



Master Neuroprothèses Sensorielles et Motrices



Résumé du mémoire
Développement et amélioration des tests vocaux
en langue khmère :

Mémoire de fin d'année de Master 1 en Neuroprothèses Sensorielles

Présenté le 17/07/2023 devant le jury d'examen

Par **Daphnée YIN**

Maîtres de mémoire :

Dr. Jean Charles CECCATO

Mr. Jean Paul BERAHA



Sommaire :

I) Introduction :	3
II) Matériel et méthode :	4
Profil de la population testée :	4
Matériel :	4
Protocole :	4
Description des tests réalisés :	5
So Tone	5
So Khmer :	6
Les améliorations apportées à la première version du So Khmer :	7
III) Résultats :	9
So Tone en fonction de l'âge :	9
So Tone en fonction de l'âge :	10
Histogramme de distribution des SRT :	11
Matrice de confusion :	13
IV) Discussion :	14
Les améliorations à faire dans le futur :	15
L'égalisation des mots :	15
Le choix du test de compréhension utilisé dans le bruit :	15
Limites et critique de notre étude :	16
Le choix de notre population de référence :	16
La précision des réponses mesurées.....	16
La compréhension des consignes et l'usage de la tablette :	16
V) Conclusion :	17
Bibliographie :	18

I) Introduction :

Le Cambodge est un pays qui rencontre des difficultés pour l'accès aux soins. Le nombre de centres de dépistage et de médecins ORL restent insuffisants et inégalement répartis sur le territoire. À ce jour, il n'existe pas de test de compréhension fiable pour les enfants. Seul le gain prothétique tonal est utilisé dans les écoles spécialisées pour les enfants sourds. L'objectif à long terme est donc de créer un test de compréhension qui pourrait être utilisé dans le cadre **du dépistage de la surdité des enfants**. Pour répondre à cet objectif, un test vocal en langue khmère a donc été créé l'année dernière par Sonup, une startup française et Thomas Dubois, étudiant en Master de Neuroprothèses. Cependant, cette première version comporte des limites dans le choix des items vocaux. Pour cette étude, le test a donc été retravaillé. Deux tests de compréhension dans le bruit ont alors été créés : le premier, baptisé So Khmer Dissyllabique, utilise une liste de mots dissyllabique en langue khmère. Le second, baptisé So Khmer Monosyllabique utilise des mots à une syllabe.

L'objectif de ce mémoire est multiple. Tout d'abord, il convient de vérifier la pertinence et l'équilibre des items vocaux choisis. Puis, le second objectif est d'établir les normes du So Khmer Monosyllabique et du So Khmer Dissyllabique.

II) Matériel et méthode :

Tous les participants ont été informés des objectifs de cette étude. Un consentement éclairé oral a été donné avant d'y participer. Les tests ont été réalisés dans les 5 écoles de malentendants au Cambodge.

Profil de la population testée :

La population testée est composée de 93 personnes, dont 55 femmes et 38 hommes qui ont entre 23 ans et 63 ans. Leur âge moyen est de 40 ans avec un écart-type de 7,4 ans. Les participants sélectionnés sont tous des professeurs travaillant dans l'une des 5 écoles spécialisées ou des étudiants en formation. Ils ont une maîtrise courante du khmer et ne présentent pas de déficience visuelle, motrice ou cognitive qui pourrait leur empêcher de comprendre le principe ou le déroulement des tests.

Matériel :

Pour le matériel, nous avons eu besoin d'un :

- Ootoscope
- Tablette tactile Samsung
- Casque à réducteur de bruit (Orosound Tilde Pro C).

Les deux tests de compréhension sont accessibles via Sonup qui est une application mobile. La tablette est connectée en Bluetooth à un casque à réducteur de bruit active. Le casque a été au préalable calibré par un KEMAR (Knowles Electronics Manikin for Acoustic Resarch). L'application Sonup est configurée de façon à ce que l'utilisateur ne puisse pas modifier le volume sonore au cours des tests.

Protocole :

Tous les participants ont réalisé le protocole suivant. Tout d'abord, une otoscopie a été faite pour chaque sujet. Ensuite les sujets ont effectué le test du So Tone. Il s'agit d'un test tonal de dépistage qui permet d'évaluer l'audition en moins de 2 minutes. Le So Tone est utilisé comme alternative à l'audiomètre qui était manquant.

Ensuite, nous avons demandé de réaliser les deux tests de compréhension. L'ordre de ces deux tests ont été changé à chaque fois pour limiter l'accoutumance. Cela nous permet de mieux randomiser nos résultats d'après la littérature (3,4).

Les consignes ont été expliquées à l'oral en anglais ou bien en khmer par un Cambodgien qui avait déjà passé le protocole. Un support écrit et traduit en khmer a également été mis à disposition.

Les mesures se sont déroulées dans les salles de classe les plus calmes possible en raison d'un manque de cabine audiométrique à notre disposition. Nous ne disposions pas de sonomètre pour mesurer le niveau sonore de chaque salle.

Description des tests réalisés :

So Tone

Le So Tone est utilisé comme alternative à l'audiomètre. Cependant, en tant qu'autotest, il ne permet pas d'établir un audiogramme tonal précis. A la place, il nous indique seulement si le participant a entendu ou non les sons présentés dans les bandes d'octaves allant de 500 Hz à 4000 Hz pour chaque oreille testée.



Figure 1: Image illustrant le fonctionnement du test So Tone sur l'application Sonup

Le principe est le suivant : le sujet doit appuyer sur le bouton "Oui" ou "Non" à l'écran (cf figure 1) pour répondre à la question "Entendez-vous un son ?"

