

Les Cahiers de l'Audition

LA REVUE
DU COLLEGE
NATIONAL
D'AUDIOPROTHESE

Volume 32 - Septembre/Octobre 2019 - Numéro 5



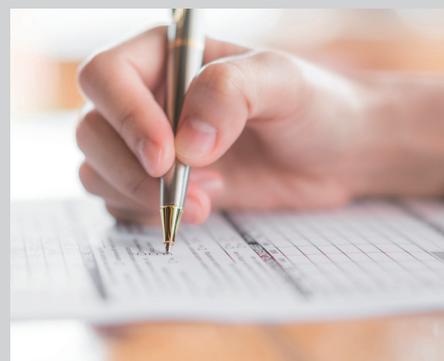
CNA
COLLEGE NATIONAL D'AUDIOPROTHESE

24^e ENSEIGNEMENT POST-UNIVERSITAIRE EN AUDIOPROTHESE

29 & 30 novembre 2019
Cité des Sciences
et de l'Industrie
La Villette, Paris 19^{ème}

**L'intégration
des innovations
dans la pratique
quotidienne de
l'audioprothèse**

Secrétariat d'organisation
audioepu@ant-congres.com
www.audioepu.com



Métier et technique

**Validation de la version Française
du questionnaire de Satisfaction SADL
(Satisfaction with Amplification in Daily Life)**

Mathieu FERSCHNEIDER, Brieux CAZALS,
Nicolas HENRIOT, Stéphane GALLEGO, Annie MOULIN



Métier, réflexions et suggestions

**La dernière publication d'un (vieux)
passionné Léon DODELÉ**



Veille acouphènes

**UN BRUIT VRAIMENT BLANC ? (partie 1)
Comparaison de différents producteurs
de bruit blanc proposés sur le marché**

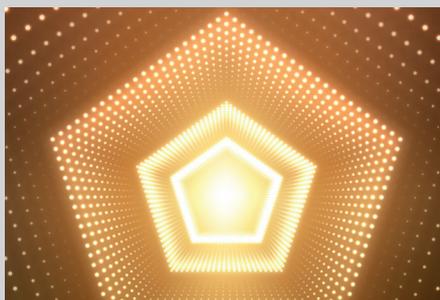
Philippe LURQUIN, K. PHUONG



Dossier

Statistique pour audioprothésistes

Julie BESTEL



Veille technique

Les innovations des industriels

92%

des utilisateurs
recommandent
Marvel à leurs
proches¹



1. Enquête Galileo réalisée entre avril et juin 2019 auprès de 252 patients équipés des aides auditives Audio Marvel 2019-08 / Phonak - Solvay France, S.A.S. - 5 rue Maryse Bastié - 69500 Bron - RCS LYON B 314 036 682. Tous droits réservés. Crédits Photos : Phonak / Shutterstock®

Plus qu'une aide
auditive d'exception,
c'est une merveille
multifonctionnelle.



Aides auditives Phonak Marvel
Un coup de foudre auditif

Un son riche et clair • Connexion aux smartphones,
à la télévision, etc. • Rechargeable • Applications intelligentes

*la vie s'exprime

PHONAK
life is on®



3 Editorial

Paul AVAN



5 Le mot du Président

François Le HER



7 Dossier :

Statistique pour audioprothésistes

Julie BESTEL



29 Métier et technique

Validation de la version Française du questionnaire de Satisfaction SADL

(Satisfaction with Amplification in Daily Life)

Mathieu FERSCHNEIDER, Brieux CAZALS, Nicolas HENRIOT, Stéphane GALLEGO, Annie MOULIN



37 Veille acouphènes

UN BRUIT VRAIMENT BLANC ? (partie 1)

Comparaison de différents producteurs de bruit blanc proposés sur le marché

Philippe LURQUIN, K. PHUONG.



43 Métier, réflexions et suggestions

La dernière publication d'un (vieux) passionné

Léon DODELÉ



47 Veille technique

Les innovations des industriels

GN RESOUND, BIOTONE, MED-EL, OTICON, PHONAK, SIGNIA, STARKEY



59 Actualités

Enseignement - Congrès - Evénements



62 Offre d'emplois

Les Cahiers de l'Audition, la revue du Collège National d'Audioprothèse

Editeur

Collège National d'Audioprothèse

Président François LE HER

LCA - 20 rue Thérèse

75001 Paris

Tél. 01 42 96 87 77

francoisleher@orange.fr

Directeur de la publication et rédacteur

Arnaud COEZ

LCA - 20 rue Thérèse

75001 Paris

Tél. 01 42 96 87 77

acoetz@noos.fr

Rédacteur en chef

Paul AVAN

Faculté de Médecine

Laboratoire de Biophysique

28, Place Henri DUNANT - BP 38

63001 Clermont Ferrand Cedex

Tél. 04 73 17 81 35

paul.avan@u-clermont1.fr

Conception et réalisation

MBQ

Stéphanie BERTET

48 avenue Philippe Auguste

75011 Paris

Tél. 01 43 67 74 48

stephanie.bertet@mbq.fr

Abonnements, publicités & annonces

editions-cna@orange.fr

Dépôt Légal à date de parution

Septembre/Octobre 2019

Vol. 32 N°5

Imprimé par Simon Graphic

Le Collège National d'Audioprothèse

Président Président d'honneur Président d'honneur Secrétaire Général Président d'honneur 1^{er} Vice Président 2^e Vice Président Trésorier Général Trésorier Général adjoint Secrétaire général adjoint Directeur Cahiers de l'audition



François LE HER

Xavier RENARD

Eric BIZAGUET

Stéphane LAURENT

Matthieu DEL RIO

Christian RENARD

Eric HANS

Thomas ROY

Frank LEFEVRE

Arnaud COEZ

Membres du Collège National d'Audioprothèse



Charlotte BALET

Hervé BISCHOFF

Jean-Jacques BLANCHET

David COLIN

François DEJEAN

Jean-Baptiste DELANDE

Xavier DELERCE

STÉPHANE GALLEGRO



Stéphane GARNIER

Alexandre GAULT

Grégory GERBAUD

Céline GUEMAS

Jehan GUTLEBEN

Bernard HUGON

Jérôme JILLIOT

Yves LASRY



Yoan NAHMANI

Morgan POTIER

Frédéric REMBAUD

Mathieu ROBIER

Benoit ROY

Jean-François VESSON

Alain VINET

Paul-Edouard WATERLOT

Membres honoraires du Collège National d'Audioprothèse



Patrick ARTHAUD

Jean-Claude AUDRY

Jean-Paul BERAHA

Geneviève BIZAGUET

Daniel CHEVILLARD

Christine DAGAIN

Ronald DE BOCK

Xavier DEBRUILLE



François DEGÔVE

Jean-Pierre DUPRET

Charles ELCABACHE

Robert FAGGIANO

Francis FONTANEZ

Maryvonne NICOT-MASSIAS

Claude SANGUY

Philippe THIBAUT

Membres Correspondants étrangers du Collège National d'Audioprothèse



Roberto CARLE

Léon DODELE

Bruno LUCARELLI

Philippe LURQUIN

Leonardo MAGNELLI

Philippe ESTOPPEY



Carlos MARTINEZ OSORIO

Thierry RENGLLET

Juan Martinez SAN JOSE

Christoph SCHWOB

Elie EL ZIR

Membre Correspondant étranger associé



Paul AVAN

Le numéro 5 des Cahiers a choisi la réflexion...

... avec un thème de dossier pour les forts en thème, penseront certains lecteurs : les statistiques ! Mais le nombre de sondages publiés et leur usage frénétique dans tous les domaines de la vie, de la politique à la consommation et à la sociologie, montre que nous sommes tous amateurs, voire même amoureux de statistiques. Et le sujet, tout scientifique qu'il est, n'est pas si difficile à aborder qu'il pourrait le sembler. Il est surtout très opportun pour préparer les lecteurs à l'approche de l'EPU. Le thème de celui-ci est en effet l'intégration des innovations dans la pratique quotidienne. Or il ne peut pas y avoir d'innovation et encore moins de mise en pratique sans utiliser de statistiques. Rassurez-vous, utiliser ne veut pas dire faire soi-même les calculs, mais il est bon de savoir qu'ils peuvent se faire de plusieurs manières, un bonne et beaucoup de mauvaises, et c'est à ceux qui utilisent de faire preuve d'un peu d'esprit critique.

Julie Bestel, forte de son expérience d'enseignement, nous a préparé un voyage fort bien illustré au pays des données et de leur analyse. Et pour revenir à l'EPU, est-ce qu'une innovation en est vraiment une ? Quelles données le suggèrent ? A quoi bon investir dans une pratique qui n'entraîne pas de progrès significatif ? Que veut dire significatif ? Il est question dans le dossier de dictature du p , une dictature comme on aimerait en connaître plus puisqu'on va découvrir que le p admet l'existence d'un doute ! Imaginons ce discours : « je vous impose ma politique d'austérité, disons par exemple fiscale, car elle va réussir... enfin, à $p = 0,04$... autrement dit j'ai 4% de chances, en cas de succès, de le devoir au pur hasard, et en cas d'échec, mes chers électeurs, nous en serons réduits à accepter l'hypothèse nulle, c'est-à-dire celle que je le suis, mais évidemment (si vous me suivez toujours, sinon lisez Julie Bestel), avec un risque bêta que je n'en sois pas un et qui vous permet de continuer à voter pour moi avec la quasi-certitude scientifique d'avoir raison de le faire » : ne serait-ce pas magique si nos gouvernants nous parlaient un jour en langage statistique ? Excellent lecture donc, et excellent EPU.

Dire stop au Larsen intempestif... C'est possible avec OpenSound Optimizer

Le seul système
« anti » anti-Larsen
du marché

Cette fonctionnalité analyse la boucle de Larsen à la vitesse étonnante **de 56 000 fois par seconde.**

En fait, **c'est si rapide** qu'elle peut détecter et prévenir le Larsen de manière proactive, avant même qu'il ne se produise. Cette caractéristique innovante vous permet d'obtenir **jusqu'à 6 décibels supplémentaires** sans pour autant être obligé de réduire la taille du venting, et ceci sans risque de Larsen. Cette marge supplémentaire vous permet d'offrir jusqu'à **30% d'indices de parole supplémentaires.**

A essayer d'urgence dans les gammes :

OTICON | **Opn S** OTICON | **Xceed** OTICON | **Xceed Play** OTICON | **Opn Play**

Contactez sans plus attendre votre Responsable Régional pour en savoir plus.

oticon
PEOPLE FIRST

Le mot du Président du Collège

François LE HER



100 % Santé audiologie : Prévenir les dérapages qui pourraient conduire à l'échec sanitaire

Le métier d'audioprothésiste est une très jeune profession qui n'aura que 53 ans le 3 Janvier prochain. Depuis la publication de la loi reconnaissant en France cette nouvelle profession de santé, le niveau de notre formation et la qualité professionnelle de nos jeunes diplômés n'a fait que progresser. Dans l'étude EuroTrack 2015, notre pays figure aux meilleurs niveaux européens : Meilleurs taux d'observance (6,48), pratiquement égal au double de celui observé dans les autres pays où l'accès à l'appareillage auditif est gratuit (Royaume-Unis, 3,72 ; Norvège, 3,55 ; Danemark, 3,93) ; Meilleur taux de satisfaction globale des malentendants appareillés, 80 %, score pratiquement supérieur de 10 points à celui obtenu dans les autres pays européens.

Cette situation est le fruit des mesures prises en 1967 par le législateur qui, en donnant à cette profession sa propre identité, a voulu notamment supprimer les dérives mercantiles de la vente d'appareils auditifs par itinérance. Le législateur a voulu inscrire la profession d'audioprothésiste dans les professions paramédicales. Le code de la santé publique définit les missions réservées à ce professionnel de santé chargé de procéder à l'appareillage des déficients de l'ouïe. La loi lui donne les privilèges exclusifs du choix, l'adaptation, la délivrance, le contrôle d'efficacité immédiate et permanente de la prothèse auditive et l'éducation prothétique du déficient de l'ouïe appareillé.

Longtemps méconnue, cette profession n'intéressait que peu de personnes et sa réglementation même embryonnaire était suffisante pour protéger les consommateurs. Les choses risquent de changer avec la mise en place du 100 % santé.

Plusieurs grandes menaces attendent notre profession si les pouvoirs publics ne viennent pas encadrer ces mesures sociales de démocratisation de l'appareillage auditif.

On peut craindre, en premier lieu, une perte de repère pour les consommateurs qui vont avoir de plus en plus de mal à trouver un vrai lieu de service professionnel de qualité, pérenne, à même de lui fournir la prestation présentée par les pouvoirs publics.

En effet, l'arrivée de ces mesures sociales vont conduire certains opticiens à créer des corners " Audition" pour drainer la clientèle en utilisant ce relai de croissance dans un marché concurrentiel saturé.

De nombreuses grandes chaînes d'optique affichent déjà cette volonté en modifiant leurs enseignes pour adopter des appellations ou des base-lines suggestives : "Ecouter et Voir" , "Optique & Audition"...

La création du service "Audio" devient le leitmotiv des dirigeants des grandes enseignes d'optique, même si les dirigeants de ces structures savent pertinemment que le niveau actuel d'observance de l'appareillage ne pourra pas être au rendez-vous.

L'absence de régulation de la publicité va obligatoirement conduire à des dérives incontrôlables dont nous pouvons déjà observer les prémices avec l'apparition d'offres de "ventes à prime" : remise partielle ou totale sur un équipement optique, téléphone portable gratuit...

Seule une mise en place rapide de la réglementation de la publicité pourra mettre fin à ces dérives mercantiles mettant en danger la réussite du 100 % santé Audiologie.

Les opticiens doivent donc absolument trouver des audioprothésistes diplômés pour pouvoir ouvrir leurs corners "Audition". En effet l'assurance maladie ne reconnaît pas la profession d'audioprothésiste es qualité mais les fournisseurs d'aides auditives comme des professionnels de la LPP¹ (Liste des Produits et Prestations remboursables par l'Assurance Maladie).

Contrairement aux autres professions médicales et paramédicales, le professionnel de la LPP n'est pas légalement tenu d'être lui-même diplômé. Il doit déclarer un audioprothésiste diplômé comme prestataire responsable technique pour obtenir son agrément de fournisseur de matériel médical sans pour autant qu'aucune obligation ne lui soit imposée sur le lien de dépendance qu'il entretient avec le professionnel de santé. De la même manière, aucune obligation n'est imposée en matière de temps de présence et d'horaires d'ouverture du rayon audition.

La récente interview du directeur de l'une de nos grandes chaînes nationale d'optique donne le ton : « le taux d'équipement en audioprothèse qui est loin d'égaliser celui en optique ». Celui-ci estime qu'il faut former au moins 500 audioprothésistes par an en proposant même d'aller chercher ces diplômés à l'étranger : « si nous ne les trouvons pas en France, il faut aller les chercher ailleurs, en Espagne, en Belgique, en Roumanie ». Pourtant ce dirigeant devrait savoir qu'au Royaume - Unis, avec un taux d'équipement à la hauteur de ses souhaits et une gratuité de l'appareillage, le taux d'observance est médiocre et beaucoup d'appareils auditifs restent dans les tiroirs.

Le constat des difficultés de recrutement auxquelles se heurtent ces chaînes d'optique vient tout simplement s'expliquer par le manque d'attractivité des postes proposés. Les jeunes professionnels savent qu'ils ne pourront pas trouver dans ces structures commerciales un senior référent susceptible de les encadrer dans des cas difficiles. Ils auront souvent peur d'engager leur responsabilité civile et pénale en acceptant la qualité de responsable technique officiel d'un fournisseur non diplômé. Déclaré à l'assurance maladie pour des points de ventes multiples, leur diplôme sera utilisé pour couvrir des actes audioprothétiques exécutés par des assistant(e)s ou des vendeurs non qualifié(e)s en leur absence.

Le Collège National d'Audioprothèse souhaite donc :

- qu'aucun agrément ne puisse être donné à un fournisseur de la LPP sans qu'un lien de dépendance avec l'audioprothésiste responsable technique ne soit clairement établi.
- l'utilisation d'un affichage ou d'une enseigne proposant un service « Audition » afin que ce service ne puisse être proposé que par un fournisseur à même d'assurer la présence d'un audioprothésiste diplômé au moins 2 journées complètes par semaine.
- que la transparence due aux consommateurs puisse permettre aux malentendants de clairement identifier un fournisseur qui n'est pas indépendant des fabricants d'aide auditive et dont l'enseigne n'est autre que celle d'une activité de vente en direct de la marque concernée.

**François
LE HER**

Audioprothésiste D.E.

**Président du
Collège National
d'Audioprothèse**

1. Le professionnel de la LPP est un prestataire de service, distributeur de matériels au sens légal de l'article L5232-3 du code de la santé qui doit pouvoir justifier lors de sa demande d'agrément de sa demande d'agrément à l'assurance maladie qu'il dispose de personnels titulaires d'un diplôme, d'une validation d'acquis d'expérience professionnelle ou d'une équivalence attestant d'une formation à la délivrance de ces matériels ou de ces services et respecter des conditions d'exercice et règles de bonne pratique.

REXTON

Rexton est une marque du Groupe Sivantos GmbH
www.rexton.com



*LA BEAUTÉ DU SON,
UNE LEÇON DE BEAUTÉ*

Grâce au **chargeur nomade**,
les aides auditives StyleLine assurent

19 HEURES D'AUTONOMIE.



STYLELINE BT 8C, SIMPLEMENT IRRÉSISTIBLE.

TOUS LES BÉNÉFICES DE **MYCORE**
COMBINÉS AU **MEILLEUR DE LA TECHNOLOGIE**
RECHARGEABLE LITHIUM-ION.

BIOTONE
TECHNOLOGIE MÉDICALE



Retrouvez-nous aux adresses suivantes : www.biotone.fr - www.shop.biotone.fr



2.1 Nuages de points

Pour servir notre propos, supposons que j'aie accumulé beaucoup de données, et que je dispose d'un fichier de 600 sujets. Concentrons-nous sur l'EVA de gêne de l'acouphène. Une première représentation graphique est un **nuage de points**, avec en abscisse le numéro du sujet et en ordonnée son EVA. Elle peut donner lieu à la Figure 1.

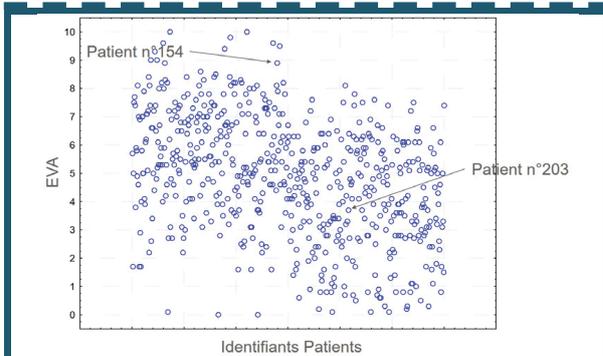


Figure 1 : Nuage de points simple, où les codes patients sont en abscisses et les EVA en ordonnées.

L'observation de ce nuage nous inspire un premier commentaire : toutes les valeurs d'EVA sont possibles. En y regardant de plus près, on peut noter néanmoins qu'il y a « peu » de sujets qui ont une EVA inférieure à 1, et peu de sujets qui ont une EVA supérieure à 9.

Si j'ai une deuxième variable dans mon tableau, comme le score THI, je peux choisir de faire un nuage de points à deux dimensions, où cette fois-ci chaque individu est caractérisé par deux notes : son EVA et son score THI. Nous verrons cela plus en détails dans la partie 7. Si on collecte n données par sujet, chacun sera caractérisé par un ensemble de n valeurs (un « n-uplet »), que l'on pourrait représenter dans un espace à n dimensions. Evidemment dès que $n > 3$, on a du mal à se représenter les choses, et on fait donc des projections en 2D ou 3D par exemple.

2.3 Distributions et histogrammes

Revenons à notre premier nuage de points, très simple, celui de la Figure 1. Chaque sujet n'est caractérisé que par son EVA. On souhaite maintenant connaître la façon dont les EVA se « distribuent » ; on construit pour cela un **histogramme**. Dans cette représentation graphique, on met en abscisses les intervalles possibles de la variable, et en ordonnées le nombre d'individus dont l'EVA tombe dans chaque intervalle. Si on n'utilise pas de logiciel adapté, on doit passer par une étape intermédiaire, qui consiste à mettre en classes la variable continue EVA, c'est-à-dire construire une nouvelle **variable catégorielle ordinale**, qui prend des valeurs **discrètes ordonnées**. Par exemple, on peut choisir de découper en 11 classes : $[-0,5 ; 0,5[$ (= classe 1), $[0,5 ; 1,5[$ (= classe 2), ..., $[9,5 ; 10,5[$ (= classe 11).

Dans mon exemple, la distribution des EVA est représentée par l'histogramme de la Figure 2.

Sur ce graphique, on peut faire de nouvelles observations : il y a une « bosse », ou un pic de fréquence, qui signifie que l'intervalle $[5,5 ; 6,5[$ est le plus représenté dans les valeurs d'EVA de mon échantillon. Il y a précisément 138 individus sur 600 qui donnent une EVA entre 5,5 et 6,5 à leur acouphène. On parle de mode. Comme notre distribution a un mode, on dit qu'elle est unimodale. NB : une distribution bimodale a « deux pics », c'est-à-dire deux valeurs (intervalles de valeurs) qui sont plus souvent données que

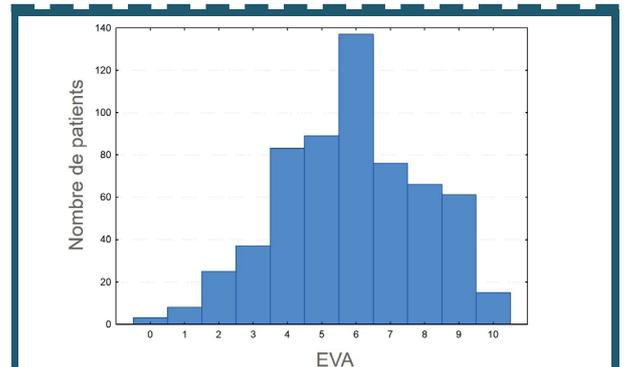


Figure 2 : Histogramme de la variable EVA construit sur un échantillon de 600 sujets, avec un découpage des valeurs d'EVA en 11 classes égales.

les autres. Toujours sur cet exemple, on peut également observer que la distribution est assez symétrique autour du mode ; il y a en effet à peu près autant de personnes qui ont des EVA entre 6,5 et 7,5 qu'entre 4,5 et 5,5. On retrouve également que très peu de gens ont une EVA autour de 0 ou une EVA proche de 10. Notons au passage que nous ne faisons que des approximations, nous ne sommes pas intéressés par le fait de savoir si notre distribution est parfaitement symétrique (modèle).

2.4 Loi normale, moyenne, écart-type, médiane, mode

La distribution de la Figure 2 est très bien approchée par une **distribution « normale »**, ou « **gaussienne** », modèle qui nous intéresse beaucoup en statistique. Elle a la forme d'une courbe en cloche et symétrique. Une gaussienne est entièrement caractérisée par deux paramètres : la moyenne et l'écart-type, souvent notés respectivement μ et σ . Quand on connaît ces deux valeurs, on sait représenter totalement la courbe. Des exemples sont rassemblés sur la Figure 3 (extraite de Wikipedia). En ordonnée figure la « densité de probabilité », qui peut être vue comme une proportion (ou fréquence) de sujets. L'aire sous chacune des courbes vaut 1.

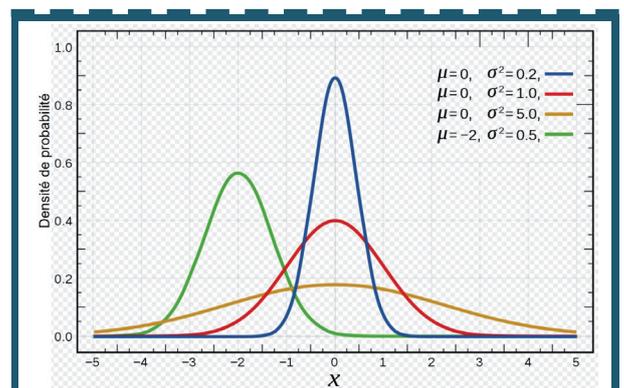


Figure 3 : Distributions gaussiennes ou normales, avec différentes valeurs de moyenne et d'écart-type. La courbe rouge correspond à une gaussienne centrée-réduite : moyenne nulle et écart-type de 1. Plus l'écart-type est grand, plus la courbe est étalée autour de la moyenne.

Pour l'instant nous n'avons fait qu'observer ce qu'il y a dans nos données, sans tenter d'expliquer quoi que ce soit. Dans cette étape indispensable, on calcule des « indicateurs » à partir des données. Puisque l'EVA est une variable quantitative, je peux calculer, entre autres : la moyenne, la médiane, l'écart-type, etc. Je peux aussi le



faire sur d'autres variables du fichier, mais à ce stade je n'exploite pas les relations qui peuvent exister entre elles. On parle de statistiques descriptives, étape essentielle pour connaître ses données.

Moyenne	Somme de toutes les valeurs divisée par le nombre de valeurs
Médiane	Valeur en-dessous de laquelle se trouvent 50% des données (donc les autres 50% sont au-dessus).
Variance	Moyenne des carrés des écarts entre chaque valeur de la série et la moyenne
Ecart-type	Racine carrée de la variance. Plus l'écart-type est grand, plus les valeurs sont « dispersées », ou étalées, autour de la moyenne.
1^{er} quartile	Percentile à 25%, soit la valeur en dessous de laquelle se trouvent 25% des données
3e quartile	Percentile à 75%, soit la valeur en dessous de laquelle se trouvent 75% des données

Tableau 2 : Rappel des principaux indicateurs calculés sur des variables quantitatives (statistiques descriptives)

3

Echantillon et inférence

3.1 Fluctuations d'échantillonnage

Les 600 sujets interrogés constituent un « **échantillon** », qui est une sous-population de la population totale. Quelle est donc cette population totale ? on pourrait dire que c'est celle de tous les acouphéniques du monde... ou de région parisienne... C'est à moi de la définir, mais c'est important d'en avoir conscience car c'est sur elle que portera le résultat « inféré » : qu'est-ce que j'apprends sur la population totale à partir de mon observation sur l'échantillon, tiré parmi cette population ?

Plus précisément, si je refaisais mon expérience en tirant un autre échantillon de 600 personnes, j'observerais des EVA et des THl peut-être légèrement différents. Par exemple, peut-être que la moyenne calculée sur toutes les EVA de mon premier échantillon serait « différente » de celle calculée sur le deuxième échantillon. Le fait que ces deux moyennes diffèrent est dû à ce qu'on appelle les « **fluctuations d'échantillonnage** ». Si notre échantillon était la population tout entière, on ne se poserait pas de question, la moyenne des EVA serait par construction la vraie moyenne des EVA de la population totale. Evidemment, cette population n'est pas observable, c'est précisément pour cela qu'on travaille sur un échantillon. Je n'ai accès qu'à une sous-partie de la population, sur laquelle je peux calculer une moyenne, et je vais donc chercher à savoir dans quelle mesure cette moyenne est « proche » de la vraie moyenne des EVA. C'est toute la question de la statistique inférentielle.

3.2 Intervalle de confiance autour de la moyenne

Comme on ne peut pas connaître la vraie valeur de la moyenne, on en donne un encadrement, avec un risque de se tromper en disant qu'il contient la vraie moyenne. Ce risque est en général fixé à 5%, mais il pourrait l'être à 1% ou à une autre valeur. Cet encadrement est calculé à partir de la moyenne de l'échantillon, et s'appelle **l'intervalle de confiance à 95%** si l'on fixe le taux d'erreur à 5%. L'interprétation est la suivante : si nous faisons 100 tirages aléatoires d'échantillons (de 600 sujets pour notre exemple), pour 95 d'entre eux l'intervalle de confiance calculé contiendrait la vraie moyenne.

Les intervalles de confiance (IC) sont calculés par des logiciels, et on trouve dans les livres les explications pour calculer un intervalle de confiance : autour d'une moyenne, d'une proportion, dans le cas de grands ou de petits échantillons, etc (voir par exemple le livre « Statistics with Confidence »). Ce n'est pas le propos de cet article. Retenons ici une formule générale :

$$IC_{95\%} = [\text{moyenne} - \text{coeff} \cdot SE ; \text{moyenne} + \text{coeff} \cdot SE]$$

Où SE est « **l'erreur type** » ou « **erreur standard** », autour de la moyenne. Elle vaut σ/\sqrt{n} où σ est l'écart-type des données (estimé sur mon échantillon), n est le nombre de données (600 dans mon exemple). Coeff = 1,96 si $n > 30$, un peu plus grand si $n < 30$ (on trouve cette valeur dans des tables ou on utilise un logiciel qui fait cela tout seul).

On constate donc que l'IC est d'autant plus étroit, donc l'estimation de la moyenne est d'autant plus précise que :

- il y a peu de dispersion autour de la moyenne : σ faible
- le nombre de données est grand.

On retrouve ce que nous intuitions facilement : moins les données fluctuent autour de la moyenne, et plus il y a de sujets dans notre base, plus nous pouvons donner une estimation précise de la « vraie » moyenne.

On représente l'IC par une barre encadrant la moyenne. On parle de façon générique de « **barre d'erreur** », et il faut donc toujours préciser quelle est cette barre d'erreur. En effet, on peut choisir plusieurs barres d'erreur dans les logiciels : l'IC - et c'est la barre d'erreur la plus informative quand on représente une moyenne - l'écart type, et l'erreur type. Deux remarques :

- afficher la moyenne seule, sans barre d'erreur, n'est pas suffisant : il peut se passer beaucoup de choses autour de cette moyenne, comme nous le verrons plus loin.
- Certains auteurs représentent l'erreur type, car elle est plus petite que l'écart-type (forcément car elle est en $1/\sqrt{n}$) ! Cette justification n'est évidemment pas acceptable.

Nous retiendrons qu'il faut mettre comme barre d'erreur autour de la moyenne l'intervalle de confiance (à 95%). Il donne une idée de la précision de la valeur, et il nous renseigne sur la **taille de l'effet**, comme nous le verrons plus loin.

Sur notre exemple, l'estimation de la moyenne est très précise car nous avons un grand nombre de patients (600), comme le montre la Figure 4. A écart-type égal, l'estimation serait moins précise si nous avions moins de sujets (IC plus large).

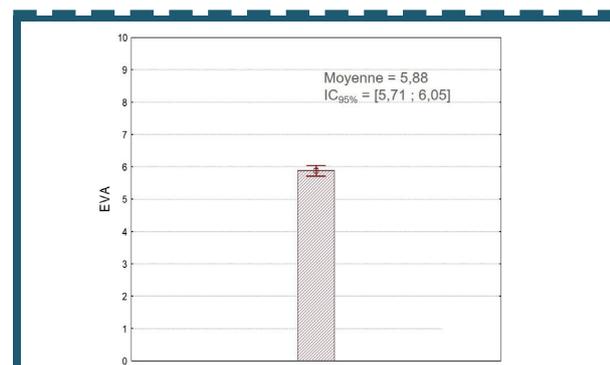


Figure 4 : Représentation correcte de la moyenne des EVA avec l'intervalle de confiance à 95% comme barre d'erreur

3.3 Comparaison de deux moyennes et inférence statistique

Supposons maintenant que les patients que j'ai interrogés soient séparables en deux groupes, selon leur régime alimentaire : soit omnivore, soit végétarien. Cette information est entrée dans le fichier Excel comme nouvelle variable « Régime », qui peut prendre deux modalités : « Omnivore » et « Végétarien ». Mon fichier (fictif) est bien fait : il y a à peu près autant de représentants des deux catégories, soit environ $n = 300$ sujets dans chacun des deux groupes. Dans le logiciel, je peux choisir, dans le nuage de points, d'étiqueter différemment les sujets en fonction de leur régime, comme le montre la Figure 5.

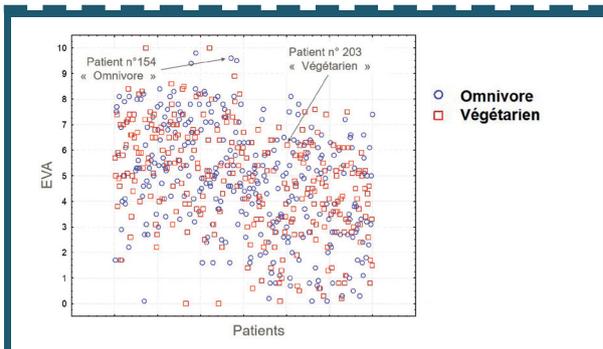


Figure 5 : Nuage de points étiquetés selon une variable de catégorisation à deux modalités.

Les histogrammes correspondant à chacun des deux sous-échantillons sont représentés sur la Figure 6.

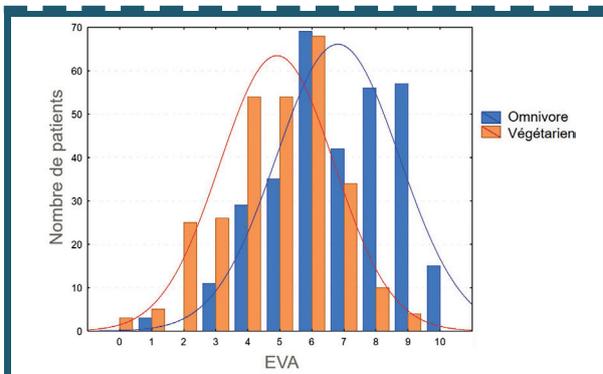


Figure 6 : Histogrammes catégorisés en fonction de la variable « Régime » à deux modalités : « Omnivore » et « Végétarien ». On a également demandé au logiciel de tracer les courbes d'ajustement gaussien.

On voit sur cette figure que les distributions diffèrent légèrement. Si on demande en plus au logiciel de tracer les gaussiennes qui s'ajustent au mieux aux distributions, on constate qu'elles ont à peu près le même étalement (même écart-type), mais qu'elles ne sont pas centrées sur les mêmes valeurs.

On peut calculer les deux moyennes : elles valent 4,88 et 6,76 respectivement pour les patients végétariens et pour les patients omnivores. Il y a donc une différence de moyennes d'EVA de 1,88 entre les deux échantillons.

La question que l'on se pose en statistique (inférentielle) est : « Qu'en est-il de la différence de moyennes dans la population tout entière (la population de tous les omnivores et végétariens acouphéniques) ? ». Rappelons que l'on souhaite répondre à cette question à partir de l'observation d'un échantillon (celui de ma base). Je vous propose ci-dessous plusieurs reformulations de cette question, qui disent

toutes la même chose, et sur lesquelles il est important de s'arrêter pour comprendre ce que l'on fait :

1. « Est-ce que les deux moyennes observées proviennent de populations dont les moyennes sont différentes ? ».
2. « Est-ce que la différence observée sur mon échantillon est due aux fluctuations d'échantillonnage, ou existe-t-elle réellement ? »
3. « Si je refaisais plusieurs fois cette expérience, à savoir interroger 600 patients sur leur EVA, retrouverais-je souvent une différence dans les moyennes d'EVA entre les omnivores et les végétariens, ou au contraire est-ce que cette différence serait nulle la plupart du temps ? »

Pour répondre à cette question, on commence par calculer les intervalles de confiance pour chaque échantillon, représentés sur la Figure 7. On peut déjà constater qu'ils ne se recouvrent pas.

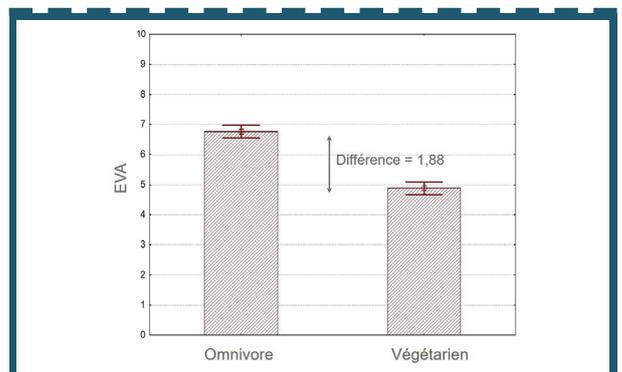


Figure 7 : Moyennes des EVA et intervalles de confiance à 95% pour les deux groupes de sujets « omnivores » et « végétariens ».

3.4 Comparaison de deux moyennes : le « t-test » ou test de Student

Pour aller plus loin, on va attacher à la différence observée entre les moyennes un indice de « crédibilité » ou « fiabilité ». On le nomme « petit p », ou « p-value » en anglais. C'est une **probabilité**, donc comme toute bonne probabilité qui se respecte, elle est comprise entre 0 et 1. On l'interprète comme suit : plus le petit p est petit (proche de 0), plus la différence observée entre les moyennes a peu de chances d'être due aux fluctuations d'échantillonnage (c'est-à-dire qu'elle existe réellement, entre les deux vraies moyennes). Notons que nous n'avons encore rien dit de l'amplitude de la différence.

Le petit p est le résultat d'un « **test statistique** », ou **test d'hypothèses** (voir plus loin). Dans le cas des deux moyennes, ce test s'appelle **t-test** ou **test de Student**.

Le petit p est le résultat d'un calcul qui est valide à condition que les données respectent certaines conditions. Comme il s'agit de moyennes, il est logique d'attendre que les distributions soient bien résumées par leurs moyennes. C'est bien sûr le cas des gaussiennes, qui sont entièrement connues grâce à deux **paramètres** : la moyenne et l'écart-type, comme nous l'avons vu dans la partie 2.4.

Quand le nombre de sujets devient grand, peu importe la forme de la distribution des données, car ce qui compte pour que le calcul du t-test soit valide, c'est que la distribution des moyennes suive une loi de probabilité définie par des paramètres.

Ceci découle de la « loi des grands nombres » (ou « théorème central limite »). Appliquée à notre problématique, cette loi dit que si l'on tire au sort plein d'échantillons de n individus, que l'on calcule la moyenne des EVA pour chacun des échantillons de taille n alors la distribution des moyennes d'échantillons suit une loi normale dès



que n est supérieur ou égal à 30. Cette propriété est vraie quelle que soit la forme de la distribution des données pour $n > 30$ (environ). En dessous de 30 (environ), il faut une condition sur la distribution des données elles-mêmes : si elle est normale, alors la distribution des moyennes est encore régie par des paramètres ; si elle ne l'est pas, nous ne pouvons plus rien dire sur la distribution des moyennes d'échantillons.

Ainsi, le calcul du t-test requiert, selon le nombre de sujets, que les distributions soient régies par des paramètres. C'est pour cela qu'on parle de **test paramétrique**.

En pratique, on n'a pas d'hypothèse à faire pour réaliser un t-test dès qu'on a plus de 30 individus, et on doit évaluer la normalité si on a moins de 30 individus (30 valeurs d'EVA). Notons qu'il faudrait également vérifier l'égalité des variances dans chacun des deux groupes, même si le t-test reste robuste à une violation de cette hypothèse (il faut juste que les distributions ne soient « pas trop » asymétriques). Dans le cas où $n < 30$ et où la distribution des données n'est pas normale, il faudra utiliser un autre type de test (**non paramétrique**).

Pour information, la distribution des moyennes des échantillons s'appelle **la distribution d'échantillonnage**.

3.5 Mais comment calcule-t-on un petit p ?

Plaçons-nous dans le cas du t-test. Le raisonnement est assez tordu, et se rapproche de ce que vous avez vu dans vos cours de maths : le **raisonnement par l'absurde**. On veut savoir s'il y a une différence, donc on va commencer par dire qu'il n'y en a pas. Logique, non ? On suppose donc qu'il n'y a pas de différence EN VRAI, c'est-à-dire entre les deux moyennes des deux sous-populations totales (tous les omnivores et tous les végétariens acouphéniques du monde). Cette hypothèse est notée H_0 , également appelée « hypothèse nulle ».

