



UNIVERSITÉ DE LILLE
FACULTÉ DE MÉDECINE HENRI WAREMBOURG
Année 2024

THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT
DE DOCTEUR EN MÉDECINE

**Adaptation du test d'audiométrie Vocale Rapide dans le Bruit à
l'enfant de 6 à 10 ans**

Présentée et soutenue publiquement le 25 avril 2024 à 18h00
au Pôle Formation
par Clémence LOUVET

JURY

Président :

Monsieur le Professeur Christophe VINCENT

Assesseurs :

Monsieur le Professeur Dominique CHEVALIER

Monsieur le Professeur Geoffrey MORTUAIRE

Madame le Docteur Fanny GAUVRIT

Directeur de thèse :

Monsieur le Professeur Christophe VINCENT

Avertissement

La Faculté n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses : celles-ci sont propres à leurs auteurs.

"L'enfant qui écoute développe sa capacité à comprendre le monde qui l'entoure. L'écoute attentive est la clé de son apprentissage."
Jean Piaget

Abréviations

dB HL	Décibel Hearing Loss
BIAP	Bureau international d'audiophonologie
ASSR	potentiels évoqués auditifs stationnaires multifréquentiels
OEA	Otoémissions acoustiques
PEA	Potentiels évoqués auditifs
EEG	Electroencéphalogramme
dB SPL	Décibel Sound Pressure Level
dB(A)	Décibel pondéré
dB RSB	Décibel rapport signal sur bruit
TTA	Troubles du Traitement Auditif
RSB	Rapport signal sur bruit
SIB-50	Seuil d'intelligibilité dans le bruit
SRT	Seuil d'intelligibilité dans le silence
AVB	Audiométrie vocale dans le bruit
HINT	Hearing in Noise Test
ICRA	International Collegium of Rehabilitative Audiology
TMB	Test de Mots dans le Bruit
FRASIMAT	Simplified French Matrix
FRAMATRIX	French MATRIX Test
LTASS	Long Term Average Speech Spectrum
VRB-A	Vocale Rapide dans le Bruit Adulte
QUICKSIN	Quick Speech In Noise
VRB-E	Vocale Rapide dans le Bruit Enfant
OVG	Onde Vocale Modifiée
AVB	Audiométrie vocale dans le bruit
HP	Haut-parleur
RMS	Root Mean Square
dB FS	Décibel Full Scale

Sommaire

INTRODUCTION : L'ENFANT ET LE BRUIT	12
I. LES DONNEES AUTOUR DE L'ENFANT SOURD EN FRANCE AUJOURD'HUI	12
A. DONNEES DE PREVALENCE ET D'INCIDENCE	12
B. ETIOLOGIES DES SURDITES DE L'ENFANT DE NOS JOURS	13
C. L'ENFANT EN DEVELOPPEMENT N'EST PAS UN ADULTE MINIATURE	14
II. TESTS AUDITIFS SPECIFIQUES UTILISES CHEZ L'ENFANT : DEPISTAGE, DIAGNOSTIC, SUIVI	15
A. AUDIOMETRIE OBJECTIVE	15
B. AUDIOMETRIE SUBJECTIVE DANS LE SILENCE	17
III. LES LIMITES DE L'AUDIOMETRIE DANS LE SILENCE	19
A. L'ENVIRONNEMENT DE L'ENFANT AU XXIEME SIECLE : LE REGNE DU BRUIT	19
B. REHABILITER DANS LE BRUIT.....	20
C. DIAGNOSTIC DES SURDITES CENTRALES ET TROUBLES DU TRAITEMENT AUDITIF.....	23
IV. L'AUDIOMETRIE VOCALE DANS LE BRUIT	24
A. PHYSIOLOGIE DE L'ECOUTE DANS LE BRUIT.....	24
B. CONCEPTS FONDATEURS DES TESTS D'AUDIOMETRIE VOCALE DANS LE BRUIT (AVB).....	26
C. FOCUS SUR LES TESTS FRANCOPHONES DANS LE BRUIT ADAPTES A L'ENFANT	28
V. LE TEST VOCAL RAPIDE DANS LE BRUIT.....	30
A. CONCEPT FONDATEUR	30
B. LES LIMITES DU VRB-A FACE A L'ENFANT	31
VI. CONCLUSION.....	32
MATERIEL ET METHODE	33
I. PROTOCOLE DE L'ETUDE	33
A. PROTOCOLE	33
B. STATISTIQUES	34
II. PREMIERE ETAPE: PREPARATION DU MATERIEL SONORE ADAPTE A L'ENFANT	34
A. COMMENT AVONS-NOUS CREE LE SIGNAL DU VRB-ENFANT?	34
B. COMMENT AVONS-NOUS CREE LE BRUIT DU VRB-ENFANT?.....	38
C. PREPARATION DES COUPLES PHRASES/BRUIT EN VUE DE L'EGALISATION.....	40
III. DEUXIEME ETAPE : EGALISATION EN DIFFICULTE DU MATERIEL SONORE DU VRB-ENFANT (TEST DE NORMALISATION).....	41
A. INSTALLATION	41
B. EGALISATION EN DIFFICULTE DES PHRASES	42
IV. TROISIEME ETAPE: CONTROLE APRES EGALISATION EN DIFFICULTE (ETAPE CONTROLE)	47
A. PREPARATION DU MATERIEL SONORE	47
B. CONDITIONS DE PASSATION DU TEST.....	47
C. OBJECTIFS DE L'ETAPE	47
RESULTATS.....	49

I.	NORMALISATION DES COUPLES PHRASE-BRUIT	49
A.	CARACTERISTIQUES DE L'ECHANTILLON D'ENFANTS TESTEURS POUR L'ETAPE DE NORMALISATION	49
B.	ANALYSE ET TRAITEMENT DES PHRASES.....	51
II.	CONTROLE DE L'EGALISATION EN DIFFICULTE	53
A.	CARACTERISTIQUES DE L'ECHANTILLON D'ENFANTS TESTEURS POUR L'ETAPE DE CONTROLE	53
B.	COMPARABILITE DES DEUX GROUPES D'ENFANTS.....	54
C.	ANALYSE ET TRAITEMENT DES PHRASES.....	56
III.	COURBES PSYCHOMETRIQUES EN FONCTION DE L'AGE POUR L'ETAPE CONTROLE.	57
IV.	CORPUS FINAL.....	59
A.	FLOW-CHART DES PHRASES	59
B.	TABLEAU DE L'EVOLUTION DES CARACTERISTIQUES DES PHRASES.....	59
C.	CALCUL DU SIB-50 DU VRB-E	61
D.	VERIFICATION DE LA DISTRIBUTION PHONETIQUE DANS LE CORPUS FINAL ET CONCORDANCE LEXICALE .	61
	DISCUSSION	63
I.	RESULTATS	63
A.	OBJECTIF PRINCIPAL DE L'ETUDE	63
B.	OBJECTIF SECONDAIRE	64
II.	COMPARAISON AUX AUTRES TESTS EXISTANTS.....	65
A.	NORMES DU SIB 50	65
B.	COURBE PSYCHOMETRIQUE.....	65
III.	EFFET DE L'AGE SUR LE SIB-50.....	66
IV.	DONNEES QUALITATIVES POUR LE DEVELOPPEMENT FUTUR DU VRB-E.....	66
A.	CONCERNANT LA SENSIBILITE DU TEST	66
B.	CONCERNANT L'APPROPRIATION DU TEST.....	67
C.	CONCERNANT UN EFFET D'APPRENTISSAGE.....	67
V.	FORCES ET FAIBLESSES DE L'ETUDE.....	68
A.	FORCES	68
B.	FAIBLESSES.....	68
VI.	PERSPECTIVES	70
A.	CONCEVOIR LE VRB-E.....	70
B.	ENJEUX DE SANTE PUBLIQUE	70
	BIBLIOGRAPHIE	72
	TABLE DES ILLUSTRATIONS	75
	FIGURES.....	75
	GRAPHIQUES	76
	TABLEAUX	76
	ANNEXES	77

Introduction : l'Enfant et le Bruit

I. Les données autour de l'enfant sourd en France aujourd'hui

A. Données de prévalence et d'incidence

1. Dans le monde et en France

D'ici 2050, 2,5 milliards de personnes seront atteintes d'une déficience auditive dans le monde (1).

En France, selon un rapport gouvernemental paru en 2023, au moins 1 enfant sur 1000 nait atteint de surdité. Le taux de surdités moyennes à sévères néonatales s'élèverait à 0.8 ‰. Il s'agit du déficit sensoriel le plus fréquent à la naissance. (2).

20% des surdités de l'enfant apparaîtront, quant à elles, durant l'enfance. En fonction des cohortes, jusqu'à 48% des surdités évoluent au cours des premières années vers une dégradation des seuils auditifs. (3)

2. Définir la surdité

On parle de surdité d'une oreille dès lors que le seuil moyen en conduction aérienne est diminué. La perte moyenne tonale est calculée à partir de la moyenne des pertes en dB HL aux fréquences 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz et 4000 Hz. Au-delà d'une diminution de 20 dB HL, la baisse d'audition est classée en surdité légère. (1,4)

0-20 dB HL	audition normale	
21-40 dB HL	déficience auditive légère	
41- 70 dB HL	déficience auditive moyenne	41-55 dB HL : premier degré
		56-70 dB HL : deuxième degré
71-90 dB HL	déficience auditive sévère	71-80 dB HL : premier degré
		81-90 dB HL : deuxième degré
91-119 dB HL	déficience auditive profonde	91-100 dB HL : type I

		101-110 dB HL: Type II
		111-119 dB HL : Type III
≥120 dB HL	Cophose (absence de perception du son)	

Table 1 *Classification BIAP des surdités*

Trois éléments sont à prendre en compte pour caractériser la surdité et seront déterminants dans la prise en charge :

- 1- Le type de surdité: transmission, perception, mixte, présence ou non d'une asymétrie binaurale, surdité centrale.
- 2- Le degré de perte auditive.
- 3- L'étiologie de la perte auditive déterminant parfois son évolution prévisible, ainsi que des comorbidités parfois associées.

B. Etiologies des surdités de l'enfant de nos jours

Les étiologies de la surdité chez l'enfant sont multiples, à la naissance dominées par les causes génétiques (50% des surdités).

Les autres causes anténatales sont les causes infectieuses, environnementales, toxiques, ischémiques.

Les facteurs de risque néonataux entraînent également des surdités plus ou moins sévères (ischémie cérébrale néonatale, ictère, prise de médicaments ototoxiques etc.)

Chez l'enfant entre 2 et 6 ans, l'otite séreuse est une étiologie extrêmement fréquente des surdités diagnostiquées à ces âges. Cette cause fréquente est facile à prendre en charge avec des recommandations claires et efficaces.(6)

Chez l'enfant plus grand, le diagnostic de surdité peut être un diagnostic "de rattrapage" mais aussi de novo avec l'apparition de surdités liées à différentes étiologies : bactérienne, traumatique, otite chronique, génétique...

C. L'enfant en développement n'est pas un adulte miniature

1. Maturation audiophonologique de l'enfant entendant

Développement de l'audition

Si l'appareil auditif périphérique est en place et fonctionnel dès la naissance (oreille externe, moyenne, cochlée), la composante centrale de l'audition (du nerf auditif au cortex cérébral) subit un processus de myélinisation jusqu'à la 4ème année de vie environ et de maturation durant toute l'enfance. C'est au contact des stimulations sonores environnementales que ces fonctions auditivo-cognitives se développent. (7)

Développement du langage

Le développement du langage chez l'enfant normo-entendant s'effectue notamment via un "bain linguistique" qui se fait naturellement par la sollicitation des différents éléments sonores de son environnement. Les éléments langagiers qu'il perçoit peuvent être juxtaposés au contexte qui l'entoure. (8)

L'écoute et le langage se développent donc en parallèle et en relation durant l'enfance.

2. Maturation audiophonologique de l'enfant sourd

Chez l'enfant sourd, la déficience auditive limite l'accessibilité au bain linguistique. Les stimulations langagières sont donc restreintes. De plus, le retour phonologique est altéré. Cette défaillance dans la boucle audiophonologique est à l'origine du retard lexical et de morphosyntaxe. Il peut persister un retard d'acquisition lexical même chez l'enfant sourd réhabilité dans un environnement entendant et qui, parfois, ne peut être comblé. (8)

La réhabilitation de l'audition vise à favoriser l'accès phonologique. Parfois, l'ajout d'indices visuels est nécessaire, par exemple via la lecture labiale, qui peut éventuellement être encore complétée. C'est le cas, par exemple, avec la langue française parlée complétée, qui associe une syllabe avec un signe spécifique de la main autour du visage, ce qui permet de désamorcer les confusions phonétiques au sein des phrases (9).

II. Tests auditifs spécifiques utilisés chez l'enfant : dépistage, diagnostic, suivi

A. Audiométrie objective

Il existe de nombreuses techniques d'audiométrie objective permettant au clinicien de recueillir des seuils auditifs chez l'enfant sans avoir besoin de sa participation active au testing. Ces méthodes peuvent s'appliquer dès la naissance.

En pratique clinique, les tests non invasifs fréquemment utilisés sont les otoémissions acoustiques, des potentiels évoqués auditifs et des ASSR.

Les otoémissions acoustiques (OEA) enregistrent les émissions sonores des cellules ciliées externes de la cochlée résultant d'une stimulation sonore à l'aide d'une sonde placée dans le conduit auditif externe. Il s'agit d'un test qualitatif puisqu'il ne permet pas de déterminer un seuil auditif. L'absence d'otoémissions est constatée pour les pertes auditives supérieures à 30 dB environ.

L'usage de cet examen en consultation d'ORL permet d'apporter très rapidement des arguments étayant un diagnostic d'otite séreuse retentissante en cas d'anormalité de l'examen clinique et ou du tympanogramme. Par ailleurs, les otoémissions restant présentes si la cochlée est indemne, permettent aussi d'aider à faire la part des choses lorsqu'une surdité rétro-cochléaire ou psychogène est suspectée. (10)

Les potentiels évoqués auditifs précoces correspondent à l'enregistrement électrique de la réponse nerveuse du nerf auditif lors d'une stimulation sonore. Lorsque les voies auditives sont activées par un stimulus, la sommation des potentiels d'action des différents neurones permet l'apparition d'un potentiel électrique. C'est ce potentiel qui est recueilli par des électrodes cutanées collées sur le scalp puis traité par la machine et analysé par le clinicien.

Il s'agit d'un test non invasif mais sensible aux artéfacts de mouvement et de l'éveil cérébral, qui nécessite donc que l'enfant soit endormi ou au minimum somnolent. (10)

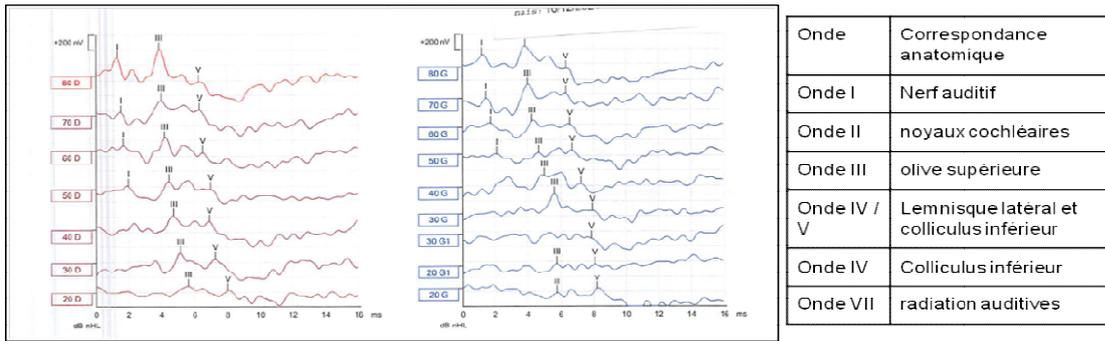


Figure 1 Exemple de PEA (CHU Lille) et correspondance des ondes repérées avec leur origine anatomique.

L'intérêt des PEA est qu'ils donnent un résultat à la fois qualitatif et quantitatif :

- Le seuil d'apparition du potentiel évoqué, et en particulier celui de l'onde V, peut être **interprété** comme un seuil auditif sur les fréquences aiguës comprises entre 2000 et 4000 Hz.
- L'aspect de l'onde au cours du temps (amplitude, latences, synchronisation) renseigne sur l'atteinte de la structure responsable de la baisse d'audition et la pathologie sous-jacente dans certains cas.

Les potentiels évoqués auditifs stationnaires multifréquentiels (ASSR) reposent sur la technique de l'EEG, en individualisant sur le tracé l'activité périodique générée en réponse à un stimulus auditif précis et continu dans le temps. L'avantage des ASSR est l'obtention de seuils par fréquence relativement précis.

L'installation est proche de celle des PEA. L'examen est non invasif mais relativement long à réaliser. (10)

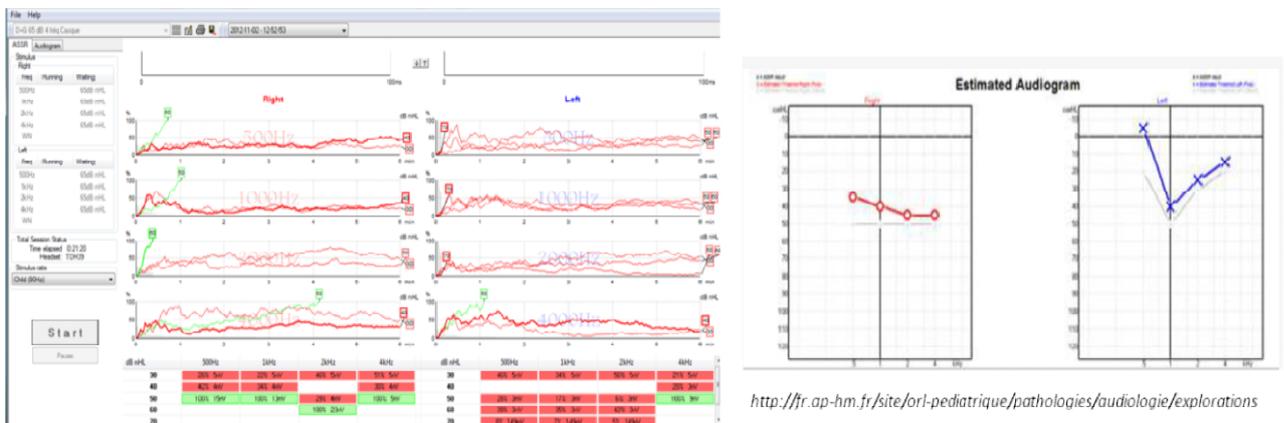


Figure 2 Présentation d'interface du logiciel ASSR et l'audiogramme théorique correspondant

Notons que les OEA et les PEA existent en version automatisée dans le cadre du dépistage auditif généralisé à la naissance), mais sont purement qualitatifs.

B. Audiométrie subjective dans le silence

A la différence de l'audiométrie objective, l'audiométrie subjective demande une participation active de l'enfant lors du testing. L'audiométrie subjective est néanmoins le seul moyen d'explorer les seuils de détection avec précision, fréquence par fréquence, ainsi que les seuils d'intelligibilité vocale.

L'audiométrie tonale se décline pour chaque âge avec plus ou moins de fiabilité, conditionnement et précision. L'objectif est de déterminer quelle est la plus petite intensité perçue par l'enfant sur un panel de fréquences déterminées allant de 125 à 8000 Hz en conduction aérienne ou en osseuse de 250 à 4000 Hz. La conduction aérienne peut être testée en champ libre, dans ce cas on teste l'audition globale de l'enfant, ou bien au casque, ce qui permet d'établir des seuils oreille par oreille. La conduction osseuse est testée à l'aide d'un vibreur osseux apposé sur la mastoïde.

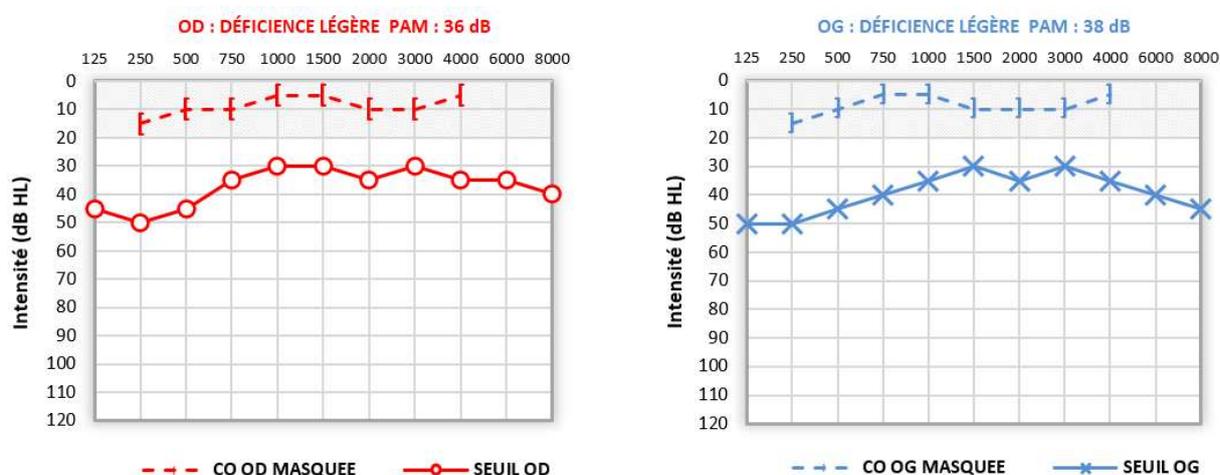


Figure 3 Exemple d'audiométrie tonale au casque montrant une surdité de transmission

Cependant, les résultats obtenus sont soumis aux conditions de passage (environnement, âge et développement de l'enfant) ainsi qu'à l'interprétation de l'examineur. De fait, bien souvent, différentes modalités de testing sont utilisées et parfois répétées afin de s'assurer de la reproductibilité des seuils obtenus.

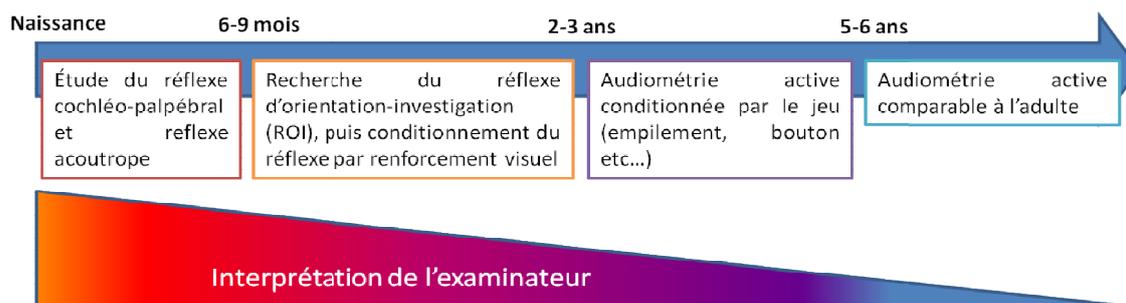


Figure 4 Audiométrie tonale et stratégies d'obtention des seuils auditifs en fonction de l'âge de l'enfant

L'audiométrie vocale vise à identifier des seuils d'intelligibilité vocale.

Comme l'audiométrie tonale, elle requiert la participation active de l'enfant, car le principe est de faire répéter des mots, des phrases ou des phonèmes à intensité variable.

De même, 3 modalités de passation sont envisageables: en champ libre, au casque oreille par oreille ou au vibreur osseux.

L'ensemble des réponses fournies par l'enfant est noté sur un diagramme. L'abscisse du point de la courbe correspondant à 50% de bonnes réponses et correspond au **Seuil d'Intelligibilité (SRT)**.

