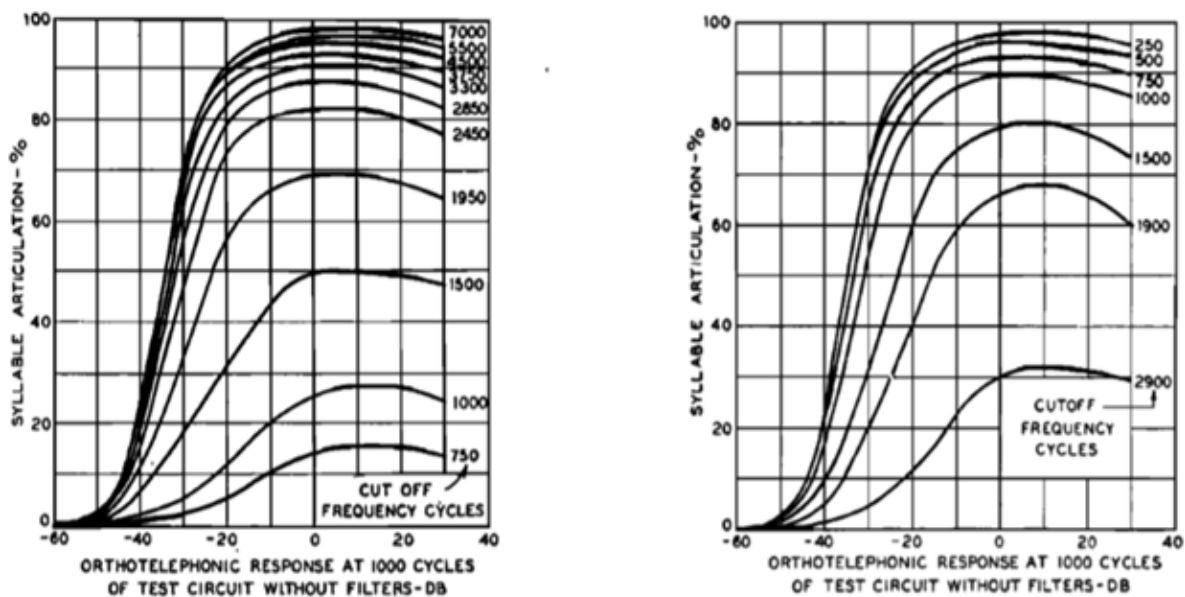


Figure 1 : Scores de reconnaissance de syllabes filtrées passe-bas (à gauche) et passe haut (à droite) aux fréquences de coupures indiquées. D'après French et Steinberg (1947).

Les auteurs combinent ces résultats dans un graphique (figure 2) où ils tracent les courbes représentant les scores d'intelligibilité en fonction des conditions passe haut et passe bas. Une méthode de bisection leur permet d'obtenir une fonction de transfert établissant le lien entre l'AI et les scores d'intelligibilités.

Cette méthode part du principe que pour un RSB optimal de +10dB et en condition large bande, l'audibilité est maximale et par conséquent l'AI est égal à 1. Le point d'intersection de ces courbes indique la fréquence pour laquelle la même intelligibilité (0,68) est obtenue pour les filtres passe haut et passe bas. Cela implique que cette fréquence d'intersection sépare le domaine fréquentiel en 2 bandes d'égale contribution pour l'intelligibilité. La quantité d'informations auditives est divisée en deux donc l'AI est égal à 0,5 en ce point.

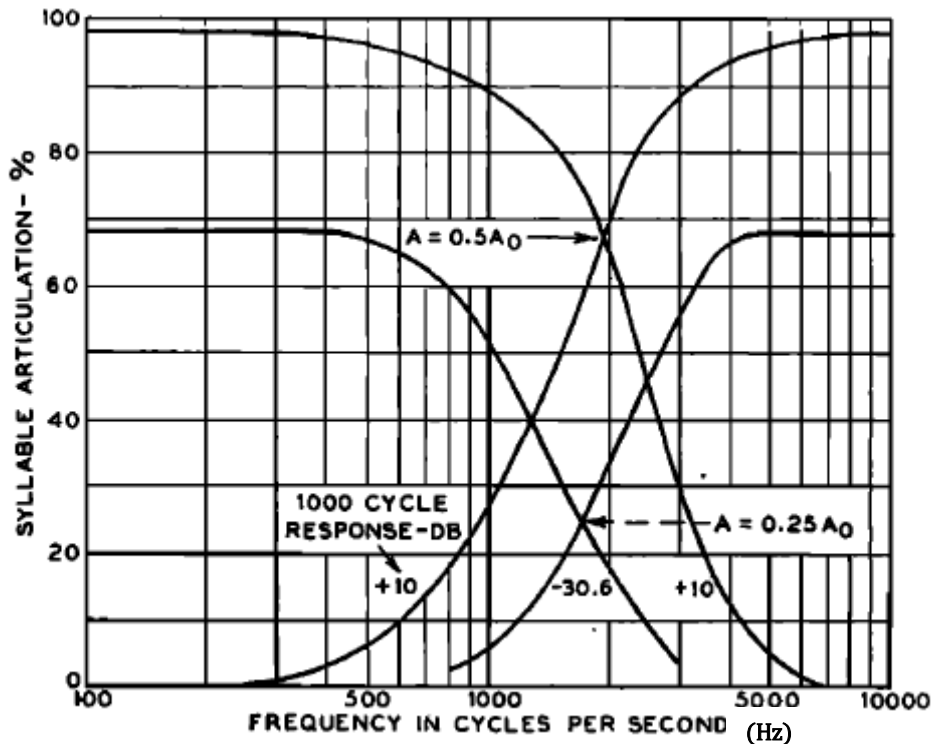


Figure 2 Scores de reconnaissance de syllabes en fonction de la fréquence de coupure en condition passe haut et passe bas pour deux rapports signal sur bruit différents

On poursuit ce raisonnement avec le RSB donnant un score de 68% dans les conditions bande large. Le RSB est ici de -30,6 dB et l'AI maximal dans ces conditions est 0,5. Le point d'intersection des courbes passe haut et passe bas est donc égal à 0,25 AI ; on peut relever le score d'intelligibilité correspondant (25%) et poursuivre la méthode pour 0,125 AI puis 0,0625 AI etc...

Les correspondances entre AI et score d'intelligibilité ainsi obtenues sont valables pour tous les RSB, cela nous permet d'établir la relation entre AI et score d'intelligibilité pour des valeurs d'AI supérieures à 0,5. Par exemple, pour la courbe passe bas de RSB +10, un score de 25% d'intelligibilité correspond à la fréquence 950 Hz. On sait d'une part que l'AI pour cette intelligibilité est de 0,25 et d'autre part que la somme des informations auditives données en passe haut et passe bas donne un AI de 1 pour ces conditions optimales de RSB. Donc cette fréquence

correspond à un AI de 0,75 en passe haut et en se reportant sur l'axe des ordonnées on obtient le score d'intelligibilité correspondant (de 90% d'intelligibilité environ).

On peut ensuite tracer la fonction de transfert reliant l'AI à l'intelligibilité.

Dans leur étude French et Steinberg utilisent des logatomes consonnes-voyelles-consonnes (cvc). D'autres fonctions de transfert utilisant un matériel vocal différent seront établies par la suite, par exemple pour des listes de mots monosyllabiques phonétiquement équilibrés comme les listes Nu-6 (Schum et al. 1991) ou CID-W22 (Studebaker et Sherbecoe 1991).

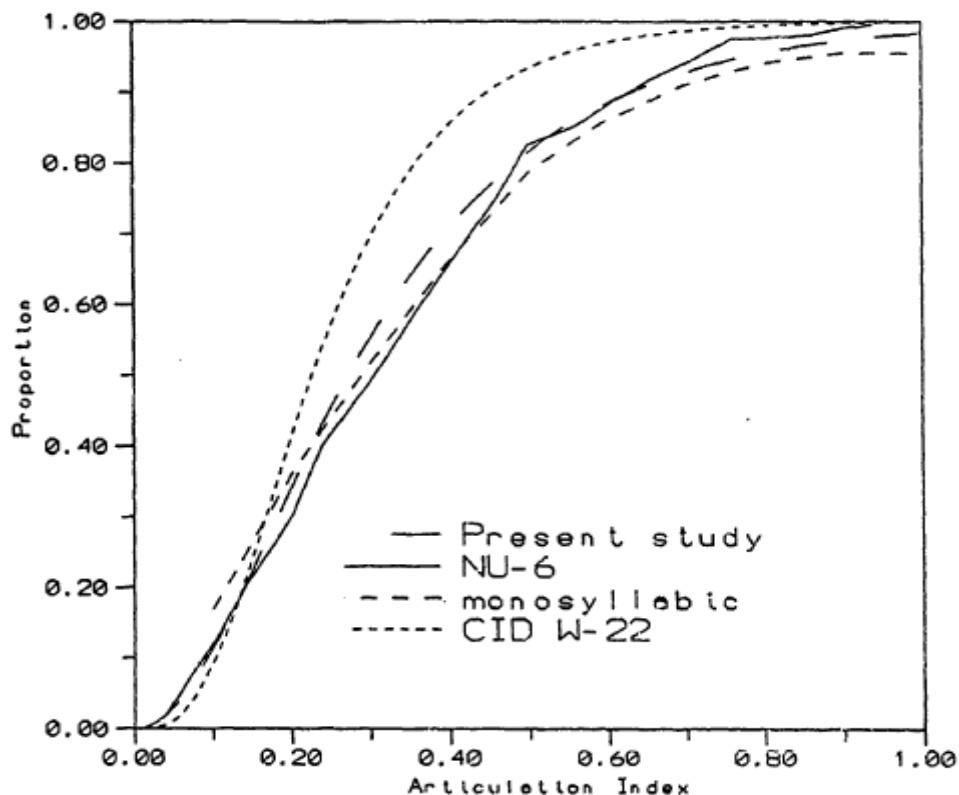


Figure 3 : Fonctions de transfert dérivées de mots monosyllabiques, de la liste de mots NU-6 et du test de mots CID W-22. D'après De Paolis (1992).

L'AI n'est donc pas un score direct d'intelligibilité et il est nécessaire d'utiliser une fonction de transfert pour établir le lien entre les deux. La courbe de cette fonction est de type sigmoïde et l'équation est de la forme (Fletcher et Galt, 1950) :

$$S = (1 - 10^{-A/Q})^N$$

Où S représente les scores d'intelligibilité en fonction de l'indice d'articulation A, Q et N des variables déterminant la pente et la forme de la courbe de la fonction de transfert.

4. Fonction d'importance fréquentielle

La fonction de transfert permet d'obtenir une relation entre l'index d'articulation et la fréquence de coupure pour les filtres passe bas ou passe haut.

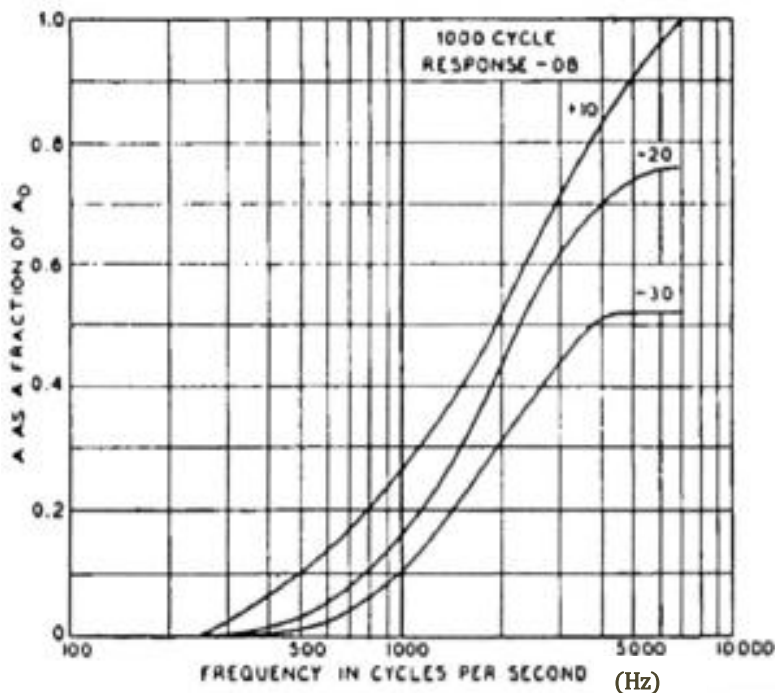


Figure 4 : Relation entre l'index d'articulation et la fréquence de coupure du filtre passe-bas pour trois RSB différents. D'après French et Steinberg (1947).

Pour déterminer le poids d'une bande fréquentielle il suffit de soustraire l'AI des fréquences encadrant cette bande. Par exemple si l'on considère la courbe de rapport sur bruit +10 de la figure 4, on peut voir que l'AI correspondant respectivement aux fréquences 2kHz et 3kHz a une valeur de 0,5 et 0,7. L'AI de la bande comprise entre ces deux fréquences est donc 0,2.

La contribution de chaque bande à l'audibilité peut être alors mise sous forme de graphe, elle dépend du matériel vocal ainsi que de la façon dont on divise le domaine fréquentiel : en bande d'octave (8 bandes), bande de tiers d'octave (18 bandes) , bandes critiques (21 bandes) ...

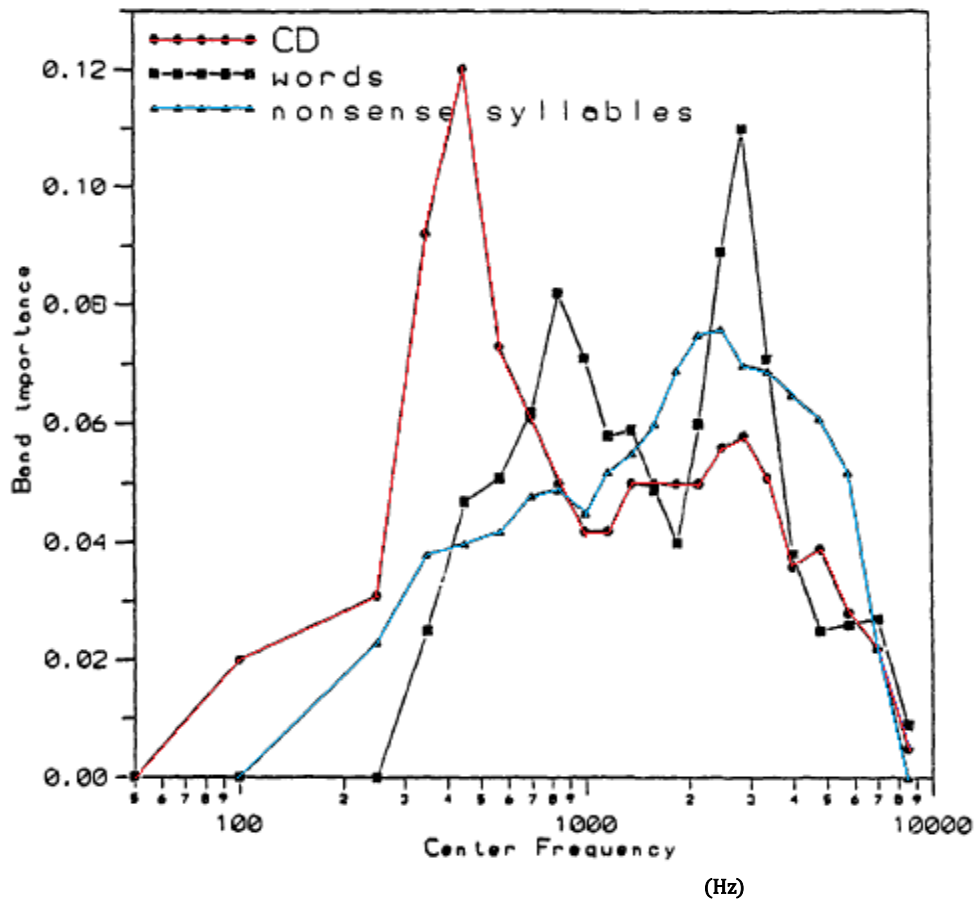


Figure 5 : Fonction d'importance fréquentielle pour des logatomes, des mots monosyllabiques, et du discours continu (DePaolis, 1992).

5. Le calcul du SII

Le calcul du SII est semblable à celui de l'AI,

Son équation fournie par la norme ANSI S3.5-1997 est la suivante :

$$SII = \sum_{i=1}^n I_i \cdot A_i$$

Avec :

n : le nombre de bandes : bandes critiques (21 bandes), bandes d'égales contributions (17), bandes tiers d'octave (18) ou bande d'octave (6)

I_i : l'indice d'importance de la bande fréquentielle i , selon le matériel vocal utilisé ;

A_i : l'indice d'audibilité de la bande fréquentielle i , la proportion du signal d'information qui émerge.

Il permet de compléter le calcul de l'Indice d'Articulation de la norme S3.5-1969 en permettant plus de flexibilité concernant les variables d'entrée (seuil d'audition, bruit, signal de parole) nécessaires pour le calcul. Ce nouveau système permet aussi plus de flexibilité dans la détermination du point de référence pour effectuer la mesure (en champ libre ou au tympan). De plus le SII prend en compte de nouveaux paramètres comme le masquage énergétique ascendant de la parole et du bruit. (Hornsby, 2004).