Si cette hypothèse est vraie, alors, quand je tire au hasard un échantillon de n sujets ($n = 30, 100, 300, 1000\dots$) et que je calcule la moyenne des EVA pour les deux sous-groupes, il se peut, à cause des **fluctuations d'échantillonnage**, que la différence des moyennes soit quand même non nulle. Toutes les valeurs de différences ont une certaine probabilité d'apparition, que l'on sait (les matheux savent) calculer. Pour $n \geq 30$, d'après la loi des grands nombres, c'est une gaussienne. Si $n < 30$ et si la distribution des données suit une loi normale, la distribution des moyennes des échantillons suit une autre loi, celle de Student, qui est un autre type de courbe en cloche et symétrique. On sait aussi calculer la fréquence d'apparition de toutes les différences de moyennes (la distribution des moyennes).

On note Δm la variable « différence des deux moyennes » (c'est une variable continue sur l'ensemble des nombres réels). Pour simplifier les calculs, on suppose que les deux échantillons sont de même taille $n \geq 30$, et de même écart-type s (l'écart-type estimé sur l'échantillon n'est plus noté σ mais s). Alors la loi des grands nombres nous dit que la distribution des Δm suit une loi normale centrée sur 0 et d'écart type $\sqrt{s^2/n}$. On normalise cela en disant que la variable $z = \frac{\Delta m}{\sqrt{s^2/n}}$ suit une loi normale centrée et réduite (écart-type de 1), ce qui nous permet de représenter facilement sa distribution. Quand on représente la distribution en mettant en ordonnées les fréquences d'apparition des valeurs, la distribution est alors égale à la « densité de probabilités de la variable ». Cela signifie que la probabilité pour qu'une valeur soit supérieure à une valeur seuil est égale à la portion d'aire sous la courbe au-delà de la valeur seuil (en valeur absolue), comme on l'a représenté sur la Figure 8.

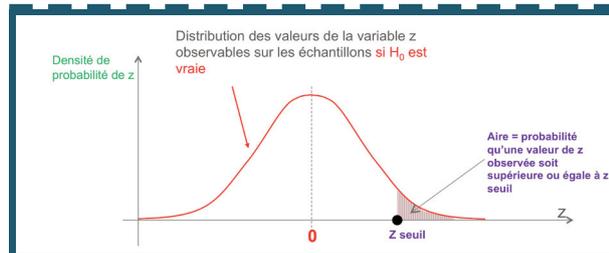


Figure 8 : Densité (distribution) de probabilités de z si H_0 est vraie. L'aire totale sous la courbe vaut 1, par définition de la densité de probabilités. La probabilité d'observer une valeur de z plus grande qu'une valeur donnée seuil z_{seuil} est égale à la portion d'aire sous la courbe entre z_{seuil} et l'infini.

Comme on le voit sur la distribution, plus z est grand plus sa probabilité d'être observé est faible : on est sur la « queue » de la gaussienne. Au contraire, les petites valeurs de z sont très probables (vers le centre de la gaussienne). Dans notre échantillon, on observe une valeur particulière de Δm , que l'on note $m_1 - m_2$ (c'est-à-dire : moyenne des EVA dans l'échantillon 1 – moyenne des EVA dans l'échantillon 2). On note $z_0 = \frac{m_1 - m_2}{\sqrt{s^2/n}}$. Et on se demande alors si z_0

a de fortes chances de se produire ou pas, c'est-à-dire sa probabilité d'apparition si H_0 est vraie. **C'est cette probabilité que l'on appelle le « petit p ».**

3.6 Lien entre seuil de significativité $\alpha = 0,05$ et petit p

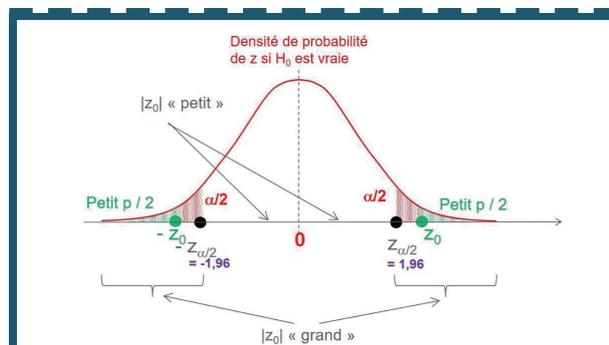


Figure 9 : Distribution de probabilités de la variable $z = \frac{\Delta m}{\sqrt{s^2/n}}$ quand H_0 est vraie. La valeur $z_0 = \frac{m_1 - m_2}{\sqrt{s^2/n}}$ est celle calculée sur un échantillon particulier. Sous H_0 : les grandes valeurs de z_0 (supérieures au seuil) ont une probabilité faible d'être observées, alors que les petites valeurs de z_0 ont une grande probabilité d'être observées. On compare z_0 en valeur absolue à deux seuils fixés arbitrairement. Le petit p se divise en deux parts égales, correspondant aux deux aires hachurées en vert. Ici chaque aire verte est plus petite que l'aire rouge, qui correspond à la valeur critique $\alpha/2$, où α est appelé risque de première espèce.

Pour calculer le petit p associé à la valeur z_0 observée, on reporte z_0 sur l'axe des abscisses de la distribution d'échantillonnage. La valeur seuil à laquelle on compare z_0 est la valeur notée $z_{\alpha/2}$ sur la Figure 9. α est appelé « risque de première espèce », ou « taux d'erreur » que l'on juge acceptable. Dans bon nombre de domaines, on a pris l'habitude de fixer ce seuil à 0,05 (c'est une probabilité seuil). On a aussi l'habitude de répartir ce risque de manière « bilatérale » : 0,025 d'un côté - pour les valeurs de z grandes et positives - et 0,025 de l'autre côté - pour les valeurs de z grandes et négatives. Si la probabilité d'observer une différence donnée est inférieure à

0,025, alors on décide que c'est peu probable. Cela est tellement peu probable que l'on se dit que l'hypothèse de départ n'était pas réaliste : ce qu'on observe n'est pas compatible avec l'hypothèse de départ. Donc on « rejette H_0 » selon laquelle il n'y a pas de différence entre les deux moyennes.

Les valeurs seuils auxquelles il faut alors comparer z_0 sont respectivement -1,96 et 1,96. On les trouve dans les tables pour $\alpha = 0,05$, test bilatéral, et $n > 30$.

Fixer α à 0,05 signifie que l'on n'interprète pas le résultat quand petit p est supérieur à 0,05. Dans ce cas on ne peut pas rejeter H_0 . On interprète un résultat dès que petit p < 0,05. Si par exemple petit p = 0,03, on dit que l'on rejette H_0 avec 3% de chances de le faire à tort.

Quand nous disons « on rejette H_0 », il faut bien faire attention qu'à ce stade, on a seulement établi que $z_0 = \frac{m_1 - m_2}{\sqrt{s^2/n}}$ est statistiquement différent de 0.

Exemple : petit p = 0,03 signifie que si je recommence plein de fois mon expérience, à savoir « tirer deux échantillons de taille n et calculer la moyenne des EVA dans chacun », alors 97 fois sur 100 je vais trouver que la quantité z_0 n'est pas nulle.

Or, l'expression de z_0 implique :

z_0 grand en valeur absolue (on note $|z_0|$) $\Leftrightarrow |m_1 - m_2|$ grand ET/OU s petit ET/OU n grand

On retrouve donc le fait que plus la taille de l'échantillon est grande, et/ou plus les données sont rassemblées autour de la moyenne (écart-type faible), plus la différence devient statistiquement significative.

A ce stade, ce n'est donc pas parce qu'une différence est statistiquement significative que l'on connaît « l'amplitude » de cette différence. Malheureusement (pour ceux en quête d'une certaine « vérité »), ou heureusement (pour ceux dont la vie semble dépendre du petit p) : dans les grands échantillons, tout devient statistiquement significatif...

3.7 Différence statistiquement significative et cliniquement significative

Nous venons de voir que nous ne faisons pas de magie : le petit p est calculé en utilisant les données de l'échantillon : moyenne, nombre de sujets, écart-type. En particulier : le petit p diminue quand le nombre de sujets augmente, et donc dans les grands échantillons

tout devient « statistiquement » significatif, même une toute petite différence qui n'a pas d'intérêt en clinique. Seul l'expert du domaine, donc vous, peut statuer sur l'intérêt clinique d'une différence. Il faut donc toujours regarder les valeurs, et ne jamais interpréter un petit p sans commenter la différence à laquelle il correspond.

Illustration 1 (Figure 10 gauche) : j'ai trafiqué mes valeurs d'EVA, et justement parce que j'ai beaucoup de patients (environ 300 dans chaque groupe), j'ai pu produire un jeu de données qui mène à une différence d'EVA de $5,76 - 5,41 = 0,35$. Le t-test donne un petit p associé de 0,023. La présentation du résultat, telle qu'on pourrait la trouver dans un article scientifique, se trouve sur la partie gauche de la Figure 10. On peut très vite conclure : « Houra, il y a une différence d'EVA statistiquement significative ! ». Mais regardons de plus près : quelle est cette différence ? Elle vaut 0,35... Tiens... Hum... Quel intérêt clinique cela peut-il bien représenter ? Sur une échelle de 0 à 10 ? Passer de 5,76 à 5,41 ? Est-ce que cela est le reflet d'une gêne moindre pour les végétariens ? Cette différence a beau être statistiquement significative, elle n'est PAS cliniquement significative. Je vous laisse méditer...

Illustration 2 (Figure 10 droite) : j'ai de nouveau manipulé mes données, et réduit considérablement la taille de mon échantillon, de telle sorte que j'ai 30 sujets dans chaque groupe. J'ai calculé les moyennes des EVA dans chaque échantillon, et je trouve respectivement 5,5 et 5,03 soit une différence de 0,47. Cette différence est donc plus grande que dans l'exemple qui précède. Cependant, le nombre de sujets est bien plus petit, et le logiciel me donne comme petit p associé à cette différence : 0,27. La différence observée n'est donc absolument pas statistiquement significative. Au clinicien de juger si 0,47 de différence sur une EVA est cependant cliniquement intéressant. Si c'est le cas, il faudrait plus de patients pour montrer qu'elle est statistiquement significative (qu'elle a peu de chances d'être due au hasard de l'échantillonnage). On dit dans ce cas que mon expérience manque de « puissance » (voir la partie 8.2).

3.8 Les tests d'hypothèses

Revenons sur notre fameuse hypothèse H_0 . Dans le cas de la comparaison de moyennes, H_0 se formule ainsi : il n'y a pas de différence de moyennes dans la population totale, c'est-à-dire $m_1 = m_2$. Le raisonnement que nous avons conduit dans le cas du t-test consiste à confronter notre observation expérimentale de $m_1 - m_2$, et d'en conclure (ou pas) à l'incompatibilité avec H_0 . On rejette H_0

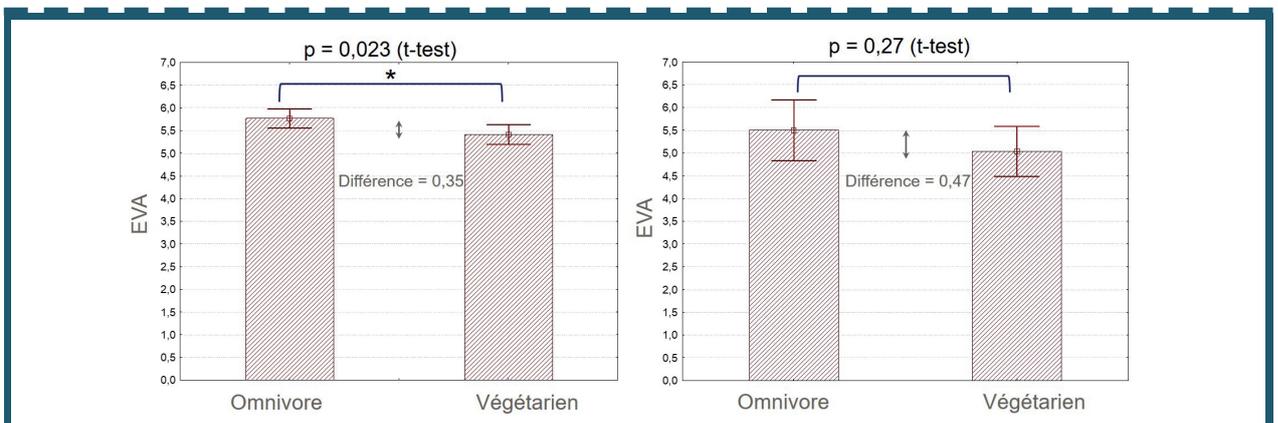


Figure 10 : A gauche, jeu de données menant à une différence de moyennes d'EVA de 0,35 et un petit p < 0,05 (résultat statistiquement significatif). A droite : autre jeu de données menant à une différence de moyennes d'EVA de 0,47 (donc plus grande) et un petit p > 0,05 (résultat non statistiquement significatif).



quand on trouve que la différence observée a tellement peu de chances de se produire si H_0 est vraie que l'on considère que H_0 devait être fautive (raisonnement par l'absurde).

En statistique, on fait toujours des hypothèses... On va toujours poser une hypothèse H_0 (hypothèse nulle), chaque fois que l'on veut prendre une décision, donc toujours avec un risque de la prendre à tort (risque acceptable fixé arbitrairement à 5%). On ne peut jamais dire par exemple : mes données sont distribuées selon une loi normale. On peut seulement dire : « je ne fais pas trop d'erreur (je ne prends pas trop de risques) en disant que les EVA observées sont issues d'une population dans laquelle les EVA se distribuent selon une loi normale ». La précision sémantique peut paraître tenue, mais elle est vraiment à la base du raisonnement en statistique inférentielle.

Ainsi, on va aussi faire un test d'hypothèses pour justifier des conditions d'application du t-test (qui est lui-même un test d'hypothèses). Dans un petit échantillon ($n < 30$), on doit savoir si la distribution des données, dans chaque groupe, suit une loi gaussienne (normale). On pose alors comme hypothèse H_0 : « ma distribution et la distribution normale ne sont pas différentes ». Cette hypothèse nulle n'a rien à voir avec celle posée pour faire le t-test, elle correspond à celle qu'on doit formuler pour explorer la condition principale d'application du t-test.

3.9 Tester la normalité, tester l'égalité des variances...

Les tests de Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors,... et j'en passe, sont autant de tests statistiques utilisés pour évaluer si l'on ne fait pas trop d'erreur en disant qu'un jeu de données est issu d'une distribution normale. Certains sont plus conservatifs que d'autres, ont des comportements asymptotiques différents, sont plutôt recommandés pour les petits ou les grands échantillons, etc. Bref, restons modestes, dans ce que nous faisons il s'agit juste de ne pas raconter trop de bêtises. Le test qui fait consensus et nous suffira amplement est celui de Shapiro-Wilk (S-W).

Le test de S-W calcule une quantité, non pas un z comme dans le cas du t-test, mais une autre « statistique » (c'est le terme consacré), que l'on peut appeler SW (comme Shapiro-Wilk). Elle va être reportée sur une courbe, qui n'est pas une gaussienne ou une courbe de Student, mais une autre courbe « tabulée », et l'on regarde où se situe la grande SW calculée sur notre échantillon sur l'axe des abscisses. En réalité c'est toujours le logiciel de statistique qui fait cela, et produit aussi le petit p associé. Si ISWI est « grand », le petit p va être petit ($\leq 0,05$), et si ISWI est « petit », le petit p associé va être grand ($> 0,05$). La règle de rejet est toujours la même : on rejette H_0 si $p \leq 0,05$ et on accepte H_0 si $p > 0,05$.

Il y a souvent une confusion chez les étudiants à propos de ces tests : pour tous les tests de normalité, on est « content » quand on ne PEUT PAS rejeter H_0 , car, souvenons-nous que H_0 est l'hypothèse selon laquelle « ma distribution et la distribution normale ne sont pas différentes ».

Autre remarque : la plupart des tests utilisés pour évaluer la normalité sont très mauvais pour rejeter H_0 pour les « petits effectifs », autrement dit, ils sont très « sympas ». Raison de plus pour vraiment suivre leur conseil quand ils rejettent l'hypothèse de normalité. Et surtout, ne pas se contenter d'appliquer bêtement un test, mais toujours regarder la distribution des données.

Une autre condition à vérifier pour que le calcul du t-test soit valide est l'égalité des variances de chacun des échantillons. Cependant, le

t-test est assez robuste à la violation de cette hypothèse, notamment pour n grand. Néanmoins, si l'on veut vérifier cette hypothèse, on utilisera un test de Levene (ou Bartlett).

4

Généralisation du t-test et ANOVA

Revenons à notre jeu de données. En réalité, on pense que la distinction « omnivore/végétarien » est trop grossière : parmi les végétariens il y a des végans purs et des végétariens qui mangent des protéines animales. On souhaite donc être plus précis en séparant donc le régime en 3 catégories : omnivore, végétarien, végan. La question que l'on se pose est : « Y a-t-il une différence de moyenne des EVA selon le régime ? ». Pour cela, on réalise un test appelé « ANOVA », qui est l'abréviation de « Analysis of Variance ». NB : on note souvent ANOVA plutôt qu'ANOVA.

4.1 ANOVA à un facteur

Contrairement à ce que pourrait laisser imaginer ce terme, ce test sert à comparer des moyennes. Il répond à la question : « Y a-t-il au moins une moyenne qui diffère d'une autre ? ». Pour répondre à cette question, on (le logiciel) décompose l'ampleur de la dispersion totale des données (la variance totale) en deux termes : celle qui est due aux dispersions au sein de chaque sous-groupe (variance intra population) et celle qui est due à la dispersion entre les sous-populations (variance inter-population).

En gros, si les moyennes dans chaque sous-groupe sont toutes égales, la variance totale est égale à la variance dans chaque population ; si une paire de moyennes diffère, la variance totale est plus grande que la variance de chaque population : il y a un terme de « variance résiduelle » non nul. C'est donc l'importance du terme de variance résiduelle qui va permettre de statuer sur l'existence ou non d'une différence de moyennes. Nous n'irons pas plus loin dans les calculs, mais ce début d'explication permet de comprendre pourquoi on parle d'analyse de la variance.

Le résultat d'un test d'ANOVA est de nouveau un petit p, donc il faut savoir à quelle hypothèse H_0 il correspond. L'hypothèse nulle sous-jacente est : « il n'y a pas de différence entre toutes les moyennes prises 2 à 2 », c'est-à-dire, dans notre cas : la moyenne des EVA chez les omnivores = moyenne des EVA chez les végétariens = moyenne des EVA chez les végans. L'hypothèse alternative H_1 est : « il existe au moins une paire de moyennes dont les moyennes sont différentes ». Attention donc, petit $p < 0,05$ dans une ANOVA signifie seulement : l'une des moyennes diffère d'une autre moyenne, mais nous ne savons pas de quelles moyennes il s'agit. Cela peut être : $EVA_{\text{omnivore}} \neq EVA_{\text{végétarien}}$ ou (et) $EVA_{\text{omnivore}} \neq EVA_{\text{végan}}$... C'est pourquoi, quand le petit p issu d'une ANOVA est $< 0,05$, on réalise ensuite des **tests « post hoc »**. Ils consistent à rechercher quelles paires sont concernées par une différence statistiquement significative. Cela revient à faire des comparaisons 2 à 2 avec un seuil α qui ne vaut pas 0,05 mais qui est « corrigé » par le nombre de comparaisons souhaitées. Si l'on fait 3 comparaisons : « omnivore vs végétarien », « omnivore vs végan » et « végétarien vs végan », on utilisera un seuil α^* (on note parfois le α corrigé de cette manière) = $0,05/3 = 0,0167$. Cela revient presque au même de ne pas faire une ANOVA mais de réaliser 3 t-tests en prenant α^* comme seuil de significativité. J'ai écrit « presque » car ce n'est pas tout à fait exact ; les calculs ne sont pas les mêmes selon que l'on fait une ANOVA puis des tests post-hoc ou si l'on fait 3 t-tests, mais cette nuance dépasse largement le cadre de ce cours.

Le test post-hoc le plus utilisé est celui de Bonferroni, c'est aussi le plus conservatif : il suppose que l'on fait toujours toutes les comparaisons 2 à 2 possibles. Dans la pratique, certaines comparaisons peuvent ne pas nous intéresser, et on a alors le « droit » de ne diviser α que par le nombre de comparaisons effectivement réalisées.

Sur la Figure 11 on a représenté les moyennes des EVA et les intervalles de confiance correspondant à un exemple fictif avec séparation des individus en 3 groupes. On observe que le modèle total conduit à un petit p de 0,01 donc largement statistiquement significatif. Le test de Bonferroni permet de conclure sur les paires de moyennes statistiquement différentes l'une de l'autre. Ainsi : l'EVA moyenne des végétariens est statistiquement différente de la moyenne des EVA chez les omnivores, et l'EVA moyenne des végétariens est statistiquement différente de la moyenne des EVA chez les omnivores. En revanche les EVA moyennes des végétariens et des végétariens ne sont pas statistiquement différentes l'une de l'autre.

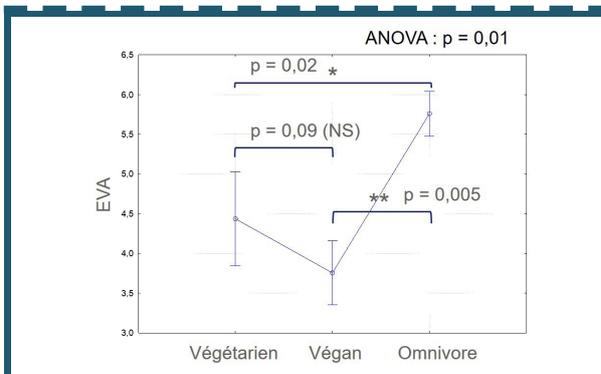


Figure 11 : Moyennes et intervalles de confiance à 95% des EVA catégorisées par le régime à 3 modalités. Le test global est statistiquement significatif avec un petit p de 0,01. L'analyse post-hoc (Bonferroni) montre que la moyenne des EVA des végétariens est statistiquement différente de la moyenne des EVA chez les omnivores, et l'EVA moyenne des végétariens est statistiquement différente de la moyenne des EVA chez les omnivores. En revanche les EVA moyennes des végétariens et des végétariens ne sont pas statistiquement différentes l'une de l'autre.

Dans la terminologie utilisée en statistique, la variable « régime alimentaire » est appelée un facteur et ce facteur peut prendre 3 niveaux, qui sont les 3 catégories « omnivore/végétarien/végan ». Le facteur est la variable qui sert à catégoriser les individus. Un facteur peut bien sûr avoir plus de 3 niveaux (quid des flexitariens ?...).

Nous avons traité ici le cas d'une ANOVA à 1 facteur. Comme ce test permet de comparer 3 moyennes ou plus, on dit qu'il généralise le t-test à 3 moyennes et plus.

4.2 ANOVA à deux facteurs

Il peut y avoir plusieurs variables de catégorisation, et on réalise alors une ANOVA à plusieurs facteurs. Par exemple, dans notre exemple, imaginons que nous collectons une deuxième variable de classement : le type de son de l'acouphène dominant. Selon cette deuxième variable, les personnes sont par exemple classées en 2 catégories, selon que le son perçu est un sifflement ou un autre bruit. Cette variable a donc 2 niveaux, et l'on peut étudier dans quelle mesure la moyenne des EVA des personnes qui entendent un sifflement diffère de celle des individus qui entendent un autre type de bruit. Si on mixe avec le premier facteur de catégorisation

(le régime alimentaire), on peut étudier 3 choses : l'impact du régime, l'impact du type de son, et l'impact d'un facteur croisé, ou interaction, entre le régime et le type de son.

Par curiosité, j'ai construit un jeu de données menant à la Figure 12.

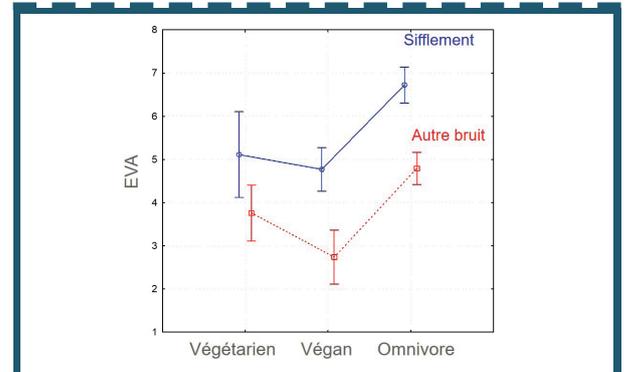


Figure 12 : Moyennes et intervalles de confiance à 95% des EVA catégorisées par deux facteurs : le régime alimentaire et le son de l'acouphène.

Sur cette figure, on constate que l'effet du régime sur la moyenne de l'EVA perdure après avoir « ajusté » sur le type de bruit : que l'on soit sur la courbe bleue (« sifflement ») ou sur la courbe rouge (« autre bruit »), on retrouve les recouvrements et non-recouvrements de la Figure 11 des intervalles de confiance (il faudrait refaire les tests post-hoc). A régime donné, il semble qu'il n'y ait pas d'effet significatif du type de bruit pour les végétariens (recouvrement des IC). Pour les deux autres régimes, les IC étant disjointes, on a certainement un effet statistiquement significatif du type de bruit : les moyennes d'EVA sont plus élevées pour les sujets qui entendent un « sifflement » que pour ceux qui entendent un « autre bruit », que ce soit pour les végétariens ou les omnivores. Enfin, sur ce genre de graphe, on peut commenter l'absence d'interaction entre les deux facteurs « régime » et « type de bruit ». En effet, les deux courbes (bleue et rouge) ne se croisent pas, elles restent d'une certaine manière « parallèles », ce qui signifie que le signe de l'effet du type de bruit sur le régime est le même entre « végétarien et végétarien » et entre « végétarien et omnivore ». Les logiciels de statistique attribuent un petit p à l'effet d'interaction noté « type de bruit * régime », à condition qu'il y ait assez de sujets pour l'estimer.

5

Tests sur mesures appariées, répétées, sujets comparés à eux-mêmes

Revenons à notre exemple de départ : nous collectons des EVA chez un ensemble de sujets, sans se préoccuper de leur provenance. Supposons que nous les interrogeons sur leur EVA de gêne à un instant t, que nous appelons T_0 , et supposons que nous les revoiyons tous après 3 mois, et collectons de nouveau leurs EVA, à un instant cette fois-ci désigné par M_3 .

La question de statistique inférentielle posée est alors : la moyenne des EVA à T_0 est-elle différente de celle des EVA à M_3 ? Dans ce cas, nous réalisons un t-test pour mesures **appariées**. Et l'on dit que les sujets sont comparés à eux-mêmes, car les EVA sont mesurées en deux instants, chez les mêmes sujets (il y a deux mesures par sujet). D'un point de vue calcul, la distinction entre mesures appariées et mesures qui ne le sont pas (on parle de mesures parallèles, comme dans l'exemple précédent) est importante. Sans entrer dans le détail, le fait de préciser que les mesures sont appariées fait intervenir



la variance des différences des EVA, alors que lors d'un calcul de t-test pour mesures parallèles ce sont les variances respectives des deux groupes qui interviennent. Or la variance des différences est inférieure à la somme des variances des deux groupes, ce qui conduit au fait que pour des valeurs identiques de moyennes et d'écart-types, un t-test pour mesures appariées sera « plus facilement » statistiquement significatif qu'un t-test pour mesures parallèles. Il serait donc dommage d'oublier de le spécifier dans le logiciel quand on mène le calcul. Inversement, quelqu'un qui aurait par mégarde coché la case « mesures appariées » pour un t-test sur groupes parallèles pourrait trouver un résultat statistiquement significatif qui ne l'est pas en réalité quand on corrige par « mesures parallèles ».

Remarque sur la condition de normalité : la condition de validité des calculs repose cette fois-ci sur la normalité de la distribution des différences des données, et non sur la distribution de chacune des deux distributions.

5.1 Mesures répétées

Si l'on étend le nombre de visites, ici T_0 et M_3 , à plus de deux, par exemple avec des mesures à 6 mois (M_6), on parle alors de **mesures répétées**. NB : « Répétées » est donc une généralisation de « appariées », dans notre contexte. Et comme nous l'avons vu précédemment dans le cas de groupes parallèles, la généralisation du t-test à plus de 2 groupes s'appelle une ANOVA donc s'il s'agit de mesures répétées on parlera d'**ANOVA pour mesures répétées**.

5.2 Il n'y a pas que le temps qui peut être répété...

Dans ce qui précède, nous avons pris le « temps » comme variable répétée. Les EVA des sujets sont comparées chez les mêmes sujets, au cours du temps. On dit que les sujets sont comparés à eux-mêmes, mais il faut bien comprendre que ce sont les EVA (ou une autre mesure) mesurées à différents instants, chez le même groupe de sujets, qui sont comparées.

Les EVA pourraient bien sûr être comparées à elles-mêmes en fonction d'une autre grandeur que le temps. Par exemple, dans notre domaine, il peut s'agir de la comparaison de plusieurs réglages proposés aux mêmes sujets. S'il ne s'agit que de deux programmes - par exemple avec et sans générateur de bruit (GB) - le test sera un t-test pour mesures appariées. Si nous comparons 3 programmes - sans GB, avec GB « blanc », avec GB « rose » - nous réaliserons une ANOVA pour mesures répétées.

Remarque importante : on ne peut évidemment pas « séparer les effets » (formule consacrée en statistique) si l'on fait varier deux choses en même temps : par exemple mettre un programme P_1 à T_0 et mettre un autre programme P_2 à M_3 . En proposant un tel changement, on confond les effets « programme » et « temps », et ce n'est pas un simple t-test qui va permettre de séparer les effets. Il faut que le protocole de l'étude soit pensé différemment, ce qui sort du cadre de cet article.

5.3 Mélange de facteurs répétés et facteurs non répétés

Evidemment on peut envisager de mixer les deux types de facteurs (ou variables) répétés et non répétés. Par exemple, on peut étudier les EVA en fonction du type de bruit de l'acouphène dominant, et regarder quel est l'effet au cours du temps. Cela implique que pendant la durée de l'étude le son de l'acouphène dominant ne

change pas ; c'est soit un sifflement, soit un autre bruit. Les sujets peuvent être vus à 3 instants sur 6 mois : T_0 , M_3 et M_6 . Lorsque l'on paramètre l'ANOVA dans le logiciel de statistique on doit spécifier que le facteur « temps » a 3 modalités et qu'il est répété, et que le facteur « type de bruit » a 2 modalités et qu'il n'est pas répété. Les logiciels s'attendent à ce que les données soient « rangées » d'une certaine manière, non détaillée ici.

Dans certains cas, le caractère répété ou non répété n'est pas évident, il dépend de la manière dont est conçue l'expérience et il faut le préciser. Le temps est forcément répété, mais dans le cas de deux réglages par exemple, on pourrait soit attribuer un réglage A à un groupe de sujets et un réglage B à un deuxième groupe de sujets, soit faire essayer les deux programmes aux mêmes sujets (ce que l'on fait bien sûr chaque fois que c'est possible). Certains facteurs sont structurellement non répétés, ce sont souvent des caractéristiques propres aux patients, comme le sexe, l'âge, le degré de la perte auditive, etc. En toute rigueur on devrait distinguer les effets des traitements appliqués des autres effets. Un traitement est quelque chose que l'on contrôle et que l'on peut modifier par l'expérience, les données démographiques comme l'âge ou le sexe ne sont pas des données imposées lors de l'expérience.

6

Tests paramétriques et tests non paramétriques

Jusqu'à maintenant, nous avons réalisé des tests statistiques sur des moyennes de variables quantitatives : qu'il s'agisse du t-test ou de l'ANOVA, nous avons comparé des moyennes d'EVA, en fonction de deux (ou plus) conditions, qu'elles soient répétées ou pas.

Faire des calculs de moyennes est licite quand les données respectent certaines conditions : soit elles sont en grand nombre, soit elles ne le sont pas mais leur distribution peut être assimilée à une loi normale. Quand ce n'est pas le cas, et qu'en réalité la moyenne n'a pas de sens (ce n'est pas un bon résumé de nos données), on ne fait pas de calcul à partir de la moyenne, mais à partir d'une transformation des données. Je ne parlerai pas ici des transformations comme le logarithme ou l'arc sinus, en réalité très peu utilisées par les statisticiens.

Quand on ne peut pas travailler sur la moyenne des données, on travaille sur la moyenne des rangs des données. Transformer les données en leurs rangs consiste à attribuer un ordre aux valeurs contenues dans la série. Donc cela s'applique bien évidemment à des variables qui sont au moins ordinales voire quantitatives. Par exemple : une EVA (bien sûr), mais également des réponses ordonnées à un questionnaire, un temps de port découpé en classes, etc.

Reprenons notre tableau du début, et intéressons-nous aux EVA de gêne, par exemple sur 15 sujets. Pour attribuer les rangs, il faut trier les sujets en fonction de la variable qui nous intéresse (ici l'EVA). La première opération est un tri des sujets par ordre croissant d'EVA. La nouvelle colonne « Rang » contient les numéros d'ordre correspondants. Il faut noter la gestion des ex-aequo ou « ties » en anglais : quand deux sujets ont la même EVA, on leur attribue le même rang, qui est la moyenne des deux rangs qu'on leur attribuerait « sans réfléchir ». Par exemple, les sujets $n^{\circ}2$ et $n^{\circ}10$ arrivent en 2e et 3e positions avec la même valeur, donc au lieu d'avoir les rangs 2 et 3, on leur attribue le même rang moyen, qui vaut donc $(2+3)/2 = 2,5$. Idem, pour les 3 sujets $n^{\circ}4$, $n^{\circ}7$ et $n^{\circ}12$: ils ont tous les trois la même EVA, qui vaut 4. Ils arrivent avec les

Code Sujet	EVA Gène	Code Sujet	EVA Gène	Tri	Rang	Code Sujet	Rang
S1	9,5	S15	1	1	1	S1	14,5
S2	1,5	S2	1,5	2	2,5	S2	2,5
S3	2,5	S10	1,5	3	2,5	S3	4
S4	4	S3	2,5	4	4	S4	6
S5	9,5	S4	4	5	6	S5	14,5
S6	8,5	S7	4	6	6	S6	12
S7	4	S12	4	7	6	S7	6
S8	6,25	S13	4,5	8	8	S8	9
S9	9,25	S8	6,25	9	9	S9	13
S10	1,5	S14	7	10	10	S10	2,5
S11	7,5	S11	7,5	11	11	S11	11
S12	4	S6	8,5	12	12	S12	6
S13	4,5	S9	9,25	13	13	S13	8
S14	7	S1	9,5	14	14,5	S14	10
S15	1	S5	9,5	15	14,5	S15	1

Figure 13 : Etapes de la transformation en rangs sur un exemple de 15 observations.

rangs 5, 6, et 7, mais comme il n'y a aucune raison pour qu'ils aient un rang différent, on leur attribue à tous la moyenne de 5, 6, et 7, qui vaut 6. La succession de ces opérations est reprise sur la Figure 13.

Après avoir transformé les valeurs d'EVA en rangs, c'est sur eux qu'on va travailler, à la place des valeurs de départ. On dit alors qu'on réalise des tests non paramétriques, car on ne fait plus d'hypothèse sur la distribution des données. En particulier, on n'a plus besoin d'étudier la normalité de la distribution. Les tests **non paramétriques** sont pour cette raison également dénommés « **distribution free** » en anglais. Comme on a transformé les données en rangs, on a perdu de l'information : on sait seulement que tel sujet a une EVA plus grande ou plus petite que tel autre sujet, mais on ne sait pas de combien elle plus grande ou plus petite.

Cette manipulation est transparente pour l'utilisateur qui sélectionne un test non paramétrique, c'est le logiciel de statistique qui fait ce recodage. Les tests non paramétriques font exactement tout ce que nous avons vu précédemment sur le t-test et l'ANOVA, mais à partir des rangs et non à partir des données brutes. Voici les noms des équivalents non paramétriques des tests principaux abordés dans cet article :

- t-test pour groupes parallèles → test de **Mann-Whitney** (ou test des rangs signés)
- t-test pour groupes appariés → test de **Wilcoxon**
- ANOVA à un facteur non répété → **ANOVA de Kruskal-Wallis**
- ANOVA à un facteur répété → **ANOVA de Friedman**

6.1 A quelle question répond-on avec un test non paramétrique ?

Même si on ne fait jamais le calcul des rangs « à la main », il est intéressant de comprendre ce que fait le logiciel quand on classe les individus selon les valeurs d'une variable. Sur notre exemple, il s'agit de l'EVA. Si l'on compare deux groupes de sujets indépendants, par exemple les végétariens et les omnivores, il faut d'abord affecter les rangs, indépendamment de cette variable de catégorisation, autrement dit tous régimes confondus. Imaginons un effectif total de 30 sujets : 15 végétariens et 15 omnivores. Il faut d'abord classer les 30 sujets, donc attribuer les rangs de 1 à 30. Ensuite, le test (de Mann Whitney) va comparer les moyennes des rangs dans chacun des groupes « végétarien » et « omnivore ».

Ainsi, il permettra de dire si la moyenne des rangs des EVA des « végétariens » est plus élevée ou plus faible que celle des rangs des EVA « omnivores ». Comme, en passant aux rangs, on n'a gardé que la notion d'ordre, on saura alors répondre à la question suivante sur les EVA elles-mêmes : « Y a-t-il plus de valeurs élevées ou plus de valeurs faibles chez les omnivores que chez les végétariens ? ».

On note donc que cette question est moins « ambitieuse » que celle posée lorsqu'on peut faire un test paramétrique. C'est normal, ou plutôt logique, voire réconfortant : on est moins exigeant sur les données, en échange on peut en dire quelque chose de plus vague...

6.2 Tests non paramétriques, inférence statistique et représentations graphiques associées

Comme pour les tests paramétriques, on peut associer un indice de crédibilité (un petit p) à un test non paramétrique. Le raisonnement est identique : nous formulons implicitement une hypothèse nulle H_0 du genre « Il n'y a pas de différence entre... et ... ». Par exemple, dans le cas d'un test de Mann-Whitney, H_0 correspond à : « Il n'y a pas de différence de moyenne des rangs de la variable entre les deux groupes comparés ». Comme on n'énonce en général pas de résultat sur les rangs, H_0 peut se formuler par : « les valeurs ne sont pas plus grandes ou plus petites dans l'un des deux groupes ».

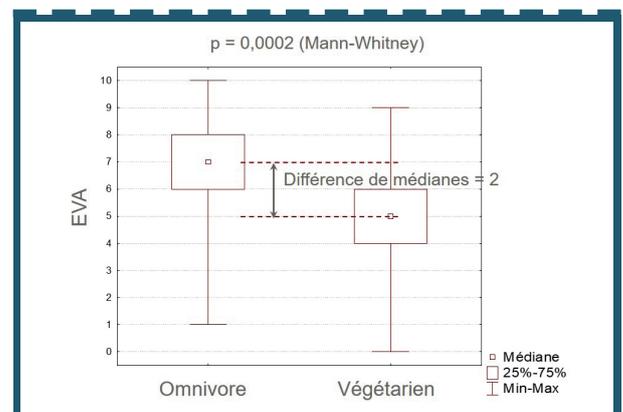


Figure 14 : Illustration d'un test de Mann-Whitney avec des boîtes à moustaches représentant la médiane, les quartiles à 25% et 75%, le min et le max des deux séries.



On fera particulièrement attention aux représentations graphiques associées aux tests non paramétriques. Trop souvent, on voit des moyennes et un petit p issu d'un test non paramétrique comme Wilcoxon ou Mann-Whitney sur le même graphique. Or, comme ces tests ne comparent pas les moyennes des valeurs, illustrer par des moyennes n'a pas de sens, et, pire, cela peut signifier que l'auteur ne comprend pas le test statistique qu'il a utilisé. Pour un test de Wilcoxon ou Mann-Whitney, il faut utiliser une représentation graphique avec des indicateurs de position. Il s'agit de la médiane, des quartiles, du min, du max... Ces indicateurs donnent des informations sur les valeurs qui séparent les sujets : en deux effectifs égaux pour la médiane, en 4 pour les quartiles. Ces indicateurs peuvent être repris dans une boîte à moustaches, comme celle de la Figure 14.