Les sons pulsés sont envoyés aléatoirement à droite ou à gauche à quatre fréquences différentes : 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz et 4000 Hz. La durée de chaque sonorité est de 5 secondes. Au bout de 5 secondes sans la réponse de l'utilisateur, l'interface l'enregistre comme non entendue.

En fonction des erreurs commises par le participant, le So Tone est capable de prédire avec fiabilité la PTM (perte tonale moyenne). Il est capable de déterminer si elle se situe à moins de 20 dB HL, entre 20 et 30 dB HL, entre 30 et 35 dB HL ou supérieure à 35 dB HL (5).

Dans le cadre de notre protocole, le So Tone sera utilisé pour déterminer notre population de référence pour la normalisation des tests So Khmer. Il nous permettra d'identifier plus précisément les sujets ayant une PTA de moins de 30 dB HL. Nous avons fixé ces critères selon les recommandations de la HAS (Haute Autorité de Santé) (6), qui préconise la prescription d'une aide auditive dès lors que la perte tonale moyenne dépasse 30 dB HL.

So Khmer :

Le So Khmer est un test qui se décline en deux versions : la première utilise des mots monosyllabiques : *So Khmer Monosyllabique*, tandis que la seconde utilise des mots dissyllabiques : *So Khmer Dissyllabique*. Ces deux listes ont été établies à l'occasion de cette étude.

Le So Khmer est un test binaural diotique : le même bruit et le même signal vocal est envoyé simultanément dans chacune des oreilles à travers un casque. Le signal vocal prend la forme d'une phrase aléatoire composé d'un chiffre, d'un complément et d'une couleur. Par exemple : « 3 chats violets ».

Le principe est le suivant : le participant doit reconstruire la phrase qu'il vient d'entendre en appuyant progressivement sur les images correspondant aux items envoyés (cf. figure 2). Chaque phrase présentée est différente et est choisie aléatoirement. Le niveau sonore de la phrase ou du bruit varie en fonction des réponses du sujet.

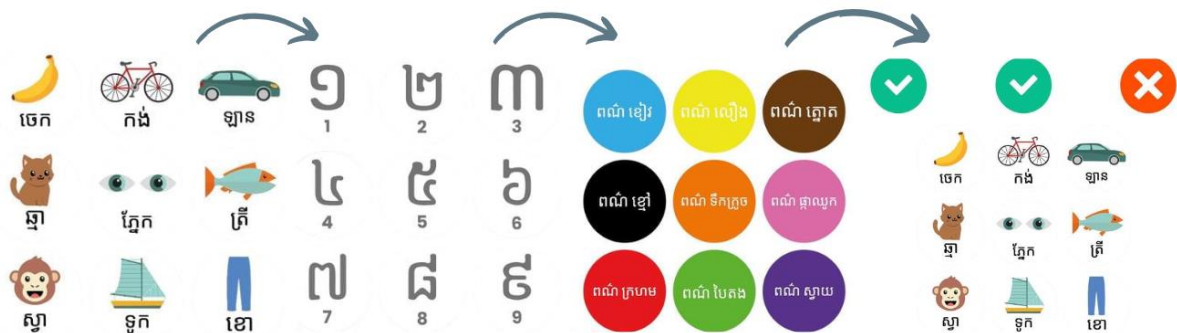


Figure 2 : Image illustrant étape par étape le déroulement du test So Khmer Monosyllabique. Sur cet exemple, nous observons que la phrase n'a pas été totalement comprise : il y a eu une erreur dans le choix de l'item des couleurs.

L'utilisation d'une phrase constituée de 3 mots simples (chiffre – complément - couleur) est pertinente dans le cadre du dépistage des enfants. La structure grammaticale khmère est différente de celle du français : l'ordre entre le chiffre et le complément est inversé en khmer. Ainsi, une traduction mot à mot de « 3 chats violets » en français correspond à « Chat 3 de couleur violet » en khmer.

Ainsi, chaque phrase est organisée avec la syntaxe suivante : **complément + chiffre + ពណ៌ + couleur.**

Les trois types de mots (chiffre / complément / couleur) sont sélectionnés aléatoirement, ce qui donne un total de 729 combinaisons possibles.

Le bruit de masquage utilisé est un bruit blanc qui commence à 500 millisecondes avant le premier mot et se termine 500 millisecondes après le dernier. L'ajout d'un bruit blanc est utilisé pour évaluer le démasquage binaural qui est effectué naturellement par le système auditif. Des intervalles de silence sont utilisés pour minimiser les effets de coarticulation entre les mots..

Les améliorations apportées à la première version du So Khmer :

Nous avons donc apporté des améliorations en nous basant sur les résultats de l'étude de Thomas Dubois (2). Nous avons également fait appel à deux bilingues franco-khmers. Ces personnes ont refait la première version du test et ont écouté les fichiers audios de chaque item utilisé. Leurs analyses mettent en évidence des erreurs dans la prononciation de certains mots, le choix de certains compléments, mais aussi dans la syntaxe globale de la phrase. Ces erreurs sont dues à l'absence de personne maîtrisant couramment le khmer lors de l'élaboration de la première version du So Khmer.

Choix de nouveaux mots :

Les mots choisis sont adaptés au niveau de compréhension des enfants.

Dans la version initiale du test, certains mots comme « *chapeau* », « *table* » ou « *balle* » étaient difficilement intelligibles en raison de leur mauvaise prononciation ou de leur durée trop courte.