La réalisation complexe du calcul est décrite par la norme via des tableaux de valeurs correspondant à chaque mode de calculs (calcul fait à partir de bande d'octave, bande de tiers d'octave..) et à chaque matériel vocal :

- Le NNS, composé de syllabes (Consonne-Voyelle CV, VC ou CVC) qui n'ont pas de sens et qui sont le plus souvent utilisées dans la langue anglaise ;
- Le CID-W22, test de mots monosyllabiques phonétiquement équilibrés ;
- Le NU6, test de monosyllabes ;

- Le test de mots Diagnostic Rhyme Test (DRT) ;
- Un test de courts passages à lire, nommé Short ;
- Les monosyllabes dans le bruit du test Speech in the Presence of Noise (SPIN).

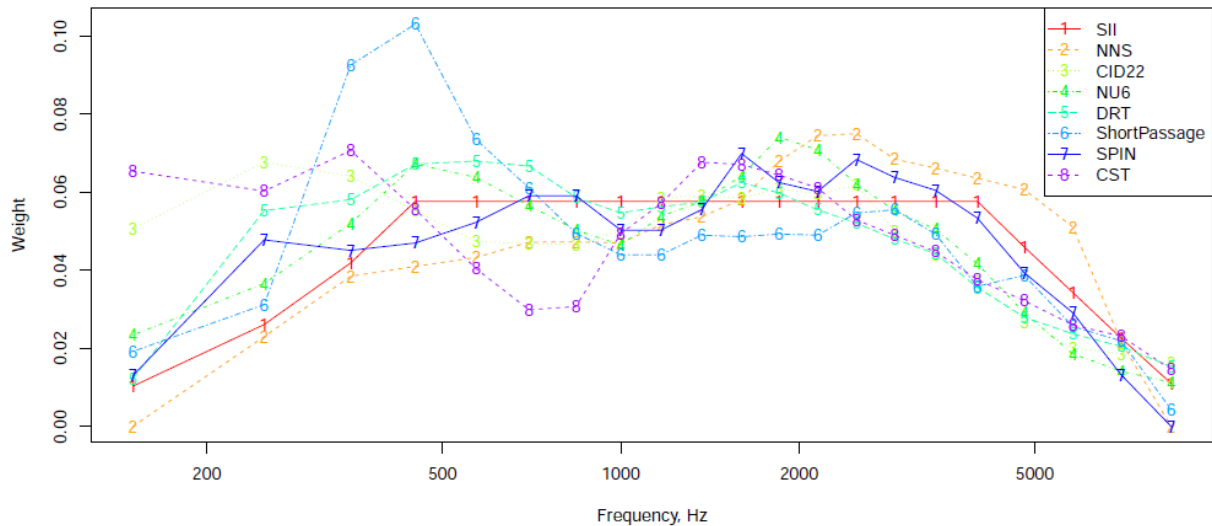


Figure 6 : Fonctions d'importance fréquentielle avec une pondération par bande critique (21 bandes) et pour différents matériels vocaux. La pondération « moyenne » SII (courbe rouge) est utilisée dans le calcul si aucun matériel vocal spécifique n'est renseigné. (ANSI 1997)

Tout comme pour l'AI, un SII de 0 signifie qu'aucune information de la parole n'est audible ou utilisable pour contribuer à la compréhension, tandis qu'un SII de 1 signifie que la totalité des informations de la parole sont disponibles et utilisables pour l'auditeur. Un SII de 0,5 ne correspond pas à 50% d'intelligibilité mais indique que la moitié de l'information est transmise. Pour établir la corrélation entre le SII et le score d'intelligibilité on utilise une fonction de transfert dont l'équation est similaire à celle vue pour l'AI :

$$Score = \left(1 - 10^{-\left(\frac{SII}{Q}\right)}\right)^N$$

6. Application du SII aux personnes malentendantes

Des faiblesses ont été pointées dans le calcul de l'AI pour prédire le score d'intelligibilité de personnes ayant des surdités importantes, comme le montre une étude réalisée par Pavlovic en 1984.

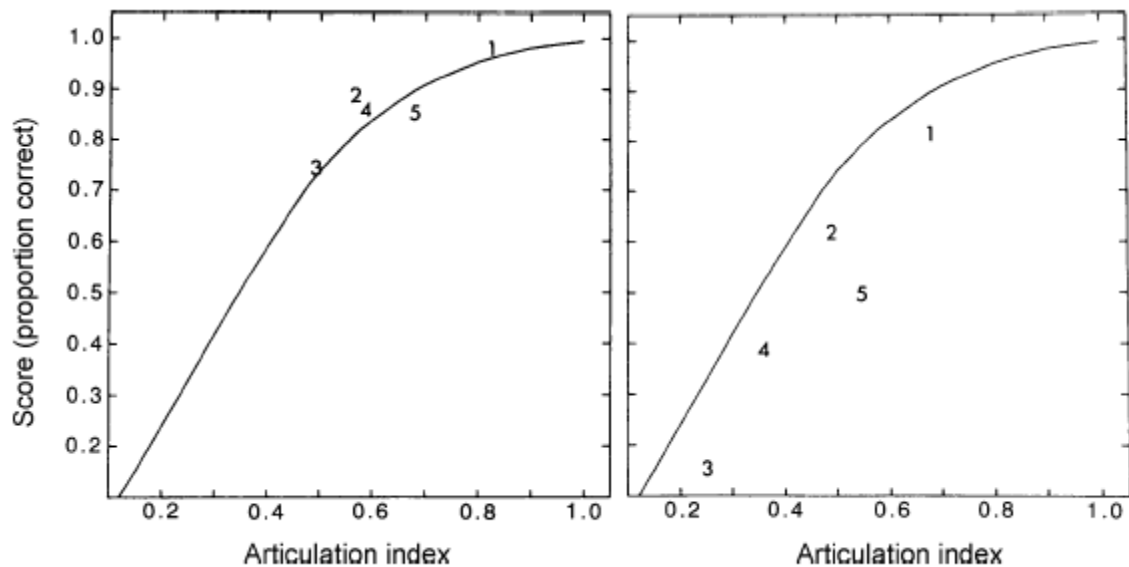


Figure 7 : Comparaison entre les prédictions données par l'AI et les scores obtenus d'intelligibilité pour des pertes inférieures à 50 dB (figure de gauche) et supérieures à 55 dB (figure de droite). (Pavlovic, 1984).

Afin de tenir compte de l'altération du système auditif causée par la perte d'audition, la norme ANSI 1997 inclut donc de nouveaux paramètres dans le calcul du SII.

Par exemple, le calcul prend en compte un facteur appelé "facteur de désensibilisation" pour appréhender la dégradation de la discrimination fréquentielle et des capacités de codage temporel chez les personnes cochléo-lésées. (Pavlovic et al. 1986)

Un autre facteur, basé sur des études de French et Steinberg (1947) multiplie l'indice d'audibilité A_i , afin de prendre en compte la distorsion provoquée par la présentation d'un niveau de haute intensité.

Ces facteurs sont inclus dans la norme ANSI 1997 pour le calcul du SII, mais pour s'approcher un peu plus de la réalité, Sherbecoe et Studebaker (2003) suggèrent de pondérer le score du SII en le multipliant par le facteur HLD (pour Hearing Loss Desensitization) tel que :

$$HLD = 1 - \left(\frac{PTA}{108.3072} \right)^3$$

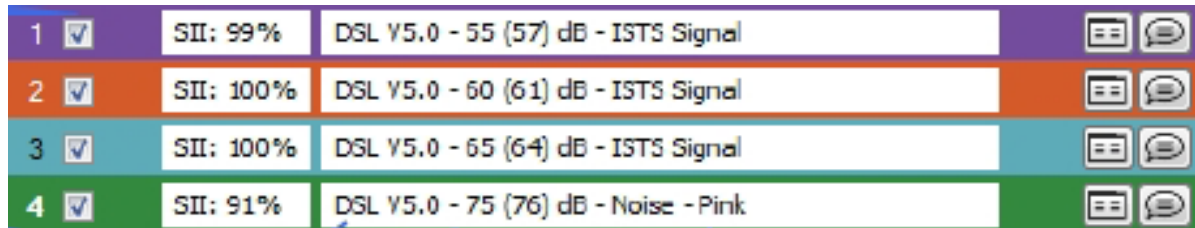
Ici le PTA (Pure Tone Average) est la moyenne des seuils d'audition pour les fréquences 1kHz et 8kHz.

Ils proposent aussi d'utiliser un facteur de distorsion supplémentaire. Ce facteur D est appliqué à chaque bande de fréquence en fonction du niveau global de présentation du signal au tympan, il prend différentes valeurs en fonction du niveau sonore L :

- Jusqu'à 65 dB SPL : aucune pondération n'est appliquée au SII
- De 66 à 84 dB SPL : $D = 1.27625 - 0.00425 (L)$
- De 85 à 104 dB SPL : $D = 1.42745 - 0.00605 (L)$
- A partir de 105 dB SPL : $D = 1.44320 - 0.00620 (L)$.

7. Obtention du SII en mesure in vivo

Lorsqu'on effectue une REAR à l'aide de l'Aurical Freefit, on peut voir dans le module PMM du logiciel Otosuite que le SII est affiché dans la légende en dessous des courbes.











1	<input checked="" type="checkbox"/>	SII: 99%	DSL V5.0 - 55 (57) dB - ISTS Signal	 
2	<input checked="" type="checkbox"/>	SII: 100%	DSL V5.0 - 60 (61) dB - ISTS Signal	 
3	<input checked="" type="checkbox"/>	SII: 100%	DSL V5.0 - 65 (64) dB - ISTS Signal	 
4	<input checked="" type="checkbox"/>	SII: 91%	DSL V5.0 - 75 (76) dB - Noise - Pink	 

Figure 8 : Visualisation du SII sur Otosuite.

L'Aurical Freefit permet une analyse percentile de la dynamique de la parole (Dworsack et Kossek, 2010). Elle peut donc déterminer précisément l'émergence des informations afin de calculer le SII.

Le manuel du logiciel donne quelques informations sur le mode de calcul du SII :

« L'indice d'intelligibilité de la parole (SII) est calculé tel que défini par la norme ANSI S3.5-1997 (R2002), «Méthodes de calcul de l'indice d'intelligibilité de la parole ». Le SII est calculé pour tous les types de signaux. »

« Le principe de calcul du SII est le suivant : le calcul est appliqué à des bandes de tiers d'octave, et prend en compte le gain d'insertion existant. Un masquage ascendant est appliqué pour la parole et le bruit. »

« L'indice d'intelligibilité de la parole (SII) est calculé pour les mesures qui utilisent un signal de type parole ou comme de la parole »

Le calcul est donc fait par bandes de tiers d'octave, en revanche il n'est pas clairement indiqué quelle pondération est donnée à ces bandes de fréquence.

Matériel et méthode

1. Sujets testés

Cette étude regroupe les données de 27 sujets dont 16 femmes et 11 hommes.

Tous sont francophones, appareillés depuis plus d'un an et portant régulièrement leurs appareils.

L'âge des patient testés va de 35 ans à 95 ans, avec pour âge moyen 70,3 ans.

Les tests ont été effectués sur 50 oreilles appareillées (23 oreilles droites et 27oreilles gauches). La perte tonale moyenne est de 54,7 dB HL, l'audiogramme moyen est représenté sur la figure 9.

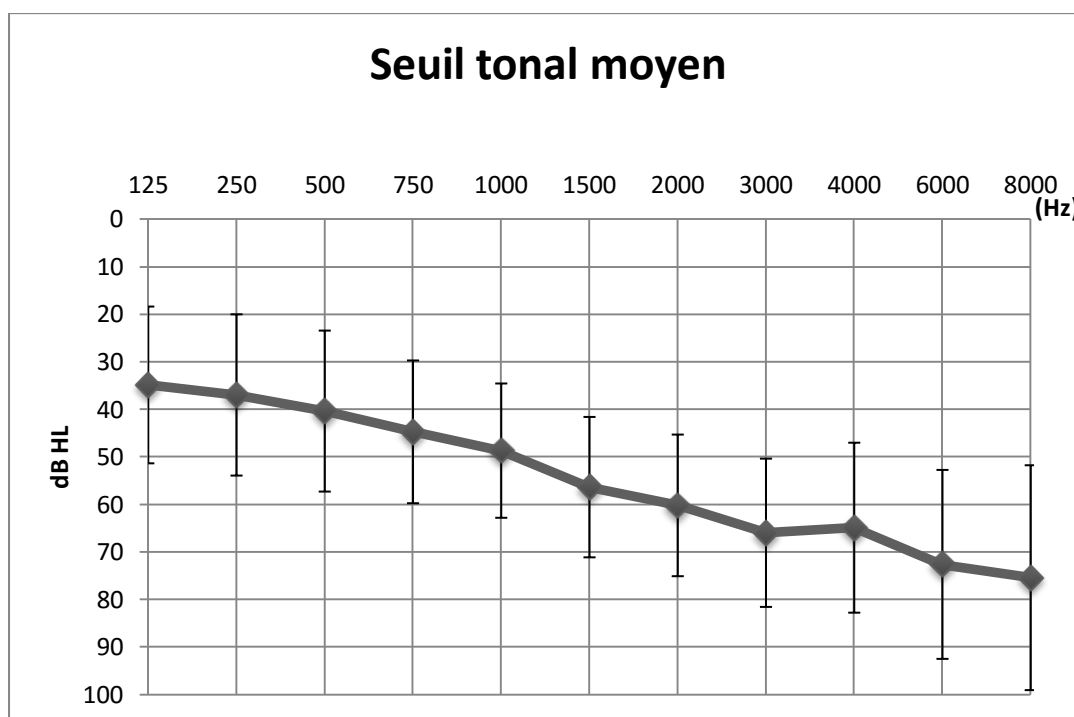


Figure 9 : Audiogramme moyen de la population testée.

Le mémoire s'intéresse au SII indiqué par le logiciel Otosuite lors d'une mesure in vivo et tente de déterminer comment l'audioprothésiste peut utiliser cette information dans sa pratique quotidienne.

Pour répondre à cette problématique nous avons tenté de savoir comment le SII est calculé, et quelle est sa fiabilité dans la prédiction de l'intelligibilité.

2. Matériel utilisé

Les tests ont été réalisés dans une cabine insonorisée du laboratoire Audition Geny à Tourcoing (59)

- Les otoscopies ont été réalisées à l'aide d'un vidéotoscope.
- Les mesures audiométriques ont été effectuées avec l'Aurical Aud. et en utilisant des inserts EAR 3A
- L'Aurical Freefit pour les mesures in vivo
- L'Aurical HIT pour la mesure du RECD
- L'intelligibilité des patients a été mesurée à l'aide des listes cochléaires de Lafon
- Le Haut-parleur Aurical pour la présentation des listes de Lafon et de l'ISTS lors des mesures in vivo.
- Le logiciel Otosuite

2.1 Les listes cochléaires de Lafon

Les listes cochléaires de Lafon sont au nombre de 20, comprenant chacune 17 mots équilibrés phonétiquement. La liste est présentée à l'intensité pour laquelle on veut mesurer l'intelligibilité du sujet, il doit répéter les mots au fur et à mesure qu'ils lui sont présentés. On compte le nombre de phonèmes non perçus ou erronés, répéter le mot avec un phonème surnuméraire n'est pas comptabilisé comme une erreur. Chaque mot est composé de 3 phonèmes pour un total de 51 phonèmes par liste arrondi à 50 et multiplié par deux pour avoir un score d'intelligibilité sous forme de pourcentage. Ces listes présentent une très faible suppléance mentale, d'autant plus que les mots sont présentés sans article. (Précis d'audioprothèse).

L'intérêt de ce test était de pouvoir comptabiliser le nombre de mots correctement répétés, en plus de la notation des phonèmes, et donc d'avoir plus d'éléments à comparer au SII.

Aussi, il paraissait judicieux pour notre étude d'utiliser une méthode répandue dans la pratique des audioprothésistes. Le nombre d'items dans une liste présentée aux patients rendant la sensibilité de la mesure plus grande qu'en utilisant une liste de Fournier.

2.2. L'ISTS

L'International Speech Test Signal (ISTS) a été utilisé pour obtenir les courbes de réponses lors de la mesure in vivo. Ce test permet de simuler la parole de manière réaliste et donc reconnu en tant que tel par les systèmes de traitement de signal des aides auditives, tout en étant reproductible. Formé à partir de voix de 21 femmes (dont le spectre de parole est situé entre celui de l'enfant et de l'homme), dans 6 langues différentes, ses caractéristiques phonétiques correspondent à une moyenne internationale. Les enregistrements vocaux sont segmentés et concaténés de manière aléatoire pour aboutir à un signal continu et inintelligible. (Delerce et Gault, 2011)

3. Protocole expérimental

3.1. Déroulement des tests

Au cours de cette étude, nous avons effectué les tests suivants :

- La vérification d'un temps de port régulier via une brève anamnèse et la vérification du data logging.
- Une otoscopie pour éliminer toute contre indication à l'audiométrie ou pour la mesure in vivo.
- Une audiométrie tonale liminaire aux inserts pour les fréquences 125, 250, 500, 750, 1000, 1500, 2000, 3000, 4000, 6000, 8000 Hertz et la mesure du RECD afin d'obtenir un SPLogramme propre au patient.