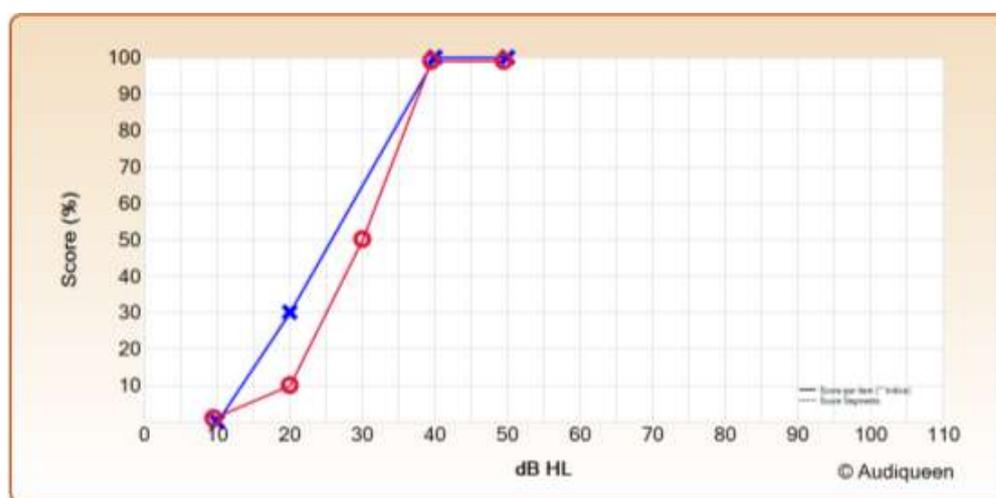


Figure 5 Courbes d'audiométrie vocale. Le seuil d'intelligibilité est de 30dB HL à droite (courbe rouge) et 26 dB HL à gauche (courbe bleue)

La particularité de l'enfant par rapport à l'adulte est que son langage est en cours de construction ; en conséquence, l'examinateur devra s'adapter au niveau de langage de l'enfant testé.

Par exemple:

- L'**audiométrie vocale en champ libre par désignation d'images** peut être réalisée au bureau par l'examineur en demandant à l'enfant de pointer des éléments d'un imagier, à voix normale (60 dB SPL) ou à voix faible (45 dB SPL) avec ou sans lecture labiale. Ce test rapide est réalisable facilement et reste très informatif (11) (12).
- Couramment, dès que le niveau de langage et de participation le permet, il est possible de faire répéter à l'enfant des **listes de mots** adaptés (liste dissyllabique de Boorsma, listes de Lafon...).
- Enfin des épreuves avec des listes plus spécifiques peuvent être réalisées pour faire varier notamment le paramètre de suppléance mentale. On peut citer l'épreuve des listes phonémiques de Lafon qui comportent 17 mots composés de 3 phonèmes, analysés individuellement, réduisant l'effet de la suppléance mentale.

La suppléance mentale correspond à l'ensemble des stratégies utilisées par la personne permettant de compléter les informations manquantes à la compréhension d'un message. Dans les tests d'audiométrie vocale, elle influence donc fortement les réponses du patient. Elle est influencée par d'une part les caractéristiques propres du patient (âge, niveau scolaire entre autres) et par les caractéristiques des items et du vocabulaire utilisés dans le test (13).

Quelles sont les limites de ces techniques d'audiométrie ?

III. Les limites de l'audiométrie dans le silence

A. L'environnement de l'enfant au XXIème siècle : le règne du bruit

Autour de nous, l'environnement n'est jamais parfaitement silencieux. En fonction des situations, les niveaux de bruit de fond varient de 30 dB(A) à 90 dB(A).

Cette expérience universelle se transpose chez l'enfant, notamment dans le cadre scolaire.

Dans une étude portant sur les enfants scolarisés au Canada, il a été démontré que l'environnement sonore variait selon deux typologies de bruit (14) :

- un bruit fort, bruyant, réverbérant tel que retrouvé dans les centres commerciaux, par exemple
- un bruit plus calme, de plus faible intensité, tel que retrouvé en classe lorsque le professeur parle par exemple

En classe, lors des leçons, le volume sonore résiduel augmente par rapport au volume sonore classe vide, et ce, notamment, dans les fréquences du spectre de la voix humaine, jusqu'à des niveaux d'intensité avoisinant les 50 dB(A) sur la fréquence 1000 Hz.

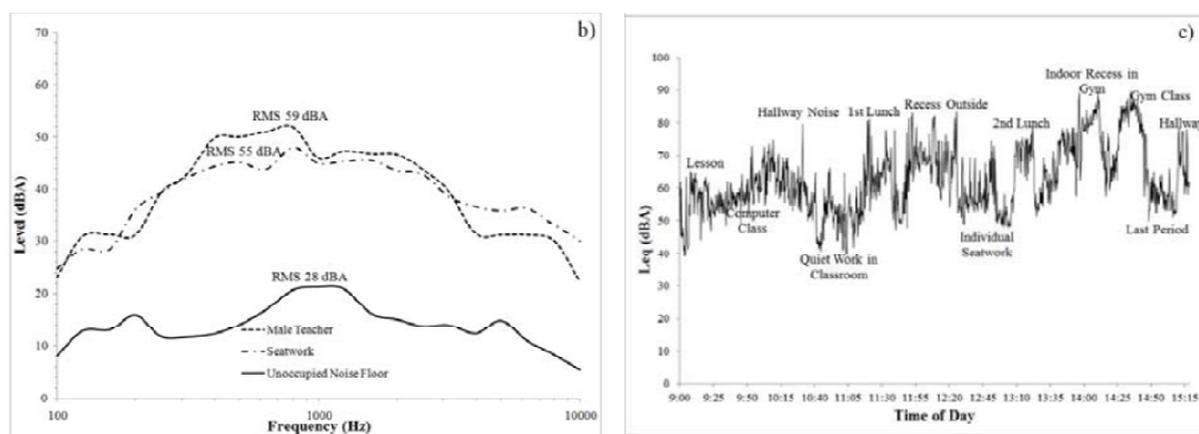


Figure 6 Représentations du milieu sonore en classe de primaire. A gauche, intensité sonore en classe par fréquence (classe vide, élèves au travail, voix du professeur), à droite la courbe détaillée, au cours de la journée, le niveau d'intensité sonore et les sources principales de bruit. (14)

Par ailleurs, si l'on considère la voix du professeur comme signal signifiant, le rapport signal sur bruit de fond est mesuré autour de 10 à 13 dB RSB, soit un signal 10 à 13 dB plus fort que le bruit de fond (que le professeur soit un homme ou une femme). Cela reste inférieur aux 15 dB, recommandés par l'American Speech-Language-Hearing Association pour une assimilation confortable du message de l'enseignant. (15)

B. Réhabiliter dans le bruit

1. Audioprothèse et traitement du son

Si la fonction fondamentale des aides auditives reste l'amplification sonore, au cours des trente dernières années, ces dernières ont fortement évolué, passant d'un

traitement analogique à un traitement numérique du signal sonore. L'avènement de cette technologie a révolutionné la prise en charge audiprothétique en introduisant différents paramètres de réglage, dont la compression, qui assurent une gestion adaptée de la dynamique auditive résiduelle des patients, permettant ainsi une amélioration du confort auditif et de l'intelligibilité.

Les algorithmes additionnels ont pour objectif l'amélioration de la perception et la compréhension dans un environnement bruyant. Tout d'abord les **réducteurs du bruit** (bruit d'impact, stationnaire, réverbération, parole...) sont conçus pour améliorer le rapport signal/bruit par plusieurs méthodes de "nettoyage" du signal. Ensuite, les systèmes de **microphones directionnels et multidirectionnels** ainsi que les **programmes adaptatifs** ajustent l'ensemble des paramètres de réglage en fonction du type de scène auditive identifiée par l'appareillage.

L'ajustement des paramètres de réglage s'avère néanmoins parfois complexe. Certains bruits de fond de la vie courante ont des caractéristiques propres très éloignées des celles de la parole et sont plus facilement identifiés et traités par un appareil auditif (bruit stationnaire, type "aspirateur, moteur, climatisation... ou bruits impulsionnels, type "bruit de vaisselle"). En revanche, d'autres bruits, plus complexes, (bruits type "brouhaha" ou "cocktail party") présentent des similitudes plus importantes avec la parole, ce qui les rend plus difficiles à atténuer spécifiquement.

L'activation systématique de toutes les options de débruitage n'est pas toujours le gage d'une amélioration de l'intelligibilité en milieu bruyant complexe (16). **Les réglages des appareils auditifs doivent donc être personnalisés.** Ils consistent par conséquent en un équilibre subtil qui prend largement en compte l'expérience individuelle du patient. **Il semble donc bien utile de proposer aux médecins O.R.L., audioprothésistes et autres professionnels de l'audition des tests auditifs reproduisant de façon contrôlée et standardisée les conditions d'audition en vie réelle.**

2. Les défis de l'implant cochléaire

Fonctionnement de l'implant cochléaire

L'implant cochléaire est un dispositif médical implantable chirurgicalement, disponible pour la réhabilitation des patients atteints de surdité sévère à profonde bilatérale.

Il fait intervenir une partie externe comprenant le microprocesseur (traitement du signal), les microphones, une batterie, une antenne aimantée et d'autres accessoires (boucle magnétique, système Bluetooth...) ; et la partie interne comprenant un aimant, un récepteur/convertisseur et un porte électrodes (de 12 à 22 électrodes de stimulation en fonction de la marque). L'objectif est dans un premier temps de capter, convertir et traiter les signaux sonores à l'aide du processeur externe. Puis de les transférer sous forme d'un champ magnétique à la partie interne qui va, à son tour, le convertir en impulsions électriques transmises vers les fibres du nerf auditif via les différentes électrodes. Le codage de l'intensité est fonction de la durée et de l'amplitude des stimulations. Le codage fréquentiel s'appuie principalement sur la tonotopie cochléaire.

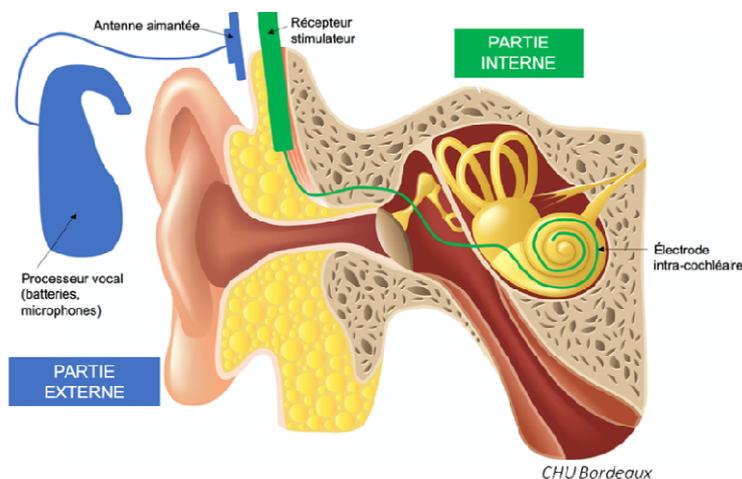


Figure 7 Schéma représentant le positionnement d'un implant cochléaire

Lors de la transformation du signal sonore acoustique en signal électrique, des phénomènes de compression tendent à réduire la qualité de l'information auditive. (17)

L'implant et le bruit

La stimulation électrique du nerf auditif au niveau du ganglion spiral ne correspond plus à un codage naturel, mais un nouveau codage de l'information auditive, dépendant de

la stratégie adoptée par le fabricant. De plus, la complexité du geste chirurgical liée à la configuration en colimaçon et à la fragilité des structures internes de la cochlée ne permet pas un positionnement du porte électrodes respectant un alignement parfait entre toutes les zones tonotopiques et les électrodes dédiées à ces fréquences (notamment pour les fréquences graves à l'apex de la cochlée).

L'appropriation de l'implant par le patient s'effectue par palier de complexité croissante dans l'analyse du nouveau signal par le cerveau : détection, puis compréhension dans le silence, et enfin compréhension dans le bruit.

Ainsi, la pleine exploitation des performances de l'implant ne sera acquise qu'au prix d'une rééducation intensive et prolongée, et la compréhension dans le bruit reste un challenge pour les patients implantés.

Suivre les progrès des patients, en particuliers des enfants en âge scolaire

Dans la littérature, il apparaît que plusieurs facteurs influent sur les bénéfices potentiels de l'implantation cochléaire chez l'enfant.

En l'occurrence, les auteurs semblent s'accorder sur le fait que les enfants précocement implantés (avec cependant un cut-off très variable en fonction des études, établi entre 12 mois et 3 ans) présentent :

- de meilleures capacités auditives, même à long terme (18).
- un meilleur développement du langage dans sa globalité (19).
- une amélioration des aptitudes sociales non verbales (20).

Suivre ces évolutions demande des outils de comparaison fiables et reproductibles adaptés aux enfants de plus en plus jeunes, cohérents avec le développement linguistique et les situations d'écoute correspondant à l'âge. **Les outils d'audiométrie dans le silence seuls semblent donc dépassés par ces enjeux.**

C. Diagnostic des surdités centrales et troubles du traitement auditif

Les troubles regroupés sous le vocable de troubles du traitement auditif (ou TTA) ont pour caractéristique notable de se manifester par des difficultés qui apparaissent dans les situations de "compétitivité d'écoute", c'est-à-dire lorsque deux signaux distincts sont entendus simultanément et interfèrent entre eux. Leur prévalence dans la

population pédiatrique est estimée entre 0.02% et 2% en fonction des sources. Ils sont parfois associés à un trouble des apprentissages. (21)

L'audiométrie dans le silence n'est alors pas toujours anormale, et c'est le test d'audiométrie dans le bruit qui peut permettre de démasquer le trouble.

Le diagnostic de ces troubles reste donc complexe, avec de conséquentes batteries de tests recommandés pour établir le diagnostic et surtout éliminer les diagnostics différentiels. (22)

Face à ces défis, l'audiométrie dans le silence apporte des réponses indispensables mais néanmoins insuffisantes. Quelles sont donc les techniques développées pour y répondre de façon plus complète ?

IV. L'audiométrie vocale dans le bruit

A. Physiologie de l'écoute dans le bruit

1. Comprendre la parole dans le silence

Le **signal de la parole** est un flux qui évolue continuellement **au cours du temps** selon deux dimensions : la **fréquence** et **l'intensité**.

La décomposition fréquentielle est réalisée de façon tonotopique au niveau de la membrane basilaire de l'organe de Corti situé dans la cochlée : à chaque niveau de la cochlée est codé un son en fonction de sa fréquence, les sons aigus au niveau basal jusqu'aux sons graves au niveau apical.

Le phénomène de verrouillage en phase intervient sur les fréquences graves et correspond à la synchronisation des potentiels d'action avec la fréquence du son. Ce verrouillage n'est plus possible sur les hautes fréquences par dépassement des capacités de synchronisation des cellules ciliées.

L'intensité se traduit par l'accroissement de l'activité neuronale sur une zone tonotopique.

La décomposition temporelle du signal est quant à elle codée par la variation de la vitesse des fibres afférentes du système auditif.

Cette structure temporelle se dissocie en une enveloppe, et une structure fine temporelle.

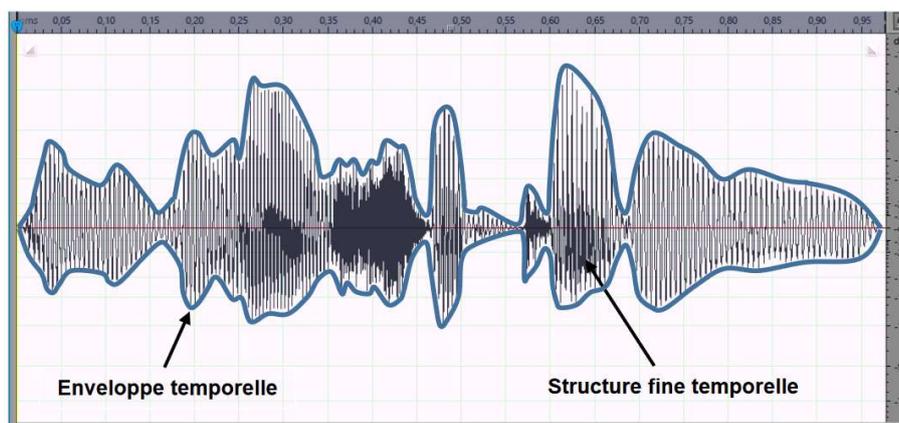


Figure 8 Structure temporelle du signal de la parole (23)

Ces dernières sont complémentaires : si dans le silence, il semble que l'enveloppe temporelle soit suffisante pour en comprendre la signification, la structure fine permet un complément d'informations pour identifier le signal cible dans le bruit de fond (23).

2. Comprendre la parole dans le bruit

La compréhension de la parole dans le bruit est fonction de la configuration du milieu, de la nature du bruit, de la qualité du signal et enfin des capacités d'audition du sujet.

Le mécanisme primaire permettant de différencier le signal cible d'un bruit de fond est le **démasquage spatial**, lié à la séparation flux des sources cible et masquantes (24).

La différence d'intensité entre le signal et le bruit de fond et donc le rapport signal sur bruit influe fortement sur la compréhension.

Enfin, la nature fluctuante ou stationnaire du bruit influe également sur le masquage du signal. Pour un bruit fluctuant, les variations spectro-temporelles du bruit créent des "vallées" dans lesquelles le signal-cible est prédominant, améliorant localement le rapport signal/bruit. Ainsi, le signal étant à certains moments démasqué, la compréhension peut s'améliorer.

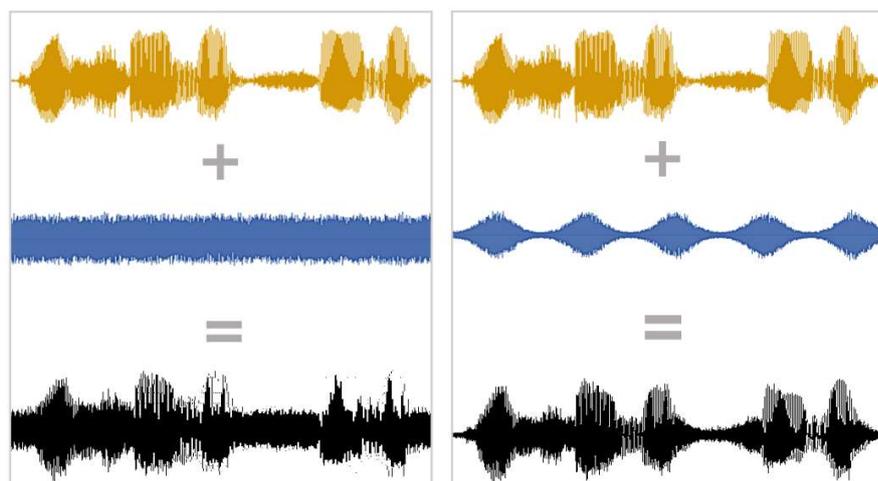


Figure 9 *Illustration de la superposition des spectres de signal et bruit selon la nature du bruit. Le signal (jaune) est mixé avec un bruit stationnaire (bleu) à gauche, fluctuant à droite: on remarque un contraste plus important à droite qui génère une amélioration de la compréhension (25).*

B. Concepts fondateurs des tests d'audiométrie vocale dans le bruit (AVB)

L'audiométrie vocale dans le bruit a déjà conquis un public adulte, par son indication massive dans le diagnostic et l'appareillage des presbyacousies notamment (26).

1. Comment évaluer la compréhension de la parole dans le bruit ?

Par la mesure du RSB pour un niveau d'intelligibilité donné

Si de nombreux tests existent dans différentes langues, les grands principes des tests d'audiométrie dans le bruit ne varient guère : un signal vocal pré-enregistré est diffusé dans un milieu bruyant, contrôlé, normalisé et calibré. La personne testée doit répéter ce qu'elle a compris.

Au cours du test, le rapport d'intensité (appelé aussi rapport signal sur bruit ou **RSB**) entre le bruit et le signal varie, rendant l'exercice plus ou moins difficile.

L'indice de référence en audiométrie vocale dans le bruit est le **seuil d'intelligibilité dans le bruit au 50% d'intelligibilité (noté SIB-50)**. Il est comparable au SRT de l'audiométrie vocale dans le silence et correspond au RSB pour lequel 50% des items sont correctement répétés.

A l'aide du SIB-50 d'un patient et de la norme du test, il est alors possible de calculer la perte de RSB du patient au 50%.

Par définition, on établira donc la formule suivante :

$$\textit{Perte RSB Sujet} = \textit{SIB}_{50}\textit{Sujet} - \textit{NORME}_{\textit{test}}$$

Les limites de la mesure du RSB

Il est important de bien comprendre que la seule mesure de la perte de RSB n'apporte qu'une information partielle sur le traitement du signal sonore, qui devra être exploré de façon multimodale en y associant les techniques habituelles d'audiométrie et la réalisation d'un **bilan orthophonique** adéquat (7).

En particulier chez l'enfant, la production de la réponse devra être adaptée au stade de son développement. En effet, la production n'est pas forcément représentative de la compréhension et inversement.

Dans les tests francophones étudiés pour ce travail, les évaluations commençant après l'âge de 5 ou 6 ans, les capacités de compréhension dans le bruit des enfants étaient évaluées sur la base de la répétition de mots-clés.

2. Comment construire un test d'audiométrie vocale dans le bruit?

Le cas général des tests développés pour l'adulte et l'enfant

Deux types de méthodologie sont utilisés pour mesurer l'intelligibilité dans le bruit, en fonction de la manière dont le RSB varie:

- Les tests avec RSB **fixe** selon une échelle ascendante ou descendante permettent de déduire la perte de RSB en fonction d'un pourcentage de réponses correctes
- Les tests avec RSB **adaptatifs** font varier le RSB en fonction des réponses du patient. L'algorithme détermine le RSB obtenu pour un pourcentage de bonnes réponses prédéfini (souvent pour 50% de bonnes réponses correspondant au SIB-50).

Les deux méthodes ont leurs atouts et leurs limites, elles sont d'ailleurs toutes deux utilisées dans le monde Francophone.

Le **type de bruit de fond** est également une variable importante à prendre en compte. Chez l'enfant, il semble que des bruits stationnaires aient été privilégiés jusqu'à présent, car ils ont l'avantage d'être masquants de façon constante et reproductibles au cours du temps, quelle que soit la synchronisation du signal. (27,28)

Enfin, le **signal** peut utiliser différents types d'items : phonèmes, logatomes, mots, phrases complètes. Plus le contexte est important, plus l'analyse fait appel à des fonctions cognitives supérieures et ces dernières influent sur le résultat du test.(26,29)

Prendre en compte certaines spécificités de l'enfant dans le design d'un test d'AVB

Chez l'enfant, certaines contraintes doivent être prises en compte :

- La **durée du test** doit être contrôlée afin de conserver l'attention de l'enfant constante durant l'entièreté de celui-ci.
- Le **vocabulaire** doit être adapté au stade d'acquisition lexical
- La **longueur des items à restituer** (mot/phrases) doit être également contrôlée, car l'encodage mémoriel est moindre que chez l'adulte et des séquences trop longues à retenir induisent un biais de mémorisation (28).
- Le type de **matériel sonore** doit être adapté à la tolérance de l'enfant, autant en intensité qu'en nature. Un bruit familier (bruits liés à l'environnement scolaire par exemple) à intensité habituelle sera plus facilement accepté.

C. Focus sur les tests francophones dans le bruit adaptés à l'enfant

1. Les tests francophones canadiens

Le HINT-E

Le HINT-E a été développé courant des années 2006-2010 au Canada à partir de la version adulte. Il s'agit d'un test adaptatif.

Le signal comporte 17 listes de 10 phrases phonétiquement équilibrées, développées à partir du matériel initial.

Le bruit de masquage est stationnaire, il s'agit de l'ICRA.

Le test original est long à passer, mais la version pour enfant a été abrégée sur le format du HINT'5, version rapide du test HINT. (28)

Le test de mots dans le bruit (TMB)

Le TMB, développé par l'équipe de Josée Lagacé pour les enfants canadiens francophones, est l'adaptation d'un test initialement dédié à l'adulte en 2010.

Le signal est constitué de 140 mots monosyllabiques répartis en 4 listes de 35 mots, issus de la base de données MANULEX adaptée au vocabulaire canadien francophone enregistré par une locutrice canadienne.

Le bruit de masquage correspond au bruit de verbiage francophone de Perrin et Grimault non stationnaire.

Les enfants sont testés à RSB fixe de 5 dB (60 dB SPL pour la parole et 55 dB SPL pour le bruit), le résultat est exprimé en pourcentage de réussite au test.

La durée de passation n'est pas reportée. (29,30)

2. Le test francophone français FRASIMAT

Le FRASIMAT a été développé par les équipes de l'hôpital Necker à Paris sur la base du test adaptatif pour adultes FRAMATRIX en 2022.

Le signal consiste en une matrice de mots juxtaposés, de tirage aléatoire. Chaque juxtaposition comporte 3 mots-clés.

Le bruit de masquage est un bruit vocal stationnaire, filtré sur le spectre de la parole.

Le spectre à long terme du bruit appareillé au spectre long terme de la parole est comparable au spectre du LTASS.

Le temps de procédure est d'environ 15 minutes.

