

UNIVERSITÉ TOULOUSE III – PAUL SABATIER
FACULTÉS DE MÉDECINE

ANNÉE 2016

2016 TOU3 1621

THÈSE
POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN
MÉDECINE

MÉDECINE SPÉCIALISÉE CLINIQUE

Présentée et soutenue publiquement par
Charles-Édouard MOLINIER

Le 19 octobre 2016

RÉHABILITATION AUDITIVE DE L'OTOSPONGIOSE :
AUDIOPROTHÈSE OU STAPÉDOTOMIE ?

Directeur de Thèse : Monsieur le Professeur Mathieu MARX

JURY

Monsieur le Professeur Bernard FRAYSSE :	Président
Monsieur le Professeur Olivier DEGUINE :	Assesseur
Monsieur le Professeur Sébastien VERGEZ :	Assesseur
Monsieur le Professeur Mathieu MARX :	Assesseur
Madame le Docteur Marie-José ESTEVE-FRAYSSE :	Suppléant



TABLEAU du PERSONNEL HU
des Facultés de Médecine de l'Université Paul Sabatier
au 1^{er} septembre 2015

Professeurs Honoraires

Doyen Honoraire	M. ROUGE D.	Professeur Honoraire	M. BARTHE
Doyen Honoraire	M. LAZORTES Y.	Professeur Honoraire	M. CABARROT
Doyen Honoraire	M. CHAP H.	Professeur Honoraire	M. DUFFAUT
Doyen Honoraire	M. GUIRAUD-CHAUMEIL B	Professeur Honoraire	M. ESCAT
Doyen Honoraire	M. PUEL P.	Professeur Honoraire	M. ESCANDE
Professeur Honoraire	M. ESCHAPASSE	Professeur Honoraire	M. PRIS
Professeur Honoraire	Mme ENJALBERT	Professeur Honoraire	M. CATHALA
Professeur Honoraire	M. GEDEON	Professeur Honoraire	M. BAZEX
Professeur Honoraire	M. PASQUIE	Professeur Honoraire	M. VIRENQUE
Professeur Honoraire	M. RIBAUT	Professeur Honoraire	M. CARLES
Professeur Honoraire	M. ARLET J.	Professeur Honoraire	M. BONAFÉ
Professeur Honoraire	M. RIBET	Professeur Honoraire	M. VAYSSE
Professeur Honoraire	M. MONROZIES	Professeur Honoraire	M. ESQUERRE
Professeur Honoraire	M. DALOUS	Professeur Honoraire	M. GUITARD
Professeur Honoraire	M. DUPRE	Professeur Honoraire	M. LAZORTES F.
Professeur Honoraire	M. FABRE J.	Professeur Honoraire	M. ROQUE-LATRILLE
Professeur Honoraire	M. DUCOS	Professeur Honoraire	M. CERENE
Professeur Honoraire	M. LACOMME	Professeur Honoraire	M. FOURNIAL
Professeur Honoraire	M. COTONAT	Professeur Honoraire	M. HOFF
Professeur Honoraire	M. DAVID	Professeur Honoraire	M. REME
Professeur Honoraire	Mme DIDIER	Professeur Honoraire	M. FAUVEL
Professeur Honoraire	Mme LARENG M.B.	Professeur Honoraire	M. FREXINOS
Professeur Honoraire	M. BES	Professeur Honoraire	M. CARRIERE
Professeur Honoraire	M. BERNADET	Professeur Honoraire	M. MANSAT M.
Professeur Honoraire	M. REGNIER	Professeur Honoraire	M. BARRET
Professeur Honoraire	M. COMBELLES	Professeur Honoraire	M. ROLLAND
Professeur Honoraire	M. REGIS	Professeur Honoraire	M. THOUVENOT
Professeur Honoraire	M. ARBUS	Professeur Honoraire	M. CAHUZAC
Professeur Honoraire	M. PUJOL	Professeur Honoraire	M. DELSOL
Professeur Honoraire	M. ROCHICCIOLI	Professeur Honoraire	M. ABBAL
Professeur Honoraire	M. RUMEAU	Professeur Honoraire	M. DURAND
Professeur Honoraire	M. BESOMBES	Professeur Honoraire	M. DALY-SCHVEITZER
Professeur Honoraire	M. SUC	Professeur Honoraire	M. RAILHAC
Professeur Honoraire	M. VALDIGUIE	Professeur Honoraire	M. POURRAT
Professeur Honoraire	M. BOUNHOURE	Professeur Honoraire	M. QUERLEU D.
Professeur Honoraire	M. CARTON	Professeur Honoraire	M. ARNE JL
Professeur Honoraire	Mme PUEL J.	Professeur Honoraire	M. ESCOURROU J.
Professeur Honoraire	M. GOUZI	Professeur Honoraire	M. FOURTANIER G.
Professeur Honoraire associé	M. DUTAU	Professeur Honoraire	M. LAGARRIGUE J.
Professeur Honoraire	M. PASCAL	Professeur Honoraire	M. PESSEY JJ.
Professeur Honoraire	M. SALVADOR M.	Professeur Honoraire	M. CHAVOIN JP
Professeur Honoraire	M. BAYARD	Professeur Honoraire	M. GERAUD G.
Professeur Honoraire	M. LEOPHONTE	Professeur Honoraire	M. PLANTE P.
Professeur Honoraire	M. FABIÉ	Professeur Honoraire	M. MAGNAVAL JF

Professeurs Émérites

Professeur ALBAREDE	Professeur JL. ADER
Professeur CONTÉ	Professeur Y. LAZORTES
Professeur MURAT	Professeur L. LARENG
Professeur MANELFE	Professeur F. JOFFRE
Professeur LOUVET	Professeur B. BONEU
Professeur SARRAMON	Professeur H. DABERNAT
Professeur CARATERO	Professeur M. BOCCALON
Professeur GUIRAUD-CHAUMEIL	Professeur B. MAZIERES
Professeur COSTAGLIOLA	Professeur E. ARLET-SUAU
	Professeur J. SIMON

P.U. - P.H. Classe Exceptionnelle et 1ère classe		P.U. - P.H. 2ème classe	
M. ADOUE Daniel	Médecine Interne, Gériatrie	Mme BEYNE-RAUZY Odile	Médecine Interne
M. AMAR Jacques	Thérapeutique	M. BROUCHET Laurent	Chirurgie thoracique et cardio-vascul
M. ATTAL Michel (C.E)	Hématologie	M. BUREAU Christophe	Hépto-Gastro-Entéro
M. AVET-LOISEAU Hervé	Hématologie, transfusion	M. CALVAS Patrick	Génétique
M. BIRMES Philippe	Psychiatrie	M. CARRERE Nicolas	Chirurgie Générale
M. BLANCHER Antoine	Immunologie (option Biologique)	Mme CASPER Charlotte	Pédiatrie
M. BONNEVILLE Paul	Chirurgie Orthopédique et Traumatologie.	M. CHAIX Yves	Pédiatrie
M. BOSSAVY Jean-Pierre	Chirurgie Vasculaire	Mme CHARPENTIER Sandrine	Thérapeutique, méd. d'urgence, addict
M. BRASSAT David	Neurologie	M. COGNARD Christophe	Neuroradiologie
M. BROUSSET Pierre (C.E)	Anatomie pathologique	M. DE BOISSEZON Xavier	Médecine Physique et Réadapt Fonct.
M. BUGAT Roland (C.E)	Cancérologie	M. FOURNIE Bernard	Rhumatologie
M. CARRIE Didier	Cardiologie	M. FOURNIÉ Pierre	Ophtalmologie
M. CHAP Hugues (C.E)	Biochimie	M. GAME Xavier	Urologie
M. CHAUVEAU Dominique	Néphrologie	M. GEERAERTS Thomas	Anesthésiologie et réanimation
M. CHOLLET François (C.E)	Neurologie	Mme GENESTAL Michèle	Réanimation Médicale
M. CLANET Michel (C.E)	Neurologie	M. LAROCHE Michel	Rhumatologie
M. DAHAN Marcel (C.E)	Chirurgie Thoracique et Cardiaque	M. LAUWERS Frédéric	Anatomie
M. DEGUINE Olivier	Oto-rhino-laryngologie	M. LEOBON Bertrand	Chirurgie Thoracique et Cardiaque
M. DUCOMMUN Bernard	Cancérologie	M. MARX Mathieu	Oto-rhino-laryngologie
M. FERRIERES Jean	Epidémiologie, Santé Publique	M. MAS Emmanuel	Pédiatrie
M. FOURCADE Olivier	Anesthésiologie	M. MAZIERES Julien	Pneumologie
M. FRAYSSE Bernard (C.E)	Oto-rhino-laryngologie	M. OLIVOT Jean-Marc	Neurologie
M. IZOPET Jacques (C.E)	Bactériologie-Virologie	M. PARANT Olivier	Gynécologie Obstétrique
Mme LAMANT Laurence	Anatomie Pathologique	M. PARIENTE Jérémie	Neurologie
M. LANG Thierry	Bio-statistique Informatique Médicale	M. PATHAK Atul	Pharmacologie
M. LANGIN Dominique	Nutrition	M. PAYRASTRE Bernard	Hématologie
M. LAUQUE Dominique (C.E)	Médecine Interne	M. PERON Jean-Marie	Hépto-Gastro-Entérologie
M. LIBLAU Roland (C.E)	Immunologie	M. PORTIER Guillaume	Chirurgie Digestive
M. MALAVAUD Bernard	Urologie	M. RONCALLI Jérôme	Cardiologie
M. MANSAT Pierre	Chirurgie Orthopédique	Mme SAVAGNER Frédérique	Biochimie et biologie moléculaire
M. MARCHOU Bruno	Maladies Infectieuses	Mme SELVES Janick	Anatomie et cytologie pathologiques
M. MOLINIER Laurent	Epidémiologie, Santé Publique	M. SOL Jean-Christophe	Neurochirurgie
M. MONROZIES Xavier	Gynécologie Obstétrique		
M. MONTASTRUC Jean-Louis (C.E)	Pharmacologie		
M. MOSCOVICI Jacques	Anatomie et Chirurgie Pédiatrique		
Mme MOYAL Elisabeth	Cancérologie		
Mme NOURHASHEMI Fatemeh	Gériatrie		
M. OLIVES Jean-Pierre (C.E)	Pédiatrie		
M. OSWALD Eric	Bactériologie-Virologie		
M. PARINAUD Jean	Biol. Du Dévelop. et de la Reprod.		
M. PAUL Carle	Dermatologie		
M. PAYOUX Pierre	Biophysique		
M. PERRET Bertrand (C.E)	Biochimie		
M. PRADERE Bernard (C.E)	Chirurgie générale		
M. RASCOL Olivier	Pharmacologie		
M. RECHER Christian	Hématologie		
M. RISCHMANN Pascal (C.E)	Urologie		
M. RIVIERE Daniel (C.E)	Physiologie		
M. SALES DE GAUZY Jérôme	Chirurgie Infantile		
M. SALLES Jean-Pierre	Pédiatrie		
M. SANS Nicolas	Radiologie		
M. SERRE Guy (C.E)	Biologie Cellulaire		
M. TELMON Norbert	Médecine Légale		
M. VINEL Jean-Pierre (C.E)	Hépto-Gastro-Entérologie		
		P.U.	
		M. OUSTRIC Stéphane	Médecine Générale

P.U. - P.H. Classe Exceptionnelle et 1ère classe		P.U. - P.H. 2ème classe	
M. ACAR Philippe	Pédiatrie	M. ACCADBLED Franck	Chirurgie Infantile
M. ALRIC Laurent	Médecine Interne	M. ARBUS Christophe	Psychiatrie
Mme ANDRIEU Sandrine	Epidémiologie	M. BERRY Antoine	Parasitologie
M. ARLET Philippe (C.E)	Médecine Interne	M. BONNEVILLE Fabrice	Radiologie
M. ARNAL Jean-François	Physiologie	M. BOUNES Vincent	Médecine d'urgence
Mme BERRY Isabelle (C.E)	Biophysique	Mme BURA-RIVIERE Alessandra	Médecine Vasculaire
M. BOUTAULT Franck (C.E)	Chirurgie Maxillo-Faciale et Stomatologie	M. CHAUFOUR Xavier	Chirurgie Vasculaire
M. BUJAN Louis	Urologie-Andrologie	M. CHAYNES Patrick	Anatomie
M. BUSCAIL Louis	Hépto-Gastro-Entérologie	M. DAMBRIN Camille	Chirurgie Thoracique et Cardiovasculaire
M. CANTAGREL Alain (C.E)	Rhumatologie	M. DECRAMER Stéphane	Pédiatrie
M. CARON Philippe (C.E)	Endocrinologie	M. DELOBEL Pierre	Maladies Infectieuses
M. CHAMONTIN Bernard (C.E)	Thérapeutique	M. DELORD Jean-Pierre	Cancérologie
M. CHIRON Philippe (C.E)	Chirurgie Orthopédique et Traumatologie	Mme DULY-BOUHANICK Béatrice	Thérapeutique
M. CONSTANTIN Arnaud	Rhumatologie	M. FRANCHITTO Nicolas	Addictologie
M. COURBON Frédéric	Biophysique	M. GALINIER Philippe	Chirurgie Infantile
Mme COURTADE SAIDI Monique	Histologie Embryologie	M. GARRIDO-STÖWHAS Ignacio	Chirurgie Plastique
M. DELABESSE Eric	Hématologie	Mme GOMEZ-BROUCHET Anne-Muriel	Anatomie Pathologique
Mme DELISLE Marie-Bernadette (C.E)	Anatomie Pathologique	M. HUYGHE Eric	Urologie
M. DIDIER Alain (C.E)	Pneumologie	M. LAFFOSSE Jean-Michel	Chirurgie Orthopédique et Traumatologie
M. ELBAZ Meyer	Cardiologie	M. LEGUEVAQUE Pierre	Chirurgie Générale et Gynécologique
M. GALINIER Michel	Cardiologie	M. MARCHEIX Bertrand	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
M. GLOCK Yves	Chirurgie Cardio-Vasculaire	Mme MAZEREEUW Juliette	Dermatologie
M. GOURDY Pierre	Endocrinologie	M. MEYER Nicolas	Dermatologie
M. GRAND Alain (C.E)	Epidémiologie. Eco. de la Santé et Prévention	M. MINVILLE Vincent	Anesthésiologie Réanimation
M. GROLLEAU RAOUX Jean-Louis	Chirurgie plastique	M. MUSCARI Fabrice	Chirurgie Digestive
Mme GUIMBAUD Rosine	Cancérologie	M. OTAL Philippe	Radiologie
Mme HANAIRE Hélène (C.E)	Endocrinologie	M. ROUX Franck-Emmanuel	Neurochirurgie
M. KAMAR Nassim	Néphrologie	M. SAILLER Laurent	Médecine Interne
M. LARRUE Vincent	Neurologie	M. TACK Ivan	Physiologie
M. LAURENT Guy (C.E)	Hématologie	Mme URO-COSTE Emmanuelle	Anatomie Pathologique
M. LEVADE Thierry (C.E)	Biochimie	M. VERGEZ Sébastien	Oto-rhino-laryngologie
M. MALECAZE François (C.E)	Ophthalmologie		
M. MARQUE Philippe	Médecine Physique et Réadaptation		
Mme MARTY Nicole	Bactériologie Virologie Hygiène		
M. MASSIP Patrice (C.E)	Maladies Infectieuses		
M. RAYNAUD Jean-Philippe (C.E)	Psychiatrie Infantile		
M. RITZ Patrick	Nutrition		
M. ROCHE Henri (C.E)	Cancérologie		
M. ROLLAND Yves	Gériatrie		
M. ROSTAING Lionel (C.E).	Néphrologie		
M. ROUGE Daniel (C.E)	Médecine Légale		
M. ROUSSEAU Hervé (C.E)	Radiologie		
M. SALVAYRE Robert (C.E)	Biochimie		
M. SCHMITT Laurent (C.E)	Psychiatrie		
M. SENARD Jean-Michel	Pharmacologie		
M. SERRANO Elie (C.E)	Oto-rhino-laryngologie		
M. SOULAT Jean-Marc	Médecine du Travail		
M. SOULIE Michel (C.E)	Urologie		
M. SUC Bertrand	Chirurgie Digestive		
Mme TAUBER Marie-Thérèse (C.E)	Pédiatrie		
M. VAYSSIERE Christophe	Gynécologie Obstétrique		
M. VELLAS Bruno (C.E)	Gériatrie		

M.C.U. - P.H.