Une grande partie des compléments a donc été remplacé et a été réparti en deux catégories en fonction de leur nombre de syllabes. Dorénavant, nous retrouvons par exemple les mots « *crayon* », « *lunette* », « *bonbon* » pour les compléments dissyllabiques ou encore « *voiture* », « *chat* », « *vélo* », « *les yeux* » pour les compléments monosyllabiques. Nous les avons

Nous avons conservé les mêmes chiffres que ceux utilisés lors de la première version. En revanche, les couleurs blanche et grise ont été remplacées par orange et marron. La couleur blanche a été retirée en raison de sa mauvaise prononciation. Nous avons remplacé la couleur « gris » par des couleurs plus familières pour les enfants. Les nouvelles couleurs choisies sont apprises dès le début de leur scolarité.

Enregistrement des nouveaux mots :

Tous les mots ont été générés à partir d'une voix féminine et à l'aide du logiciel de voix synthétique Narakeet.

L'usage d'une voix artificielle présente l'avantage de réduire les variations interindividuelles. De plus, l'efficacité de la voix synthétique est identique à la voix naturelle selon différentes études allemande et française (7,8). En effet, ces rapports mettent en évidence des scores de SRT50 statistiquement identiques pour des tests de compréhension effectués avec ces deux voix différentes.

Ensuite, nous avons utilisé le logiciel Audacity pour numériser les enregistrements vocaux avec une fréquence d'échantillonnage de 48 000 Hz. Un flotteur de 32 bits a été choisi pour éviter la distorsion et minimiser le bruit de fond (9).

Nouvelle présentation visuelle :

La présentation des images a complètement été revue depuis la première version du test pour la rendre plus esthétique, plus simple et rapide à utiliser (cf. **figure 3**).

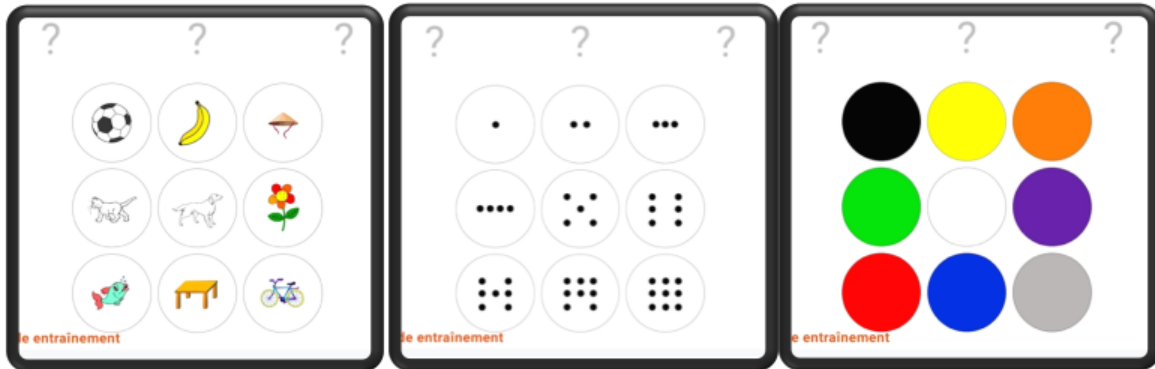


Figure 3 : Illustration extraite de l'étude de Thomas Dubois (2) montrant les pictogrammes utilisés lors de la première version du test So Khmer

Auparavant, les chiffres étaient représentés sous la forme de points à compter (cf. **figure 3**). Cependant, cette présentation engendrait un effort de mémorisation dans le comptage des chiffres, en particulier s'ils étaient élevés. Les participants pouvaient aussi rencontrer des obstacles dans l'identification des compléments car les images associées manquaient de distinction.

Dorénavant, tous les compléments et les couleurs ont été associés à leur écriture en khmer. Ce choix, plus pertinent, permet une reconnaissance plus simple de ces items (cf. **figures 2 et 4**)

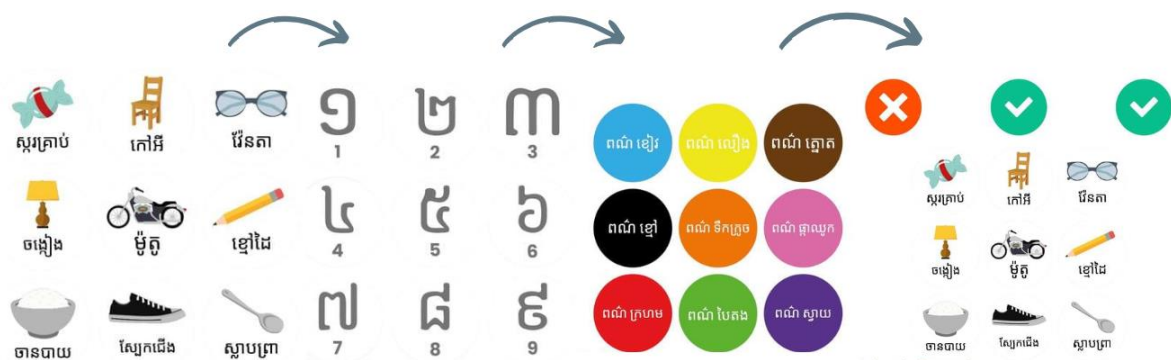


Figure 4 : Image illustrant étape par étape le déroulement du test So Khmer Dissyllabique. Sur cet exemple, nous observons que la phrase n'a pas été totalement comprise : il y a eu une erreur dans le choix de l'item des compléments.

Nous pouvons observer que les chiffres sont à la fois présentés en chiffre arabe et en écriture khmère.

III) Résultats :

So Tone en fonction de l'âge :

La figure 5 nous donne un aperçu des erreurs moyennes des participants en fonction de leur tranche d'âge.