V. Le test Vocal Rapide dans le Bruit

A. Concept fondateur

Le test Vocal Rapide dans le Bruit ou VRB a été développé par une équipe pluridisciplinaire lilloise (F. Leclercq, Pr C.Vincent, C.Renard) sur le modèle du QUICKSIN anglophone. (25)

Le VRB adulte (VRB-A) est constitué d'un signal qui correspond à des phrases courtes contenant chacune 3 mots-clés, prononcées par une orthophoniste francophone française, sur un bruit de fond composé d'une boucle de 8 secondes de l'OVG (Onde Vocale Globale) modifiée.

Plusieurs modalités de passation sont possibles. Il peut être réalisé en champ libre à l'aide de 1 ou 5 haut-parleurs et peut aussi être réalisé au casque en écoute binaurale (31).

Lors du passage du test, l'intensité de la voix est fixée entre 60 et 65 dB SPL et celle du bruit varie progressivement par paliers de 3 dB RSB, allant de +18 dB RSB à -3 dB RSB selon une procédure ascendante, c'est-à-dire de la condition la plus facile vers condition la plus difficile. Quatre listes de neuf phrases chacune sont proposées au patient. Chaque mot-clé correctement répété est pris en compte.

L'objectif est de déterminer le SIB-50 du patient. La valeur exacte du SIB-50 est obtenue par l'équation de Spearman et Kärber qui permet de calculer le point 50% d'une fonction psychométrique (32).

Elle s'exprime de la façon suivante:

$$T_{50\%} = i + \frac{d}{2} - \frac{d \times r}{n} = \text{SIB}_{50}$$

T_{50%} correspond à la valeur de l'équation pour laquelle T=50% (soit le SIB-50), i correspond au niveau initial de présentation du test, d est le pas en dB entre chaque niveau de présentation, r le nombre de réponses correctes et n le nombre d'items testés à chaque niveau de test.

Lors de sa conception, le test VRB-A a été normalisé pour qu'une population de jeunes adultes normo-entendant (au sens iso) obtienne un score proche de 0 dB RSB. **Le SIB-50 du patient sera donc directement égal à la perte de RSB, puisque la norme du test est 0 dB.**

Dans le VRB-A, la variation du pourcentage de bonnes réponses en fonction du RSB suit une courbe paramétrique en S inversé.

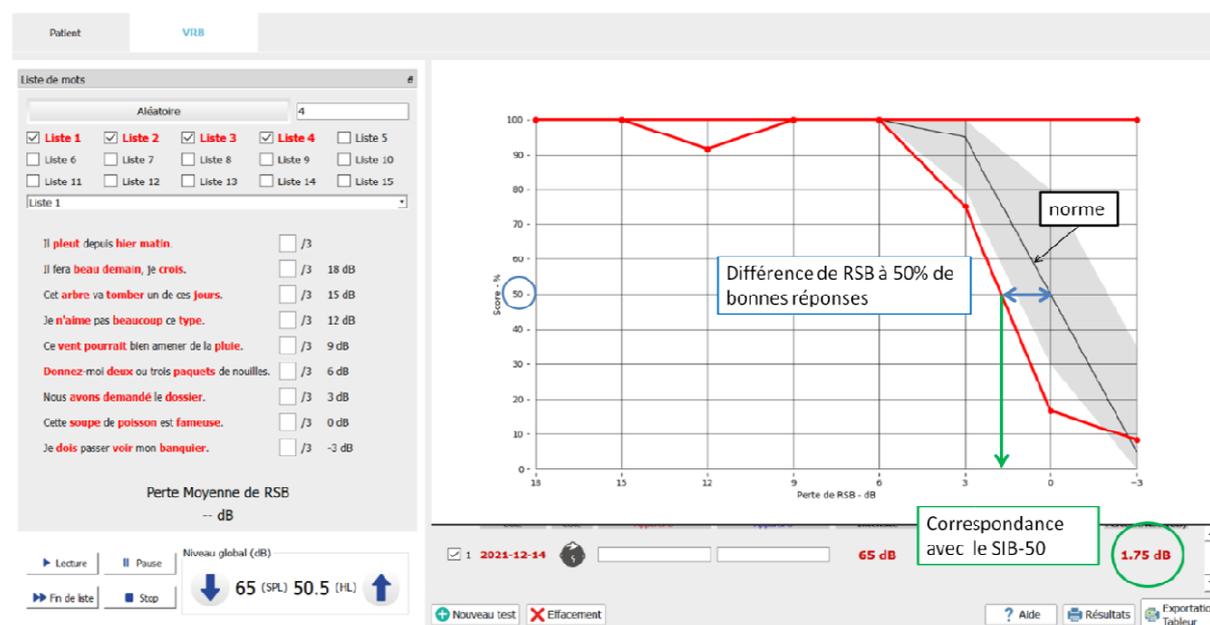


Figure 10 Exemple d'interface du VRB-A avec la courbe paramétrique correspondant aux réponses moyennes du patient sur 4 listes de phrases, et la valeur des SIB-50 correspondants

B. Les limites du VRB-A face à l'enfant

1. Concernant le "bruit"

La configuration en 5 haut-parleurs (HP) est à privilégier pour les tests d'audiométrie vocale dans le bruit (AVB) (26), notamment parce qu'elle permet une bonne immersion sonore, représentative des situations d'écoute habituelles du patient.

Cependant, le bruit "cocktail party" en configuration immersive 5 HP, tel qu'il a été conçu pour le VRB-A, n'est pas l'environnement le plus représentatif du vécu d'un enfant de 6 à 10 ans. Une adaptation du milieu sonore est donc nécessaire pour favoriser l'acceptation du test chez l'enfant.

2. Concernant le “signal”

Les phrases à mots-clefs constituant le signal sont tirées de corpus destinés à l'adulte. Les situations et le champ lexical ne sont pas toujours facilement compris par un jeune enfant (exemple: “*La vieille ferme tombe en ruines.*”) D'autre part, les enfants ayant des capacités d'encodage mémoriel plus restreintes que les adultes, certaines phrases choisies sont trop longues (28).

VI. Conclusion

La surdité de l'enfant est une réalité particulière face à laquelle des moyens de diagnostic et de suivi après réhabilitation doivent être mis en place. Des outils d'évaluation dans le silence existent, mais le défi de l'audition dans le bruit a mené au développement tests auditifs spécifiques. Ces derniers présentent des limites propres. Le but de ce travail est d'apporter une solution de test innovante en créant une nouvelle version du test d'Audiométrie Vocale Rapide dans le Bruit spécifiquement destiné aux enfants âgés de 6 à 10 ans.

Quelles sont donc les adaptations logiques du VRB-A qui permettent de créer un test d'audiométrie vocale dans le bruit applicable à l'enfant en pratique courante?

Nous détaillons notre réponse dans la partie “matériel et méthode”.

Matériel et méthode

I. Protocole de l'étude

A. Protocole

Il s'agit d'une étude interventionnelle, monocentrique, réalisée sur des enfants d'âge primaire dans les Hauts de France.

L'inclusion était réalisée sur la base du volontariat des enfants et de leurs parents, via le bouche-à-oreille, auprès essentiellement de collègues de travail du CHU de Lille, du CH de Lens et du Cabinet d'ORL de Béthune, du 13 janvier au 19 février 2024, puis du 17 mars au 31 mars 2024.

Les **critères d'inclusion** étaient :

- Un âge de 6 à 10 ans inclus
- L'absence d'antécédents de surdité
- L'absence de suivi orthophonique pour des troubles du langage ou du neurodéveloppement
- Audiométrie dans le silence dans les normes pour l'âge : seuils auditifs à 125-250-500-1000-2000-4000-8000 Hz inférieurs ou égaux à 15 dB HL et 100% de bonnes réponses à 30 dB HL en audiométrie vocale en liste de Boorsma.
- Avoir le français comme langue maternelle
- Scolarisation de l'enfant dans un milieu scolaire ordinaire francophone depuis la maternelle

Les **critères d'exclusion** étaient :

- L'opposition parentale ou de l'enfant
- Des troubles du langage ou du neurodéveloppement nécessitant un suivi orthophonique au long cours
- Un bilinguisme
- Une asymétrie d'audition strictement supérieure à 15 dB sur la perte tonale moyenne ou un score inférieur à 100% de bonnes réponses en audiométrie vocale en liste de Boorsma.

L'information et le consentement des parents étaient recueillis par écrit sur une feuille d'information.

L'objectif principal de cette étude était de créer un matériel sonore analogique à celui du VRB-A, adapté à une population pédiatrique d'âge primaire (CP au CM2).

Pour cela, nous avons procédé en trois temps :

- Dans un **premier temps**, il fallait créer un matériel sonore inspiré du VRB adapté à l'enfant.
- Dans un **deuxième temps**, il fallait équilibrer en difficulté ce matériel chez l'enfant normo-entendant.
- Dans un **troisième temps**, nous avons contrôlé l'égalisation en difficulté chez des enfants normo-entendant.

L'objectif secondaire de cette étude était de déterminer le SIB-50 moyen brut théorique de l'ensemble des phrases retenues et ajustées afin d'établir la norme du test VRB enfant (VRB-E).

B. Statistiques

L'ensemble des données ont été colligées dans des tableaux sur le logiciel World EXCEL 2011. Les analyses statistiques ont été réalisées via le programme en ligne libre de droit BIOSTATGV.

II. Première étape : préparation du matériel sonore adapté à l'enfant

A. Comment avons-nous créé le signal du VRB-E?

Par analogie avec le VRB-A, nous avons conservé des phrases complètes avec un sens propre.

Chaque phrase doit comporter 3 mots-clés parmi les catégories suivantes : **nom, verbe, adverbe, adjectif.**

1. Cahier des charges pour la constitution du corpus de phrases

Nous avons défini au préalable les contraintes suivantes :

- Créer suffisamment de phrases pour **limiter l'effet de mémorisation** si le test est répété plusieurs fois au cours du temps et pouvoir exclure les phrases non conformes sans réduire trop fortement la taille du corpus final retenu.
- Dans le même esprit, les mots clés devaient tous être différents.
- Limiter la **longueur des phrases** afin de permettre un encodage et une restitution facile. Pour cela, nous avons conservé des phrases à 3 mots-clés en privilégiant des phrases de type "*sujet-verbe-complément*" ou "*j'ai-participe passé-nom-adjectif*". Le nombre de syllabes au sein de la phrase ne devait pas dépasser 9 syllabes. Cela est plus faible que pour les adultes pour lesquels les phrases allaient jusqu'à 11 syllabes. En comparaison, les deux autres tests dans le bruit francophones présentent respectivement 4 à 5 syllabes pour le FRAMATRIX et 5 à 7 syllabes pour le HINT-E. (28,33)
- Utiliser un **vocabulaire accessible** pour l'enfant dès 6 ans. Les phrases devaient rester **compréhensibles** et **acceptables** pour un enfant. Il fallait donc exclure les phrases trop absurdes (*ex : le bébé conduit une voiture*) ou à connotation négative (*ex: le papa frappe l'enfant*).
- A l'inverse, afin de limiter la suppléance mentale, l'enchaînement des mots-clés au sein de phrases ne devait pas être trop prévisible (*ex : le chat boit du lait*).

2. Elaboration du corpus de phrases

Pour créer le corpus de phrases, nous avons dans un premier temps compilé plusieurs lexiques de mots ayant pour cible la tranche d'âge 6-7 ans. On y trouve notamment la liste de Boorsma, la liste dissyllabique de Lafon, des lexiques en ligne libres de droit à destination des instituteurs du primaire et des orthophonistes.

Ensuite, nous avons rédigé une première liste de phrases correspondant aux critères cités précédemment. Nous avons utilisé l'aide de l'intelligence artificielle CHAT GPT-3 pour générer un très grand nombre de nouvelles phrases sur le modèle de ces premières phrases, que nous avons retravaillées ensuite.

Une fois les phrases rédigées, nous avons vérifié leur fréquence d'occurrence parmi les 3000 mots les plus fréquents utilisés dans les ouvrages à destination des enfants du CP, grâce au lexique en ligne MANULEX (34). **La concordance lexicale était de 90.3%.**

Ce premier corpus a d'abord été soumis à l'avis de 3 orthophonistes différents, ayant une expertise en surdité, qui l'ont validé.

Ensuite, nous l'avons soumis à la répétition dans le silence à 9 enfants de 6 à 9 ans, afin d'exclure ou retravailler les phrases problématiques. L'ensemble des phrases conservées devait pouvoir être répété spontanément par tous les enfants sans aucune hésitation.

Après cette étape, nous avons réalisé une ultime vérification et adaptation ou élimination des phrases problématiques en nous basant sur les critères suivants :

- **L'absence de redondance lexicale.**
- La **longueur des phrases** : 5 à 9 syllabes, en moyenne 7 syllabes.
- **L'équilibre phonétique** en le comparant à la fréquence d'occurrence des phonèmes dans la langue française. Les mots-clés ont été transcrits en alphabet phonétique international, permettant d'établir la fréquence des 16 voyelles et 20 consonnes de la langue française. La répartition phonétique dans notre corpus était comparable, sauf pour les phonèmes [l] et [j] qui étaient sur-représentés. Cela s'explique par la structure syntaxique retenue pour les phrases qui commencent pour la plupart par un déterminant "le", "la", "les" ou le pronom personnel, "je" ou "j".

	a	ɑ	ə	i	o	ɔ	y	e	ɛ	œ	ø	u	ɑ̃	ɛ̃	œ̃	ɔ̃	j	w
répartition dans le texte	8,0%	0,4%	1,3%	5,1%	2,2%	3,1%	1,4%	2,8%	5,0%	1,0%	0,5%	2,1%	2,7%	1,4%	0,1%	1,7%	2,5%	1,4%
répartition en Français	8,1%	0,2%	4,9%	5,6%	2,2%	1,5%	2,0%	6,5%	5,3%	1,7%	0,3%	2,7%	3,3%	1,4%	0,5%	2,0%	1,0%	0,9%

	q	p	t	k	b	d	g	f	s	ʃ	v	z	ʒ	l	ʁ	m	n	ɲ
répartition dans le texte	0,6%	4,7%	6,7%	3,4%	2,6%	2,5%	1,4%	2,2%	4,2%	1,8%	2,4%	1,3%	1,8%	4,6%	11,1%	3,4%	2,5%	0,2%
répartition en Français	0,7%	4,3%	4,5%	4,5%	1,2%	3,5%	0,3%	1,3%	5,8%	0,5%	2,4%	0,6%	1,7%	6,8%	6,9%	3,4%	2,8%	0,1%

Table 2 Répartition phonétique portant uniquement sur les mots-clés

Au total, un corpus de 148 phrases parfaitement identifiables par des enfants dès l'âge de 6 ans et vérifiant toutes les contraintes et critères de sélection a été produit.

3. Génération des phrases

Les phrases ont été générées par synthèse vocale au moyen de l'outil de synthèse vocal en ligne **Google Text-to-Speech**.

L'intérêt principal de cette technique était la **reproductibilité** de la voix, sa **stabilité**, la **qualité** du signal et la possibilité de **générer facilement un grand nombre de phrases ou d'en créer de nouvelles par la suite**.

La synthèse est gratuite et libre d'exploitation en-deçà de trois millions de caractères. La voix féminine a été privilégiée, car elle est plus familière pour les enfants (29).

Les paramètres de synthèse vocale sont les suivants :

- Langue française, Français métropolitain
- Type de voix WaveNet, voix nommée fr-FR-Wavenet-E, qui est une voix féminine française, de hauteur médium, sans accent régional.
- La vitesse d'élocution est abaissée à 0.93%.
- L'emphase n'est pas exagérée artificiellement.
- Le type de voix n'est pas orienté spécifiquement pour un usage particulier

Cela permet d'obtenir une **voix relativement neutre, sans accent spécifique avec une prosodie régulière et peu d'emphase**. Les enfants l'associent très facilement à la voix de leur maitresse d'école. C'est aussi ce type de voix qui est souvent utilisé sur les plateformes d'exercices scolaire en ligne.

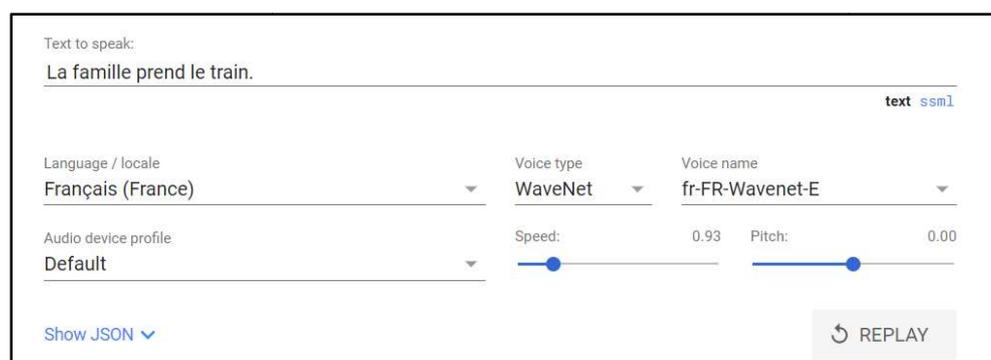


Figure 11 Interface Google text-to-speech paramétrée

Chaque phrase générée en synthèse vocale a été enregistrée en format .wav. La fréquence d'échantillonnage était de 44100 Hz et la résolution 16 bits.

La valeur RMS de chaque phrase (correspondant à l'énergie sonore sur une durée déterminée) a été calculée sur une fenêtre de 50 ms. Les fenêtres avec un niveau RMS inférieur à -60 dB FS (*full scale*) ont été ignorées pour éviter l'influence des silences entre certains mots.

La moyenne des valeurs RMS totale obtenue (-15.5 dB FS) a permis d'ajuster les phrases sur un même niveau d'énergie.

B. Comment avons-nous créé le bruit du VRB-Enfant ?

1. Retour sur les forces et limites du bruit dans le VRB adulte.

Le VRB-A prend le parti d'un bruit de fond dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Il s'agit d'un **bruit semi-fluctuant**
- **Multilocuteur** (4 personnes, soit deux femmes et deux hommes)

L'intérêt principal de ce type de bruit est qu'il est très **écologique**, reproduisant une ambiance de type " cocktail party" correspondant à une situation de la vie quotidienne plausible.

La difficulté soulevée par ce type de bruit est liée à sa nature fluctuante puisque qu'une simple désynchronisation temporelle entre le signal et le bruit peut entraîner une altération du RSB local et donc des performances du sujet (26).

Chez l'adulte, c'est l'OVG modifiée de Léon Dodelé qui a été choisie comme bruit de fond.

Chez le jeune enfant, les limites du VRB sont souvent liées à une faible tolérance du bruit de fond, qui peut s'expliquer par la simulation d'un environnement sonore inhabituel dans lequel des adultes discutent entre eux, et dont la discussion est par essence incompréhensible. **Le choix d'un bruit plus proche des conditions de vie de l'enfant semblait donc plus adapté.**

2. Caractérisation du bruit du VRB-E

Certaines des caractéristiques recherchées lors de la création du bruit du VRB-A ont été recherchées pour définir le bruit de fond de notre test :

- Un bruit non-stationnaire
- Un signal non reconnaissable pour éviter une confusion avec le signal
- Un bruit stable, sans éclat de voix.
- Possédant un spectre à long terme comparable au signal de la parole pour être masquant (25)
- Écologique et correspondant à un environnement familier pour un jeune enfant.

Contrairement au VRB-A, le nombre de locuteurs n'a pas été contrôlé pour privilégier l'aspect réaliste du bruit.

Ainsi, nous avons sélectionné une **boucle de 8 secondes d'un bruit de cour de récréation enregistré**, correspondant à l'environnement sonore habituel des enfants. Ce bruit a été traité pour éliminer les éventuels "clics" parasites présents dans l'enregistrement original du bruit de cour de récréation.

La principale limite de ce bruit est la prépondérance des aigus liée aux fréquences plus hautes des voix d'enfants. Afin d'équilibrer le spectre de ce bruit, nous avons rajouté des graves en mixant la boucle du bruit du VRB-A avec le bruit de cours de récréation. Celle-ci vient compléter le spectre sans pour autant être prépondérante dans l'environnement sonore créé.

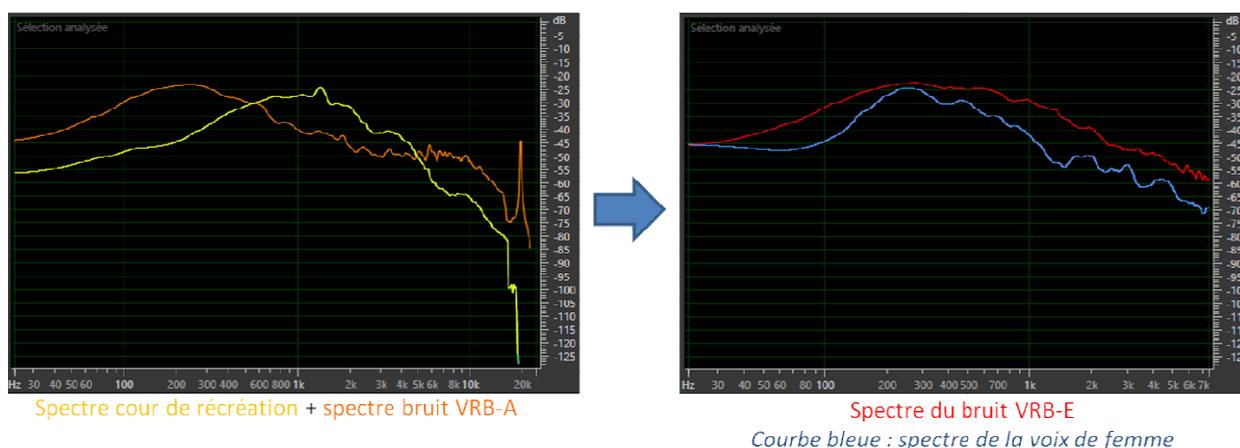


Figure 12 *Graphiques des spectres des différents bruits (analyse type Blackman Harris sur 1024 ms). A gauche pour le bruit de cours de récréation et du bruit VRB-A, à droite leur résultante à comparée au spectre de la voix de femme utilisée dans le VRB-E.*

Ce bruit mixé a ensuite été ajusté à un niveau énergétique de -15.5 dB FS.

C. Préparation des couples phrases/bruit en vue de l'égalisation

Les niveaux RMS des phrases et du bruit de fond ont donc été ajustés à la même valeur, -15.5 dB FS, ce qui correspond à une **égalisation physique en énergie** des couples phrases/bruit. En revanche, cette égalisation physique du matériel vocal ne correspond pas à une **égalisation en difficulté de celui-ci** et les phrases ont des SIB-50 très variables.

Afin de rechercher pour chaque phrase la modification de niveau à réaliser pour égaliser les SIB-50, il fallait faire varier le RSB de chaque phrase autour du niveau de référence réalisé en dB physique. Nous avons choisi de le faire phrase par phrase, et même mot-clé par mot-clé, améliorant ainsi théoriquement la précision de la méthodologie décrite dans l'étude princeps du VRB-A (25). Ceci a permis un testing plus efficace et plus précis, tout en gardant les enfants bien focalisés sur la tâche de restitution pendant les sessions.

Les couples phrases/bruits ont donc été enregistrés successivement dans un même fichier .wav selon un rapport signal/bruit croissant par palier de 2 dB.

Pour définir le niveau de RSB de départ, des tests exploratoires ont été réalisés et il a été retenu qu'en augmentant le bruit de 12 dB aucun mot n'était reconnu par un auditeur normo-entendant. Ce niveau de RSB a donc servi de premier palier pour notre test et sert de référence relative pour la suite des expériences. Pour simplifier nos calculs, nous lui avons attribué une valeur de 0 dB RSB relatif correspondant au niveau de -12 dB RSB physique.

De fait, on obtient pour chaque phrase un fichier de 1 minute 04 secondes comportant 8 répétitions de la même phrase, dans un bruit de fond d'intensité dégressive allant de 0 dB RSB relatif à +14 dB RSB relatif, allant donc de la **condition la plus difficile vers la plus facile**.

Pour maintenir la concentration, un signal sonore de type “clochette” a été introduite 1 seconde avant chaque répétition de phrases.