M. APOIL Pol Andre	Immunologie
Mme ARNAUD Catherine	Epidémiologie
M. BIETH Eric	Génétique
Mme BONGARD Vanina	Epidémiologie
Mme CASPAR BAUGUIL Sylvie	Nutrition
Mme CASSAING Sophie	Parasitologie
Mme CONCINA Dominique	Anesthésie-Réanimation
M. CONGY Nicolas	Immunologie
Mme COURBON Christine	Pharmacologie
Mme DAMASE Christine	Pharmacologie
Mme de GLISEZENSKY Isabelle	Physiologie
Mme DE MAS Véronique	Hématologie
Mme DELMAS Catherine	Bactériologie Virologie Hygiène
M. DUBOIS Damien	Bactériologie Virologie Hygiène
Mme DUGUET Anne-Marie	Médecine Légale
M. DUPUI Philippe	Physiologie
M. FAGUER Stanislas	Néphrologie
Mme FILLAUX Judith	Parasitologie
M. GANTET Pierre	Biophysique
Mme GENNERO Isabelle	Biochimie
Mme GENOUX Annelise	Biochimie et biologie moléculaire
M. HAMDJ Safouane	Biochimie
Mme HITZEL Anne	Biophysique
M. IRIART Xavier	Parasitologie et mycologie
M. JALBERT Florian	Stomatologie et Maxillo-Faciale
Mme JONCA Nathalie	Biologie cellulaire
M. KIRZIN Sylvain	Chirurgie générale
Mme LAPEYRE-MESTRE Maryse	Pharmacologie
M. LAURENT Camille	Anatomie Pathologique
Mme LE TINNIER Anne	Médecine du Travail
M. LHERMUSIER Thibault	Cardiologie
M. LOPEZ Raphael	Anatomie
Mme MONTASTIER Emilie	Nutrition
M. MONTOYA Richard	Physiologie
Mme MOREAU Marion	Physiologie
Mme NOGUEIRA M.L.	Biologie Cellulaire
M. PILLARD Fabien	Physiologie
Mme PRERE Marie-Françoise	Bactériologie Virologie
Mme PUISSANT Bénédicte	Immunologie
Mme RAGAB Janie	Biochimie
Mme RAYMOND Stéphanie	Bactériologie Virologie Hygiène
Mme SABOURDY Frédérique	Biochimie
Mme SAUNE Karine	Bactériologie Virologie
M. SILVA SIFONTES Stein	Réanimation
M. SOLER Vincent	Ophtalmologie
M. TAFANI Jean-André	Biophysique
M. TREINER Emmanuel	Immunologie
Mme TREMOLLIÈRES Florence	Biologie du développement
M. TRICOIRE Jean-Louis	Anatomie et Chirurgie Orthopédique
M. VINCENT Christian	Biologie Cellulaire

M.C.U. - P.H

Mme ABRAVANEL Florence	Bactériologie Virologie Hygiène
Mme BASSET Céline	Cytologie et histologie
M. BES Jean-Claude	Histologie - Embryologie
M. CAMBUS Jean-Pierre	Hématologie
Mme CANTERO Anne-Valérie	Biochimie
Mme CARFAGNA Luana	Pédiatrie
Mme CASSOL Emmanuelle	Biophysique
Mme CAUSSE Elisabeth	Biochimie
M. CHAPUT Benoit	Chirurgie plastique et des brûlés
M. CHASSAING Nicolas	Génétique
Mme CLAVE Danielle	Bactériologie Virologie
M. CLAVEL Cyril	Biologie Cellulaire
Mme COLLIN Laetitia	Cytologie
M. CORRE Jill	Hématologie
M. DEDOUIT Fabrice	Médecine Légale
M. DELPLA Pierre-André	Médecine Légale
M. DESPAS Fabien	Pharmacologie
M. EDOUARD Thomas	Pédiatrie
Mme ESQUIROL Yolande	Médecine du travail
Mme EVRARD Solène	Histologie, embryologie et cytologie
Mme GALINIER Anne	Nutrition
Mme GARDETTE Virginie	Epidémiologie
M. GASQ David	Physiologie
Mme GRARE Marion	Bactériologie Virologie Hygiène
Mme GUILBEAU-FRUGIER Céline	Anatomie Pathologique
Mme GUYONNET Sophie	Nutrition
M. HERIN Fabrice	Médecine et santé au travail
Mme INGUENEAU Cécile	Biochimie
M. LAHARRAGUE Patrick	Hématologie
M. LAIREZ Olivier	Biophysique et médecine nucléaire
Mme LAPRIE Anne	Cancérologie
M. LEANDRI Roger	Biologie du dével. et de la reproduction
M. LEPAGE Benoit	Bio-statistique
Mme MAUPAS Françoise	Biochimie
M. MIEUSSET Roger	Biologie du dével. et de la reproduction
Mme NASR Nathalie	Neurologie
Mme PERIQUET Brigitte	Nutrition
Mme PRADDAUDE Françoise	Physiologie
M. RIMAILHO Jacques	Anatomie et Chirurgie Générale
M. RONGIERES Michel	Anatomie - Chirurgie orthopédique
Mme SOMMET Agnès	Pharmacologie
M. TKACZUK Jean	Immunologie
Mme VALLET Marion	Physiologie
Mme VEZZOSI Delphine	Endocrinologie
M.C.U.	
M. BISMUTH Serge	Médecine Générale
Mme ROUGE-BUGAT Marie-Eve	Médecine Générale
Mme ESCOURROU Brigitte	Médecine Générale

Maîtres de Conférences Associés de Médecine Générale

Dr BRILLAC Thierry
Dr ABITTEBOUL Yves
Dr CHICOULAA Bruno
Dr IRI-DELAHAYE Motoko

Dr BISMUTH Michel
Dr BOYER Pierre
Dr ANE Serge

**A Monsieur le Président du jury de Thèse,
Monsieur le Professeur Bernard FRAYSSE,
Professeur des Universités et Praticien Hospitalier,
Président de l'International Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies
Service d'ORL, Otoneurologie et ORL Pédiatrique**

Je vous remercie sincèrement de me faire l'honneur de présider à mon jury de Thèse.
Vous restez la personne qui m'a le plus marqué tout au long de mon internat. Vos qualités chirurgicales, médicales, intellectuelles et humaines ne cessent de m'impressionner chaque jour.

Je suis conscient de ma chance d'avoir eu l'occasion d'évoluer à vos côtés pendant ces cinq années. Je suis fier de continuer mon parcours à vos côtés car je sais que vous avez encore tant à m'apprendre.

Soyez assuré de mon profond respect.

**A Monsieur le Professeur Olivier DEGUINE,
Professeur des Universités et Praticien Hospitalier,
Chef de Service d'ORL, Otoneurologie et ORL Pédiatrique**

Je vous remercie d'avoir accepté de participer à mon jury de Thèse.

C'est à vos côtés que j'ai appris la chirurgie otologique. Être au bloc opératoire avec vous est un vrai plaisir et chaque minute est un enseignement.

Par ailleurs, votre rigueur scientifique et vos nombreuses compétences (en photographie, en informatique...) ne peuvent qu'être admirés.

Vous dirigez depuis quelques années le service d'ORL de Purpan de façon à assurer une parfaite cohésion des équipes et des conditions de travail exceptionnelles, ce qui est souvent complexe de nos jours à l'Hôpital.

Je suis heureux et honoré de devenir chef de clinique au sein de votre service et j'espère m'en montrer digne.

Soyez assuré de mon respect le plus sincère.

**A Monsieur le Professeur Sébastien VERGEZ,
Professeur des Universités et Praticien Hospitalier,
Service d'Oto-Rhino-Laryngologie et Chirurgie Cervico-Faciale**

Cher Sébastien,

Tu es le tout premier Professeur que j'ai eu l'honneur de tutoyer.

Tu accomplis l'incroyable exploit d'être à la fois un praticien et un scientifique aux compétences reconnues mais également une personne qui se met naturellement à la portée des internes et des étudiants en médecine.

Tu prends soin de tes patients qui sont souvent en détresse mais également de chacun des membres de l'équipe (ou plutôt devrais-je dire des équipes) que tu diriges.

Présent et brillant sur tous les fronts (Larrey, l'IUTC) en tant que chirurgien, médecin, chercheur, enseignant, coordonnateur de DES...mais également comme footballeur et baby-footeur d'exception. On est en droit de se demander parfois quand tu dors.

Saches que nos sialendoscopies couronnées de succès resteront gravées dans ma mémoire.

Sois assuré de mon profond respect.

**A mon Directeur de Thèse,
Monsieur le Professeur Mathieu MARX
Professeur des Universités et Praticien Hospitalier,
Service d'ORL, Otoneurologie et ORL Pédiatrique**

Cher Mathieu,

Je te remercie de tout cœur d'avoir accepté de m'encadrer pour ce moment important de la vie qu'est la rédaction et la soutenance de la Thèse de Médecine.

Tu es une sorte de modèle pour moi. J'ai toujours été ébahi par l'étendue de tes connaissances, de tes compétences médico-chirurgicales, pédagogiques et scientifiques. Être Professeur à ton âge reflète bien le caractère exceptionnel de ta personnalité.

Je te dois ce travail. Tu m'as encadré depuis la création du protocole de l'étude jusqu'au jour de ma soutenance, toujours avec bonne humeur et humour.

Je ne doute pas que tu es amené à faire de grandes choses pour l'otologie toulousaine, française mais aussi internationale.

Sois assuré de mon profond respect et de ma sincère amitié.

A Madame le Docteur Marie-José ESTEVE-FRAYSSÉ
Praticien Hospitalier
Présidente de l'Association Française des Équipes Pluridisciplinaires en
Acouphénologie
Service d'ORL, Otoneurologie et ORL Pédiatrique

Ces six mois passés avec vous à mieux appréhender les surdités, les vertiges et les acouphènes m'ont beaucoup apporté tout en étant un réel plaisir. Vous m'avez réellement appris à comprendre et aimer vos multiples domaines de compétences.

Votre savoir et savoir-faire mêlés à votre spontanéité font de vous un praticien hors du commun. Vous avez l'intelligence médicale et scientifique mais aussi celle du cœur pour prendre en charge tous ces patients, souvent rejetés par les autres praticiens ORL, qui souffrent de façon invisible.

Je suis heureux de continuer ma formation à vos côtés car il vous reste beaucoup à m'apprendre.

Soyez assurée de mon profond respect.

A mes maîtres d'internat

Monsieur le Professeur Elie SERRANO

Vous savez rendre la chirurgie rhinologique « évidente » lorsque vous la pratiquez. Votre implication au sein du service d'ORL de l'Hôpital Larrey en tant que chef de service mais aussi envers les étudiants en médecine en tant que Doyen sont véritablement remarquables. Soyez assuré de mon profond respect.

Monsieur le Professeur Jean-Jacques PESSEY

Vous êtes une sommité dans le domaine de la rhinoplastie et de la chirurgie cervico-faciale. Les fois où j'ai eu l'occasion d'être votre aide opératoire ont été à chaque fois très instructives.

Soyez assuré de mon profond respect.

Madame le Professeur Virginie WOISARD-BASSOLS

J'ai beaucoup apprécié les quelques mois passés à tes côtés qui m'ont permis d'avoir une vision à la fois générale et spécialisée de la phoniatrie. Les HJ de déglutition sont à ton image puisqu'ils nécessitent d'être partout à la fois, en faisant montre de beaucoup de sens clinique et de précision tout en sachant rester proche du patient en souffrance pour l'aider.

Monsieur le Professeur Frédéric LAUWERS

Votre nom est associé à vie dans mon cerveau à la notion « d'avion biplan » ! Je vous ai découvert en anatomie en 1^{ère} année de médecine où déjà vous arriviez à rendre limpide l'anatomie complexe des nerfs crâniens et de la base du crâne.

Je vous ai redécouvert lors de mon semestre en Chirurgie-Maxillo Faciale. Le terme le plus approprié qui me vient à l'esprit vous concernant est celui de « force tranquille ». De loin on a l'impression que vous flânez alors que lorsqu'on y regarde de plus près, que ce soit concernant vos 4 ostéotomies de la matinée ou vos 60 consultations du mercredi, vous abattez une masse de travail considérable. Votre technique chirurgicale et votre attitude pour appréhender les patients, notamment les enfants, m'ont beaucoup appris.

Enfin je me souviendrai toujours de nos week-ends d'astreinte infernaux mêlés de javelot dans le scalp et de fractures hexa-focales de mandibule.

Soyez assuré de mon profond respect.

Monsieur le Professeur Raphael LOPEZ

Cher Raphael, je t'ai connu encore Docteur mais tu étais déjà un grand Professeur pour moi. J'admire ta capacité à affronter ce métier difficile que représente la cancérologie cervico-faciale. Tu es une force de la nature qui effectue un travail colossal sans jamais sourciller et te voir à l'ouvrage au bloc opératoire est assez fascinant.

Avoir partagé avec toi ces 3 mois au sein du service a été pour moi un réel plaisir et m'a beaucoup apporté.

Sois assuré de mon profond respect.

Monsieur le Professeur Marcel DAHAN

J'ai beaucoup apprécié travailler avec vous dans votre beau service de chirurgie thoracique. Les voyages en jet privé pour aller collecter quelques poumons aux quatre coins de la France ou les pose d'ECMO à travers la région m'ont vraiment marqué.

Votre bienveillance avec les patients est remarquable et vous êtes toujours plein de surprises. Je vous fais signe le jour où j'ai besoin d'un bon pilote privé.

Soyez assuré de mon profond respect.

Monsieur le Professeur Laurent BROUCHET

Cher Laurent, j'ai beaucoup été impressionné par l'étendue de tes compétences chirurgicales qui te permettent de te « balader » dans le cou, le thorax, le médiastin, l'abdomen avec une facilité déconcertante. Tes talents ne t'empêchent pourtant pas d'être tellement abordable pour tes patients ou tes internes. Ta simplicité est la sophistication suprême comme dirait Léonard de Vinci.