Le So Tone indique plus particulièrement le score d'erreur obtenu pour la meilleure et la mauvaise oreille. *La meilleure oreille* désigne celle qui a obtenu le meilleur score au So Tone, et, inversement, *la mauvaise oreille* correspond à celle qui a obtenu le score le plus bas. L'axe des ordonnées est donc obtenu en sommant et moyennant les erreurs totales commises sur les 4 fréquences testées.

Ensuite, les scores obtenus sont moyennés pour chaque tranche d'âge.

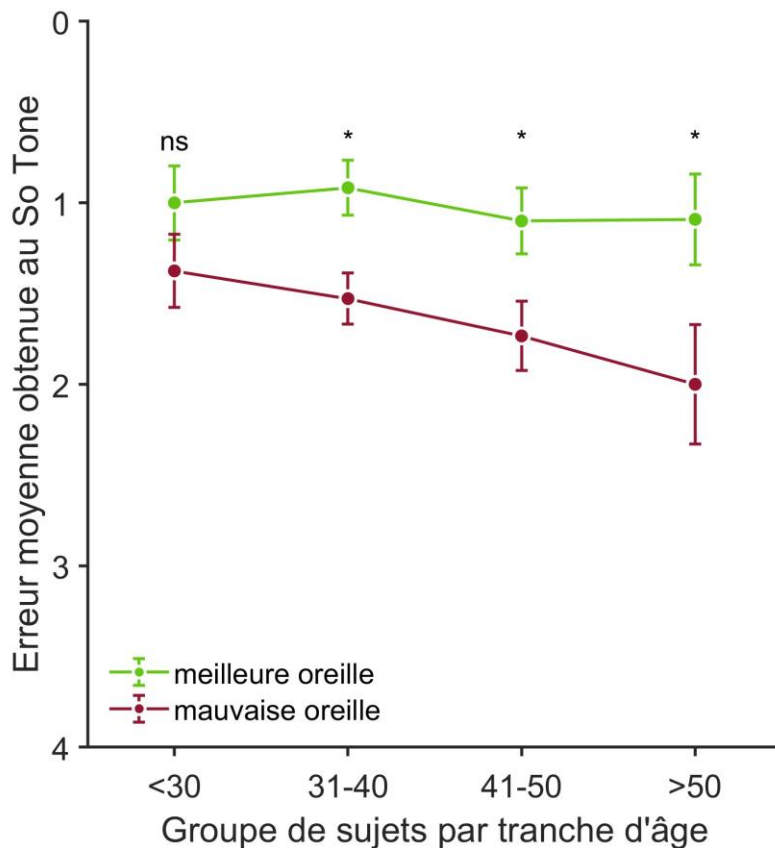


Figure 5 : Représentation du nombre d'erreurs moyen obtenu à l'autotest tonal So Tone en fonction de l'âge. L'axe des ordonnées représente le nombre d'erreurs moyen pour chaque oreille : 0 correspondant respectivement à aucune erreur, 1 erreur, 2 erreurs, 3 erreurs et 4 erreurs. L'axe des abscisses représente la population qui a été divisée en plusieurs tranches d'âge : moins de 30 ans (n=16), entre 31-40 ans (n=36), entre 41-50 ans (n=30) et 51-70 ans (n=11). Le score moyen d'erreurs en fonction de l'âge a été tracé pour la meilleure oreille, en vert clair, c'est à dire l'oreille qui a obtenu le meilleur score au So Tone, mais aussi la mauvaise oreille, en rouge,

c'est à dire l'oreille qui a obtenu le plus d'erreurs à ce test. Les barres verticales représentent la déviation standard de la moyenne.

Ainsi, *pour la meilleure oreille*, nous obtenons une erreur moyenne de 1 erreur ($\pm 0,2$) pour les moins de 30 ans ($n=16$) ; de 0,91 ($\pm 0,15$) pour les sujets entre 31-40 ans ($n=30$) ; de 1,1 ($\pm 0,18$) pour le groupe des 41-50 ans ($n=30$) ; et de 1,09 ($\pm 0,25$) pour le groupe de plus de 50 ans ($n=11$).

Pour la plus mauvaise oreille, nous obtenons un score moyen de 1,3 ($\pm 0,2$) pour les moins de 30 ans ; de 1,52 ($\pm 0,14$) pour les sujets entre 31-40 ans ($n=30$) ; de 1,73 ($\pm 0,19$) pour le groupe des 41-50 ans ($n=30$) et enfin de 2 erreurs ($\pm 0,33$) pour le groupe le plus âgé ($n=11$).

Nous utilisons le test de Wilcoxon pour échantillons appariés lorsque nous comparons la *meilleure oreille* à la *plus mauvaise oreille*. Ces deux échantillons suivent une loi normale d'après le test de Jarque Bera. **Pour le groupe le plus jeune, nous constatons que leurs scores sont similaires (p value = 0,0625).** En revanche, les autres tranches d'âge révèlent une différence statistique entre la meilleure et la moins bonne oreille.

Nous utilisons le test de Kruskal Wallis pour échantillons indépendants lorsque nous comparons les erreurs moyennes au sein de chaque oreille. Aucune différence significative n'est observée entre les groupes, que ce soit pour la *meilleure oreille* ou la *plus mauvaise oreille*.

So Tone en fonction de l'âge :

Nous avons utilisé les résultats du So Tone pour sélectionner notre population de référence en vue de la normalisation des tests So Khmer. Le critère de sélection retenu est une perte tonale moyenne symétrique inférieure à 30 dB HL. Ce critère a été choisi en conformité avec les recommandations de la HAS (Haute Autorité de Santé)(6), qui préconise la prescription d'une aide auditive dès lors que la perte tonale moyenne dépasse 30 dB HL.