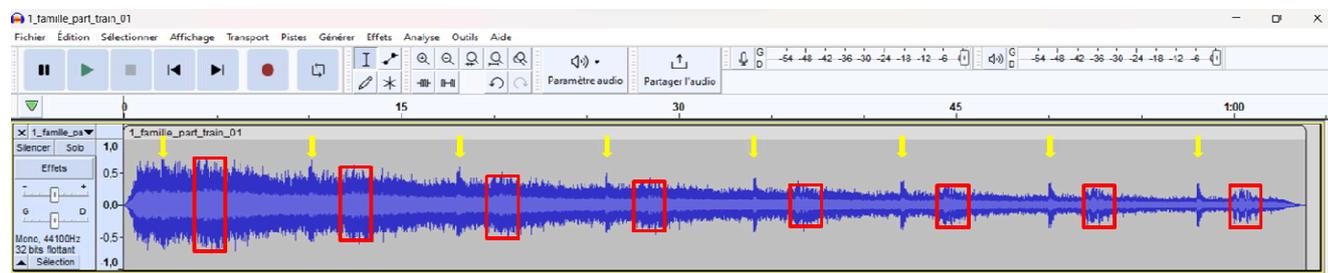


Figure 13 Partition sonore de la phrase “ la famille part en train” sur 8 répétitions à RSB dégradés. Flèches jaunes : sonnette. Carrés rouges : phrase.

III. Deuxième étape : égalisation en difficulté du matériel sonore du VRB-Enfant (test de normalisation)

A. Installation

1. Environnement

L’environnement choisi pour le test était une pièce calme, avec le moins de résonance possible.

La possibilité de tester les enfants en dehors d’une cabine d’audiométrie insonorisée est permise par les niveaux largement supra-liminaire utilisés pour le VRB.

Le bruit de fond était mesuré à l’aide d’un sonomètre VOLTcraft SL-100 et ne devait pas dépasser 40 dB(A) afin de respecter le décret régissant les locaux des laboratoires d’audioprothèse

2. Matériel

Le test d’audition préliminaire était effectué au moyen d’un audiomètre portable MedRx AVANT A2D+ et du logiciel MedRxStudio. Elle consistait en une audiométrie tonale sur les fréquences 125 à 8000 Hz au casque DD45, oreille par oreille, ainsi qu’une liste vocale à 30 dB HL en liste 1 de Boorsma : *la poupée, le genou, la corde, la noisette, le savon, l’orange, le canard, la bobine, la canne, le soleil.*

Le test de normalisation était réalisé en champ libre à l'aide d'une enceinte Radiohear SP85A, branchée sur carte son Sound Blaster Play3 connectée à un ordinateur portable.

Les listes de phrases pré-enregistrées étaient lues grâce au logiciel VLC media player. L'enceinte était posée sur une table à hauteur de la tête de l'enfant, qui était assis sur une chaise à 1m face à l'enceinte. Une calibration était réalisée à l'aide d'un bruit blanc à 70 dB SPL à l'aide du sonomètre avant chaque session, afin de s'assurer que l'intensité sonore perçue par les enfants soit la même, c'est-à-dire 60 dB SPL (correspondant à un niveau de voix moyenne).

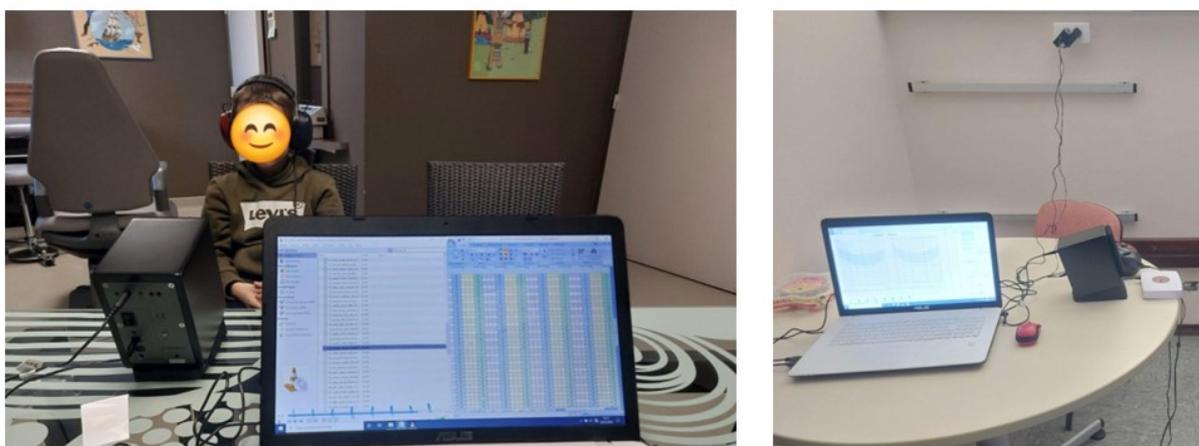


Figure 14 Différentes installations pour le test de normalisation

B. Egalisation en difficulté des phrases

1. Passation du test

La session de normalisation se déroulait de la manière suivante :

1. Une audiométrie tonale oreille par oreille était pratiquée, ainsi qu'une audiométrie vocale à 30 dB HL. Si les résultats satisfaisaient les critères d'inclusion, la session était poursuivie.
2. Les consignes étaient expliquées de la façon suivante : "Faisons un jeu. Imagine que tu es dans la cour de récréation. La maîtresse va répéter 8 fois la même phrase. Au début, le bruit autour est très fort et on ne comprend pas bien ce qu'elle dit, mais le bruit va être de moins en moins fort. Tu vas entendre des mots qui vont apparaître au fur et à mesure jusqu'à comprendre la phrase en entier. Dès que tu as compris un mot, même si tu n'es pas sûr de toi, tu me le

répètes". Les enfants étaient encouragés à deviner les mots, afin de favoriser l'aspect ludique du test.

3. Une première session de 10 phrases était alors lancée. Une pause était marquée entre deux phrases. Une courte pause durant les enchaînements de répétitions pour une même phrase était possible pour que les enfants puissent s'exprimer sans stress. Chaque mot trouvé était successivement noté dans le tableau Excel. Si dans certaines phrases un ou plusieurs mots-clés n'étaient pas devinés à la dernière des 8 répétitions, ces phrases étaient identifiées comme en échec.
4. Une pause de 10 minutes était marquée après cette première session. Il était proposé du dessin, de la lecture, des coloriages, un snack ou une petite balade en fonction de l'énergie des enfants.
5. Une deuxième, puis une troisième session étaient ensuite proposées, avec un enchaînement de 10 à 20 phrases au maximum en fonction de l'âge et de la motivation, jamais plus.

Le renforcement positif était favorisé par des petits cadeaux (stickers, crayons, bonbons...) que les enfants "gagnaient" à chaque séance.

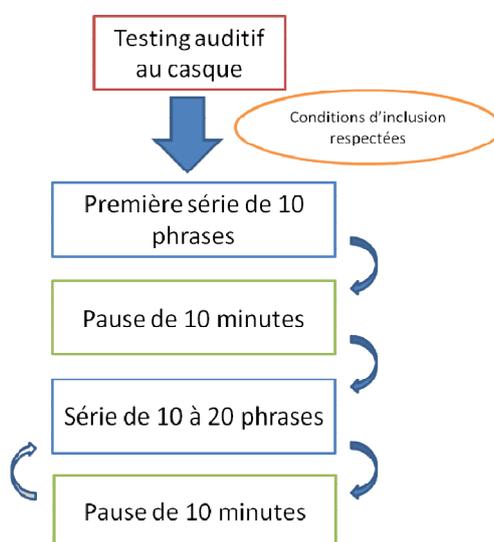


Figure 15 Schéma du testing pour le test de normalisation

2. Recueil des données

L'ensemble des données recueillies étaient colligées à l'aide du tableur Microsoft Excel.

Le tableau de données a permis de noter individuellement la restitution de chacun des 444 mots-clés aux 8 niveaux de RSB pour chaque enfant, au fur et à mesure des répétitions.

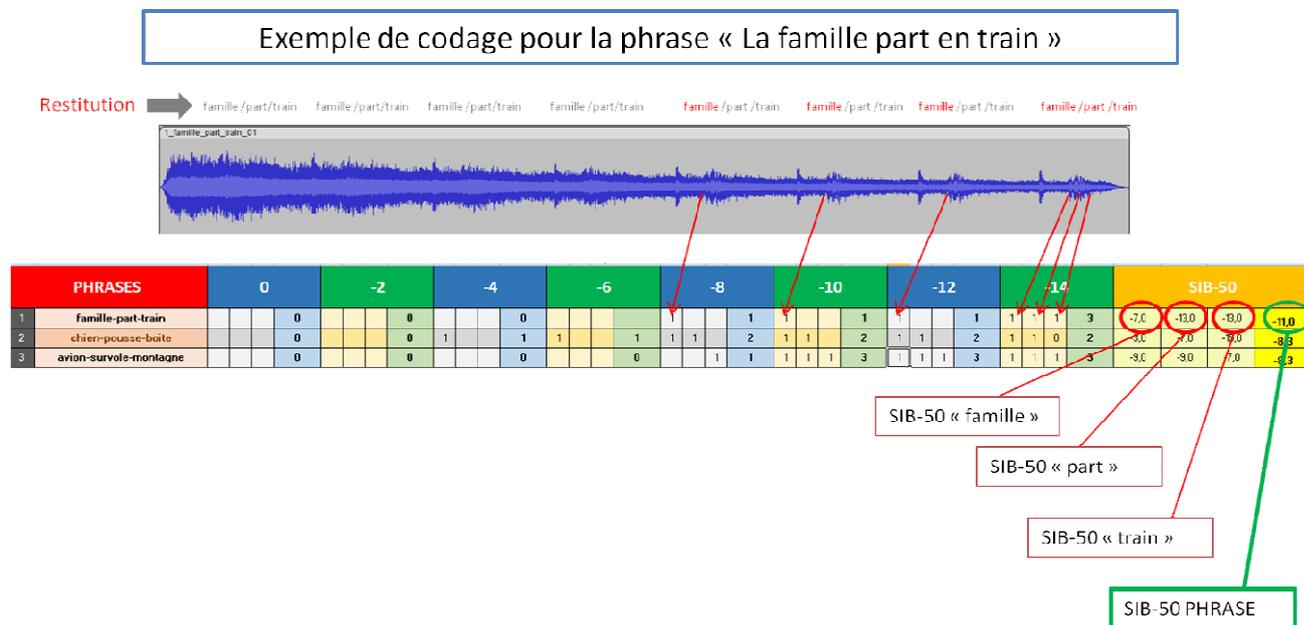


Figure 16 Interface EXCEL pour la saisie des données

Les SIB-50 des mots-clés et des phrases ainsi que les courbes psychométriques ont ensuite pu être établies.

3. Détermination des SIB-50 de chaque phrase

L'égalisation en difficulté de chaque phrase commence par la **recherche du SIB-50 individuel de chacun de ses 3 mots-clés**.

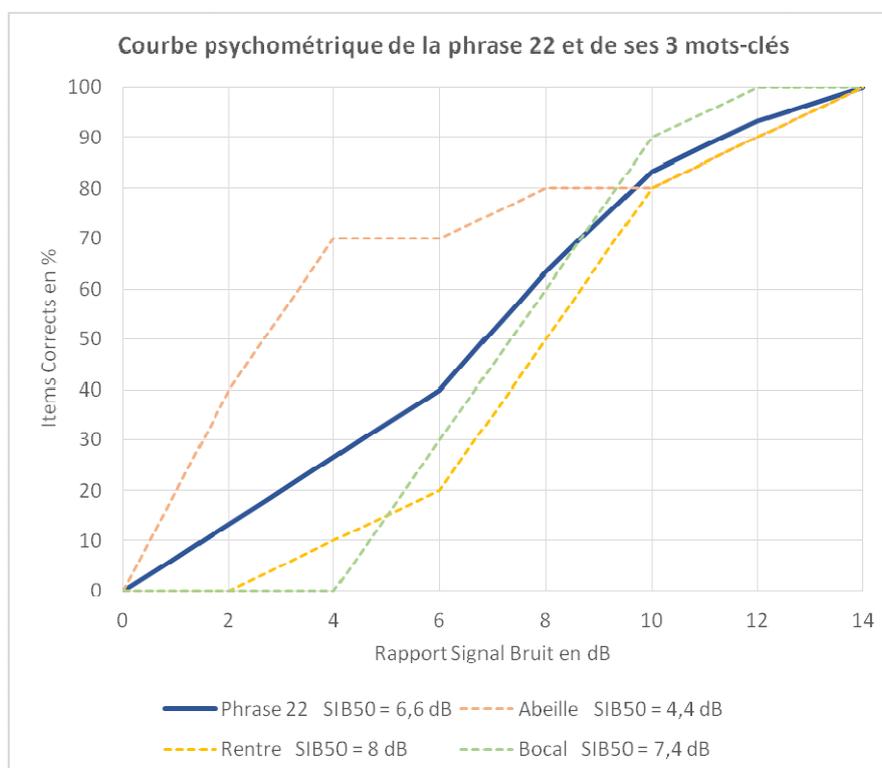
Cette valeur était obtenue par l'équation de Spearman-Kärber, d'abord pour chaque enfant puis par le calcul de la moyenne des SIB-50 de chaque mot, et ce pour l'ensemble des enfants ayant répétés cette phrase.

Le SIB-50 de chaque phrase ($SIB-50_{phrase}$) était obtenu par la même équation et correspond à la moyenne des SIB-50 moyens de ces trois mots-clés.

4. Détermination des courbes psychométriques de chaque phrase

De la même manière, les courbes psychométriques de chaque phrase étaient établies comme l'intégration de la courbe psychométrique de chaque mot-clé la composant (35).

L'ensemble de ces courbes permettait d'obtenir une courbe moyenne pour chaque phrase, ainsi qu'une courbe moyenne de l'ensemble du matériel vocal avant traitement des phrases.



Graph. 1 Exemple de l'influence des courbes psychométriques de chaque mot-clé sur la courbe psychométrique de la phrase avant traitement pour la phrase "l'abeille rentre dans le bocal"

5. Modification des phrases en vu de l'étape 2

Une fois les valeurs des SIB-50 obtenues, l'objectif était de modifier les fichiers équivalents et ajustés à un niveau de 0 dB RSB relatif.

Cependant, certains critères nous ont conduits à récuser précocément des phrases avant cette étape de modification

Critères d'exclusion des phrases "déviantes" avant la deuxième étape

Une partie des phrases testées dans la première expérience ne peuvent pas conduire à un ajustement adéquat :

- **Les phrases présentant plus de 1 échec de reconnaissance même dans les conditions "faciles"**. En effet, si il a été considéré qu'un unique échec (sur un

ou plusieurs mots-clés d'une même phrase et ce jusqu'au dernier niveau) peut être lié à une inattention ou une distraction isolée, le principe de précaution nous a poussés à considérer que plusieurs échecs étaient susceptibles de ne pas être liés au hasard et pouvaient mettre en évidence un biais dans la phrase.

- **Les phrases pour lesquelles la dispersion des SIB-50 des mots-clés est trop importante (écart type supérieur à 2,5 dB en moyenne).** En effet, pour l'étape suivante, le niveau d'intensité des différents mots-clés au sein d'une phrase doit être modifié en fonction du SIB-50 relatif mesuré dans la première expérience. Une trop grande variabilité des SIB-50 relatif entraînerait d'importantes modifications des niveaux de chaque mot-clé et dégraderait par conséquent fortement l'aspect naturel et la prosodie du signal de parole, ce qui risquerait de déstabiliser les enfants.

Les phrases concernées sont exclues avant procédure d'ajustement des SIB-50.

Procédure de traitement des phrases

L'objectif était de ramener le SIB-50_{phrase} à 0 dB RSB.

Pour ce faire, le niveau RMS de chaque mot est ramené à la valeur cible en augmentant ou diminuant son intensité dans le fichier audio de la valeur du SIB-50_{mot} moyen calculé à partir des données recueillies.

Rappelons que le premier palier qui a été préalablement ajusté à -12 dB RSB RMS a été considéré comme le 0 dB RSB relatif de référence. Travailler avec une échelle en dB relatifs permet d'obtenir directement la valeur de la modification à appliquer à chaque mot-clé.

Exemple :

Pour la phrase "L'abeille rentre dans le bocal", l'intensité du premier mot-clé "abeille" est augmenté de 4.4 dB, "rentre" de 8 dB et "bocal" de 7.4 dB, afin d'obtenir, lors de la vérification, des valeurs sensiblement identiques des SIB-50 des 3 mots-clés et centrés théoriquement sur le 0 dB RSB.

Mots-clés	RSB 0dB			RSB 2dB			RSB 4dB			RSB 6 dB			RSB 8 dB			RSB 10 dB			RSB 12 dB			RSB 14 dB			SIB-50 abeille	SIB-50 rentre	SIB-50 bocal	SIB-50 Phrase						
22 abeille-rentre-bocal	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,7	0,1	0,0	0,8	0,7	0,2	0,3	1,2	0,8	0,5	0,6	1,9	0,8	0,8	0,9	2,5	0,9	0,9	1,0	2,8	1,0	1,0	1,0	3,0	4,4	8,0	7,4	6,6

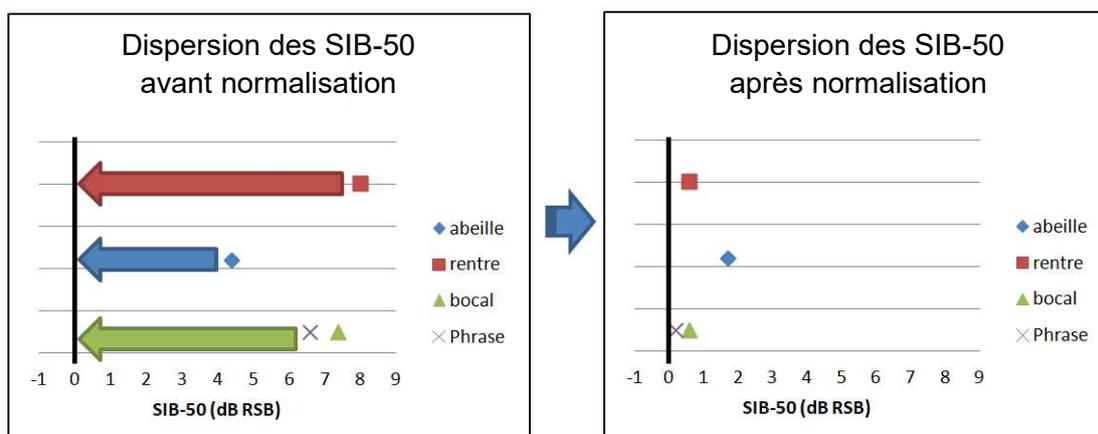


Figure 17 Procédure sur la phrase "L'abeille part en train" permettant de normaliser la phrase autour du 0 dB RSB

IV. Troisième étape : contrôle après égalisation en difficulté (étape contrôle)

A. Préparation du matériel sonore

Après exclusions et modifications, 108 phrases ont été retenues à ce stade.

Les nouveaux couples phrase/bruit ont été générés selon des modalités identiques pour obtenir des nouvelles pistes de huit répétitions d'une même phrase avec un RSB de difficulté décroissante par palier de 2 dB RSB.

B. Conditions de passation du test

Les conditions d'installation, de passation, ainsi que la méthode de recueil étaient les mêmes qu'à l'étape précédente.

C. Objectifs de l'étape

L'objectif de cette étape est de confirmer l'égalisation des $SIB-50_{phrases}$ et $SIB-50_{mot}$ sur le 0 dB RSB et de déduire la valeur normative du SIB-50 moyen du matériel vocal.

Les valeurs recherchées étaient : $SIB-50_{mot}$, $SIB-50_{phrase}$, $SIB-50_{brut}$ du VRB-E, leurs écarts types respectifs, les courbes psychométriques moyennes de chaque phrase et la courbe psychométrique moyenne du test.

A l'issue de la vérification et sur base des résultats des $SIB-50$ égalisés, une ultime étape d'exclusion permet d'améliorer la qualité du corpus final de phrases ; cette dernière phase est nécessaire et repose sur les critères stricts suivants :

- Présence d'au moins **1 échec sur un ou plusieurs mots-clés jusqu'au dernier niveau** de passage pour une phrase
- **$SIB-50_{phrase}$ trop éloigné du 0 dB RSB** ($1.5 \text{ dB RSB} \leq SIB-50_{phrase} \leq 1.5 \text{ dB RSB}$), ce qui correspond à un décalage de la courbe psychométrique trop important par rapport à la courbe moyenne du test.

Pour établir le $SIB-50$ moyen des phrases et donc la norme du matériel vocal, l'ajustement de 12 dB RSB réalisé préalablement a été pris en compte afin d'obtenir les valeurs réelles de $SIB-50_{phrase}$ et de leur moyenne.

Soit la formule :

$$SIB_{50} = -12 + SIB_{50} \text{ relatif avant égalisation}$$

Résultats

I. Normalisation des couples phrase-bruit

A. Caractéristiques de l'échantillon d'enfants testeurs pour l'étape de normalisation

28 enfants ont été inclus pour cette étape, 3 enfants ont été exclus, car leur audiométrie ne satisfaisait pas le critère d'inclusion.

Aucun enfant n'a été exclu *a posteriori*.

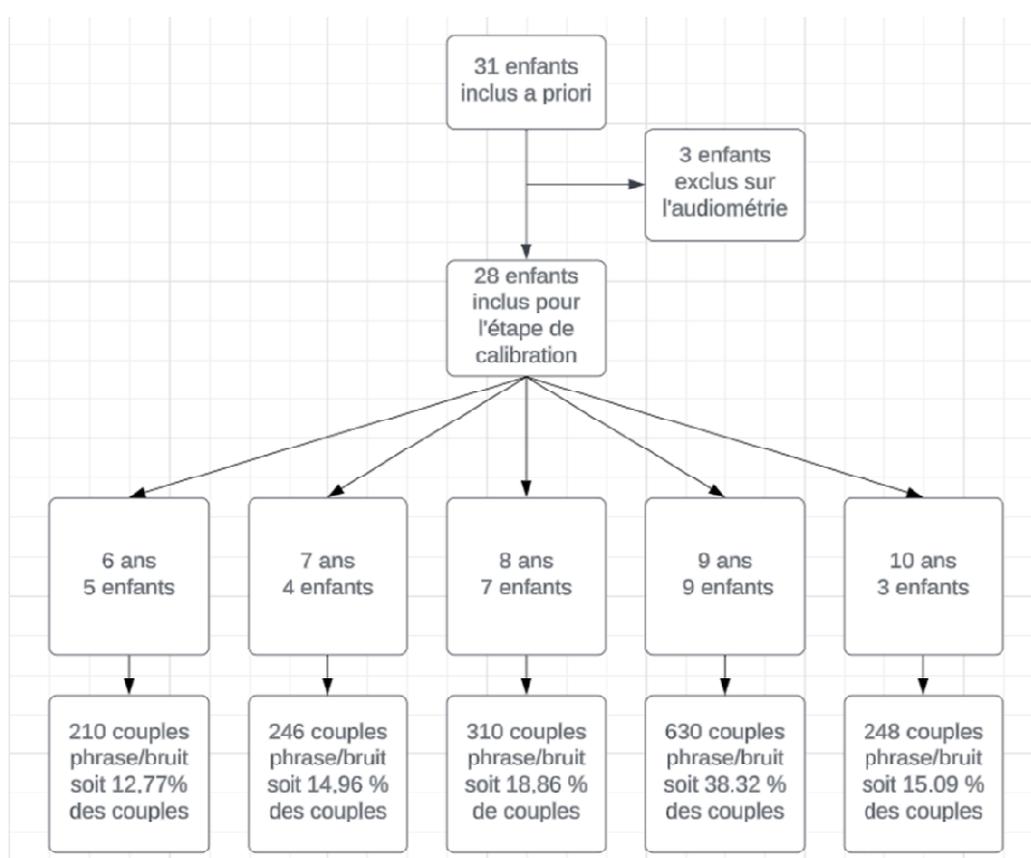
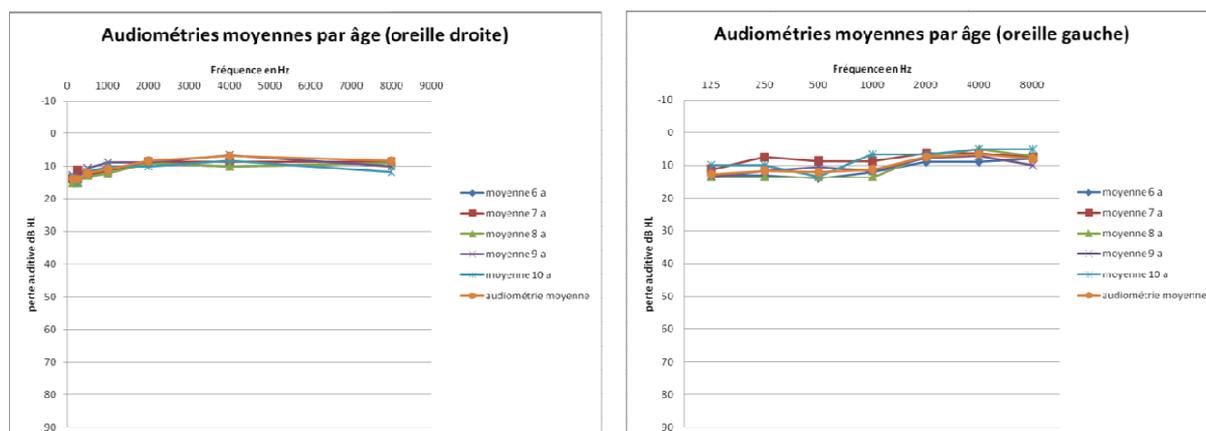


Figure 18 Diagramme de flux de l'étape de normalisation

L'échantillon d'enfants avait les caractéristiques suivantes :

L'âge des enfants était compris entre 6 ans et 10 ans inclus. La moyenne des âges était de 8,04 ans, (écart type = 1.29 an). La moyenne d'âge pondérée par le nombre de phrases analysées par classe d'âge était proche (moyenne pondérée = 8,28 ans).