Sois assuré de mon profond respect.

Monsieur le Professeur Franck BOUTAULT

Vous avez réussi à créer et entretenir une activité médico-chirurgicale variée, ce qui est extrêmement profitable aux internes qui ont la chance de passer dans votre service.

Soyez assuré de mon profond respect.

Monsieur le Professeur Michel GALINIER,

Je n'ai pas eu la chance de travailler à vos côtés au cours de mon internat. Néanmoins ces mois passés dans votre service pendant l'été de ma 6^{ème} année de médecine ont été vraiment marquants pour moi.

Soyez assuré de mon profond respect.

**Monsieur le Professeur Jean-Christophe SOL
et Monsieur le Professeur Patrick CHAYNES,**

Merci de m'avoir accueilli pour mon tout premier semestre d'internat. Je suis conscient de n'avoir probablement pas été d'une grande aide vu mon inexpérience manifeste mais sachez que j'ai beaucoup appris à vos côtés. Vos expertises chirurgicales m'ont beaucoup impressionné et j'ai pu toucher du doigt grâce à vous la « vraie » chirurgie.

Soyez assuré de mon profond respect

Monsieur le Docteur GIGAUD,

Vous avez toujours été un véritable Professeur pour moi. Depuis mon externat où vos cours m'ont marqué à jamais jusqu'à aujourd'hui encore où vous ne cessez de m'apprendre et de m'étonner. Votre érudition est médicale bien sûr mais aussi scientifique, littéraire, musicale, artistique, historique, géographique, culinaire (et j'en passe...). Et vous partagez votre savoir avec cette élégance qui vous est propre mais aussi une telle simplicité que vous côtoyer est toujours un plaisir. Je vous dois une bonne huitaine d'invitations que je compte bien rattraper à l'avenir.

Soyez assuré de mon profond respect et de mon amitié sincère.

Aux médecins des différentes équipes d'ORL

A Marie-Noëlle CALMELS

Marie, difficile de trouver les mots pour te dire à quel point je t'admire et t'apprécie. Tu es vraiment pour moi une belle personne (dans tous les sens du terme ☺). Non contente d'être une chirurgienne brillantissime qui excelle dans tous les domaines de notre vaste spécialité, tu es également d'une gentillesse et d'une disponibilité à toute épreuve. On peut vraiment compter sur toi et c'est rassurant de te savoir à nos côtés.

A Boris LESCURE

Tu es mon idole ! mon but ultime dans la vie est de te ressembler et pour l'instant ça en prend doucement le chemin puisque je vais marcher dans tes pas en tant que CCA. Passer après toi va être difficile car tu as mis la barre bien haut...

Tu m'as beaucoup appris à tous les niveaux et je sais que je peux encore compter sur toi pour des conseils avisés. Ton amitié m'est très précieuse.

A Blandine BALADI,

Je t'ai rencontrée externe aux conférences Esquirol où tu m'as fait découvrir et aimer l'ORL. Tu es un pilier du service en matière de pédiatrie. Ta constance et ton soutien sont très appréciables au quotidien.

A Madame le Docteur DUPIN-DEGUINE,

Heureusement que vous êtes parmi nous pour débrouiller les cas complexes qui nous tracassent. Je m'excuse pour toutes ces familles consanguines qui ont déjà et continueront probablement à débarquer en nombre dans votre consultation par ma faute. Vos compétences en génétique, sont profitables à tous et vous partagez votre savoir avec beaucoup de naturel et de simplicité.

A Nathalie MARTIN-DUPONT,

Je te dois mes rares week-end d'astreinte de tranquillité car notre duo avait la sympathique tendance de ne pas « attirer le client ». Par ailleurs tu m'as beaucoup appris pendant cette année d'internat passée à tes côtés, tant chirurgicalement que par ta rigueur médicale et scientifique. Passe nous faire un petit coucou si tu descends de la capitale à l'occasion.

A Myriam DAHMANI-CAUSSE, la meilleure d'entre nous comme le dit si bien le Pr Marx. Ta bienveillance a été réconfortante lors de mes premiers semestres à Purpan.

A Christelle TAVERGNIER, qui m'a fait confiance en me passant le flambeau pour les conférences Esquirol dès mon deuxième semestre. Ta gentillesse et ta constance ont laissé des traces dans tous tes stages d'internat.

A Julie DEMESLAY, la plus douce de toute. Je te souhaite tout le bonheur que tu mérites dans le grand Nord Nantais.

A Guillaume DE BONNECAZE, le brillant anatomiste et le chirurgien accompli. Probablement aussi le plus grand gaffeur de tous les chefs (« Bonjour Monsieur...oups pardon Madame ! C'est à cause de votre voix ! » alors que le patient n'avait pas encore ouvert la bouche). Je ne me fais pas de souci pour ton avenir en tant que médecin et universitaire, tu es vraiment une pointure !

A Benjamin VAIREL, tu accomplis l'exploit d'être à la fois le chirurgien le plus sérieux que je connaisse et aussi le plus drôle.

A Btissam FIHRI, je te connaissais déjà avant de te rencontrer par la forte impression que tu avais laissé pendant ton stage à Villefranche de Rouergue. On s'est un peu croisé en permanence et c'est dommage car ça doit être bien sympa de bosser avec toi.

A Anne DECOTTE, la princesse des thyroïdes. Tu es une vraie gentille. J'espère que ta vie de maman se passe pour le mieux, je suis sûr que pour ça aussi tu es parfaite.

A Sabine CRESTANI, tu es la digne héritière de Virginie et je ne me fais pas de souci pour la phoniatrie Larreysienne avec toi en chef de file.

A Josiane PERCODANI, l'ORL avec toi se fait en toute simplicité que ce soit du côté médical comme au bloc opératoire. J'espère que tu t'épanouis, tu le mérites bien.

A Henry LAPORTE, vous avez été mon premier maître d'ORL et j'ai découvert cette discipline grâce et à travers vous lors de mon second semestre d'internat. Ce stage à Villefranche a été un des temps forts de ma formation. Vous êtes pour moi non seulement un excellent médecin et chirurgien (le premier en France pour la thyroïde selon le Point !) mais aussi d'une générosité incroyable. Malgré les dures épreuves que vous avez traversé avec courage, vous restez le même Homme exceptionnel.

A Luc BONNAL, avec qui je partage la passion de la musique et de la moto. J'ai découvert cet étrange chose qu'est la VNG avec vous et ce n'est pas rien !

A François BAUBY, mon ORL lorsque j'étais adolescent. C'est à vous que je dois en grande partie d'avoir choisi cette spécialité. Je me souviens parfaitement de cette journée à vos côtés alors que j'avais passé l'ECN et que j'hésitais dans mon choix. Je vous remercie de m'avoir convaincu, je ne reviendrai sur ma décision pour rien au monde.

A Bernard ESCUDÉ, vous faites pour moi vous faites partie intégrante du service d'ORL. Que ferions-nous sans vous pour démêler les mystères de certaines imageries auxquelles nous sommes confrontées où pour obtenir une IRM encéphalique ou un scaner des rochers dans des délais raisonnables ? Et vous distillez votre savoir avec une telle gentillesse est simplicité.

A mes anciens cointernes devenus chefs

Julie et Alexandra, après avoir été le papa Noël de vos bambins, il se peut que ce soit à vous d'accueillir dans votre bureau un grand enfant. **Julie**, tu es la définition même de la spontanéité et tu apportes toujours une touche rafraichissante par ta simple présence!

Alexandra, tu es un peu la jeune « maman » qui m'a pris sous son aile dès le début de mon internat à Purpan. Tu sais à quel point je t'apprécie et j'aime évoluer à tes côtés. Vivement qu'on trouve un peu plus de temps pour discuter ensemble car ce sont toujours de bons moments. Et dès que j'ai passé ma Thèse, je m'emploie à te faire arrêter de fumer !!!

Aurélien, le Tarbais Réunionnais ! Tu représentes pour moi la joie de vivre et je ne désespère pas d'arriver à enfin venir à une de tes soirées.

Mark, le Parisien reconverti. Discuter et travailler à tes côtés est toujours très intéressant. Tu vas à l'essentiel et tu as une vision très juste des choses. Bonne continuation à Larrey et avec Junior

Emmanuelle, on s'est complètement raté pendant l'internat mais on s'est vraiment rencontré au début de ton clinicat. Ta gentillesse, ta rigueur et ta conscience professionnelle font de toi la chef parfaite. Notre première trachéotomie sous locale en urgence restera ancrée dans mon

esprit et je sais que dans le tien aussi. Ne change rien et à bientôt pour un mojito place St-Georges !

Gaël, le meilleur (et peut-être le pire) d'entre nous. C'est probablement toi, la star des internes et maintenant des chefs, à qui je dois toutes mes « casseroles » d'internat ! Tu es vraiment un type formidable. Ne t'en fais pas, je serai toujours là pour toi si tu as besoin de poser un troisième DTT et que tu ne trouves plus la place sur le tympan.

Michael, les ORL Libanais sont vraiment excellents tu es l'exemple même de cet aphorisme. J'ai beaucoup appris à tes côtés et j'aimerai tant que tu restes pour continuer à me former. Le bureau va être bien vide sans toi...mais bon, ton pays natal t'appelle (et la préfecture de Toulouse ne donne pas vraiment envie de rester en France !). Je te souhaite une belle vie, toi le futur papa, et espère te recroiser bien souvent. Tu seras toujours le bienvenu (d'ailleurs je te rappelle que je suis ton logeur officiel pour l'administration française ;)).

A mes cointernes d'ORL

Clément, mon cointerne miroir. Au final on se sera pas mal croisé pendant cet internat et c'est bien dommage car à chaque fois qu'on se voit c'est quand même drôlement chouette ! Tu vas revenir dans 1 an de Villefranche-de-Rouergue au top niveau et je t'enverrai tous mes patients « RL ».

Yohan, je me souviens de tes incertitudes après tes ECN et de moi t'envoyant des articles EMC et tentant de te « recruter ». Au final tu t'es laissé séduire (en tout bien tout honneur) et l'ORL Toulousaine a beaucoup gagné à mon avis. Sous tes airs faussement « bougon » tu incarnes littéralement la gentillesse et la fiabilité, d'ailleurs tu fais l'unanimité des enfants et ça c'est un signe. On peut vraiment compter sur toi en toutes circonstances et je suis heureux que notre aventure professionnelle et amicale ne fasse que commencer.

Sarah, dire qu'on se connaît depuis bientôt 11 ans et je suis ravi que ça continue. Depuis la P1, en passant par l'externat et nos soirées jeux&bonbons entre copains jusqu'au choix fatidique de l'ECN. Tu as bien fait de choisir l'ORL car tu y as trouvé non seulement une spécialité où tu excelles (comme tout ce à quoi tu touches d'ailleurs) mais également une moitié avec qui tu construits l'avenir. Je suis heureux pour vous 2 (pour vous 3 même !) et il me tarde de travailler à nouveau à tes côtés.

Emilien, l'Homme à qui je dois d'avoir pu finir ma Thèse. Sans ton implication pendant ce semestre, je ne sais pas comment j'aurais fait. Gentil Organisateur (légèrement déluré) des soirées d'internat, ta bonne humeur constante est un régal.

Julie I., la chirurgienne du groupe qui opère les cellulites dentaires sans filet en Aveyron. Toujours de bonne humeur et partante pour faire la fête, tu as intérêt à nous revenir fissa de Montpellier l'été prochain !

Pauline, ma salvatrice lors du GEMO 2015. Grâce à toi j'ai pu me soustraire au duo de choc Sarah-Boris et descendre (difficilement) les pistes vertes et bleues en ta compagnie.

Charles, tu fais honneur à ton prénom ! Je suis sûr que l'élève a dépassé depuis longtemps le maître pour la noble pose des port-à-caths.

Paul, en dehors de ta propension à la gymnastique rythmique et sportive, je ne sais finalement pas grand-chose de toi. Il faudra remédier à ça car je perçois tout ton potentiel pour l'audiophonologie !

Bastien, le bogoss. Merci de m'avoir laissé tous ces formidables patients après ton passage à Purpan ! Rassure-toi, si l'ORL ne te convient plus, je sais que tu recouds parfaitement les prépuces...tu feras un excellent urologue.

Fanny, la Fille à qui je dois aussi d'avoir fini ma Thèse. On m'avait dit du bien de toi après ton passage à l'Oncopôle mais c'était bien en dessous des réalités. Tu es brillante malgré ta jeune expérience (et pas que pour le fraisage des rochers synthétiques ☺) et ta gentillesse et ta disponibilité ont été plus qu'appréciables pendant ce semestre. J'espère vraiment que tu reviendras faire un petit tout du côté de Purpan avant que mon clinicat ne s'achève.

Laura, peut être la meilleure d'entre nous au jeu du glaçon. Tu as affronté Purpan en premier semestre et maintenant tu peux être sûre que tu es invincible.

Ahmed, arrête de m'appeler « Boss », tu es probablement meilleur que moi en chirurgie otologique. On a partagé beaucoup de bons moments au cours de notre internant et ça continue pour 1 an avec le plus grand plaisir ! J'arrête de te dire que tu viens d'Arabie Saoudite et j'irai même te rendre visite à Dubaï dans quelques années maintenant que je sais précisément où ça se situe sur une carte.

Muna, la discrétion efficace. Tout en douceur, tu es arrivée en 1 an à occuper la même place que n'importe quel interne « de chez nous ». Alef mabrouk!

Saad, mon padawan pour la pose des port-à-caths et la réalisation des nasofibroscopies. Prépare-toi aux poses de DTT sous locale et aux manœuvres libératoires dans quelques mois.

Sarah A, une fille exceptionnelle tout simplement. J'espère que tout baigne pour toi en Arabie Saoudite car tu le mérites vraiment. A bientôt j'espère, tu nous manque tu sais.

Aubry, le Toulousain Clermontois (mais Toulousain quand même). Sacré semestre ensemble à Larrey au cours duquel tu es devenu papa. Quand est-ce que tu reviens qu'on se fasse cette balade en moto ?

A mes autres cointernes non ORL (personne n'est parfait !)

Aurélien Hostalrich et Antoine Philis, on s'est quand même bien marré entre 2 greffes (et 250 thyroïdes) en thoracique !

Sarah Ouardanix comme t'a surnommé Raphael. On a découvert l'internant ensemble en neurochirurgie et on s'est entraîné pour survivre, nous les « faux chirurgiens ».

Zoé Cavallier, dire que tu as failli finir radiologue... heureusement que tu as rectifié le tir, la CMF se serait passée d'une fille formidable.

Guillaume, Guigui pour les intimes. Tu es un mec bien tout simplement... complètement fou mais ça n'empêche pas ! J'ai vraiment adoré nos moments de décompensation totale. Je viendrai te serrer la pince quand tu seras installé sur la côte basque avec plaisir.

Ségolène, la DESCO de la famille ORL. Malgré les problèmes de portable, de sujet de thèse, de ski...tu restes égale à toi-même et toujours aussi attachante.