- Une REAR (Real Ear Response) d'une durée de 20 secondes en binaural puis en monoral pour chaque oreille aux intensités 50 et 65 dB SPL.
- Puis une audiométrie vocale à l'aide des listes de Lafon en champ libre à 50 dB et à 65 dB avec appareils, en binaural et oreille par oreille. L'oreille controlatérale était occluse lors du test par un insert Ear 3A fermé à son extrémité, ou si nécessaire, masquée par un bruit blanc à l'aide d'un casque TDH 39.

La calibration de la pièce et de la sonde pour la mesure in vivo était effectuée pour chaque nouveau patient. Chaque passation durait environ 45 minutes.

Pour chaque patient, le SII obtenu en REAR était relevé dans le logiciel Otosuite ainsi que les différentes données permettant le calcul du SII.

Pour les mesures binaurales, une valeur de SII était indiquée entre crochet pour chaque oreille. C'est la plus grande valeur de SII qui a été prise en compte pour les tests.

Les valeurs du SII ont ensuite été comparées aux scores d'intelligibilités obtenus en audiométrie vocale afin d'établir les fonctions de transfert correspondantes.

Puis nous avons utilisé ces fonctions de transfert afin d'étudier la fiabilité de la prédiction en mesurant l'erreur entre l'intelligibilité réelle et l'intelligibilité prédite.

3.2. Calculs réalisés

Afin de mieux comprendre comment le calcul effectué par la mesure in vivo (MIV) est réalisé, nous avons fait le calcul en faisant varier différents paramètres afin de pouvoir comparer les résultats avec ceux obtenus en MIV.

La méthode de calcul utilisée est celle utilisée par Xavier Delerce dans son étude portant sur la chaîne de mesure Affinity :

$$A_i = \frac{(\text{Spectre parole} - \text{seuil ou bruit}) + 15}{30}$$

A_i étant l'émergence du signal de parole à multiplier ensuite par l'importance de la bande de tiers d'octave I_i , pour obtenir le SII.

Les valeurs des seuils, du niveau moyen de parole et de bruit en dB SPL par bande de tiers d'octave ont été relevées et entrées manuellement sous forme de tableau à l'aide du logiciel Excel pour effectuer le calcul.

Pour chaque oreille testée il fallait relever ces valeurs, et ce pour les différents niveaux d'intensité (50dB et 65 dB).

Pour chacune de ces conditions, nous avons effectué le calcul avec 3 Fonctions d'Importance Fréquentielle différentes : SII standard, NNS et CID-22.

Le calcul a été fait en bande de tiers d'octave car c'est cette méthode qui est utilisée dans le calcul du SII par la chaîne de mesure. Les seuils n'ayant pas été mesurés pour chaque bande de tiers d'octave, les valeurs intermédiaires ont été obtenues par un calcul d'approximation.

Résultats

1. Comparaison des calculs du SII réalisés pour différents paramètres aux valeurs relevées en mesure in vivo

Nous avons calculé le SII pour différentes Fonctions d'Importance Fréquentielle (FIFs) :

- pour la FIF « CID-22 », mots monosyllabiques phonétiquement équilibrés
- pour la FIF « NNS », logatomes CVC
- pour la FIF « SII standard », une moyenne des différentes pondérations utilisées lorsqu'aucun matériel vocal n'est précisé pour le calcul.

Pour chaque FIF, le calcul du SII a été effectué en respectant le calcul d'émergence donné par l'ANSI, puis en ajoutant le facteur HLD dans le calcul. Le facteur D a aussi été ajouté au calcul pour les FIFs « SII standard » et « NNS ».

1.1. FIF CID22

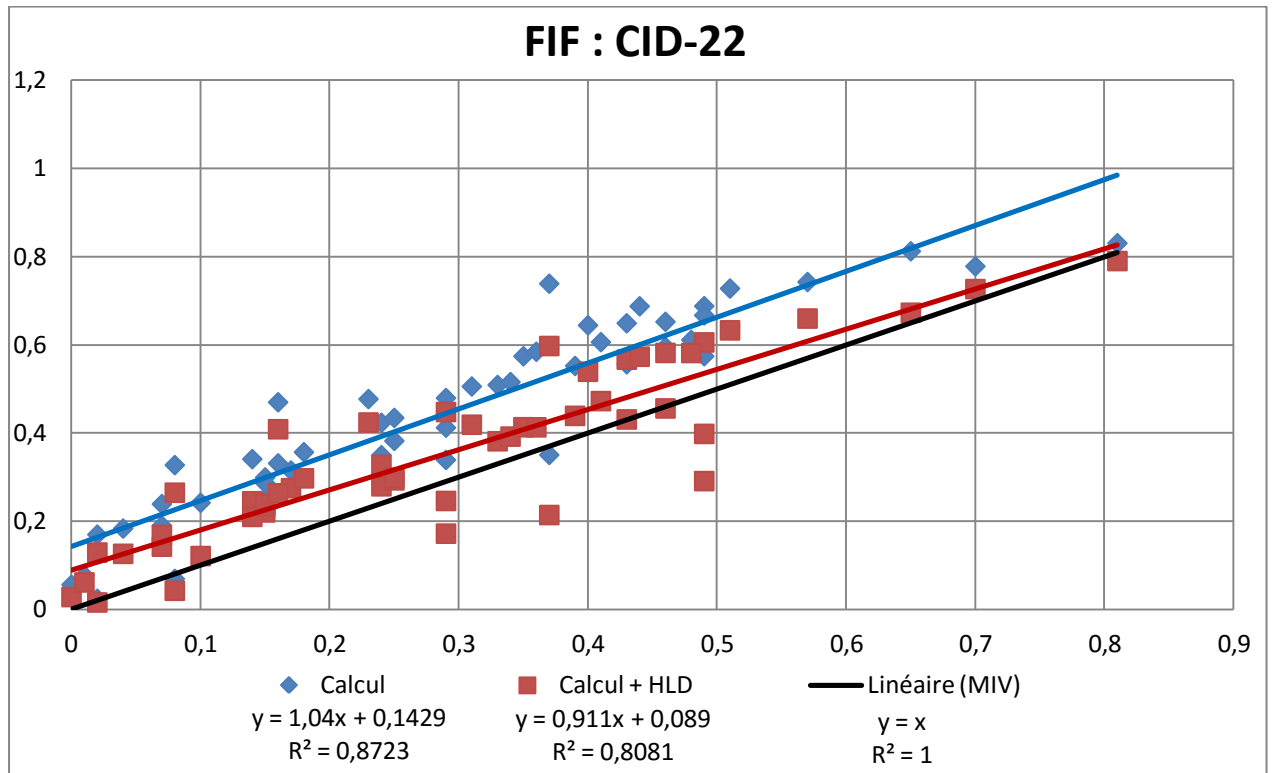


Figure 10 : Comparaison du SII obtenu en MIV (en abscisse) aux SII calculés (en ordonnée) pour la FIF CID-22.

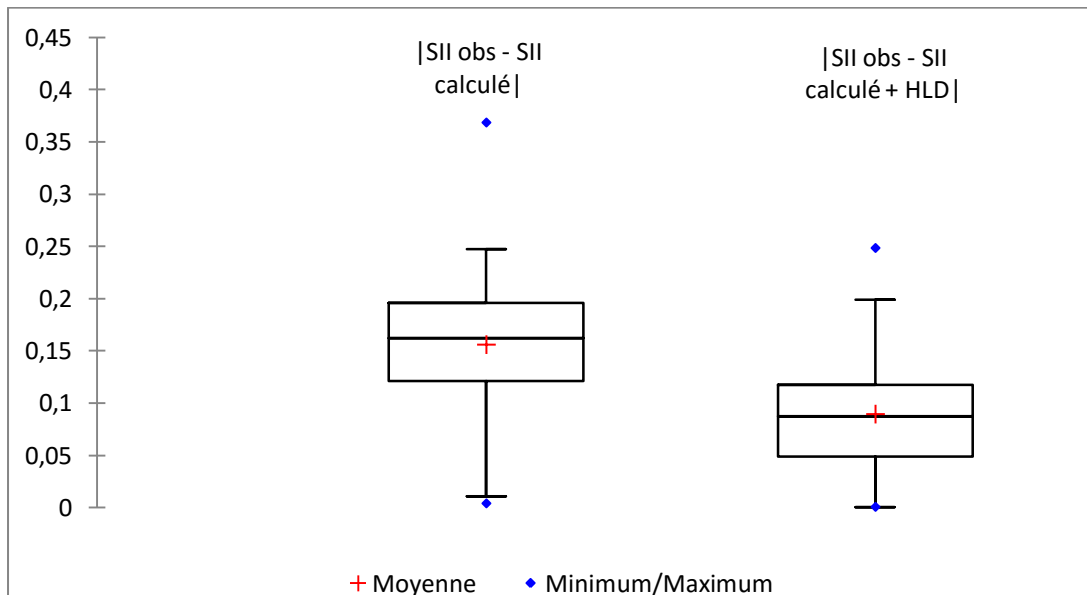


Figure 11 : Représentation de l'erreur absolue entre SII observé en MIV et SII calculé pour la FIF CID-22.

1.2. FIF SII standard

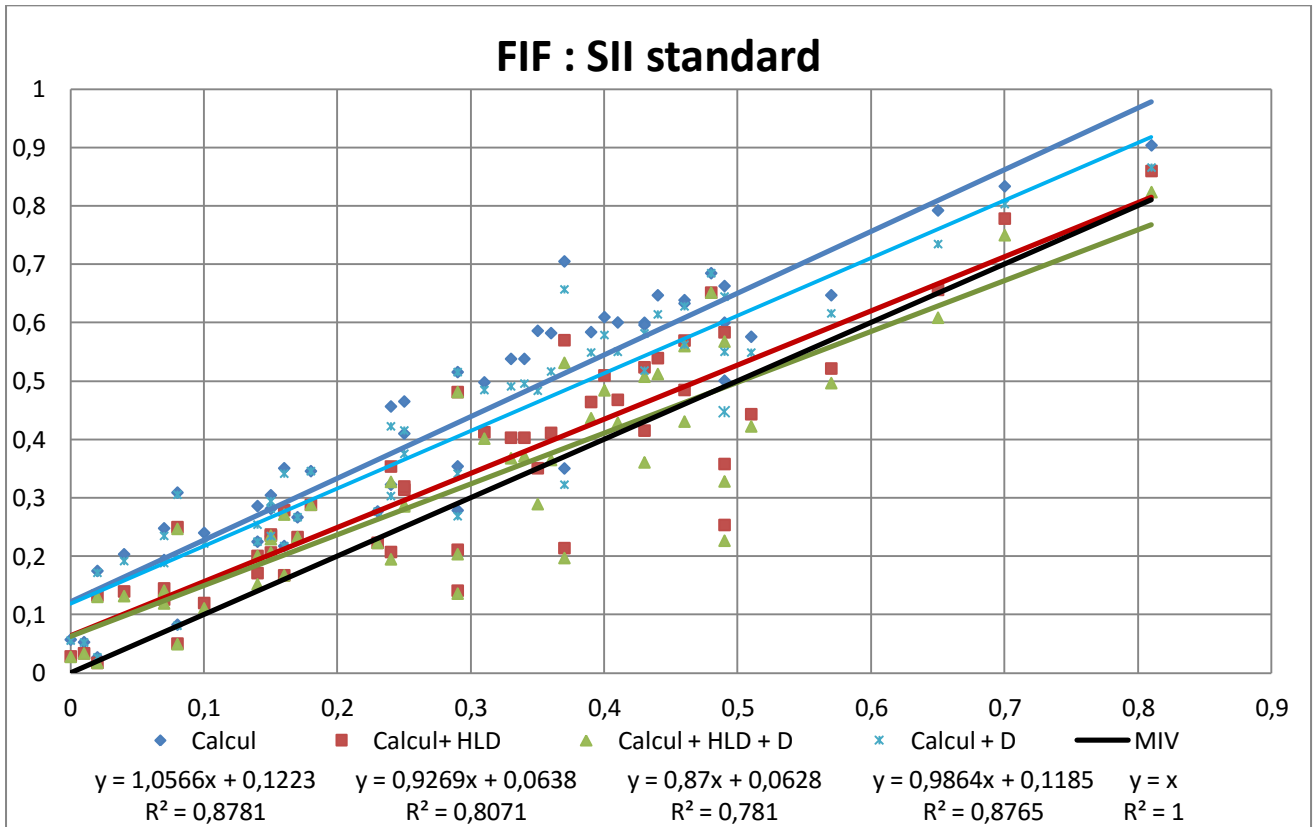


Figure 12 : Comparaison du SII obtenu en MIV (en abscisse) aux SII calculés (en ordonnée) pour la FIF SII Standard.

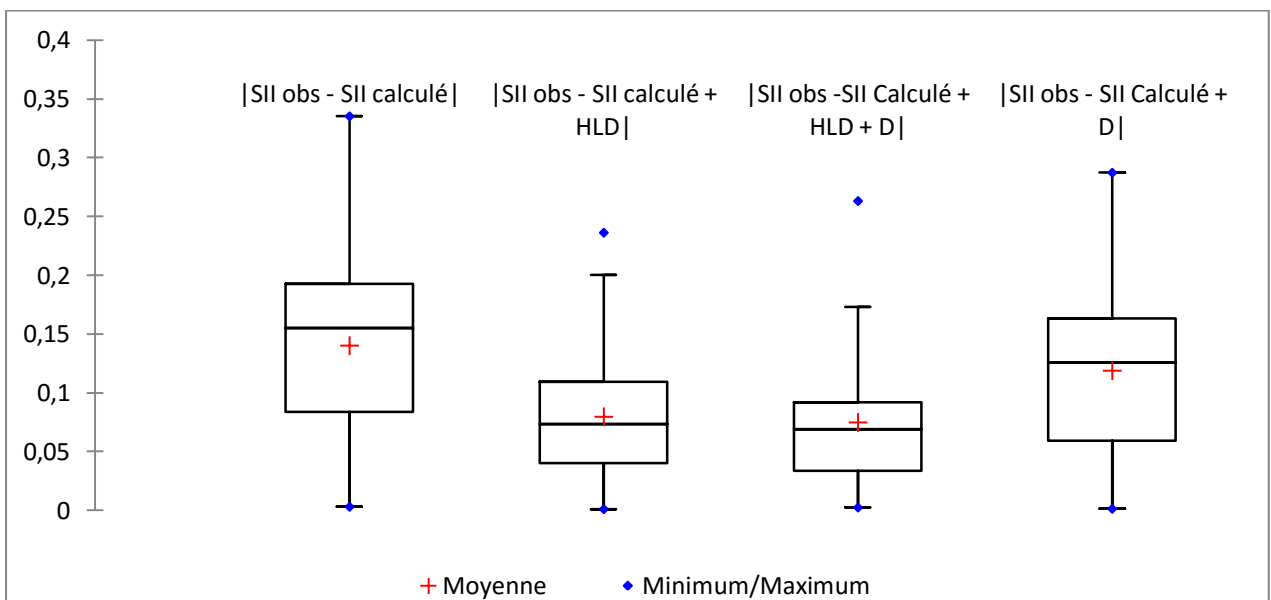


Figure 13 : Représentation de l'erreur absolue entre SII observé en MIV et SII calculé pour la FIF SII standard avec et sans facteur D et HLD.

1.3. FIF NNS

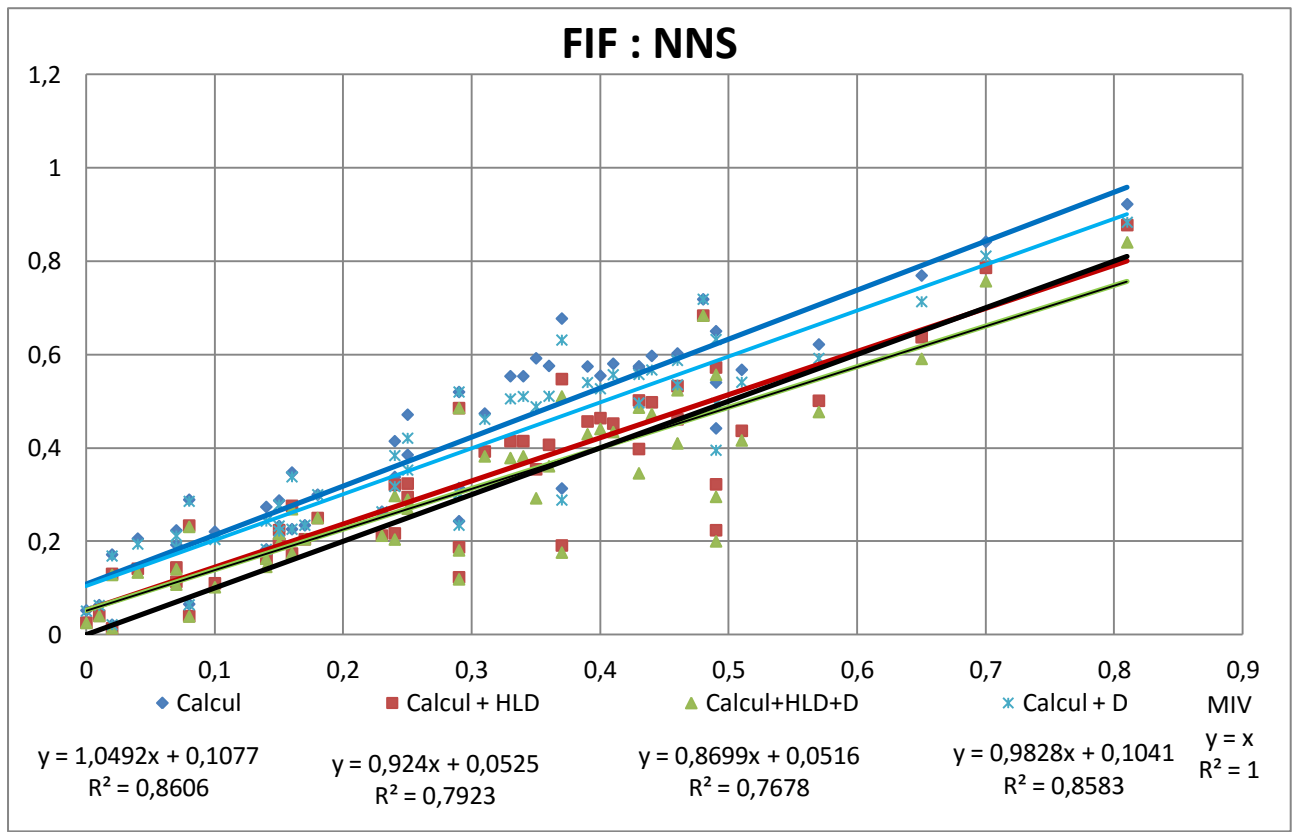


Figure 14 : Comparaison du SII obtenu en MIV (en abscisse) aux SII calculés (en ordonnée) pour la FIF NNS.