Du fait des critères d'inclusions stricts, les audiométries étaient homogènes pour tous les âges.



Graph. 2 Audiométries moyennes par classes d'âges et pour toutes classes d'âges confondues (en orange)

La différence binaurale moyenne des seuils audiométriques moyens n'était pas significative ($p=0.94$)

Concernant l'audiométrie vocale, 100% des enfants répétaient 100% des mots à 30 dB en écoute binaurale au casque à 30 dB.

L'otoscopie était normale de façon bilatérale pour 93% des enfants (N=27), et au moins 1 tympan paraissait mat pour 7% d'entre eux (N=2) sans que cela ne se retentisse sur les résultats de l'audiométrie tonale ou vocale.

Concernant les conditions d'examen, 40 séances ont été réalisées, pour un total de 1644 répétitions de phrases, soit 13152 items testés à différents niveaux de RSB. La moyenne du bruit résiduel mesuré était de 34.58 dB(A) (écart type = 2.6 dB(A)) pour un maximum à 39 dB(A) lors de 2 séances.

Lieux de testing	Nombre de séances
cabine audio CHU	5
Consultation CHU	8
Consultation Lens	9
Consultation Verquigneul	1
Domicile	18
Total	40

Table 3 Répartition des séances en fonction des lieux de testing

Les enfants ont été vus entre 1 et 3 fois, la durée d'une séance était d'environ 1h30 par enfant avec plusieurs pauses, puisque le nombre moyen de phrases testées par session de test allait de 10 à 17.6 en fonction des enfants. Chaque enfant a, en moyenne, passé 58,6 phrases à 8 niveaux de RSB, soit environ 469 paliers de RSB testés.

B. Analyse et traitement des phrases

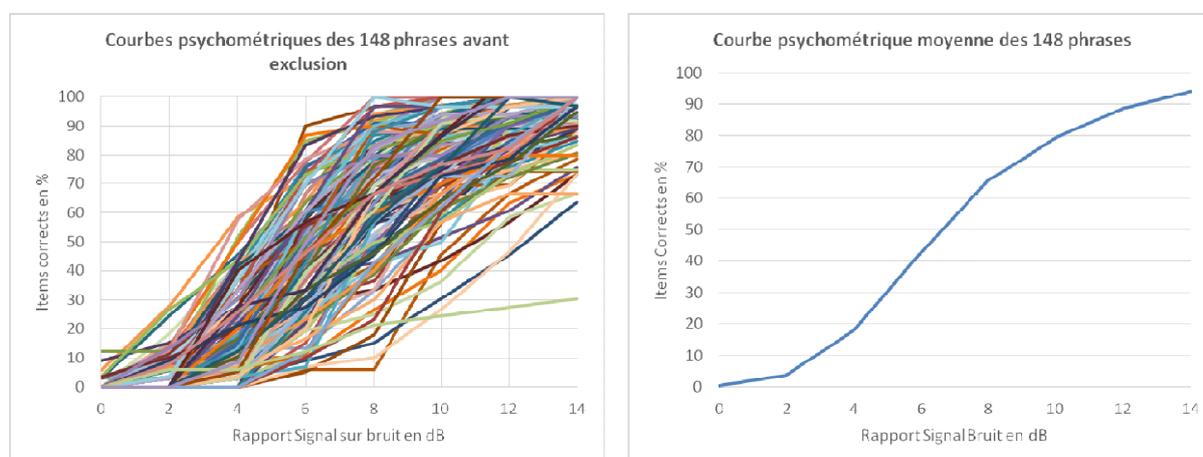
148 phrases ont été soumises à cette première étape de mesure des SIB-50. Leurs caractéristiques sont détaillées dans la section : matériel et méthode.

10 passages par phrase au minimum ont été obtenus pour chaque couple phrase/bruit analysé.

1. Analyse des paramètres des couples phrases bruit

Le SIB-50 moyen relatif obtenu pour l'ensemble des phrases était de **7,16 dB RSB**, pour un écart type de **1.57 dB RSB**.

La pente de la courbe psychométrique moyenne au SIB-50 est de **11,39%/dB**.



Graph. 3 Répartition des courbes psychométriques. Le graphique de gauche correspond à l'ensemble des courbes psychométriques des 148 phrases initiales, ainsi que la courbe psychométrique moyenne du test correspondante.

2. Analyse des paramètres des couples phrase/bruit après exclusion des phrases ne respectant pas les critères de qualité requise pour poursuivre le test

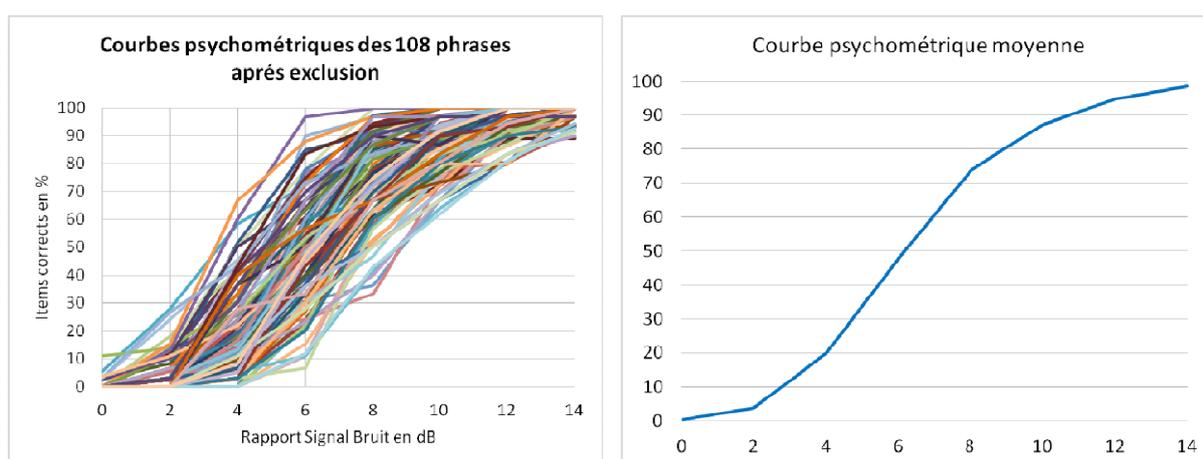
40 phrases (soit 27% du total des phrases) ne respectant pas les critères prédéfinis ont été exclues :

- sur le critère d'échecs, 26 phrases ont été exclues (7, 10, 12, 19, 24, 32, 53, 54, 61, 66, 76, 77, 81, 87, 90, 93, 95, 96, 98, 99, 108, 123, 124, 126, 132, 147)
- sur le critère de dispersion des SIB-50_{mots}, 14 phrases ont été exclues (2, 8, 11, 29, 31, 37, 64, 69, 84, 85, 88, 128, 139, 146)

Parmi ces 40 phrases, 9 phrases aux critères de dispersion "limite" ont été mises de côté pour constituer une potentielle liste d'entraînement (7, 8, 29, 37, 69, 84, 88, 139, 146)

Après ces exclusions, un nouveau corpus de **108 phrases** a été constitué.

Le SIB-50_{phrase} moyen relatif des 108 phrases était de **6.37dB RSB** pour un écart type de **1.20 dB RSB**. La pente de la courbe psychométrique moyenne au SIB-50 est de **12.7%/dB**.



Graph. 4 Répartition des courbes psychométriques. Le graphique de gauche correspond à l'ensemble des courbes psychométriques des 108 phrases après exclusion, ainsi que la courbe psychométrique moyenne du test correspondante.

II. Contrôle de l'égalisation en difficulté

A. Caractéristiques de l'échantillon d'enfants testeurs pour l'étape de contrôle

11 enfants ont été inclus pour cette étape. Aucun d'entre eux n'a été exclu après audiométrie.

L'âge moyen des enfants était de 7.45 ans (écart type = 1.57 an). La moyenne d'âge pondérée par le nombre de phrases analysées par classe d'âge était proche : 7,42 années.

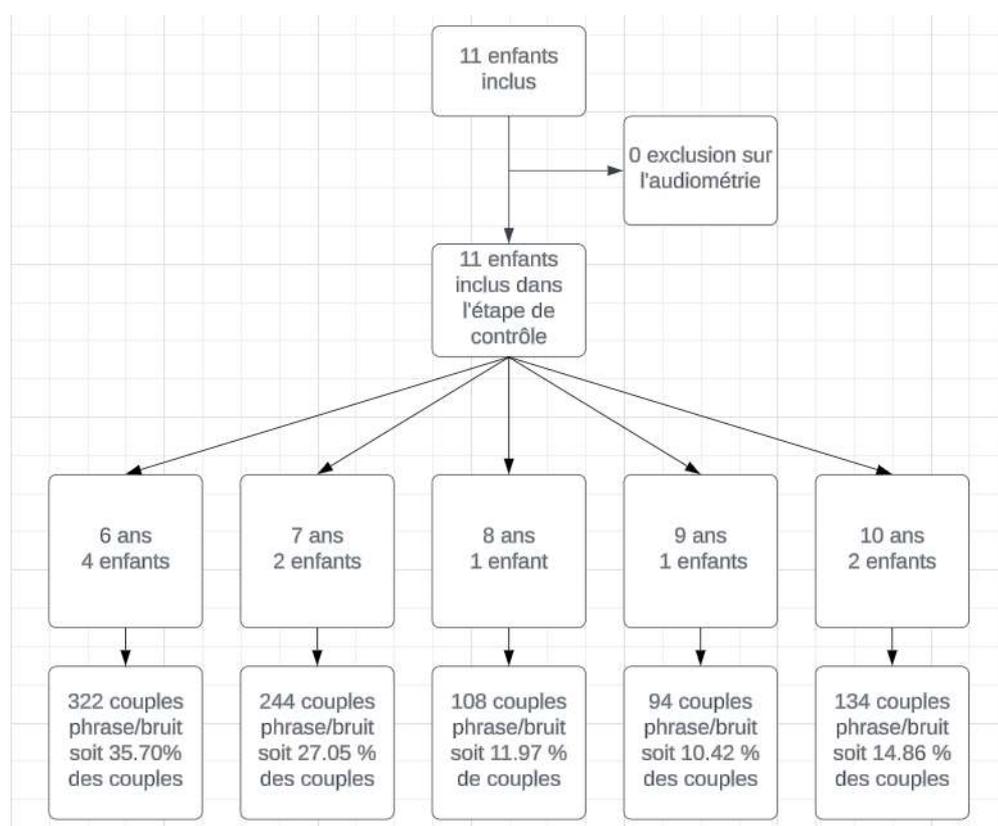
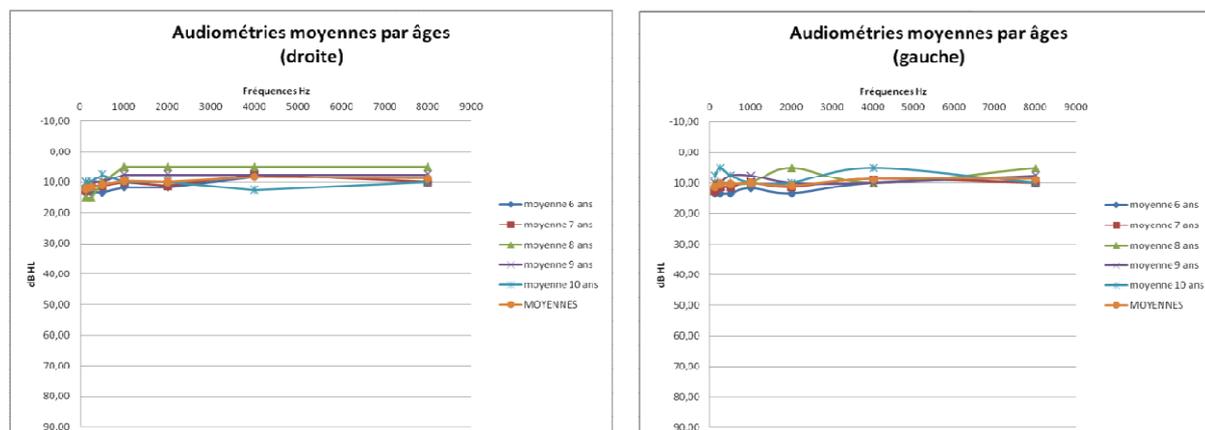


Figure 19 *Diagramme de flux de l'étape de contrôle*

Les audiométries étaient homogènes pour tous les âges, et ne différaient pas d'une oreille à l'autre ($p = 0.94$).



Graph. 5 Audiométries moyennes par classes d'âges et pour toutes classes d'âges confondues (en orange)

Concernant l'audiométrie vocale, 100% des enfants répétaient 100% des mots à 30 dB en binaural au casque à 30 dB.

L'otoscopie était normale de façon bilatérale pour 100% des enfants (N=11).

Concernant les conditions d'examen, 19 séances ont été réalisées. La moyenne du bruit résiduel mesuré était de 32,93 dB(A) (écart type = 0.36 dB(A)) pour un maximum à 35 dB(A) pour 1 séance.

Les enfants ont été vus entre 1 et 2 fois. La durée d'une séance était d'environ 1h30 par enfant avec plusieurs pauses. Le nombre moyen de phrases testées par séance était de 47.58 (écart type = 14.00), puisque le nombre moyen de phrases testées par session de test allait de 10 à 20 phrases (moyenne= 15.29 phrases, écart type= 3.67) en fonction des enfants. Chaque enfant a en moyenne passé 82 phrases à 8 niveaux de RSB, soit environ 656 paliers de RSB testés.

B. Comparabilité des deux groupes d'enfants

1. Comparaison des caractéristiques intrinsèques des enfants avant et après le processus d'égalisation en difficulté

Les groupes d'enfants participant aux deux étapes de test ont été comparés sur l'âge et l'audiométrie moyenne.

L'analyse comparative utilisait le test de Mann-Whitney pour petits effectifs, avec un risque alpha de 5%.

L'âge moyen des enfants recrutés n'était pas significativement différent ($p=0.45$), les audiométries étaient comparables pour les deux oreilles (respectivement $p=0.92$ pour l'oreille droite et $p=0.35$ pour l'oreille gauche).

2. Comparaison des conditions de passation des tests entre les séances des deux groupes d'enfants

Les conditions de passation des tests étaient comparées selon la même méthode pour le bruit de fond qui était statistiquement plus faible pour le second groupe ($p=0.02$).

3. Comparaison du déroulement des deux étapes

Nous avons comparé le déroulement des deux étapes sur les valeurs suivantes :

- nombre de phrases moyen testées par enfant
- nombre de phrases testées par session
- pourcentage d'échecs au test

Le nombre moyen de phrases testées par enfant était significativement plus élevé dans l'étape de contrôle ($p=0.02$). Le nombre de phrases testées par session de test n'était pas significativement plus élevé dans l'étape de contrôle ($p=0.052$)

Le pourcentage d'échecs au test était quant à lui significativement moins élevé au test de contrôle ($p=0.00$).

	étape de calibration	étape contrôle	<i>p value</i>
Nombre de sujets	28	11	
Age moyen	8,04	7,45	0,44
Seuil tonal moyen OD	9,57	9,67	0,92
Seuil tonal moyen OG	9,32	9,92	0,35
Bruit de fond (dBA)	34,35	32,93	0,02
Nombre moyen de phrases par enfant	58,71	82	0,02
Nombre de phrases par session	12,98	15,29	0,05
Pourcentage d'échecs	8,37	0,3	0

Table 4 Tableau comparatif entre étape de normalisation et étape de contrôle

C. Analyse et traitement des phrases

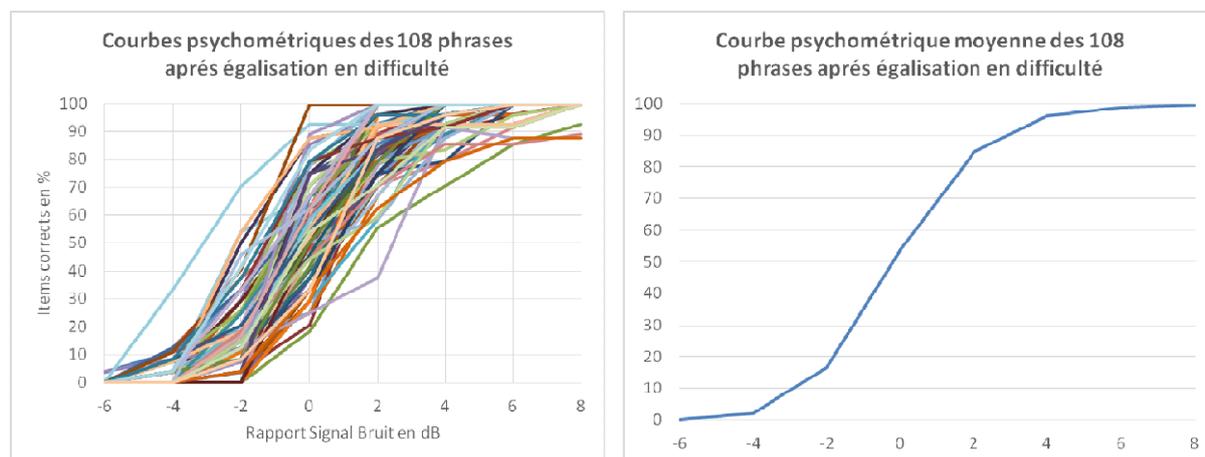
Les 108 couples phrase/bruit ont été analysés.

8 passages par phrase au minimum ont été obtenus pour chaque couple phrase/bruit analysé, la moyenne se situant à 10,1 phrases.

1. Analyse des paramètres des couples phrases/bruit

Après l'étape d'égalisation en difficulté, le SIB-50_{phrase} moyen relatif obtenu pour l'ensemble des phrases modifiées était de **0.00 dB RSB**, pour un écart type de **0.82 dB RSB**.

La pente de la courbe psychométrique au SIB-50 est de **17,00 %/dB**.



Graph. 6 Répartition des courbes psychométriques. Le graphique de gauche correspond à l'ensemble des courbes psychométriques des 108 phrases égalisées. Celui de droite présente la courbe psychométrique moyenne du test correspondante.

2. Analyse des paramètres des couples phrase/bruit après exclusion des phrases ne respectant pas la qualité requise pour intégrer le corpus final

9 phrases (soit 8% des phrases analysées en étape contrôle) ne respectant pas les critères ci-dessous ont été exclues :

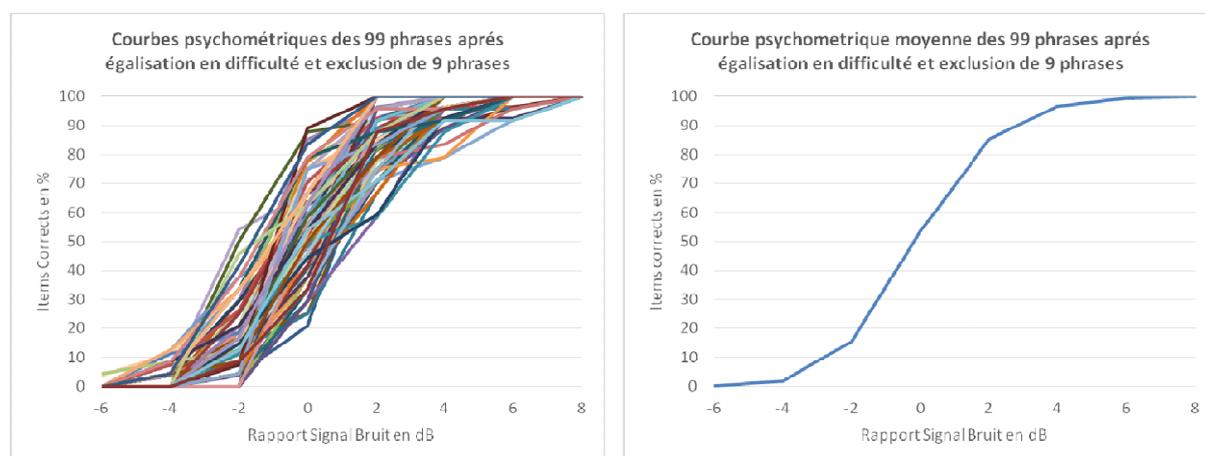
- Sur le critère d'échecs, 1 phrase a été exclue avec un mot-clé non reconnu par 2 enfants au dernier niveau de RSB testé (127)

- Sur le critère de dispersion des SIB-50mots, et irrégularité des courbes psychométriques, 8 phrases ont été exclues (30, 113, 114, 115, 116, 122, 133, 140)

Au total, 99 phrases ont été retenues pour constituer le corpus final.

Le SIB-50_{phrase} moyen relatif obtenu pour l'ensemble des phrases après exclusion était de **+0.05 dB RSB** pour un écart-type de **0.66 dB RSB**.

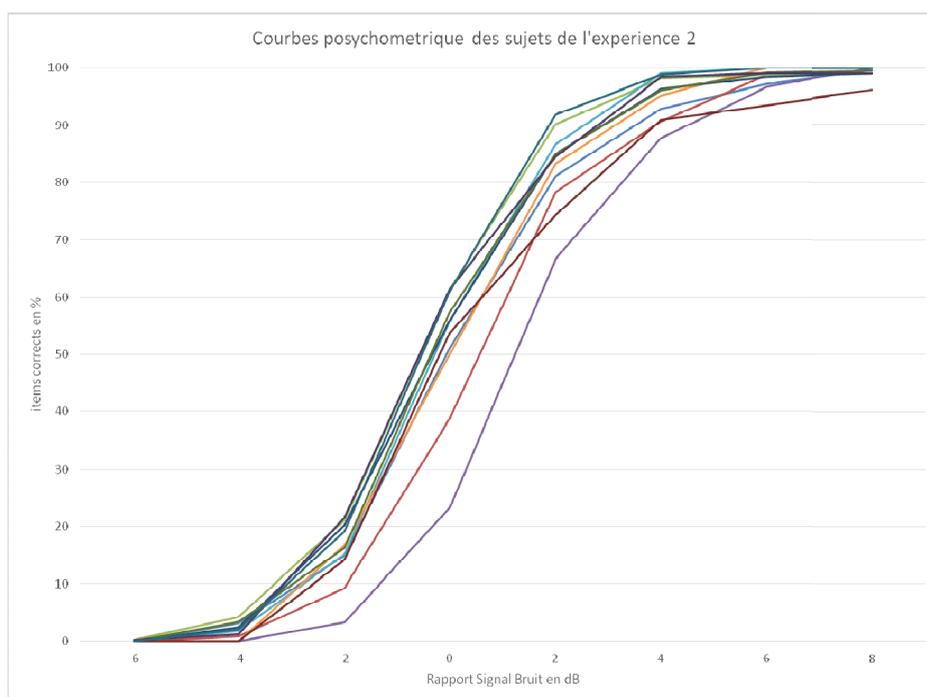
La pente de la courbe psychométrique au SIB-50 est de **17.38%/dB**.



Graph. 7 Répartition des courbes psychométriques. Le graphique de gauche correspond à l'ensemble des courbes psychométriques des 99 phrases égalisées et après exclusion. Celui de droite présente la courbe psychométrique moyenne du test correspondante.

III. Courbes psychométriques en fonction de l'âge pour l'étape contrôle

Les courbes psychométriques correspondant à chaque sujet du second groupe ont été établies.



Graph. 8 : 11 courbes psychométriques correspondant aux courbes psychométriques moyennes par enfant en étape contrôle

Du fait de l'effectif restreint, aucune analyse statistique n'a pu être réalisée. A ce stade, aucune tendance particulière n'a été relevée lors du traitement des données, notamment en termes de tendance de répartition des SIB-50 ou des pentes des courbes en fonction de l'âge.