Cédrik, la star du petit écran. Tu es vraiment quelqu'un de profondément gentil et tu m'as beaucoup appris au cours de ce semestre passé ensemble. Je n'ai pas été d'une grande aide lorsque je te secondais pour tes premières fractures de mandibule en solo mais heureusement tes compétences chirurgicales déjà excellentes surmontaient le handicap. J'espère qu'on aura l'occasion de bosser ensemble à nouveau à l'avenir et de se faire une soirée pizza !

Mathieu, ou le DESCO qui posait les pacs clandestins et faisait les nasofibroscopies plus vite que son ombre.

Caroline, la fille venant du Nord la plus bronzée que je connaisse. Tu es une vraie bosseuse également très drôle avec qui il fait bon travailler.

Gauthier, l'anapath reconverti en chirurgien. Probablement le meilleur DESCO skateboarder que la Terre ait connu.

Marion, à qui je dois mes premiers pas en chirurgie. C'est toi qui m'a appris, en sérieuse plasticienne que tu es, à faire de belles sutures.

Ophélie, la tennis woman de Villefranche. On est tranquille quand tu es aux urgences, avec toi ça dépote !

Pedro et Benjamin Plas, je vous appellerai quand je déraperai un peu sur le lobe temporal. Camille, et nos bêtises vinicoles dans la salle des internes de CMF qui s'en rappelle encore.

Aux autres copains de médecine :

Aemilia et Francois : parce qu'il faut toujours connaître un couple d'anesthésistes réanimateurs (surtout quand ils ont une grande maison avec piscine !)

Adélina, la meilleure amie de ma moitié. Heureusement tu as « validé » ma relation avec ta « lopine » et je te promets d'être digne de ta confiance. Belle vie à toi et ton Jules(ien).

Imène, tu es une fille assez exceptionnelle, tu iras loin.

Jérôme Gas (notre ex-président adoré) et **Victor Tostivint**, aussi déjantés l'un que l'autre. Essayez de ne pas trop faire tourner en bourrique Pauline l'an prochain, même si je sais qu'elle vous adore !

A ma famille (« Un homme a besoin d'une famille autant qu'il a besoin d'air »)

A Pauline,

Nous avons vécu tant de chose depuis notre rencontre il y a plus de 3 ans. Nous nous comprenons et voyons la vie de la même façon, tout simplement. Tu me donnes de la force et du courage quand j'en manque et je sais que je suis devenu une meilleure personne depuis que je te connais. Je t'admire, une femme chirurgienne urologue ça n'est pas donné à n'importe qui ! Tu ne cesses de m'impressionner chaque jour que je passe à tes côtés et je sais que ça n'est pas prêt de s'arrêter... Tu es la femme de ma vie.

Je t'aime de tout mon coeur

A mes parents,

A qui je dois d'exister. Les mots ne peuvent pas décrire l'attachement que je vous porte depuis plus de 28 ans. Mais ça ne fait rien car vous savez bien que l'amour entre nous est si fort qu'il en devient implicite. Je suis conscient que c'est principalement grâce à vous que je suis devenu l'Homme que je suis actuellement.

Ne vous tracassez pas pour moi. Votre fils unique est heureux et vis une vie merveilleuse et cela en grande partie grâce à vous.

Je vous aime tendrement et inconditionnellement

A ma grand-mère,

Nous avons tellement partagé de moments de complicité depuis mon enfance. Tu n'as pas changé (comme dirais Julio), tu es toujours aussi jeune, belle et vive d'esprit pour moi. Je te remercie pour tout ce que tu m'as apporté et continue de m'apporter chaque jour.

A mon oncle, ma tante,

J'espère que vous êtes conscient de tout ce que vous représentez pour moi. Vous avez toujours été présents pour moi et je tâcherai de l'être pour vous du mieux que je peux.

A Justine,

Tu es devenu une brillante jeune femme. Je te souhaite de réussir mais surtout d'être heureuse. Je suis fier d'être ton Parrain.

A mon grand-père Robert,

Tu es discret et présent à la fois. Notre timidité mutuelle nous interdit souvent de nous dire que nous nous aimons et pourtant c'est bien le cas. Je sais quelles émotions tu éprouves à mon égard même si tu cherches souvent à les dissimuler (je me souviens particulièrement de tes yeux humides à certains de mes représentations pianistiques). J'espère que tu es fier de moi. Je t'aime.

A Claude,

Tu es presque comme mon troisième parent. Je ne connais pas la vie sans toi puisque tu as présent depuis mes premiers jours jusqu'à aujourd'hui encore. J'éprouve une profonde tendresse à ton égard et je sais que c'est réciproque. A très bientôt un samedi soir chez toi devant The Voice !

A Cécile, Didier,

Vous êtes entré dans ma vie peu après ma rencontre avec Pauline. Je vous remercie d'avoir créé et façonné celle qui partage ma vie, vous avez bien travaillé ! Je ne pouvais rêver mieux comme « belle famille » et tous ces moments passés en votre compagnie ont été formidables. Grâce à vous je suis devenu un fervent adepte d'« Un Violons sur le Sable ».

A Valentine,

Tu es brillante et drôle. Je sais que tu as les capacités de faire ce que tu voudras et je te souhaite plus que de réussir, d'être heureuse dans ta vie et le métier que tu choisiras.

A Martine,

Je te remercie de tout ce que tu apportes à mon grand-père. Ta présence dans la famille dont tu fais maintenant partie est véritablement appréciée.

A mon grand-père André et ma grand-mère Renée, vous me manquez encore davantage ce jour. Je sais que vous auriez été fiers de moi.

Aux autres médecins qui ont compté pour moi

A Ambre De Bérail, ton courage est un exemple. Je te souhaite à toi et tes petits bouts de chou la belle vie que vous méritez.

A Florent Charot, le gentil rugbyman de thoraco-vasculaire.

A Isabelle Serres, la plus adorable de toutes les anesthésistes.

A Franck Delanoé, le perfectionniste. Tu es dans la digne lignée de tes aînés pour devenir un sacré de la CMF.

A Céline Dekeister, le seul regret de mon stage reste de ne pas avoir pu être aussi ton interne tant il est agréable et instructif de travailler à tes côtés.

A Claire Renaud, la reine des thyroïdes. Une sacrée femme dans un milieu d'hommes ! Je te dois mes premières lobo-isthmectomies thyroïdiennes.

A Ourdia Bouali, tu arrives à conjuguer ton travail et ta vie familiale en assurant sur les deux tableaux. Embrasse bien pour moi ton homme et tes bambins qui barbotent encore, paraît-il, autour de mes poissons.

A Sylvain Fowo, il ne faut pas oublier que c'est à toi que reviens mon surnom aujourd'hui largement répandu à travers le CHU. Tu aurais dû le breveter !

A Vincent Lubrano, tu es vraiment un chirurgien intelligent et compétent et j'ai beaucoup aimé évoluer avec toi lors de mon premier semestre. Toujours à la pointe de la technologie, je garde un souvenir ému de notre intervention chirurgicale sous neuronavigation au cours de l'affaire Merah.

A Sergio Boetto, tu es un véritable couteau-suisse de la neurochirurgie qui fait tout vite et bien.

Au Docteur Philippe Leprince, mon médecin traitant qui prends si bien soin de moi et de ma famille.

Aux paramédicaux qui nous épaulent tant dans le soin des patients

A Nadine Cochard, votre expérience en matière d'implantation cochléaire est reconnue internationalement. C'est une chance de pouvoir travailler à vos côtés.

A Anne Honegger, la patience et la douceur mêmes pour évaluer l'audition tous ces marmots.

A Marie-Laurence Laborde et Marjorie Tartayre, nos orthophonistes de choc. Quelles que soient leur pathologie, quand les patients vous ont rencontré ils ne jurent que par vous.

A Miora, une kiné vestibulaire du tonnerre.

A Gaétan Iversenc, Olivier Vales et Victor Cologan,

Sans vous l'étude PARCO, et donc cette thèse, n'aurait tout simplement pas vu le jour. **Merci Gaétan** pour avoir « managé » tous ces patients en parallèle de l'étude de Mathieu et cela toujours dans la bonne humeur. **Merci Victor** pour ta disponibilité et ton professionnalisme. Et un **grand merci à Olivier** qui a mis beaucoup d'énergie et de temps pour organiser l'appareillage de ces patients. Travailler avec vous est un réel plaisir !

A Chris James et ton accent so australian.

A Jean Baptiste Chainé, un grand merci à toi et tes collègues pour toutes ces formations Amplifon qui sont réellement profitables à tous les internes d'ORL de Toulouse. Il faut qu'on remette vite ça !

A mes amis (« une famille dont on a choisi les membres »)

A Elsa, ma meilleure amie d'enfance. Malgré l'éloignement géographique et les difficultés pour se ménager du temps ensemble, à chaque fois qu'on se retrouve, c'est comme si on s'était vu hier. Ton amitié compte beaucoup pour moi.

A Perrine, tu m'as littéralement ouvert la voie en médecine. Quel soulagement de te voir revenir sur Toulouse après 4 ans d'errance à Reims. On va arriver à se voir plus souvent promis, ça me manque.

A Emilie, ta famille te ressemble, elle est tellement attachante. Je vous souhaite une vie splendide à vous trois et promets de venir vous rendre visite sur Lyon un de ces quatre.

A Benjamin, mon compagnon de débauche capillaire au lycée. On s'est un peu perdu de vue pendant mon externat (et assagis au niveau de notre coupe de cheveux) mais quel plaisir de s'être retrouvé il y a quelques années. L'année prochaine, on le fait ce semi-marathon !

A Olivier, mon copain d'externat et de sous colle. On se ressemble beaucoup (et pas que physiquement à cause de la barbe, des cheveux frisés et des poils) et c'est probablement pour ça que notre amitié est si robuste. Je t'enverrai dans quelques années mes patients syndromiques pour décharger un peu Mme Dupin-Deguine.

A Jean et Florent, mes copains motards d'externat. On en a partagé tant d'aventures depuis ce fameux week-end d'intégration. Vous me manquez vraiment et vivement qu'on arrive à se revoir tous les trois.

A Anne, tu as bien réussi ta vie à Angers. L'éloignement est difficile mais je sais qu'on se reverra bientôt et que ça sera évident. Fais bien la bise à tes hommes de ma part.

A Margaux, ma collègue de sous-colle. Des gens brillants comme toi on en croise peu dans une vie, surtout quand ils sont de surcroît profondément sensibles et gentils. Tu as trouvé une belle moitié en la personne de Maksud, je vous souhaite du bonheur à en revendre.

A Bruno, l'anesthésiste-aviateur qui passe à France 3 Limousin, le pro des check-lists.

A Mathieu, l'ingénieur ingénu. Tu sais à quel point je t'apprécie même si j'ai du mal à me libérer du temps quand tu passes en éclair sur Toulouse. Tu as vécu des moments difficiles avec beaucoup de courage et j'aurai aimé être plus présent pour toi. Je te promets que maintenant l'internat fini, on arrivera à trouver un moment pour boire un verre (ou aller au casino ;) ensemble.

A William et Andréina, vous vivez le parfait bonheur autour de votre adorable petite Léana. Je suis toujours disponible en cas d'urgence otite.

A Nicolas, merci pour ton aide à tous les points de vue. Je te souhaite de réussir au Canada ou ailleurs mais je ne me fais pas trop de souci pour toi vu tes compétences.

A Julien Cordoba, avec qui j'ai d'abord eu des contacts professionnels pour monter les perfusions à domicile au sein du service d'ORL. Tu es par la suite devenu un vrai ami.

A Sonia et Marcel,

Vous m'avez connu « poussin » et suivi de près pendant près de 18 ans. La vie oblige quelquefois de faire des choix et d'arrêter le karaté a été un des plus difficiles que j'ai eu à faire. Je ne désespère pas de m'y remettre dans un avenir proche et je compterai alors sur ma prof préférée pour me donner des conseils pour la préparation du 2^{ème} Dan. Je vous embrasse tendrement et vous dis à bientôt, promis !

A toute l'équipe du service d'ORL PPR

Aux secrétaires d'abord qui sont d'une efficacité redoutable nous facilitent grandement la tâche (**Laurence, Sophie, Sylvie, Corinne, Agnès, Sandra**) ; **Muriel** (la « maman » des consultations ORL) et **Marlène** à l'accueil des consultations qui savent calmer le jeu quand le retard s'accumule. Et **Coco** bien entendu sans qui les urgences ORL ne tourneraient pas, c'est certain ! La semaine d'astreinte est vivable grâce à toi !

Katy et Dorothée, le duo de choc pour les programmations de bloc opératoire. On vous fait régulièrement tourner en bourrique mais grâce à vous, on arrive toujours à « caser » un patient dans des délais raisonnables.

Aux infirmières du service (**Camille, Charlotte, Marianne, les Mélanies et toutes les autres**) et aux aides soignant(e) (**Philippe, Alexandra, Christine, Mona...**) qui supportent les internes jour et nuit. A **Jeanine** qui nous manque mais revient nous faire des petits coucous.

Aux infirmières des consultations (**Claire, Nathalie, Sandrine, Delphine...**) qui allient tous les jours efficacité et gentillesse. **Jean-Phi**, (Mr VNG) et **Marie-France** (Mme PEA) qui se débrouillent toujours pour nous débloquer un créneau pour y caser un patient en urgence.

A toute l'équipe du bloc céphalique PPR

Patrick, Sylvie, Emma, Hubert, Annie ... Les piliers du bloc ORL.

Etienne, Marie-Laure, Delphine... Les jeunes qui montent !

Martine, la chef d'orchestre !

Les marchands de sable sans qui nous serions tous au chômage technique : **Mme Concina, Mlle Fedacou, Mme Noves, Mme Sacrista, Mr Julia et Julie Casalprim**.

A toutes les **IBODES et ASH de CMF** avec qui il fait bon travailler en s'amusant.

Et bien sûr **Nathalie** qui est partie mais reste un peu là quand même tant sa présence toutes ces années nous a tous marqués.

A toute l'équipe du service d'ORL Larrey

Les infirmières bien sûr (**Emilie, Gaëlle, Karina, Céline...**) et infirmier (**Arnaud**) du service mais aussi de la consult (**les Michèles, Claire, Danielle, Véronique...**), vous êtes formidables ! Vous n'envisagez pas de venir travailler sur Purpan ;) ? Les secrétaires (**Marie, Isabelle, Christelle, Marion...**) qui sont aussi terriblement efficaces (ça doit être un trait commun aux secrétaires d'ORL).

A toute l'équipe du bloc d'ORL Larrey

Mme Oliva tout d'abord, la pile DURACELL du bloc qui lui permet de tourner 24h/24 sans faillir. **Mr Canut** ensuite, qui reste « notre anesthésiste » dont on est très fier en ORL. Qui sera de taille à vous remplacer ? Aux **IBODE et aides-soignants** qui réussissent l'exploit de faire du bloc opératoire une 2^{ème} maison où l'on se sent extrêmement bien.

A toute l'équipe du service de CMF

Les infirmier(e)s du service (**Emma, Alice, Christelle, Nelly (la reine du pansement), Patrick, Marlène...**) et bien sûr **Nadine** !