7 Etude du lien entre deux variables

Jusqu'à maintenant, nous avons parlé des différences entre des moyennes (ou des moyennes de rangs), calculées sur une même variable. Par exemple, nous avons parlé de la différence entre la moyenne des EVA dans un groupe de sujets et la moyenne des EVA dans un autre groupe de sujets. Ce qui définit le groupe est une variable de classement ou de catégorisation, par exemple le régime alimentaire, à 2 modalités.

Nous allons maintenant nous intéresser à la ressemblance qui peut exister entre deux variables distinctes. Par exemple : entre un score THI et une EVA, entre une EVA de gêne et une EVA d'intensité, entre un score d'intelligibilité avec réducteur de bruit et un score d'intelligibilité sans réducteur de bruit, etc. Il s'agit alors d'étudier si, quand l'une des variables croît, l'autre croît aussi, ou au contraire décroît ; est-ce que si cette tendance est avérée, on peut être plus précis ? S'il s'agit de deux variables quantitatives, quelle est la forme de la courbe qui relie les deux ? Est-ce qu'elle ressemble à une droite ? Que faire si les deux variables ne sont pas des variables quantitatives ?

7.1 Corrélation entre deux variables quantitatives et droite des moindres carrés

Revenons aux sujets acouphéniques, et considérons qu'ils sont évalués sur deux échelles : leur « score THI » (note entre 0 et 100) et l'EVA de gêne (note entre 0 et 10). On peut voir cela comme deux « dimensions », et dire que nos sujets sont caractérisés par deux coordonnées : leur THI et leur EVA. Evidemment beaucoup plus de dimensions les caractérisent, mais nous choisissons de projeter les individus dans cet espace en 2D.

Naturellement, on peut donc représenter le « nuage de points » correspondant, où chaque sujet est représenté par son abscisse (EVA ou score THI) et son ordonnée (la deuxième variable). On a représenté sur la Figure 15 un exemple (toujours fictif) d'un tel nuage de points. Chaque cercle représente un individu, qui est caractérisé par un couple de coordonnées (EVA, score THI). Par exemple, on retrouve l'individu n°154, déjà étiqueté sur le nuage simple de la Figure 1, qui a une EVA de 9,1 et un score THI de 72.

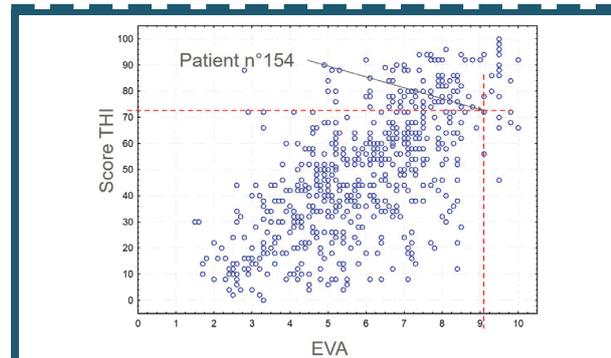


Figure 15 : Nuage de points en deux dimensions, où chaque individu est représenté par deux coordonnées : son EVA en abscisse et son score THI en ordonnée. Pour exemple, on a repéré l'individu 154, déjà étiqueté sur le nuage de points simple de la Figure 1.

Quand on regarde ce nuage de points, on peut noter plusieurs choses :

1. Il y a une tendance : les gens qui ont des EVA élevées (respectivement faibles) ont plutôt des scores THI également élevés (respectivement faibles).
2. À score THI donné (ou à EVA donnée), il peut y avoir plusieurs valeurs possibles d'EVA (respectivement de score THI). Par exemple, imaginez une ligne horizontale qui passerait par la valeur de THI = 40 : il y a de nombreux sujets sur cette ligne, qui correspondent à autant de valeurs d'EVA différentes. Idem, si l'on se place sur une droite verticale passant par une valeur d'EVA donnée, par exemple EVA = 4, il existe une grande étendue de valeurs possibles pour le THI : de 10 à 60 environ.
3. Il existe plusieurs personnes qui ne suivent pas la tendance générale : elles ont par exemple un THI bas et une EVA élevée, ou inversement.

L'observation n°1 va conduire beaucoup de personnes à se poser la question très saugrenue : « Est-ce que le score THI et l'EVA sont reliés par une droite ? ». Bien évidemment non, puisque le nuage est un vrai nuage, et non une droite parfaite. Mais on peut se demander dans quelle mesure une droite approche bien ce nuage.

Quelle est cette droite ? Elle s'appelle la **droite des moindres carrés**. Pour établir son équation, on (le logiciel) cherche le meilleur couple (a, b) tel que : « $\text{THI} = a + b \cdot \text{EVA}$ ». On montre en mathématiques que ce couple est unique ; c'est celui qui minimise l'erreur quadratique totale (somme de toutes les différences au carré entre les valeurs données par la droite et les valeurs réellement observées dans notre échantillon). Le logiciel va donc trouver la droite optimale au sens de ce critère, celle qui passe « le plus près possible de tous les points du nuage », et donner les valeurs de a et b correspondantes. Sur l'exemple de la Figure 15, l'équation donnée par le logiciel est $\text{THI} = -1,4 + 8,46 \cdot \text{EVA}$. Elle apparaît en rouge sur le graphique suivant (Figure 16).

Remarque importante : à ce stade, je n'ai fait aucune inférence statistique. Nous faisons des statistiques descriptives. Quelles que soient mes données, j'ai le « droit » de calculer l'équation de la droite des moindres carrés. En particulier, mes données n'ont pas à suivre une distribution normale ou autre, je n'ai aucune hypothèse à faire.

On parle aussi « d'ajustement linéaire » ou de **régression linéaire simple**. Ce terme, par opposition à « multiple », précise que le score THI n'est relié qu'à une seule autre variable : l'EVA. Dans cette terminologie, le score THI est appelé « **variable à expliquer** » (ou « dépendante »), et l'EVA est appelée « **variable explicative** » ou

« **indépendante** ». Attention à ce terme qui peut prêter à confusion, tout comme « à expliquer » et « explicative », car nous n'avons aucun moyen de dire qui explique quoi (relation causale) ; nous statuons seulement sur une association. On pourrait d'ailleurs tout à fait tracer l'EVA en fonction du score THI (je vous laisse inverser l'équation de la droite...). C'est le protocole, si c'est possible, qui peut aider à répondre à la question de la causalité, et non la mise en évidence mathématique de la liaison.

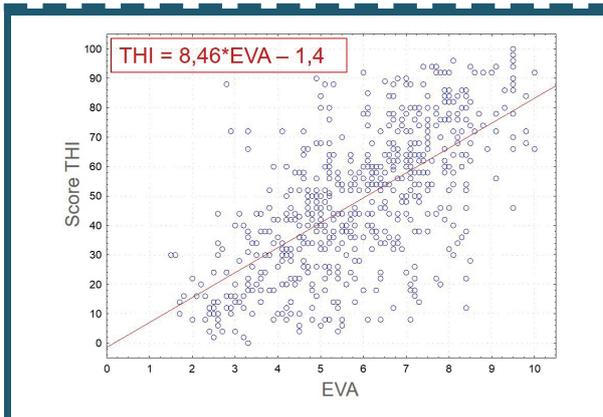


Figure 16 : Nuage de points avec interpolation par la droite des moindres carrés (en rouge), dont l'équation est « Score THI = - 1,4 + 8,46 * EVA ».

On peut s'interroger sur la pertinence de cette droite : pourquoi est-ce que l'EVA et le THI seraient liés par une relation aussi forte ? Evidemment, il s'agit d'un « modèle », et faire coller un modèle va permettre de tirer de l'information. On a l'habitude de quantifier la **force de la relation linéaire** par le **coefficient de détermination R^2** . Pour comprendre comment il est construit, et son lien avec la qualité d'ajustement du modèle linéaire, il faut introduire quelques notations sur notre exemple. Soient :

- \bar{y} la moyenne de tous les THI de notre échantillon
- y_i le score THI observé dans notre échantillon pour l'individu n^o
- \hat{y}_i le score THI de l'individu i calculé à partir de la droite des moindres carrés

Alors on peut écrire la formule de décomposition suivante :

$$\underbrace{\sum (y_i - \bar{y})^2}_{\text{Somme des carrés totale}} = \underbrace{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}_{\text{Somme des carrés expliquée}} + \underbrace{\sum e_i^2}_{\text{Somme des carrés résiduelle}}$$

Petit rappel de terminale : le signe Σ désigne la somme sur tous les individus, de $i = 1$ à n (si notre échantillon comporte 600 sujets, $n = 600$).

A partir de cette formule on peut introduire le coefficient de détermination, qui est le rapport entre la somme des carrés totale et la somme des carrés expliqués (par la droite) :

$$R^2 = \frac{\text{Somme des carrés expliquée}}{\text{Somme des carrés totale}} = \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

R^2 quantifie la part des variations de y expliquées par les variations de x . Il est compris entre 0 et 1, et s'exprime souvent en %. Par exemple : **$R^2 = 0,64$ signifie que 64% des variations de y sont expliquées par les variations de x .**

En particulier (cf. Figure 17) :

- $R^2 = 1$ signifie que tous les points sont alignés, le modèle de droite est parfait, il explique totalement les variations de y (score THI) par les variations de x (EVA).
- $R^2 = 0$ signifie que la droite n'a aucun intérêt, elle n'explique aucune des variations de y par celles de x (ou inversement).

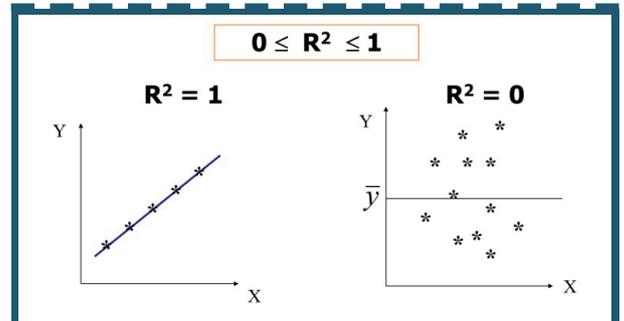


Figure 17 : Deux nuages de points extrêmes, montrant une relation linéaire parfaite (gauche) et une absence totale de relation linéaire (droite).

R est quant à lui le **coefficient de corrélation linéaire de Pearson**. On peut l'obtenir par une autre formule, qui fait intervenir la covariance entre x et y et les variances respectives de x et de y (pas détaillé ici).

R a le même signe que la pente de la droite des moindres carrés : si cette pente est positive (relation monotone croissante), les EVA et les THI sont corrélés positivement ; si la pente est négative, cela signifie que les EVA et les THI sont corrélés négativement. Evidemment, dans notre exemple, EVA et THI évoluent dans le même sens : la corrélation est positive.

Il est courant (mais empirique) de considérer les valeurs suivantes pour quantifier l'importance de la liaison linéaire entre x et y :

Valeur de R	Importance de la liaison linéaire	Valeur de R^2	Pourcentage de variance expliquée
0 – 0,2	Très faible	0 – 0,04	0 – 4%
0,2 – 0,4	Faible	0,04 – 0,16	4% – 16%
0,4 – 0,7	Moyenne	0,16 – 0,49	16% – 49%
0,7 – 0,9	Forte	0,49 – 0,81	49% – 81%
0,9 – 1	Très forte	0,81 – 1	81% – 100%

Tableau 3 : Valeurs empiriques communément admises pour quantifier l'importance de la liaison linéaire entre deux variables quantitatives, à partir du coefficient de corrélation linéaire R (Pearson).

NB : il faudra donc toujours être prudent, avec ce nombre R qui, parce qu'il est plus petit que 1 en valeur absolue, va être encore plus petit que 1 quand on va l'élever au carré...

Remarques : ces valeurs ne sont pas gravées dans le marbre, il s'agit simplement d'un petit guide pour se situer. Il n'est cependant pas raisonnable, comme on l'entend parfois, de « s'arranger avec ses résultats » en disant que dans un domaine on peut considérer telle valeur de R comme une corrélation forte, alors que dans un autre domaine elle serait plutôt faible...

Revenons à notre exemple des THI et des EVA et la Figure 16 : le logiciel fournit, en plus de l'équation de la droite des moindres carrés, la valeur du R (et donc du R^2) : $R = 0,65$ et $R^2 = 0,43$. On peut dire que « ce n'est pas mal » : la droite explique une petite moitié des variations de THI par les variations des EVA. Mais encore ? Je dirais : HEUREUSEMENT ! Cela signifie que toute l'information n'est



pas contenue dans une seule variable. Si la droite était parfaite, à quoi bon faire une mesure de THI en plus de celle de l'EVA ? Sans compter que ce serait très suspect, non ? Au contraire, ce résultat nous dit que nous avons raison d'évaluer les gens sur deux dimensions, car elles apportent chacune de l'information qui n'est pas apportée par l'autre. La part de variance du THI non expliquée par l'EVA vient d'autre chose, mais de quoi ? Ce n'est pas le propos de cet article, mais il faudrait sûrement introduire d'autres variables. C'est là qu'arrivent les modèles « multivariés » mentionnés plus haut sous le terme de régression multiple. Au lieu de regarder y en fonction de x, on regarde y en fonction de la combinaison linéaire d'une variable x_1 , d'une autre variable x_2 ,...

7.2 Régression linéaire et petit p

Jusque-là, nous avons tenu sans faire de statistique inférentielle, c'est-à-dire sans parler de petit p... Ne soyez pas inquiet, j'y viens. Pour calculer un petit p, il va falloir faire des hypothèses sur le terme d'erreur entre l'estimation du THI (par le modèle de la droite) et les valeurs réellement observées de THI dans l'échantillon. Cette erreur, qui s'appelle aussi « résidu », est souvent notée epsilon (ϵ) ; le modèle s'écrit alors, pour un individu i :

$$THI_i = a + b \cdot EVA_i + \epsilon_i$$

Nous n'allons pas passer trop de temps là-dessus, mais l'hypothèse qui rend les calculs de petit p licites est que les (ϵ_i) suivent une loi normale (centrée sur 0). Normalement, il faudrait toujours vérifier cette hypothèse après avoir réalisé une régression linéaire (les logiciels de statistiques proposent systématiquement un menu de vérification d'hypothèses sur les résidus).

Cependant, dans la pratique, on se contente souvent de regarder si la distribution des EVA et celle des scores THI sont normales. Sous cette condition, nous pouvons faire de l'inférence et calculer un petit p. En fait, on peut calculer plusieurs petit p : celui qui correspond à l'hypothèse H_0 formulée sur le coefficient a de la droite de régression, celui qui correspond à H_0 formulée sur le coefficient b, et celui sur R. Nous nous concentrons sur le petit p associé à R, puisque c'est lui que l'on voit partout...

Le petit p associé au coefficient de corrélation R vient du test d'hypothèses suivant :

- $H_0 : R = 0$
- $H_1 : R \neq 0$

Il est très important de réaliser que le petit p associé à un coefficient de corrélation est basé sur CE test d'hypothèse. Ainsi, un petit p < 0,05 permet UNIQUEMENT de conclure que R est statistiquement différent de 0.

On peut montrer que :

$$R \text{ significatif au seuil de } 0,05 \Leftrightarrow |R| \geq \frac{2}{\sqrt{n+2}}$$

Conséquence très importante : dès que n

est « grand », une petite valeur de R peut devenir statistiquement significative... Exemple : pour $n = 34$ la quantité $\frac{2}{\sqrt{n+2}}$ vaut $2/6 =$

0,33... Toute valeur de R supérieure ou égale à 0,33 va donc être statistiquement significative. Or $R = 0,33$ donne un R^2 d'environ 0,1 soit une explication d'environ 10% des variations d'une variable par l'autre. Autant dire que le modèle linéaire, dans ce cas, n'a pas grand intérêt... Je vous laisse faire les calculs pour des n plus petits ou plus grands. Décidément, dans les grands échantillons, tout devient statistiquement significatif... Nouvelle pause pour méditer...

Nous arrivons à une autre remarque intéressante, qui doit encore vous convaincre de bien regarder vos nuages de points, d'être critiques devant certaines valeurs de R et certaines droites de régression, ou encore quand l'auteur ne montre pas le nuage de points associé. La Figure 18 représente une variante du « quartet d'Anscombe », statisticien ayant publié pour la première fois en 1973 quatre nuages de points ayant les « mêmes statistiques » mais n'ayant pas grand-chose à voir visuellement. Cette version-là est postée par la communauté de statisticiens JMP sur https://www.jmp.com/en_us/about.html

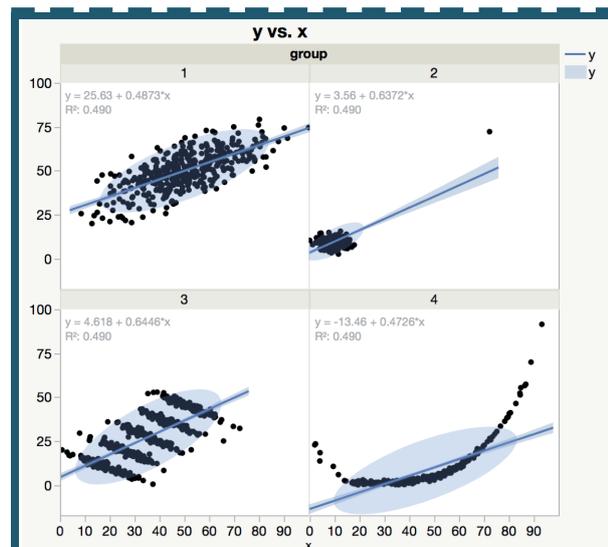


Figure 18 : Variante du quartet d'Anscombe, montrant 4 nuages de points très différents, cependant modélisés par la même droite des moindres carrés et le même coefficient de détermination R^2 (corrélation linéaire « moyenne »). Le nuage 1 en haut à gauche est le seul qui mérite qu'on y fasse passer une droite. Le nuage 2 montre un point « levier », qui tire à lui seul toute la droite. Il serait intéressant de refaire le calcul de la droite sans ce point... Le nuage 3 montre une sous-structure évidente qui va dans le sens opposé de la pente de la droite (il faut certainement regarder de plus près la sous-structure); malheureusement, un calcul « bête » sur l'ensemble des points du nuage mène inéluctablement à cette belle droite. Enfin, le nuage 4 montre une relation entre x et y qui n'est certainement pas linéaire ; la droite est très peu informative de la véritable association entre les deux variables.

7.3 Corrélation sur les rangs : le R de Spearman

Lorsque les résidus du modèle linéaire ne suivent pas une loi normale, on ne peut pas faire d'inférence sur le coefficient de corrélation linéaire. On a alors deux choix : soit les résidus suivent une autre loi que la loi normale et présentent une structure évidente, auquel cas on peut transformer les données pour faire apparaître cette structure et faire une régression linéaire sur les données ainsi transformées. L'autre possibilité est de ne faire aucune hypothèse, et de travailler sur les rangs des données. **Le coefficient de corrélation sur les rangs s'appelle le R de Spearman.**

Première remarque importante : accompagner un R de Spearman avec une belle droite de régression passant par le nuage de points n'est pas cohérent. Si on a calculé un R de Spearman, c'est justement parce que la droite n'est pas un bon modèle. C'est exactement la même erreur que lorsqu'on illustre le résultat d'un test de Wilcoxon avec des moyennes...



Deuxième remarque : transformer les données en rangs permet d'explorer une relation non linéaire, mais il faut qu'elle reste « monotone ». Par exemple dans le cas d'une relation quadratique entre x et y ($y = x^2$), le R de Pearson vaut 0, et le R de Spearman vaut tout autant 0. En effet, à x et $(-x)$ donnés correspond la même valeur de y . Cette relation n'est pas monotone, il y a pour chaque couple $(x ; -x)$ le même rang moyen. Donc il n'y aura pas plus de relation linéaire entre les rangs des données qu'entre les données elles-mêmes.

On note parfois le R de Spearman par la lettre grecque « Rho » : ρ , pour le différencier du R de Pearson.

De manière générale, il faudra se méfier des cas où le ρ de Spearman et le R de Pearson sont très différents. En général, leurs valeurs sont proches, mais ce sont les conditions de calcul du petit p qui sont différentes. En effet, nous pouvons calculer un petit p associé à un ρ de Spearman. Il est de nouveau issu d'un test d'hypothèses :

- $H_0 : \rho = 0$
- $H_1 : \rho \neq 0$

Et comme nous avons perdu la « puissance » donnée par les tests paramétriques, ρ est souvent moins facilement statistiquement significatif qu'un R (de Pearson) calculé sur les mêmes données (nous retrouvons des résultats similaires au test non paramétrique de Mann Whitney). Autrement dit : il faut souvent un peu plus d'individus pour atteindre la même significativité statistique sur ρ que sur R . N'attendons donc pas de miracle de ce côté-là, mais gardons en tête que c'est le bon test à faire si nous voulons associer un petit p et que le modèle linéaire n'est pas adapté à notre nuage de points.

7.4 Données qualitatives et autres mesures d'association non paramétriques : le test du Khi-2

La grande star de ce paragraphe s'appelle **Khi-deux**, « **Chi Square** » en anglais, noté avec la lettre grecque : χ^2 .

Dès que l'on cherche à savoir s'il existe une liaison entre deux variables catégorielles (indépendantes), on réalise un test du χ^2 . Notons que ce test ne s'applique pas quand les variables sont dépendantes, ou appariées, par exemple quand on collecte une variable catégorielle chez les mêmes sujets dans deux conditions différentes (par exemple avant/après traitement).

Donc, lorsque deux variables sont catégorielles et que l'on cherche à savoir si elles sont liées, on réalise un test du Khi-deux. Il faut avant cela introduire ce qu'on appelle un **tableau de contingence**, ou tableau croisé (cf. tableau croisé dynamique sous Excel), « **cross-tabulation** » en anglais. Nos individus étant caractérisés, entre autres, par deux variables catégorielles, on compte le nombre d'individus qui ont telle catégorie de la première variable et telle catégorie de la deuxième variable.

Par exemple, supposons que l'on connaisse, pour nos sujets acouphéniques : le régime alimentaire codé en 3 modalités (végan, végétarien, omnivore) et le signe du zodiaque, donc codé sur 12 modalités. On construit le tableau à $3 \times 12 = 36$ cases (3 lignes et 12 colonnes ou le contraire), issu du croisement des modalités de chaque variable prises deux à deux : végan et Bélier, végan et Taureau, ..., omnivore et Poissons.

Sur un échantillon de n personnes, on peut se poser la question de savoir s'il y a « **indépendance** » ou « **équi-répartition** » entre les deux variables, dans la population TOTALE, c'est-à-dire s'il y a autant de gens de chaque signe qui sont soit végétariens, soit végétariens, soit omnivores, ou si, au contraire, il y a une tendance à ce que les gens de certains signes du zodiaque mangent plutôt végan qu'autre chose... Evidemment nous ne saurions pas pourquoi, mais là n'est pas notre propos. S'il n'y a pas « équi-répartition », on dit que les variables sont « liées », qu'elles ne sont pas indépendantes.

Pour statuer sur la « **force de la liaison** », on regarde la valeur du Khi-deux qui est calculé à partir du tableau de contingence. Ce calcul fait intervenir les effectifs observés sur l'échantillon et les effectifs théoriques, c'est-à-dire les effectifs attendus si jamais il y a équi-répartition en VRAI. Le Khi-deux donné par le logiciel est assorti d'un nombre de degrés de liberté (« ddl » ou « df » en anglais, pour « degrees of freedom »), qui est égal au $(\text{nombre de lignes} - 1) \times (\text{nombre de colonnes} - 1)$.

On peut faire de l'inférence sur le khi-deux en l'accompagnant d'un petit p , associé au test d'hypothèses suivant :

- $H_0 : \chi^2 = 0$
- $H_1 : \chi^2 \neq 0$

On ne va pas donner les détails du calcul ici, mais, en gros : plus le χ^2 calculé sur notre échantillon est grand, plus la probabilité d'observer une telle valeur, si en réalité le χ^2 était nul sur la population totale, est faible. Encore une fois, les valeurs de petit p petites sont associées à des valeurs de χ^2 grandes. En pratique, c'est le logiciel qui calcule le nombre de ddl, le χ^2 associé et son petit p .

Attention à la conclusion d'un tel test : si le petit p est faible (inférieur à 0,05), alors on rejette l'hypothèse nulle selon laquelle $\chi^2 = 0$ (hypothèse d'indépendance des deux variables). Dans ce cas, on conclut donc que les deux variables qualitatives sont liées. Normalement, si $p > 0,05$, on ne sait pas conclure. On ne peut pas rejeter H_0 . En pratique, on conclut quand même, simplement parce qu'on ne sait pas faire autre chose, et l'on dit que les deux variables sont indépendantes l'une de l'autre.

Dans le cas des sujets acouphéniques dont on connaît le signe du zodiaque et le régime alimentaire : un petit $p < 0,05$ signifie qu'il n'y a pas indépendance entre le régime et le signe du zodiaque (quel exemple tordu). Ensuite, pour savoir quel signe mange plutôt quoi, il faut regarder les cellules du tableau, et parfois ce n'est pas évident.

Un conseil, quand on regarde le croisement de deux variables qualitatives, est de ne pas avoir « trop de catégories » pour chaque variable, d'autant plus si on a peu de sujets (c'est logique). Par exemple, si on était vraiment intéressé par cette question du signe du zodiaque, peut-être que l'on commencerait à dégrossir en découpant en 4 classes et non 12 : signes d'eau, de terre, de feu ou d'air (j'ai demandé à une spécialiste). Cette remarque est valable pour n'importe quel découpage en classes d'une variable quantitative. Par exemple, on transforme souvent l'âge en classes d'âges. Le contexte et les données de l'échantillon doivent nous guider pour définir les bornes des classes et leur nombre.

Remarque sur le khi-deux et les facteurs de confusion : on fait souvent un test du khi-deux pour explorer des biais possibles qui pourraient compromettre l'interprétation d'autres analyses. Dans notre exemple sur les acouphéniques dont on étudie le lien entre l'EVA et le régime alimentaire, nous avons montré une différence entre les omnivores et les végétariens. Or, dans notre échantillon, il y a des femmes et des hommes. Et il se peut que la différence entre



omnivores et végétariens soit en fait une différence entre hommes et femmes. Il faut alors vérifier qu'il n'y a pas de lien entre le régime alimentaire et le sexe, sinon nous ne pouvons simplement pas conclure sur l'impact du régime. Typiquement, dans ce cas, on croiserait les deux variables « régime » et « sexe », et la valeur du Khi-deux associé nous conduirait à statuer sur la présence d'un biais (par exemple une sur-représentation des végétariens chez les femmes) ou pas.

8

Divers

8.1 Le drame du petit p supérieur à 0,05

Bien souvent, les étudiants, parce qu'ils ont aussi été « poussés » à cela, sont désespérés quand leurs résultats ne sont pas statistiquement significatifs. Bien souvent, ils essaient de « manipuler » ou « tordre » les hypothèses de départ pour pouvoir conclure quand même, comme si le petit $p < 0,05$ était le saint Graal. Au contraire ! Il faut savoir commenter, interpréter et utiliser un tel résultat. Il ne faut pas avoir peur de soutenir que c'est aussi un résultat. Rappelons notre démarche scientifique :

- Formuler une hypothèse.
- Construire une expérience afin de l'éprouver.
- Conclure à partir des données récoltées.

C'est le mathématicien et biologiste R.A. Fisher (1890 – 1962) qui a, le premier, introduit la notion du petit p . Il travaillait dans un contexte d'expérimentation appliquée, et réalisait des séries d'expériences. Voici un extrait de l'excellent document, plein d'humour, qui se nomme « Statistiques pour Statophobes » (voir les références bibliographiques) : « Le seuil de $\alpha = 0,05$ est un simple premier crible. Lorsque $p > 0,05$ (test « non significatif ») Fisher préfère passer à autre chose car il effectue un travail de défrichage, il y a beaucoup d'effets à découvrir et la vie est courte, mais si $p < 0,05$, Fisher ne crie pas sur les toits « Hourrah ! Les amis, j'ai découvert un effet ! ». Il se contente de conclure que ce traitement vaut la peine qu'on s'y intéresse, et lance une série d'expériences pour essayer de répliquer l'effet qu'il a peut-être découvert. C'est seulement lorsqu'on connaît un protocole tel qu'une probabilité de $p < 0,05$ est presque systématiquement obtenue répétition après répétition de l'expérience, qu'il s'estime satisfait. **Cette attitude est à des années-lumière de la manière moderne d'utiliser les tests.** »... Je vous invite à lire la suite, très intéressante, et qui vous fera relativiser l'importance de ce petit p , et vous incitera à ne pas tirer de conclusions ayant un caractère définitif à partir d'une seule valeur de petit p , aussi petite fût-elle...

Ces réflexions sont largement d'actualité, elles constituent notamment le sujet de l'article paru récemment dans la revue Nature, cité à la fin des références bibliographiques (l'extrait vulgarisé dans Sciences et Avenir, en français, en donne un bon aperçu).

8.2 Manque de puissance ?

On entend et on peut souvent lire, devant un petit $p > 0,05$: « le test n'était peut-être pas assez puissant ». Certes... La **puissance** d'un test est la probabilité qu'il mette en évidence un effet (par exemple une différence) s'il existe en vrai (c'est-à-dire dans la population totale). On la note $P = 1 - \beta$, où β est le « risque de deuxième espèce ».

On va ainsi plus loin que le simple rejet ou non-rejet de H_0 : en cas de rejet de H_0 , on accepte H_1 (l'hypothèse alternative), avec une probabilité β de se tromper en le faisant. On fixe β à 10, 15 ou 20% en général, ce qui nous donne respectivement une puissance de 90%, 85% ou 80%. Dans le cas simple d'une différence de moyennes entre deux groupes, quand on a fixé α et β , que l'on connaît la plus petite différence que l'on veut pouvoir montrer statistiquement (on veut pouvoir dire qu'elle n'est pas due au hasard), et que l'on connaît l'allure des distributions de données qu'on va récolter (mais si on le sait pourquoi fait-on une expérience ?!), alors le logiciel sait calculer le fameux nombre de sujets nécessaire.

Les calculs de nombre de sujets sont compliqués (il s'agit d'inversions de formules à plusieurs variables), et l'on a recours à des tables ou des logiciels. Rien ne sort du chapeau, il faut définir plusieurs hypothèses, qui sont des hypothèses de travail. Par exemple, dans le cas le plus simple d'une différence de moyennes (t-test), il faut définir :

- La plus petite différence de moyennes que l'on souhaite mettre en évidence
- L'écart-type dans chacun des deux groupes
- La valeur de α (en général 0,05, test bilatéral)
- La valeur de la puissance recherchée (au minimum 80%).

Si l'on fait une expérience, il faut regarder ce que d'autres expériences « similaires » ont déjà donné. Cela suppose qu'elles aient été publiées et, malheureusement, beaucoup de résultats non statistiquement significatifs ne sont pas publiés (pour la seule raison qu'ils sont non statistiquement significatifs). On ira aussi consulter des sources réputées moins fiables, car non parues dans des revues à comité de lecture, cependant intéressantes à consulter.

Il est toujours informatif et donc recommandé de faire plusieurs scénarii (pessimistes et optimistes), quand on ne sait pas grand-chose (études exploratoires), et de comprendre à l'avance ce que l'on sera capable de montrer si on est contraint dès le départ par un nombre de sujets « faible » en pratique (ce qui est souvent le cas).

8.3 Traitement des réponses à des questionnaires

Le traitement des questionnaires (essentiellement de qualité de vie) dépend du type de réponses demandées. Il peut s'agir de :

1. **Réponses quantitatives.** Les questions appellent une réponse continue, par exemple de 0 à 10 (comme une EVA). On peut citer le SSQ, dont chaque réponse doit être reportée sur une règle graduée. L'ERSA présente aussi une échelle de 0 à 10.
2. **Réponses catégorielles ordinales.** C'est la majorité des questionnaires. Citons : le THI, l'APHAB, le HHIES, l'IOI-HA...
3. **Réponses catégorielles non ordinales.** Il en existe peu dans notre domaine ; il peut s'agir de questionnaires ad hoc, où les réponses ne contiennent pas de notion d'ordre. Par exemple, une question peut concerner une préférence pour un réglage d'aide auditive.

Les réponses à un questionnaire doivent être vues comme des variables statistiques, auxquelles on applique donc les méthodes exposées dans cet article. Comme un questionnaire contient plusieurs questions, il y a donc un ensemble de variables à traiter. On commence en général par faire des statistiques descriptives : s'il s'agit de réponses quantitatives, on pourra calculer des moyennes, médianes, etc. S'il s'agit de variables catégorielles, on fera des tris à plat (nombre de sujets dans chaque catégorie de réponses, pour une question donnée).

Il faudrait normalement faire attention aux réponses de type 2 : les catégorielles ordinales. Il faut se demander s'il y a une échelle continue linéaire derrière, ou pas. Par exemple, le traitement des réponses à l'APHAB est souvent très « limite ». En effet, les 7 modalités de réponses de A à G correspondent aux réponses : « toujours, presque toujours, en général, la moitié du temps, parfois, rarement, jamais ». Ces réponses viennent des percentiles des distributions de réponses possibles. Donc traiter des réponses à l'APHAB comme des échelles linéaires n'est pas rigoureux.

De manière générale, il est très tentant de traiter les réponses comme des variables continues, et d'en faire la moyenne par exemple. Il ne faut pas être trop rigide, mais se poser le sens que cela a... Dans ce même esprit, il faudrait en toute rigueur ne pas traiter les seuils d'audiométrie recueillis par pas de 5 dB comme des variables quantitatives, surtout quand on sait que la perception de l'intensité sonore n'est certainement pas linéaire, mais tout le monde le fait... Il ne s'agit pas d'être rigide ou de faire du zèle, il s'agit une fois de plus de se demander le sens que l'on va attribuer à un petit p calculé sur une succession de transformations plus ou moins licites sur les données brutes (elles-mêmes très soumises à la subjectivité des réponses...).

Parfois, les auteurs d'un questionnaire (validé) proposent un score composite ; on peut citer l'exemple du THI, où l'on attribue 0/2/4 points à chaque réponse pour construire un score sur 100. Il peut ensuite être intéressant de le découper en classes, comme le grade THI (5 grades). Vu les traitements successifs infligés aux réponses brutes, on fera donc attention à ne pas considérer le grade final comme une échelle linéaire ! Le traitement statistique qui s'impose est bien celui d'une variable catégorielle.

Après avoir décrit, on peut chercher à expliquer. On pourra relier les réponses à des questionnaires à des variables de classement. On fera alors des t-tests et des ANOVA si la variable « réponse » est quantitative. Si elle est catégorielle il s'agira de tableaux croisés (de contingence) et de tests du Khi-deux.

8.4 Nous n'avons pas parlé d'épidémiologie

Dans tout ce qui précède, nous avons fait de l'expérimentation. Quand l'expérimentation n'est pas possible, on observe... La réalité observée est celle qui se présente à l'observateur, sans qu'il intervienne, sans qu'il puisse influencer sur certains facteurs. Il est alors nécessaire de collecter un grand nombre de données, car beaucoup de facteurs non connus ou non maîtrisés peuvent expliquer les observations. C'est le champ de l'épidémiologie, qui sort du cadre de ce cours, mais dont nous pouvons dire quelques mots.

En épidémiologie on parle d'**enquête** plutôt que d'étude, et l'on en distingue 3 grands types :

1. Enquêtes de **cohorte**
2. Enquêtes **cas-témoins**
3. Enquêtes **transversales**

Quelques mots sur les deux premières :

- Dans une **enquête de cohorte**, on recrute des sujets qui sont exposés à un « risque », et d'autres qui ne le sont pas, et on les suit au cours du temps. Il s'agit donc d'une étude **longitudinale prospective**. On va observer le développement d'une maladie donnée dans les deux groupes. Tous ces termes s'entendent au sens large, et sont en fait génériques. Par

exemple, l'exposition peut être, dans notre domaine, l'exposition au bruit, et la maladie peut être la déficience auditive (ne polémiqons pas sur l'emploi du terme « maladie » pour parler de surdité, merci !).

- L'enquête **cas-témoins** est au contraire **rétrospective**. On recrute dans la population des personnes « atteintes d'une maladie » : ce sont les « cas ». On recrute également des personnes qui n'ont pas cette maladie, ce sont les « témoins ». On cherche alors à savoir si, dans leur passé, les sujets ont été exposés ou pas à un certain facteur. Pour reprendre le même exemple que précédemment, les « cas » sont les gens « sourds », et les témoins sont les normo-entendants. L'exposition peut être l'exposition au bruit (ou la prise d'un certain médicament, par exemple).

Les deux types d'enquêtes répondent à des problématiques différentes (par exemple maladies rares pour les enquêtes « cas-témoins » et expositions rares pour les enquêtes de cohorte). Les indicateurs statistiques sont des **risques** et des « **odds-ratio** » (« rapport de cote », comme pour la cote d'un pari). Nous renvoyons par exemple à l'abrégié de médecine (Ed. Masson) sur l'épidémiologie pour ceux qui souhaitent aller plus loin.

10 Conclusion

Nous avons fait un petit tour des principaux tests statistiques, à partir d'un exemple fictif. Je concède qu'il y a un certain parti pris dans le ton. Je souhaite pour autant ne pas me poser en donneuse de leçon, j'essaie juste de transmettre ce que j'ai compris à force de pratiquer dans notre domaine. Je précise aussi que ce cours n'est pas exhaustif.

Voici quelques points pour résumer :

- Regardez vos données, et quand ce ne sont pas les vôtres, restez critique.
- Restez critique aussi si ce sont les vôtres, et soyez raisonnable sur ce que vous allez leur faire dire.
- Un résultat non statistiquement significatif n'est pas la fin du monde, peut-être même le contraire...

Ce cours contient des approximations, parfois au détriment d'une certaine rigueur mathématique. J'en suis désolée.

Enfin, pour expliquer le succès du petit p : je pense que nous

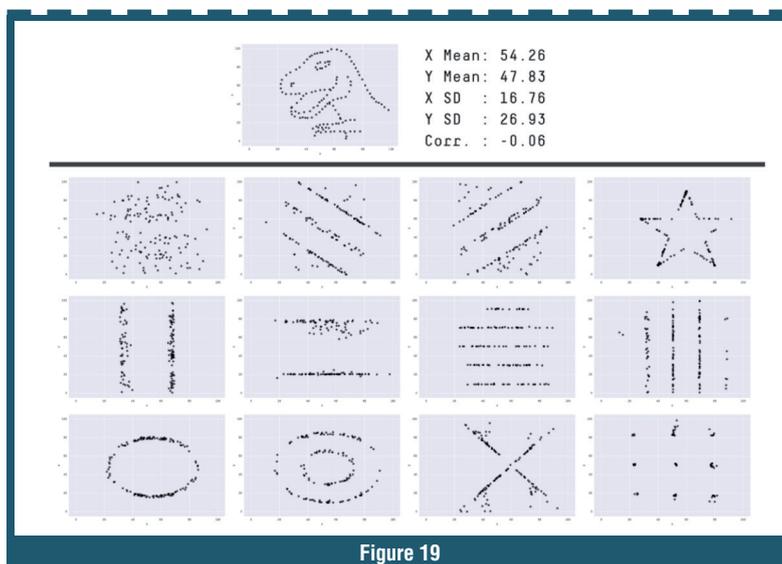


Figure 19



souhaitons tous que la réalité soit résumable par une seule chose, quelque chose de simple, Malheureusement la plupart du temps, et en l'occurrence dans notre domaine, cela n'est pas possible. Si nous avons abordé ce cours par la recherche clinique, nous aurions commencé par parler d'essai contrôlé randomisé (« gold standard »), dont le calcul du nombre de sujets nécessaire repose sur un seul objectif (quantifié). Ce « gold standard » est lui aussi de plus en plus critiqué, mais il s'est imposé car il est facile à comprendre.