IV. Corpus final

A. Flow-chart des phrases

Le diagramme en flux suivant résume le traitement des phrases au cours des différentes procédures de test.

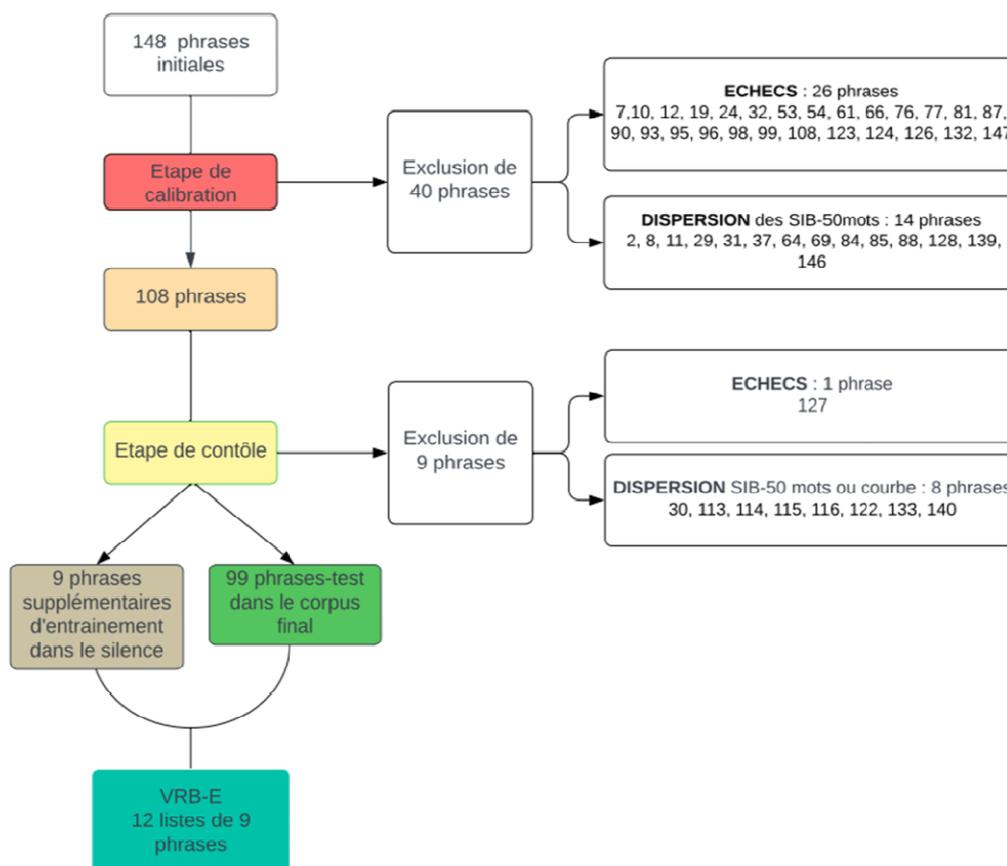


Figure 20 Schéma résumant les étapes d'obtention du corpus final

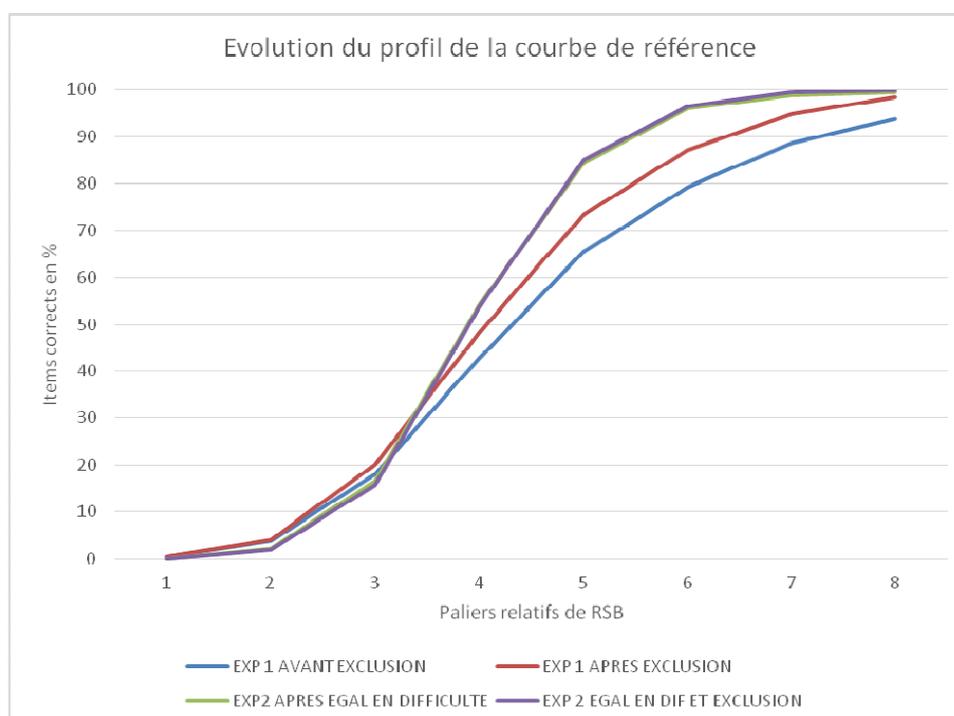
B. Tableau de l'évolution des caractéristiques des phrases

Le tableau suivant récapitule les données caractéristiques des phrases au cours de leur traitement.

	RSB 0 dB	RSB 2 dB	RSB 4 dB	RSB 6 dB	RSB 8 dB	RSB 10 dB	RSB 12 dB	RSB 14 dB	SIB50	Coefficient directeur de la courbe au SIB-50
Etape de calibration: 148 PHRASES AVANT EXCLUSION										
Moyennes	0,4	3,8	18,0	42,6	65,5	79,3	88,7	94,0	7,16	11,39%/dB
Ecart types	1,5	5,5	13,8	19,3	19,9	15,9	12,2	9,4	1,57	
Etape de calibration : 108 PHRASES APRES EXCLUSION 40 PHRASES										
Moyennes	0,4	3,9	20,1	48,1	73,5	87,2	95,0	98,6	6,37	12,7%/dB
Ecart types	1,4	5,9	15,0	19,1	15,5	10,0	5,6	2,6	1,20	
Etape de contrôle: 108 PHRASES APRES EGALISATION EN DIFFICULTE										
Moyennes	0,07	2,13	16,63	54,02	84,58	96,14	98,98	99,60	0,00	17%/dB
Ecart types	0,53	4,40	13,57	17,10	11,58	5,41	3,09	2,10	0,82	
Etape de contrôle: 99 PHRASES APRES EGALISATION EN DIFFICULTE ET EXCLUSION DE 9 PHRASES										
Moyennes	0,08	1,82	15,67	53,59	85,19	96,65	99,51	100,00	0,05	17,38%/dB
Ecart types	0,56	3,12	12,10	15,60	10,16	4,49	1,76	0,00	0,66	

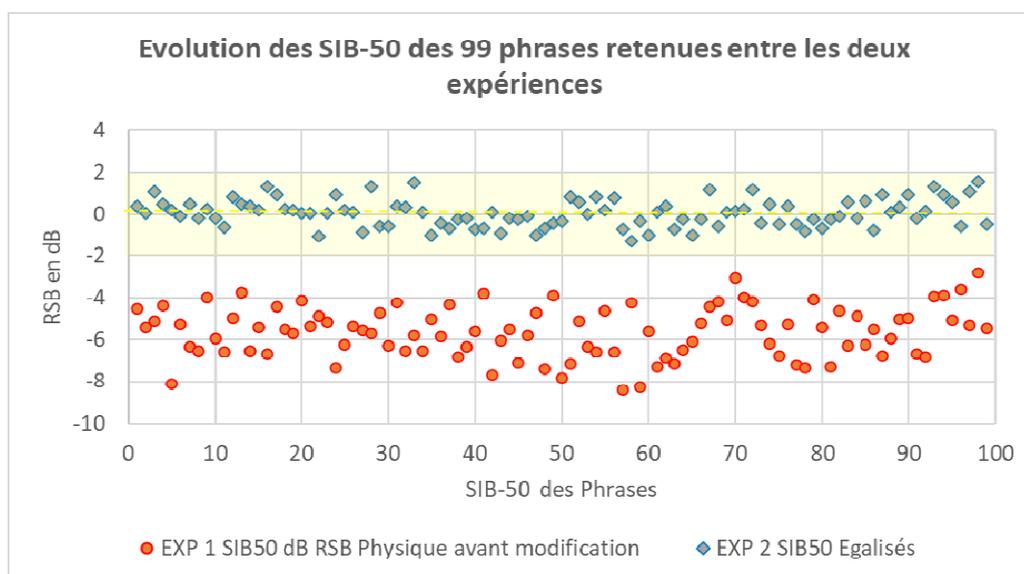
Table 5 Tableau récapitulatif de l'évolution des caractéristiques étudiées pour les différentes étapes du processus d'égalisation en difficulté

Le graphique ci-après résume l'évolution des courbes psychométriques des phrases au fur et à mesure des étapes. La courbe bleue correspond à la courbe psychométrique moyenne des 148 premières phrases avant traitement, tandis que la courbe violette représente la courbe psychométrique en fin de procédure d'exclusions et d'égalisation en difficulté.



Graph. 9 Evolution des courbes psychométriques moyennes à chaque étape du processus d'égalisation

Le graphique suivant explicite la diminution de la dispersion mesurée des $SIB_{50_{phrases}}$ entre l'étape de normalisation et l'étape contrôle : les $SIB_{50_{phrases}}$ ont bien été ramenés autour du 0 dB RSB relatif et leur dispersion a sensiblement diminué.



Graph. 10 Graphique montrant l'effet du traitement des phrases après l'étape de normalisation sur la dispersion des $SIB_{50_{phrases}}$.

C. Calcul du SIB_{50} du VRB-E

Le SIB_{50} moyen "brut" ($SIB_{50_{brut}}$) du VRB-E correspondrait à la valeur du SIB_{50} moyen des 99 phrases retenues avant égalisation, auquel il faut retrancher les 12 dB RSB initialement ajoutés au premier palier de test.

Soit le calcul suivant :

$$SIB_{50_{brut}}VRB.E = -12 + (SIB_{50} \text{moyen relatif avant égalisation})$$

$$SIB_{50_{brut}}VRB.E = -12 + 6,37 = -5,63 \text{ dB RSB}$$

D. Vérification de la distribution phonétique dans le corpus final et concordance lexicale

Les procédures d'exclusion des phrases ne semblent pas avoir modifié la répartition initiale des phonèmes dans les mots-clés du corpus final des 99 phrases-test.

13 phrases, qui ont été mises à part sur le critère de dispersion du $SIB_{50_{mot}}$, ont été incluses dans une analyse complémentaire. Ces phrases serviront de base pour le

choix des phrases d'entraînement dans le silence, afin de compléter les listes de phrases constituant le test final (9 phrases par liste, dont une dans le silence, pour 12 listes au total).

	a	ɑ	ə	i	o	ɔ	y	e	ɛ	œ	ø	u	ũ	ẽ	œ̃	õ	j	w
répartition 148 phrases	8,0%	0,4%	1,3%	5,1%	2,2%	3,1%	1,4%	2,8%	5,0%	1,0%	0,5%	2,1%	2,7%	1,4%	0,1%	1,7%	2,5%	1,4%
répartition 112 phrases	8,4%	0,4%	1,3%	5,2%	2,2%	3,1%	1,5%	3,0%	5,0%	0,9%	0,4%	2,0%	2,8%	1,2%	0,1%	1,7%	2,5%	1,3%
répartition 99 phrases	8,6%	0,3%	1,4%	5,0%	2,4%	3,1%	1,6%	2,9%	4,9%	1,0%	0,4%	1,8%	3,0%	1,3%	0,1%	1,6%	2,4%	1,4%
répartition en Français	8,1%	0,2%	4,9%	5,6%	2,2%	1,5%	2,0%	6,5%	5,3%	1,7%	0,3%	2,7%	3,3%	1,4%	0,5%	2,0%	1,0%	0,9%

	ɥ	p	t	k	b	d	g	f	s	ʃ	v	z	ʒ	l	ʁ	m	n	ɲ
répartition 148 phrases	0,6%	4,7%	6,7%	3,4%	2,6%	2,5%	1,4%	2,2%	4,2%	1,8%	2,4%	1,3%	1,8%	4,6%	11,1%	3,4%	2,5%	0,2%
répartition 112 phrases	0,4%	4,3%	7,1%	3,2%	2,7%	2,7%	1,6%	2,4%	3,8%	1,7%	2,3%	1,4%	1,9%	4,6%	10,9%	3,6%	2,5%	0,2%
répartition 99 phrases	0,2%	4,2%	7,7%	3,0%	2,8%	2,9%	1,4%	2,2%	3,8%	1,6%	2,4%	1,4%	1,8%	4,7%	10,3%	3,7%	2,4%	0,2%
répartition en Français	0,7%	4,3%	4,5%	4,5%	1,2%	3,5%	0,3%	1,3%	5,8%	0,5%	2,4%	0,6%	1,7%	6,8%	6,9%	3,4%	2,8%	0,1%

Table 6 *Tableau récapitulatif de la répartition phonétique des 148 phrases initiales, puis des 112 phrases (99 phrases test + 13 phrases d'entraînement potentielles) après égalisation et enfin des 99 phrases-test retenues pour le corpus final*

Concernant la concordance avec le lexique en ligne MANULEX, celle-ci reste passe de 90.3% à 88%.

Discussion

I. Résultats

A. Objectif principal de l'étude

L'objectif principal de notre étude était d'adapter le VRB-A en créant un nouveau matériel vocal spécifiquement dédié à une population pédiatrique d'âge primaire (CP au CM2, soit de 6 à 10 ans inclus).

Dans un premier temps, nous avons créé un corpus de phrases adaptées à l'enfant et un bruit de fond spécifique de type "cour de récréation". Dans un second temps, nous avons équilibré en difficulté le matériel vocal. Dans un troisième temps, nous avons contrôlé cette égalisation en difficulté.

L'exclusion de certaines phrases et la modification des couples phrases/bruit, ayant pour but d'équilibrer en difficulté les SIB-50 des phrases restantes, s'est effectuée sur la base du SIB-50 calculé pour chaque mot-clé de chaque phrase. Ces traitements ont permis de passer d'un SIB-50_{test} relatif de **+7.16 dB RSB** à **+0.05 dB RSB** ce qui confirme l'efficacité de l'égalisation en difficulté du matériel vocal à un niveau avoisinant 0 dB RSB.

Ces modifications ont également amélioré l'homogénéité du matériel vocal puisque l'écart type moyen est passé de 1.57 dB RSB à 0.66 dB RSB, soit une diminution de 58% de la dispersion des SIB-50_{phrase} autour de 0 dB RSB. Les couples phrase/bruit sont donc théoriquement tous équivalents.

Concernant l'évolution de la pente de la courbe psychométrique, qui reflète la sensibilité du matériel vocal, l'égalisation des SIB-50 de chaque mot-clé de chaque phrase a eu pour effet d'augmenter la valeur en %/dB de la pente de la courbe psychométrique globale. Cela signifie que chaque mot est théoriquement reconnu individuellement au même niveau, ce qui limite des possibles effets non contrôlables de la suppléance mentale.

L'effet sur l'évolution de la pente de la courbe psychométrique moyenne modifiée vers une pente plus raide entre les différentes étapes atteste d'une amélioration de la sensibilité du matériel vocal. En effet, elle passe de **11.39%/dB à 17.38%/dB**.

B. Objectif secondaire

L'objectif secondaire de l'étude était le calcul du $SIB_{50_{brut}}$ moyen du matériel vocale et d'établir sa norme.

$$SIB_{50_{brut}VRB.E} = -5,63 \text{ dB RSB}$$

Cela signifie qu'en théorie sur le test, le RSB permettant d'identifier 50% des mots-clés est de -5,63 dB, soit un signal de parole 5,63 dB moins fort que le bruit de fond. Cette valeur n'est utile que pour la comparaison aux autres tests dans le bruit, car chaque phrase a été modifiée pour, justement, obtenir un $SIB_{50_{test}}$ proche de 0 dB RSB.

De fait, la méthodologie, identique à celle utilisée pour la création du VRB-A, a permis de normaliser le nouveau matériel vocal du VRB-A à un niveau de 0 dB RSB correspondant à la norme pour les enfants normo-entendants de 6 à 10 ans. Cela permet d'obtenir directement le résultat sous forme de **perte de RSB** qui est facilement compréhensible par le clinicien et par le patient ou les parents.

Cette valeur aussi être directement comparée aux nouvelles recommandations pour l'appareillage des patients sur la base de la perte de RSB de 3 dB (26).

Chez l'enfant, cela est particulièrement intéressant dans le cadre des troubles du traitement auditif. En effet, malgré une audiométrie dans le silence dans la norme, un appareillage pourra être prescrit sur la base de la perte de RSB. Une aide auditive par appareillage faiblement amplifié, couplé ou non à l'utilisation d'un système FM, pourra alors apporter une aide conséquente à l'intelligibilité en milieu scolaire (22)

II. Comparaison aux autres tests existants

A. Normes du SIB-50

Chez l'enfant, le SIB-50 du FRASIMAT est compris entre -4.2 dB RSB et -5.5 dB RSB selon l'âge (33). Le SIB-50 de la version enfant du HINT est compris entre -1.5 dB RSB et +2.5 dB RSB pour les enfants de 6 à 9 ans et atteint -4.0 dB RSB chez l'adulte (36). Dans notre étude, le SIB-50 du VRB-E pour la classe d'âge 6-10 ans est mesuré à -5,63 dB RSB.

Cette valeur est proche des valeurs obtenues pour le FRASIMAT qui fonctionne sous la forme de triplets de mots, avec une suppléance mentale limitée, et diffère des valeurs obtenues pour le HINT-E composé de phrases à 3 mots-clés.

Quant au VRB-A, pour lequel le SIB-50_{brut} théorique est de -6,64 dB RSB, le SIB-50_{brut} théorique du VRB-E reste comparable, bien que légèrement plus faible. Cela pourrait signifier que pour une même méthode de test, après adaptations spécifiques aux caractéristiques de l'enfant (mémorisation, développement lexical, suppléance mentale), la réponse de l'enfant est proche de celle de l'adulte, corroborant la **validité des stratégies d'adaptation choisies a priori**.

B. Courbe psychométrique

La valeur de la pente de la courbe psychométrique au SIB-50 en %/dB renseigne sur la sensibilité du test. Plus la pente est raide et plus la sensibilité du test sera importante. En ce qui concerne les tests de référence, cette courbe n'a pas été retrouvée dans la littérature pour le FRASIMAT, mais pour le FRAMATRIX (test adulte de référence), la pente au SIB-50 est de 14 % (27) et le VRB-A de 19,37 %/dB (25). Cette valeur n'est pas retrouvée pour le HINT-E.

Notre matériel vocal obtient une valeur intermédiaire de 17.38 %/dB qui est parfaitement acceptable.

III. Effet de l'âge sur le SIB-50

Dans notre étude, l'effet de l'âge sur le SIB-50 n'a pas pu être évalué du fait d'effectifs trop peu nombreux et d'un design non adapté pour ce type de mesure.

Dans la littérature, pour notre tranche d'âge d'intérêt, il semble que l'évolution du SIB-50 soit corrélée avec l'âge. Pour le FRASIMAT (33), il existe une différence entre les âges extrêmes, puis le SIB-50 rejoint des valeurs similaires à celles des adultes à partir de 10 ans. Pour le HINT-E (36) la différence est significative entre deux classes d'âges séparées d'au moins 2 ans. Enfin, dans le TMB elle est montrée entre les enfants de 6 ans *versus* la classe d'âge 7-10 ans, pour rejoindre des valeurs de SIB-50 équivalentes à l'adulte au-delà (29).

Dans son étude portant sur la relation entre l'âge et les performances au VRB-A, J.Desreumaux établit des scores d'ajustement du SIB-50 de référence pour une population âgée de 10 à 20 ans. A l'âge de 10 ans, elle propose un ajustement de 1.147 dB RSB qui diminue progressivement pour atteindre -1.613 dB RSB à 20 ans (37).

Cet effet de l'âge devra être mesuré et pris en compte pour la version finale du VRB-E. Une des possibilités sera de déterminer un facteur d'ajustement pour chaque classe d'âge, pour le calcul de la différence de SIB-50, dans l'esprit du VRB-A. Il sera également intéressant de comparer les valeurs des SIB-50_{test} des deux versions à 10 ans, pour déterminer l'âge auquel il devient plus pertinent d'utiliser le VRB-E plutôt que le VRB-A.

IV. Données qualitatives pour le développement futur du VRB-E

A. Concernant la sensibilité du test

L'étude des enfants exclus après une audiométrie trop dégradée pour rentrer dans les critères d'inclusion, mais qui ont réalisé le test sur au moins 10 phrases lors de la première étape, fait espérer une bonne sensibilité du test VRB-E.

En effet, on remarque qu'un audiogramme légèrement dégradé, associé au constat clinique de la présence d'une otite séreuse, provoque des situations d'échec sur l'immense majorité des mots-clés. Cela pourrait conduire à penser que la dégradation des seuils auditifs, même légère, pourrait avoir un impact important sur les résultats du test VRB-E.

Ainsi, la simplicité d'installation et d'utilisation du VRB-E amènent à l'envisager en tant qu'outil de dépistage auditif pédiatrique sensible. Des études complémentaires portant sur un grand nombre de patients permettraient de déterminer plus finement la sensibilité et la spécificité du test dans ce cadre.

B. Concernant l'appropriation du test

Les enfants ont mis peu de temps à comprendre le fonctionnement du test. En général, une seule série de répétitions de phrases leur suffisait à comprendre le principe du test qu'ils ont systématiquement associé à un jeu.

La présentation, sous forme ludique, a aussi beaucoup aidé à l'intérêt pour le test.

C. Concernant un effet d'apprentissage

L'effet d'apprentissage n'est pas identique pour tous les tests dans le bruit.

En effet, pour le FRAMATRIX, il est recommandé de réaliser deux listes, et de ne conserver que le résultat de la deuxième, car l'effet sur l'amélioration du SIB-50 est significatif. (27)

Pour le VRB-A, en revanche, la stabilité du SIB-50, de la première à la troisième liste, semble indiquer que l'effet d'apprentissage est limité voire négligeable (38) . **Cette observation chez l'adulte est à vérifier chez l'enfant et, si elle se vérifie, pourrait aboutir à un allègement du nombre de listes nécessaires pour établir le SIB-50 du patient.**

V. Forces et faiblesses de l'étude

A. Forces

1. Population d'étude

L'échantillon de notre étude correspondait à des enfants normo-entendant entre 6 et 10 ans inclus. Les échantillons restaient relativement homogènes et comparables entre l'étape 1 et l'étape 2, ce qui permet de tirer des conclusions sur le traitement des couples phrases/bruit entre les deux étapes.

Les critères d'inclusion ont permis de recruter des patients comparables aux échantillons sur lesquels sont fondées les études princeps des tests d'audition dans le bruit chez l'enfant (28, 33, 36).

Compte tenu de ces éléments, une revalidation *in situ* du VRB-E sur grands effectifs sera nécessaire par la suite.

2. Tolérance du protocole de test

Aucun enfant n'a souhaité interrompre la séance et nombre d'entre eux ont été d'accord pour effectuer une seconde voire une troisième séance de tests.

Bien que la méthodologie utilisée dans notre étude ne corresponde pas exactement à celle du VRB-E lorsqu'il sera finalisé, **l'excellente tolérance de nos tests sur les enfants entendant est encourageante**. En effet, dans sa forme finale, qui reprendra la méthodologie ascendante du VRB-A, la passation se fera de la condition la plus facile vers la plus difficile, simplifiant ainsi l'administration du test à un jeune enfant.

B. Faiblesses

1. Dans le recrutement

Les effectifs nécessaires pour cette étude ont permis d'obtenir 10 données de SIB-50 par phrases (10 répétitions) au minimum pour l'étape 1. Dans l'étape 2, seules 8 à 9 données de SIB-50 par phrase ont pu être collectées. Les effectifs de l'étape 2 sont probablement légèrement insuffisants pour pouvoir conclure de façon définitive sur la validité à grande échelle de l'égalisation en difficulté.