Cependant, le So Tone est un test de dépistage qui indique uniquement si le participant entend à un certain niveau sonore ou non, contrairement aux audiomètres conventionnels utilisés dans le diagnostic d'une surdité.

Une étude clinique portant sur le So Tone (5), a montré que les participants ayant moins de 2 erreurs sur la plus mauvaise oreille ont 92% de sensibilité (capacité à détecter les malentendants qui ont réellement une perte auditive) et 79% de spécificité (capacité à détecter des normo entendants qui ne présentent réellement pas de baisse d'audition) d'avoir une perte tonale moyenne comprise entre 30 et 35 dB HL.

Pour notre étude, nous avons considéré que les participants ayant commis 2 erreurs ou moins ont une audition inférieure à 30 dB HL et non 35 dB HL. Cette interprétation découle des conditions de passation du test qui étaient plus difficiles que celles réalisées par l'étude clinique (5). En effet, notre étude s'est déroulée dans des

conditions moins idéales, avec des consignes expliquées et effectuées dans une langue étrangère, et le test ne s'est pas déroulé dans une cabine insonorisée.

Par conséquent, en nous référant à partir des scores de la plus *mauvaise oreille*, nous avons **inclus le groupe de moins de 30 ans et celui de 31-40 ans dans la normalisation de nos tests So Khmer**. En effet, ces derniers ont des erreurs moyennes respectives de 1,3 ($\pm 0,2$) pour les moins de 30 ans ; de 1,52 ($\pm 0,14$) pour les sujets entre 31-40 ans (n=30). **Ils ont donc une audition inférieure à 30 dB HL d'après notre interprétation (5).**

Histogramme de distribution des SRT :

La figure 6 représente la répartition des scores du SRT50 pour l'ensemble de la population testée (n =93) mais aussi pour le groupe de référence ayant participé à la normalisation (n=49) des tests So Khmer Monosyllabique (A) et Dissyllabique (B).

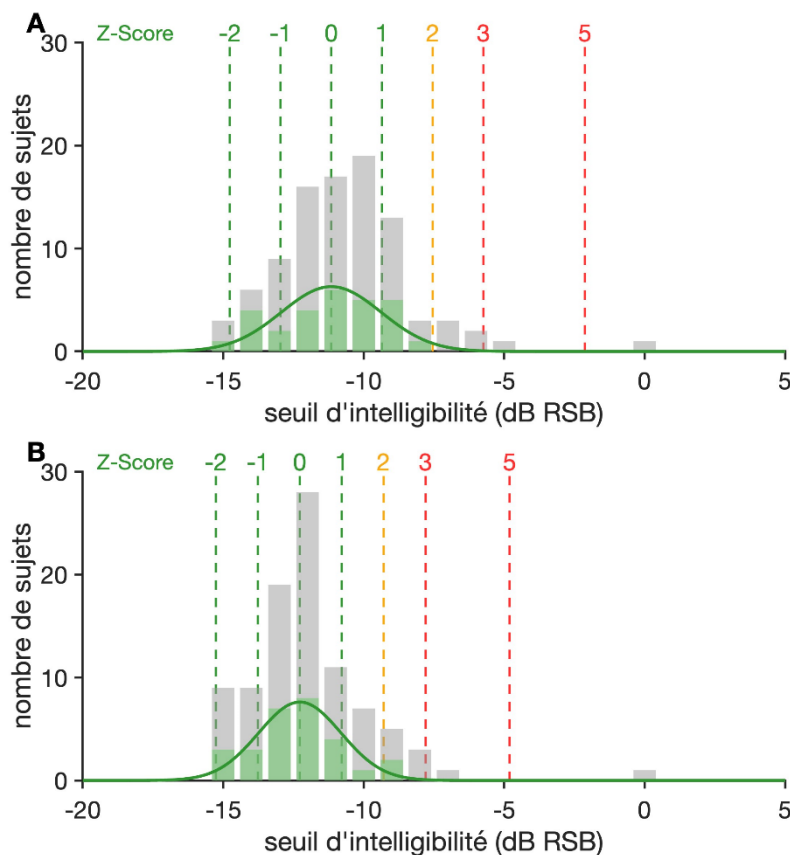


Figure 6 : Distribution des SRT50 obtenue pour la validation du test So Khmer Monosyllabique (A) et Dissyllabique (B) en voix synthétique. Les SIB50 de la population normo-entendante normative est représentée en vert (n =49) et celle de la population testée en gris (n=93). Les lignes en pointillé correspondent aux valeurs associées au Z-Score.

Notre population de référence est constituée de 49 personnes allant de 23 ans à 40 ans. **La moyenne d'âge est de 33 ans avec un écart type à la moyenne de 4,3 ans.** La valeur normative du test **So Khmer Monosyllabique** est de **-11,18 dB RSB** avec un écart type de **1,85 dB RSB**.

Celle du **So Khmer Dissyllabique** est de **-12,40 dB RSB** avec un écart type de **1,45 dB RSB**.

Nous avons réalisé le test de Student pour savoir s'il y a une différence significative entre le test **So Khmer Dissyllabique** et **Monosyllabique**. Le test de Student nous montre **que les résultats des SRT50 diffèrent significativement (p value = 1.44e-04)**. Ce test pairé tient compte de la référence de chaque sujet testé.

Nous avons également établi le Z-Score pour chacun des tests. Le Z-score est une métrique normative qui donne le *nombre* d'écart types par rapport à la moyenne.