Nous n'avons pas parlé de statistique bayésienne, qui est une manière plus rigoureuse, et ancienne, de « remonter des effets aux causes ». On parle d'inférence bayésienne, par opposition à l'inférence « classique » ou « fréquentiste » (celle qui nous a occupés ici). Elle requiert de définir, a priori (avant l'expérimentation) la distribution de probabilité d'un paramètre que l'on veut estimer (par exemple la moyenne). Cette distribution a priori modélise la connaissance antérieure que nous avons du sujet (avis d'experts, résultats publiés antérieurement). Le théorème de Bayes permet ensuite de calculer la probabilité a posteriori, par exemple la probabilité d'observer telle moyenne étant données les valeurs observées dans l'expérience. Grâce à la puissance de calcul actuelle, ce champ est en plein développement, y compris dans le dispositif médical. Il est particulièrement employé dans des domaines de la santé où l'on a besoin de faire des analyses intermédiaires pour stopper ou poursuivre un essai clinique, quand le nombre de sujets est faible et « couteux » (pénible pour les patients et économiquement pour la société), typiquement en oncologie.

Je terminerai avec la figure 19, tirée d'un article intitulé « Same Stats, Different Graphs » (voir la biblio), que je vous laisse commenter et apprécier.

Et sans transition, je souhaite adresser un grand merci à Bénédicte Philibert, pour sa relecture avisée !

11

Biblio non académique

D. Poinso, « Statistiques pour statophobes », 2004, en ligne : https://perso.univ-rennes1.fr/denis.poinso/Statistiques_%20pour_statophobes/STATISTIQUES%20POUR%20STATOPHOBES.pdf

Manuels en ligne de bons logiciels de statistique : R, SPSS, Statistica, SAS, Stata, XLSTAT.

J. Bouyer, « Méthodes statistiques – Médecine – biologie », Editions INSERM, ESTEM

B. Falissard, « Comprendre et utiliser les statistiques dans les sciences de la vie », Collection Abrégés, Ed. Masson

D. Rowntree, « Statistics without tears, an introduction for non-mathematicians », Ed. Penguin

N. Gauvrit, « Statistiques, méfiez-vous ! », Ed. Ellipses

D.C. Howell, « Statistical Methods for Psychology » (5th ed., 2002). Pacific Grove CA: Duxbury.

P. Czernichow, J. Chaperon, X. Le Coutour, « Epidémiologie », Collection Abrégés, Ed. Masson

D. G. Altman, D. Machin, T. N. Bryant, M. J. Gardner, « Statistics with Confidence », 2000, Ed. Wiley-Blackwell

J. Matejka, G. Fitzmaurice, « Same Stats, Different Graphs: Generating Datasets with Varied Appearance and Identical Statistics through Simulated Annealing », Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, p. 1290-1294, DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/3025453.3025912>

V. Amrhein, S. Greenland, B. McShane, « Retire statistical significance and more than 800 signatories », <https://www.nature.com/magazine-assets/d41586-019-00857-9/d41586-019-00857-9.pdf> vulgarisé et en français dans Sciences et Avenir : « 800 scientifiques s'insurgent contre l'interprétation « biaisée » des résultats dans les études » : https://www.sciencesetavenir.fr/fondamental/mathematiques/96-des-etudes-biomedicales-biaisees-dans-leurs-conclusions_133151

Récapitulatif des principaux tests statistiques

T-test (test de Student) pour groupes parallèles (ou indépendants)

Objectif	Comparer les moyennes d'une variable X continue mesurée dans deux groupes de sujets différents
Exemples	- Comparer les moyennes de SRT mesuré chez des sujets femmes (groupe 1) et des sujets hommes (groupe 2) - Comparer les moyennes des EVA de douleur chez des sujets végétaliens et des sujets omnivores quand on leur présente une assiette de charcuterie
Conditions d'application	- Si $n_1 \geq 30$ et $n_2 \geq 30$: aucune condition sur X - Si n_1 ou $n_2 < 30$: les distributions de X dans les deux populations sont normales et de même variance
Interprétation	Si petit $p < 0,05$ on conclut à une différence statistiquement significative des moyennes entre les deux groupes.
Représentations graphiques associées	Boîtes à moustaches avec la moyenne et l'intervalle de confiance pour chaque groupe.

Alternative non paramétrique au t-test : test de Mann-Whitney (test des rangs signés)

Objectif	Comparer les ordres des valeurs de X dans deux groupes de sujets différents. X peut être continue ou catégorielle ordinale
Exemples	- Comparer les valeurs de SRT mesuré chez des sujets femmes (groupe 1) et des sujets hommes (groupe 2) - Comparer les réponses à une question (variable X) dont les réponses sont ordonnées. Ex : grades THI (5 valeurs possibles ordonnées) entre un groupe de sujets acouphéniques végétaliens et un groupe de sujets acouphéniques omnivores.
Conditions d'application	Aucune condition, adapté aux échantillons de taille < 30 quand la distribution de X n'est pas normale
Interprétation	Si petit $p < 0,05$ on conclut à une différence statistiquement significative des moyennes des rangs entre les deux groupes. On conclut donc souvent sur la différence des médianes.
Représentations graphiques associées	Boîtes à moustaches avec la médiane, les quartiles, et les extrêmes pour chaque groupe.



T-test (test de Student) pour sujets appariés	
Objectif	Comparer les moyennes d'une variable X continue mesurée deux fois dans des conditions différentes ou à deux instants chez un même groupe de sujets
Exemples	<ul style="list-style-type: none"> - Comparer les moyennes de SRT mesuré chez des sujets avant et après un mois d'appareillage - Comparer les moyennes des fréquences cardiaques chez des sujets avant et après avoir couru un marathon
Conditions d'application	Par définition : $n_1 = n_2$ (on travaille sur des paires). On note n le nombre de sujets. - Si $n \geq 30$: aucune condition - Si $n < 30$: la distribution des différences de X entre les deux conditions est normale
Interprétation	Si petit $p < 0,05$ on conclut à une différence statistiquement significative de la moyenne de X entre les deux conditions
Représentations graphiques associées	Boîtes à moustaches avec la moyenne et l'intervalle de confiance pour chaque condition.
Alternative non paramétrique au t-test pour sujets appariés : test de Wilcoxon	
Objectif	Comparer les ordres d'une variable X mesurée deux fois dans des conditions différentes ou à deux instants chez un même groupe de sujets. X peut être continue ou catégorielle ordinale
Exemples	<ul style="list-style-type: none"> - Comparer les valeurs de SRT mesuré chez des sujets avec deux réglages différents (ex : avec et sans réducteurs de bruit). - Comparer les réponses à une question (variable X) dont les réponses sont ordonnées. Ex : grades THI (5 valeurs possibles ordonnées) chez des sujets acouphéniques récoltées avant appareillage et après 3 mois d'appareillage.
Conditions d'application	Aucune condition, adapté aux échantillons de taille < 30 quand la distribution des différences de X entre les deux conditions n'est pas normale
Interprétation	Si petit $p < 0,05$ on conclut à une différence statistiquement significative des moyennes des rangs entre les deux conditions. On conclut donc souvent sur la différence des médianes.
Représentations graphiques associées	Boîtes à moustaches avec la médiane, les quartiles, et les extrêmes pour chaque condition.
ANOVA (paramétrique) à 1 facteur non répété	
Objectif	Comparer les moyennes d'une variable X continue mesurée dans plus de deux groupes de sujets différents
Exemples	<ul style="list-style-type: none"> - Comparer les moyennes de SRT mesuré chez des sujets implantés cochléaires avec 4 marques d'implant : A, B, C, D. - Comparer les moyennes des EVA de douleur chez des sujets végétaliens (groupe 1), des sujets végétariens (groupe 2), et des sujets omnivores (groupe 3) quand on leur présente une assiette de charcuterie
Conditions d'application	Distribution normale de X dans chaque groupe et égalité des variances. Si chaque échantillon est de taille > 30 , on peut se passer de ces hypothèses (et bonne robustesse par rapport à la violation de celle d'homoscédasticité).
Interprétation	Si petit $p < 0,05$ on conclut à une différence statistiquement significative entre au moins une paire de moyennes parmi toutes les paires possibles. Pour savoir quelles moyennes diffèrent, on réalise des tests post hoc (typiquement Bonferroni). Cela revient (presque) à réaliser plusieurs t-tests avec un risque de 5% divisé par le nombre de comparaisons 2 à 2.
Représentations graphiques associées	Boîtes à moustaches avec la moyenne et l'intervalle de confiance pour chaque groupe.
ANOVA non paramétrique à 1 facteur non répété : ANOVA de Kruskal-Wallis	
Objectif	Comparer les ordres des valeurs de X dans plus de deux groupes de sujets différents. X peut être continue ou catégorielle ordinale.
Conditions d'application	Aucune condition, adaptée quand les résidus d'une ANOVA paramétrique ne suivent pas une loi normale. Dans la pratique : adapté quand l'une au moins des distributions de X par condition n'est pas normale ou que l'une au moins des variances diffère d'une autre variance, dans le cas de variables continues. Adapté également aux variables ordinales.
Interprétation	Si petit $p < 0,05$ on conclut à une différence statistiquement significative entre au moins une paire de moyennes des rangs parmi toutes les paires possibles. Comme on travaille sur les rangs, cela revient à statuer sur une différence statistiquement significative entre au moins une paire de médianes parmi toutes les paires possibles. Pour savoir quelles médianes diffèrent, on réalise des tests post hoc (typiquement Bonferroni). Cela revient (presque) à réaliser plusieurs tests de Mann-Whitney avec un risque de 5% divisé par le nombre de comparaisons 2 à 2.
Représentations graphiques associées	Boîtes à moustaches avec la médiane, les quartiles, et les extrêmes pour chaque condition.



ANOVA (paramétrique) à 1 facteur répété	
Objectif	Comparer les moyennes d'une variable X continue mesurée plus de deux fois dans des conditions différentes ou à plus de deux instants chez un même groupe de sujets
Exemples	<ul style="list-style-type: none"> - Comparer les moyennes de SRT mesuré chez des sujets avant appareillage, à 1 mois, 3 mois puis 6 mois d'appareillage - Comparer les moyennes des fréquences cardiaques chez des sujets avant un marathon, 2 secondes après l'arrivée, 1 heure après, 2 jours après...
Conditions d'application	Distribution normale de toutes les différences $X_i - X_j$ (groupes i et j) et égalité des variances des distributions des différences. Si chaque échantillon est de taille > 30 , on peut se passer de ces hypothèses. La condition sur les variances des distributions de différences est appelée hypothèse de sphéricité et se teste avec le test de Mauchly.
Interprétation	Si petit $p < 0,05$ on conclut à une différence statistiquement significative entre au moins une paire de moyennes parmi toutes les paires possibles. Pour savoir quelles moyennes diffèrent, on réalise des tests post hoc (typiquement Bonferroni). Cela revient (presque) à réaliser plusieurs t-tests pour groupes appariés avec un risque de 5% divisé par le nombre de comparaisons 2 à 2.
ANOVA non paramétrique à 1 facteur répété : ANOVA de Friedman	
Objectif	Comparer les ordres d'une variable X mesurée plus de deux fois dans des conditions différentes ou à plus de deux instants chez un même groupe de sujets. X peut être continue ou catégorielle ordinale.
Exemples	<ul style="list-style-type: none"> - Comparer les valeurs de SRT mesuré chez des sujets avec deux réglages différents (ex : avec et sans réducteurs de bruit). - Comparer les réponses à une question (variable X) dont les réponses sont ordonnées. Ex : catégories THI chez des sujets acouphéniques récoltées avant appareillage et après 3 mois d'appareillage.
Interprétation	Si petit $p < 0,05$ on conclut à une différence statistiquement significative entre au moins une paire de moyennes des rangs parmi toutes les paires possibles. Comme on travaille sur les rangs, cela revient à statuer sur une différence statistiquement significative entre au moins une paire de médianes parmi toutes les paires possibles. Pour savoir quelles médianes diffèrent, on réalise des tests post hoc (typiquement Bonferroni). Cela revient (presque) à réaliser plusieurs tests de Wilcoxon avec un risque de 5% divisé par le nombre de comparaisons 2 à 2.
Test du Khi-deux	
Objectif	Etudier la liaison entre deux variables catégorielles (ordinales ou non ordinales) mesurées dans un groupe de sujets.
Exemples	<ul style="list-style-type: none"> - Etudier le lien entre la satisfaction d'appareillage (mesurée par exemple en 3 grades : satisfait/neutre/insatisfait) et le type d'appareillage : CROS/biCROS/bilatéral conventionnel. - Etudier le lien entre la classe d'âge (par exemple découpé en 5 classes) et l'environnement de résidence principale (urbain/périurbain/rural). - Etudier le lien entre le grade THI et le type de régime alimentaire (végétalien/végétarien/omnivore) chez des sujets acouphéniques.
Conditions d'application	<p>Les deux variables doivent être indépendantes. Par exemple, il ne peut pas s'agir de la même variable mesurée à deux instants différents (dans ce cas il faut faire un test de Cochran, ou de Mc Nemar si les deux variables sont dichotomiques).</p> <p>Dans le cas de deux variables dichotomiques (variables à 2 modalités), les effectifs théoriques (c'est-à-dire sous l'hypothèse H_0 selon laquelle il n'y a pas de lien entre les deux variables) doivent être > 5. Si ce n'est pas le cas il faut réaliser un test (exact) de Fisher.</p>
Interprétation	Si petit $p < 0,05$ on conclut que les deux variables sont reliées, sans pour autant savoir quelle variable influe sur l'autre.
Corrélation linéaire de Pearson	
Objectif	Etudier la liaison linéaire entre deux variables continues mesurées dans un groupe de sujets.
Exemples	<ul style="list-style-type: none"> - Etudier le lien entre l'âge et l'EVA de gêne chez des sujets acouphéniques. - Etudier le lien entre la pression artérielle systolique et la fréquence cardiaque chez des champions de curling à la fin d'un entraînement intensif.
Conditions d'application	<p>On peut calculer un coefficient de corrélation linéaire R sans AUCUNE condition sur les données.</p> <p>Si l'on veut faire de l'inférence et donc associer un petit p au test d'hypothèse « $R = 0$ vs $R \neq 0$ », il faut que les résidus (terme d'erreur ou part non expliquée par le modèle linéaire) suivent une loi normale. En pratique, si $n > 30$, aucune condition n'est requise. Pour $n \leq 30$, il faut que les distributions de X et de Y suivent une loi normale.</p>
Interprétation	Si petit $p < 0,05$ on conclut que R est statistiquement différent de 0. C'est la valeur de R qui renseigne sur la force de la liaison linéaire entre les deux variables. Si les variables sont corrélées linéairement (typiquement pour $IRI > 0,7$), on ne sait pas pour autant quel est le lien de causalité entre les deux variables.
Représentations graphiques associées	Nuage de points (Y en fonction de X ou vice versa) avec la droite des moindres carrés (droite de régression linéaire)



ANOVA (paramétrique) à 1 facteur répété	
Objectif	Comparer les moyennes d'une variable X continue mesurée plus de deux fois dans des conditions différentes ou à plus de deux instants chez un même groupe de sujets
Exemples	- Comparer les moyennes de SRT mesuré chez des sujets avant appareillage, à 1 mois, 3 mois puis 6 mois d'appareillage - Comparer les moyennes des fréquences cardiaques chez des sujets avant un marathon, 2 secondes après l'arrivée, 1 heure après, 2 jours après...
Conditions d'application	Distribution normale de toutes les différences $X_i - X_j$ (groupes i et j) et égalité des variances des distributions des différences. Si chaque échantillon est de taille > 30 , on peut se passer de ces hypothèses. La condition sur les variances des distributions de différences est appelée hypothèse de sphéricité et se teste avec le test de Mauchly.
Interprétation	Si petit $p < 0,05$ on conclut à une différence statistiquement significative entre au moins une paire de moyennes parmi toutes les paires possibles. Pour savoir quelles moyennes diffèrent, on réalise des tests post hoc (typiquement Bonferroni). Cela revient (presque) à réaliser plusieurs t-tests pour groupes appariés avec un risque de 5% divisé par le nombre de comparaisons 2 à 2.
ANOVA non paramétrique à 1 facteur répété : ANOVA de Friedman	
Objectif	Comparer les ordres d'une variable X mesurée plus de deux fois dans des conditions différentes ou à plus de deux instants chez un même groupe de sujets. X peut être continue ou catégorielle ordinale.
Exemples	- Comparer les valeurs de SRT mesuré chez des sujets avec deux réglages différents (ex : avec et sans réducteurs de bruit). - Comparer les réponses à une question (variable X) dont les réponses sont ordonnées. Ex : catégories THI chez des sujets acouphéniques récoltées avant appareillage et après 3 mois d'appareillage.
Interprétation	Si petit $p < 0,05$ on conclut à une différence statistiquement significative entre au moins une paire de moyennes des rangs parmi toutes les paires possibles. Comme on travaille sur les rangs, cela revient à statuer sur une différence statistiquement significative entre au moins une paire de médianes parmi toutes les paires possibles. Pour savoir quelles médianes diffèrent, on réalise des tests post hoc (typiquement Bonferroni). Cela revient (presque) à réaliser plusieurs tests de Wilcoxon avec un risque de 5% divisé par le nombre de comparaisons 2 à 2.
Test du Khi-deux	
Objectif	Etudier la liaison entre deux variables catégorielles (ordinales ou non ordinales) mesurées dans un groupe de sujets.
Exemples	- Etudier le lien entre la satisfaction d'appareillage (mesurée par exemple en 3 grades : satisfait/neutre/insatisfait) et le type d'appareillage : CROS/biCROS/bilatéral conventionnel. - Etudier le lien entre la classe d'âge (par exemple découpé en 5 classes) et l'environnement de résidence principale (urbain/périurbain/rural). - Etudier le lien entre le grade THI et le type de régime alimentaire (végétalien/végétarien/omnivore) chez des sujets acouphéniques.
Conditions d'application	Les deux variables doivent être indépendantes. Par exemple, il ne peut pas s'agir de la même variable mesurée à deux instants différents (dans ce cas il faut faire un test de Cochran, ou de Mc Nemar si les deux variables sont dichotomiques). Dans le cas de deux variables dichotomiques (variables à 2 modalités), les effectifs théoriques (c'est-à-dire sous l'hypothèse H_0 selon laquelle il n'y a pas de lien entre les deux variables) doivent être > 5 . Si ce n'est pas le cas il faut réaliser un test (exact) de Fisher.
Interprétation	Si petit $p < 0,05$ on conclut que les deux variables sont reliées, sans pour autant savoir quelle variable influe sur l'autre.
Corrélation linéaire de Pearson	
Objectif	Etudier la liaison linéaire entre deux variables continues mesurées dans un groupe de sujets.
Exemples	- Etudier le lien entre l'âge et l'EVA de gêne chez des sujets acouphéniques. - Etudier le lien entre la pression artérielle systolique et la fréquence cardiaque chez des champions de curling à la fin d'un entraînement intensif.
Conditions d'application	On peut calculer un coefficient de corrélation linéaire R sans AUCUNE condition sur les données. Si l'on veut faire de l'inférence et donc associer un petit p au test d'hypothèse « $R = 0$ vs $R \neq 0$ », il faut que les résidus (terme d'erreur ou part non expliquée par le modèle linéaire) suivent une loi normale. En pratique, si $n > 30$, aucune condition n'est requise. Pour $n \leq 30$, il faut que les distributions de X et de Y suivent une loi normale.
Interprétation	Si petit $p < 0,05$ on conclut que R est statistiquement différent de 0. C'est la valeur de R qui renseigne sur la force de la liaison linéaire entre les deux variables. Si les variables sont corrélées linéairement (typiquement pour $IRI > 0,7$), on ne sait pas pour autant quel est le lien de causalité entre les deux variables.
Représentations graphiques associées	Nuage de points (Y en fonction de X ou vice versa) avec la droite des moindres carrés (droite de régression linéaire)



Corrélation non linéaire de Spearman (corrélacion non paramétrique, effectuée sur les rangs)	
Objectif	Etudier la liaison non linéaire mais tout de même monotone (à une valeur de X correspond une seule valeur de Y) entre deux variables continues mesurées dans un groupe de sujets, ou entre deux variables ordinales.
Conditions d'application	Aucune condition.
Interprétation	Si petit $p < 0,05$ on conclut que le coefficient de corrélation ρ sur les rangs est statistiquement différent de 0. C'est la valeur de ρ qui donne la force de la liaison non linéaire entre les deux variables. Si les variables sont corrélées (typiquement pour $ \rho > 0,7$), cela signifie que les deux variables sont « associées », qu'elles tendent à évoluer « ensemble ». Par exemple : l'une croît quand l'autre décroît, mais pas selon une droite. On ne connaît toujours pas pour autant le lien de causalité entre les deux variables.
Représentations graphiques associées	Nuage de points (sans droite d'ajustement, puisque l'on n'étudie pas la présence d'une relation linéaire).
Tests utilisés pour vérifier des hypothèses	
Tester la normalité	Tests de Shapiro-Wilk (recommandé), Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors, Jarque-Bera, Cramer-von Mises, ... Interprétation : conclure à la normalité quand petit $p > 0,05$
Tester l'égalité des variances (homoscédasticité)	Tests de Levene, Bartlett, ... Interprétation : conclure à l'égalité des variances quand petit $p > 0,05$

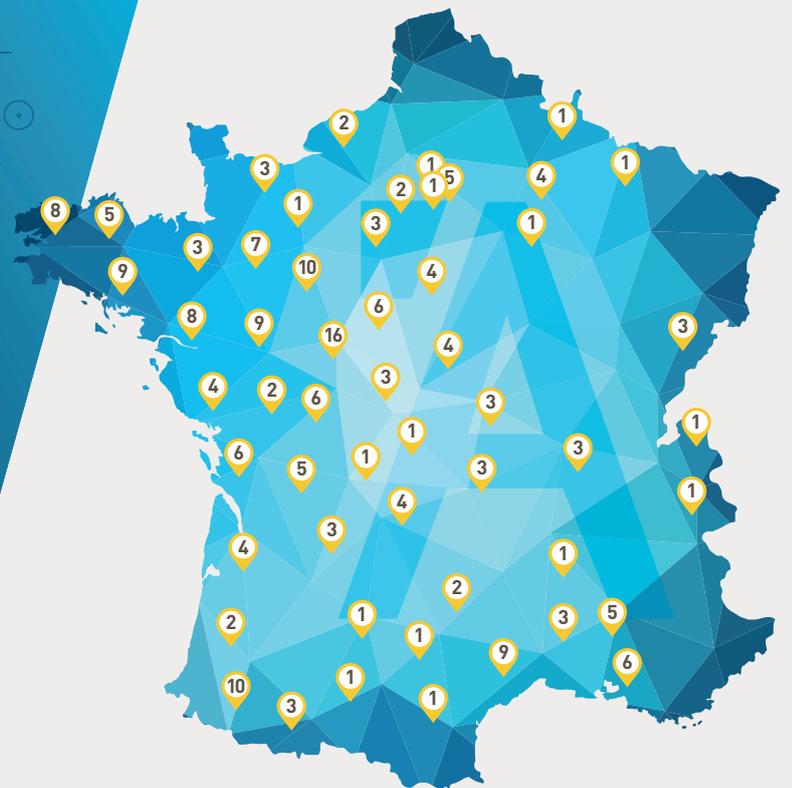
RÉSEAU
Audilab

UN RÉSEAU DE +
200 CENTRES



Partageons ensemble
des valeurs de qualité et d'innovation
tout en mutualisant nos expériences

Ensemble, pour une belle écoute





Validation de la version Française du questionnaire de Satisfaction SADL (Satisfaction with Amplification in Daily Life)

Mathieu Ferschneider^{1,2,3}, Brieux Cazals^{1,3}, Nicolas Henriot^{1,3,4}, Stéphane Gallego^{2,3,4}, Annie Moulin^{1,3}

1. Centre de recherche en neurosciences de Lyon (CRNL) Equipe dynamique cérébrale et cognition (DYCOG), Groupe Perception, Attention et Mémoire (PAM), Inserm U1028, CNRS UMR 5292, Université de Lyon, F-69 000 Lyon, France.

2. Audition Conseil, Lyon, France.

3. Université C. Bernard Lyon 1, Lyon, France.

4. Institut des Sciences et Technologies de Réadaptation (ISTR), Université de Lyon, Lyon, France.

1 Introduction

Dans les différentes étapes de l'appareillage, la prise en compte de la satisfaction du patient fait partie inhérente d'une adaptation réussie. Les outils audiologiques dont nous disposons couramment en laboratoire d'audioprothèse (audiométrie tonale, audiométrie vocale, audiométrie in situ, audiométrie in vivo) rendent compte de la qualité et la quantité d'informations sonores délivrées par la prothèse auditive à l'oreille du patient mais n'apportent que très peu d'informations quant à la satisfaction du porteur d'appareils auditifs. Souvent, c'est par la discussion avec le patient lors du rendez-vous de contrôle des aides auditives que l'audioprothésiste arrive à quantifier le niveau de satisfaction des patients appareillés. Bien qu'indispensable dans la relation patient/soignant, cet entretien informel s'avère difficilement quantifiable et reproductible sur le long terme.

Par ailleurs, dans les différentes évolutions du métier d'audioprothésiste, engendrées par la mise en place de la réforme « 100 % santé », il est prévu le recours obligatoire à des questionnaires de contrôle de la qualité de l'appareillage délivré aux patients. Même si aucun questionnaire n'a encore été choisi pour effectuer ce contrôle systématique, plusieurs outils validés internationalement sont déjà à la disposition de l'audioprothésiste. Parmi eux, le questionnaire SADL : Satisfaction Amplification in Daily Life (Cox and Alexander, 1999) est couramment utilisé au niveau international mais, étonnamment, aucune version Française n'avait été élaborée auparavant.

Après une étape de traduction et d'adaptation effectuée en respectant les bonnes pratiques européennes (Hall et al., 2018; Epstein et al., 2015; Beaton et al., 2000; Guillemin et al., 1993) et détaillée par Hochart et coll. (2019) dans un premier article, ce travail fait état des propriétés psychométriques de la version française du SADL (le SADL-F) sur un grand nombre de patients appareillés dans différents laboratoires de la région Auvergne Rhône Alpes. Enfin, la comparaison des données du SADL français avec les données de la littérature internationale permet de valider la version française du SADL.

2 Matériel et méthodes

a. Protocole

Cette étude résulte d'une analyse multi-sites réalisée conjointement entre les centres Audition Conseil du grand Lyon, Entendre de la région Grenobloise et le CRNL (Centre de Recherche en neurosciences de Lyon).

Tous les patients appareillés depuis au moins 1 mois étaient invités à remplir plusieurs questionnaires dont le SADL-F et l'APHAB (Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit) (Cox and Alexander, 1995) chez eux, au format papier, et les retourner par voie postale à l'aide d'une enveloppe retour pré-affranchie ou directement dans les centres d'audioprothèse. L'ensemble des données a été traité de manière strictement anonyme.

b. Population

150 patients appareillés d'âge moyen 72 ans (\pm 13) ont répondu aux questionnaires. Comme présenté dans le Tableau 1, les sujets sont majoritairement appareillés sur les 2 oreilles (83% d'appareillage bilatéraux). La perte auditive moyenne est de 55,4 dB HL (\pm :17,3).

c. Comparaison avec les données de la littérature internationale

Afin de vérifier si le comportement du SADL-F est équivalent aux versions étrangères du SADL déjà validées, des comparaisons avec plusieurs études internationales publiées ont été effectuées : avec le SADL Portugais (Roque dos Reis et al., 2017) validé sur une population de 147 patients appareillés, le SADL Chinois (Fang

Nombre participants	150	
Age (en année)	moyen	72(\pm 13)
	Minimum	32
	Maximum	97
Répartition homme / femme (en %)	Femme	52
	Homme	42
Perte auditive moyenne (moyenne des seuils 500,1000,2000,4000 Hz en dB HL)	51 (\pm 16.3)	
Répartition des appareillages (en %)	Binaural	83
	monaural droit	9
	monaural gauche	8
Différents types d'appareils (en %)	RIC	80
	INTRA	4
	BTE	16
Différentes gammes d'appareils (1 = entrée de gamme, 5=haut de gamme)	Gamme 1	26
	Gamme 2	42
	Gamme 3	16
	Gamme 4	13
	Gamme 5	3

Tableau 1 : Population d'étude.



et al., 2013) validé sur une population de 155 sujets appareillés et le SADL Américain, d'origine, établi sur 257 patients (Cox and Alexander, 2001).

d. Organisation du SADL et calcul des scores

La version originale du SADL (Cox and Alexander, 1999) est composée de 3 parties :

- 15 questions correspondant à différentes situations auditives. Pour chaque question, le patient choisit sur une échelle visuelle alphabétique allant de A à G, la lettre correspondant le plus à son ressenti. (A = pas du tout, B= Légèrement, C= de temps en temps, D= Parfois, E= Considérablement, F= Grandement, G= Enormément)
- Un tableau d'expérience avec les aides auditives, reprenant 4 aspects : l'expérience d'utilisation des aides auditives actuelles, l'expérience d'utilisation des aides auditives en général, le temps de port par jour de l'aide auditive, le niveau de gêne auditive ressentie sans appareil auditif.
- Un tableau destiné à l'audioprothésiste reprenant les différentes caractéristiques de l'aide auditive : marque de l'appareil, modèle de l'appareil, style de l'appareil, la type de compression, la présence de microphones directionnelles.

La version Française du SADL (SADL-F) reprend les 15 questions en intégrant plusieurs changements de formulation dont les détails sont présentés par Hochart et coll. 2019. L'échelle de réponse a notamment été convertie en échelle visuelle analogique allant de 1 à 7. Le tableau concernant l'expérience des patients vis-à-vis de l'appareillage auditif est conservé alors que le tableau destiné à l'audioprothésiste, jugé obsolète et n'entrant pas en ligne de compte dans le calcul du score de satisfaction des patients, a été abandonné dans la version Française. Le score du SADL est composé d'un score global, correspondant à la moyenne des scores obtenus pour les 15 questions et de 4 sous-échelles (Effet positif, Service et coût, Image personnelle, Caractéristiques négatives). Le score des sous-échelles est obtenu en faisant la moyenne des scores des questions correspondantes. A noter que les scores de certains items (numéros : 2,4,7 et 13) doivent être inversés (un score de 1 devient un score de 7) pour le calcul du score global et par sous-échelles (Hochart et coll. 2019).

e. Analyses statistiques

* Analyse de cohérence et de structure interne

La cohérence interne du SADL-F a été vérifiée par le coefficient alpha de Cronbach, calculé pour le score global et les différentes sous échelles. Pour vérifier la structure interne du SADL, c'est à dire la répartition du SADL-F en 4 sous-échelles distinctes comme décrites dans la version d'origine, une analyse hiérarchique par cluster (Revelle, 1979) a été effectuée. Cette analyse permet de regrouper ensemble les questions qui se ressemblent le plus et de calculer pour chaque regroupement (ou cluster) 2 indices d'homogénéité du cluster : l'alpha de Cronbach et le coefficient bêta, qui teste l'homogénéité de chaque cluster obtenu.

* Corrélations avec facteurs externes, et les scores au questionnaire APHAB.

Les corrélations entre les résultats du SADL-F et certaines caractéristiques (perte auditive, asymétrie entre les deux oreilles, âge, temps de port des aides auditives) de la population testée ont été effectuées par corrélation de Spearman. Une analyse de la variance des scores du SADL-F en fonction des différentes gammes d'aide auditive a été réalisé.

3

Résultats

a. Pourcentage de réponses par item

Les patients ont, en majorité, complété le questionnaire en intégralité. Le taux global de remplissage sur l'ensemble des patients testés est de 98%. Sur les 15 questions posées à 150 patients (soit 2250 questions), 50 questions (soit 2 %) n'ont pas reçu de réponse. Comparativement, pour le questionnaire APHAB, le taux de remplissage est de 94%.

Les absences de réponse au SADL-F se concentrent sur 4 questions :

- La question 4 (25% des non réponses) « Pensez-vous que votre entourage remarque davantage votre perte auditive depuis que vous portez vos appareils auditifs ? »

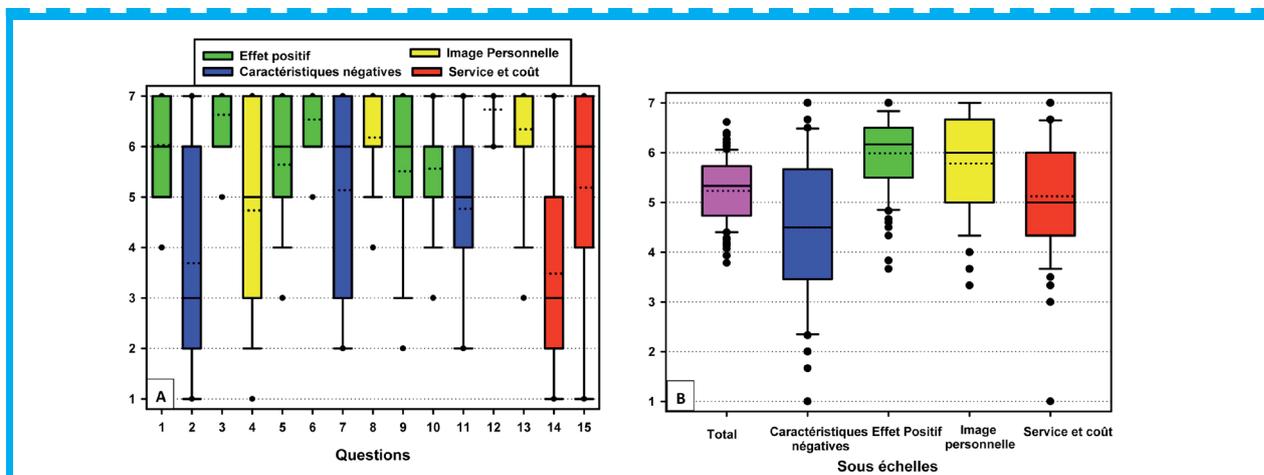


Figure 1 : Scores du SADL-F, représentés sous forme de boîtes à moustache pour chacune des 15 questions (A) et pour chacune des 4 sous-échelles (Effet positif : vert ; Caractéristiques négatives : bleu, Image personnelle : Jaune, Service et coût : rouge) et pour le score Global (violet). Les scores sont répartis de 1 à 7, 7 représentant le plus de satisfaction, pour une population de 150 patients. La boîte représente 50% des valeurs (entre le 25^{ème} et le 75^{ème} percentile, les moustaches représentent les 10^{ème} et 90^{ème} percentiles, et les symboles montrent les 5^{ème} et 95^{ème} percentiles. La médiane est représentée en trait plein et la moyenne en pointillés. La couleur des boîtes reflète l'appartenance des items à chacune des 4 sous-échelles.



- La question 7 (23% des non réponses) « Êtes-vous gêné(e) par l'impossibilité d'obtenir un volume suffisant avec vos appareils auditifs ? »
- La question 11 (19% des non réponses) « Vos appareils auditifs vous aident-ils avec les téléphones sans amplificateurs ni haut-parleurs ? (Si vous entendez bien au téléphone sans appareils auditifs, cochez ici)
- La question 15 (25% des non réponses) « Êtes-vous satisfait(e) de la fiabilité de vos appareils auditifs (ont-ils eu besoin d'être réparés) ? »

Sur l'ensemble de l'effectif testé, 79% des patients ont répondu à l'intégralité des 15 questions, 90% à au moins 14 questions sur 15, et 97% à au moins 13 questions sur 15. Seuls 3 % des patients n'ont répondu qu'à moins de 13 questions sur 15.

b. Scores par questions et sous-échelles

La distribution des valeurs obtenues pour chaque question est présentée figure 1A, sous forme de boîtes à moustaches. La boîte réunit 50% de toutes les valeurs obtenues (entre les 25^{ème} et 75^{ème} percentiles). Les moustaches montrent les 10^{ème} et 90^{ème} percentiles. Comme pour l'étude pilote d'Hochart et coll., nous constatons un effet plafond sur la plupart des questions, avec des scores proches de 7. A noter que l'item 12 (« À votre avis, l'audioprothésiste qui vous a adapté vos appareils auditifs était-il/elle compétent(e) ? ») est aussi plafonné à un score de 7 sur 7 ce qui indique un taux de réponses 100% favorables. A la différence de l'étude pilote, le remplissage du questionnaire ne s'est pas effectué en présence de l'audioprothésiste, le patient était donc libre de sa réponse à la question.

Les résultats par sous-échelles et le score global (figure 1B) montrent une très bonne satisfaction générale puisque les valeurs médianes ne descendent pas en dessous d'un score de 5 sur 7. Nous pouvons également noter la moyenne très encourageante du Score Global (moyenne : 5,5 (sur 7) ± 2,7 (soit 78 %) qui montre une bonne satisfaction des patients vis-à-vis de leur appareillage.

c. Comparaison avec les données internationales

Le profil des réponses pour chaque question du SADL-F est similaire au profil obtenu dans les études internationales (fig. 2) : les questions donnant les scores les plus élevés au SADL-F sont également les questions donnant les scores les plus élevés dans les SADL de la littérature étrangère. (ex : question 3, 12, 13).

Le score global et les scores des différentes sous-échelles (fig. 3) présentent aussi un profil similaire aux profils obtenus par les autres études présentées. Une analyse de corrélation de Spearman effectuée entre les résultats du SADL-F et les études internationales confirme la grande similarité de profil obtenu (France/Portugal : $r=0.75$, $p<0.001$; France/ USA : $r=0.65$, $p= 0.007$), excepté pour l'étude chinoise (France/Chine $r=0.11$, $p= 0.67$, non significatif).

d. Structure interne du SADL-F

La cohérence interne du SADL-F, mesurée par le coefficient alpha de Cronbach, est de 0.79 pour le score global, et varie de 0.49 à 0.72 pour les sous-échelles. Les corrélations entre les différents items et le score global varient de 0.33 (question 3) à 0.67 (question 7). En particulier, le score global de satisfaction diminue significativement lorsque le reste à charge est qualifié de « pas raisonnable » par les patients (question 14), mais cette corrélation n'est pas la plus importante ($r=0.39$), avec seulement 16% de variance expliquée.

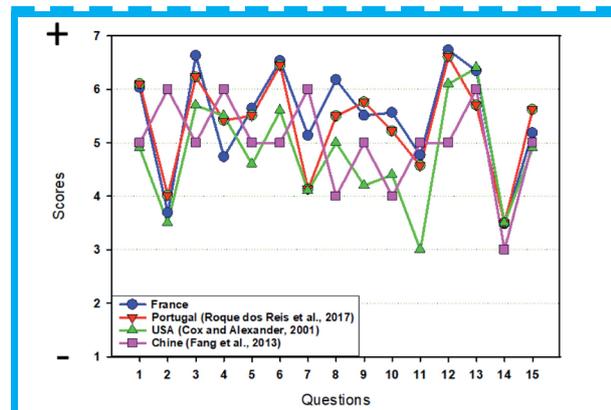


Figure 2 : Scores moyens pour chaque question du SADL pour l'étude de validation française (bleu) comparés aux études de validation Portugaises (rouge), Américaine (vert) et Chinoises (violet).

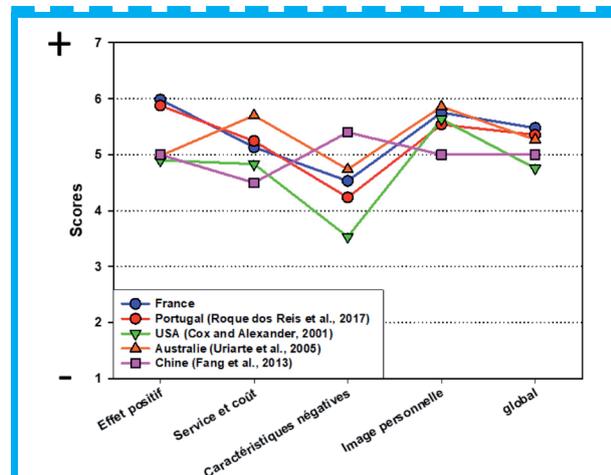


Figure 3 : Score global et scores des différentes sous-échelles du SADL pour l'étude de validation française (bleu) comparée aux études de validation Portugaises (Rouge), Américaine (vert), Australienne (orange) et Chinoise (Violet).