A toute l'équipe du service de chirurgie thoracique qui m'a accueillie les bras ouverts pendant un semestre. Mon seul regret de travailler à Purpan est de ne plus vous côtoyer.

A toute l'équipe du service et du bloc de neurochirurgie Ranguel qui m'a bien pris sous son aile au début de mon internat.

A toute l'équipe du CH de Villefranche-de-Rouergue. Je ne désespère pas de trouver le temps de revenir vous voir à l'occasion. Ces 6 mois en votre compagnie ont été une expérience humaine.

Un remerciement Pour **Mme Ducamp** et **Mr Lasserre** de la société AUDIKA pour leur soutien quotidien aux internes d'ORL.

A tous ceux que j'ai oublié, parce que c'est toujours le cas...

Lorsqu'on rédige sa thèse, c'est l'occasion de se poser (pas trop quand même) et de faire le point sur celles et ceux qui ont comptés d'une façon ou d'une autre dans sa vie.

Il est difficile d'être exhaustif lorsqu'on se projette sur plusieurs décennies.

Pour tous ceux que je n'ai pas cité plus haut et qui m'ont tant apporté (ils se reconnaîtront), un grand MERCI.

*"Ne pas voir sépare l'Homme des choses,
ne pas entendre sépare l'Homme de l'Homme"*

Emmanuel Kant

Liste des abréviations

ADN : Acide Désoxyribonucléique

APHAB: Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit

ARN : Acide Ribonucléique

BAHA: Bone Anchored Hearing Aid

BTE: Behind The Ear

CHU: Centre Hospitalier Universitaire

CIC: Completely In-the-Canal

dB: Décibel

NA : Nomina Anatomica

GBI: Glasgow Benefit Inventory

GHSI: Glasgow Health Status Inventory

HL : Hearing Level

HLA : Human Leucocyte Antigen

IgG : Immunoglobuline G

ITC : In-The-Canal

ITE : In-The-Ear

Pa: Pascal

PPR: Pierre-Paul Riquet

RITA : Receiver In The Aid

RITE : Receiver In The Ear

RMS: Root Mean Square

SNR: Signal Noise Ratio

SPL : Sound Pressure Level

SRT : Speech Reception Thresholds

SSQ: Speech Spatial and Qualities of Hearing Scale

THI: Tinnitus Handicap Inventory

WDRC : Wide Dynamic Range Compression

Table des matières

INTRODUCTION	27
1ère partie : L'otospongiose	28
Histoire de l'otospongiose	28
Bases anatomiques	37
Bases physiologiques	41
Histologie.....	44
Epidemiologie	47
Etiopathogenie	47
Clinique et paraclinique	51
Traitement medical	56
Technique chirurgicale : stapédotomie et restauration de l'effet collumellaire.....	59
2ème partie : La réhabilitation des surdités par audioprothèse	64
Généralités sur les signaux acoustiques.....	64
Les caractéristiques du déficit auditif	71
Histoire de l'audioprothèse	73
Composition d'une audioprothèse moderne	79
Les différents types d'audioprothèses.....	82
Les traitements du signal dans les appareils auditifs digitaux	84
Notions de base.....	84
Les systèmes de compression	85
Les microphones directionnels	95
Les systèmes avancés de traitement de signal	99
La réhabilitation audioprothétique des surdités	104
L'évaluation de l'appareillage auditif.....	111
Les tests de compréhension de la parole	111
Les auto-questionnaires	112
L'évaluation des bénéfiques en fonction du temps	113
Les réglages d'une audioprothèse	114
La réhabilitation des surdités neurosensorielles	114
La réhabilitation des surdités de transmission ou mixtes	118
Programmes multiples	121
Les aspects administratifs en France.....	121
3ème partie : Prothèse auditive et réhabilitation chirurgicale dans la prise en charge de l'otospongiose : étude pilote (PARCO)	123
INTRODUCTION	125
OBJECTIFS DE L'ETUDE	129
MATERIEL ET METHODES	130
Modalités de recrutement	130
Appareillage auditif externe	132

Restauration chirurgicale de l'effet columellaire	132
Schéma de l'étude	133
Critères d'évaluation	133
Analyses statistiques.....	143
RÉSULTATS.....	144
Population d'étude	144
Critères cliniques	146
Critères audiométriques	147
Audition binaurale	153
Perception de la musique (BRAMS°).....	159
Qualité de vie.....	160
Acouphènes	165
Effets indésirables.....	167
Satisfaction et préférences	168
DISCUSSION.....	170
CONCLUSION.....	175
ANNEXES	176
BIBLIOGRAPHIE	208

INTRODUCTION

L'otospongiose est une pathologie fréquente qui représente une des principales causes de surdité de transmission acquise de l'adulte jeune en France.

Son diagnostic est souvent aisé et orienté par un faisceau d'arguments cliniques, audiométriques et radiologiques évocateurs. Le handicap lié à la surdité qu'engendre l'otospongiose au sein d'une population souvent jeune et active peut se révéler particulièrement important. La prise en charge de cette maladie va de la simple surveillance en cas de formes pauci-symptomatiques à la réhabilitation auditive par audioprothèse ou chirurgie.

Le rétablissement de l'effet columellaire par stapédotomie reste aujourd'hui l'une des interventions « reines » de l'otologie de par son apparente simplicité et ses bons résultats fonctionnels. Néanmoins cette chirurgie fonctionnelle peut se révéler particulièrement exigeante et potentiellement iatrogène, d'autant plus qu'elle sera effectuée par un opérateur peu expérimenté.

D'autre part, les progrès récents en matière d'électronique et d'informatique ont permis un formidable développement de l'audioprothèse qui se révèle désormais plus efficace tout en devenant plus discrète et ergonomique.

Le choix de la réhabilitation auditive de l'otospongiose va ainsi dépendre de nombreux facteurs : la proposition et les habitudes du médecin ORL, les compétences de l'audioprothésiste, les préférences du patient mais aussi la prise en charge par le système de santé. En effet, dans le cadre de l'otospongiose, alors que la chirurgie est encore largement prédominante en France, c'est l'audioprothèse au Royaume-Uni qui est la plus répandue pour de simples raisons de financement des soins.

À notre connaissance, aucune étude prospective n'a encore comparé l'efficacité et la tolérance de l'appareillage et de la chirurgie dans la réhabilitation auditive de l'otospongiose.

Une étude comparative prospective au sein du service d'ORL du CHU de Toulouse-Purpan a été instaurée dans le but d'éclaircir cette interrogation.

Cette thèse aura 3 objectifs principaux :

- 1) Rappeler les principales connaissances actuelles sur l'otospongiose et sa prise en charge chirurgicale
- 2) Présenter la réhabilitation actuelle des surdités par les audioprothèses modernes
- 3) Exposer l'étude prospective PARCO qui a pour but de comparer la réhabilitation auditive de l'otospongiose par audioprothèse puis par chirurgie chez des adultes sourds unilatéraux et présenter les premiers résultats.

1ère partie : L'otospongiose

Histoire de l'otospongiose

La découverte de l'otospongiose

C'est en Italie, en 1704 à Padoue, qu'est mise en évidence pour la première fois par Antonio Maria Valvalva la fixation de l'étrier sur dissection anatomique [1]. Joseph Toynbee, en Grande Bretagne en 1849, remarqua également cette ankylose stapédienne sur sujets cadavériques. Il publia en 1852 que ce phénomène concernait 39 os temporaux sur 1659 dissections et fut un des premiers à évoquer la relation entre ankylose stapédo-vestibulaire et surdité [2]. Le terme « sclerosis » fut introduit en 1881 par Von Troeltsch, un otologiste allemand, pour caractériser l'ancrage osseux de l'étrier dans certaines surdités et ainsi les différencier de celles liées aux classiques épanchements rétro-tympaniques [3]. C'est Adam Politzer (Fig 1), un des pères de l'otologie et probablement le plus grand otologiste du 19^{ème} siècle, qui rejeta l'hypothèse d'un catarrhe sec alors en vogue pour expliquer les surdités à tympan normal et à qui l'on doit l'appellation « otosclerosis » [4].



Fig. 1 : Adam Politzer

Il décrit en 1894 à Vienne la fixation de la platine de l'étrier par des dépôts osseux, menant à une progressive ankylose de l'osselet sur la fenêtre ovale et causant par là même une surdité de transmission [5]. Friedrich Siebenmann, un médecin suisse-allemand, proposa en 1912 que l'on adopte le terme « otospongiosis », plus adapté car indiquant le caractère actif des lésions osseuses de la capsule otique et non seulement la fixation de l'étrier par de l'os inerte résultant de l'évolution de ces lésions actives [4]. Il est intéressant de noter que de nos jours, les otologistes Britanniques et Américains continuent d'utiliser le terme « otosclerosis » tandis que les Européens parleront plus volontiers d'otospongiose. Maurice Sourdille, un

grand otologiste français, nomma cette affection otospongio-sclérose de Siebenmann-Politzer [4]. Les travaux de Politzer furent une avancée majeure dans l'étiopathogénie de l'otospongiose puisqu'il montra que l'ankylose stapédienne était le fruit d'une maladie primitive du labyrinthe osseux et non le résultat inflammatoire d'un épanchement rétro-tympanique chronique comme le supposaient ses prédécesseurs. L'ironie est que Politzer usa également de toute sa renommée pour condamner violemment par la suite la chirurgie de l'étrier, tant et si bien qu'il fallut attendre un demi-siècle pour voir réapparaître la chirurgie stapédienne [4].

Les premiers pas de la chirurgie stapédienne

Johannes Kessel montra en Allemagne en 1878 sur des oiseaux que l'on pouvait enlever le système tympano-ossiculaire sans pour autant rendre les animaux cophotiques. Ses expériences sur la mobilisation stapédienne révélèrent que des forces importantes pouvaient être appliquées sur cet osselet sans engendrer d'autres désagréments que des effets vestibulo-cochléaires temporaires [6]. Il fut le précurseur de la mobilisation stapédienne qui fut largement développée en Europe et outre-Atlantique. Les français Boucheron, Camille Miot [7], Émile-Jules Moure ou encore les américains Samuel Sexton, Henry A. Alderton, Clarence John Blake diffusèrent la mobilisation stapédienne comme un traitement de la surdité.

La toute première stapédecotomie fut réalisée Frederick Lafayette Jack le 19 juin 1891 à Boston [8]. Alors qu'il opérât un patient souffrant d'otite chronique, il fut amené à retirer le marteau, l'enclume et prudemment l'étrier qu'il jugea atteint. Au réveil, le patient lui révéla qu'il entendait mieux de l'oreille opérée. Le Dr Clarence John Blake, collègue de Jack, rapporta en 1892 que « la désarticulation et exérèse de l'étrier, bien qu'il puisse s'agir d'une procédure quelque peu héroïque, semble donner de meilleurs bénéfices auditifs que la simple mobilisation » [9]. Les patients cibles étaient à la fois ceux souffrant d'otite moyenne chronique suppurative ou d'otite sèche à tympan normal dite « otitis media insidiosa ». Jack effectua ainsi une cinquantaine de stapédecotomies sous anesthésie générale de la façon suivante : [8]

- Incision en V de la membrane tympanique en regard de l'articulation incudo-stapédienne
- Section du muscle stapédien et désarticulation incudo-stapédienne
- Ablation de l'étrier au crochet

L'anesthésie locale était réalisée par insufflation tubaire de solution de cocaïne à 10% et le chirurgien opérât à la lampe frontale. Il nota que dans les cas où le patient présentait un tympan normal, la platine ne pouvait pas être retirée ou alors qu'en partie et que les résultats

auditifs étaient moindres. Aucun décès ne fut à déplorer et les vertiges post opératoires s'amendaient en quelques jours dans la majorité des cas. Blake commenta qu'il n'expliquait pas ce phénomène mais que sa supposition était que l'exérèse complète de l'étrier et de la platine devait lever une obstruction mécanique aux ondes sonores. En d'autres mains, cette intervention se révéla dangereuse avec un risque non négligeable de cophose voire de méningite mortelle. Les premiers avertissements furent lancés au congrès international de Médecine de Rome en 1894 mais c'est suite au congrès de Paris de 1900 que la chirurgie stapédienne fut définitivement suspendue. Les autorités en la matière de l'époque, Adam Politzer et Friedrich Siebenmann inclus, condamnèrent fortement la chirurgie de l'étrier qui fut ainsi réduite au silence pendant une cinquantaine d'années : « Toutes les tentatives de mobilisation de l'étrier sont non seulement inutiles mais souvent dangereuses » [4].

La saga de la fenestration à travers l'histoire de Maurice Sourdille

L'étape suivante du traitement chirurgical de l'otospongiose fut d'établir une méthode pour permettre aux fluides de l'oreille interne de circuler à nouveau sous l'influence des stimuli sonores et dura de 1914 à 1952. Il s'agit de l'ère de la fenestration qui débuta aussi brutalement qu'elle se termina avec la réintroduction de la mobilisation stapédienne. Trois chirurgiens avant l'otologiste français Maurice Sourdille furent les précurseurs de cette technique :

-Robert Barany, otologiste à Vienne, fut le premier à mettre en évidence l'importance fondamentale des 2 fenêtres dans la physiologie de l'audition. Il proposa en 1910, chez un patient souffrant d'otospongiose, d'aborder le labyrinthe par voie transmastoiïdienne et de trépaner le canal semi-circulaire postérieur à la gouge. L'intervention procura une amélioration auditive notable mais éphémère puisque quelques jours après le geste chirurgical, le patient était redevenu sourd [10].

-L'anglais George John Jenkins présenta 2 cas en 1913 opérés par trépanation du canal semi-circulaire latéral et fermeture du labyrinthe par greffon cutané. Un patient fut légèrement amélioré de façon durable mais l'autre présenta une cophose en post-opératoire [11].

-En 1917 à Uppsala, en Suède, Gunnar Hölmgren poursuivit les travaux de Barany sur la trépanation du labyrinthe dans l'otospongiose en intervenant tantôt sur le canal semi-circulaire supérieur, tantôt sur le latéral. Il essaya diverses techniques de fermeture de l'orifice labyrinthique : greffon de graisse, greffon de peau, mucopérioste environnant. Dans les meilleurs cas, le gain auditif ne durait guère plus de 15 jours [12].

Maurice Sourdille fut un chirurgien Français, Nantais d'origine, qui s'orienta vers l'otologie au début du 20^{ème} siècle en devenant l'élève de Marcel Lermoyez, chef de service de l'hôpital

Saint-Antoine à Paris. C'est alors qu'il se passionna pour la chirurgie fonctionnelle de l'oreille ce qui l'amena à rencontrer Politzer lui-même en 1914 à Vienne. Après avoir soutenu en 1915 sa thèse qui portait sur la chirurgie conservatrice des otites chroniques [13], il servit comme chirurgien sur le front belge pour la durée de la guerre. Son maître alors, le professeur Lermoyez, fut celui qui décrivit en 1914 la forme classique de la maladie touchant plutôt les femmes jeunes présentant des antécédents familiaux de surdité, provoquant hypoacousie et acouphènes avec une évolution volontiers progressive marquée par des poussées lors du per et post-partum : l'otospongiose de Lermoyez [14]. Il revint à Nantes en 1921 où il fonda avec son frère une clinique dédiée à l'oto-ophtalmologie. Il partagea ainsi son temps entre son activité privée et l'hôpital public où il occupait le poste de Professeur de Clinique Chirurgicale et de Pathologie Externe.