Cette observation est à mettre en perspective avec le testing et la population étudiée : l'enfant a des capacités de concentration plus limitées que l'adulte et l'entretien motivationnel prenait une grande part du temps imparti aux séances. Nous considérons que le testing chez l'enfant est environ 1,5 à 2 fois plus long que l'adulte, au cours de séances 2 fois plus courtes.

2. Dans le classement des réponses

L'ensemble des tests a été réalisé par un seul et même observateur. Cette méthode peut induire un biais de classement dans les réponses données au test (trop ou pas assez d'indication par exemple, notamment lorsque l'enfant persévère sur une idée. Exemple : "*j'ai entendu le mot blanc*" sur plusieurs répétitions d'une même phrase, alors que le mot est "*bleu*" : l'examineur avait tendance à démentir systématiquement l'enfant pour lui indiquer que le mot n'était pas le bon et qu'il réajuste sa réponse).

Cependant, **l'usage d'un seul examinateur entraîné a permis de garantir la reproductibilité des conditions de passation et de recueil tout au long de l'étude.**

3. Dans la mesure

Seul le critère environnemental du bruit de fond a été contrôlé. Il apparaît par ailleurs que les environnements de test dans l'étape 2 sont significativement plus silencieux que dans l'étape 1, bien qu'ils restent tous inférieurs à la norme recommandée pour la réalisation d'une audiométrie. D'autre part, comme les niveaux sonores initiaux des tests de normalisation et de contrôle étaient fixés des niveaux supraliminaires bien supérieurs nous avons considéré **l'influence de la différence d'intensité du bruit de fond sur les réponses des enfants comme négligeable.**

La **réverbération** n'a pas pu être mesurée. En effet, cette mesure demande un sonomètre plus coûteux et difficile à déplacer à domicile. L'installation était donc laissée à l'appréciation de l'examineur qui devait éviter les grandes pièces vides.

La stabilité des résultats en fonction de l'environnement de passation devra être contrôlée, afin s'assurer que ce dernier n'influence pas la performance des patients.

VI. Perspectives

A. Concevoir le VRB-E

1. Créer les listes

Bien que nous ayons établi des couples phrases/bruit équilibrés en difficulté *a priori*, la constitution des listes de passation du VRB-E devra être soumise à un test d'équivalence *a posteriori*.

2. Configuration de l'installation

Dans notre étude, nous avons pris le parti d'une installation à un seul haut-parleur afin de privilégier la portabilité et la praticité des séances de testing. Le VRB-A existe également sous la forme 1HP (39).

Cependant, si on imagine bien cette installation pour des tests de dépistage ou d'aide au diagnostic différentiel (par l'ORL ou l'orthophoniste), il semble nécessaire de développer une version 5 HP, dans le cadre de l'appareillage auditif afin d'évaluer correctement leur apport pour l'audition dans le bruit (26)

B. Enjeux de santé publique

Cette exigence est d'autant plus forte chez l'enfant scolarisé. Si, au plan international, l'accès à une éducation égale pour tous fait partie intégrante des objectifs de développement durable de l'organisation mondiale de la santé (1), au plan national la loi du 11 février 2005 dans son article L112-1 garantit que le service public de l'éducation assure une formation scolaire aux enfants présentant un handicap. Pour cela, l'Etat s'engage à mettre en place les moyens financiers et humains nécessaires à la scolarisation en milieu ordinaire.

Ces moyens passent par l'accès à des tests de qualité adaptés à l'enfant, à l'instar des tests déjà disponibles pour la patientèle adulte.

Conclusion

Notre étude, incluant un total de 39 enfants normo-entendant de 6 à 10 ans, nous a permis d'adapter et d'équilibrer en difficulté le matériel vocal inspiré du VRB-A pour une population pédiatrique d'âge primaire.

Ce matériel se décompose en un bruit masquant semi-fluctuant, correspondant à l'ambiance d'une cour de récréation, et un signal, constitué par un nouveau corpus de 99 phrases intégrant chacune 3 mots-clés, qui ont été soigneusement sélectionnées. Les couples phrase/bruit ont été équilibrés en difficulté, ce qui permet de ramener la norme du test VRB-E à 0 dB RSB, par analogie avec le dB HL de l'audiométrie vocale dans le silence.

Toutes ces données vont permettre de constituer les futures listes du VRB-E, qui sera donc spécifiquement adapté pour les enfants. Ces listes devront par la suite faire l'objet d'une validation à grande échelle.

Les applications futures du VRB-E sont nombreuses et ont pour objectif une meilleure prise en charge de l'enfant déficient auditif, à toutes les étapes de son parcours de soin.

Bibliographie

1. Organisation mondiale de la santé. Rapport mondial sur l'audition : résumé analytique. Genève : Organisation Mondiale de la Santé; 2021.
2. HAS. Évaluation du programme national de dépistage de la surdité permanente néonatale. Note de cadrage. Saint-Denis La Plaine : HAS; 2023.
3. Barreira-Nielsen C, Fitzpatrick E, Hashem S, Whittingham J, Barrowman N, Aglipay M. Progressive Hearing Loss in Early Childhood. *Ear Hear.* 2016;37(5):e311-321.
4. Bureau international d'audiophonologie. Recommandation BIAP 02/1 bis : classification audiométrique des déficiences auditives [En ligne]. Liège: Bureau international d'audiophonologie; 1997.
5. Lina-Granade G, Truy E. Stratégie diagnostique et thérapeutique devant une surdité de l'enfant. *J Pédiatrie Puériculture.* 1 nov 2017;30(5):228-48.
6. HAS. Pose d'aérateurs transtympaniques dans l'otite moyenne séreuse et séromuqueuse chronique bilatérale chez l'enfant. Rapport de la HAS. Saint-Denis La Plaine : HAS ; 2017.
7. F.Fournet, M.Guindéo Roccia . La perception auditive dans le bruit chez le jeune enfant normo-entendant et implanté cochléaire. *Sciences cognitives.* 2014. Dumas-01076526.
8. L.Machart. Les compétences linguistiques de l'enfant sourd. Évaluation de la pragmatique et de la morphosyntaxe à partir de la batterie EVALO 2-6. *Sciences de l'Homme et Société.* 2013. Dumas-00838287.
9. B.Charlier, C.Hage, J Alegria, O.Peirer. Evaluation d'une pratique prolongée du LPC sur la compréhension de la parole par l'enfant atteint de déficience auditive. *Glossa, les cahiers de l'Undario.*1990;22:28-39.
10. Elsevier Masson SAS. Audiométrie de l'enfant et de l'adulte. Rapport 2014 de la société Française d'ORL et chirurgie cervico-faciale.2014.
11. Abou Haidar L, Blond MH, Chautemps D, Ployet MJ, Lescanne E. « Audio 4 » : un test vocal simple et rapide pour le dépistage des surdités moyennes des enfants à l'âge de quatre ans. *Arch Pédiatrie.* Mars 2005;12(3):264-72.
12. Société Française d'Audiologie. Guide des bonnes pratiques en audiométrie de l'enfant de la société française d'audiologie [Internet].2004.
13. C.Richard, A.Moulin. Perception auditive de mots dissyllabiques : caractérisation de la suppléance mentale dans une population de patients malentendants vus en clinique otologique courante. *Annales françaises d'Oto-rhino-laryngologie et Pathologie Cervico-faciale.* Oct 2014,131(4) :A104.
14. Crukley J, Scollie S, Parsa V. An Exploration of Non-Quiet Listening at School. *Journal of Educational Audiology.* 2011;17.
15. Smaldino J; American Speech-Language-Hearing Association. Students and Soundwaves: Five Strategies to Promote Good Classroom Acoustics. *The ASHA Leader Archive.* 2018;13(13).

16. Jérémy Ecalard. Etude de l'efficacité des réducteurs de bruit de la nouvelle génération de prothèse auditive Siemens : Micon. Médecine humaine et pathologie. 2013. Hal-01858393.
17. Lloret G. Efficacité d'un entraînement auditivo-cognitif pour la compréhension de la parole en milieu bruyant chez le patient implanté cochléaire. [Thèse en médecine] 2021.
18. Moura JE, Martins JH, Alves M, Oliveira G, Ramos D, Alves H, et al. Children then, adults now: long-term outcomes—performance at 15, 20, and 25 years of cochlear implant use. *Front Rehabil Sci.* 14 déc 2023;4:1275808.
19. Habib M, Waltzman S, Tajudeen B, Svirsky M. Speech production intelligibility of early implanted pediatric cochlear implant users. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 1 août 2010;74(8):855-9.
20. De Giacomo A, Craig F, D'Elia A, Giagnotti F, Matera E, Quaranta N. Children with cochlear implants: Cognitive skills, adaptive behaviors, social and emotional skills. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 1 déc 2013;77(12):1975-9.
21. Nagao K, Riegner T, Padilla J, Greenwood LA, Loson J, Zavala S, et al. Prevalence of Auditory Processing Disorder in School-Aged Children in the Mid-Atlantic Region. *J Am Acad Audiol.* oct 2016;27(9):691-700.
22. American Speech-Language-Hearing Association. Central Auditory Processing Disorder in School-Age Children. *Audiology information series.* Rockville:ASHA ;2018;
23. Swaminathan J, Mason CR, Streeter TM, Best V, Roverud E, Kidd G. Role of Binaural Temporal Fine Structure and Envelope Cues in Cocktail-Party Listening. *J Neurosci.* 3 août 2016;36(31):8250-7.
24. MJ Djakoure. Evaluation d'un test d'audiométrie vocale rapide dans le bruit (VRB) par la mesure du rapport signal-sur-bruit [Thèse en médecine] 2017.
25. Leclercq F. Conception d'un matériel vocal équilibré en difficulté utilisable pour le développement d'un test d'audiométrie vocale dans le bruit [mémoire d'audioprothèse] 2015.
26. Joly CA, Reynard P, Mezzi K, Bakhos D, Bergeron F, Bonnard D, et al. Recommandations de la Société française d'ORL et de chirurgie de la face et du cou (SFORL) et de la Société française d'audiologie (SFA) pour la pratique de l'audiométrie vocale dans le bruit chez l'adulte. *Ann Fr Oto-Rhino-Laryngol Pathol Cervico-Faciale.* févr 2022;139(1):20-7.
27. 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.* 1 mars 2012;51(3):164-73.
28. Laroche C, Vaillancourt V, Melanson C, Renault ME, Theriault C, Giguere C. Adaptation du HINT (Hearing in Noise Test) pour les enfants francophones canadiens et données préliminaires sur l'effet d'âge. *Revue d'orthophonie et d'audiologie.* 2006;30(2)
29. Lagacé J. Développement du test de mots dans le bruit: Mesure de l'équivalence des listes et données préliminaires sur l'effet d'âge. *Can Acoust.* 1 juin 2010;38(2):19-30.
30. Lagacé J, LeBlanc L, Boisvert V, Arseneau MJ, Breau-Godwin S. Mise à jour sur le développement du test de mots dans le bruit. *Can Acoust.* 2013;41(2) :65-72.

31. C.Vincent. Audiométrie subjective de l'adulte.2023.
32. Miller J, Ulrich R. On the analysis of psychometric functions: The Spearman-Kärber method. *Percept Psychophys.* nov 2001;63(8):1399-420.
33. I Prang a, M. Parodi , C. Coudert , S. Legoff , M. Exter, M. Buschermöhle , F. Denoyelle, N. Loundon . The simplified French Matrix. A tool for evaluation of speech intelligibility in noise. *European Annals of Otorhinolaryngology, Head and Neck diseases.* 2021 ;138 :253–256
34. Lété B, Sprenger-Charolles L, Colé P. MANULEX: A grade-level lexical database from French elementary school readers. *Behav Res Methods Instrum Comput.* 1 févr 2004;36(1):156-66.
35. Wilson RH, Carter AS. Relation Between Slopes of Word Recognition Psychometric Functions and Homogeneity of the Stimulus Materials. *J Am Acad Audiol.* janv 2001;12(1):7-14.
36. Vaillancourt V, Laroche C, Giguère C, Soli SD. Establishment of age-specific normative data for the canadian French version of the hearing in noise test for children. *Ear Hear.* juin 2008;29(3):453-66.
37. J Desreumaux. Etude des performances au test de la VRB chez les sujets normoentendants âgés de 10 à 20 ans. [mémoire d'audioprothèse] 2023.
38. Bestel J, Pressnitzer D, Robier M, Rembaud F, Renard C, Leclercq F, et al. Reference Data for a Quick Speech-in-Noise Hearing Test in the French Language. *Audiol Neurotol* 2024;0:1-16
39. J Macario. Étude pilote pour la validation du test de la Vocale Rapide dans le Bruit à 1 haut-parleur dans l'indication d'appareillage de la presbyacousie. [thèse en médecine] 2020.
40. Buisson Savin J, Reynard P, Bailly-Masson E, Joseph C, Joly CA, Boiteux C, et al. Adult Normative Data for the Adaptation of the Hearing in Noise Test in European French (HINT-5 Min). *Healthcare.* juill 2022;10(7):1306.
41. Leclercq F, Renard C, Vincent C. Speech audiometry in noise: Development of the French-language VRB (vocale rapide dans le bruit) test. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis.* 1 oct 2018;135(5):315-9.

Table des illustrations

Figures

Figure 1 Exemple de PEA (CHU Lille) et correspondance des ondes repérées avec leur origine anatomique.	16
Figure 2 Présentation d'interface du logiciel ASSR et l'audiogramme théorique correspondant	16
Figure 3 Exemple d'audiométrie tonale au casque montrant une surdité de transmission	17
Figure 4 Audiométrie tonale et stratégies d'obtention des seuils auditifs en fonction de l'âge de l'enfant	18
Figure 5 Courbes d'audiométrie vocale. Le seuil d'intelligibilité est de 30dB HL à droite (courbe rouge) et 26 dB HL à gauche (courbe bleue).....	18
Figure 6 Représentations du milieu sonore en classe de primaire. A gauche, intensité sonore en classe par fréquence (classe vide, élèves au travail, voix du professeur), à droite la courbe détaillée, au cours de la journée, le niveau d'intensité sonore et les sources principales de bruit. (14).....	20
Figure 7 Schéma représentant le positionnement d'un implant cochléaire.....	22
Figure 8 Structure temporelle du signal de la parole (23)	25
Figure 9 Illustration de la superposition des spectres de signal et bruit selon la nature du bruit. Le signal (jaune) est mixé avec un bruit stationnaire (bleu) à gauche, fluctuant à droite: on remarque un contraste plus important à droite qui génère une amélioration de la compréhension (25).	26
Figure 10 Exemple d'interface du VRB-A avec la courbe paramétrique correspondant aux réponses moyennes du patient sur 4 listes de phrases, et la valeur des SIB-50 correspondants	31
Figure 11 Interface Google text-to-speech paramétrée.....	37
Figure 12 Graphiques des spectres des différents bruits (analyse type Blackman Harris sur 1024 ms). A gauche pour le bruit de cours de récréation et du bruit VRB-A, à droite leur résultante à comparée au spectre de la voix de femme utilisée dans le VRB-E.....	39
Figure 13 Partition sonore de la phrase " la famille part en train" sur 8 répétitions à RSB dégradés. Flèches jaunes : sonnette. Carrés rouges : phrase.....	41
Figure 14 Différentes installations pour le test de normalisation	42
Figure 15 Schéma du testing pour le test de normalisation	43
Figure 16 Interface EXCEL pour la saisie des données.....	44
Figure 17 Procédure sur la phrase "L'abeille part en train" permettant de normaliser la phrase autour du 0 dB RSB	47
Figure 18 Diagramme de flux de l'étape de normalisation	49
Figure 19 Diagramme de flux de l'étape de contrôle.....	53
Figure 20 Schéma résumant les étapes d'obtention du corpus final	59

Graphiques

Graph. 1 Exemple de l'influence des courbes psychométriques de chaque mot-clé sur la courbe psychométrique de la phrase avant traitement pour la phrase "l'abeille rentre dans le bocal"	45
Graph. 2 Audiométries moyennes par classes d'âges et pour toutes classes d'âges confondues (en orange).....	50
Graph. 3 Répartition des courbes psychométriques. Le graphique de gauche correspond à l'ensemble des courbes psychométriques des 148 phrases initiales, ainsi que la courbe psychométrique moyenne du test correspondante.	51
Graph. 4 Répartition des courbes psychométriques. Le graphique de gauche correspond à l'ensemble des courbes psychométriques des 108 phrases après exclusion, ainsi que la courbe psychométrique moyenne du test correspondante.	52
Graph. 5 Audiométries moyennes par classes d'âges et pour toutes classes d'âges confondues (en orange).....	54
Graph. 6 Répartition des courbes psychométriques. Le graphique de gauche correspond à l'ensemble des courbes psychométriques des 108 phrases égalisées. Celui de droite présente la courbe psychométrique moyenne du test correspondante.	56
Graph. 7 Répartition des courbes psychométriques. Le graphique de gauche correspond à l'ensemble des courbes psychométriques des 99 phrases égalisées et après exclusion. Celui de droite présente la courbe psychométrique moyenne du test correspondante.	57
Graph. 8 : 11 courbes psychométriques correspondant aux courbes psychométriques moyennes par enfant en étape contrôle	58
Graph. 9 Evolution des courbes psychométriques moyennes à chaque étape du processus d'égalisation	60
Graph. 10 Graphique montrant l'effet du traitement des phrases après l'étape de normalisation sur la dispersion des SIB-50 _{phrases}	61

Tableaux

Table 1 Classification BIAP des surdités	13
Table 2 Répartition phonétique portant uniquement sur les mots-clés.....	36
Table 3 Répartition des séances en fonction des lieux de testing.....	50
Table 4 Tableau comparatif entre étape de normalisation et étape de contrôle	55
Table 5 Tableau récapitulatif de l'évolution des caractéristiques étudiées pour les différentes étapes du processus d'égalisation en difficulté.....	60
Table 6 Tableau récapitulatif de la répartition phonétique des 148 phrases initiales, puis des 112 phrases (99 phrases test + 13 phrases d'entraînement potentielles) après égalisation et enfin des 99 phrases-test retenues pour le corpus final.....	62

Annexes

Evolution des SIB-50_{phrase}

99 PHRASES FINALES		EXP 1 SIB50 dB RSB Echelle Relative avant modification	EXP 1 SIB50 dB RSB Echelle Physique avant modification	EXP 2 SIB50 Egalisés
1	famille-part-train	7,46	-4,54	0,4
3	avion-survole-montagne	6,61	-5,39	0,0
4	bateau-traverse-port	6,89	-5,11	1,1
5	chanteur-éteint-radio	7,61	-4,39	0,5
6	fusée-explose-espace	3,89	-8,11	0,2
9	chef-travaille-hiver	6,73	-5,27	-0,1
13	baleine-protège-tortue	5,67	-6,33	0,5
14	arrête-télé-dormir	5,48	-6,52	-0,2
15	cousin-attrape-corde	8,03	-3,97	0,3
16	oiseau-boit-chaise	6,09	-5,91	-0,2
17	adore-poulet-riz	5,42	-6,58	-0,6
18	bois-lait-tasse	7,06	-4,94	0,9
20	corbeau-peur-bruit	8,27	-3,73	0,5
21	boucher-fermé-lundi	5,47	-6,53	0,4
22	abeille-rentre-bocal	6,60	-5,40	0,2
23	cuisinier-surveille-mouton	5,33	-6,67	1,3
25	guide-rempli-carton	7,60	-4,40	0,9
26	espion-décrit-photo	6,53	-5,47	0,3
27	coupe-morceau-banane	6,33	-5,67	0,2
28	gants-trainent-tapis	7,87	-4,13	0,0
33	singe-mange-carotte	6,67	-5,33	0,0
34	voleur-enfile-manteau	7,13	-4,87	-1,1
35	joueur-quitte-partie	6,87	-5,13	0,0
36	parents-restent-dehors	4,67	-7,33	0,9
38	voiture-garée-rue	5,80	-6,20	0,2
39	chat-grimpe-camion	6,67	-5,33	0,1
40	facteur-attend-colis	6,47	-5,53	-0,9
41	papa-achète-ciseaux	6,33	-5,67	1,3
42	pris-crème-citron	7,28	-4,72	-0,6
43	chaton-aime-collier	5,72	-6,28	-0,6
44	coiffeur-demande-balai	7,78	-4,22	0,4
45	oublie-livre-maison	5,50	-6,50	0,3
46	maman-cherche-cadeau	6,21	-5,79	1,5
47	bébé-lance-gateau	5,48	-6,52	0,1
48	envie-glace-menthe	7,00	-5,00	-1,0
49	métro-fonctionne-aujourd'hui	6,15	-5,85	-0,4
50	vélo-noir-jaune	7,67	-4,33	-0,7
51	souris-monte-plat	5,18	-6,82	-0,3
52	docteur-lave-dents	5,67	-6,33	-0,2
55	taille-crayon-violet	6,39	-5,61	-0,8
56	cogne-genoux-barre	8,21	-3,79	-0,7
57	fille-arrive-matin	4,33	-7,67	0,1
58	livreur-laisse-bijoux	5,97	-6,03	-0,9
59	pierre-brise-assiette	6,52	-5,48	-0,2
60	lapin-veut-tomate	4,89	-7,11	-0,3
62	serveur-amène-purée	6,21	-5,79	-0,1
63	taché-rideaux-bleus	7,30	-4,70	-1,0
65	gagné-match-weekend	4,64	-7,36	-0,7
67	papy-vient-costume	8,11	-3,89	-0,4
68	lune-lève-heure	4,17	-7,83	-0,3

Adaptation du test d'audiométrie Vocale Rapide dans le Bruit à l'enfant de 6 à 10 ans

70	mal-bras-tête	4,83	-7,17	0,8
71	mamie-donne-billet	6,89	-5,11	0,6
72	finis-course-marchant	5,67	-6,33	0,0
73	maitresse-fait-café	5,44	-6,56	0,9
74	panda-jette-branche	7,39	-4,61	0,2
75	soleil-tape-terrasse	5,44	-6,56	0,8
78	prend-bonnet-piscine	3,60	-8,40	-0,8
79	yaourt-coule-doigt	7,79	-4,21	-1,3
80	dragon-démolit-château	3,73	-8,27	-0,3
82	jus-poire-frais	6,39	-5,61	-1,0
83	poisson-rapide-petit	4,72	-7,28	0,1
86	pirate-change-pantalon	5,17	-6,83	0,4
89	voisin-choisit-salade	4,83	-7,17	-0,8
91	table-jardin-verte	5,56	-6,44	-0,3
92	étale-fromage-pain	5,94	-6,06	-1,0
94	stylo-verre-marron	6,78	-5,22	-0,3
97	juge-retire-masque	7,56	-4,44	1,2
100	arrose-plante-seau	7,83	-4,17	-0,6
101	fraises-bonnes-sucrées	6,95	-5,05	0,1
102	homme-regarde-tableau	8,94	-3,06	0,2
103	peintre-met-lunette	8,00	-4,00	0,3
104	arbre-grandit-eau	7,83	-4,17	1,2
105	frotte-pied-sol	6,72	-5,28	-0,4
106	gardien-tourne-statue	5,81	-6,19	0,5
107	tigre-chasse-journée	5,27	-6,73	-0,5
109	dessine-feutre-mur	6,73	-5,27	0,4
110	fleur-besoin-lumière	4,80	-7,20	-0,5
111	reine-sort-toilettes	4,67	-7,33	-0,8
112	copine-danse-école	7,93	-4,07	-0,3
117	poubelle-tombe-vent	6,60	-5,40	-0,7
118	monsieur-gratte-jambe	4,73	-7,27	-0,3
119	roi-nettoie-outils	7,40	-4,60	-0,1
120	dame-tire-valise	5,73	-6,27	0,6
121	dauphin-embête-plongeur	7,13	-4,87	-0,2
125	enfant-cache-montre	5,80	-6,20	0,6
129	fourmis-emporte-miette	6,53	-5,47	-0,8
130	mariée-enlève-bougie	5,27	-6,73	0,9
131	peinture-bureau-fraiche	6,07	-5,93	0,1
134	serpent-rampe-rivière	7,00	-5,00	0,3
135	voudrais-short-baskets	7,07	-4,93	0,9
136	dentiste-ouvre-sac	5,33	-6,67	-0,2
137	élève-entre-musée	5,20	-6,80	0,2
138	flûte-posée-grenier	8,07	-3,93	1,3
141	pigeon-fixe-gaufre	8,11	-3,89	0,9
142	fais-gym-tennis	6,94	-5,06	0,6
143	classe-écoute-paroles	8,39	-3,61	-0,6
144	pose-gomme-cahier	6,69	-5,31	1,1
145	soldat-plante-drapeau	9,19	-2,81	1,6
148	vendeuse-goute-tartine	6,56	-5,44	-0,5