L'analyse par cluster (fig. 4) met en évidence un regroupement de tous les items « effets positifs », dans un cluster final montrant une bonne homogénéité. Les items « aspects négatifs » se regroupent entre eux en un cluster (C6 sur la fig. 4). L'addition de l'item « service et coût » à ce cluster résulte en une diminution de l'homogénéité du cluster, mettant en évidence le caractère différent de l'item 15. De même, l'item 12 se combine avec un des items « image personnelle », mais cela résulte en un cluster (C1) dont le coefficient beta diminue. Enfin, l'item 14, de la sous-échelle « service et coûts », se combine avec aucun autre item, montrant ainsi qu'il évalue une dimension différente des autres sous-échelles. Les items de la sous-échelle « service et coût » se comportent de manière hétérogène et différente des autres sous-échelles. En revanche, l'analyse par cluster refaite sans ces items (fig. 5), met bien en évidence une structure interne en sous-échelles distinctes et cohérentes qui correspondent aux sous-échelles définies par Cox et Alexander (1999) pour le SADL original. Les regroupements créés par l'analyse correspondent parfaitement aux sous-échelles du questionnaire, avec 3 clusters homogènes (C8, C5, C7), comme le montre la proximité de leurs scores alpha et beta respectifs. La relative faiblesse du coefficient alpha pour les sous-échelles « image personnelle » et « caractéristiques négatives » par rapport à la sous-échelle « effet positif » s'explique par le nombre d'items :



3 versus 6, l'alpha de Cronbach étant sensible au nombre d'items. Les valeurs observées ici sont similaires à celles rapportées par Cox et Alexander (1999).

e. Satisfaction exprimée au SADL-F et les gammes d'aides auditives

Les 5 gammes d'appareil auditif présentées initialement dans le tableau 1 ont été regroupées en 4 classes, la dernière gamme, ne concernant que 3 patients, a été regroupée avec la gamme 4. La répartition des scores du SADL-F global présentée Figure 6A, ne fait apparaître aucune différence significative entre les différentes gammes d'aides auditives. (F (3, 145) = 0.40, p=0.74). Aucune différence significative n'est obtenue selon la gamme d'appareil auditif, pour les différentes sous-échelles, y compris pour la sous échelle « service et coût » qui concerne plus directement le niveau de gamme des aides auditives. Enfin, la question 14 relative au reste à charge du patient, ne fait pas non plus apparaître de différence significative liée à la gamme des appareils auditifs (F(3, 141) = 1,7, p=0.16).

f. Corrélations entre la satisfaction exprimée au SADL-F, à l'APHAB et les caractéristiques des patients

L'analyse de corrélation du SADL-F et de ses sous-échelles avec les seuils auditifs, l'âge des patients et le temps de port est présentée tableau 3. Lorsque le seuil de perception augmente, notamment sur la mauvaise oreille, le score de satisfaction globale diminue significativement (r=-0.24). Ceci est surtout dû à la sous-échelle « caractéristiques négatives » (r=-0.34), alors qu'aucune corrélation significative n'est obtenue entre la sous-échelle « effet positif » et la perte auditive.

Le score global du SADL-F diminue faiblement lorsque l'âge augmente (r=-0.17), ce qui peut être attribué aux corrélations entre perte auditive et âge d'une part, et perte auditive et SADL, qui sont plus fortes. Le temps de port des aides auditives et le score de satisfaction au SADL sont corrélés positivement (r=0.21).

Sur la partie tableau d'expérience du SADL-F, on retrouve une forte corrélation positive entre le niveau de gêne subjective ressentie par le patient sans ses appareils et son seuil auditif oreilles nues (r=0.46). Plus la perte auditive mesurée augmente, plus le niveau de gêne auditive ressentie et évaluée par le patient lui-même augmente. Une très forte corrélation positive entre le temps de port estimé par les patients et le temps de port réel des appareils est aussi à noter (r=0.65). Les sujets semblent évaluer par eux même, avec une bonne précision, le temps de port journalier de leurs aides auditives. Enfin le niveau de gêne auditive sans appareil est corrélé au temps de port mesuré de l'aide auditive. Plus le niveau de gêne auditive perçue sans appareils est grand, plus l'appareil auditif est porté tout au long de la journée (r=0.26).

Pour le questionnaire APHAB, on constate aussi une diminution des scores de satisfaction avec l'augmentation des seuils auditifs (oreilles nues et appareillées) (r=-0.20). Cette diminution concerne l'ensemble des sous-échelles excepté pour la sous-échelle « Aversion ». L'âge présente une influence négative sur les scores des sous-échelles « Bruit de fond » et « Réverbération ». L'augmentation du temps de port mesuré s'accompagne d'une augmentation des scores de satisfaction globale de l'APHAB et d'une augmentation des scores de la sous-échelle « Aversion ».

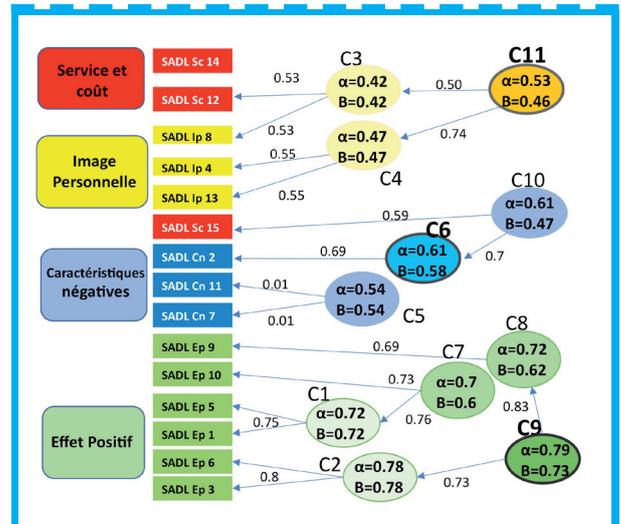


Figure 4 : Analyse de cohérence interne des résultats de validation de la version Française du SADL par cluster (α = coefficient de Cronbach, β = coefficient beta, qui testent la cohérence interne et l'homogénéité des clusters). Les clusters sont numérotés de C1 à C10, et on peut remarquer l'assimilation des items « service et coût » à plusieurs clusters, au détriment de l'homogénéité de ces clusters.

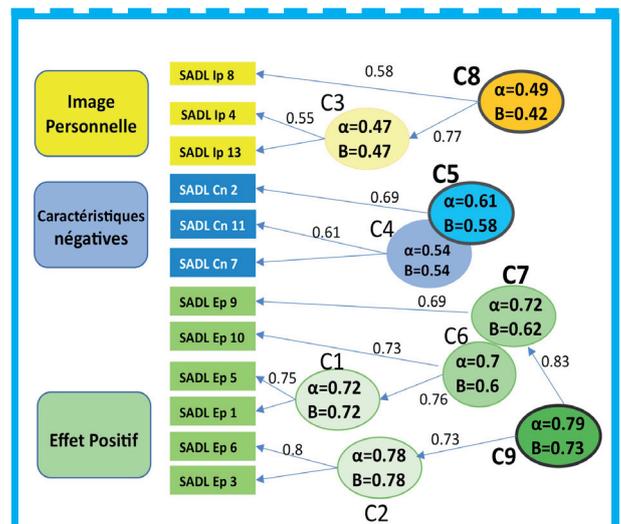


Figure 5 : Analyse de cohérence interne des résultats de validation de la version Française du SADL par cluster (α = coefficient de Cronbach, β = coefficient beta) avec suppression des questions liées à la sous-échelle « service et coût ». Neuf clusters sont identifiés (numérotés de C1 à C9), avec 3 clusters principaux reflétant les 3 sous-échelles : clusters C5, C8 et C9.

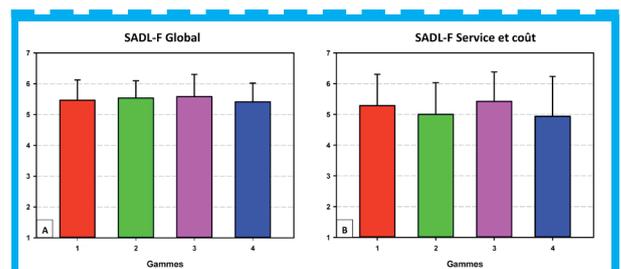


Figure 6 : Répartition des scores du SADL-F (moyenne +/- DS) en fonction des différentes gammes d'aide auditive (de 1 : bas de gamme à 4 : haut de gamme), pour le score global (A) et la sous échelle service et coût (B).



		Oreilles Nues			Oreilles appareillées			âge	Temps de port
		Seuils auditifs		Assymétrie	Seuils auditifs		Assymétrie		
		Meilleure oreille	Mauvaise oreille		Meilleure oreille	Mauvaise oreille			
SADL-F	Effet positif	-0.01	-0.01	0.02	-0.03	-0.06	-0.11	-0.14	0.20 *
	Service et coût	-0.14	-0.20*	-0.03	-0.08	-0.11	-0.10	-0.11	0.05
	Caractéristiques négatives	-0.27***	-0.34***	-0.07	-0.23*	-0.29**	-0.23*	-0.14	0.09
	Image personnelle	-0.21**	-0.17*	0.06	-0.17	-0.17	-0.09	-0.04	0.05
	Global	-0.23**	-0.24**	0.01	-0.20*	-0.24**	-0.18*	-0.17*	0.21*
	Expérience avec les appareils	0.16*	0.26***	0.22**	-0.03	-0.004	-0.01	0.02	-0.03
	Expérience avec les appareils actuels	0.43***	0.45***	0.003	0.09	0.06	-0.05	0.07	0.06
	Temps de port estimé des appareils	0.12	0.12	-0.03	0.002	0.01	0.01	-0.11	0.65***
Niveau de gêne auditive sans appareils	0.41***	0.46***	0.10	0.36***	0.37***	0.09	0.09	0.26***	
APHAB	Facilité de communication	-0.43***	-0.48***	-0.02	-0.32***	-0.30**	-0.08	-0.09	0.12
	Bruit de fond	-0.45***	-0.45***	-0.01	-0.37***	-0.32***	-0.05	-0.26**	-0.05
	Réverbération	-0.51***	-0.54***	0.02	-0.51***	-0.49***	-0.19	-0.32***	0.08
	Aversion	0.01	0.01	-0.08	-0.04	0.04	0.02	0.01	0.27**
	Total	-0.22**	-0.20*	-0.04	-0.21	-0.19	-0.10	-0.10	0.22**

Tableau 2 : Corrélations entre les scores du SADL-F, de l'APHAB et les caractéristiques du patient (Seuils auditifs oreilles nues et appareillées, âge et temps de port de l'appareil auditif).

		APHAB Oreilles appareillées				
		Facilité de communication	Bruit de fond	Réverbération	Aversion	Total
SADL-F	Effet positif	0.20*	0.17	0.20	0.11	0.16
	Service et coût	0.26*	0.23*	0.34***	0.08	0.15
	Caractéristiques négatives	0.43***	0.46***	0.46***	0.24*	0.37***
	Image personnelle	0.26*	0.19	0.28**	0.20	0.24*
	Global	0.44***	0.40***	0.48***	0.24*	0.36***

Tableau 3 : Matrice de corrélation (Spearman) entre les scores du SADL-F et les scores du questionnaire APHAB, pour un sous-groupe de 93 patients ayant complété en intégralité les deux questionnaires.

g. Corrélations entre la satisfaction exprimée au SADL-F et le questionnaire APHAB

Les corrélations entre les 2 questionnaires ont été effectuées sur le sous-groupe de patients ayant complété les 2 questionnaires SADL-F et APHAB en intégralité (94 patients) (tableau 4).

Le score global du SADL-F augmente significativement en fonction du score de l'APHAB ($r=0.36$) mais la corrélation reste faible (moins de 13% de variance expliquée) si l'on considère le fait que les deux questionnaires utilisés s'intéressent tous les deux à la notion de satisfaction d'appareillage. La sous-échelle « caractéristiques négatives » du SADL-F est aussi celle qui augmente le plus significativement en fonction du score global de l'APHAB ($r=0.37$), mais aussi des sous-échelles « Facilité de communication » ($r=0.43$), « Bruit de fond » ($r=0.46$) et « Réverbération » ($r=0.46$).

4

Discussion

La similitude de comportement entre la version française du SADL et les versions développées en d'autres langues indiquent une bonne validité de la version française du SADL, avec une comparabilité à l'échelle internationale avec les SADL utilisés dans d'autres langues. Plusieurs aspects du SADL sont développés dans cette étude.

Taux de remplissage des questionnaires et aspects spécifiques à certaines questions

On constate un très bon taux de remplissage du SADL-F (98%) mais seuls 80% des patients ont complété le questionnaire en intégralité

(15 questions/15). Toutefois, le taux de patients ayant complété au moins 13 questions/15 passe à 97%. Cette marge d'erreur de 2 questions non complétées correspond aux résultats obtenus dans la version originale du SADL (Cox and Alexander, 1999). Une des questions les moins complétées est la question 7, qui concerne un aspect lié à l'effet Larsen des appareils auditifs. Or depuis la création du questionnaire, en 1999, la technologie anti-Larsen a beaucoup progressé et les désagréments liés au sifflement des appareils ont aujourd'hui quasiment disparu dans les aides auditives modernes. Pour une grande partie des patients testés, cette notion ne fait donc référence à aucune situation rencontrée dans leur quotidien. Il en est de même pour la question 11 qui concerne l'utilisation du téléphone sans haut-parleur. Un grand nombre d'aides auditives proposent aujourd'hui des solutions très efficaces pour recevoir le signal téléphonique directement dans les appareils. La question posée ne correspond donc à aucune situation réellement rencontrée dans la vie quotidienne. Par ailleurs, le format de la question 11 diffère légèrement des autres questions avec la présence d'une sous-question intégrée : « Si vous entendez bien au téléphone sans appareil(s) cochez ici ». Cette sous-question a probablement induit en erreur certains patients qui, après avoir coché la case, pensaient avoir répondu complètement à la question et n'ont donc pas pensé à répondre au reste de la question. La question 15 concernant la fiabilité des aides auditives a probablement aussi induit en erreur les « non répondants » : en effet, les aides auditives actuelles étant de plus en plus fiables (absence de pannes), une partie des patients ne s'est pas sentie concernée par cette question. Enfin, la question 4, qui fait appel à la notion d'entourage et au stigma négatif généré par la perte auditive chez les proches, a recueilli le plus grand nombre de « non réponse ». Ce fort taux de « non réponse » pour cette



question peut d'abord s'expliquer par l'isolement social vécu par les personnes âgées et notamment les personnes âgées atteintes de surdité (Sung et al., 2016). Notre population d'étude faisant principalement partie du 3i me et 4i me âge, plusieurs participants peuvent être directement confrontés à cette solitude. L'entourage proche étant souvent devenu inexistant, la question ainsi posée ne fait référence à aucune situation quotidienne vécue par le patient. De plus, la discrétion des aides auditives s'étant grandement améliorée, l'aspect « visible » de la d ficiance auditive s'est aussi beaucoup réduit depuis 20 ans. Une partie des « non répondants » portant des appareils très discrets ne se sont probablement pas retrouvés dans la situation énoncée.

Comparaison avec les études SADL en langue étrangère

Une grande similarité de réponse entre le SADL-F et les versions étrangères décrites dans la littérature internationale a été obtenue, qu'il s'agisse des réponses par item ou par sous-échelles. Ceci est d'autant plus remarquable que chaque étude a été effectuée sur des populations aux caractéristiques différentes. A noter, cependant, pour la sous échelle « caractéristiques négatives », une différence importante de score pour l'étude chinoise (5,4) (Fang et al., 2013) par rapport aux autres études (4,2 en moyenne). Pour toutes les études, le niveau de satisfaction est élevé, sauf pour la première étude validation Américaine de 1999. Cette différence de score peut s'expliquer par l'innovation technologique réalisée depuis 20 ans. Cependant même si une différence de satisfaction est bien observée, elle reste faible : seulement un point d'écart entre les deux extrêmes. L'évolution des patients face aux capacités des nouvelles technologies a vraisemblablement modifié leur niveau d'exigence, ce qui pourrait expliquer cette relative faible différence de satisfaction entre les données d'il y a 20 ans et les données actuelles.

Structure interne et propriétés psychométriques du SADL-F

La structure interne du SADL-F, en 4 sous-échelles, correspond à ce qui est décrit dans la première étude de Cox et Alexander, en particulier la difficulté à rattacher les items « service et coût » au sein d'une même sous-échelle. En revanche, après suppression de la sous-échelle « service et coût » de l'analyse par cluster, on retrouve une bonne cohérence interne pour chacune des sous-échelles du SADL-F. La traduction française ne semble donc pas altérer la cohérence interne du questionnaire, ni sa répartition pour les 3 sous-échelles testées. La difficulté de regroupement observée pour les items de la sous- échelle « service et coût », lors de notre analyse, est comparable aux résultats obtenus lors des premières études de validation américaines du questionnaire (Cox and Alexander, 1999, 2001), seules études qui ont procédé à des analyses de structure interne du SADL. Ces difficultés de regroupement peuvent s'expliquer par les différences d'investissements financiers réalisés par chaque patient pour acquérir leurs prothèses auditives. Par exemple, la question 14 fait référence au reste à charge financier supporté par le patient pour se procurer ses aides auditives. En France, le reste à charge est encore aujourd'hui totalement dépendant du contrat de la complémentaire santé du patient. Or d'un contrat de complémentaire à l'autre, le montant de remboursement pour les aides auditives varie énormément, un patient équipé d'aides auditives haut de gamme peut bénéficier d'un reste à charge équivalent à un patient équipé en entrée de gamme. Ainsi, aucune différence significative n'est obtenue entre les scores de la question 14 selon les 4 gammes

d'aides auditives. Le score recueilli pour la question 14 dépend donc uniquement du contrat de complémentaire santé du patient et la corrélation entre le caractère perçu comme raisonnable ou non du reste à charge et le score de satisfaction global est significative mais modeste (16% de variance expliquée). Dans leur étude de validation, Cox and Alexander, (2001) ont constaté que les patients américains dont l'équipement était totalement pris en charge par la complémentaire santé, présentaient un taux de satisfaction bien plus élevé dans toutes les différentes catégories testées. L'influence générale du reste à charge supporté par le patient sur la satisfaction ressentie avec ses aides auditives ne doit donc pas être négligée. Avec l'arrivée de la réforme « 100% santé » et le reste à charge 0 pour le patient, ce lien entre coût et satisfaction devra faire l'objet d'investigations supplémentaires pour que la notion financière liée à l'acquisition des prothèses auditives ne vienne pas troubler les mesures de satisfaction concernant l'efficacité audiolinguistique et le service rendu par la prothèse auditive.

Corrélations du SADL-F avec les variables externes, structure interne et propriétés psychométriques du SADL-F

Les scores du SADL-F (tout comme ceux de l'APHAB) sont fortement liés à la perte auditive du patient. La corrélation négative retrouvée entre les seuils auditifs oreilles nues et la sous échelle « caractéristiques négatives » est tout à fait similaire aux résultats d'une étude de modélisation des scores du SADL par des variables indépendantes. (Hosford-Dunn and Halpern, 2001)

Le temps de port, aussi bien mesuré qu'auto-évalué par le patient, apparait comme un facteur associé à la satisfaction de l'appareillage, pour le score global, comme pour les sous-échelles, ce qui est en accord avec l'étude australienne de Uriarte et al., (2005).

Les scores du SADL-F, tout comme ceux de l'APHAB, sont fortement liés à la perte auditive du patient. Devant les scores généralement élevés au SADL-F, quelle que soit la population testée, et l'absence de corrélation entre le SADL et le type de gamme auditive utilisée, il semble légitime de se poser la question de la sensibilité (et de la suffisance) de ce questionnaire vis-à-vis de du confort d'écoute et du bénéfice ressent  de l'appareillage. Par ailleurs, deux items semblent peu adaptés aux évolutions techniques de l'appareillage auditif d'aujourd'hui, montrant l'âge du questionnaire, dont la création date de plus de 20 ans. Pour évaluer le bénéfice ressent  de l'appareillage, les questionnaires évaluant les performances des patients dans les situations de la vie quotidienne, et pouvant évaluer les différences obtenues liées à l'appareillage semblent plus adaptés (comme le « Speech Spatial and Qualities of hearing scale (SSQ) de Noble & Gatehouse (2004), SSQ par exemple). Enfin, bien que les résultats du SADL corrèlent significativement avec ceux de l'APHAB, le pourcentage de variance expliquée reste faible (16 %), montrant que les 2 questionnaires explorent des aspects différents de la satisfaction des patients.

5

Conclusion

- Les résultats obtenus dans notre étude de validation s'avèrent tout à fait comparables et cohérents avec les données de la littérature internationale, tant sur le plan des résultats que de la cohérence interne du questionnaire, validant la version française du SADL utilisée dans ce travail, et permettant ainsi des comparaisons à l'échelle internationale.



- La notion de reste à charge pour l'acquisition des aides auditives a un impact significatif mais modeste sur le score global de satisfaction avec l'appareillage auditif mesurée par le SADL.
- Rapidité, efficacité et intérêt des résultats font du SADL un bon outil pour quantifier la satisfaction de nos patients avec leurs aides auditives, mais la sensibilité du questionnaire semble limitée, et demande des comparaisons avec d'autres questionnaires existants.

6

Bibliographie

Beaton, D.E., Bombardier, C., Guillemin, F., Ferraz, M.B., 2000. Guidelines for the Process of Cross-Cultural Adaptation of Self-Report Measures: Spine 25, 3186–3191. <https://doi.org/10.1097/00007632-200012150-00014>

Cox, R.M., Alexander, G.C., 2001. Validation of the SADL questionnaire. *Ear Hear* 22, 151–160.

Cox, R.M., Alexander, G.C., 1999. Measuring Satisfaction with Amplification in Daily Life: the SADL scale. *Ear Hear* 20, 306–320.

Cox, R.M., Alexander, G.C., 1995. The Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit: *Ear and Hearing* 16, 176–186. <https://doi.org/10.1097/00003446-199504000-00005>

Epstein, J., Santo, R.M., Guillemin, F., 2015. A review of guidelines for cross-cultural adaptation of questionnaires could not bring out a consensus. *J Clin Epidemiol* 68, 435–441. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2014.11.021>

Fang, T.-Y., Chang, H.-J., Wan, T.-K., Wang, P.-C., Chen, Y.-H., 2013. Validation of the Chinese version "satisfaction with amplification in daily life (SADL)" survey for hearing-aid users. *International Journal of Audiology* 52, 478–484. <https://doi.org/10.3109/14992027.2013.773406>

Guillemin, F., Bombardier, C., Beaton, D., 1993. Cross-cultural adaptation of health-related quality of life measures: literature review and proposed guidelines. *J Clin Epidemiol* 46, 1417–1432.

Hall, D.A., Zaragoza Domingo, S., Hamdache, L.Z., Manchaiah, V., Thammainah, S., Evans, C., Wong, L.L.N., On behalf of the International Collegium of Rehabilitative Audiology and TINnitus Research NETWORK, 2018. A good practice guide for translating and adapting hearing-related questionnaires for different languages and cultures. *International Journal of Audiology* 57, 161–175. <https://doi.org/10.1080/14992027.2017.1393565>

Hochart A, Ferschneider M, Henriot N, Cazals B, Valla L, Moulin A (2019) Traduction et Adaptation culturelle du questionnaire de satisfaction SADL (Satisfaction with amplification in daily life) en Français. *Les cahiers de l'audition*, 4, 29-35.

Hosford-Dunn, H., Halpern, J., 2001. Clinical application of the SADL scale in private practice II: predictive validity of fitting variables. *Satisfaction with Amplification in Daily Life. J Am Acad Audiol* 12, 15–36.

Revelle, W., 1979. Hierarchical Cluster Analysis And The Internal Structure Of Tests. *Multivariate Behavioral Research* 14, 57–74. https://doi.org/10.1207/s15327906mbr1401_4

Roque dos Reis, L., Donato, M., Sousa, R., Escada, P.A., 2017. Tradução, Adaptação Cultural e Validação da Escala Satisfaction with Amplification in Daily Life para o Português de Portugal. *Acta Médica Portuguesa* 30, 115. <https://doi.org/10.20344/amp.7794>

Sung, Y.-K., Li, L., Blake, C., Betz, J., Lin, F.R., 2016. Association of Hearing Loss and Loneliness in Older Adults. *J Aging Health* 28, 979–994. <https://doi.org/10.1177/0898264315614570>

Uriarte, M., Denzin, L., Dunstan, A., Sellars, J., Hickson, L., 2005. Measuring Hearing Aid Outcomes Using the Satisfaction with Amplification in Daily Life (SADL) Questionnaire: Australian Data. *Journal of the American Academy of Audiology* 16, 383–402. <https://doi.org/10.3766/jaaa.16.6.6>



À l'écoute de nos adhérents, nous redéfinissons nos services en permanence.

2016

Plateforme
partage

2017

e-learning
ISO 9001

2018

Plateforme
qualité
Déploiement
ISO 9001

2019

Chroniques
Dyapason
Plateforme
patients
Plateforme
Chat

Un réseau national
ouvert à tous.

J'ADHÈRE

Vincent GÉNOT
06 87 83 93 32

Philippe DELBORT
06 98 20 64 46

➔ dyapason.fr
➔ dyapason.audio
➔ dyapason.expert
➔ dyapason-chroniques.fr

DÉCOUVREZ LES NOUVEAUX APPAREILS CONNECTÉS WIDEX ET LEURS FONCTIONNALITÉS

Pour obtenir le meilleur son, **WIDEX EVOKE™** vous donne accès aux réglages des aides auditives effectués depuis le smartphone de votre patient. Nous appelons cela **Observations réelles**.

WIDEX EVOKE™ RIC 312 D



- Le son WIDEX EVOKE™ pur et naturel
- Nouveau design
- Connectivité Bluetooth 2,4 GHz

WIDEX EVOKE™ BTE 13 D



- Télébobine
- Observations réelles
- Nouveaux microphones MEMS (BTE 13 D uniquement)

Veille acouphènes <

Un bruit vraiment blanc ? (Partie 1)

Comparaison de différents producteurs de bruit blanc proposés sur le marché



La TRT préconise l'utilisation en parallèle d'un counselling et d'une thérapie sonore. Ce bruit blanc est généré par des appareils de correction auditive conventionnels.

Aujourd'hui toutes les marques du marché de l'audioprothèse montrent un intérêt grandissant pour le traitement des acouphènes. En effet, selon l'enquête Ifop-JNA 2018, 14 à 17 millions de français (soit un quart de la population) souffriraient d'un acouphène et une large majorité du panel interrogé est convaincue que les acouphènes nuisent à la vie sociale et à l'exécution de tâches quotidiennes. De plus trois quart des répondants ont estimé que leur moral et leur qualité de vie en sont impactés. C'est pourquoi, de plus en plus de technologies de générateur de bruit blanc apparaissent sur le marché. Cependant aucune étude n'a encore été faite pour comparer ces différents générateurs de façon objective.

Ce travail se propose d'étudier les différences entre les technologies de générateur de bruit blanc et in fine, de proposer un outil aux audioprothésistes pour les aider dans le traitement des acouphènes. Cet outil se présentera sous forme de tableau comparatif des différentes technologies. Il sera basé sur une analyse spectrale des bruits en faisant varier plusieurs facteurs pouvant influencer le spectre et la perception de ce bruit tel que l'aération des dômes, la puissance des écouteurs, ou encore la gamme des appareils utilisés.

Comparaison des générateurs de bruit blanc de différentes marques

Les fabricants de prothèses auditives montrent un intérêt grandissant pour ce sujet en développant leurs technologies anti-acouphène. Le but de ce travail est précisément de comparer celles-ci et les différents générateurs de bruit dans le

cadre d'une thérapie de l'acouphène et de l'hyperacousie. L'étude menée se concentrera sur plusieurs critères acoustiques qui peuvent influencer le réglage du bruit blanc chez l'audioprothésiste.

Ces critères sont :

- Le type d'écouteur : écouteur normal et puissant ou surpuissant.
- La technologie du fabricant.
- L'influence de la gamme de l'appareil (entrée, cœur ou haut de gamme).
- Les capacités à faire un bruit encoché : nous avons cherché jusqu'où peut-on diminuer le gain sur une bande de fréquence isolée et comment les bandes adjacentes en sont affectées.
- Le type d'embout utilisé : embout souple ouvert et embout souple fermé (nous reviendrons sur ce dernier point dans une seconde veille).

- Phonak : Audéo B90 et B50 avec les écouteurs xS et xP
- **Technologie : Tinnitus Balance**
- Signia : Pure 7px et 3px avec les écouteurs S et M
- **Technologie : Tune Out Tinnitus**
- Bernafon : Zerena 9 et 5 avec écouteurs 85 et 100
- **Technologie : Tinnitus Sound Support**
- Hansaton : SHD9 et SHD3 avec les écouteurs xS et xP
- **Technologie : Tinnitus Manager**
- Starkey : i1000 et i2400 avec l'écouteur snapfit 50
- **Technologie : Multiflex Tinnitus Technology**
- Widex : Unique 440 avec les écouteurs S et P
- **Technologie : ZEN**

Tableau 1 : Six fabricants ont bien voulu nous adresser les appareils nécessaires à l'étude.

Les marques étudiées sont au nombre de 6 sur les 12 marques principales. Pour cette raison et pour ne pas avoir à désigner un « gagnant » les spectres enregistrés ne seront pas nominatifs.

Matériel et Méthodes

Prérequis au niveau de appareils étudiés :

- Les appareils auditifs ont été réglés avec la même méthodologie NAL-NL2.
- Les amplifications ont été réduites au minimum pour éviter tous bruits de fond amplifiés.
- Les appareils auditifs ont leurs microphones réglés en mode omnidirectionnel.
- Les appareils auditifs ont vu leurs anti-larsen désactivés.
- Tous les algorithmes de traitement du signal tels que les réducteurs de bruits et les réducteurs de bruit de vent ont été désactivés.

KEMAR



Photo 1 : Mannequin Kemar

Toutes les mesures furent effectuées dans un laboratoire situé à la faculté de pharmacie de Nancy, traité acoustiquement pour accueillir une tête artificielle KEMAR. Cette plateforme s'inscrit dans le plan stratégique « thème simulation »

Philippe LURQUIN



Membre du Collège National d'Audioprothèse, CHU Marie Curie Charleroi

K. PHUONG



Audioprothésiste



du Collegium «Santé» de l'Université de Lorraine, soutenu par l'ANR IDEFI-REMIS et le projet régional et européen FEDER « Hôpital Virtuel de Lorraine » (Ducourneau J., Parietti-Winkler C., 2018). Le KEMAR (Knowles Electronic Manikin for Acoustical Research) fut élaboré en 1972 par la compagnie Knowles Electronics pour la recherche et le développement des aides auditives (Burkhard M.D., 1978). Sa tête est percée de conduit auditifs artificiels où l'on place des coupleurs de Zwislocki (simulateur d'oreille) afin d'y prélever la pression acoustique. Avec ce mannequin il est possible de faire une simulation complète comme l'effet de l'appareil, de l'embout, de modification de la résonance du conduit auditif externe, du pavillon, de la tête et du buste (Dodelé L., Estoppey P., Schwob C., Dodelé D. 2007).

Le KEMAR est relié à un ordinateur muni d'un logiciel d'acquisition de spectre, Spectra+. Les acquisitions de données se font à travers un système de moyennage effectué par le logiciel. Nous choisisons la fenêtre de pondération de Hanning, la plus utilisées car elle fait le compromis entre une bonne résolution en fréquence et une bonne résolution en intensité.

A) Influence de la puissance de l'écouteur (Figure 1)

Nous avons observé des différences sensibles entre les marques...

Le bruit blanc est affecté par le type d'écouteur que dans une seule marque (voir schéma ci-dessus) et dans la totalité de sa bande passante. Dans deux autres marques l'écouteur modifie seulement les fréquences aiguës tandis que dans deux autres le bruit blanc est resté le même quelque-soit l'écouteur utilisé.

B) Ecart Noah vs mesure au KEMAR (Figure 2)

Tout comme pour le réglage de l'amplification (voir Lurquin 2015) La question doit se poser des différences entre le réglage que l'on pense obtenir sur le logiciel (l'écran Noah de chaque fournisseur) et ce qui arrive à l'oreille du patient.

Le réglage initial du bruit pour chaque appareil était de 30 dB sur chaque bande de fréquence. Les spectres relevés montrent les niveaux enregistrés au KEMAR pour chacune des six marques dans des conditions de test strictement identiques.



Figure 1 : Comparaison des niveaux de sortie du bruit blanc chez un même fabricant à réglage équivalent avec deux types d'écouteur de puissance différente et des dômes identiques.

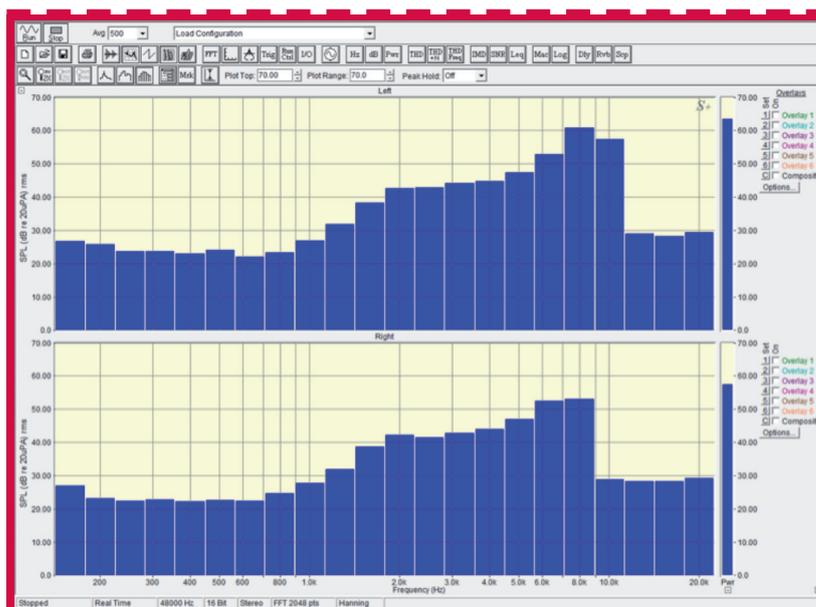


Figure 3 : La réponse pour deux modèles entrée et haut de gamme dans la même marque.

Les mesures montrent bien qu'il n'y a pas de cohérence entre ce que l'on pense fournir au patient et le logiciel fabricant. Les spectres sont très différents ; de même les intensités se révèlent inférieures à ce que l'on attend. Des résultats semblables dans la comparaison inter-marques sont obtenus lors de l'adaptation d'un ACA avec une méthode générique (NAL ou DSL) (Lurquin 2015).

C) influence de la gamme de l'appareil (Figure 3)

Comme les bandes de réglages, la qualité de la directivité des microphones ou

encore les réducteurs de bruit varient, nous sommes en droit de nous demander si les générateurs de bruit blanc sont les mêmes selon la gamme de l'aide auditive. Nous avons alors étudié dans les marques précitées deux appareils auditifs : un de gamme inférieure et un autre de gamme supérieure.

Dans la moitié des marques, nous observons deux bruits identiques quelque-soit la gamme les modules sont d'ailleurs identiques ; dans les autres marques le nombre de canaux d'ajustement varie avec la gamme : on observe alors une différence faible de 1 ou 2 dB. On remarque que ces différences sont exclu-



Figure 2 : Jeu des six spectres relevés pour un réglage identique du bruit blanc (30 dB) sur Noah. A noter que dans une marque, le bruit blanc n'est pas ajustable. (L'ordre repris ici n'est intentionnellement pas celui du tableau 1)

sivement sur les fréquences extrêmes, qu'elles soient aiguës ou graves. On est très proche des valeurs liées à l'artefact de mesure.

D) Possibilité d'encocher le spectre (Figure 4)

Certaines méthodologies basées davantage sur l'inhibition latérale que sur la stimulation large bande et la sortie du champ de conscience proposent d'encocher le spectre (Lurquin et Kamysz 2018, 2019). Nous avons voulu tester la possibilité de modifier le spectre afin d'obtenir une encoche raide de plus de 60 dB par octave.

Le bruit utilisé est un bruit blanc réglé à 60 dB tout le long de la bande passante des appareils auditif.

Chez deux des six fabricants nous avons pu réaliser des encoches très étroites avec des atténuations pouvant atteindre 180 dB/octave chez l'un et 103 dB/octave chez l'autre.

Chez d'autre fabricants la diminution du niveau de sortie dans un canal entraîne malheureusement de facto les bandes adjacentes et empêche simplement d'utiliser une thérapie basée sur l'inhibition latérale ?

Discussion

L'objectif de ce travail est de comparer les générateurs de bruit blanc utilisés dans certains appareils auditifs disponibles en analysant leurs spectres à l'aide du KEMAR et du logiciel Spectra+.

Le bruit blanc possède plusieurs caractéristiques qui permettent aux patients de soigner leur acouphène ou leur hyperacousie. Il était donc important de pouvoir comparer les marques entre-elles pour définir une tendance quant à l'utilisation du bruit blanc selon les cas ou les thérapies choisies. Comme mentionné plus tôt, les expériences ont été faites dans une salle traitée acoustiquement pour accueillir un mannequin KEMAR. À chaque acquisition.

Il n'y avait qu'un seul paramètre qui changeait pour être le plus rigoureux possible dans notre démarche. Cependant, il reste encore énormément de critères à étudier. Certains des critères que nous avons vu dans cette étude pourrait faire l'objet d'autres expériences pour mettre en évidence des phénomènes intéressants dans l'utilisation du bruit blanc.



➤ VEILLE ACOUPHÈNES



Figure 4 : Réalisation d'une encoche précédemment décrite chez deux fabricants différents. Les pentes varient entre 20 dB/octave (en haut) et 80 dB/octave (en bas).

Le choix du dôme fut réalisé dans chaque marque par rapport à l'oreille du mannequin à notre disposition. Le KEMAR possède réplique de l'oreille humaine qui fut à l'époque réalisée sur des oreilles d'astronautes de la NASA. Elles ont la réputation d'être larges (Burkhard & Sachs 1975, Maxwell & Burkhard 1979). Des dômes de taille plus petite que ceux qui ont servi pour notre expérimentation sont régulièrement utilisés par les audioprothésistes. Des mesures sur les écarts spectraux des bruits blancs avec différentes ventilations ont été conduites et feront l'objet d'une prochaine veille.

Comme pour les méthodologie d'appareillage (voir l'article (Lurquin 2015) relatif à notre présentation à l'EPU 2014) les fabricants ne présentent pas un front unanime par rapport à la règle du bruit blanc et du point de mélange (Lurquin, Real & Vannier 2013, Lurquin & Viudez 2015).

Nos mesures montrent que pour une même audiométrie différents spectres sont proposés par les fabricants. Ces différences spectrales inter-marques n'ont-elles aucun effet sur l'efficacité de la thérapie acoustique ?

Pour une même audiométrie les spectres proposés s'apparentent parfois davantage à un bruit rose qu'à un bruit large bande (voir le second et le sixième spectre, figure 2) Ceci a certainement un impact sur l'acceptation immédiate en cas de patient fortement déprimé. Les choses se compliquent-elles parfois en période de suivi prothétique ? Parmi les audioprothésistes les uns préféreront une stimulation privilégiant l'efficacité donc lié à une stimulation intense et d'autres opteront pour le confort. Dès lors deux écoles s'aff-

frontent les uns préconisant un maintien du bruit rose, d'autres optant pour un bruit à dominante aiguë (Moffat & al 2009).

L'influence de l'écouteur et de ses propres résonances implique des variations spectrales de fabricant à fabricant et parfois également de type d'écouteur un autre au sein de la même marque.

L'influence du MPO serait également intéressante à analyser. En effet, les générateurs de bruit blanc chez tous les fabricants ne peuvent délivrer un bruit au-dessus de 82 dB car ils sont soumis à la norme de niveau de stimulation maximum recommandé par le NIOSH. Celle-ci énonce que 82 dBA est la limite à ne pas dépasser pour un temps d'écoute de 16H en toute sécurité.