C'est en 1922, au décours du 10^{ème} congrès international d'otologie qui se tenait à Paris, qu'il rencontra Hölmgren. Ce dernier avec l'aide de son assistant Carl-Olaf Nylén y présentait leur expérience de chirurgie de l'oreille en s'aidant de moyens optiques grossissants [12] [15]. Maurice Sourdille se rendit à Stockholm en 1924 pour en apprendre davantage. Hölmgren effectua devant lui et grâce à ses lunettes-loupes une trépanation du canal semi-circulaire externe sous anesthésie locale. Dès l'ouverture du canal latéral, l'opéré entendit ce qui fut une révélation pour Maurice Sourdille. De retour en France, il inventa son propre microscope opératoire (Fig. 2) et travailla pendant 5 années à la réalisation d'un lambeau constitué de peau du conduit osseux en continuité avec la membrane tympanique.

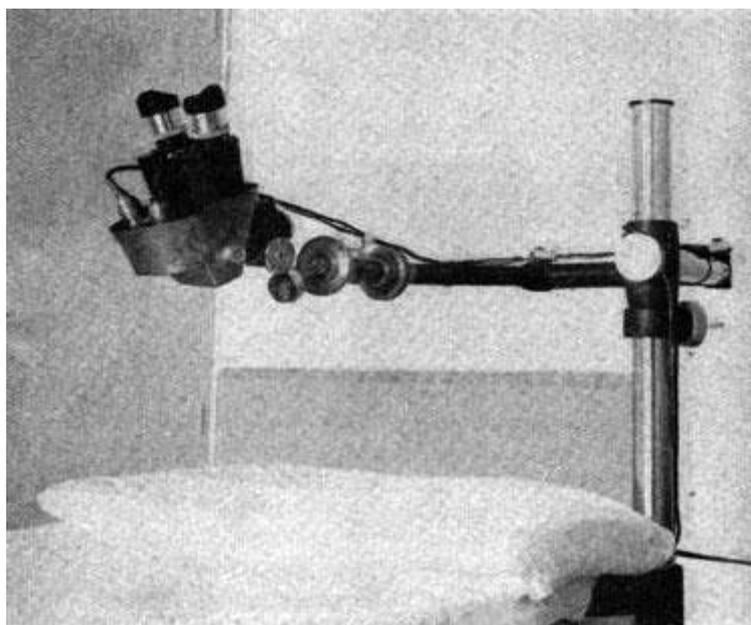


Fig. 2 : Loupe binoculaire de Maurice Sourdille (1935)

Pour prévenir le risque infectieux, il mit au point une intervention en 2 temps [16] :

-Le premier temps consistait à réaliser une cavité mastoïdienne tapissée par le lambeau cutané provenant du conduit auditif et totalement séparé de la caisse du tympan.

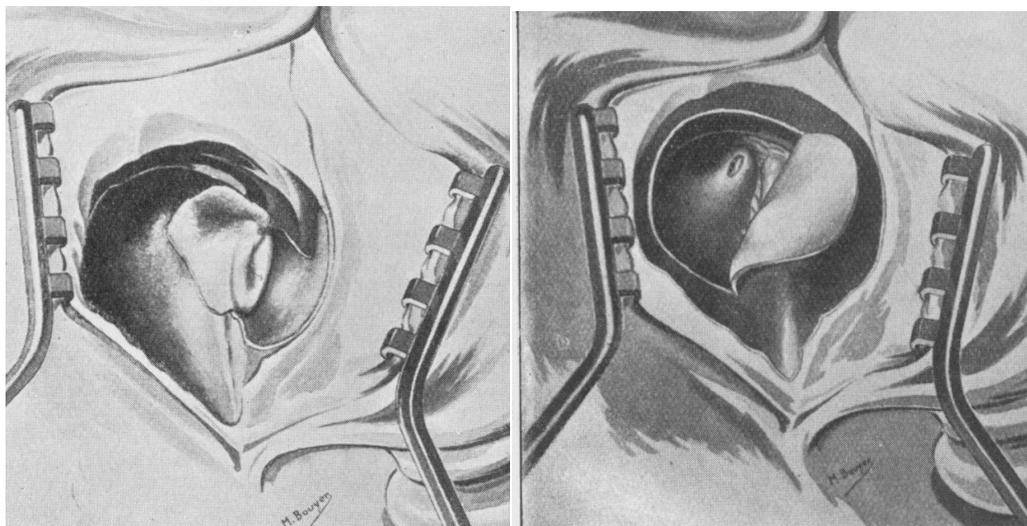


Fig. 3 : La tympano-labyrinthopexie selon Maurice Sourdille

Le premier temps (vignette de gauche) consiste en la création d'une cavité mastoïdienne tapissée par un lambeau cutané venant du conduit auditif externe

Le deuxième temps (vignette de droite) consiste en la trépanation du canal semi-circulaire externe recouverte par le lambeau cutané mastoïdien

-Le deuxième temps était marqué par le soulèvement du revêtement de la cavité mastoïdienne, l'ouverture du canal semi-circulaire externe et la couverture du labyrinthe par le revêtement cutané (Fig. 3).

Le principe essentiel que voulait mettre en application Maurice Sourdille était « l'extériorisation de l'ouverture du labyrinthe sous une couverture membraneuse épidermique mince mais durable dans le but de l'exposer directement à l'action des ondes sonores ». Fin décembre 1929, Maurice Sourdille rapportait devant la Société un cas de trépanation du canal semi-circulaire latéral en 2 temps mais son exposé fut accueilli avec scepticisme.

Il finit par mettre au point une technique en 2 ou 3 temps qu'il appela tympano-labyrinthopexie [17]. Pendant de nombreuses années, il mena un véritable combat à travers l'Europe pour la faire admettre (Londres en 1930, Madrid en 1932, Bordeaux et Bruxelles en 1934). En 1935, il fut chargé par la Société Française d'ORL de réaliser un rapport sur le traitement chirurgical de l'otospongiose [18]. Au dire de Maurice Sourdille : « L'accueil fut glacial. [...]

Je n'exagère pas en disant qu'une telle accumulation de minutieux détails de technique tympano-labyrinthique, assortis de considérations générales diverses et suivis des observations synoptiques de 109 opérés [...] produisit un certain effet de stupeur sur une assistance pourtant prévenue. L'opinion générale demeurait réservée mais je ne me tins pas cependant pour battu ».

L'étape suivante fut le voyage en Amérique où Maurice Sourdille présenta le 6 octobre 1937 devant l'Académie de New-York et son président de la section otologie, Edmund Fowler, son *Étude des mécanismes physiologiques du retour et de la conservation de l'audition dans la chirurgie de l'otospongiose* [19]. Le mot « fenestration » fut employé pour la première fois et Sourdille prolongea son voyage à Boston, Chicago et Montréal cherchant à convaincre. L'accueil new-yorkais particulièrement chaleureux contrasta avec celui de Paris deux ans auparavant mais il allait lui réserver des surprises : « Au Champagne d'honneur qui suivit, je rencontrais le Docteur Julius Lempert, ayant mon rapport de 1935 en main et qui, fort intéressé, désirait des explications complémentaires ». Par la suite, Lempert développa grâce à l'avènement des antibiotiques sulfamidés une technique en 1 temps plus séduisante sans pour autant augmenter le risque de méningite [20]. Rapidement il oublia de citer le père de l'opération et sut s'attirer une énorme patientèle. À partir de 1940, il publia des séries de plus de 120 cas de trépanation du canal semi-circulaire externe en 1 temps [21]. Dès lors, ironie du sort, l'*opération de Lempert* allait se faire connaître sous le nom de *fenestration*. George Shambaugh et Howard Payne House furent 2 élèves de Lempert qui participèrent à la diffusion de cette technique en Amérique et devinrent des otologistes de renommée mondiale.

Maurice Sourdille quant à lui revint en Europe où la guerre ne tarda pas à retentir sérieusement sur le recrutement nantais. Il devint finalement Professeur de la chaire d'ORL de Strasbourg en 1946 et organisa l'année suivante une confrontation entre la méthode chirurgicale française et américaine avec des démonstrations réalisées par Shambaugh, Lempert ayant décliné l'invitation, qui avait à son actif plus de 1600 interventions en 1 temps (Fig. 4).

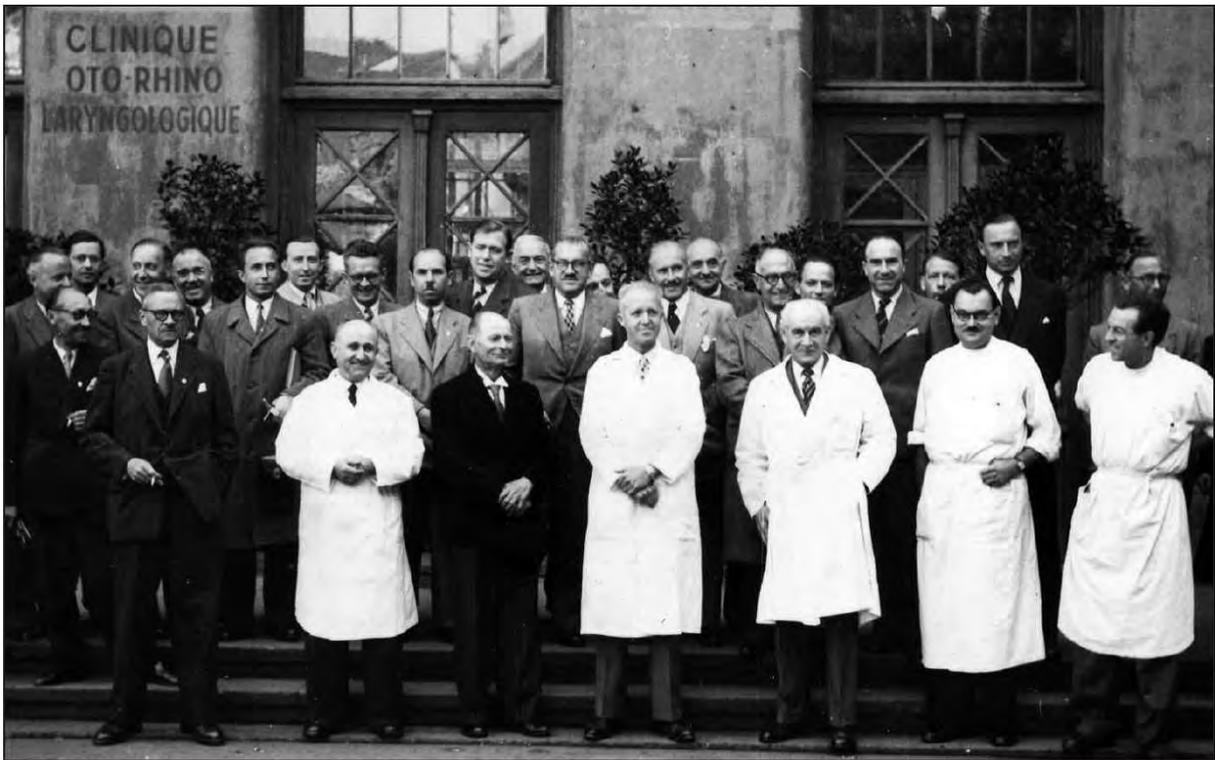


Fig. 4 : Réunion de Strasbourg avec G.Shambaugh et les principaux otologistes européens. On reconnaît, en blouses blanches, de gauche à droite : M. Sourdille et G. Shambaugh.

Cette saga de la fenestration dans laquelle Maurice Sourdille avait joué un rôle majeur n'allait pas tarder à se terminer brutalement avec la redécouverte de la chirurgie de l'étrier en 1952. La fenestration fut cataloguée dans la chirurgie du passé, entraînant avec elle les otologistes qui ne s'étaient pas convertis à la chirurgie de l'étrier.

Aucune des innovations apportées par Maurice Sourdille ne garda le nom proposé par son inventeur : la plastique interne devint le lambeau tympano-méatal, la tympano-labyrinthopexie se propagea sous le nom de fenestration, et même la loupe binoculaire se dénomme maintenant microscope opératoire [22, 23]. Pourtant, c'est bien à Maurice Sourdille que l'on doit le lambeau tympano-méatal, la tympanotomie, la chirurgie reconstructrice de l'otite chronique, l'utilisation en pratique courante du microscope opératoire qui restent encore aujourd'hui des acquis fondamentaux de la chirurgie otologique. Le chemin qu'il emprunta pour faire entendre les patients souffrant d'otospongiose entre 1924 et 1947 fut difficile et jalonné de doutes qu'il a remarquablement exprimés dans son livre *Tendances évolutives de la fenestration* [16].

Maurice Sourdille, ou « L'homme qui le premier a fait entendre les sourds » pour André Moulonguet lors de son hommage posthume en 1961, a donc joué un rôle clé dans cette saga de la fenestration mais il ne faut pas pour autant oublier ses nombreuses innovations en otologie, devenues d'une grande banalité et ayant perdu leur origine aux yeux de beaucoup.

De la (re)découverte de la chirurgie de l'étrier vers la chirurgie moderne de l'otospongiose

Samuel Rosen, un élève de Lempert, fit accidentellement tomber un instrument microchirurgical en 1952 dans l'oreille d'un patient de son maître au cours d'une fenestration. L'instrument heurta l'étrier et il fut décidé par précaution de suspendre l'intervention chirurgicale. Dès le réveil, le malade nota une nette amélioration de son audition de telle manière qu'il ne fut pas nécessaire de l'opérer au final. Suite à cet évènement, Rosen se mit à examiner de manière systématique les platines des patients sourds préalablement à la réalisation de fenestrations. Il se rendit compte que les résultats audiométriques étaient meilleurs en cas de platine fermement fixée. Il se mit donc à rechercher la fixation de la platine sous anesthésie locale et se rendit compte que la mobilisation de cette dernière et de l'étrier suffisait à rendre l'audition aux patients dans de nombreux cas [24]. Suite à cette découverte, Rosen parcourut le monde jusqu'en 1957 avec une énorme maquette d'étrier et forma des chirurgiens de nombreux centres de référence. Malheureusement les résultats à long terme furent décevants avec une refixation platinaires survenant généralement au bout de quelques mois [25].

En 1956 à New-York, Edmund Prince Fowler et Milos Basek réalisèrent une étude des facteurs anatomiques de la mobilisation stapédienne [26] et proposèrent une intervention chirurgicale où étaient retirées la branche antérieure et la platine antérieure fixées. Les résultats furent la plupart du temps meilleurs qu'une simple mobilisation [27]. Finalement, c'est John Shea en 1958, un jeune chirurgien de Memphis, qui décrivit le premier la stapéctomie [28]. Shea proposait l'ablation de la totalité de l'étrier et de la platine, une interposition veineuse sur la fenêtre ovale et le rétablissement de l'effet columellaire par une prothèse en polyéthylène se positionnant entre la longue apophyse de l'enclume et l'interposition veineuse. Cette technique chirurgicale constitue encore la base de la chirurgie de l'otospongiose pratiquée de nos jours [29].