Depuis l'arrêté du 14 novembre 2018 (10), toute personne malentendante est éligible à l'appareillage si l'on constate une dégradation du RSB de plus de 3 dB par rapport à la norme du test donné. D'après la méthode de « Marie Haps » (1), cette recommandation correspond à 2 écarts type soit un à un Z-Score valant 2. *Plus le Z-score est élevé et plus la probabilité d'être différent de la « normale » augmente. Avec un Z-score 2 ou plus, il y a 5 % de chance d'être "normal", avec un Z-score de 3 ou plus, 1 % de chance d'être normal.*

Matrice de confusion :

La figure 7 représente les matrices de confusion pour les deux tests de compréhension. Chaque bulle correspond au pourcentage du mot qui est répété par rapport au mot qui est réellement présenté. Les diagonales de chaque matrice correspondent aux bonnes réponses.

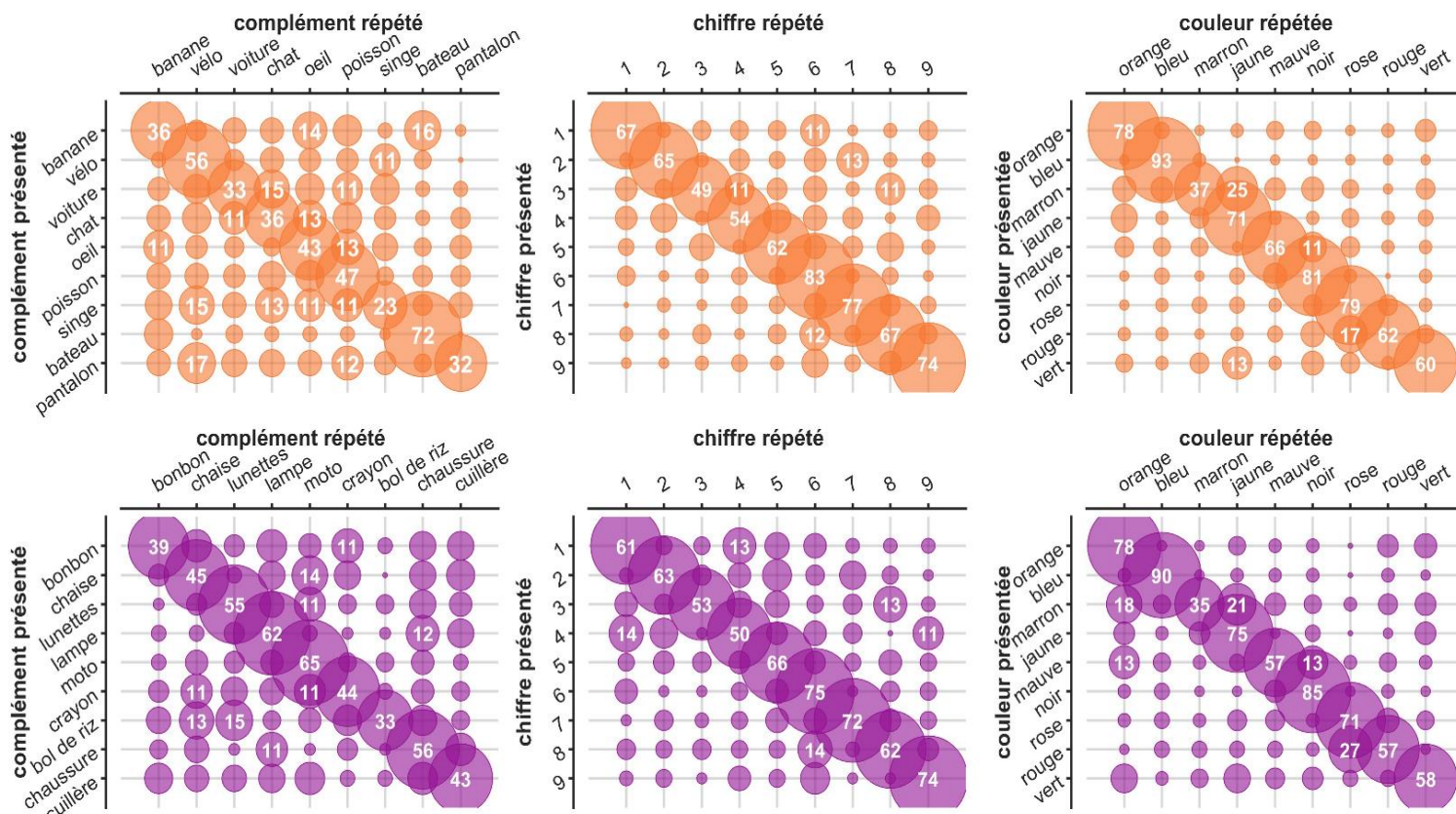


Figure 7 : Représentation des matrices de confusions des items vocaux utilisés pour le So Khmer Monosyllabique et Dissyllabique, illustrées en orange et violet respectivement. Chaque item présenté (axe des ordonnées) peut être correctement répété ou non (axe des abscisses).

Concernant le **So Khmer Monosyllabique**, nous observons que c'est la matrice des compléments monosyllabiques qui a été la plus difficile. Par exemple, l'item « singe » est celui qui a présenté le plus de difficulté. Il a été répété correctement à 23% uniquement.

Lorsqu'on compare les compléments **monosyllabiques** avec les **dissyllabiques**, nous observons que les disparités sont plus importantes sur les items à 1 syllabe qu'avec 2 syllabes. Si l'on observe la diagonale orange, nous constatons que les fourchettes de bonnes réponses sont comprises entre 23% (pour l'item « signe ») à 72% (pour item « bateau ») alors que la diagonale violette nous montre des résultats plus homogènes allant de 39% (pour l'item bonbon) à 65% (pour l'item « moto »).