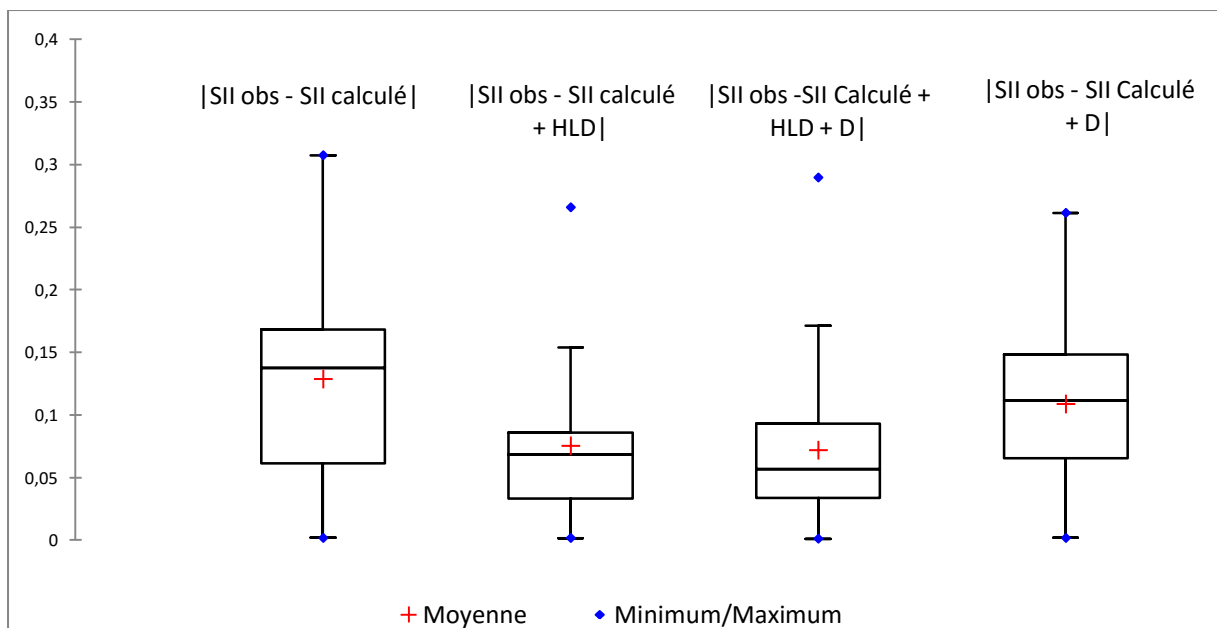


Figure 15 : Représentation de l'erreur absolue entre SII observé en MIV et SII calculé pour la FIF NNS avec et sans facteur D et HLD.

1.4. Comparaison des calculs entre les différentes FIFs

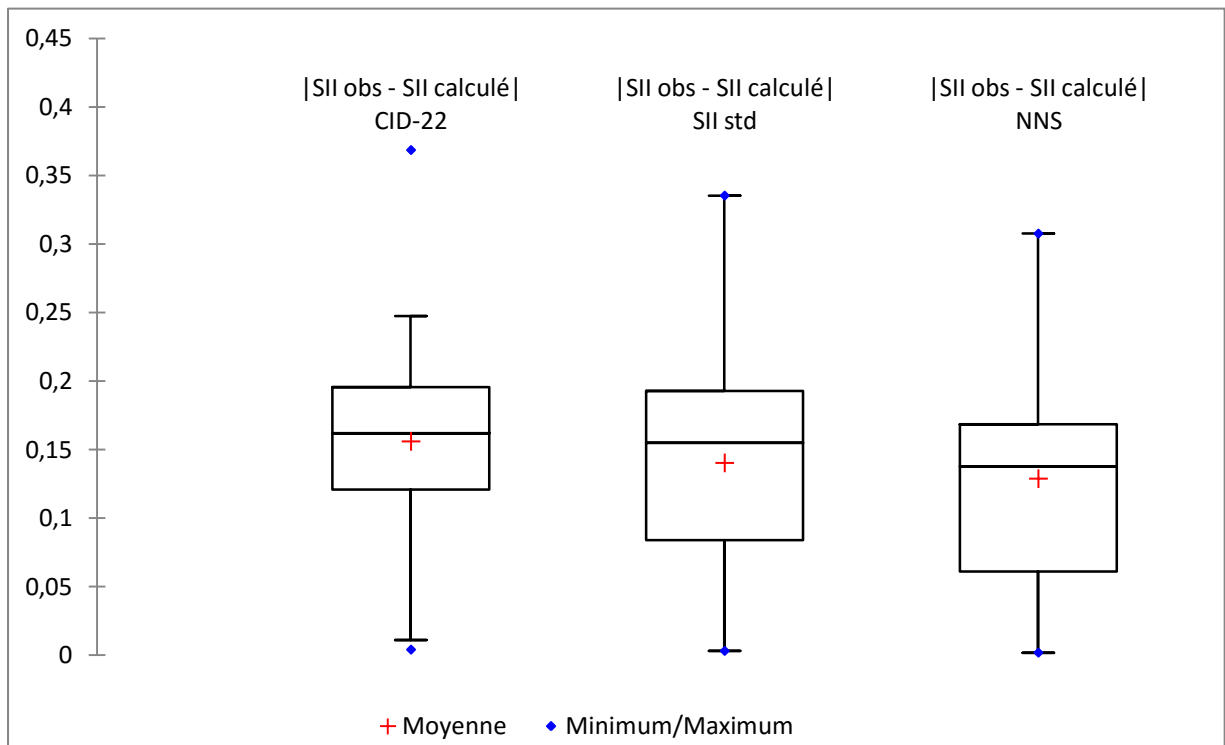


Figure 16 : Comparaison des erreurs absolues entre SII observé et SII calculé sans pondération pour les différentes FIFs.

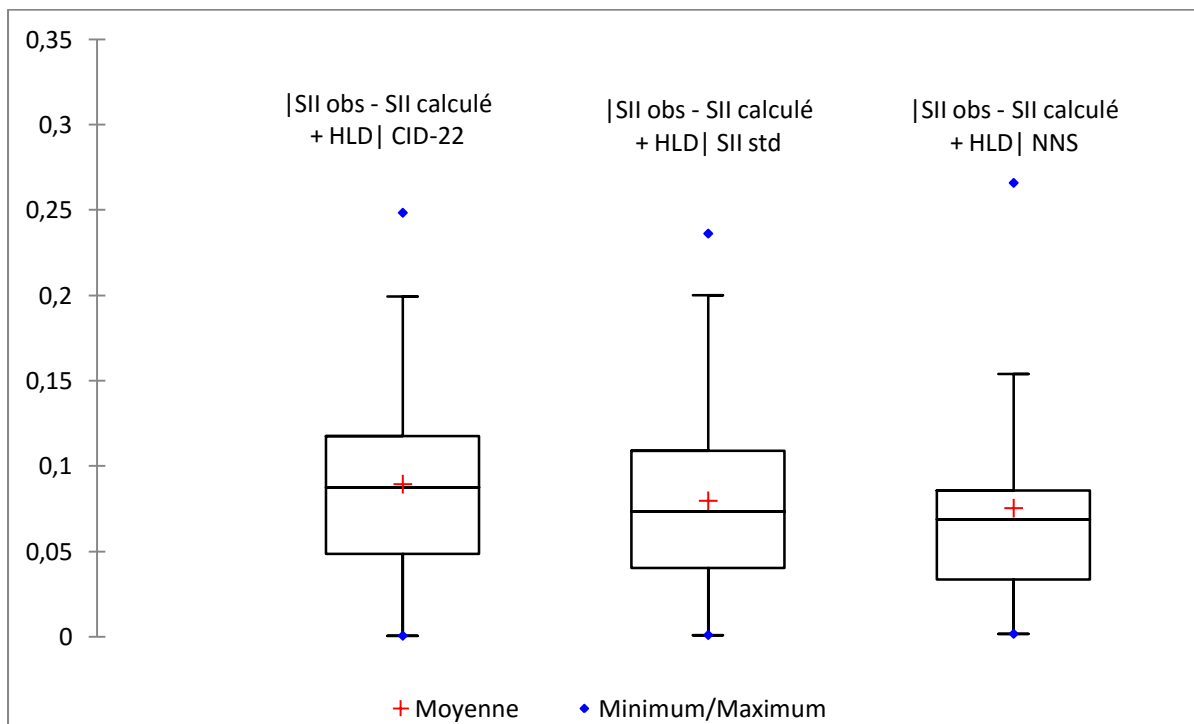


Figure 17 : Comparaison des erreurs absolues entre SII observé et SII calculé avec facteur HLD pour les différentes FIFs.

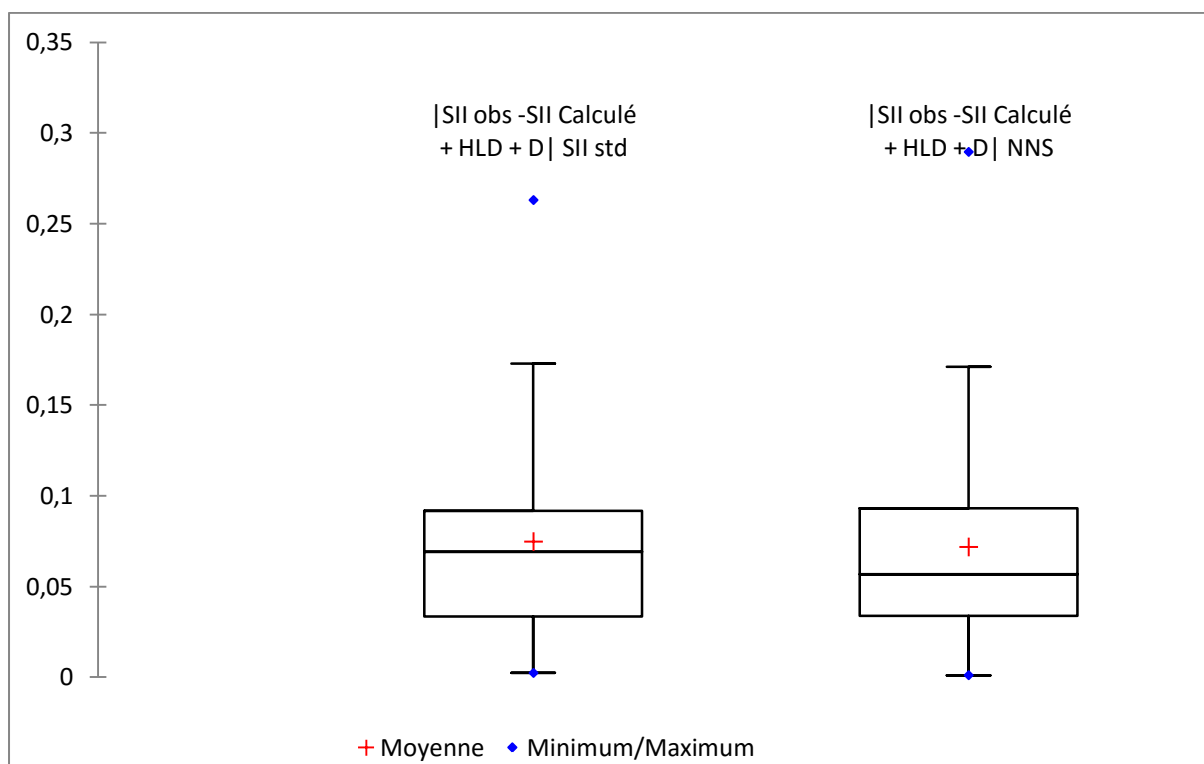


Figure 18 : Comparaison des erreurs absolues entre SII observé et SII calculé avec facteur HLD + facteur D pour les FIFs SII standard et NNS.

Enfin, nous avons effectué le test de Wilcoxon signé pour échantillons appariés afin de comparer les valeurs de SII calculées (échantillons testés) aux valeurs observées en niv (échantillon de référence) avec pour hypothèses :

L'hypothèse nulle H_0 : les deux échantillons suivent la même loi de distribution.

L'hypothèse alternative H_a : les distributions des deux échantillons sont différentes.

Le risque alpha est de 5%, lorsque le risque est inférieur à 5% on considère que l'hypothèse H_0 peut être rejetée et que H_a peut être acceptée.

Le test effectué pour la FIF NNS + HLD + D est le seul pour lequel l'hypothèse nulle n'a pu être rejetée (p-value de 0,0788 ; soit 7,88% de risque de rejeter l'hypothèse H_0 alors qu'elle est vraie).

Pour la FIF SII standard + HLD + D la p-value était de 1,42%

Pour tous les autres tests la p-value obtenue était inférieure à 0,01 ; soit un risque de rejeter l'hypothèse nulle inférieur à 1%.

2. Corrélation entre intelligibilité réelle et intelligibilité prédite

2.1. Elaboration des fonctions de transfert

Les SII obtenus en Mesure In Vivo (MIV) ont été comparés aux scores d'intelligibilité pour chaque oreille et en binaural, en regroupant les résultats obtenus à 50 dB SPL avec ceux obtenus à 65 dB SPL.

Les nuages de points obtenus lors de chaque comparaison ont permis de déterminer les paramètres Q et N afin d'ajuster au mieux la fonction de transfert correspondante.

Pour rappel la fonction de transfert qui représente le score d'intelligibilité S en fonction du SII et des paramètres Q et N est de la forme suivante :

$$S = (1 - 10^{-SII/Q})^N$$

Les figures 19 et 20 permettent de visualiser les fonctions de transfert correspondant au score d'intelligibilité, compté en mot ou en phonèmes, en fonction du SII.