Évolution de la stapéctomie

Le principe général de la chirurgie moderne de l'otospongiose venait donc d'être posé par Shea et consistait en l'exérèse de l'étrier en partie ou en totalité d'une part, et à la restauration de l'effet columellaire par l'intermédiaire de tissus autologues et/ou d'une prothèse. À Bordeaux, Michel Portmann décrivit dans les années 1960 une technique permettant de s'affranchir de matériaux étrangers. L'opération peut être décrite comme une platinectomie avec interposition veineuse et transposition de la branche postérieure de l'étrier. Cette

méthode a l'avantage de ne pas nécessiter de corps étranger mais peut se révéler technique et opérateur dépendant [30, 31].

Jean Causse fut un autre otologiste français qui participa grandement à la diffusion de la technique chirurgicale en France. Causse lui-même déclara lors d'une communication orale en 1978 plus de 25000 stapédectomies à son actif.

Les complications des premières interventions chirurgicales ne se firent pas attendre : prothèse luxée dans le vestibule ou encore fistule péri-lymphatique avec le risque tant redouté par tous les otologistes de « dead ear » à distance. Harold Frederick Schuknecht proposa à Détroit, en 1964, une prothèse avec anneau en métal dont le but était de se fixer fermement à la longue apophyse de l'enclume [32]. Mais c'est à David Myers en 1970, à Philadelphie, que l'on doit réellement la stapédectomie que l'on connaît aujourd'hui. Myers eut l'idée de réaliser une platinotomie calibrée à 0.2mm pour y insérer le piston [1]. Gordon Dill Long Smyth et Thomas Hassard publièrent en 1978 un article montrant l'intérêt de la platinotomie calibrée à 0.4mm par rapport à la platinectomie. Après analyse de 800 stapédectomies diverses, ils conclurent que les gains étaient identiques et les risques de fistule ou de surdité neurosensorielle moindres avec la technique de Myers [33, 34].

Améliorations techniques : la stapédotomie d'aujourd'hui et de demain

Bien que le principe de la chirurgie de l'otospongiose soit resté le même depuis 1970, les 40 dernières années ont été le témoin de multiples améliorations techniques. La platinotomie mécanique fut développée grâce à des microfraises coupantes puis diamantées (skeeter Oto-Tool^o) de plus en plus performantes, miniatures et atraumatiques. À partir de 1979, le Laser fit son apparition avec les travaux de Rodney Perkins et T. Manford McGee [35]. Les lasers dits « thermiques » (CO₂, Argon et KTP (Potassium Titanyl Phosphate)) furent les premiers à être développés. L'intérêt des lasers pulsés (YAG, Erbium) reste encore douteux et est en cours d'évaluation. Enfin, le développement très récent de la robotique dans la chirurgie otologique (Micromanipulator system MMS 2.0 de Strauss ou encore RobOtol de Sterkers et Nguyen) nous permet de penser qu'elle aura une place dans la chirurgie stapédienne de demain (Fig. 5) [36, 37].

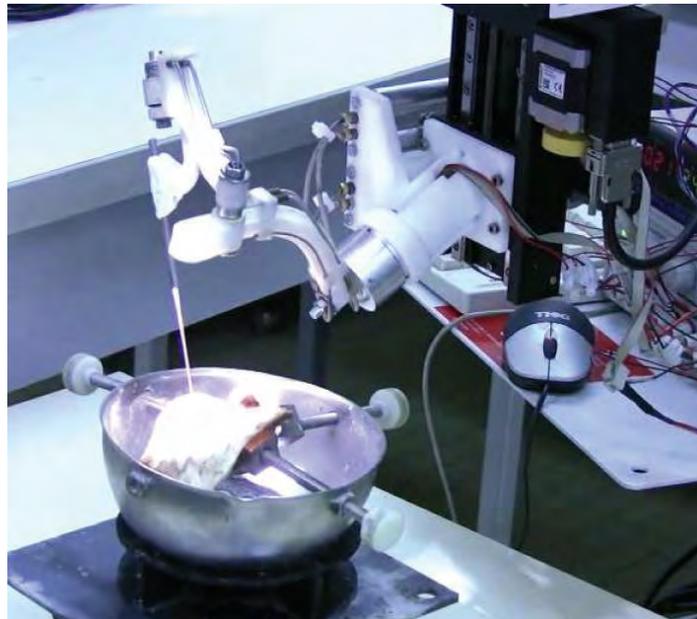


Fig. 5 : Évaluation du Robotol° sur os temporal [37]

Bases anatomiques

La fenêtre vestibulaire (ou fenêtre ovale) appartient à la paroi médiale de la caisse du tympan, appelée paroi labyrinthique (Fig. 6 et 7). Cette paroi, appartenant exclusivement au rocher contrairement aux autres parois de l'oreille moyenne, est divisée en 2 étages par une saillie horizontale constituant un véritable linteau neuro-musculaire [38]. Ce dernier est constitué d'avant en arrière :

- Du canal du muscle tenseur du tympan, saillie tubulaire dont l'extrémité postérieure est située juste en dessous de l'émergence de la deuxième portion du nerf facial. Elle se recourbe en dehors pour former le processus cochléariforme qui donne passage au tendon du muscle tenseur du tympan qui est perpendiculaire au canal du muscle.

- De la proéminence du canal facial au niveau de sa deuxième portion. Sa longueur est de 11mm et elle se dirige en arrière, en dehors et en bas avec un angle de 37° par rapport aux plans sagittal et horizontal [39]. À son origine, sous le processus cochléariforme, son relief est peu marqué mais il devient de plus en plus saillant avant d'aller se fondre dans le massif du facial de Gellé au-dessous de l'aditus ad antrum. Il est à noter que la paroi du canal facial peut être mince voire déhiscente au niveau de sa portion inférieure mettant ainsi à nu le nerf facial dans la caisse du tympan.

Le linteau neuromusculaire divise la paroi labyrinthique en 2 parties :

- La partie supérieure est située dans le récessus épitympanique dont elle constitue la paroi médiale. À sa partie postérieure, se poursuivant par la paroi médiale de l'aditus ad antrum,

se situe la saillie du canal semi-circulaire latéral de couleur blanche, lisse et arrondie qui constitue un excellent repère chirurgical. Au-dessus de cette éminence on peut trouver les cellules tympaniques mastoïdiennes du groupe labyrinthique supérieur. Vers l'avant, cette paroi est plus ou moins développée selon la pneumatisation du rocher et rentre dans la constitution du récessus épitympanique antérieur [40].

-La partie inférieure de la paroi labyrinthique [41] est occupée centralement par le promontoire correspondant en dedans avec le premier tour de spire de la cochlée. Au-dessous du promontoire se trouve l'orifice du canal tympanique de Jacobson qui livre passage au nerf tympanique du même nom. Celui-ci se dirige vers le haut en formant le sillon du promontoire et passe en avant de la fenêtre cochléaire. La fenêtre cochléaire (ou ronde) regarde en bas, en arrière et un peu en dehors ; elle est en grande partie dissimulée par le promontoire par une saillie appelée crête de la fenêtre cochléaire (crista fenestrae cochleae). La fenêtre ronde mesure de 2 à 3mm de diamètre et fait communiquer la caisse du tympan en dehors avec le conduit cochléaire en dedans au travers d'une mince membrane : la membrane secondaire du tympan.

Au-dessus et en arrière du promontoire, se trouve enfin la fossette de la fenêtre vestibulaire dont la profondeur est variable. Elle est limitée :

-En haut par la proéminence du canal facial qui contient la deuxième portion du nerf facial et forme une arche au-dessus de la fenêtre du vestibule.

-En avant et en bas par le promontoire.

-En arrière par la paroi postérieure de la cavité tympanique comportant l'éminence pyramidale.

-En dedans par la rampe vestibulaire de l'organe spiral.

Au fond de cette dépression se situe la fenêtre vestibulaire (ou ovale) qui est obstruée par la platine de l'étrier. Sa forme est elliptique ou réniforme et elle mesure 3mm de long sur 1.5mm de hauteur. Elle regarde en dehors, en bas et en avant et est bordée à la partie antérieure par la fissula ante fenestram.

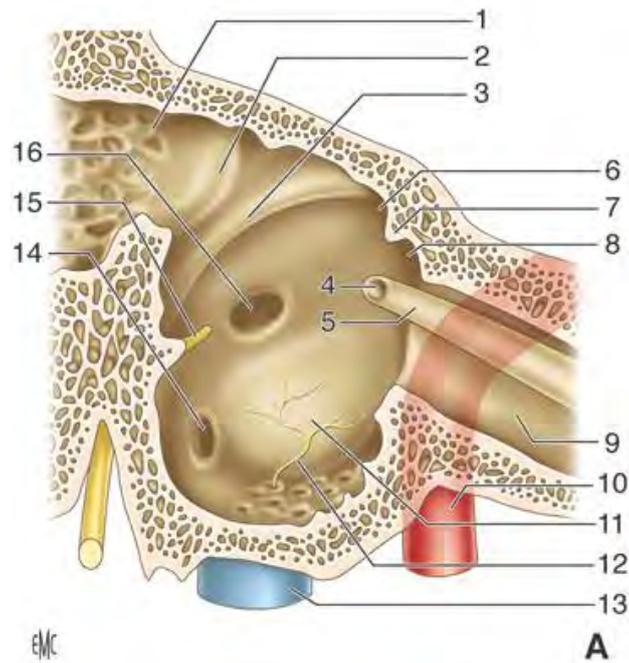


Fig. 6 : Paroi médiale (=labyrinthique) de la caisse du tympan [EMC]

1 : Aditus ad antrum ; 2 : Saillie du CSC latéral ; 3 : Canal facial ; 4 : Processus cochléariforme ; 5 : Canal du muscle tenseur du tympan ; 6 : Recessus épitympanique ; 7 : Crête osseuse ; 8 : Recessus épitympanique antérieur (fossette sus-tubaire) ; 9 : Portion osseuse du tube auditif ; 10 : Canal carotidien ; 11 : Promontoire ; 12 : Nerf tympanique (de Jacobson) ; 13 : Golfe jugulaire ; 14 : Fenêtre cochléaire ; 15 : Éminence cordale ; 16 : Fenêtre vestibulaire

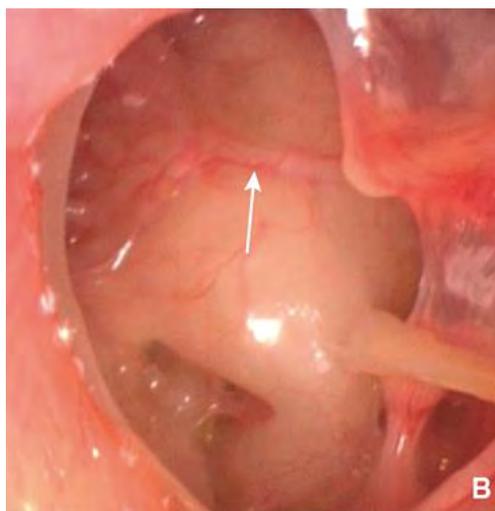


Fig. 7 : Vue endoscopique de la paroi labyrinthique [EMC]

Flèche : Nerf tympanique de Jacobson

Les rapports latéraux de la fenêtre vestibulaire sont les osselets situés au sein de la cavité du tympan.

Le malleus (ou marteau) est l'osselet le plus antérieur et latéral. Il s'articule avec l'uncus.

L'uncus (ou enclume) est composé d'un corps dont la face antérieure articulaire répond au malleus. La courte apophyse de l'uncus prolonge le corps vers l'arrière et vient se loger dans la fosse de l'enclume. La longue apophyse suit une direction similaire à celle du manche du marteau en faisant un angle de 100° avec la courte apophyse. Elle se termine par un coude en angle droit et un renflement arrondi articulaire appelé processus lenticulaire qui répond au stapes [42].

Le stapes (ou étrier) est l'osselet le plus petit et le plus léger (2mg) du corps humain (Fig 8 et 9) [43]. Il est situé dans la fossette vestibulaire entre la longue apophyse de l'enclume et la fenêtre vestibulaire. La tête est creusée d'une cavité glénoïde sur sa face latérale qui s'articule avec le processus lenticulaire de l'uncus. Les branches antérieures et postérieures forment l'arc stapédien réunissant la tête et la base de l'étrier. La branche postérieure est plus longue et plus épaisse tandis que la branche antérieure moins incurvée et parfois rectiligne. La base (platine) est une mince lame osseuse qui épouse parfaitement la fenêtre vestibulaire. Sa surface n'est pas plane mais peut être comparée à une hélice à deux pales. Sur la face tympanique de la platine court parfois dans sa grande longueur une crête osseuse plus ou moins prononcée. La platine de l'étrier est séparée de des berges de la fenêtre du vestibule par le ligament annulaire dont la souplesse permet les mouvements de piston de l'étrier.

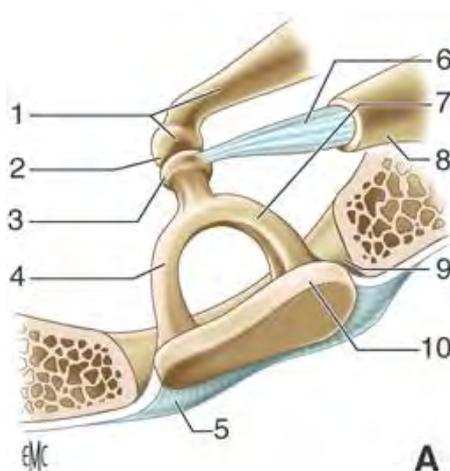


Fig. 8 : Étrier dans la fossette vestibulaire [EMC]

- 1 : Longue apophyse de l'enclume et processus lenticulaire ; 2 : Articulation incudo-stapédienne ; 3 : Tête ou Bouton ; 4 : Branche antérieure ; 5 : Ligament annulaire ; 6 : Tendon du muscle stapédien ; 7 : Branche postérieure ; 8 : Éminence pyramidale ; 9 : Fossette vestibulaire ; 10 : Platine*



Fig. 9 : Vue endoscopique de l'étrier (optique 0° ; oreille gauche) [EMC]

Le muscle stapédien, innervé par une branche de la troisième portion du nerf facial intrapétreux, prend naissance dans l'éminence pyramidale et se termine par un tendon sur la tête du stapes. La vascularisation de cet osselet se fait par une branche de l'artère stylo-mastoïdienne qui accompagne le tendon du muscle stapédien. Il faut noter la précarité de la vascularisation de l'apophyse lenticulaire de l'uncus qui dépend à la fois de cette vascularisation stapédienne et du réseau superficiel sous muqueux de la caisse. Le nerf corde du tympan est une branche issue de la troisième portion du nerf facial qui constitue un réseau anastomotique avec le nerf lingual qu'il rejoint dans l'espace interptérygoïdien pour assurer la sensorialité gustative des 2/3 antérieurs de la langue. Il passe dans le canal postérieur de la corde du tympan, creusé dans la paroi postérieure de la caisse et dont il sort au niveau de l'ostium introïtus situé près du sillon tympanique dans lequel s'insère l'anulus. Il se dirige alors en avant et en haut pour passer en dehors de la longue apophyse de l'uncus et en dedans du manche du marteau.