Concernant les couleurs et les chiffres, nous retrouvons des résultats équilibrés et similaires entre le So Khmer Monosyllabique (matrices situées en haut) et le So Khmer Dissyllabique (matrices situées en bas)

IV) Discussion :

L'analyse de nos résultats nous permettent d'avoir des premiers retours sur la pertinence des items vocaux choisis :

Concernant les compléments, nous observons que les items monosyllabiques et dissyllabiques sont les matrices où il y a eu le plus de confusions. Cela peut s'expliquer par la variété du champ lexical utilisé qui est moins prévisible que celui des couleurs et des chiffres.

Nous constatons que les dissyllabiques sont mieux égalisés que les monosyllabiques. En effet, nous retrouvons beaucoup plus de variation interne chez les items à 1 syllabe. Cela s'explique par la difficulté des items monosyllabique qui ont une durée beaucoup plus courte et qui utilisent moins de suppléance mentale que les items à 2 syllabes. **Ces données nous montrent pourquoi nous retrouvons des écarts type plus importants avec des monosyllabique** (avec 1,85 dB RSB pour la norme associée) **qu'avec des dissyllabiques** (avec 1,45 dB de RSB pour la norme associée)

Concernant les chiffres, il existe une corrélation entre la confusion et la composition syntaxique des chiffres 6 à 9. La figure 7 nous montre une confusion entre le chiffre 6 et 1 (11% de confusion), 7 et 2 (13% de confusion), 8 et 3 (11% de confusion), et 9 et 4 (11% de confusion).

Cette confusion a pu avoir lieu si les participants n'ont pas entendu le début du chiffre [pɿam]. En effet, dans la syntaxe khmère, le chiffre 6 (prononcé [pɿam mu:j]) est lié à l'association du chiffre 5 (prononcé [pɿam]) et du 1 (prononcé [mu:j]), de même pour le chiffre 7 (prononcé [pɿam pi]) qui est liée à l'association du chiffre 5 et du 2 (prononcé [pi]) et ainsi de suite jusqu'à 9.

Concernant les couleurs, nous observons qu'elles sont bien comprises. Nous obtenons des résultats homogènes allant de 60% à 93% pour le test Monosyllabique et de 58% à 90% pour le test Dissyllabique. En revanche, la couleur « marron » est la couleur qui a présenté des difficultés d'intelligibilité avec un score de bonne réponse de 37% pour le So Khmer Dissyllabique et 35% pour le Monosyllabique. Ce résultat nous indique que son niveau sonore devra être ajusté par la suite.

La disposition des images sur la tablette peut entraîner un biais dans l'analyse de ces confusions. En effet, la position des icônes ne change pas entre chaque phrase présentée. Par conséquent, il est possible que l'utilisateur appuie toujours sur la même image à chaque fois qu'il ne comprend pas un mot.

Idéalement, il faudrait un changement aléatoire de la position des images entre chaque présentation. Cela permettrait de diminuer l'effet de l'appui du même bouton. Mais, l'inconvénient serait qu'il entraînerait plus d'effort de mémoire puisque le participant devra sans cesse chercher l'item qui vient d'entendre.

Les améliorations à faire dans le futur :

L'analyse de nos résultats nous donne des pistes sur les améliorations à faire pour les prochains tests :

L'égalisation des mots :

Les mots n'ont pas été égalisés au préalable car ils ont été testés pour la première fois dans notre étude. Ainsi, tous les mots avaient le même niveau sonore tel que celui qui est défini par le générateur de voix synthétique.

Cependant, **la figure 7** montre que certains items vocaux ont été perçus plus difficilement que d'autres, tels que les mots "singe", "voiture", "banane", "pantalon", "chat" pour les items monosyllabiques, "bol de riz" pour les items dissyllabiques et "marron" pour les couleurs. Tous ces mots ont été correctement compris à moins de 40%.

Ainsi, **si l'on se réfère aux matrices de confusions, il faudra faire une égalisation des mots dans l'avenir afin d'obtenir une difficulté identique entre chacun des mots**. L'égalisation est une étape essentielle pour obtenir plus de précision dans les normes établies des tests So Khmer Monosyllabique et Dissyllabique. Cela nous permettra de réduire leur écarts types associées qui sont respectivement de 1,85 dB RSB et de 1,45 dB RSB.

Le choix du test de compréhension utilisé dans le bruit :

Le test So Khmer est un test diotique : les résultats sont donc corrélés à la perte auditive de la meilleure oreille étant donné qu'il s'agit du même signal vocal envoyé.

Dans l'avenir, il faudra modifier la structure du test afin d'en faire un test dichotique dans lequel le signal de la parole sera présenté avec un déphasage de π sur l'une des deux oreilles. Cela nous permettra de créer un réel test de dépistage car les résultats seront corrélés à la moins bonne oreille. (14) L'avantage de ce test sera de détecter rapidement une surdité, même asymétrique, tout en stimulant les deux oreilles simultanément (15)

Limites et critique de notre étude :

Nous avons conçu notre mémoire de façon à obtenir l'étude la plus homogène possible en limitant au maximum nos imprécisions. Malgré tout, certains paramètres limitent nos résultats et auraient pu être améliorés :

Le choix de notre population de référence :

Au total, nous avons choisi 49 personnes pour réaliser notre étude. Cependant, nos sujets avaient un âge compris entre 23 et 40 ans. La moyenne d'âge était de 33 ans avec un écart type de 4,3 ans. Nous aurions pu tester une population plus jeune pour avoir des normes plus fiables. Cependant, l'ensemble des personnes testées étaient des enseignants et quelques étudiants des écoles spécialisées. Ils avaient donc un certain âge en raison de leur niveau d'étude requis pour être enseignant.