Dans cette étude, le réglage de tous les appareils a été fait avec la méthodologie NAL-NL2. Il serait alors intéressant de changer les méthodologies et de voir si le bruit blanc change. Il semble important de rester soucieux de l'absence de masquage du bruit blanc calculé par le fabricant et proposé par l'audioprothésiste sur les sons de parole.

Certaines marques permettent des encoches plus marquées que d'autre et semblent très peu ou non flexibles. En effet, un des six logiciels fabricant qui ne permet pas toujours de moduler son propre bruit de thérapie.

Certains logiciels proposent un plus grand nombre de bande de réglage du bruit blanc ? Ce nombre est-il proportionné avec une audioprothèse de qualité ou /et avec la satisfaction du patient ?

Faut-il généraliser les logiciels qui permettent de faire un bruit encoché en fonction d'un acouphénométrie ? En effet, une marque propose déjà un « Notch Noise » ou bruit encoché qui est calculé en fonction d'un test d'acouphénométrie directement réalisé à travers les appareils auditifs sur les oreilles du patient à l'instar des audiométries In Situ. L'intérêt et l'efficacité de cette méthode restent à démontrer.

Les règles à conserver en mémoire

Elles sont les mêmes que celles observées pour les règles d'appareillage (Lurquin 2015).

- Les validations des méthodes fabricants en matière de bruit blanc destinés à la thérapie acoustique de l'acouphène ne sont pas toujours réalisées ou restent non publiées.
- Les spectres fabricants résistent plus ou moins bien à l'analyse par bande fine réalisée sur Kemar. Les différences inter marques sont aussi importantes que pour l'amplification. Ces écarts entre un vrai bruit blanc et les spectres mesurés devraient inciter à l'utilisation d'un outil précis. A notre sens la mesure in-vivo semble difficile à mettre en œuvre ou à généraliser en raison de la faible intensité des niveaux de sortie des bruits utilisés en thérapie sonore (en cas d'audiométrie subnormale et de surdité cachée par exemple).
- Il existe une modification des spectres adressés au patient selon l'appareil, le type d'écouteur utilisé, sa puissance et le type d'ACA (contour vs RIC).
- Nous observons une « lecture » différente selon les constructeurs des facteurs correctifs (CORFIG, influence de la ventilation...) appliqués aux valeurs au coupleur de 2cc ou au simulateur d'oreille... nous reviendrons sur ce point dans une prochaine veille.

Bibliographie

- Burkhard MD, Sachs RM Anthropometric manikin for acoustic research. *J Acoust Soc Am.* 1975 Jul;58(1):214-22
- Dodelé L., Estoppey P., Schwob C., Dodelé D. *Le contrôle d'efficacité prothétique, L'appareillage de l'adulte, Tome III, 2007. 41-42*
- Ducourneau J., Parietti-Winkler C. *L'école d'audioprothèse de Nancy, sous le toit de la Faculté de Pharmacie de l'Université de Lorraine. Les Cahiers de l'audition, 2018, 2, pp 7-9*



Folmer RL, Martin WH, Shi Y, Edlefsen LL. Tinnitus sound therapy. In : Tyler RS, editor. Tinnitus treatment. New York: Thieme; 2006. pp. 176–186.

Dirks DD, Gilman S. Exploring azimuth effects with an anthropometric manikin. J Acoust Soc Am. 1979 Sep;66(3):696–701.

Fikret-Pasa S, Revit L. Individualized correction factors in the preselection of hearing aids. J Speech Hear Res. 1992 Apr;35(2):384–400.

Folmer R., & Carroll, J. (2006). Long-Term Effectiveness of Ear-Level Devices for Tinnitus. Otolaryngology - Head and Neck Surgery, 134(1), 137.e1137. <https://doi.org/10.1016/j.otohns.2005.09.030>

Henry J.A., Frederick M., Sell S., Griest S. & Abrams H. 2015. Validation of a novel combination hearing aid and tinnitus therapy device. Ear Hear, 36, 42–52.

Henry, J. A., Rheinsburg, B., & Zaugg, T. (2004). Comparison of custom sounds for achieving tinnitus relief. Journal of the American Academy of Audiology, 15(8), 585–598.

Henry, J. A., Schechter, M. A., Nagler, S. M., & Faust, S. A. (2002). Comparison of tinnitus masking and tinnitus retraining therapy. Journal of the American Academy of Audiology, 13(10), 559–581.

Henry, J. A., Schechter, M. A., Zaugg, T. L., Griest, S., Jastreboff, P. J., Vernon, J. A., ... Stewart, B. J. (2006b). Clinical trial to compare tinnitus masking and tinnitus retraining therapy. Acta Oto-Laryngologica, 126(sup556), 64–69. <https://doi.org/10.1080/03655230600895556>

Henry, J. A., Schechter, M. A., Zaugg, T. L., Griest, S., Jastreboff, P. J., Vernon, J. A., ... Stewart, B. J. (2006a). Outcomes of clinical trial: tinnitus masking versus tinnitus retraining therapy. Journal of the American Academy of Audiology, 17(2), 104–132.

Lurquin, P., Germain, M., Markessis, E., Palmers, S., Thill, M.P., Vincent, Y. (2002). Rôle du générateur de bruit dans la thérapie des acouphènes. Les Cahiers de l'Audition, 15.

Lurquin, P., Real, M., & Vannier, M. (2013). Du bon usage du bruit blanc. Les Cahiers de l'Audition, 26(6), 36–39.

Lurquin P. Les méthodes d'appareillages: Utilisation, intérêts et limites des méthodes fabricants, variabilités, artefacts, données chiffrées (2015) Les Cahiers de l'Audition 28(1):29-32

Lurquin P, Viudez P, Esteve-Fraysse MJ, Thill MP (2015) Le réglage des producteurs de bruit blanc Les Cahiers de l'Audition 28 (1)

Lurquin P, Kamysz G., (2018) Traitement acoustique de l'acouphène Théorie et base scientifique des mécanismes de sortie du champ de conscience et d'inhibition latérale Les Cahiers de l'audition n°5 pp 41-44

Lurquin P, Kamysz G. A la recherche du bruit thérapeutique optimal Etude comparative de l'efficacité de deux thérapies sonores employant le bruit blanc et le bruit encoché. Les Cahiers de l'audition 2019 Vol 32 (2) pp 23-35

Maillou B., Ducourneau J. Développement d'une plate-forme d'évaluation des performances des prothèses auditives au sein de la formation d'audioprothésiste

de la faculté de Pharmacie de Nancy CFA Le Havre 23-27 avril 2018 14^{ème} Congrès Français d'Acoustique https://www.conforg.fr/cfa2018/output_directory2/data/articles/000211.pdf

Musicant AD, Chan JC, Hind JE. Direction-dependent spectral properties of cat external ear: new data and cross-species comparisons. J Acoust Soc Am. 1990 Feb;87(2):757–81.

Moffat G., Adjout K., Gallego S., Thai-Van H., Collet L. et al. 2009. Effects of hearing aid fitting on the perceptual characteristics of tinnitus. Hear Res, 254, 82–91.

Pantev C., Okamoto H., Ross B., Stoll W., Ciurlia-Guy E., Kakigi R., & Kubo T., 2014. Lateral inhibition and habituation of the human auditory cortex

Reavis, K. M., Chang, J. E., & Zeng, F.-G. (2010). Patterned sound therapy for the treatment of tinnitus. The Hearing Journal, 63(11), 21–22.

Maxwell RJ, Burkhard MD Larger ear replica for KEMAR manikin J Acoust Soc Am. 1979 Apr;65(4):1055–8.

Schaette, R., König, O., Hornig, D., Gross, M., & Kemper, R. (2010). Acoustic stimulation treatments against tinnitus could be

most effective when tinnitus pitch is within the stimulated frequency range. Hearing Research, 269(1–2), 95–101. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2010.06.022>

Sereda M., Hoare D.J., Nicholson R., Smith S. & Hall D.A. 2015. Consensus on hearing aid candidature and fitting for mild hearing loss, with and without tinnitus: Delphi review. Ear Hear, 36, 417–429.

Stein, A., Engell, A., Okamoto, H., Wollbrink, A., Lau, P., Wunderlich, R., ... Pantev, C. (2013). Modulatory Effects of Spectral Energy Contrasts on Lateral Inhibition in the Human Auditory Cortex: An MEG Study. PLoS ONE, 8(12), e80899. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080899>

Strauss, D.J., Corona-Strauss, F.I., Seidler, H., Haab, L., & Hannemann, R. (2015). Notched environmental sounds: a new hearing aid-supported tinnitus treatment evaluated in 20 patients. Clinical Otolaryngology, 42(1), 172–175.

Sweetow, R. W., & Sabes, J. H. (2010). Effects of Acoustical Stimuli Delivered through Hearing Aids on Tinnitus. Journal of the American Academy of Audiology, 21(7), 461–473. <https://doi.org/10.3766/jaaa.21.7.5>

ASSURANCES

aides auditives

Cabinet

BAILLY

Fondé en 1907 – 52600 HORTES

Des garanties complètes :

- PERTE (toutes causes)
- VOL
- CASSE
- PANNE

Des durées au choix :

1 an ou 4 ans

Appareils assurés pendant le prêt

A partir de 25€/an
CONTRAT
PARTENAIRES*

Audioprothésistes,
économisez jusqu'à 40% sur
votre multirisque professionnelle !

Tél : 03.25.87.57.22
Fax : 03.25.84.93.34
Courriel : ab2a.bailly@orange.fr
Site internet : www.ab2a.fr

* Pour vous : notre contrat multipro
Pour vos clients : des garanties et tarifs revus

CONTACTEZ NOUS !!!

SARL au capital de 1.800.000 € RCS Chaumont 451 620 298
N° ORIAS : 07013032 <http://www.orias.fr>



AudioLink

La connectivité tout-en-un ! AudioLink, c'est UN seul appareil qui permet d'accéder sans-fil à toute la connectivité d'aujourd'hui : téléphoner les mains-libres, regarder la télévision ou écouter de la musique. Utilisé en microphone déporté, il permet de mieux entendre au restaurant ou en classe, de participer à une réunion professionnelle ou de profiter des dîners en famille. Plus besoin de cumuler des appareils pour accéder à vos médias favoris, AudioLink s'occupe de tout !

Les mains-libres, l'esprit libre !
Compatible avec iPhone et Android.



Métier, réflexions et suggestions <

La dernière publication d'un (vieux) passionné



Résumé

Au cours de mes 50 années de carrière et de passion professionnelle, j'ai vécu de nombreuses révolutions technologiques mais surtout, j'ai eu la chance de pratiquer un métier passionnant par ses diverses facettes. Et « lorsque l'on est passionné par un travail, on n'a pas vraiment l'impression de travailler ».

Je profite également de ce papier pour présenter :

- 1) les résultats d'une étude portant sur la validité (pour l'audioprothésiste) des mesures effectuées au casque,
- 2) un test d'audiométrie vocale réalisé avec des listes PCV, 3) une mesure de Seuils Auditifs IN VIVO,
- 4) suggérer 3 sujets de mémoires.

1

Les années LAPPERRE

Lorsqu'en 1970, après avoir réalisé des études d'électronique, j'intégrais un peu par hasard le service technique des établissements LAPPERRE, j'étais loin d'imaginer que j'allais pratiquer une profession aussi passionnante. Très vite le patron (Adriaan LAPPERRE) allait me donner la possibilité de suivre des cours d'audiologie et en 1973, j'obtenais mon agrégation d'audioprothésiste (audicien chez les Belges). La première grande étape de ma carrière fut en 1983 lorsque Johan LAPPERRE (fils d'Adriaan) me confia la responsabilité de son principal centre auditif situé au cœur de Bruxelles. Très ouvert d'esprit, il me permit de passer des "journées d'observations" auprès des grands noms de l'audioprothèse française.

Ma première rencontre marquante fut celle de **Xavier RENARD** qui, pendant plusieurs années, su me motiver et m'encourager dans mes différents travaux et communications.

Je tiens tout particulièrement à l'en remercier.

Ma seconde visite fut chez **François LE HER** où je découvris une toute autre approche de l'appareillage. L'accueil très chaleureux et très instructif d'**Éric BIZAGUET** fut lui aussi

mémorable. Sans oublier les nombreux échanges avec mon ami **Robert FAGGIANO**.

Au fil des années, mon « Tour de France » m'a permis de rencontrer de nombreux audioprothésistes que je remercie pour leur accueil confraternel et désintéressé.

En les observant dans leurs pratiques, j'en suis arrivé à la conclusion qu'il doit y avoir une méthode d'appareillage par audioprothésiste. Je ne pourrais tous les citer, mais ils ont tous apporté une petite pierre à la construction de ma carrière.

Mes 12 années de gérance du Centre Auditif LAPPERRE (1983 à 1995) ont été très intenses, tant par le nombre annuel d'appareillages que par le privilège de disposer en primeur des grandes innovations technologiques. Je pense en particulier aux premiers :

- équipements de Mesures IN VIVO (Rastronics en 1984),
- aca à programmation numérique (Bernafon P1 en 1987),
- aca à gain adaptatif (ReSound BT2 et toute son approche révolutionnaire de l'appareillage : mesure aux inserts, LGOB, etc.), (Figure 1)
- aca à traitement numérique du signal (OTICON et WIDEX en 1996)

2

L'AGIS (AudioGramme In Situ)

C'est en 1996 que WIDEX (Senso) eu l'idée géniale de nous donner la possibilité d'effectuer des mesures de seuils auditifs à l'aide de stimuli générés par l'aca. Bien que les mesures ne s'effectuaient que sur 3 bandes, c'était déjà un excellent début. L'Audiométrie IN SITU (AGIS) a révolutionné la mesure du SA et nous a fait prendre conscience des écarts, parfois importants sur certaines fréquences, entre les SA mesurés au casque et les SA mesurés par le biais de l'aca (AGIS) (Figure 2).

Ces écarts sont dus, par exemple, au mauvais positionnement du casque, à l'écrasement du tragus par l'écouteur, à la présence d'exostoses, au rétrécissement de l'entrée du CAE, etc. Mais dus aussi à l'inclusion du coupleur auriculaire réellement utilisé lors des mesures de l'AGIS, particularité acoustique importante qui n'intervient pas lors des mesures au casque.



Figure 1. ReSound (BT2) et son concept révolutionnaire de l'appareillage auditif (1988)

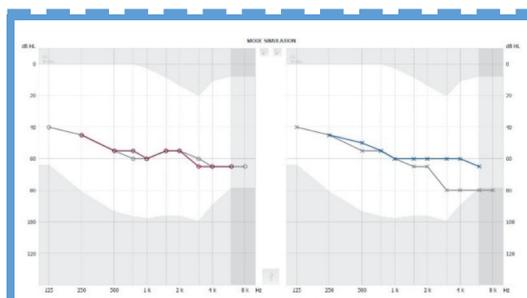


Figure 2. Exemple d'écarts entre les mesures de SA au casque et en AGIS

Léon DODELÉ



Gradué en électronique

Audioprothésiste agréé

Membre du Collège National d'Audioprothèse

Centre Auditif Dodelé,
Route du Lion, 2,
B 1420 Braine l'Alleud

leondodele@hotmail.com
david.dodele@skynet.be



3

La Mesure des Seuils Auditifs IN VIVO

Afin de quantifier ces écarts, nous avons effectué une étude dans le but de mesurer, pour une même oreille, les Seuils Auditifs IN VIVO. À savoir **l'énergie acoustique correspondant à la détection des Seuils Auditifs au tympan de stimuli générés par le casque, les inserts et les aca (AGIS)**. Cette mesure de SA IN VIVO se fait exactement de la même façon qu'une mesure traditionnelle de courbes de réponses IN VIVO en veillant, bien sûr, au bon positionnement de la sonde à quelques mm du tympan (Figure 3).



Figure 3. La Mesure du SA IN VIVO s'effectue comme une mesure IN VIVO traditionnelle

Dans les trois situations de stimulations (casque vs inserts vs AGIS), pour chaque fréquence et chaque oreille testée, les différentes valeurs de SA IN VIVO (énergie acoustique au tympan) ont été introduites dans un tableur afin d'analyser les résultats de nos mesures.

De cette étude, les premières constatations sont les suivantes :

- 1) d'importants écarts (de 5 à 20 dB) peuvent apparaître entre les SA mesurés au casque et les SA IN VIVO,
- 2) les écarts, tant positifs que négatifs, ne sont pas prévisibles et très variables en fonctions des fréquences,
- 3) en cas d'appareillage RITE ou par intra, l'écouteur étant proche du tympan et, le cas échéant, au-delà d'un rétrécissement ou d'une exostose, c'est l'AGIS qui est le plus proche du SA IN VIVO.

La principale conclusion à tirer de cette étude est que les méthodes mathématiques de calcul de cibles prothétiques théoriques, qui se basent essentiellement sur les mesures de seuils relevées au casque, ne devraient-elles pas être remises en question ?

Comme solution à ces problèmes d'écarts, **David Dodelé propose la procédure suivante :**

- 1) effectuer les mesures de SA IN VIVO (SA au tympan en dB HL) de stimuli générés par le casque ou l'aca utilisé (AGIS),
- 2) introduire les valeurs de SA IN VIVO dans NOAH,
- 3) effectuer les calculs de cibles prothétiques (théoriques) à partir des SA IN VIVO.

Cette procédure propose des cibles logiquement plus précises, mais n'est évidemment pas la panacée universelle. Elle doit idéalement s'accompagner de tests d'audiométrie vocale et de mesures de sensations auditives et d'équilibrage interauriculaire effectués aux principales fréquences et intensités conversationnelles afin de restituer, autant que possible, la **stéréoacousie** au malentendant (principe et objectif de la **Procédure APA**).

Il serait cependant très naïf d'imaginer que pour des audiométries tonales identiques correspondent des cibles prothétiques et des réglages identiques. Nous appareillons des êtres humains, des personnalités très différentes (âge, état de santé, mode de vie, etc.)

et aux exigences également très personnalisées (voir **COSI** et **toutes les informations essentielles récoltées dans l'anamnèse**).

Appel aux fabricants :

L'idéal serait de nous donner la possibilité de pouvoir introduire instantanément les valeurs de SA IN VIVO (SA au tympan) dans NOAH sans passer par la fastidieuse étape de transcription (point 2). Mais pour cela les ingénieurs/concepteurs de NOAH et des chaînes de mesures doivent percevoir l'intérêt de cette procédure (et lire les Cahiers de l'Audition)... ce qui n'est pas gagné !

Actuellement, la grande majorité des aca permet d'effectuer de l'audiométrie IN SITU sur de nombreuses fréquences. Personnellement je considère que l'audiométrie IN SITU représente un progrès majeur car elle est la seule mesure des SA à faire intervenir les indispensables corrections acoustiques. Avant d'effectuer l'AGIS, il faut évidemment s'assurer que l'aca utilisé et en particulier l'écouteur (dans le cas d'un RITE), soit en parfait état de fonctionnement. L'audiométrie aux inserts est bien sûr beaucoup plus précise que l'audiométrie au casque mais n'est pas réalisée dans les conditions réelles d'utilisation de l'aca puisqu'elle ne fait pas intervenir les corrections acoustiques.

A propos des réglages désormais possibles sur de nombreuses fréquences, cela n'a d'intérêt que si l'on effectue des mesures IN VIVO (et pour autant que l'on utilise des cibles prothétiques pertinentes) **et/ou** si l'on utilise un logiciel permettant de générer les stimuli aux fréquences réglables par l'aca utilisé (comme par exemples AUDIRAMA ou l'audiomètre ASTERA).

4

Publications et communications

Parallèlement aux activités d'audioprothésiste, je me suis toujours intéressé à tout ce qui accompagnait l'appareillage auditif tels que les méthodologies et tous ses aspects acoustiques et techniques. C'est ainsi que j'ai développé, communiqué et publié en primeur dans différents domaines tels que :

- La **Mesure IN VIVO et IN VIVO SIMULE** (en 1999, le CORET ou CORrection ETHymotique, version améliorée et personnalisée du CORFIG),
- les **Corrections mécaniques et acoustiques de la courbe de réponse** (qui furent publiées en 1990 dans les Cahiers de l'Audition à l'initiative de **Francis FONTANEZ**, traduites en anglais en 1991 et à nouveau publiées après mise à jour en 2013 à l'initiative d'**Arnaud COEZ**).
- le **TRACA** (Technique de Réparation des Appareils de Correction Auditive) qui connut un certain succès lors de sa présentation au Congrès de Paris en 1989 (Figure 4) et qui fut traduit en espagnol par **Juan MARTINEZ**.
- les différents **tests d'audiométrie vocale** dans le silence (**AVS**) réalisés à l'aide de logatomes et en milieu bruyant (**AVB**) avec, en particulier, la création de l'OVG qui est actuellement pour beaucoup le cocktail party de référence (j'en suis très flatté).

Mais aussi le **test RéVerbal** et l'Audiométrie Vocale à Vitesse Variable (**test A3V**) destiné

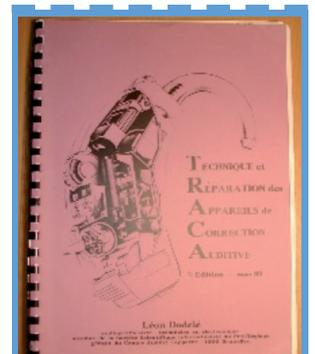


Figure 4. Le TRACA fut très apprécié par la profession lors de sa présentation au congrès de Paris en 1989



à évaluer l'éventuelle dégradation de l'intelligibilité lorsque le débit vocal est accéléré. Ce test étant réalisé à l'origine avec des logatomes, nous sommes arrivés à la conclusion que la variation du rythme d'élocution d'un mot n'était pas le meilleur choix et qu'il serait préférable de l'effectuer des **phrases sans signification**.

5

Les listes PCV

Convaincu par l'intérêt d'une **audiométrie vocale effectuée sans suppléance mentale**, il m'est paru intéressant de disposer de listes de phrases sans signification. Ou plus précisément de phrases courtes et connues dont certains phonèmes sont remplacés par des phonèmes très significatifs et susceptibles d'être mal perçus par les malentendants dont la déficience auditive ne serait pas correctement corrigée (ex : f / s / ch / v / z / j / P / T / K).

Si les « **confusions volontaires** » de ces phrases ne sont pas correctement perçues, il n'est pas possible de les deviner. D'où l'idée d'une **audiométrie vocale réalisée à l'aide de Phrases à Confusions Volontaires (listes PCV)**.

La consigne à donner pour ce test est la suivante :

« *Je vais vous lire quelques phrases dont certaines sont SANS SIGNIFICATION. Vous devez tout simplement répéter ce que vous avez ENTENDU sans chercher à comprendre la phrase* »

Exemple de PCV créées à partir de la phrase "**Les fables de LAFONTAINE**" :

- Les **S**ables de **TA** fontaine
- Les **T**ables de **MA** fontaine
- Les **R**ables de **SA** fontaine
- Les **SA-BRE**s de la fontaine
- Les fables de la **MON-DA**ine
- Les **C**ables de **CHA**fontaine
- Les **V**ables de **ZA**fontaine
- Les **CH**ables de **JA**fontaine
- Les **FU**bles de **TRA**fontaine
- L'**aiMA**ble de la **PON**taine

Les listes PCV ont une double utilité :

- 1) effectuer une audiométrie vocale traditionnelle (AVS et AVB) avec des phrases improbables où sont cotées et analysées les confusions sur les associations soulignées dans les PCV. **Les associations étant très significatives en phonétique.**
- 2) effectuer un test A3V (Audiométrie Vocale à Vitesse Variable) en faisant varier le débit vocal (par exemple en comparant une vitesse d'élocution de 5 syll./sec. vs 7,5 syll./sec.) afin d'observer si l'intelligibilité vocale se dégrade.

Ce test, que nous utilisons occasionnellement en complément de nos tests d'AVS et d'AVB (avec logatomes et OVG), n'avait jamais été publié mais uniquement enseigné.

Nous sommes bien d'accord que l'utilisation de logatomes ou de listes PCV n'est pas le reflet de la réalité et que les scores obtenus sans Suppléance Mentale et sans Lecture Labiale (LL) peuvent être inférieurs aux scores réels (autorisant la suppléance mentale et la LL). Mais « qui peut le plus difficile peut le moins difficile » !

Et contrairement à ce que disent ou pensent celles et ceux qui ne l'utilisent pas, la vocale sans suppléance mentale n'est absolument pas plus contraignante ou plus fatigante pour le malentendant qui s'affranchit du besoin de trouver un sens au mot ou à la phrase.

C'est probablement ce qui explique que la courbe de référence de nos listes de logatomes chez le bien entendant, soit plus redressée que celle des listes de mots avec signification.

6

L'enseignement

Durant mes années d'interventions aux Facultés de Fougères, Lyon, Nancy et Paris, j'ai eu le privilège de rencontrer différentes personnalités telles que les Professeurs **Lionel COLLET** (qui fut le premier à me demander d'intervenir en 2002), **Stéphane GALLEGO**, **Joël DUCORNEAUX** et bien sûr mon ami **Stéphane LAURENT**.

Partager mes connaissances et surtout mes expériences avec l'avenir de notre profession était une mission particulièrement enrichissante.

Appel aux étudiant(e)s : Permettez-moi de vous suggérer trois sujets de mémoires :

- 1) Faire une étude comparative entre la mesure des SA au casque (en dB HL), vs aux inserts, vs IN SITU (AGIS), vs IN VIVO (SA au tympan), Des valeurs obtenues sur un nombre significatif d'oreilles, confirmer et/ou compléter les observations et conclusions de notre étude.
- 2) **Comparer**, pour un même aca et une même méthodologie d'appareillage, **l'efficacité des réglages prothétiques** calculés à partir des quatre différents seuils auditifs (casque vs inserts vs AGIS vs IN VIVO). La meilleure façon d'objectiver les résultats prothétiques étant évidemment l'AVS et surtout l'AVB (si possible avec logatomes, OVG et enregistrements du Collège).
- 3) **Créer des liste PCV** (Phrases à Confusions Volontaires) n'est pas très compliqué. Il suffit de sélectionner des phrases courtes et simples et de remplacer certains phonèmes par des phonèmes très significatifs et susceptibles d'être mal perçus. Les listes une fois créées, l'intérêt sera d'en évaluer l'utilité (en AVS et en AVB) chez le malentendant appareillé.

7

Les congrès

Un autre aspect très motivant fut mes communications lors de nombreux congrès.

En particulier aux congrès des audioprothésistes français, souvent à l'initiative de **Xavier RENARD**. Mais aussi mes exposés aux congrès allemand, espagnol, italien et suisse (à l'invitation de **Philippe ESTOPPEY**). Les rencontres des chaleureux audioprothésistes québécois furent également très agréables. Merci **Gille CAGNION** de m'avoir invité à 4 reprises à prendre la parole au Congrès de l'OAQ.

8

Le CENTRE AUDITIF DODELÉ

La dernière page et non des moindres de ma carrière professionnelle, fut la création du Centre Auditif Dodelé en 1996 (Figure 5). Mon cher fils David ayant brillamment obtenu son diplôme (Marie Haps, juin 1995) et la société ReSound m'ayant proposé un contrat de consultance pour l'évaluation de ses futurs aca, j'ai pris fin 1995 la décision audacieuse de quitter LAPPERRE et de franchir le pas de l'indépendance.

Nous avons créé un Centre Auditif se voulant d'élite par la qualité des services et des prestations dont nous souhaitions faire bénéficier notre patientèle. Notre conception de relations très proches et personnalisées avec la patientèle n'étant pas vraiment en phase avec les nouvelles tendances (suicidaires ?) de « cyber-fitting » ou de « télé réglages » !



Figure 5. Le Centre Auditif Dodelé est assez atypique et réserve à sa patientèle un accueil très convivial. Sa GRANDE OREILLE ne passe pas inaperçue. Comme le disait un patient, « heureusement que vous n'êtes pas gynécologues ou protologues » !

Nous y avons, en particulier, développé la Procédure APA, méthode d'appareillage interactive essentiellement basée sur la restitution des sensations sonores et l'équilibrage interauriculaire aux principales fréquences et intensités conversationnelles (présentée en premier au congrès allemand en octobre 1995 et au congrès de Paris en mai 1996).

Confortée par des mesures IN VIVO et par les éventuelles conclusions que nous pouvons tirer de l'audiométrie vocale, notre méthode actuelle d'appareillage nous permet d'obtenir assez rapidement des résultats très intéressants (Figures 6, 7).

Dans la bibliographie, limitée à nos publications personnelles, les lectrices et lecteurs qui le souhaitent, pourront retrouver les références aux différents tests évoqués dans cet article.

Étant toujours aussi passionné, j'ai encore le bonheur de prester quelques heures par semaine aux côtés de David qui a parfaitement repris la gestion et la responsabilité du Centre Auditif.

Mes dernières pensées seront pour les nombreux confrères, consœurs et fournisseurs côtoyés tout au long de ma carrière et que j'ai encore le plaisir de rencontrer aux congrès et EPU.



Figure 6. Sept HP nous permettent d'effectuer tous les tests imaginables d'audiométrie tonale et vocale...

Bibliographie personnelle

- DODELÉ L., DARQUENNE D. (1987), Mesures IN VIVO et influence de la résonance du CAE sur l'adaptation audio-prothétique, Cahiers de l'Audition N° 2, vol. 1.
- DODELÉ L., PIRSON J., (1987), Étude du déphasage, Cahiers de l'Audition N° 4, vol. 1.
- DODELÉ L., (1989), Le TRACA, Technique et Réparation des Appareils de Correction Auditive, publication personnelle.
- DODELÉ L., Technica y Reparacion de los Aparatos de Correccion Auditiva, Widex audiofonos.
- DODELÉ L., (1990), Les corrections mécaniques et acoustiques de la courbe de réponse d'un appareil auditif, Les Cahiers de l'Audition N°2, vol.4.
- DODELÉ L., (1990), Mechanical and acoustical modifications to the frequency response of a hearing instrument, publication REXTON.
- DODELÉ L. (1992), La mesure du seuil d'inconfort, Phonak Focus.
- DODELÉ L. (1993), Rapport concernant une étude statistique portant sur plus de 22.000 audiométries, Les Cahiers de l'Audition N° 4, vol. 6.
- DODELÉ D., (1995), Les conséquences de la pratique d'un instrument de musique sur l'audition du musicien. Mémoire de fin d'étude, Maries Haps.
- DODELÉ L. (1998), Le numérique au service du potentiomètre, Les Cahiers de l'Audition N°2, vol.11.
- DODELÉ L., DODELÉ D., (1999), La mesure IN VIVO et "IN VIVO SIMULÉ", Les Cahiers de l'Audition N°5, vol.12.
- DODELÉ L., DODELÉ D., (2000), L'audiométrie vocale en présence de bruit et le Test AVfB, Les Cahiers de l'Audition N°6, vol. 13.
- MUDRY A., DODELÉ L., Hystory of the technological development of air conduction hearing aids, The Journal of Laryngology & Otology, vol. 114, pp 418-423.
- DODELÉ L., DODELÉ D., (2002), La Procédure APA, Procédure d'Affinement Post Appareillage, Les Cahiers de l'Audition N°5, vol. 15.
- DODELÉ L., DODELÉ D., (2002), Mesure du CAP, Coefficient AutoPhonatoire, Les Cahiers de l'Audition N°6, vol.15.
- DODELÉ L., DODELÉ D., (2004), Le test A3V, l'Audiométrie Vocale à Vitesse Variable, Les Cahiers de l'Audition N°5, vol.17.
- DODELÉ L., DODELÉ D., (2006), The logatoms list of Dodelé, The Magazine for Audiology Professionals, Audio Infos, N° 21.
- DODELÉ L., DODELÉ D., (2006), Dodelé's Speech Audiometry Test in Noise, The Magazine for Audiology Professionals, Audio Infos, N° 23.
- DODELÉ L., DODELÉ D., (2006), The Reverb Test and the Speech Test at Variable Speed, The Magazine for Audiology Professionals, Audio Infos, N° 24.
- DODELÉ L., DODELÉ D., (2007), Les listes de logatoms de Dodelé, Audio Infos, N° 109.
- DODELÉ L., DODELÉ D., (2007), Le test d'audiométrie vocale en présence de bruit, Audio Infos, N° 110.
- DODELÉ L., DODELÉ D., (2007), Le test RéVerbal et l'Audiométrie Vocale à Vitesse Variable, Test A3V, Audio Infos, N° 111.
- DODELÉ L., (2013), Les corrections acoustiques de la courbe de réponse, Les Cahiers de l'Audition N°5, vol. 26.



Figure 7. ... et en particulier l'application de notre Procédure APA


ReSound GN


Les personnes âgées de 70 ans ou plus passent au moins 15 heures par semaine devant la télévision et sont aussi friandes de connectivités : elles possèdent de plus en plus d'appareils numériques ⁽¹⁾, comme des ordinateurs (+11 points entre 2015 et 2016). C'est pour répondre à cette tendance qu'en 2010 nous proposons, à contre-courant du marché, les premières connectivités fonctionnant avec le 2,4 GHz. Cette technologie permet ainsi la connectivité directe aux assistants d'écoute sans fil (et sans tour de cou intermédiaire) pour l'écoute de la télévision notamment. **Fait moins connu, le 2,4GHz est aussi présent dans tous les centres d'appareillage via la clé de programmation sans fil que nous dénommons Airlink 2 et introduite sous le nom de NoahLink Wireless.**

GN, 150 ans d'innovations technologiques au service des audios et de leurs patients.

■ Communications sans fil et perspectives de demain



Historiquement nous connaissons les systèmes de communication par induction, champ magnétique et bobine T (T-coil). Ce système historique avait pour but d'améliorer la compréhension des utilisateurs en milieu bruyant et ou réverbérant. Ce système a l'avantage de ne pas être propriétaire mais en contrepartie le signal analogique n'est pas de bonne qualité et l'antenne, de taille importante, est responsable de panne.

Puis cette bobine, numériquement codée, nous a permis d'intégrer la communication inter appareil pour améliorer des fonctionnalités de traitement de signal et d'interface utilisateur.

Dans les ondes analogiques nous pourrions aussi citer les systèmes FM mais ce n'est pas l'objet de ce billet.

■ Bluetooth™ et 2,4 GHz



1. ReSound Multi Mic
2. ReSound Phone Clip+
3. ReSound Unite TV 2
4. ReSound Remote Control 2

Souvent les utilisateurs font l'analogie entre le Bluetooth™ et le 2,4 GHz.

Le Bluetooth fonctionne avec une modulation en 2,4 GHz mais répond aussi aux contraintes du couple restrictif « 1 émetteur pour 1 récepteur ». **Tandis que le 2,4 GHz n'est pas limité dans le nombre de récepteur.** Un système ReSound Unite TV 2 peut transmettre un signal audio à des dizaines d'aides auditives. Un ReSound MultiMic peut transmettre un signal audio à toute une classe d'enfants malentendants, offrant des perspectives intéressantes en terme de coût et d'usage.

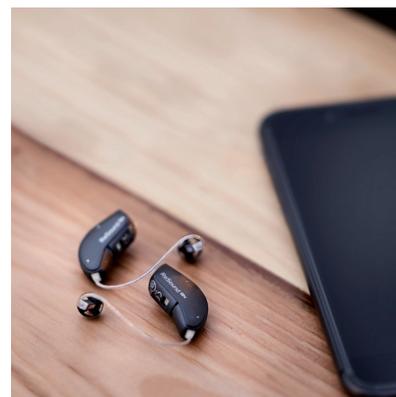
■ GN, leader reconnu en connectivités

Le 2,4 GHz a bien évolué depuis 2010, période à laquelle il n'est présent que dans les aides auditives GN. Ce système de communication nous a permis d'optimiser les interactions entre les accessoires et les aides auditives et les aides auditives entre elles. Grâce à cette communication nous avons été les premiers à proposer le « Made

for iPhone » et **aujourd'hui nous sommes les premiers à proposer son équivalent sur plate-forme Android ASHA (Audio Streaming for Hearing Aid), permettant l'utilisation d'un Bluetooth à faible consommation d'énergie et développée par Google en collaboration avec GN Hearing.** Cette nouvelle technologie de transmission directe à partir d'équipements Android compatibles ⁽²⁾ permet aux utilisateurs d'utiliser leurs appareils auditifs comme des écouteurs, avec un protocole conçu **pour optimiser la durée de vie de la batterie ou de la pile.** Avec cette technologie BLE, les utilisateurs peuvent recevoir du contenu audio toute la journée tout en préservant l'autonomie de leurs aides auditives, un défi pour le streaming audio classique Bluetooth ! **Ainsi le ReSound LiNX Quattro et le Beltone Amaze peuvent par exemple offrir jusqu'à 24h d'autonomie avec 12h de streaming pour les modèles rechargeables.**

Certes certains diront que le Bluetooth a permis de connecter tous les smartphones avant aujourd'hui mais nous sommes les seuls à proposer cette communication en stéréo et de façon native dans les smartphones.

Aujourd'hui, GN développe la 6^{ème} génération d'aides auditives, les nouvelles connectivités, interactions et système de télé-audiologie de demain.





BIOTONE TECHNOLOGIE MÉDICALE

■ STYLELINE BT 8C, Simplement irrésistible

Tous les bénéfices MyCore combinés au meilleur de la technologie Lithium-ion



En France, environ 6 millions de personnes souffrent d'une perte auditive et seulement 10% sont appareillées.

Il faut savoir que 75% des pertes auditives sont légères à modérées. C'est pour cette catégorie de personnes que les ingénieurs de **Rexton** ont imaginé et conçu **StyleLine 8C**.

Jamais auparavant la forme n'avait été si harmonieuse et les fonctions si complètes dans une aide auditive. Grâce à une batterie plus fine et au meilleur de la technologie MyCore, StyleLine révolutionne l'aide auditive.

Avec **MyCore** de **Rexton**, le son est naturel grâce à ses ajustements automatiques et rapides aux différents environnements sonores.

Streaming direct Le son du smartphone, de la télévision ou autres périphériques audio arrive directement dans les aides auditives.

MyVoice Identifie la voix du porteur de celle de son interlocuteur afin d'y appliquer le réglage approprié.

Voice Ranger Amplifie le niveau de la parole tout en réduisant les bruits gênants dans l'environnement sonore.

Dynamique d'entrée étendue Augmente la plage dynamique des sons afin d'assurer une qualité du signal optimale.

Plus discret, **StyleLine** est également plus pratique. Un chargeur nomade sans fil a été conçu pour permettre aux utilisateurs de garder une vie active sans contrainte grâce à **une batterie Lithium-ion encore plus puissante** :

- Le chargeur nomade de StyleLine se recharge en à peine 3 heures pour permettre 3 charges complètes.
- Une charge complète assure 19 heures d'autonomie.
- Une charge rapide de 30 minutes fournit jusqu'à 5 heures d'autonomie.



La naissance de nouveaux coloris

Avec le nouveau **StyleLine** de **Rexton**, l'expérience d'écoute est inégalée et combinée à des matériaux innovants et ultra-légers. Des coloris contemporains, un nouveau design ultra-fin et séduisant font de **StyleLine**, une aide auditive unique.

Les accessoires compatibles styleline

Les accessoires compatibles **StyleLine** sont conçus pour améliorer les performances auditives, la qualité sonore et le confort d'écoute permettre aux porteurs de profiter pleinement de leurs aides auditives.

Applications Smart Direct / Smart Remote : Des applications smartphone qui permettent de contrôler du bout des doigts le volume, les programmes, le mode microphonique... des aides auditives.

Chargeur nomade StyleLine : Chargeur nomade sans fil conçu pour permettre de garder une vie active sans contrainte grâce à sa batterie lithium-ion.

Smart Mic : Un petit boîtier sans fil qui utilise le Bluetooth® pour permettre une diffusion directe vers les aides auditives. Peut être utilisé comme télécommande et en micro déporté.

Smart Transmitter 2.4 : Un appareil polyvalent qui connecte la télévision et transmet le son en haute définition directement aux aides auditives MyCore.

Smart Key : Petite télécommande, discrète et pratique dotée de boutons faciles à utiliser.