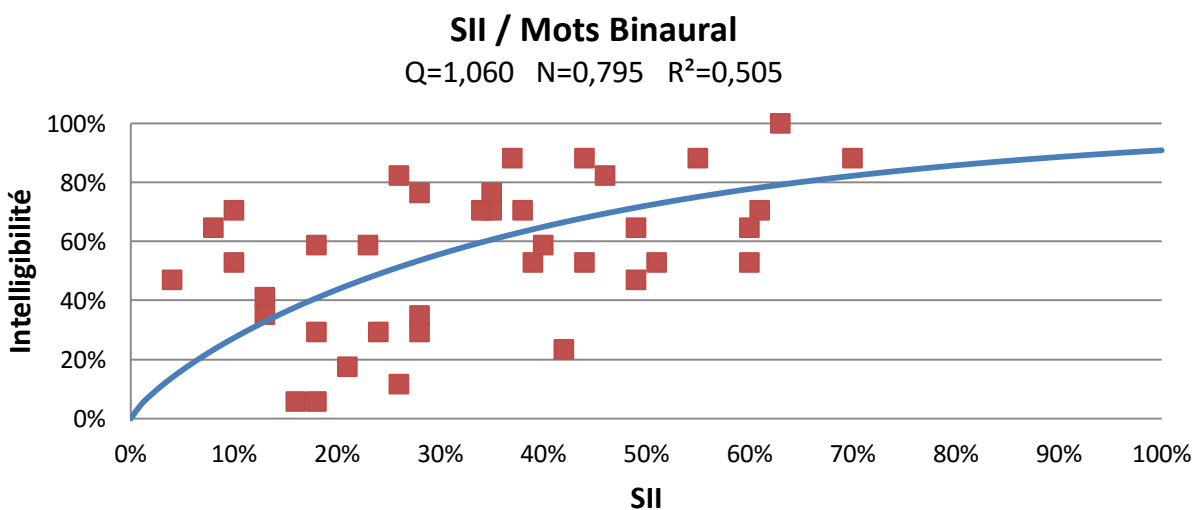
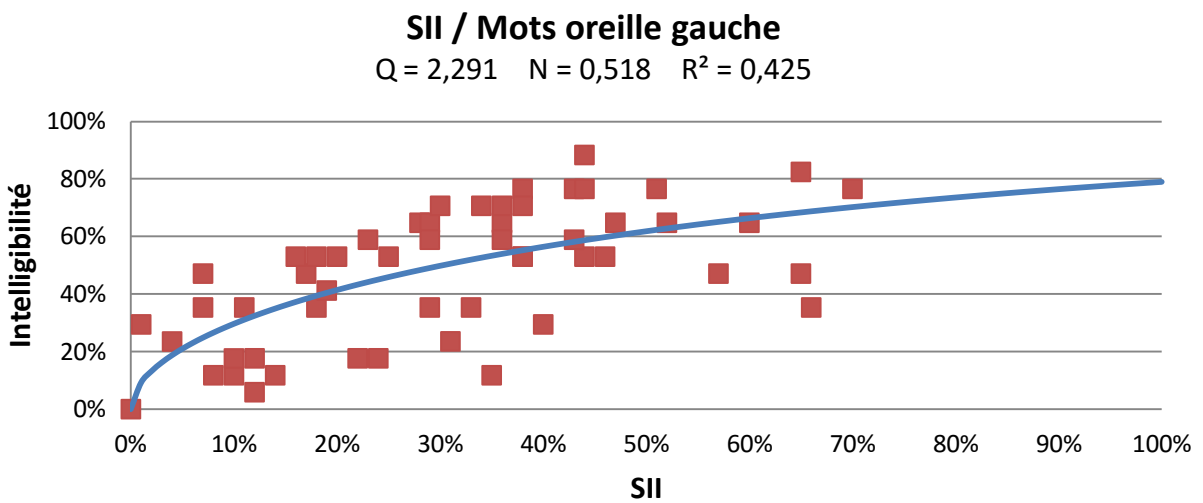
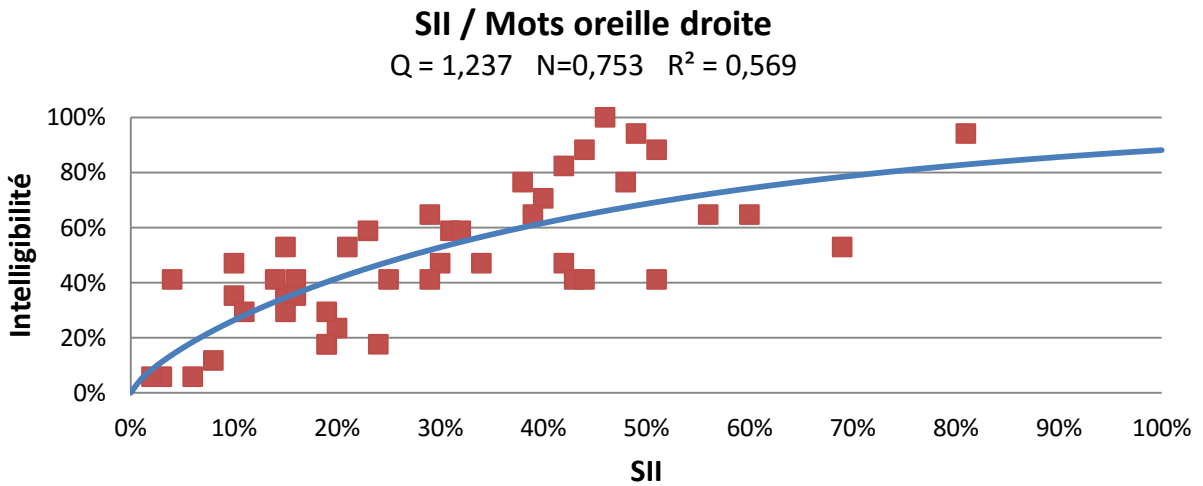
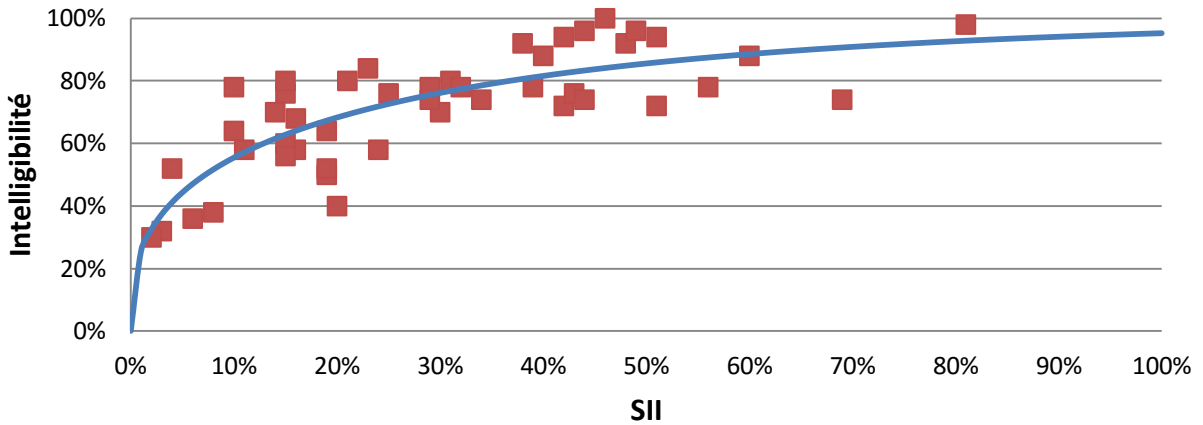


Figure 19 : Fonction de transfert permettant d'établir la corrélation entre le SII et le nombre de mots correctement répétés, pour des tests effectués à 50 et 65dB SPL sur l'oreille droite, l'oreille gauche et en binaural.

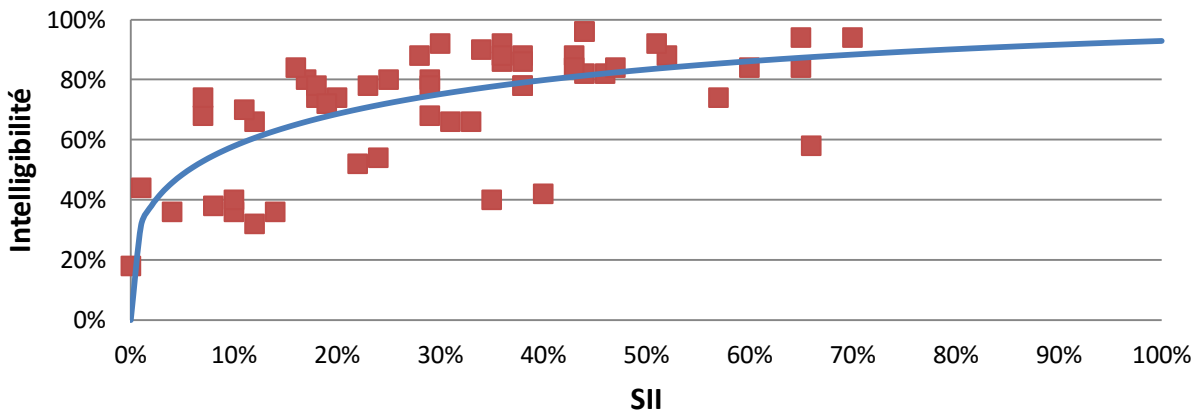
SII / Phonèmes oreille droite

Q= 1,124 N=0,349 R²=0,633



SII / Phonèmes oreille gauche

Q=1,611 N=0,271 R²=0,461



SII / Phonèmes Binaural

Q=1,072 N=0,322 R²=0,408

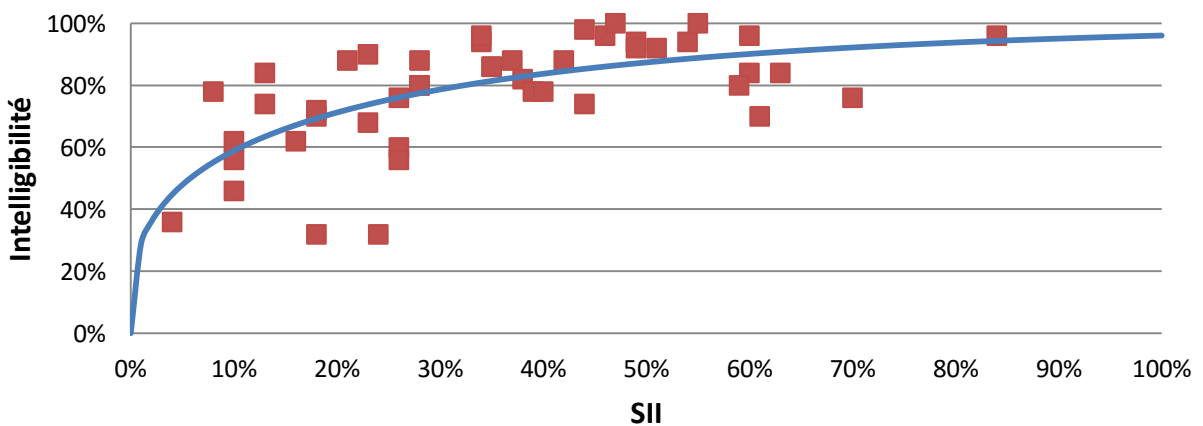


Figure 20: Fonction de transfert permettant d'établir la corrélation entre le SII et le nombre de phonèmes correctement répétés, pour des tests effectués à 50 et à 65 dB SPL sur l'oreille droite, l'oreille gauche et en binaural.

Les fonctions de transfert ont permis d'obtenir des scores d'intelligibilité prédite S .

Par exemple, la fonction de transfert établie pour des phonèmes en mesure binaurale s'écrit :

$$S = (1 - 10^{-SII/1,072})^{0,322}$$

$$S = (1 - 10^{-SII/1,392})^{0,684}$$

$$S = (1 - 10^{-SII/1,23})^{0,317}$$

Pour un SII de 34% on obtient $S = 81\%$

Pour ce SII un des patients de l'étude a obtenu en audiométrie vocale un score d'intelligibilité observée $S_o = 94\%$

Nous obtenons donc pour erreur de prédiction $S_o - S = 13\%$

Avant de déterminer les fonctions de transfert générales pour les phonèmes et les mots, incluant toutes les mesures (binaurale + oreille droite+ oreille gauche) nous avons vérifié que les erreurs de prédiction $S_o - S$ n'étaient pas significativement différentes d'un test à l'autre, et surtout entre mesures monaurales et binaurales.

Nous avons utilisé pour cela le test de Wilcoxon signé (test de corrélation non paramétrique d'échantillons appariés) afin de comparer les erreurs de prédiction calculées pour les différents échantillons (oreille gauche, oreille droite et binaural) avec pour hypothèse nulle H_0 : « Les deux échantillons suivent la même loi de distribution », et pour hypothèse alternative H_a : « Les distributions des deux échantillons sont différentes. »

La p-value nous renseigne sur le risque en pourcentage de rejeter H0 alors qu'elle est vraie. Le risque alpha étant de 5%, lorsque la p-value est supérieure à 0,05 on ne peut pas rejeter H0.

Nous avons obtenu les valeurs suivantes :

	p-value		
	OD/OG	OD/Bi	OG/Bi
Mots	0,802	1	0,886
Phonèmes	0,861	0,887	1

Figure 21 : Comparaison de l'erreur de prédiction entre les échantillons.

Nous constatons que l'erreur de prédiction ne diffère pas de manière significative selon que les tests aient été fait sur oreille droite (OD), oreille gauche (OG) ou en binaural (Bi).

Nous pouvons donc inclure les nuages de points de chaque condition OD, OG et Bi pour obtenir deux fonctions de transfert générales établissant la corrélation entre le SII et le score d'intelligibilité.

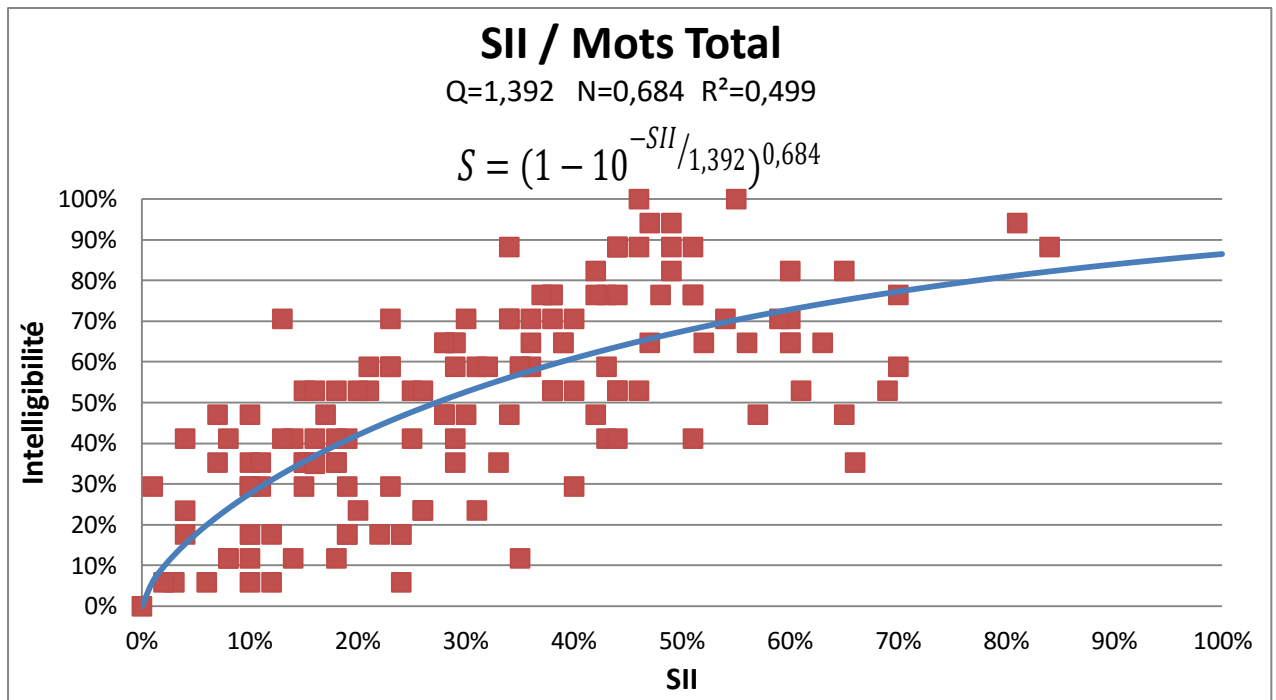


Figure 22: Fonction de transfert générale permettant d'établir la corrélation entre le SII et le nombre de mots correctement répétés, pour des tests effectués à 50 et à 65 dB SPL sur oreille droite, oreille gauche et en binaural.

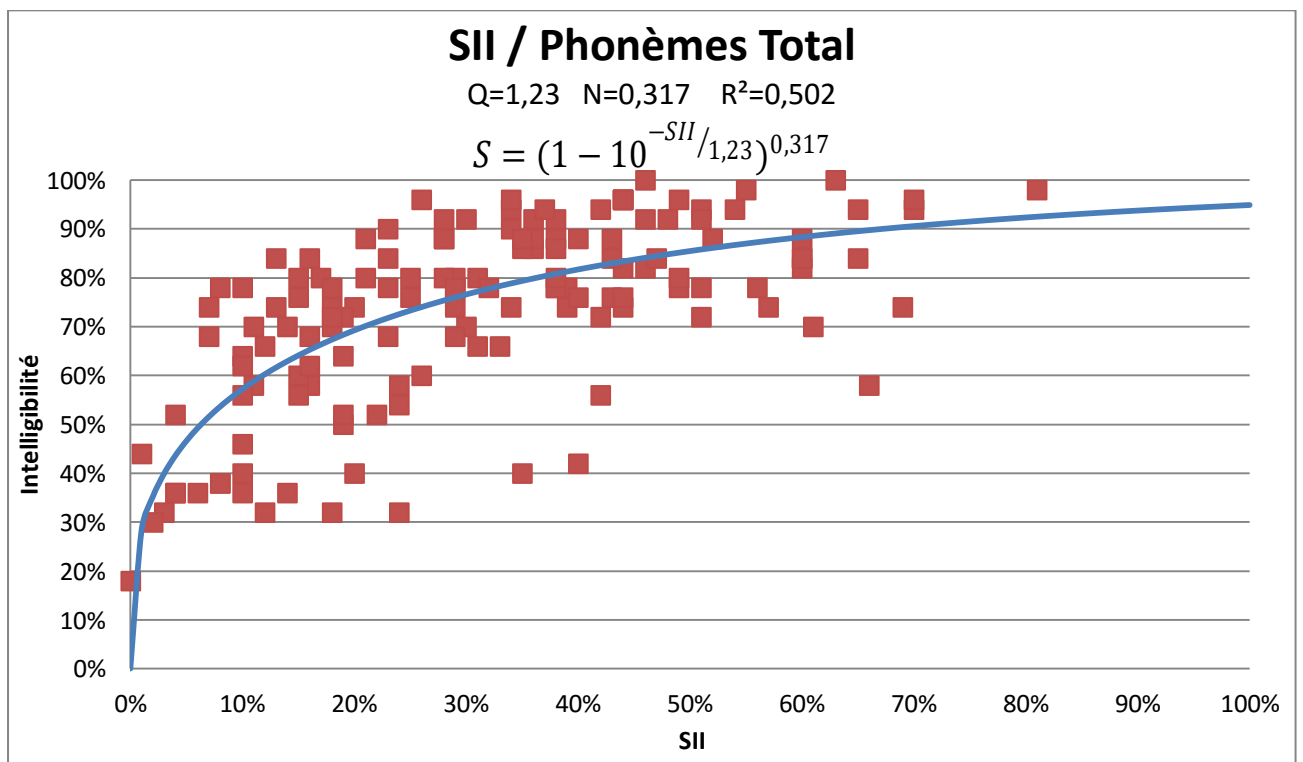


Figure 23: Fonction de transfert générale permettant d'établir la corrélation entre le SII et le nombre de phonèmes correctement répétés, pour des tests effectués à 50 et à 65 dB SPL sur oreille droite, oreille gauche et en binaural.