La précision des réponses mesurées :

Pour effectuer nos tests, nous nous sommes munis d'un casque à réducteur de bruit. Cependant, les lieux dans lequel le protocole a été réalisé n'était pas vraiment insonorisé des bruits extérieurs. Il aurait été plus judicieux de les réaliser dans une salle insonorisée.

Par ailleurs, il aurait été plus pertinent de déterminer la PTM à l'aide d'un audiomètre plutôt qu'avec le So Tone (auto test de dépistage réalisé avec une tablette et le casque). Cependant, nous n'avons pas pu le faire par manque de matériel disponible.

La compréhension des consignes et l'usage de la tablette :

Les instructions n'ont pas été entièrement comprises par la plupart des participants. Le test So Tone a particulièrement posé des difficultés, car de nombreux participants ne savaient pas qu'ils devaient appuyer sur le bouton "Non" lorsque le son n'était pas entendu.

Par ailleurs, l'utilisation d'une tablette tactile a pu être difficile pour certains sujets qui n'étaient pas habitués à son utilisation. Ils leur ont fallu un léger temps pour s'adapter et comprendre son fonctionnement.

V) Conclusion :

Cette étude a abouti à la création d'une deuxième version du So Khmer qui a su tenir compte à la fois des avantages et des limites de la version précédente.

Le test a été retravaillé dans sa globalité notamment dans le choix des items vocaux, dans la syntaxe mais aussi dans la présentation du test afin de le rendre *plus pertinent*. Ce mémoire a également permis d'établir les normes du So Khmer Monosyllabique et du So Khmer Dissyllabique. Les résultats obtenus sont prometteurs puisqu'ils se rapprochent du test français.

Cependant, le So Khmer peut encore être amélioré afin de devenir encore plus pertinent. En effet, l'objectif à long terme est de développer un test de dépistage fiable et normé spécifiquement destiné aux enfants cambodgiens.

Dans l'avenir, un travail sur l'égalisation des mots pourrait être intéressant pour obtenir des normes et des écarts-types plus précises. Le prochain objectif serait de réaliser la même étude avec à la place test dichotique en antiphase. Cette approche nous permettra de corrélérer nos résultats avec la performance de la moins bonne oreille et donc d'obtenir un véritable test de dépistage.

Bibliographie :

1. Joly CA, Reynard P, Mezzi K, Bakhos D, Bergeron F, Bonnard D, et al. Recommandation de la SFA (Société Française d'Audiologie) et de la SFORL (Société Française ORL et de Chirurgie Cervico-Faciale) pour la pratique de l'audiométrie vocale dans le bruit chez l'adulte. 10 octobre 2020. :60.
2. Dubois T. Développement d'un test vocal en langue Khmer. Université de Montpellier; 2022 p. 21.
3. Normal and Time-Compressed Speech : How Does Learning Affect Speech Recognition Threshold in Noise ? Janvier 2016.
4. Jansen S, Luts H, Wagener KC, Kollmeier B, Del Rio M, Dauman R, et al. Comparison of three types of French speech-in-noise tests: a multi-center study. *Int J Audiol.* mars 2012;51(3):164-73.
5. Louchet, Auxence, Balcon, Maxime, Venail, Frédéric, Ceccato, Jean-Charles. Validation of a tablet-based application for hearing self-screening in an adult population. Université de Montpellier; En cours de publication.
6. HAS. Commission Nationale d'Evaluation des Dispositifs Medicaux et des Technologies de Santé. 9 octobre 2018. :41.
7. Nuesse T, Wiercinski B, Brand T, Holube I. Measuring Speech Recognition With a Matrix Test Using Synthetic Speech. *Trends Hear.* 2019;23:2331216519862982.
8. Courtial J. Développement et validation d'un autotest de dépistage vocal dans le bruit, en voix synthétique et en antiphase. Université de Montpellier; 2022 p. 25.
9. Format d'échantillon - Profondeur de bits - Audacity Manual [Internet]. [cité 2 juill 2023]. Disponible sur: https://manual.audacityteam.org/man/sample_format_bit_depth.html
10. Arrêté du 14 novembre 2018 portant modification des modalités de prise en charge des aides auditives et prestations associées au chapitre 3 du titre II de la liste des produits et prestations prévue à l'article L. 165-1 du code de la sécurité sociale - Légifrance [Internet]. [cité 3 juill 2023]. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000037615111>
11. Collège National d'Audioprothèse. Précis d'Audioprothèse : Production, phonétique acoustique et perception de la parole. Elsevier Masson. 2008. 411 p.
12. Martin, Philippe. Phonétique acoustique : Introduction à l'analyse acoustique de la parole. Armand Colin. 2008. 159 p.
13. Collège National d'Audioprothèse. Précis d'Audioprothèse : L'appareillage de l'adulte. Les éditions du Collège National d'Audioprothèse; 2007. 353 p.
14. Ceccato JC, Duran MJ, Swanepoel DW, Smits C, De Sousa KC, Gledhill L, et al. French Version of the Antiphase Digits-in-Noise Test for Smartphone Hearing Screening. *Frontiers in Public Health* [Internet]. 2021 [cité 3 juill 2023];9. Disponible sur: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2021.725080>
15. De Sousa KC, Swanepoel DW, Moore DR, Myburgh HC, Smits C. Improving Sensitivity of the Digits-In-Noise Test Using Antiphase Stimuli. *Ear Hear.* 2020;41(2):442-50.

16. kheng.info / search [Internet]. [cité 1 juill 2023]. Disponible sur:
<https://kheng.info/search/?query=%E1%9E%91%E1%9E%BC%E1%9E%80>