MED-EL

Du nouveau chez MED-EL : AudioLink, le streamer tout-en-un pour une connectivité intégrale



C'est lors du 125^{ème} congrès de la SFORL qui s'est tenu du 28 au 30 septembre 2019 que MED-EL a annoncé le lancement d'AudioLink, le streamer tout-en-un qui offre un accès intégral à toute la connectivité d'aujourd'hui.

Très petit, il combine de nombreuses fonctionnalités en un seul accessoire. Grâce à sa technologie Bluetooth, l'utilisateur peut téléphoner les mains libres, **regarder la télévision** sans-fil ou **écouter de la musique**.

AudioLink contient aussi un **microphone déporté** qui permet à l'utilisateur d'entendre dans des environnements

difficiles comme les restaurants ou les salles de classe, ou encore de pouvoir participer à une réunion.

Plus besoin de cumuler plusieurs dispositifs coûteux pour accéder à toutes ces possibilités, AudioLink s'occupe de tout. Un seul appareil, une seule recharge, moins d'encombrement et des économies pour l'utilisateur, AudioLink a tout pour plaire.

- Dimensions : 68 x 38 x 17.5 mm
- Poids : 35 g
- Dispositif sans-fil 2.4 GHz
- Microphone déporté
- Appels téléphoniques mains-libres
- Streaming TV (via la station de recharge)
- Ecoute de la musique
- Entrée audio directe
- Compatible iOS et Android
- Compatible avec les processeurs de la gamme SONNET



À propos de MED-EL

Basé à Innsbruck, MED-EL Medical Electronics est fabricant de solutions auditives. La société familiale fait partie des pionniers du secteur. Les deux scientifiques autrichiens, le Dr Ingeborg et le Prof Erwin Hochmair, ont développé le premier implant cochléaire micro-électronique et multicanaux du monde en 1977. En 1990, ils ont posé les fondations d'une croissance réussie en embauchant leurs premiers salariés. MED-EL compte aujourd'hui plus de 2000 personnes et 33 filiales à travers le monde. MED-EL offre une très large gamme de solutions auditives pour traiter les degrés variables de la surdité : système d'implant cochléaire et d'implant d'oreille moyenne, système d'implant auditif EAS (Stimulation Electric Acoustic), implant du tronc cérébral, implant actif à conduction osseuse, système auditif à conduction osseuse non implantable. MED-EL renforce ainsi sa mission dans plus de 123 pays d'aider les personnes souffrant de perte auditive à surmonter les barrières à la communication. www.medel.com



chroniques dyapason

Nos intervenants partagent sans langue de bois leur vision du monde de l'audiologie.



Inscrivez-vous sur
dyapason-chroniques.fr



Parmi nos experts, le Pr André Chays de l'Académie nationale de médecine.



oticon PEOPLE FIRST

■ L'excellence auditive avec Oticon

Avec les récents lancements de sa gamme Power **Oticon Xceed** et de sa gamme pédiatrique **Oticon Opn Play** et **Oticon Xceed Play**, le fabricant danois rend l'expérience sonore à 360° accessible à tous les utilisateurs !



Ces nouvelles gammes sont placées sous le signe de la puissance pour laquelle **plusieurs records sont tombés** :

- Xceed UP/Xceed Play UP est **l'aide auditive la plus puissante au monde avec un gain de 87 dB et un niveau de sortie de 146 dB SPL.**

- La plateforme Velox S qui équipe ces gammes est non seulement la plateforme la plus puissante jamais créée par Oticon mais elle est aussi la plateforme qui offre **le plus de canaux de traitement au monde avec un record établi à 64 canaux de traitement.**

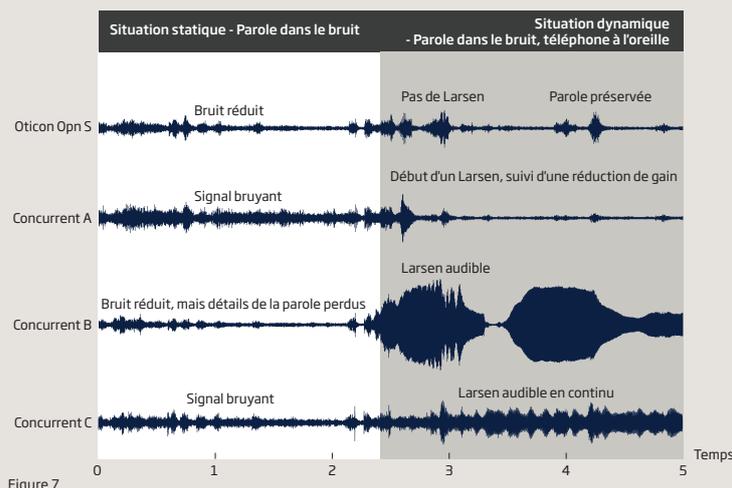
Parallèlement à ces gammes, Oticon a également lancé Oticon CROS pour les surdités totales unilatérales.

Autant de nouvelles gammes, aux côtés d'Oticon Opn S, qui permettent à Oticon de proposer **le portefeuille produits le plus complet, le plus jeune technologiquement parlant et surtout le plus révolutionnaire d'un point de vue audiolgique.**

D'ailleurs, les **bénéfices utilisateurs sont encore inégalés** à ce jour :

OpenSound Optimizer - un gain prescrit stable, sans risque de Larsen

Oticon a mené une étude en laboratoire avec un mannequin KEMAR pour comparer Oticon Opn S à trois aides auditives de la concurrence afin d'évaluer la performance dans un environnement statique et dynamique avec des bruits de fond (Figure 7). Pour Oticon Opn S, l'étude a démontré une absence de Larsen audible pendant que le gain était maintenu et le bruit réduit pour optimiser l'audibilité et l'intelligibilité de la parole.



Côté gauche - statique

Oticon Opn S amplifie la parole comme prévu, et bénéficie de la réduction considérable du bruit d'OpenSound Navigator. Les concurrents A et C présentent une mauvaise gestion du bruit. Le concurrent B présente une bonne gestion du bruit mais les détails de la parole sont perdus.

Côté droit - dynamique

Il existe deux effets indésirables : le Larsen audible et la réduction drastique du gain :

1) Larsen audible

Le concurrent B présente deux Larsen audibles et la stabilité n'est pas atteinte avant la fin de la période de test. Le concurrent C montre un Larsen audible en continu. Pour Oticon Opn S, on n'observe aucun Larsen audible.

2) Réduction de gain drastique

Le concurrent A présente un Larsen très bref, suivi d'une réduction de gain drastique pour éviter un Larsen audible dans la situation dynamique. La réduction de gain est de 10-12 dB, ce qui réduit considérablement l'audibilité de la parole. Pour Oticon Opn S, le gain est préservé.

Les concurrents A et B montrent les effets indésirables courants des stratégies de gestion du Larsen traditionnellement employées par les fabricants. De plus, le test a montré que le fabricant d'aide auditive du concurrent C, n'a pas pu atteindre le gain ciblé avec l'écouteur classique. Un haut-parleur plus puissant avec un plus petit échantillon a été utilisé. La Figure 7 met en évidence la réduction du bruit plus rapide et plus efficace fournie par l'OpenSound Navigator, par rapport à la concurrence.

Conditions de test :

Parole présentée de face (0 degrés) et bruit modulé en fonction de la parole présentée depuis deux haut-parleurs situés à l'arrière (+/- 135 degrés)

Niveaux : 70 dB ou 0 dB SNR
Phrase : "What can I have for dinner tonight, I do have some pasta in the fridge..."

Adaptation de l'aide auditive : Audiogramme standard S2 (Bisgaard, N., Vlaming, M. S., & Dahlquist, M. (2010). Standard audiograms for the IEC 60118-15 measurement procedure. Trends in amplification, 14(2), 113-120.) modifié pour être légèrement plus raide, dômes ouverts, exécution de l'analyseur de Larsen. Abaissement fréquentiel désactivé.



1. L'accès au paysage sonore sur 360°

En repoussant les limites technologiques conventionnelles de l'audiologie, c'est-à-dire en sortant de la directivité étroite qui coupe l'accès aux sons ambiants, OpenSound Navigator donne accès à tous les sons pertinents dans un paysage sonore à 360° et délivre exactement ce dont le cerveau a besoin pour donner du sens au son.



de Larsen. Cette marge supplémentaire permet d'offrir jusqu'à **30% d'indices de paroles supplémentaires***.

capacités de remémoration sont les bénéfices prouvés scientifiquement par des études indépendantes.

2. La fin de l'effet Larsen

OpenSound Optimizer analyse la boucle de Larsen à la vitesse étonnante de **56000 fois par seconde**. En fait, c'est si rapide que cette fonctionnalité peut détecter et prévenir le Larsen de manière proactive, avant même qu'il ne se produise. Cette caractéristique innovante permet d'obtenir jusqu'à **6 dB de gain supplémentaire** sans pour autant être obligé de réduire la taille du venting, et ceci sans risque

3. Une compréhension de la parole comparable à celle des normo-entendants**

Grâce à la combinaison d'OpenSound Navigator et d'OpenSound Optimizer, Oticon Opn S solutionne le défi le plus important pour les personnes atteintes de perte auditive, à savoir être capable d'échanger avec plusieurs personnes dans un environnement bruyant. Meilleure compréhension de la parole, réduction de l'effort d'écoute, amélioration des

Profitez du prochain EPU, les 29 et 30 novembre prochains à Paris, pour (re)découvrir les solutions auditives les plus visionnaires et avant-gardistes de l'industrie et qui changent véritablement la vie des malentendants.

Pour en savoir plus : Oticon.fr

*Speech intelligibility index, ANSI S3.5.

**En environnement bruyant. Juul Jensen 2018, livre blanc Oticon, Oticon Opn S1

Oticon Opn S permet à BrainHearing™ d'atteindre de nouveaux sommets

Avec Oticon Opn, Oticon proposait une innovation de rupture, avec des bénéfices inédits pour le cerveau : 30 % de compréhension de la parole en plus, 20 % d'effort d'écoute en moins et 20 % de capacité de mémorisation en plus (par rapport à Alta2 Pro).

Équipé de la plateforme Velox S™, Oticon Opn S va encore plus loin.

- OpenSound Navigator offre un accès continu à 360° à tous les sons pertinents, notamment la parole, même dans des environnements d'écoute difficiles. Oticon Opn S est doté d'une version mise à jour de cette technologie. Un nouveau réglage très élevé, qui peut être activé dans le logiciel Oticon Genie 2, offre aux utilisateurs plus d'aide dans les situations d'écoute quotidiennes.
- OpenSound Optimizer procure au cerveau jusqu'à 30% d'indices acoustiques supplémentaires tout au long de la journée. Cela est le résultat d'une amplification optimale et stable, non affectée par des réductions du gain liées au risque de Larsen (Callaway 2019, livre blanc d'Oticon).

Ainsi, avec Oticon Opn S, la compréhension de la parole présente une amélioration de **15%** (Figure 8), l'effort d'écoute objectif est réduit de **10%** (Figure 9a et 9b) et la capacité de mémorisation présente une amélioration de **10%** (non illustrée ici). La charge cognitive est réduite pour le cerveau, et est mise au service de la communication puisque la réduction de l'effort d'écoute, de l'effort de traitement et de mise en mémoire laisse plus de possibilités/de capacités cognitives à l'utilisateur pour répondre et participer activement aux conversations (Juul Jensen 2019, livre blanc d'Oticon). En effet, avec Oticon Opn S, Oticon propose une réduction supplémentaire de l'écart entre audition déficiente et normale en permettant une compréhension de la parole équivalente à l'audition normale dans les environnements bruyants (Juul Jensen 2018, livre blanc d'Oticon).

Une meilleure compréhension de la parole

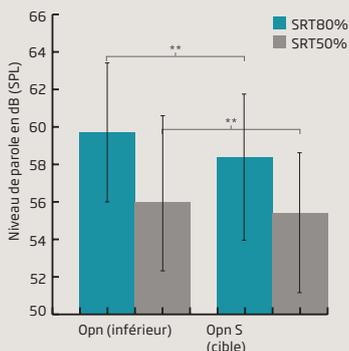


Figure 8

Effort d'écoute réduit

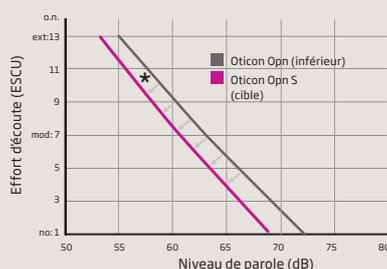


Figure 9a

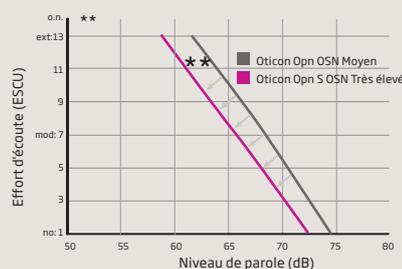


Figure 9b



PHONAK life is on

AutoSense OS -
Intelligibilité vocale
supérieure et effort
d'écoute moindre dans
les situations auditives
complexes



Cette étude, réalisée au Hörzentrum Oldenburg, en Allemagne, a montré que AutoSense OS permettait une meilleure intelligibilité vocale subjective et une diminution de l'effort d'écoute comparé à deux autres modèles concurrents. Ce fut le cas lors d'une simulation de conversation typique, alors que l'auditeur se concentrait sur une personne lui parlant de face, et également dans une situation où l'attention était partagée sur différents orateurs.

Introduction

Pour les personnes présentant une perte auditive neurosensorielle, comprendre la parole en présence de bruit ambiant est l'une des tâches les plus difficiles, même lorsqu'elles portent des aides auditives adaptées. Dans les environnements bruyants et complexes, les utilisateurs d'aides auditives ont besoin d'un rapport signal sur bruit (RS/B) plus favorable que les normo-entendants pour atteindre le même niveau de performance (par ex., Killion, 1997). En outre, il a été constaté que la capacité à comprendre la parole dans le bruit était liée à la satisfaction vis-à-vis des aides auditives. Selon l'étude MarkeTrak IX, les utilisateurs d'aides auditives les plus satisfaits estiment que leurs aides auditives atténuent efficacement le bruit ambiant, sont confortables en présence de sons forts

et améliorent la capacité à détecter d'où provient le son (Abrams et Kihm, 2015).

Ces dernières décennies, les fabricants d'aides auditives ont mis au point des technologies de réduction du bruit de plus en plus avancées pour améliorer le RS/B et, par là même, la reconnaissance vocale. La directivité microphonique est l'une des technologies de réduction du bruit les plus utilisées dans les aides auditives. Son utilisation implique deux microphones fonctionnant en tandem pour permettre à l'aide auditive de produire un signal directionnel et d'agir en tant que « suppressor de bruit ambiant ». Cette configuration de microphone est conçue pour améliorer la compréhension vocale en présence de bruit ambiant, étant donné qu'il est courant que le signal cible parvienne à l'utilisateur d'aide auditive de face et que le bruit ambiant indésirable vienne de l'arrière et/ou des côtés.

StereoZoom, l'algorithme d'aide auditive développé par Phonak, utilise non seulement les informations auditives de chaque oreille, mais également des informations binaurales pour créer un faisceau étroit dans des situations auditives particulièrement complexes. Le mode microphonique StereoZoom est appliqué dans le programme Parole dans le bruit intense (PdBI), l'un des programmes disponibles dans AutoSense OS, le système de classification automatique des aides auditives Phonak. Dans les conversations avec des niveaux de bruit ambiant élevés, StereoZoom augmente le RS/B, ce qui améliore l'intelligibilité vocale, la qualité sonore et la suppression du bruit. Il a également démontré une augmentation des interactions sociales et une réduction de l'effort d'écoute et de mémoire.

Basé sur des modèles de psychologie cognitive et en considérant la validité écologique, une conversation de groupe typique est décrite comme suit : les auditeurs passent constamment d'une attention partagée à une attention ciblée. Il est possible que lorsqu'une conversation commence, les auditeurs partagent leur attention entre les orateurs du groupe afin de décider quelle personne ils veulent écouter le plus ou à quelle conversation ils aimeraient se joindre. Une fois qu'ils ont décidé, ils sont susceptibles d'essayer de concentrer leur attention sur un seul orateur et d'essayer de bloquer les autres conversations et bruits autour d'eux. Cependant, il peut également arriver que quelqu'un d'autre veuille attirer leur

attention. Dans ce cas, il serait également utile pour eux d'être capables d'entendre les orateurs provenant d'autres directions. Cela implique, dans une conversation de groupe, que l'auditeur puisse passer d'une attention ciblée à une attention partagée.

L'objectif de cette étude était de comparer la capacité de localisation, l'intelligibilité vocale subjective et l'effort d'écoute subjectif dans des situations auditives complexes pour un modèle AutoSense OS et deux modèles concurrents qui permettent eux aussi de classer automatiquement les scènes auditives. L'étude visait également à déterminer s'il y avait des différences de performance quand l'attention était focalisée sur un seul orateur et quand elle était partagée entre plusieurs orateurs.

Méthodologie Participants

30 utilisateurs expérimentés d'aides auditives présentant une perte auditive moyenne (figure 1) ont participé à cette étude. Ils avaient entre 44 et 86 ans (la moyenne d'âge étant de 72,6 ans). Ils avaient des valeurs cognitives normales évaluées à l'aide d'un test « DemTEct » et ont montré une capacité à bouger normalement la tête.

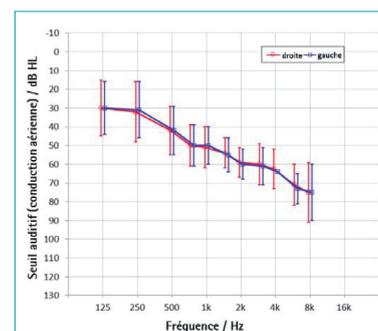


Figure 1. Audiogramme moyen pour les 30 participants, pour les oreilles de droite et de gauche.

Appareils

Les participants ont porté des aides auditives Phonak Audéo B90-312T (équivalant en performance à l'aide auditive Audéo Marvel pour les aspects spécifiques testés dans cette étude), ainsi que des aides auditives Premium de deux concurrents. Les appareils étaient réglés sur la formule de présélection par défaut du fabricant et une adaptation



fine a été effectuée si nécessaire. Les appareils Phonak étaient programmés avec AutoSense OS, qui a classifié les scènes décrites ci-dessous comme correspondant au programme Parole dans le bruit avec UltraZoom activé. Les deux modèles concurrents étaient également programmés avec leurs programmes automatiques. Tous les modèles ont utilisé des SlimTips fermés.

Méthodes

Un test dynamique de localisation a été réalisé afin de tester la capacité des aides auditives à aider l'utilisateur à localiser les sons dans des situations du quotidien. Les participants portaient un détecteur de mouvement de tête et étaient assis dans une pièce à champ libre, au centre d'un cercle horizontal de 12 haut-parleurs. La scène consistait en du bruit de rue, du bruit d'une cour de récréation (les deux de l'ordre de 65 dB SPL) et d'une conversation provenant de derrière à un niveau de 5 dB SPL. Des cibles mobiles (un camion diesel à basse fréquence et une moto aux fréquences plus élevées) passaient à côté des utilisateurs, dans l'hémisphère avant (figure 2). Ces cibles apparaissaient aux angles -90°, -30°, 30° ou 90°, avant d'atteindre le coin de la rue

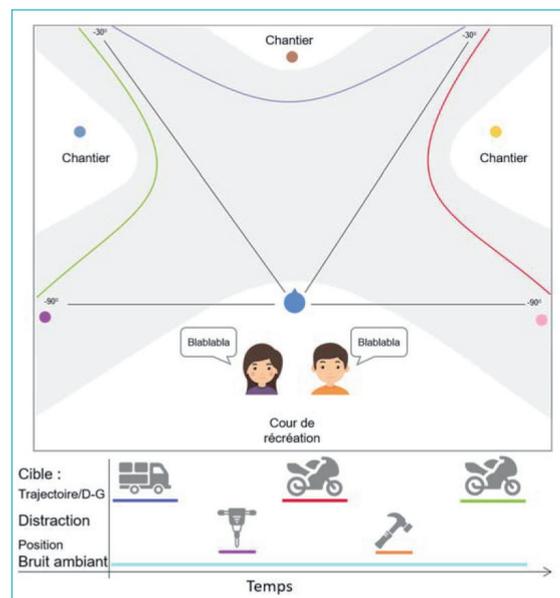


Figure 2. Configuration du test de la scène du bruit de rue utilisé pour le test dynamique de localisation. Les lignes rouge, bleu et verte indiquent le chemin des cibles mobiles. Les bruits de marteau et de marteau-piqueur proviennent des points marqués comme « chantier ». Du bruit de cour de récréation et une conversation ont lieu derrière le participant. La séquence de présentation des sons cibles et des sons de distractions est présentée sous forme de ligne de temps en bas du schéma.

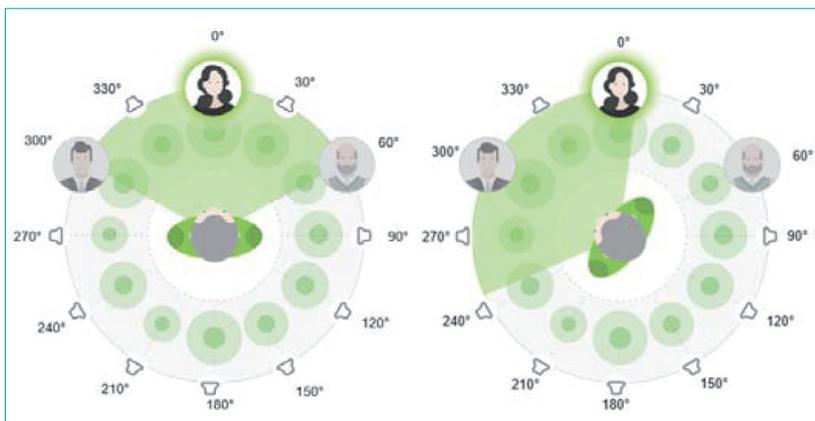


Figure 3. Du bruit de cafétéria était généré simultanément des 12 haut-parleurs. D'autre part, le matériel vocal du test de phrases d'Oldenburg (OLSA) était diffusé depuis les haut-parleurs marqués dans ce schéma par un visage. L'oratrice à 0° était définie comme étant la cible, tandis que les orateurs à 60° et à 300° (-60°) étaient définis comme étant des interférences. La scène à gauche où le participant fait face à l'oratrice à 0° représente l'attention ciblée. La scène à droite où le participant fait face à -60°, mais se concentre sur le discours de l'oratrice à 0°, représente l'attention partagée.

et de disparaître (voir les lignes colorées dans la figure 2). Les mouvements se sont produits dans les deux directions. Ces mouvements couvraient toujours un angle azimutal de 60° dans l'hémisphère avant. Entre deux sons cibles, il y avait deux sons statiques de distraction : un marteau (74 dB SPL) et un marteau-piqueur (71 dB SPL). L'ordre des événements sonores est indiqué en bas de la figure 2.

Les participants étaient équipés d'un système de détecteur optique de mouvement de tête et ont reçu pour consigne d'orienter leur tête vers les sources des cibles mobiles. Ils ont entendu des séquences de 180 secondes avec chaque aide auditive, contenant 18 stimuli cibles par séquence. Les données ont été analysées pour identifier les temps de réaction et les déviations des angles cibles.

Après le test de localisation, un test comparatif par paires a été réalisé afin d'évaluer les préférences pour chaque aide auditive par rapport à l'intelligibilité vocale et l'effort d'écoute. Pour ce test, le concept d'aides auditives virtuelles a été appliqué.

Le concept d'aides auditives virtuelles consiste en deux étapes :

(1) des enregistrements in situ ont été réalisés avec les trois aides auditives à l'étude réglées pour les oreilles de chaque participant.

(2) Ces enregistrements ont ensuite été diffusés aux participants via des écouteurs intégrés. La scène utilisée pour cette activité était générée comme suit : les participants étaient assis au centre de 12 haut-parleurs, faisant face à l'orateur à 0° et à 300° (-60°) (figure 3, respectivement à gauche et à droite). Du bruit de cafétéria diffusé a été émis par les 12 haut-parleurs à un niveau total de 65 dB et le matériel vocal du test de phrases d'Oldenburg (OLSA) était constamment et simultanément diffusé depuis trois haut-parleurs à 0°, -60° et +60°, avec un RS/B de 0 dB pour chaque orateur. Cette scène représentait une personne assise dans une cafétéria bondée discutant avec trois personnes. L'orateur assis à 0° était la voix de femme OLSA germanophone tandis que les deux autres orateurs étaient des hommes germanophones. Les enregistrements ont été réalisés avec les trois aides auditives pendant que les participants faisaient face à l'orateur à 0° et à -60°. La tâche des participants était de comparer directement deux aides auditives à la fois (comparaison par paires) et d'évaluer l'intelligibilité vocale (« Avec quelle aide auditive pouvez-vous le mieux entendre l'oratrice ? ») et l'effort d'écoute (« Avec quelle aide auditive est-il plus éprouvant de suivre le discours de l'oratrice ? »).

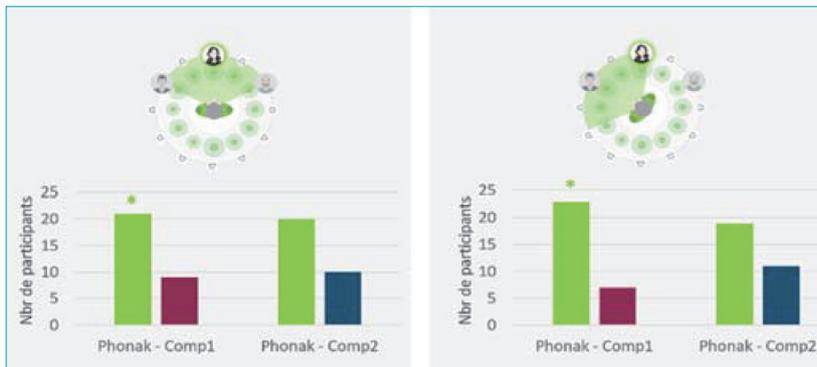


Figure 4. L'intelligibilité vocale subjective (comparaison par paires) indiquait le nombre de participants qui ont préféré une aide auditive particulière dans chaque paire en termes d'intelligibilité vocale. Le graphique de gauche représente la condition d'attention ciblée (tête face à 0°) et le graphique de droite représente la condition d'attention partagée (tête face à -60°). * = différence significative ($p < 0,05$).

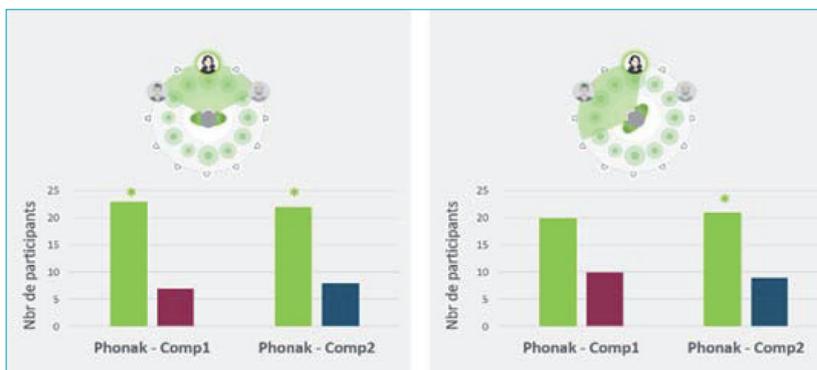


Figure 5. L'effort d'écoute (comparaison par paires) indiquait le nombre de participants qui ont préféré une aide auditive particulière dans chaque paire en termes d'effort d'écoute. Le graphique de gauche représente la condition d'attention ciblée (tête face à 0°) et le graphique de droite représente la condition d'attention partagée (tête face à -60°). * = différence significative ($p < 0,05$).

Quand les participants étaient interrogés sur la voix de femme qu'ils avaient entendue, les enregistrements réalisés avec la tête faisant face à 0° représentaient l'attention ciblée (figure 3 gauche) et les enregistrements avec la tête faisant face à -60° représentaient l'attention partagée (figure 3 droite).

Résultats

Test comparatif par paires

Les résultats du test comparatif par paires sont illustrés aux figures 5 et 6. Pour chaque comparaison par paires, on peut voir combien de participants ont préféré une aide auditive plutôt que l'autre par rapport à l'intelligibilité vocale et l'effort d'écoute.

La figure 4 montre les résultats du test comparatif par paires par rapport à la préférence de l'intelligibilité vocale à la fois pour l'attention ciblée et l'attention

partagée. Phonak offre une meilleure intelligibilité vocale subjective que les deux modèles concurrents. La différence est significative pour le concurrent 1 pour la parole de face (attention ciblée) et la parole à 60° (attention partagée).

La figure 5 illustre les résultats du test comparatif par paires par rapport à l'effort d'écoute. Les aides auditives Phonak demandaient un effort d'écoute significativement moindre que les deux autres modèles concurrents quand le participant devait se concentrer sur l'orateur en face de lui (attention ciblée). Quand il l'écoutait à -60° (attention partagée), Phonak demandait également un effort d'écoute moindre que les deux concurrents, mais la différence n'était statistiquement significative que quand l'aide auditive Phonak était comparée à celle du concurrent 2.

Conclusion

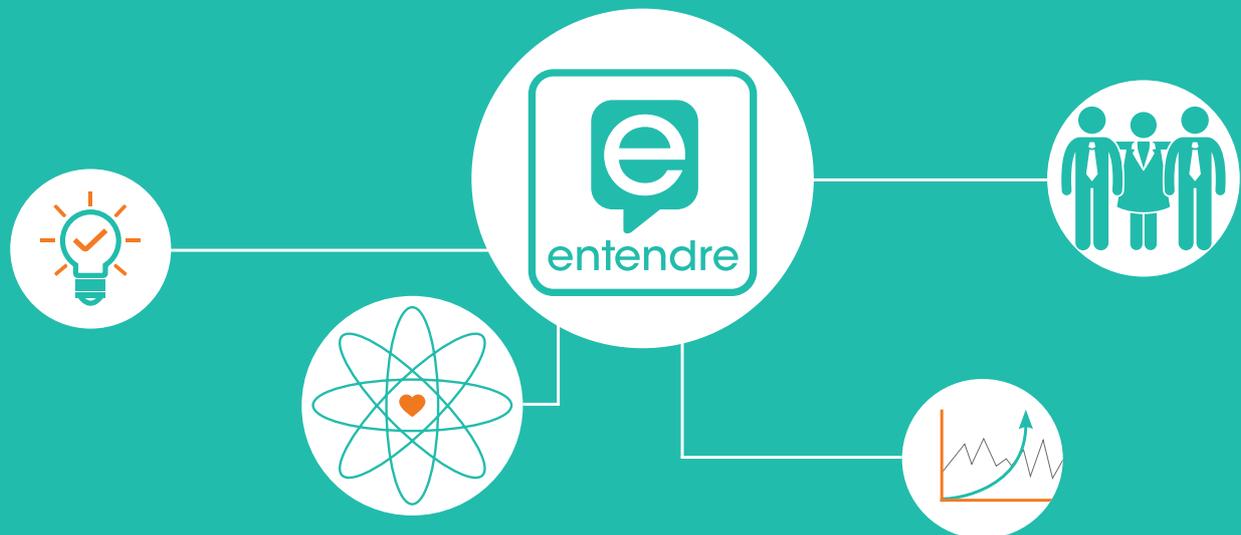
Écouter de la parole dans un environnement bruyant représente encore souvent un défi, particulièrement pour les utilisateurs d'aides auditives. Une conversation de groupe typique implique que l'on passe sans arrêt d'une attention ciblée sur un orateur à une attention partagée entre plusieurs orateurs. Bien que Phonak adopte une approche qui permette de se concentrer sur l'intelligibilité vocale venant de face et de l'améliorer, il a été démontré par comparaison que cette méthode ne présentait pas de désavantage en termes de capacité de localisation par rapport aux approches de plusieurs concurrents.

Les tests comparatifs par paires ont montré que AutoSense OS présentait une meilleure intelligibilité vocale et un effort d'écoute plus réduit que les deux modèles concurrents, à la fois quand l'orateur se trouve en face (attention ciblée) et quand il se trouve sur le côté (attention partagée). Cela signifie que les utilisateurs d'aides auditives Phonak bénéficient d'une meilleure compréhension vocale avec le moins d'effort d'écoute possible lors d'une situation auditive complexe avec plusieurs orateurs.

Plus d'informations sur www.phonakpro.fr/etudes :

-Phonak Field Study News | AutoSense OS - Intelligibilité vocale supérieure et effort d'écoute moindre dans les situations auditives complexes

REJOIGNEZ LE RÉSEAU ENTENDRE



UN RÉSEAU FORT NE PEUT SE CONSTRUIRE
QU'AVEC DES INDIVIDUS FORTS.

Les audioprothésistes



REJOINDRE LE RÉSEAU D'AUDIOPROTHÉSISTES INDÉPENDANTS ENTENDRE C'EST :

- Adhérer à la 1ère coopérative française d'audioprothésistes indépendants ;
- S'engager aux côtés d'un réseau fort de plus de 300 centres répartis sur toute la France ;
- Défendre et valoriser le statut d'indépendant tout en bénéficiant de la puissance de l'enseigne ;
- Bénéficier d'aides financières* :
 - 100% des cotisations offertes aux nouveaux adhérents les deux premières années,
 - un forfait de 5000€,
 - 15€ par aide auditive achetée en Centrale, la 1ère année ;
- Préserver sa marge grâce à la force de la Centrale d'Achats Entendre ;
- Disposer d'un concept national unique, fort et identifiable ;
- Participer à de nombreuses formations adressées à toute l'équipe du centre ;
- Profiter de multiples opportunités pour les salariés, techniciens, assistant(e)s,...

CONTACTEZ-NOUS AU

2Bis, Rue Francisco Ferrer - 78210 SAINT-CYR-L'ÉCOLE - 01 30 07 17 87
recrutement@entendre.fr



signia

Life sounds brilliant.

Innovations audiologiques, quels bénéfices pour le patient ?

Les innovations technologiques - Traitement du signal binaural

Système de communication entre les appareils : e2e

En 2004, Signia a été le premier fabricant d'aides auditives à proposer un système de communication sans fil permettant un échange binaural d'informations numériques entre les appareils auditifs. Ce système e2e (ear to ear) permettant un fonctionnement plus naturel lors d'un appareillage binaural, a évolué au fur et à mesure des générations pour offrir plus de débit, plus de fiabilité, plus de fonctionnalités.

Aujourd'hui, avec la 4^{ème} génération de ce système, il est désormais possible de transférer, en temps réel, les signaux microphoniques d'un appareil à l'autre. Cette capacité permet, entre autres, la réalisation de montages CROS / BiCROS sans fil entre les aides auditives.

Les dernières générations d'appareils utilisent quant à elles cette capacité pour créer un traitement du signal amélioré, basé non plus sur 2, mais 4 microphones, soit 4 points d'écoute d'une même scène auditive. Quand on sait, par exemple, que la précision d'un système microphonique dépend du nombre de points de mesures et de la distance séparant chacun d'eux, on tient alors avec cette technologie l'opportunité de proposer une qualité de traitement exceptionnelle. Il est cependant nécessaire d'avoir les capacités de calcul pour faire fonctionner des algorithmes performants permettant de tirer le meilleur parti de ces informations. C'est ce que proposent les dernières générations d'aides auditives Signia, qui intègrent des algorithmes spécifiques permettant d'exploiter ces informations.

Bénéfices patient Compréhension dans le bruit

Encore aujourd'hui et malgré les avancées

technologiques, les attentes les plus fortes de la part des personnes malentendantes portent sur la compréhension dans les milieux complexes et bruyants. L'étude EuroTrak France 2018 ^[1], nous montre que les attentes principales des patients concernent la compréhension en groupe, en famille et dans les environnements difficiles.

Le traitement binaural du signal permet, de proposer des solutions à ces attentes et d'améliorer les performances audiologiques des appareils.

Le système Super Focus par exemple, issu de cet échange binaural entre 2 appareils (Super directivité ou Narrow Directionality), a été étudié dans plusieurs articles indépendants publiés récemment.

Littman et al en 2017 ^[2], ont réalisé une étude sur 20 patients avec perte bilatérale symétrique moyenne. Dans cette étude, ils ont comparé le RSB (rapport signal/bruit) permettant d'obtenir 50% de reconnaissance de la parole (RTS – Reception Threshold for sentences) entre les modes omnidirectionnel (captation avec 1 seul micro, dans toutes les directions), directionnel (utilisation des 2 micros de l'appareil, focalisation vers l'avant) et le mode Super Focus (utilisations des 4 micros, focalisation vers l'avant plus importante). Les patients étaient tous appareillés en binaural et soumis à un test de compréhension dans le bruit (HINT Test) avec face à eux, le signal de parole, et en concurrence sur 7 autres haut-parleurs disposés autour d'eux (espacés de 45°), un mélange de parole.

La figure n°1 est un graphique tiré de cette étude montrant l'amélioration du rapport signal/bruit obtenu pour les 3 modes microphoniques différents. On peut voir que le mode Super Focus (Narrow Directionality) offre au patient le meilleur résultat avec une amélioration supérieure à 6 dB par rapport à un mode omni direc-

tionnel, et supérieure à 1dB par rapport à un directionnel adaptatif, pourtant déjà très efficace. En termes de compréhension de parole, cette amélioration de 6 dB équivaut à une amélioration de plus de 50% du score de reconnaissance !

Qualité de vie

Le bénéfice d'un appareillage avec un traitement du signal binaural ne s'arrête pas uniquement aux performances audiologiques. L'Eurotrak France 2018 nous apprend qu'une majorité d'utilisateurs constate également une amélioration de leur qualité de vie – au moins de temps en temps – et un impact significativement positif dans leur participation aux activités de groupe et leurs relations à la maison, et ce grâce au port de leurs appareils Signia. Corroborant ces résultats, des études récentes ont mis en avant et révélé cette amélioration de la qualité de vie des porteurs d'aides auditives.

La première étude, à laquelle nous nous référerons date de 2019 ^[3]. Elle a été réalisée à l'université de l'Arkansas aux États-Unis, a évalué le bénéfice, non pas en termes d'audiologie, mais en termes de satisfaction générale des utilisateurs dans leur quotidien du port des appareils auditifs. 28 personnes âgées de 26 à 94 ans (groupe homogène femmes/hommes), présentant une perte moyenne et jamais appareillées, ont participé à cette étude. Elles ont toutes été équipées en appareils Signia RIC 7Nx avec les toutes dernières technologies actives.

Les résultats ci-après ont été relevés après 6 semaines d'utilisation des appareils.

Avant d'analyser ces résultats, il convient de rappeler que nous nous intéressons ici à des éléments relatifs à la qualité de vie des patients, et non à une amélioration audiolinguistique en tant que telle. Les résultats que l'on peut voir sur la figure n°2 révèlent que les aides auditives de dernière génération améliorent la qualité de vie de nombre d'utilisateurs : en moyenne, plus de 50% des participants constatent une amélioration dans leur qualité de vie, aussi bien dans leurs interactions et relations avec les autres (vie sociale, activités de groupe, relation à la maison), que d'appréciation de soi-même. Et près de 70% des participants ont indiqué une amélioration de leur qualité de vie globale. Si l'on compare à une étude similaire menée fin des années 90 ^[3], il y a donc près de 20 ans, l'amélioration de la qualité de vie était



Figure n°1 : Moyenne pour 20 patients du rapport Signal/bruit obtenu pour 50% de reconnaissance de parole pour 3 modes d'écoutes.

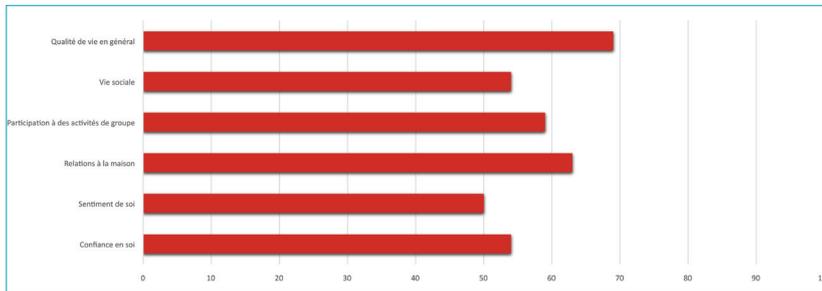


Figure 2 : Pourcentage de participants indiquant une amélioration après 6 semaines de port des appareils

alors remontée par seulement 49% des participants. Une évolution de 40% !