2.2. Qualité de la prédiction des fonctions de transfert générales

Nous avons utilisé le test de Pearson pour établir la corrélation entre intelligibilité prédite et intelligibilité observée.

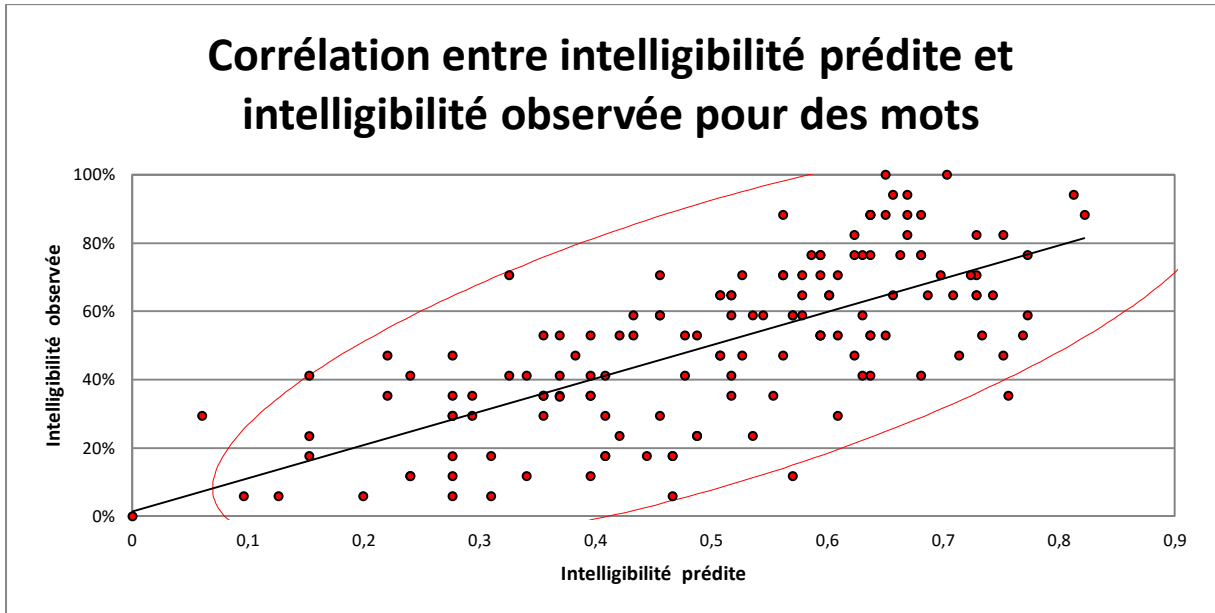


Figure 24 : Test de corrélation de Pearson. Coefficient de Pearson = 0,707 ; p-value <0,0001 ; R² = 0,499

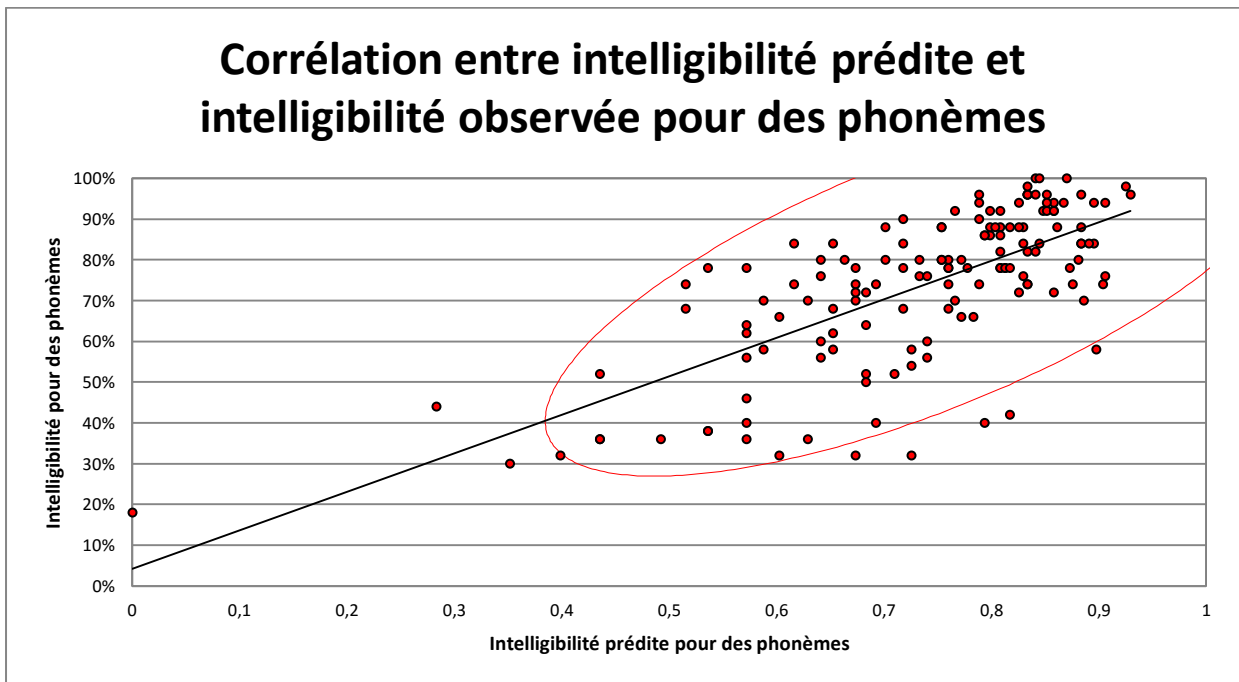
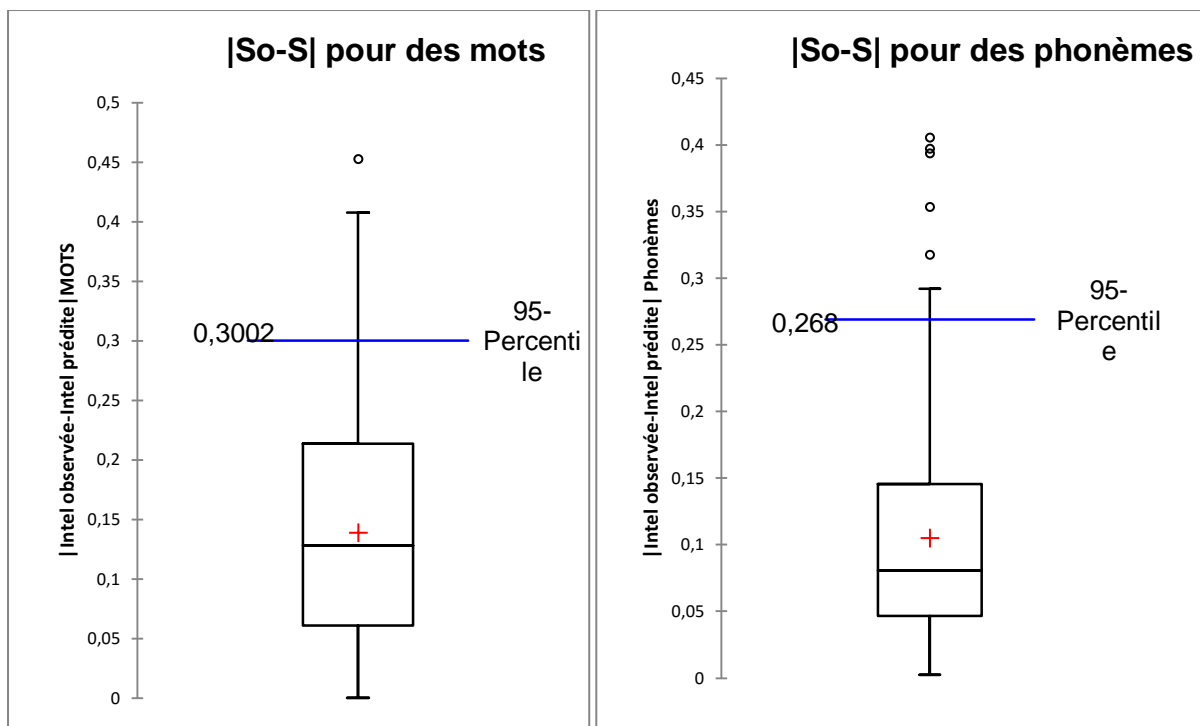


Figure 25 : Test de corrélation de Pearson. Coefficient de Pearson = 0,709 ; p-value <0,0001 ; R² = 0,502

A la lecture des figures 15 et 16 on constate que le R^2 avoisine les 50%, le SII explique donc seulement la moitié de l'intelligibilité observée. Le SII étant surtout lié à l'audibilité, cela laisse à penser que l'intelligibilité d'un message dépend pour moitié d'autres facteurs.

Nous avons ensuite déterminé l'erreur entre l'intelligibilité observée et l'intelligibilité prédite $S_o - S$ ainsi que l'erreur absolue $|S_o - S|$.

Pour cela, les boîtes à moustache et les tableaux présents dans les figures 26 et 27 nous ont permis de visualiser concrètement l'erreur de prédiction.

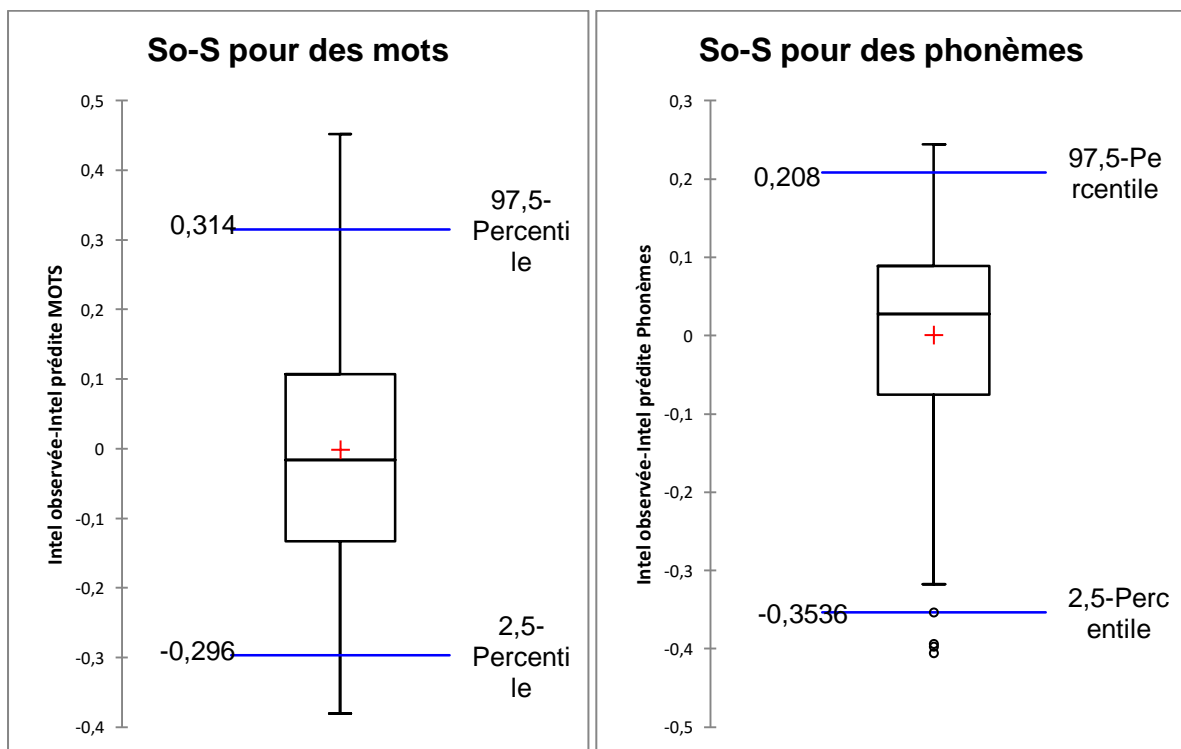


	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	percentile 95	Intervalle de confiance du P95
Mots	0	0,452	0,139	0,099	0,3	[0,278 ; 0,403]
Phonèmes	0,003	0,405	0,105	0,08	0,269	[0,189 ; 0,393]

Figure 26 : Répartition l'erreur absolue entre intelligibilité réelle et prédite pour des mots et des phonèmes.

Pour les mots, nous pouvons noter d'après la figure 26 qu'il y a une erreur moyenne d'environ 14% et que dans 95% des cas l'erreur de prédiction est inférieure à 30% avec un intervalle de confiance entre 28% et 40%.

Pour les phonèmes, nous pouvons observer une erreur de prédiction moyenne d'environ 10% et que dans 95% des cas l'erreur de prédiction est inférieure à 27% avec un intervalle de confiance entre 19% et 39%.



	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	percentile 2,5	percentile 97,5
Mots	-0,381	0,452	-0,001	0,17	-0,297	0,315

Phonèmes	-0,405	0,244	0,001	0,132	-0,353	0,208
----------	--------	-------	-------	-------	--------	-------

Figure 27 : Répartition de l'erreur entre intelligibilité réelle et prédite pour des phonèmes et des mots

La figure 27 nous permet de constater que pour les mots, l'erreur de prédiction est comprise dans 95% des cas entre environ -30% et 30%, et entre -35% et 21% pour les phonèmes. De plus la moyenne et la médiane sont très proches de zéro dans les deux cas. On peut en conclure que la prédiction ne tend pas à être particulièrement pessimiste ou optimiste, les erreurs se font de manière égale dans les deux sens.

L'erreur de prédiction est donc très variable, dans certains cas elle se révèle proche de la réalité tandis que dans d'autres cas l'erreur de prédiction est très importante et peut tout aussi bien sous estimer ou surestimer le score d'intelligibilité. Nous nous sommes interrogés sur les causes cette grande disparité.

3. Conséquences de la perte auditive sur l'erreur de prédiction

Dans sa thèse publiée en 2003, Gaetan Gilbert décrit des articles de Hogan et Turner montrant que chez le malentendant, à partir d'une certaine perte, le gain d'audibilité donné par l'amplification n'est pas aussi bénéficiaire pour la compréhension que chez le normo entendant.

Nous avons donc voulu étudier l'impact de la perte auditive sur la qualité de la prédiction du SII dans notre étude. Pour cela, nous avons comparé l'erreur de prédiction à la perte tonale pour toutes les fréquences testées, ainsi que pour la perte tonale moyenne. Nous nous sommes appuyés sur le test de Pearson, dont on peut voir les résultats dans les figures 28 à 30.

Variables	So-S Phonèmes	So-S MOTS	So-S Phonèmes	So-S MOTS
PTA sur toutes les fréquences	0,113	0,015	0,125	0,107
125 Hz	0,122	0,051	0,134	0,086
250 Hz	0,118	0,034	0,069	0,042
500 Hz	0,160	0,049	0,050	0,026
750 Hz	0,213	0,053	0,078	0,045
1000 Hz	0,224	0,058	0,102	0,068
1500 Hz	0,143	0,008	0,136	0,072
2000 Hz	0,032	0,000	0,067	0,059
3000 Hz	0,001	0,003	0,028	0,050
4000 Hz	0,001	0,006	0,024	0,040
6000 Hz	0,014	0,001	0,053	0,061
8000 Hz	0,030	0,006	0,084	0,098

Figure 28 : Coefficients de détermination R^2 entre les pertes tonales et les erreurs de prédiction relative et absolue pour les phonèmes et les mots. Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0,05$.

Lorsqu'on observe les résultats de la 2^{ème} ligne du tableau, on constate que l'erreur de prédiction est significativement corrélée à la perte tonale moyenne, à une exception près : l'erreur de prédiction absolue |So-S| du score d'intelligibilité compté en mots ne semble pas être influencée par la perte tonale moyenne (PTA). En effet, lorsqu'on regarde le lien entre la perte tonale et l'erreur fréquence par fréquence on voit que l'erreur est corrélée à la perte dans une minorité de cas.

De plus, il apparaît à la lecture du tableau que seules les fréquences situées entre 125 et 1000/1500 Hz semblent avoir un impact significatif sur l'erreur de prédiction absolue.