Moyenne	6,37	-5,63	0,05
Ecart type	1,20	1,20	0,66
Maximum	9,2	-2,8	1,6
Minimum	3,6	-8,4	-1,3

Valeur des ajustements des mots-clés

108 PHRASES		Valeur des modifications des SIB-50 des mots-clés			SIB-50 Phrases
1	famille-part-train	5,9	7,5	9,0	7,5
3	avion-survole-montagne	5,8	6,8	7,2	6,6
4	bateau-traverse-port	6,3	5,3	9,0	6,9
5	chanteur-éteint-radio	4,8	8,7	9,3	7,6
6	fusée-explose-espace	2,2	3,7	5,8	3,9
9	chef-travaille-hiver	5,2	6,6	8,4	6,7
13	baleine-protège-tortue	5,4	6,1	5,5	5,7
14	arrête-télé-dormir	4,6	3,4	8,5	5,5
15	cousin-attrape-corde	7,4	6,8	9,9	8,0
16	oiseau-boit-chaise	6,6	7,7	3,9	6,1
17	adore-poulet-riz	4,6	5,4	6,3	5,4
18	bois-lait-tasse	7,2	7,5	6,5	7,1
20	corbeau-peur-bruit	9,7	5,5	9,5	8,3
21	boucher-fermé-lundi	5,2	5,0	6,2	5,5
22	abeille-rentre-bocal	4,4	8,0	7,4	6,6
23	cuisinier-surveille-mouton	4,8	5,6	5,6	5,3
25	guide-rempli-carton	9,0	7,4	6,4	7,6
26	espion-décrit-photo	7,6	7,4	4,6	6,5
27	coupe-morceau-banane	7,8	5,0	6,2	6,3
28	gants-trainent-tapis	8,2	6,6	8,8	7,9
30	ampoule-grille-nuit	7,4	6,6	8,2	7,4
33	singe-mange-carotte	6,2	6,6	7,2	6,7
34	voleur-enfile-manteau	7,4	6,4	7,6	7,1
35	joueur-quitte-partie	6,8	7,4	6,4	6,9
36	parents-restent-dehors	5,4	4,0	4,6	4,7
38	voiture-garée-rue	5,4	6,4	5,6	5,8
39	chat-grimpe-camion	3,8	7,8	8,4	6,7
40	facteur-attend-colis	4,8	6,0	8,6	6,5
41	papa-achète-ciseaux	6,6	6,1	6,3	6,3
42	pris-crème-citron	6,2	8,7	7,0	7,3
43	chaton-aime-collier	4,2	5,3	7,7	5,7
44	coiffeur-demande-balai	10,0	6,7	6,7	7,8
45	oublie-livre-maison	8,2	5,2	3,2	5,5
46	maman-cherche-cadeau	6,1	4,5	8,1	6,2
47	bébé-lance-gateau	4,6	5,5	6,3	5,5
48	envie-glace-menthe	6,3	5,5	9,2	7,0
49	méto-fonctionne-aujourd'hui	5,7	5,2	7,5	6,2
50	vélo-noir-jaune	5,2	9,0	8,8	7,7
51	souris-monte-plat	3,0	4,3	8,3	5,2
52	docteur-lave-dents	5,0	6,5	5,5	5,7
55	taille-crayon-violet	7,5	5,5	6,1	6,4
56	cogne-genoux-barre	8,8	8,5	7,4	8,2
57	fille-arrive-matin	4,5	4,5	4,1	4,3
58	livreur-laisse-bijoux	6,8	6,3	4,8	6,0
59	pierre-brise-assiette	7,5	6,8	5,2	6,5
60	lapin-veut-tomate	3,8	7,0	3,8	4,9
62	serveur-amène-purée	5,5	4,8	8,3	6,2
63	taché-rideaux-bleus	6,8	6,5	8,6	7,3
65	gagné-match-weekend	3,0	5,0	5,9	4,6
67	papy-vient-costume	8,3	7,7	8,3	8,1
68	lune-lève-heure	4,0	3,7	4,8	4,2
70	mal-bras-tête	4,5	5,0	5,0	4,8
71	mamie-donne-billet	5,8	6,2	8,7	6,9
72	finis-course-marchant	5,3	5,7	6,0	5,7
73	maitresse-fait-café	5,0	5,5	5,8	5,4

Adaptation du test d'audiométrie Vocale Rapide dans le Bruit à l'enfant de 6 à 10 ans

74	panda-jette-branche	7,0	6,7	8,5	7,4
75	soleil-tape-terrasse	3,3	6,5	6,5	5,4
78	prend-bonnet-piscine	3,2	3,4	4,2	3,6
79	yaourt-coule-doigt	7,7	8,5	7,2	7,8
80	dragon-démolit-château	3,9	4,3	3,0	3,7
82	jus-poire-frais	5,3	6,5	7,3	6,4
83	poisson-rapide-petit	4,7	4,7	4,8	4,7
86	pirate-change-pantalon	4,5	5,3	5,7	5,2
89	voisin-choisit-salade	4,2	3,5	6,8	4,8
91	table-jardin-verte	6,3	4,3	6,0	5,6
92	étales-fromage-pain	6,7	4,2	7,0	5,9
94	stylo-verre-marron	6,0	6,2	8,2	6,8
97	juge-retire-masque	9,3	7,3	6,0	7,6
100	arrose-plante-seau	7,5	7,7	8,3	7,8
101	fraises-bonnes-sucrées	6,5	7,0	7,3	6,9
102	homme-regarde-tableau	9,0	7,5	10,3	8,9
103	peintre-met-lunette	9,5	7,3	7,2	8,0
104	arbre-grandit-eau	7,5	9,2	6,8	7,8
105	frotte-pied-sol	7,0	6,0	7,2	6,7
106	gardien-tourne-statue	7,7	6,1	3,7	5,8
107	tigre-chasse-journée	4,8	3,6	7,4	5,3
109	dessine-feutre-mur	4,2	6,4	9,6	6,7
110	fleur-besoin-lumière	5,6	3,0	5,8	4,8
111	reine-sort-toilettes	2,2	6,8	5,0	4,7
112	copine-danse-école	6,4	6,6	10,8	7,9
113	préfère-finir-coiffure	8,2	8,6	8,4	8,4
114	requin-évite-vague	10,6	5,8	9,4	8,6
115	soupe-rouge-chaude	8,6	8,0	6,8	7,8
116	girafe-crache-mousse	4,6	7,2	7,2	6,3
117	poubelle-tombe-vent	6,6	5,2	8,0	6,6
118	monsieur-gratte-jambe	3,6	6,0	4,6	4,7
119	roi-nettoie-outils	7,8	7,6	6,8	7,4
120	dame-tire-valise	7,8	4,2	5,2	5,7
121	dauphin-embête-plongeur	6,8	6,0	8,6	7,1
122	sachet-flotte-mer	9,6	7,8	5,8	7,7
125	enfant-cache-montre	6,0	5,2	6,2	5,8
127	taureau-marche-herbe	6,6	4,8	9,6	7,0
129	fourmis-emporte-miette	6,0	5,6	8,0	6,5
130	mariée-enlève-bougie	6,0	5,2	4,6	5,3
131	peinture-bureau-fraiche	6,2	5,8	6,2	6,1
133	robe-orange-joile	8,0	9,2	6,4	7,9
134	serpent-rampe-rivière	5,2	8,8	7,0	7,0
135	voudrais-short-baskets	6,4	8,0	6,8	7,1
136	dentiste-ouvre-sac	4,0	4,8	7,2	5,3
137	élève-entre-musée	4,6	4,8	6,2	5,2
138	flûte-posée-grenier	7,6	8,4	8,2	8,1
140	groupe-prépare-suite	6,6	5,4	6,4	6,1
141	pigeon-fixe-gaufre	8,3	6,2	9,8	8,1
142	fais-gym-tennis	5,8	6,5	8,5	6,9
143	classe-écoute-paroles	6,5	9,0	9,7	8,4
144	pose-gomme-cahier	6,1	7,2	6,8	6,7
145	soldat-plante-drapeau	9,1	9,3	9,1	9,2
148	vendeuse-goute-tartine	5,5	7,2	7,0	6,6
Moyenne		6,1	6,1	7,0	6,4
Ecart type		1,8	1,5	1,7	1,2

Listes des 148 phrases initiales

Le singe mange les carottes	Ma copine danse à l' école .	J' aide mon neveu pour ses devoirs .	Papy vient en costume .
Le chien pousse la boite	Le monsieur gratte sa jambe .	J' arrête la télé pour dormir .	Mamie donne un billet .
Le chat grimpe sur le camion	La dame tire sa valise .	J' écris la lettre en couleur .	Mon frère casse la guitare .
Le chaton aime le collier	L' enfant cache la montre .	J' étale le fromage sur le pain .	Ma sœur s' allonge dans la mare .
La souris monte sur le plat	La mariée enlève la bougie .	J' adore le poulet avec du riz .	Mon oncle répare la porte .
La mouche suit la poule	L' homme écrit le panneau .	J' arrose les plantes avec un seau .	Ma tante écrase le biscuit .
L' aigle termine une pomme	L' élève entre dans le musée .	Je frotte mes pieds sur le sol .	Mon cousin attrape la corde .
Le lapin veut des tomates	Le groupe prépare la suite .	Je dessine au feutre sur un mur .	Mes amis nagent la semaine .
Le cheval croque des feuilles	La classe écoute les paroles .	Je préfère finir ma coiffure .	Le voisin choisit la salade .
Le gorille lèche le bâton	Le voleur enfile le manteau .	Je bois mon lait dans une tasse	L' homme regarde le tableau .
Le panda jette la branche .	Le joueur quitte la partie .	Je veux la viande sans sauce .	La femme observe le couloir .
La baleine protège la tortue	Le facteur attend un colis .	Je hais les pâtes au beurre .	Mon copain crie au parc .
Le dragon démolit le château	Le coiffeur demande le balai .	Je dois ouvrir le paquet .	Je finis la course en marchant .
Le lion ramène le canard	Le chanteur éteint la radio .	Je voudrais un short et des baskets	La danseuse ronfle sur scène .
Le rat vole des graines	Le docteur lave ses dents .	Je coupe des morceaux de banane .	La vendeuse goûte la tartine .
L' oiseau boit sur la chaise	Le livreur laisse des bijoux .	Je pose la gomme sur le cahier .	J'ai perdu le pinceau blanc.
La vache saute dans la forêt	Le serveur amène la purée .	Je fais de la gym et du tennis .	J'ai prêté le pull de sport .
L' abeille rentre dans le bocal	Le chef travaille l' <b'hiver< b="">.</b'hiver<>	Le vélo est noir et jaune .	J' oublie le livre à la maison .
Le tigre chasse la journée	Le maître rend le contrôle .	La voiture est garée dans la rue .	J'ai pris une crème au citron .
Le corbeau a peur du bruit	La maîtresse fait du café .	L' avion survole la montagne .	J'ai envie d'une glace à la menthe .
Le requin évite la vague	La princesse punit les absents .	Le bateau traverse le port .	J'ai taillé le crayon violet.
La girafe crache de la mousse	Le pompier range le jouet .	Le méto fonctionne aujourd'hui .	J'ai cogné mon genou sur la barre .
Le dauphin embête le plongeur	Le pirate change de pantalon .	La fusée explose dans l' espace	J'ai taché les rideaux bleus.
Le taureau marche dans l' herbe	Le prince voit le fauteuil .	La Pierre brise l' assiette .	J'ai gagné le match ce weekend .
La foumi emporte une miette	Le pilote vide sa chambre .	La pluie mouille le terrain .	J'ai mal au bras et à la tête
Le serpent rampe dans la rivière	Le juge retire son masque .	Les nuages sont roses ce soir .	Je prends un bonnet de piscine
Le zèbre court sur le sable	Le peintre met ses lunettes .	La lune se lève dans une heure .	La soupe rouge est chaude .
Le pigeon fixe la gaufre	Le gardien tourne la statue .	Le soleil tape sur la terrasse .	La poubelle tombe avec le vent .
Le hérisson creuse son terrier	La reine sort des toilettes .	Le yaourt coule sur mes doigts .	Le sachet flotte sur la mer .
La famille part en train .	Le boucher ferme le lundi .	Le poisson est rapide et petit .	Le chemin conduit à la plage .
Les parents restent dehors	Le roi nettoie ses outils .	Le jus de poire est frais .	La peinture du bureau est fraiche
Papa achète les ciseaux	Le cuisinier surveille le mouton .	La table du jardin est verte .	La robe orange est jolie .
Maman cherche le cadeau .	Le clown imite la police .	Le stylo est dans un verre marron.	La flûte est posée au grenier .
Le bébé lance le gâteau .	Le guide remplit le carton .	La bouteille contient du sirop	Les gants traînent sur le tapis .
Mon fil rapporte le journal .	L' espion décrit la photo .	Les fraises sont bonnes et sucrées .	Le piano est branché sur la prise .
Ma fil arrive le matin .	Le dentiste ouvre le sac .	L' arbre grandit avec de l' eau .	L' ampoule a grillé cette nuit .
Le garçon cueille le fruit .	Le soldat plante le drapeau .	La fleur a besoin de lumière .	La pièce en métal est tordue .

Liste des 99 phrases-test et 13 phrases potentielles pour l'entraînement dans le silence.

Le singe mange les carottes	Le coiffeur demande le balai .	Je pose la gomme sur le cahier .
Le chat grimpe sur le camion	Le chanteur éteint la radio .	Je fais de la gym et du tennis .
Le chaton aime le collier	Le docteur lave ses dents .	Le vélo est noir et jaune .
La souris monte sur le plat	Le livreur laisse des bijoux .	La voiture est garée dans la rue .
Le lapin veut des tomates	Le serveur amène la purée .	L' avion survole la montagne .
Le panda jette la branche .	Le chef travaille l' hiver .	Le bateau traverse le port .
La baleine protège la tortue	La maîtresse fait du café .	Le métro fonctionne aujourd'hui.
Le dragon démolit le château	Le pirate change de pantalon .	La fusée explose dans l' espace
L' oiseau boit sur la chaise	Le juge retire son masque .	La Pierre brise l' assiette .
L' abeille rentre dans le bocal	Le peintre met ses lunettes .	La lune se lève dans une heure .
Le tigre chasse la journée	Le gardien tourne la statue .	Le soleil tape sur la terrasse .
Le corbeau a peur du bruit	La reine sort des toilettes .	Le yaourt coule sur mes doigts .
Le dauphin embête le plongeur	Le boucher ferme le lundi .	Le poisson est rapide et petit .
La fourmi emporte une miette	Le roi nettoie ses outils .	Le jus de poire est frais .
Le serpent rampe dans la rivière	Le cuisinier surveille le mouton .	La table du jardin est verte .
Le pigeon fixe la gaufre	Le guide remplit le carton .	Le stylo est dans un verre marron .
La famille part en train .	L' espion décrit la photo .	Les fraises sont bonnes et sucrées .
Les parents restent dehors	Le dentiste ouvre le sac .	L' arbre grandit avec de l' eau .
Papa achète les ciseaux	Le soldat plante le drapeau .	La fleur a besoin de lumière .
Maman cherche le cadeau .	La vendeuse goûte la tartine .	La poubelle tombe avec le vent .
Le bébé lance le gâteau .	J' oublie le livre à la maison .	La peinture du bureau est fraîche
Ma filles arrive le matin .	J' ai pris une crème au citron .	La flûte est posée au grenier .
Papy vient en costume .	J' ai envie d'une glace à la menthe .	Je dessine au feutre sur un mur .
Mamie donne un billet .	J' ai taillé le crayon violet .	Les gants traînent sur le tapis .
Mon cousin attrape la corde .	J' ai cogné mon genou sur la barre .	L' aigle termine une pomme
Le voisin choisit la salade .	J' ai taché les rideaux bleus .	Le lion ramène le canard
L' homme regarde le tableau .	J' ai gagné le match ce weekend .	Le requin évite la vague
Ma copine danse à l' école .	J' ai mal au bras et à la tête	La girafe crache de la mousse
Le monsieur gratte sa jambe .	Je finis la course en marchant .	Le zèbre court sur le sable
La dame tire sa valise .	Je prends un bonnet de piscine	Le hérisson creuse son terrier
L' enfant cache la montre .	J' arrête la télé pour dormir .	Le garçon cueille le fruit .
La mariée enlève la bougie .	J' étale le fromage sur le pain .	Le groupe prépare la suite .
L' élève entre dans le musée .	J' adore le poulet avec du riz .	Je préfère finir ma coiffure .
La classe écoute les paroles .	J' arrose les plantes avec un seau .	La soupe rouge est chaude .
Le voleur enfile le manteau .	Je frotte mes pieds sur le sol .	Le sachet flotte sur la mer .
Le joueur quitte la partie .	Je bois mon lait dans une tasse	La robe orange est jolie .
Le facteur attend un colis .	Je voudrais un short et des baskets	L' ampoule a grillé cette nuit .
Je coupe des morceaux de banane .		

En vert les phrases-test, en orange les phrases d'entraînement dans le silence

Comparaison des tests d'AVB francophones pédiatriques

		bruit	signal	Méthode	installation	déroulement du test
HINT	HINT	LTASS noise (white noise) stationnaire	phrases de 4 à 6 mots phonétiquement équilibrées locuteur masculin	adaptative	écouteurs ou Champ libre	12 listes de 20 phrases présentées dans 4 conditions différentes
	HINT'5	ICRA noise (son modulé) 60dB SPL	phrases de 3 mots phonétiquement équilibrés locuteur masculin	adaptative	écouteurs ou champ libre (1 HP face au patient)	5 phrases d'entraînement 5db puis au moins 7 phrases recherche jusqu'à 50
	HINT-E	ICRA	phrases de 3 mots adaptés à l'enfant	adaptative	écouteur ou champ libre 1 HP	phrases d'entraînement 5db) puis au moins 7 phrases recherche jusqu'à 50
TMB		verbiage (non stationnaire)	4 listes de 35 mots monosyllabiques	fixe : % de reconnaissance de mots à +5 dB RSB	écouteurs	4 listes de 35 mots
FRAMAT RIX	FRAMAT RIX	LTASS (bruit stationnaire)	5 mots clés juxtaposés issus d'une matrice	adaptative	écouteurs ou champ libre	1 liste d'entraînement puis propositions testées de 5 mots soit 100 items
	FRASIM AT	LTASS (bruit stationnaire) spectre auditif voix	3 mots-clés juxtaposés issus d'une matrice	adaptative	écouteurs ou champ libre	1 liste d'entraînement à +5dB puis 2 listes de d'entraînement à 80dB test

Nombre de passage par phrases pour l'étape de normalisation

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	
TOTAL répétition	13	11	12	11	12	12	10	12	9	8	9	8	11	10	9	11	11	12	9	11	10	10	9	5	10	10	10	10	10	10	10	10	5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	11	11	12	10	11	11	9	11
TOTAL échecs	0	1	0	1	0	0	2	0	1	2	1	3	0	1	2	0	0	0	2	0	0	0	1	5	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	1	0	0	2	0	
TOTAL passages	13	12	12	12	12	12	12	10	10	10	11	11	11	11	11	11	11	12	11	11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	12	12	12	12	12	11	11	11	11

Sous total 6-8	6	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4		
Sous total 9-10	7	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7	7	7	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	7	7	7	7	7	7	7	7

	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98
TOTAL répétition	11	11	11	8	9	11	11	11	11	10	12	4	11	11	10	11	9	12	12	11	12	11	12	11	11	11	8	9	10	11	11	4	12	12	12	11	12	10	11	11	9	12	12	9	11	10	10	12	9
TOTAL échecs	0	0	0	3	2	0	0	0	0	1	0	7	0	0	1	0	3	0	0	1	0	1	0	0	0	0	3	2	0	0	8	0	0	0	1	0	2	1	1	4	0	0	3	1	2	2	0	3	
TOTAL passages	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	13	12	12	12	12	12	12	12	12	

Sous total 6-8	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	7	7	6	6	6	6	6	5	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	6	6	
Sous total 9-10	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	5	5	5	5	5	6	6	6

	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148
TOTAL répétition	9	11	13	12	11	12	12	9	10	5	9	10	10	9	10	9	9	9	10	10	9	10	10	10	7	7	10	7	10	9	10	10	10	8	11	10	11	11	10	9	10	11	11	13	12	14	14	13	3	13
TOTAL échecs	3	1	0	0	1	0	0	0	0	5	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	3	3	0	3	0	1	0	0	3	0	1	0	0	1	2	1	0	2	0	1	0	0	10	0		
TOTAL passages	12	12	13	12	12	12	12	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	13	13	13	14	14	13	13	13

Sous total 6-8	6	6	7	6	6	6	6	5	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	6	6	5	5	5
Sous total 9-10	6	6	6	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

Nombre de passage par phrase pour l'étape de contrôle

	1	3	4	5	6	9	13	14	15	16	17	18	20	21	22	23	25	26	27	28	30	33	34	35	36	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	55	56	57	58	59	60	62	63	65	67	68	70	71	72
TOTAL répétition	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
TOTAL échecs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TOTAL passages	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

Sous-total 6-8 ans	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Sous total 9-10 ans	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	

	73	74	75	78	79	80	82	83	86	89	91	92	94	97	100	101	102	103	104	105	106	107	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	125	127	129	130	131	133	134	135	136	137	138	140	141	142	143	144	145	148
TOTAL répétition	9	9	9	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	8	8	8	8	8	9	9	6	9	9	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
TOTAL échecs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TOTAL passages	9	9	9	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

Sous total 6-8 ans	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
Sous total 9-10 ans	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

AUTEURE : Nom : LOUVET

Prénom : Clémence

Date de soutenance : 25.04.2024

Titre de la thèse : Adaptation du test d'Audiométrie Vocale Rapide dans le Bruit à l'enfant de 6 à 10 ans.

Thèse - Médecine - Lille 2024

Cadre de classement : ORL et chirurgie cervico-faciale

DES + FST/option : ORL et chirurgie cervico-faciale

Mots-clés : santé de l'enfant, troubles neurosensoriels, surdité, diagnostic, audiométrie vocale, audiométrie vocale dans le bruit.

Résumé

Contexte : Les techniques d'audiométrie dans le silence, objectives ou subjectives, possèdent des limites pour l'appréciation des difficultés rencontrées dans la vie réelle, notamment dans le bruit. Initialement pensé pour l'adulte, le test Vocal Rapide dans le Bruit (VRB) mis au point au CHU de Lille se veut particulièrement écologique. Cependant, il n'est pas spécifiquement conçu pour des enfants de moins de 10 ans.

Objectif : L'objectif principal était l'élaboration d'un matériel sonore pour la version du VRB adapté aux enfants de 6 à 10 ans.

Méthode : Nous avons d'abord créé le matériel sonore avec pour le signal, un corpus de 148 phrases courtes prononcés par une voix de synthèse féminine. Le bruit masquant simule une ambiance de cour d'école. Ensuite, nous avons recherché le seuil d'intelligibilité dans le bruit à 50% (SIB-50) des 3 mots-clés présents dans chaque phrase (en champ libre avec un haut-parleur). 28 enfants normo-entendant de 6 à 10 ans ont été inclus. Les résultats, servant à l'ajustement des fichiers audio, ont permis de normaliser le SIB-50 de chaque mot-clé à 0 dB RSB. Pour finir, nous avons contrôlé cette égalisation en difficulté du matériel vocal par la même procédure sur 11 nouveaux enfants.

Résultats : 49 phrases des 148 phrases ont été exclues pour obtenir un corpus de 99 phrases équilibrées en difficulté. Le SIB-50 moyen du matériel vocal est de -5.63 dB RSB ($\sigma = 1,20$ dB) avant ajustement et de +0,05 dB RSB ($\sigma = 0,66$ dB) après ajustement. La pente de la courbe de référence évolue de 11,39 %/dB à 17,38 %/dB.

Conclusion : Cette étude constitue les jalons d'une version du VRB spécifiquement dédié à l'enfant en âge primaire. Comme sa version adulte, ce test aura des applications dans le cadre du dépistage, du diagnostic et dans le suivi après réhabilitation auditive. Il sera donc utile pour l'ensemble des acteurs intervenant dans la prise en charge de l'enfant déficient auditif (médecins ORL, audioprothésistes, orthophonistes...).

Composition du Jury :

Président : Monsieur le Professeur Christophe Vincent

Assesseurs : Monsieur le Professeur Dominique Chevalier, Monsieur le Professeur Geoffrey Mortuaire, Madame le Docteur Fanny Gauvrit

Directeur de thèse : Monsieur le Professeur Christophe Vincent