La seconde étude qui nous permet de confirmer cette amélioration de la qualité de vie des patients porte sur la relation entre l'appareillage aidé par ces nouvelles technologies et l'augmentation de la capacité des patients à communiquer dans les situations qui pour eux sont problématiques [4].

La question sous-jacente ici est de mettre en évidence la capacité des appareils actuels à prévenir l'isolement social qui peut toucher chaque malentendant. Une part importante de la socialisation provient de la capacité à communiquer en écoutant et à la fois en parlant. Non seulement il faut être en capacité de comprendre, mais aussi de pouvoir trouver ses repères dans la boucle audio-phonatoire modifiée par l'appareillage qui peut, si non maîtriser, conduire à perdre confiance et jusqu'à ne plus oser prendre la parole. Cette étude a été conduite en 2018 avec 32 patients malentendant appareillés en binaural à l'aide d'appareils Signia Pure 7Nx. Chaque patient était invité, le jour de l'appareillage, à indiquer 3 situations, par ordre d'importance, au cours desquelles il se sentait en difficultés de communication avant l'appareillage. 96 situations ont donc été identifiées au total (22 : rassemblement de famille, 16 : collègues lors de réunion, 13 : au restaurant, 11 : en voiture,

11 : Activité social, 7 : sorties avec des amis, 5 : les petits enfants, 5 : shopping).

Après 6 semaines de port des appareils, chaque participant était invité à évaluer pour les 3 situations personnelles indiquées en début d'appareillage l'évolution ressentie et ce sur une échelle allant de : moins bien/pareil/un peu mieux/mieux/vraiment mieux.

Les résultats ci-dessous sont ceux obtenus pour les 96 situations (3 par participants) après 6 semaines d'utilisation des appareils.

Nous pouvons constater sur la figure 3, qu'aucun patient n'a vu une de ces situations citées se dégrader avec le port de l'appareil. Au contraire et au cumul des niveaux un peu mieux, mieux et vraiment mieux, on constate que près de 80% des situations ont été améliorées et que les patients ont donc été plus à l'aise pour communiquer. Plus précisément on peut constater, sur les améliorations, que la situation donnée en premier par les patients s'est vue le plus nettement améliorée. Etant la première citée on peut considérer que c'est la situation qui leur pose le plus de soucis ou envers laquelle il porte le plus d'importance.

À travers ces 2 études, on peut constater que l'appareillage auditif apporte bien plus qu'une amélioration de l'écoute ou de la compréhension. A travers lui, c'est

une qualité de vie qui s'accroît avec une confiance en soi qui et une capacité à communiquer et rester sociabilisé qui s'amplifie.

Conclusion

Les dernières générations d'aides auditives ont vu leurs capacités de traitement de signal décuplées par les possibilités d'échange entre les 2 appareils d'un appareillage stéréophonique. Le signal n'est plus traité indépendamment d'une oreille à l'autre, mais comme le fait le cerveau, de manière binaurale. Ces nouvelles fonctionnalités permettent de répondre à l'attente première des patients : comprendre mieux dans les environnements où ils se trouvent gênés. Maintenant, les études récentes nous montrent que cette performance d'écoute se fait également avec moins d'effort, moins de fatigue, permettant au patient de faciliter et d'augmenter le port d'aides auditives dans ces environnements gênants. S'ajoutant à cela l'accroissement de la qualité de vie, de la confiance en sa prise de parole, on peut affirmer que l'acceptation des aides auditives par les patients malentendants est grandement améliorée.

Références

- [1] EuroTrak 2018 France survey
- [2] Littman V, Høydal EH. Comparison Study of Speech Recognition Using Binaural Beamforming Narrow Directionality. *Hearing Review*. 2017 ;05
- [3] Powers TA, Davis D, Froehlich M, Amlani AM (2019). Better Hearing is Better Living. *Hearing Review*. 2019;26(1)[Jan]:18-20.
- [4] Powers TA, Davis B, Apel D, Amlani AM. Own voice processing has people talking more. *Hearing Review*. 2018;25(7):42-45

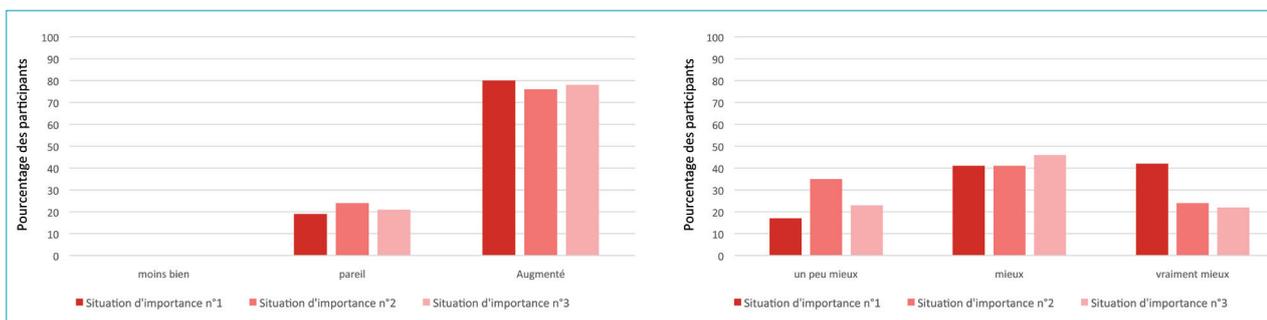


Figure 3 : Evolution ressentie après 6 semaines de port pour chaque situation par ordre d'importance.



Mieux entendre. Mieux vivre.

Réduction du bruit transitoire

Kyle Walsh, Ph.D.

Les sons transitoires (explosion de feu d'artifice, verre qui se brise, coup de marteau ou vaisselle qui s'entrechoque par exemple) peuvent être gênants et désagréables pour les utilisateurs d'aides auditives. Cette perception de sons indésirables tient essentiellement au fait que les aides auditives ne compensent pas totalement l'augmentation anormale du niveau sonore ressentie par les malentendants du fait de leur plage dynamique réduite. On appelle recrutement cette réduction de plage et l'élévation rapide du niveau sonore qui lui est associée (Moore, 2003). La fonction TNR (réduction du bruit transitoire), présente dans toutes les aides auditives Livio et Livio™ AI de Starkey®, agit comme un compresseur capable d'atténuer rapidement les signaux acoustiques transitoires et de les rendre plus tolérables sans pour autant déformer les autres sons de l'environnement tels que les paroles.

La fonction TNR atténue les sons transitoires en fonction du niveau général de pression acoustique : une atténuation plus importante est appliquée quand le niveau de pression est faible, mais moindre quand il est élevé. Ceci est important pour deux raisons : (1) les transitoires acoustiques sont particulièrement gênants dans les environnements relativement calmes, lorsque le gain des aides auditives est élevé. En présence de paroles ou d'autres sons ambiants, une atténuation plus agressive empêche donc les transitoires d'atteindre des niveaux d'écoute inconfortables et (2) les transitoires acoustiques sont moins perturbantes dans les environnements bruyants, quand le gain des aides auditives est faible. Une atténuation moins agressive empêche par conséquent les changements de gain importants, qui pourraient sinon déformer la perception.

L'ampleur de la réduction du gain est déterminée par les signaux à large bande, mais la fonction TNR atténue les transitoires selon la fréquence : une atténuation plus importante est appliquée aux hautes fréquences qu'aux basses fréquences. Ceci est important pour deux raisons : (1) la plupart des sons ambiants y compris la parole, sont dominés par une énergie dans les basses fréquences et

leur énergie décroît quand la fréquence augmente et (2) la plupart des transitoires sont dominées par une énergie dans les hautes fréquences. La réduction du gain est en outre appliquée à l'aide de constantes de temps asymétriques : le temps de montée est beaucoup plus rapide que le temps de descente afin de supprimer efficacement aussi bien les déclenchements brusques de transitoires que leurs compensations plus lentes.

La figure 1 montre l'effet de l'algorithme de la TNR sur une série de coups de marteau dans un environnement silencieux. La durée est représentée en abscisse et l'amplitude du signal acoustique en ordonnée. L'onde dorée figure les coups de marteau non atténués lorsque la fonction TNR est désactivée, tandis que l'onde bleue montre les coups de marteau atténués lorsque celle-ci est activée et réglée sur la puissance par défaut.

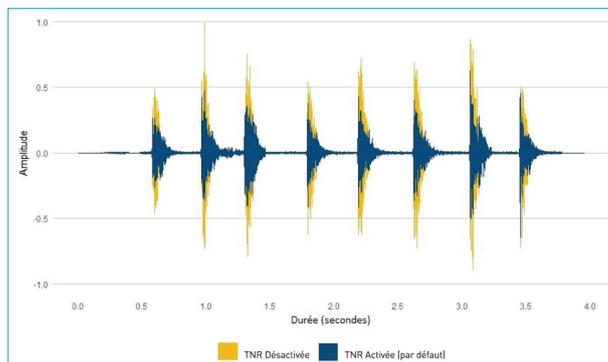


Figure 1 : Effet de la fonction TNR sur une série de coups de marteau dans le calme.

Pour résumer, la réduction du bruit transitoire est donc une fonction conçue pour rendre l'écoute des sons transitoires plus confortable pour les utilisateurs d'aides auditives. Sans la TNR, les transitoires peuvent s'avérer trop fortes et abrasives. Avec la TNR en revanche, les transitoires sont plus silencieuses et moins gênantes, mais les sons sont largement préservés de sorte que les sonorités restent naturelles. Ainsi, le bruit d'un coup de marteau résonne toujours comme un coup de marteau, il est simplement moins discordant après amplification lorsque la TNR est activée.

Moore, B.C.J. (2003). "Speech processing for the hearing-impaired: Successes, failures, and implications for speech mechanisms," *Speech Communication*: 41, 81 – 91.

La fonction TNR a pour effet de réduire rapidement l'amplitude de chaque coup de marteau sans déformer l'enveloppe de l'onde. En termes de perception, cela équivaut à un son moins aigu et moins désagréable, mais toujours aussi naturel.

Pour tester la fonction TNR, on a demandé à 15 normo-entendants d'indiquer si différents sons transitoires leur semblaient plus gênants avec ou sans la TNR. Les stimuli étaient présentés de façon comparative par paire et de façon aléatoire. La figure 2 montre que les coups de marteau (diagramme de gauche) et les bruits de couverts qui s'entrechoquent (diagramme de droite) ont été jugés moins gênants avec la TNR activée que lorsqu'elle était désactivée. En d'autres termes, les participants ont donc préféré que la fonction TNR soit activée lors de l'écoute de différents sons transitoires.

Dans une autre étude, 32 malentendants ont eux aussi jugé ces mêmes sons transitoires moins gênants avec la TNR activée plutôt que désactivée. La figure 3 montre que lorsque les participants entendent les coups de marteau (diagramme de gauche) ou les bruits de couverts qui s'entrechoquent (diagramme de droite), ils préfèrent nettement que la fonction TNR soit activée.

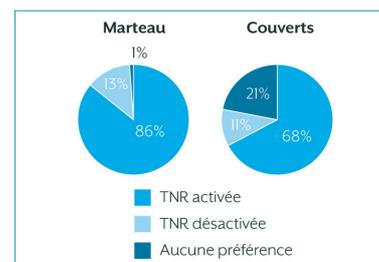


Figure 2 : Préférences concernant l'activation ou non de la TNR en présence de coups de marteau (à gauche) ou de bruits de couverts (à droite). Normoentendants (n = 15).

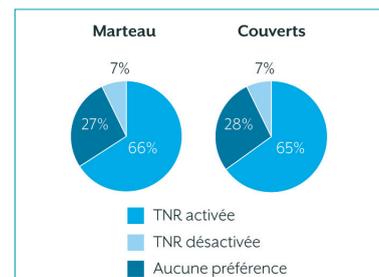


Figure 3 : Préférences concernant l'activation ou non de la TNR en présence de coups de marteau (à gauche) ou de bruits de couverts (à droite). Malentendants (n = 32).



Enseignement - Congrès - Evénements

24^{ème} EPU 2019

29 & 30 Novembre 2019

Centre des Congrès de la
Villette à Paris

L'intégration des innovations
dans la pratique quotidienne
de l'audioprothèse



Vendredi 29 novembre

08H45 - 09H00 : Introduction à l'EPU 2019 - François LE HER, Audioprothésiste, Président du Collège National d'audioprothèse

09h00 - 10h30 : Connectivité et mesures audiologiques objectives acoustiques

9h00 - 9h45 : Les systèmes de communication sans fil - Gregory GERBAUD

9h45 - 10h30 : Mesures objectives actuelles et exigences futures - Xavier DELERCE

10h30 - 11h00 : Pause

11h00 - 12h30 : Évolution des mesures objectives

11h00 - 11h20 : Explorations fonctionnelles ORL et évaluation objective du bénéfice audioprothétique - Hung THAI VAN & Charles Alexandre JOLY

11h20 - 11h40 : Imagerie fonctionnelle cérébrale et Acouphènes - Audrey MAUDOUX

11h40 - 12h00 : Objectivation des acouphènes et nouvelles approches électrophysiologiques - Arnaud NORENA

12h00 - 12h20 : Intégration actuelle et future des mesures objectives dans la prise en charge du malentendant par l'audioprothésiste - Eric BIZAGUET

12h20 - 12h30 : Questions

12h30 - 14h00 : Déjeuner

14h00-15h30 : Big Data, Intelligence Artificielle et Machine Learning

14h00 - 14h30 : Big data. Quels effets sur l'accumulation des connaissances ? Gilles DUCHARME, Alexander GROTHENDIECK
14h30 - 14h50 : Intelligence artificielle et accompagnement thérapeutique du patient, l'exemple des assistants virtuels - Benjamin CHAIX

14h50 - 15h05 : Big Data et Audioprothèse : revue de littérature - François DEJEAN

15h05 - 15h20 : Gestion des données et réglementation dans un cabinet d'audioprothèse : RGPD. Êtes-vous à jour ? - Charlotte BALET

15h20 - 15h30 : Questions

15h30 - 16h00 : Pause

16h00 - 17h30 : Table ronde : Industriels de l'appareillage

Modérateur : Matthieu DEL RIO

18h00 - 19h00 : Réunion CNA - UNSAF

Samedi 30 novembre

9h00 - 10h30 : Outils de simulation et réalité virtuelle

09h00 - 9h45 : Apprentissage de l'audiométrie et perspectives avec la réalité virtuelle - David BAKHOS, Jean Marie Aoustin, Mathieu ROBIER

09h45 - 10h10 : HRTF et Sources sonores virtuelles : perspectives - Frédéric REMBAUD

Du virtuel au réel : présentation d'une application musique live - Stéphane DUFOSSÉ

10h10 - 10h30 : Applications dans la prise en charge patients - Edouard WATERLOT

10h30 - 11h00 : Pause

11h00 - 12h30 : Téléaudiologie médicale et téléaudiologie prothétique

11h00 - 11h45 : Téléaudiologie médicale : Cadre légal, aspects réglementaires, données actuelles et perspectives - Frédéric VENAIL

11h45 - 12h30 : Télé suivi prothétique : données actuelles et perspectives - Stéphane LAURENT, Yves LASRY, Alexandre GAULT

12h30 - 13h30 : Déjeuner

14h00-15h30 : Rééducation et entraînement auditif

14h00 - 14h30 : Téléaudiologie Rééducation auditive en orthophonie - Elodie LACORE

14h30 - 15h00 : Principes de

l'entraînement en audition - David COLIN

15h00 - 15h30 : Résultats d'études sur

l'entraînement auditif - Jehan GUTLEBEN

15h30-16h30 : Table ronde - Les innovations dans le domaine de l'implant cochléaire

Modérateur : Christian RENARD

16h30 : Clôture de l'EPU - François

LE HER, Président du Collège National d'Audioprothèse

Contact

ANT Congrès - Tél : +33 (0)4 67 10 92 23
audioepu@ant-congres.com

15^{ème} Congrès de la SFA

13 & 14 Décembre 2019

ENS - Site Monod

Amphithéâtre Mérieux

Place de l'école, 69007 Lyon



Vendredi 13 Décembre 2019

8h-8h30 Emargement, café d'accueil et visite des stands

8h30 Accueil par le président

SESSION 1 parrainée par la Fondation pour l'Audition :

Bases physiopathologiques des surdités périphériques et centrales

8h50 Synaptopathies causées par le bruit et le vieillissement. Pr. Sharon Kujawa (Boston)

9h30 Explorer la face cachée des déficits auditifs, quelques pistes inspirées de modèles animaux. Pr. Paul Avan (Clermont-Ferrand)

9h50 Les origines cochléaires de la presbycusie. Dr. Didier Dulon (Bordeaux)



10h10 Pause au sein de l'exposition et visite des stands

SESSION 2 parrainée par Cochlear : Bases génétiques des surdités périphériques et centrales

10h40 Gènes impliqués dans le développement et la physiologie des systèmes auditifs périphérique et central. Dr. Nicolas Michalski (Paris)

11h00 Vers une thérapie génique des troubles auditifs et vestibulaires. Dr. Saaid Saffiedine (Paris)

11h20 Le syndrome de Usher (Surdi-cécité chez l'homme) : des mécanismes physiopathologiques à la thérapie. Dr. Aziz El Amraoui (Paris)

11h40 Remerciements de la SFA au Professeur René Dauman, Fondateur.

11h50 Informations pratiques sur le congrès.

12h AG réservée aux membres de la SFA. Cocktail déjeunatoire au sein de l'exposition, visite des stands.

13h30 Table ronde parrainée par Signia Solutions Auditives, Phonak, Prodition et Starkey : Animée par Arnaud Coez, François Dejean, Matthieu Del Rio et Morgan Potier : L'audioprothèse à l'heure du 100% santé : choix, adaptation et suivi du patient.

SESSION 3 parrainée par Amplifon : Diagnostics et remédiations des surdités périphériques et centrales

14h30 Le diagnostic des troubles centraux de l'audition: tests de référence Pr. Doris Eva Bamiou (Londres)

15h00 Entraînement auditif de l'enfant avec un trouble central de l'audition. Pr. Benoit Jutras (Montréal)

16h00 Pause au sein de l'exposition et visite des stands

16h30 Entraînement cérébral dans les circuits auditifs classique et non-classique. Dr. Luc Arnal (Paris)

16h50 Potentiels évoqués auditifs chez le malentendant appareillé. Pr. Hung Thai-Van

17h10 L'apport de la neurophysiologie auditive : Sélection des candidats adultes à l'appareillage auditif / Identification des causes de difficultés d'écoute chez l'enfant. Pr. Harvey Dillon (Sydney)

17h40-18h30 Communications libres

19h30 Dîner

Samedi 14 Décembre 2019

8h Mot du Président
Implication de la SFA dans l'enseignement et la recherche en audiologie.

SESSION 4 : Évaluations, mesures du bénéfice de l'appareillage

8h10 Atteintes auditives périphériques et centrales d'origine professionnelle. Pr. Adrian Fuente (Montréal)

8h40 Audiométrie vocale dans le bruit et réhabilitation de l'audition. Pr. Birger Kollmeier (Oldenburg)

9h20 Évaluation des résultats de l'appareillage auditif bilatéral. Pr. Mark Laureyans (Milan)

10h05 Pause au sein de l'exposition et visite des stands

SESSION 5 : Particularités de l'enfant et du sujet âgé

10h25 Défis et perspectives posés par la surdité unilatérale de l'enfant. Pr. Astrid Van Wieringen (Leuven)

11h05 Evaluation cognitive de l'adulte malentendant. Pr. Sophia Kramer (Amsterdam)

11h45 Nouveau paysage de l'audiologie en France Pr. Lionel Collet, Conseiller d'état

12h15-13h30 Cocktail déjeunatoire au sein de l'exposition, visite des stands

13h30 Table ronde : Animée par le Prof. Bernard Fraysse : Le nouveau rôle de l'ORL dans la prescription de la prothèse auditive. Participants : Pr. Emmanuel Lescanne, Pr. Natalie Loundon, Dr. Isabelle Mosnier, Pr. Mathieu Marx, Pr. Hung Thai-Van, Pr. Frédéric Venail, Pr. Christophe Vincent

14h30 - 17h45 ATELIERS / WORKSHOPS

15h30 : 30 min de pause au sein de l'exposition et visite des stands

14h45 ATELIERS SESSION 1 / WORKSHOPS 1st SESSION (45 min)

16h00 ATELIERS SESSION 2 / WORKSHOPS 2nd SESSION (45 min)

17h00 ATELIERS SESSION 3 / WORKSHOPS 3rd SESSION (45 min)

17h45 Fin du congrès

TITRES DES 6 ATELIERS

(répétés lors des 3 sessions)

Atelier 1a : Audiométrie vocale dans le bruit (adulte) : Test Framatrix/Test Lafon/ Test HINT. Matthieu Del Rio, Isabelle Mosnier et Eric Bougerolles (Oticon)

Atelier 1b : Audiométrie vocale dans le bruit (adulte) : Test FrBio. François Bergeron

Atelier 1c : Audiométrie vocale dans le bruit (adulte): Test VRB (Vocale Rapide dans le Bruit). François Leclercq et Christophe Vincent

Atelier 1d : Audiométrie vocale dans

le bruit (adulte) : Test des 3 chiffres antiphase. Johanna Savin, Catherine Boiteux, Jean-Charles Ceccato et Marie-Josée Duran (Fondation Pour l'Audition)

Atelier 2 : Audiométrie vocale dans le bruit (enfant) : Test Frasimat/Test HINT-Enfant/ Test Dodelé. Isabelle Prang et Jean-François Vesson

Atelier 3 : Localisation spatiale. Christian Renard et Michael Risoud

Atelier 4 : Test Dichotique. Benoît Jutras et Evelyne Veuillet

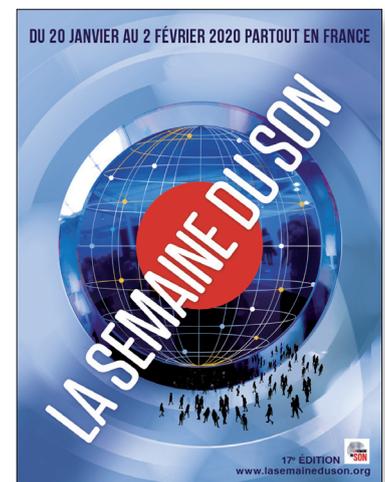
Atelier 5 : Bilan d'Audition Centrale approfondi. Laurent Demanez et Hung Thai-Van

Atelier 6 : Électrocochléographie. Fabrice Giraudet et Ludivine Beaud

Contact

<https://www.asconnect-evenement.fr/congres/congres-societe-francaise-audiologie/>

17^{ème} édition de la semaine du son Du 20 janvier au dimanche 2 février 2020 partout en France



La 17^{ème} édition de "La Semaine du Son" aura lieu du 20 janvier au 2 février 2020. Sa marraine est Rokia Traoré, chanteuse-auteure-compositrice-interprète et guitariste malienne. Elle a été nommée ambassadrice de bonne volonté régionale pour l'Afrique de l'ouest et centrale, par le Haut commissariat des Nations Unies pour les réfugiés (HCR).

Renseignements

<https://www.lasemaineduson.org/>



Communiqués

GN HEARING france

Xavier TEMMOS, Directeur Général de GN HEARING FRANCE

Sa priorité est d'accompagner au mieux les clients et partenaires de l'entreprise à faire face aux mutations importantes du marché de l'audioprothèse. Il a aujourd'hui le plaisir de vous annoncer la nomination de Paul-Michel VAHANIAN au poste de Directeur Commercial avec comme objectif ambitieux de mettre en place la meilleure équipe commerciale du marché au service de nos partenaires audioprothésistes et de leurs clients.

OTICON MEDICAL

Oticon Medical présente l'aide auditive à ancrage osseux Ponto 4

Une révolution sonore avec un son à 360° et la possibilité d'une audition connectée pour les utilisateurs de solutions auditives à ancrage osseux.

« Nous entrons dans une nouvelle ère en apportant les plus grandes améliorations pour les utilisateurs d'aide auditive à ancrage osseux depuis de nombreuses années », déclare Jes Olsen, président d'Oticon Medical. L'arrivée de Ponto 4 et de la plate-forme Velox S™ marque un changement de paradigme. De nombreux utilisateurs à travers le monde ont déjà vu leur vie changée par la technologie révolutionnaire intégrée dans les aides auditives Oticon Opn et Opn S. Maintenant, nous combinons notre savoir-faire et nos connaissances sur l'audition en conduction osseuse avec la technologie de pointe la plus récente de l'un des groupes leader en santé auditive au monde.

Construit sur la plate-forme unique Velox S™, Ponto 4 apporte rapidité et précision, avec un paysage sonore ouvert sur 360° et une expérience d'écoute optimisée dans le bruit. La technologie révolutionnaire OpenSound Navigator™ scanne l'environnement sonore plus de 100 fois par seconde, équilibre les sources sonores et atténue le bruit même entre les mots.



Ponto 3

Ponto 4

Avec Ponto 4, la directivité telle que nous la connaissons devient obsolète. L'OpenSound Navigator gère plusieurs sources de parole et de bruit. Il analyse les sons, équilibre les différentes sources sonores et réduit le bruit, d'une manière nouvelle, rapide et efficace. Nous sommes fiers et confiants que cela fera une énorme différence pour les utilisateurs d'aides auditives à ancrage osseux. Leurs capacités à suivre les conversations et s'impliquer dans leur vie quotidienne s'améliorera de manière significative.

Ponto 4 est petit et attrayant : c'est l'aide auditive à ancrage osseux la plus petite du marché, 27% plus petite que Ponto 3. Conçu avec la fiabilité qui a fait la renommée du système Ponto, la durabilité du Ponto 4 permet de résister aux épreuves de la vie quotidienne.

De plus, Ponto 4 apporte de belles avancées dans les possibilités de connexion. Grâce au réseau IFTTT (If This Then That) et l'application Oticon ON, l'utilisateur d'aides auditives Ponto 4 accède à un monde de communication avec des appareils connectés sans avoir besoin d'une interface telle que le Streamer. Il est possible de connecter l'aide auditive avec une large gamme d'appareils et de services. Par exemple, la réception d'alerte par SMS lorsque la pile du Ponto 4 d'un enfant est déchargée. L'Internet des objets offre des possibilités infinies aux utilisateurs et ce que nous voyons maintenant n'est que le point de départ. Le lancement de Ponto 4 signifie que les utilisateurs de solutions auditives à ancrage osseux sont désormais prêts pour un avenir connecté.

STARKEY

Livio AI, la 1^{ère} aide auditive Healthable™ au monde



Plébiscitée par la presse professionnelle internationale depuis son lancement en 2018 aux Etats-Unis et en Europe en mars dernier, Livio AI continue de faire parler la presse grand public. Starkey est fière de constater que sa technologie révolutionnaire provoque un tel engouement auprès de la presse, des professionnels et espère qu'elle sera tout autant auprès du grand public.

Au travers de ces retombées presse très positives, Starkey réaffirme son image innovante en matière de technologies auditives. Tantôt mentionnée «L'aide auditive est l'avenir de l'objet connecté», «La puce à l'oreille», «L'oreille augmentée», «Bien plus qu'une aide auditive» ou encore «La tech au chevet de la perte d'audition»... ; présentée sous cet angle,

Livio AI est en effet bien plus qu'une simple aide auditive, c'est une passerelle pour un meilleur avenir de la santé, du bien-être et à terme de la qualité de vie.

«Grâce à Livio AI, Starkey Hearing Technologies est fière de participer à faire évoluer l'image des solutions auditives actuelles auprès du grand public et à valoriser les innovations technologiques de notre industrie.» se félicite Eric Van Belleghem, directeur marketing.

Livio AI, première aide auditive au monde dotée de capteurs intégrés et de l'intelligence artificielle fait de Starkey un véritable précurseur dans le domaine de la technologie Healthable™.

24 janvier 2020 - JPO STARKEY FRANCE - CRETEIL

A l'occasion de la semaine du Son, Starkey, unique fabricant à avoir gardé une unité de production en France, ouvre ses portes au public et aux acteurs du monde de l'audition. Une première édition à ne pas manquer pour découvrir l'envers du décor de la conception de ses solutions auditives sur mesure.

Prenez date et inscrivez-vous dès à présent sur : <http://bit.ly/jpostarkey>

WIDEX FRANCE

Nouvelle organisation

Benoît CAUDRELIEZ a été nommé au poste de Directeur Général. Il remplace Christophe LEBARBIER qui après avoir accompagné WIDEX au cours des 4 dernières années a décidé de poursuivre sa carrière à l'extérieur du groupe.

Audioprothésiste de formation effort de 20 ans d'expérience dans l'industrie, en France et à l'international, Benoît CAUDRELIEZ a la mission de redéployer la marque WIDEX au travers d'un positionnement Premium. Au côté de Benoît Caudreliez, Raoul GOUPIL est nommé Directeur Commercial. Sa mission sera de veiller à ce que WIDEX France propose à ses clients et partenaires le plus haut niveau de service, de technologie,



d'accompagnement et de développement commercial afin de contribuer ensemble au développement du marché de l'audiologie. www.widexpro.fr

■ PHONAK

Phonak Marvel à l'honneur aux International Business Awards 2019

Phonak Marvel désignée « Innovation de l'année » aux International Business Awards 2019.

Un Stevie® d'Or : 4^{ème} récompense cette année pour Phonak Marvel

Les juges ont décerné la plus haute distinction car cette aide auditive multifonctions est la première au monde à associer dans un même dispositif connectivité Bluetooth universelle, technologie rechargeable lithium-ion et qualité sonore de haut niveau. Le Stevie d'Or est le quatrième prix d'importance remis cette année à Phonak Marvel, qui entre ainsi au panthéon des solutions les plus distinguées de la marque.

« Nous sommes ravis que Phonak Marvel ait reçu un Stevie d'Or et ait été désignée « Innovation de l'année » a déclaré Martin Grieder, vice-président du marketing des aides auditives du groupe. Marvel est vraiment l'apogée d'un grand nombre de nos innovations réunies en un produit – à savoir rechargeabilité, connectivité Bluetooth universelle, technologie binaurale VoiceStream et diverses eSolutions, pour n'en citer que quelques-unes. Toute cette technologie coopère pour produire un son de qualité, clair et intense, dès la première adaptation. »

Le Stevie d'Or est la toute dernière distinction décernée à Phonak Marvel cette année. En juin, Marvel a reçu le MedTech Breakthrough Award 2019 pour sa capacité à prendre en charge un streaming audio stéréo à partir d'appareils Android et iOS. Le même mois, Phonak eSolutions, suite d'applications intelligentes optimisées pour Marvel, a été récompensée aux Mobile Business Awards 2019. Phonak Marvel a également obtenu un Silver Edison Award en avril et a figuré parmi les primés (Honorees) des

CES Innovation Awards 2019 en janvier.

Les International Business Awards (IBA) sont le premier programme mondial de récompenses d'affaires. Particuliers et entreprises du monde entier, sans exception – publiques et privées, à but lucratif et non lucratif, grandes et petites – ont le droit de soumettre des nominations. Pour l'édition 2019, les IBA ont reçu les candidatures d'entreprises de 74 nations.

Un total record de plus de 4 000 nominations d'entreprises de toutes dimensions exerçant dans presque toutes les branches de l'industrie a été soumis à examen cette année dans de nombreuses catégories, dont Entreprise de l'année, Campagne marketing de l'année, Meilleur nouveau produit ou service de l'année, Startup de l'année, Programme de responsabilité sociale de l'année et Dirigeant de l'année, entre autres.

Les lauréats des Stevie Awards ont été élus à partir des notes moyennes attribuées par plus de 250 professionnels du monde entier qui ont participé au processus d'évaluation, de mai à début août.

www.phonak.fr



GN Hearing France recrute : un(e) audioprothésiste

De formation Audioprothésiste DE, jeune diplômé(e) avec une première expérience en laboratoire.

Rattaché(e) à l'équipe de direction, vous serez chargé(e) d'assurer **le support audiologique et technique** auprès de nos clients partenaires pour les marques ReSound et Beltone. Vous animerez également **la formation externe et interne** (clients, équipes internes) et pendant les congrès et événements.

Une bonne aisance en communication et une appétence au partage des connaissances sont des pré-requis nécessaires pour intégrer notre équipe et mener à bien cette mission. La maîtrise des outils informatiques est indispensable et la pratique de l'anglais est un sérieux plus.

Rejoignez **un groupe international** avec de nombreuses possibilités d'évolutions au Danemark et aux Etats-Unis.

Merci de nous transmettre votre candidature par e-mail : recrutement@gnhearing.com

A propos du groupe GN

GN est un leader mondial en solutions audio intelligentes depuis 150 ans avec une expertise de pointe mondiale en matière d'audition, de son, de technologie sans fil et de collaborations avec des partenaires technologiques de premier plan. Les solutions GN sont commercialisées sous les marques ReSound et Beltone.



AUDITION CONSEIL RECRUTE

AUDIOPROTHÉSISTE D.E. poste à pourvoir en Alsace (Bas-Rhin : Strasbourg / Molsheim)

Nous vous proposons d'intégrer un groupe familial implanté dans l'Est de la France, avec une quinzaine de centres (Alsace, Lorraine, Rhône-Alpes, Auvergne) adossés à un groupement d'indépendants.

Vous travaillerez avec une clientèle déjà développée et assurerez le développement et la fidélisation de la clientèle, avec une liberté d'exercice et une autonomie importante. Vous bénéficierez de l'appui de services support au sein d'une équipe d'audioprothésistes et d'assistantes déjà en place.

Vous avez le sens de la relation client et maîtrisez l'ensemble des pratiques techniques du métier.

CDI / Temps plein / Statut cadre et avantages

Pour postuler : merci d'envoyer CV et lettre de motivation à Laurence BERTAUD

lbertaud@groupe-schertz.com

auditionconseil.fr



Audition 44

Protection et correction de l'audition

Afin de compléter ses équipes, AUDITION 44 recrute :

- Un(e) audioprothésiste D.E. en CDI
Temps plein ou temps partiel.
- Un(e) audioprothésiste D.E. en CDD
pour remplacement congés maternités.
Temps plein ou temps partiel.
- Un(e) assistant(e) audioprothésiste en CDD

Nos 5 centres Audition 44 sont situés en Loire-Atlantique à proximité de la mer et de l'agglomération Nantes / St Nazaire.

En rejoignant notre équipe, vous travaillerez dans des centres 100% dédiés à l'audition (pas de corner), agréés Lyric et avec du matériel de qualité.

Audioprothésistes, c'est le moment de faire évoluer votre carrière avec un poste intéressant, des perspectives d'associations ou d'aides à la création d'une nouvelle structure.

Jérôme Hardy
06.11.53.18.51
jhardy@audition44.fr
www.audition44.fr

CHELLES SURDITÉ

Laboratoire de correction auditive Peltier

RECRUTEMENT AUDIOPROTHÉSISTE H/F

Au sein d'un **centre indépendant de l'est parisien** (20 min en train de Paris), nous recherchons un audioprothésiste DE, dynamique et passionné en **CDI** pour renforcer notre équipe. Le poste offre de **larges possibilités** de travail auprès de patients adultes et enfants pour **assurer un vrai service de qualité**. Présence sur place de techniciens et assistantes au service de nos patients. **Equipements à la pointe de la technologie.**

Contactez nous dès aujourd'hui



CHELLES SURDITÉ

29, avenue Foch (angle Foch/Pasteur)
77500 CHELLES – 01 64 21 29 75
Chelles.surdite@gmail.com

Vous êtes passionné(e) ? engagé(e) ? plein(e) d'audace ?

Rejoignez la team* Unisson !



 **unisson**
l'audioprothèse nouvelle génération

Votre prochain laboratoire :

150 m²
avec 4 cabines
sur-équipées

4 000 €**
net pour les audios
juniors

3 diplômés
pour autant
d'assistantes

90%
haut de gamme
chez toutes marques

1 seul
site unique
en centre ville

98%
de patients
satisfaits

Directeur de centre,
audio junior,
propriétaire d'un labo ?

Contactez-nous :
recrutement@unisson.com

Opportunités partout en France :

- Aix-en-Provence
- Angers
- Avignon
- Bordeaux
- Caen
- Clermont-Ferrand
- Douai
- Grenoble
- Lille
- Marseille
- Montpellier
- Nantes
- Nancy
- Orléans
- Nice
- Rennes
- Rouen
- Saint-Etienne
- Strasbourg
- Toulon
- Toulouse
- Tours

** En moyenne, prime incluse.

* L'équipe

On peut tout nous copier sauf nos Hommes



Nous avons besoin de vos talents !

recrutement@grandaudition.com



Avec **AUDITION CONSEIL**
3 solutions pour accompagner
les indépendants :

CRÉER SON ACTIVITÉ

Vous souhaitez vous
installer en tant
qu'indépendant ?



TRANSFORMER SON CENTRE

Vous êtes déjà en activité
et souhaitez bénéficier de
la force d'une enseigne
nationale ?



S'ASSOCIER OU DEVENIR SALARIÉ

Intégrez un réseau
avec plus de 90%
de centres exclusifs



Rejoignez **AUDITION CONSEIL** le 1^{er} réseau
d'audioprothésistes indépendants sous enseigne

Contactez Denis Kocher,
Directeur du développement



acfparis@auditionconseil.fr
01 56 56 75 61
06 45 24 93 69



AUDITION CONSEIL fait partie
des meilleures enseignes de France
pour la 3^e année consécutive

auditionconseil.fr

Les Cahiers de
l'Audition LA REVUE
DU COLLÈGE
NATIONAL
D'AUDIOPROTHESE

Offres d'emplois
Ventes et achats de matériel
Cessions et recherches
de fonds de commerce

Déposez vos petites annonces !

Pour tout renseignement :

Collège National d'Audioprothèse
editions-cna@orange.fr

signia

Life sounds brilliant.



ENTENDRE CE QUI COMPTE POUR VOUS.

1^{ers} capteurs acoustiques et de mouvement intégrés
pour une audition sur-mesure.

Signia Xperience

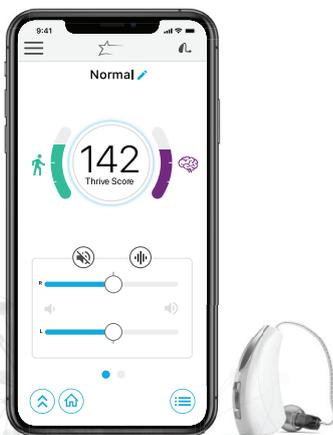
Pure Charge&Go X

- Nouveau design**
16% plus petit, nouveau bouton de commande
- Connectivité Bluetooth**
Streaming des appels, de la musique et de la TV
- Nouveau chargeur à induction**
couvercle de protection, déshumidificateur
- Disponible en 10 couleurs**



Améliorez l'expérience d'écoute de chaque patient

Notre technologie innovante **Hearing Reality™** et la plateforme **Thrive™** offrent un confort d'écoute et une qualité sonore exceptionnelle dans n'importe quel environnement.



Gammes de produits
Livio AI & Livio

- Sa technologie double compression applique le traitement du signal spécifique à chaque type de son.
- **Acuity Directionality** identifie la parole provenant de toutes les directions.
- **Amélioration spatiale du signal vocal**³ échantillonne l'environnement sonore toutes les six millisecondes et prend les bonnes décisions pour les utilisateurs.

Etudes

¹ Réduction du bruit transitoire - Kyle Walsh, Ph.D.

² Delta SenseLab. (2018, novembre). FORCE Technology Ventlighedsvej 4 2970 Horsholm, Danemark.

«Préférence établie en matière de gestion du bruit pour les aides auditives Starkey»

³ Amélioration spatiale du signal vocal : Thrive et les environnements complexes - Jumana Harianawala, Au.D. et Ben Waite, MS

Retrouvez l'ensemble de nos études sur starkeyfrancepro.com.
Pour en savoir plus, contactez votre responsable régional des ventes.