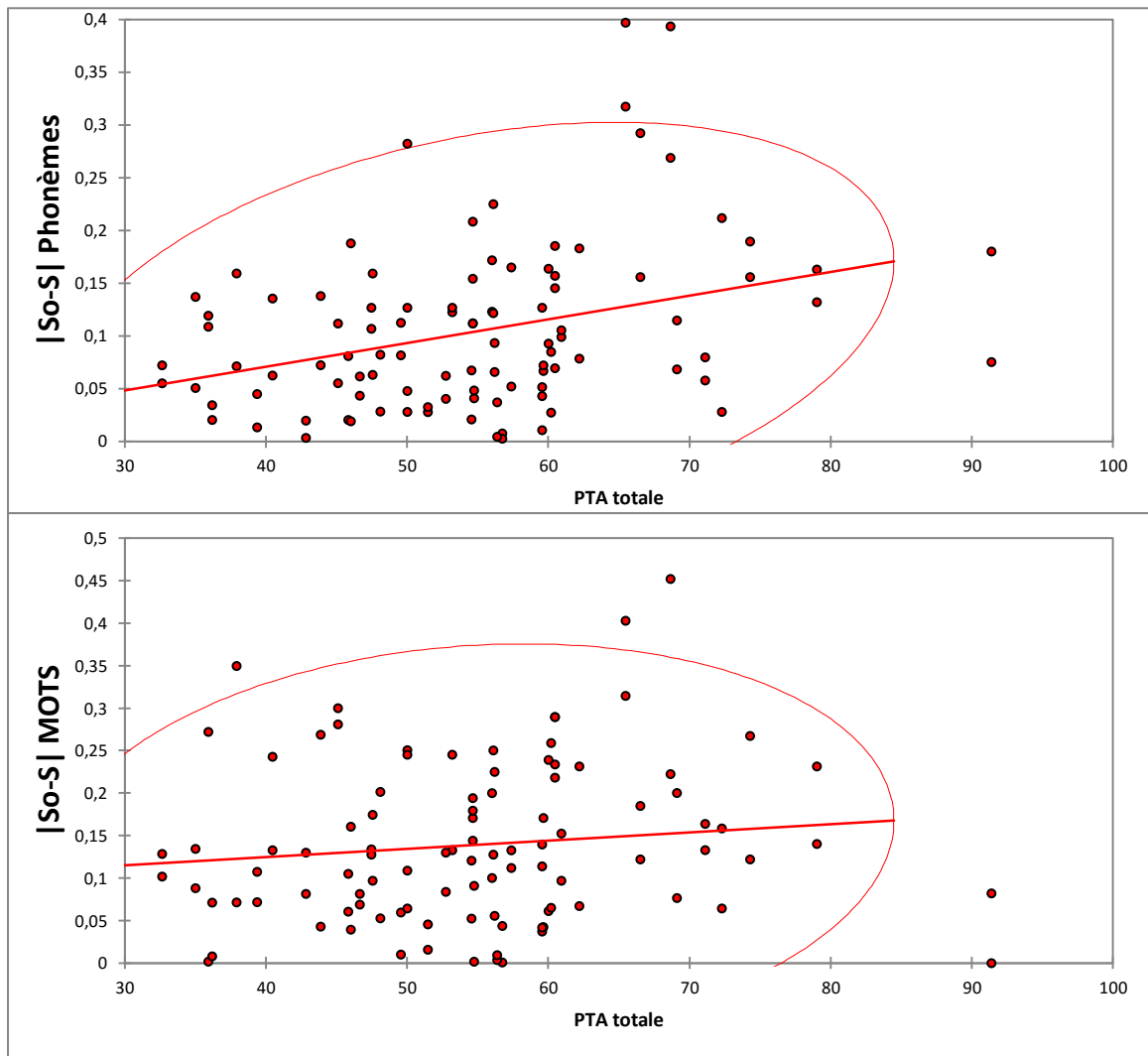


Figure 29 : *Corrélation entre l'erreur de prédiction absolue et la perte tonale moyenne pour le comptage en phonèmes et en mots.*

On constate d'après la figure 29 que pour le comptage en phonèmes, l'erreur de prédiction absolue augmente avec la perte auditive.

En ce qui concerne le comptage en mots, on se rend compte que l'erreur absolue ne semble pas corrélée à la perte. Ce résultat peut être dû en partie au système de comptage qui n'est pas adapté au test et lui fait perdre en précision. En effet on s'aperçoit que le comptage en mot fait augmenter l'erreur de prédiction lorsque la perte tonale est faible. Par exemple si une personne ayant une perte modérée se trompe sur un seul phonème et qu'une autre ayant une perte sévère fait 3 erreurs, le

mot sera compté faux dans les deux cas et les deux personnes auront le même résultat, donnant lieu à une droite de régression linéaire dont la pente est proche de zéro.

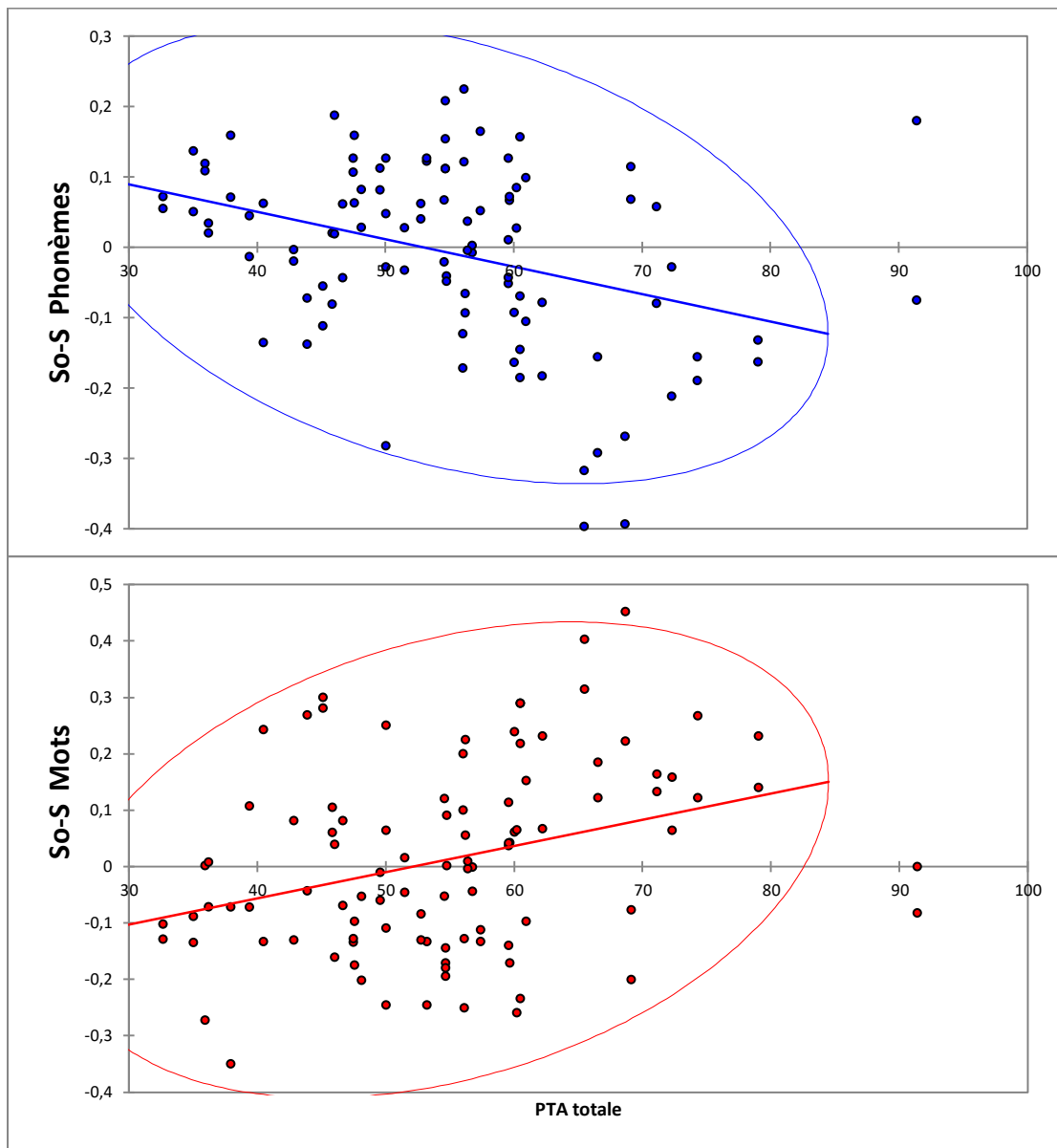


Figure 30 : Corrélation entre l'erreur de prédiction relative et la perte tonale moyenne pour le comptage en phonèmes et en mots.

Le nuage de points de la figure 30 nous indique pour le comptage en phonème que la prédiction a tendance à être pessimiste lorsque la perte tonale est faible, tandis qu'elle est trop optimiste lorsque la perte dépasse les 55 dB HL. On observe le phénomène inverse avec le comptage en mots.

Discussion

1. SII observé en MIV et SII calculé

Les graphiques nous permettent d'observer les SII calculés en fonction des SII relevés en MIV et notamment les courbes de tendance linéaires correspondantes. Leur équation étant de la forme $y = ax+b$, un a proche de 1 et un b proche de 0 rapprochent la courbe de tendance de la droite d'équation $y=x$ correspondant aux SII observés en MIV.

Le a le plus proche de 1 (0,9864) appartient à l'équation de la courbe de tendance de la FIF SII standard sans pondération.

Le b le plus proche de 0 (0,0516) appartient à l'équation de la courbe de tendance de la FIF NNS avec facteurs HLD + D.

Le R^2 le plus proche de 1 (0,8781) est relevé pour la courbe de tendance de la FIF SII standard sans pondération.

Enfin, l'analyse de l'erreur absolue à l'aide des boîtes à moustaches indique une erreur de calcul plus faible lorsque celui-ci est pondéré par les facteurs HLD + D, et la FIF donnant les résultats les plus proches du SII observé semble être la FIF NNS. Ce qui est confirmé par le test de Wilcoxon signé pour échantillons appariés.

On en déduit que le calcul du SII effectué avec la FIF NNS +HLD +D donne les résultats les plus proches, mais on ne peut pas affirmer que c'est cette FIF qui est utilisée par le calcul de la chaîne de mesure ni même que les facteurs HLD et D sont appliqués au calcul. En effet, le R^2 a tendance à s'éloigner de 1 lorsqu'on ajoute le

facteur HLD ou le facteur D aux calculs. De plus, il semble y avoir une meilleure corrélation entre les calculs pour la FIF SII standard, le R^2 étant le plus proche de 1.

Pour rappel, les FIFs CID 22 et NNS sont propres à un matériel vocal donné tandis que la FIF SII Standard est une pondération moyenne, elle n'est pas spécifique à un matériel vocal. Le fait que cette FIF soit celle qui fournisse le R^2 le plus proche de 1 est cohérent si l'on part du principe que la prédiction donnée par la MIV doit pouvoir donner une approximation de l'intelligibilité d'une personne peu importe la situation et le matériel vocal.

Néanmoins, il se peut qu'une autre pondération soit utilisée par la MIV et que cette forte corrélation avec la FIF SII standard soit simplement celle qui s'en rapproche le plus, de part son caractère universel.

Il est difficile de conclure sur les paramètres étudiés dans ce mémoire, d'autant plus que de nombreux autres paramètres utilisés par la chaîne de mesure nous sont inconnus. Par exemple, la chaîne de mesure ayant connaissance des valeurs crêtes du signal, il est probable qu'elle les intègre directement dans son calcul plutôt que d'ajouter +15 dB au spectre moyen de parole comme nous l'avons fait.

2. Intelligibilité réelle et prédite

La comparaison des erreurs de prédiction entre les différentes modalités de tests nous a permis de vérifier que la qualité de la prédiction ne diffère pas, que le calcul du SII soit fait en mode monaural ou binaural.

L'élaboration de fonctions de transfert générales permet de convertir les valeurs de SII en scores d'intelligibilité, que le SII ait été calculé en monaural ou binaural :

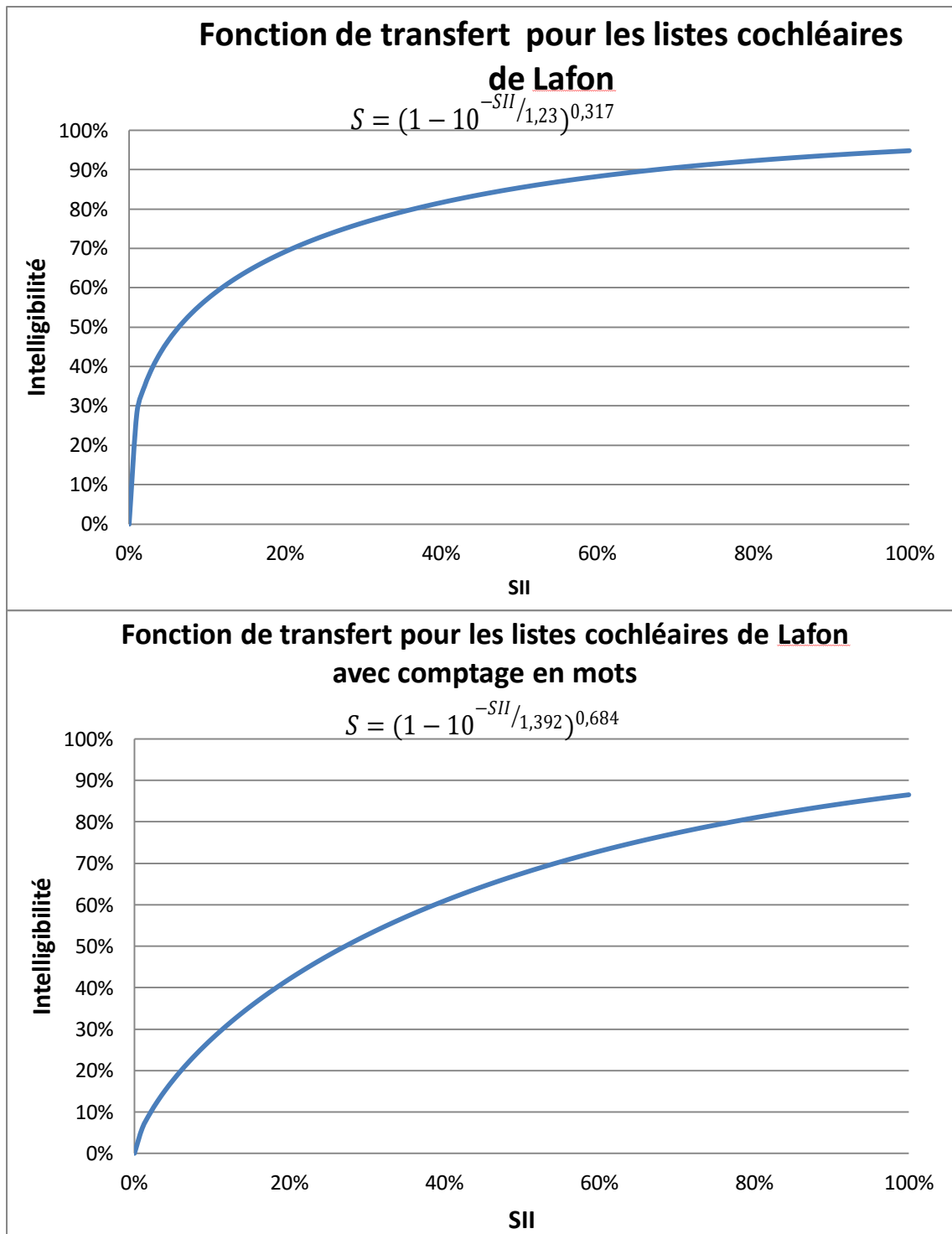


Figure 31 : Fonctions de transfert établissant le lien entre le SII et le score d'intelligibilité pour les listes cochléaire de Lafon, pour des scores comptés de manière conventionnelle (en phonèmes) et pour des scores comptés en mots.

Les fonctions de transfert obtenues diffèrent, on remarque notamment que la fonction de transfert correspondant au comptage en phonèmes a une pente plus importante que celle correspondant au comptage en mots. Par exemple un SII de

40% correspond à une intelligibilité d'environ 80% pour le comptage en phonèmes et une intelligibilité de 60% pour le comptage en mots.

En général, plus l'item est long, plus il y a d'éléments qui font appels à la suppléance mentale et plus l'item sera reconnu facilement. Par exemple pour Hill et al. (1968), si un auditeur est capable de répéter correctement trois quart des mots d'une liste de mots monosyllabiques, alors il a assez d'informations pour comprendre des phrases, ce que nous pouvons observer dans la figure 32.

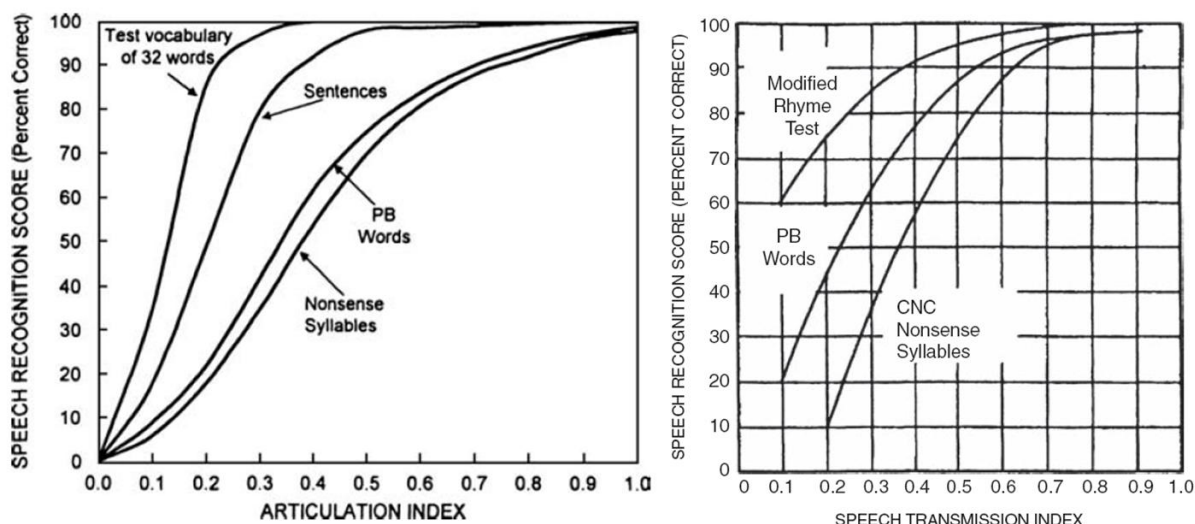


Figure 32 : 2 exemples de relation entre l'audibilité (index d'articulation ou indice de transmission de la parole) et le score de compréhension de la parole, pour différents matériels phonétiques. D'après Gelfand, 2010.

Dans notre étude les scores d'intelligibilité ont été obtenus à partir d'un matériel vocal identique dans les deux cas puisque ce sont les mêmes mots qui ont été utilisés. Les fonctions de transfert n'ont pas la même allure car l'unité de comptage entraîne une différence de précision dans le score d'intelligibilité. En effet comme nous l'avons expliqué précédemment, lorsque le score est compté en phonèmes la précision est

meilleure que pour le comptage en mots car lorsqu'un mot est compté comme faux, il peut y avoir aussi bien un phonème de mal répétés que deux ou trois.

Il n'était pas forcément judicieux d'utiliser le comptage en mots mais nous souhaitons voir si un modèle pouvait être meilleur que l'autre.

En étudiant la corrélation entre intelligibilité prédite et observée on constate une p-value très inférieure à 0,05 (inférieure à 0,0001) et un coefficient de détermination R^2 d'environ 0,5. Cela signifie qu'il existe un lien très significatif entre les deux variables et qu'environ 50% de la variabilité de l'intelligibilité observée est expliquée par l'intelligibilité prédite. Autrement dit, il y a bien une corrélation entre intelligibilité réelle et prédite mais celle-ci reste modérée.

La différence entre intelligibilité observée et prédite $|S_o - S|$ nous permet d'estimer la fiabilité de la prédiction du SII de manière concrète. Dans notre étude l'erreur moyenne dans la prédiction de l'intelligibilité est de l'ordre de + ou -14% pour les mots et + ou -10% pour les phonèmes avec des écarts types respectivement de 10% et 8%.

Cela souligne le manque de fiabilité des prédictions, renforcé par l'étude du 95^{ème} percentile qui nous montre dans les deux cas une dispersion trop importante avec une erreur pouvant aller jusqu'à 40% d'intelligibilité si l'on considère la borne supérieure de l'intervalle de confiance.

. Comment expliquer ce manque de fiabilité ?

Notre étude est faite sur une population de malentendants ; nos valeurs de R^2 avoisinant les 0,5 confirment ce qu'explique Gilbert dans sa thèse : l'audibilité à elle seule n'explique pas tout, d'un point de vue perceptif, une perte auditive se

caractérise non seulement par une diminution de l'audibilité mais aussi par d'autres déficits supraliminaires comme la baisse de sélectivité fréquentielle. La fonction principale des aides auditives est d'amplifier le signal acoustique. Leur action permet par conséquent la restauration de l'audibilité mais ne permet pas d'agir sur la baisse de sélectivité fréquentielle. L'apport d'une amplification prothétique sur l'intelligibilité de la parole ne se résume donc qu'au seul bénéfice apporté par la restauration de l'audibilité du signal.

Comme nous l'avons précisé dans l'introduction, les premiers modèles de prédiction d'intelligibilité ont été développés pour les techniques des télécommunications (French et Steinberg, 1947). Même si le modèle du SII qui a succédé à l'AI prend en compte des paramètres tels que la distorsion provoquée par la présentation d'un niveau de haute intensité et le facteur de désensibilisation, il permet d'obtenir des prédictions probablement plus précises que l'AI mais malgré cela l'erreur de prédiction reste élevée.

Sur le principe du modèle de French et Steinberg, Hornsby et Ricketts (2006) ont établi des courbes de transfert établissant le lien entre le SII et l'intelligibilité dans des conditions passe haut et passe bas pour différentes fréquences de coupure. Cette étude a été faite avec des malentendants présentant une surdité en pente de ski. Ils ont mis en évidence d'une part que les fonctions de transfert n'avaient pas la même fréquence d'intersection en fonction de la pente de la surdité (figure 32, partie gauche) et d'autre part que la fréquence d'intersection prédite par le SII était différente de la fréquence d'intersection observée (figure 33, partie droite). En effet la fréquence d'intersection du SII calculée à 1334 Hz est significativement supérieure à celle observée chez les malentendants (1207 Hz) mais n'est pas différente de celle observée chez les normo-entendants. Cette observation met en évidence une

exploitation plus marquée des fréquences graves chez les malentendants avec surdité en pente de ski que pour les normo-entendants et remet donc en cause la base du calcul du SII si on veut l'appliquer au malentendant.

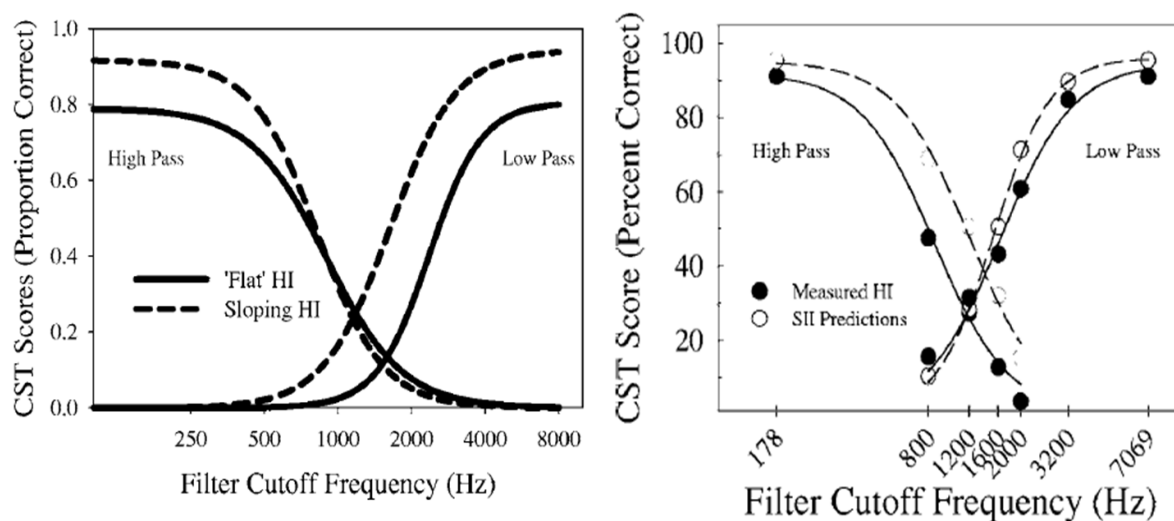


Figure 33: A gauche, intelligibilité en fonction de la fréquence de coupure en condition passe-haut et passe-bas pour des sujets ayant une surdité plate (Flat HI) et en pente de ski (Sloping HI). A droite, intelligibilité en fonction de la fréquence de coupure en condition passe-haut et passe-bas, prédite par le SII et mesurée chez des sujets ayant une surdité en pente de ski.

Comme on peut le voir sur la figure 9, les personnes de notre étude ont en général une surdité plus marquée dans les fréquences aigues que pour les fréquences graves, mieux conservées. De plus, la corrélation entre la perte tonale et l'erreur de prédiction absolue n'est significative que pour les fréquences inférieures à 1500Hz. Ainsi, lorsque les graves sont touchés, la prédiction est moins bonne alors que les fréquences aigues ne semblent pas avoir le même impact sur la qualité de la prédiction. On peut donc supposer que les personnes testées ici utilisent plus les graves pour comprendre que ce que prévoit le SII dans sa pondération, cela pourrait être une des explications à son manque de précision.

La différence de fréquence d'intersection n'est pas le seul élément qui biaise le calcul du SII chez le malentendant. En 1998, Hogan et Turner ont introduit la notion d'efficacité pour caractériser si l'ajout d'information auditive (c'est-à-dire une augmentation de l'AI) chez un malentendant était aussi bénéfique (efficacité = 1) ou moins bénéfique ($0 < \text{efficacité} < 1$) que pour un normo-entendant à qui on fournirait cette même information auditive, ou bien si cet ajout d'information est délétère (efficacité < 0). Leurs résultats montrent que pour les sujets présentant des pertes moyennes à sévères, l'amplification des informations de parole est moins bénéfique que pour le malentendant (efficacité < 1). Aussi, il apparaît dans leur étude que lorsque la surdité dépasse 55 dB HL et pour les fréquences supérieures à 4000Hz, l'efficacité de la restauration des informations dans cette zone fréquentielle est diminuée et peut même avoir une influence délétère sur la reconnaissance de la parole (efficacité < 0).

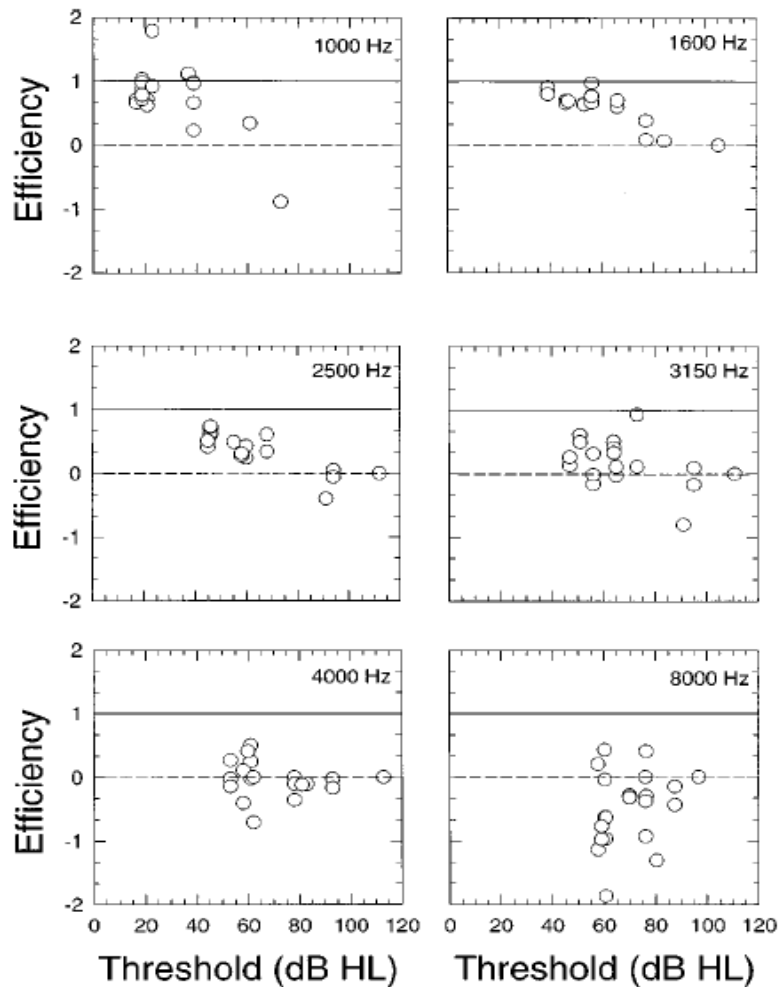


Figure 34: Chaque cadre représente l'efficacité correspondant à l'apport d'une bande 1/3-octave (1000, 1600, 2500, 3150, 4000 et 8000 Hz) pour des sujets malentendants. L'efficacité est représentée en fonction du seuil de perception au centre de la bande 1/3-octave. La ligne en pointillés à 0 représente une absence de bénéfice. D'après Hogan et Turner, 1998.

Le calcul de l'efficacité nous montre donc que de manière générale l'augmentation du SII pour un malentendant est beaucoup moins bénéfique que pour un normo-entendant.

D'après l'audiogramme moyen de la population que nous avons testée, les seuils sont supérieurs à 55 dB HL à partir de 1500 Hz et la perte moyenne à 4000 Hz est d'environ 65 dB HL. Nous pouvons donc supposer que l'efficacité est très réduite chez nos sujets et que les prédictions du SII en sont grandement altérées, le SII surestimant le bénéfice de la restauration de l'audibilité.

Conclusion

Le SII est un calcul complexe prenant en compte de nombreux paramètres acoustiques et physiologiques participant à la reconnaissance de la parole. Néanmoins ce calcul se veut général et il perd de sa précision face à la complexité et à la multitude de situations présentées par la perte d'audition. L'importance attribuée aux bandes fréquentielles se base sur des moyennes faites auprès de normo-entendants, or dans certains cas la contribution des bandes de fréquence pour l'intelligibilité peut se déplacer en faveur des fréquences les moins touchées chez une personne présentant une perte d'audition. De même, la prédiction donnée par le SII pourrait être faussée dans le cas d'une personne présentant des troubles cognitifs ou un fort recrutement.

Les fonctions de transfert élaborées au cours de cette étude nous permettent d'obtenir une estimation de l'intelligibilité attendue pour les listes cochléaires de Lafon à partir du SII. Mais le manque de fiabilité que l'on a pu mettre en évidence nous montre que l'utilisation du SII ne peut se substituer à des tests d'intelligibilité.

Le SII doit donc avant tout être utilisé comme un indicateur de la quantité d'informations audibles par le patient, permettant d'estimer rapidement l'impact d'un réglage ou de se questionner en cas d'incohérence avec les résultats de l'audiométrie vocale.

Le Maître de Mémoire
Sébastien GENY

VU et PERMIS D'IMPRIMER
LYON, le 14 octobre 2016

Le Directeur de l'Enseignement
Stéphane GALLEGO

Bibliographie

ANSI-S3.5 (1969). *American National Standard Methods for the calculation of the Articulation Index*. New York : American National Standards Institute.

ANSI-S3.5 (1997). *American National Standard Methods for the calculation of the Speech Intelligibility Index*. New York : American National Standards Institute.

BIZAGUET E., LE HER F. *Le contrôle immédiat d'efficacité prothétique, B. Mesures subjectives*. Les Editions du Collège National d'Audioprothèse, 2007 p. 105-107.

DELERCE, Xavier. GAULT, Alexandre. *Signaux de test et mesure in vivo*. Audio infos, novembre 2011, vol. 165, P 2-9.

DEPAOLIS R. A., HETTCHE L. R. (dir.). *The intelligibility of words, sentences, and continuous discourse, using the articulation index* 146 p. Thèse de physique acoustique, The Pennsylvania State University, 1992.

DUNN HK, WHITE SD. *Statistical measurements on conversational speech*. The journal of the acoustical society of America, 1940, vol 11 p.278-288.

DWORSACK M., KOSSEK P., *Dynamic REM with Percentile analysis*. GN Otometrics 2010.

FLETCHER H, GALT RH. *Perception of speech and its relation to telephony*. J Acoust Soc Am. 1950, vol.22, p.89-151.

FRENCH N. R., STEINBER J. C. *Factors Governing the Intelligibility of Speech Sounds*. J Acoust Soc Am. 1947, vol. 19, n°1.

GELFAND SA. *Hearing – an introduction to psychological and physiological acoustics*, 5th edition revised and expanded. New York, Informa Healthcare, 2010. 311p.

GILBERT G., BERGER-VACHON C. (dir.), MICHEYL C. (dir.). *Fonctions d'importance fréquentielle pour la reconnaissance de la parole : application et amélioration d'une approche corrélationnelle*, Lyon : Université Claude Bernard, 2003.

GN OTOMETRICS. *AURICAL FreeFit and the Probe Microphone Measurements Module Reference Manual*. Doc. N° 7-50-0930-EN/09 Part. No. 7-50-09300-EN ; 13 mars 2015. 125 p.

Hogan CA, Turner CW. *High-frequency audibility: benefits for hearing-impaired listeners*. J Acoust Soc Am. 1988, 104, 432-41.

HORNSBY, BW. *the speech Intelligibility Index : What is it and what ' s it good for?* The hearing journal, vol. 57, n°10, p.10–17.

HORNSBY BW, Ricketts TA. *The effects of hearing loss on the contribution of high- and low-frequency speech information to speech understanding. II. Sloping hearing loss.* J Acoust Soc Am. 2006, 119, 1752-63.

PAVLOVIC, C.V. *Use of the articulation index for assessing residual auditory function in listeners with sensorineural hearing impairment.* J Acoust Soc Am. 1984, vol. 75, p.1253–1258.

PAVLOVIC CV, STUDEBAKER GA, SHERBECOE RL. *An articulation index based procedure for predicting the speech recognition performance of hearing-impaired individuals.* J Acoust Soc Am, 1986, vol. 80 p. 50–57.

SCHUM D.J., MATTHEWS L.J., LEE F., *Actual and predicted word-recognition performance of elderly hearing-impaired listeners.* J Speech Hear Res, 1991, vol. 34 p. 636-642.

SHERBECOE R. L., STUDEBAKER G. *Audibility-index predictions of normal-hearing and hearing-impaired listeners' performance on the connected speech test.* Ear and hearing, février 2003. Vol. 24 n°1, p. 71–88.

STUDEBAKER, G.A., SHERBECOE, R.L., *Frequency-importance functions for recorded CID W-22 Words Lists,* J. Speech Hear., 1991 Res. 34, 427-438, 1991.