Bases physiologiques

L'oreille moyenne possède 2 grandes fonctions physiologiques :

- Assurer la transmission de l'information sonore et son passage d'un milieu aérique (oreille externe) à un milieu liquidien (oreille interne)
- Protéger physiquement l'oreille interne des traumatismes, notamment sonores.

La première fonction physiologique est la fonction de transfert et d'adaptation d'impédance de l'oreille moyenne.

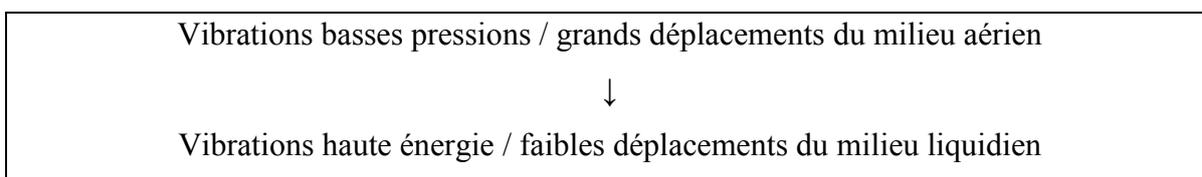
Rôle du tympan :

Les déplacements de la membrane tympanique ont été mesurés de diverses façons (pression acoustique au sein de l'oreille moyenne en présence d'une stimulation acoustique, interférométrie laser ou holographique) et ont permis de déterminer ses caractéristiques et sa fonction dans la physiologie de l'oreille moyenne. Des études menées sur des chats qu'il existe 2 régions tympaniques d'amplitude maximale de part et d'autre du manubrium répondant à des fréquences inférieures à 6kHz. Au-delà de cette fréquence, les zones de vibration sont multiples et mal systématisées [44]. Le déplacement moyen par unité de pression varie de 1.2 à 10×10^{-8} m [45].

Rôle de la chaîne ossiculaire :

Le couplage mécanique entre la membrane tympanique et le marteau permet une transmission mécanique au reste de la chaîne ossiculaire. Il existe un axe de rotation des osselets qui s'apparente à un phénomène de levier. Plus les mouvements de la membrane tympanique sont importants, plus on s'éloigne de l'axe d'équilibre de la chaîne ossiculaire. Le rapport de levier peut être décrit comme le rapport de la distance umbo-axe de rotation et axe de rotation-articulation incudo-stapédienne. Pour les basses fréquences, la chaîne ossiculaire aura tendance à effectuer majoritairement une rotation alors que ce sera une translation pour les hautes fréquences. L'étrier agit en conditions physiologiques par un mouvement de piston perpendiculaire à la platine de la fenêtre ovale.

L'adaptation d'impédance peut être schématisée ainsi :



Elle repose sur 3 facteurs [46] :

- Le rapport de taille Tympan/Platine qui est estimé entre 20 et 30. En réalité, compte tenu de l'effet de l'anulus, il serait plus proche de 14.
- L'effet de bras de levier entre le marteau qui est plus long que l'enclume d'un facteur 1.15 à 2.5.
- Les caractéristiques vibratoires intrinsèques du tympan.

A total, il existe un gain d'énergie de facteur 180. S'il n'existait pas, cela correspondrait à une perte de 99% de l'énergie acoustique et par là même une perte de 30dB. Grâce à l'oreille moyenne, 2/3 de l'énergie sonore est transmise à la cochlée. Il faut noter que cette fonction de transfert n'est pas homogène sur toutes les fréquences avec un pic à 1kHz et des performances moindres pour les fréquences basses et hautes [47].

La seconde fonction physiologique est la protection de l'oreille interne.

Elle est assurée par le muscle du marteau (ou tenseur du tympan dans la NA) et par le muscle stapédien en grande partie. La contraction de ces muscles entraîne une augmentation de la rigidité tympano-ossiculaire.

Le réflexe acoustique concernant le muscle stapédien est schématisé en Figure 10.

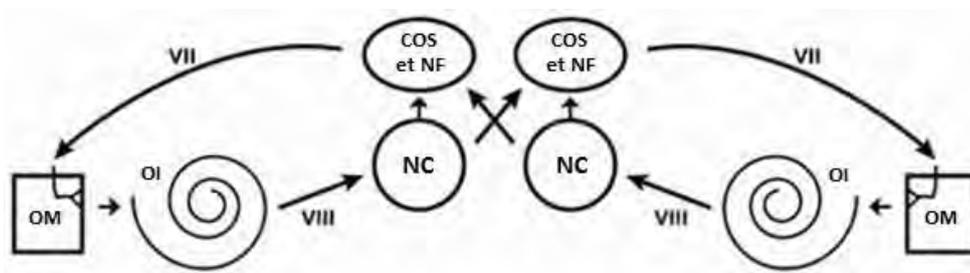


Fig. 10 : Représentation schématique du réflexe acoustique

OM : Oreille moyenne ; OI : Oreille interne ; VIII : Nerf cochléaire ;

NC : Noyau cochléaire ; COS : Complexe Olivaire Supérieur ; NF : Noyau Facial ;

VII : Nerf Facial

L'oreille moyenne permet ainsi une réduction de 15dB sur les basses fréquences et 2dB sur les hautes fréquences (étude expérimentale chez le rat) pour des sons supérieurs à 80dB [48]. Les limites de cette protection sont le délai d'action de 7 à 10ms qui dépend de l'intensité du son et de l'individu et de la fatigabilité de ces réflexes. Ces muscles auraient également un intérêt dans la sélectivité fréquentielle qui jouerait un rôle dans l'intelligibilité dans le bruit.

Il est à noter que la conformation même de la chaîne ossiculaire apporte un effet protecteur puisqu'au-delà de 120dB, les mouvements de l'étrier changent d'axe pour devenir parallèles à la platine (Fig. 11).

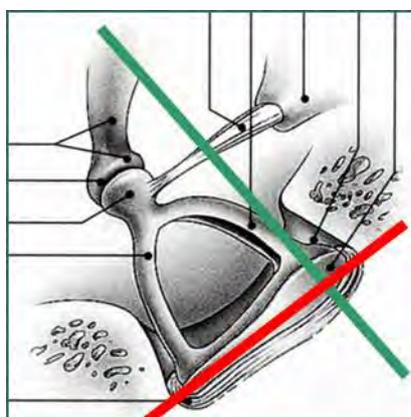


Fig. 11 : Représentation des axes de mouvement de l'étrier en conditions physiologiques

(vert) et en cas de sons ≥ 120 dB (rouge)

Histologie

Embryologie et Histologie normales de l'os temporal

La placode otique ectodermique apparaît au cours de la 4^{ème} semaine de l'embryogénèse. La croissance céphalique va entraîner cette placode otique en direction caudale jusqu'au second arc pharyngien. Puis elle va s'invaginer et ainsi former la capsule otique puis la vésicule otique qui est une cavité creuse et fermée reliée à la surface par un pédicule ectodermique qui disparaîtra ultérieurement (Fig. 12) [49].

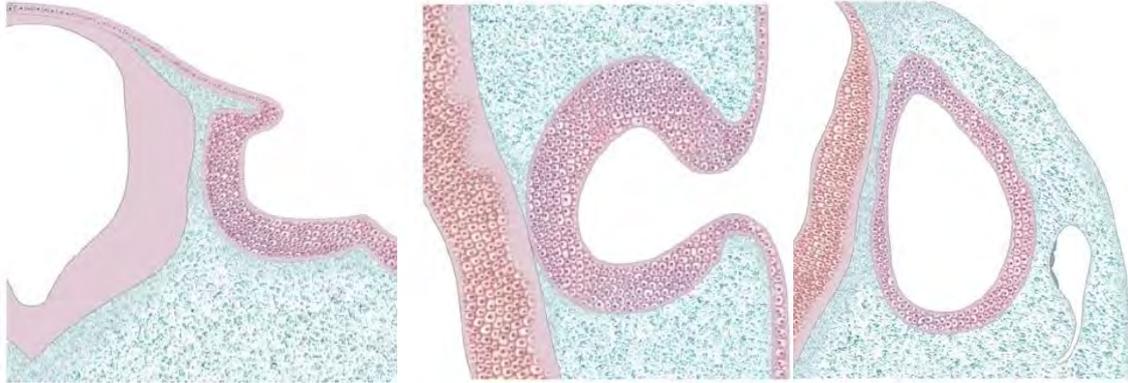


Fig. 12 : Coupes histologiques de la placode (gauche) la capsule (centre) et la vésicule otiques (droite) [EMC]

La vésicule otique va donner dans un premier temps le labyrinthe postérieur (utricule, saccule, canaux semi-circulaires, sac endolymphatique) puis le conduit cochléaire qui va s'enrouler sur lui-même pour former la cochlée [50]. Le mésenchyme qui entoure la vésicule otique va se chondrifier durant la 9^{ème} semaine de l'embryogénèse et produit ainsi la capsule otique, cartilagineuse. La capsule otique grandit dans un premier temps puis s'ossifie entre les semaines 16 à 23 pour constituer la partie pétreuse de l'os temporal contenant le labyrinthe osseux [49]. A la naissance, la capsule otique a déjà atteint sa taille adulte et se compose de 3 couches osseuses :

-La couche endostale (interne) très fine qui reste stable au cours de la vie
-La couche périostale (externe) qui est composée d'os membranaire
-La couche enchondrale (moyenne) qui renferme des foyers cartilagineux qui persistent à la vie adulte à différents niveaux [51] :

- Fissula ante fenestram
- Fissula post fenestram
- Couche enchondrale de la capsule otique
- Fenêtre ronde
- Canaux semi-circulaires
- Suture pétrosquameuse
- Base de l'apophyse styloïde

Histologie pathologique de l'otospongiose

L'otospongiose est classiquement décrite comme une dysplasie osseuse primitive limitée à l'os temporal et atteignant la capsule otique.

Fred Linthicum a publié en 1993 une excellente revue concernant l'histopathologie de l'otospongiose [52].

Aspect macroscopique :

En se basant sur les travaux de Linthicum, Bernard Fraysse et Alain Uziel indiquent dans leur rapport de la Société Française d'ORL de 1994 sur l'otospongiose qu'il existe 2 stades macroscopiques individualisables :

-Les foyers dits jeunes ou « *actifs* » : ils prennent un aspect spongieux, gris-blanchâtre, crayeux, de consistance friable aux micro-instruments, hétérogène, recouvert d'un mucopérioste épais et vascularisé.

- Les foyers dits évolués ou « *inactifs* » : ils prennent un aspect scléreux, blanc ivoire, dur au toucher, homogène et peu hémorragique.

À noter qu'il est possible de trouver des foyers otospongieux mixtes.

Aspect microscopique :

Les lésions se caractérisent par une désorganisation de la structure de l'os enchondral qui est physiologiquement paucicellulaire et faiblement vascularisé. Pour Schuknecht, le développement de l'otospongiose s'effectue en 4 étapes [53] :

-Phase de résorption : Destruction de l'os enchondral laissant la place à des espaces fibreux très vascularisés et riches en cellules.

-Phase de néoformation osseuse : Formation de muco-polysaccharides et d'un os ostéoïde basophile immature au sein du collagène fibroblastique des espaces de résorption.

-Alternance des phases de résorption et de néoformation ayant pour effet la constitution d'un os acidophile

-Formation finale d'un os hautement minéralisé, pauvre en cellule, avec un aspect en mosaïque.

Ainsi, les foyers « actifs » sont-ils le siège d'une ostéolyse intense. Les ostéoclastes et ostéocytes ostéolytiques se retrouvent en quantité au sein d'espaces médullaires hypervascularisés et étroits.

Les foyers « inactifs » quant à eux sont le siège de larges espaces médullaires peu vascularisés et paucicellulaires où les ostéoblastes sont responsables de la formation d'un os lamellaire très minéralisé, d'aspect sclérotique (Fig. 13).

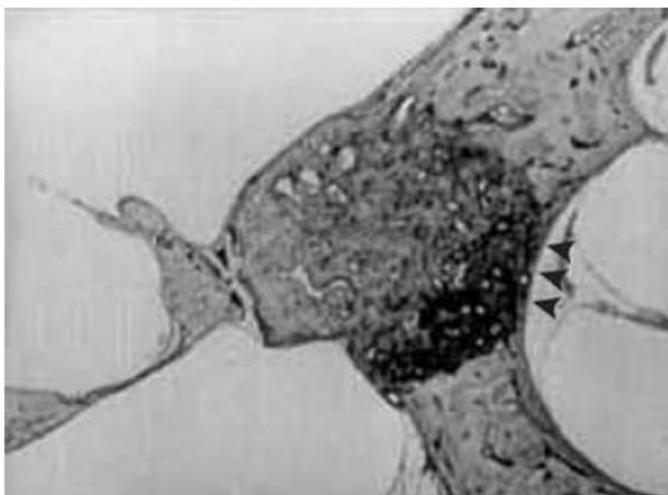


Fig. 13 : Foyer otospongieux mixte : la zone active est indiquée par les flèches [EMC]

Localisation des foyers otospongieux :

Les foyers otospongieux sont développés aux dépens des sept résidus cartilagineux de la capsule otique précédemment cités. La localisation la plus fréquente reste cependant la partie antérieure de la fenêtre ovale, dont l'incidence varie entre 80 et 95% selon les auteurs. On retrouve ensuite la localisation au niveau de la fenêtre ronde, suivie par les autres localisations dont la fréquence est plus rare.

Évolution des lésions :

D'après Linthicum, le foyer otospongieux naît souvent de la région de la fissula ante fenestram [52]. Ce foyer antérieur s'étend vers le pôle antérieur de la fenêtre ovale de manière à provoquer une calcification du ligament annulaire établissant ainsi un pont entre la platine et le foyer otospongieux. Plus rarement, l'atteinte peut être postérieure, bipolaire ou platinaire pure sans fixation associée de l'étrier.

La lésion va avoir tendance à se répandre et fixer tout le ligament annulaire (platine pavée), voire s'étendre au centre de la platine (platine solide). Lippy caractérise ainsi les aspects macroscopiques de la platine pathologique : bleue, mixte puis blanche [54]. Dans les formes oblitérantes, le bloc otospongieux peut même aller jusqu'à faire disparaître complètement les limites de la fenêtre ovale. L'otospongiose de la fenêtre ronde peut revêtir 2 aspects. Elle peut être soit partielle à partir des bords de la fenêtre soit complète à partir d'un foyer cochléaire. L'atteinte péricochléaire peut enfin être associée à l'atteinte des fenêtres mais

aussi rester isolée. La destruction de l'endoste peut engendrer une ostéoformation dans le tour basal de la cochlée ou atteindre le ligament spiral qui subit alors une perte cellulaire par atrophie puis hyalinisation comme l'ont démontré Schuknecht, Linthicum et Parahy [55, 56]. Dans ces cas, la labyrinthisation est le plus souvent objectivée sur l'audiogramme par une surdité mixte.

Au final, le polymorphisme des lésions histologiques rencontrées dans l'otospongiose, tant en taille qu'en localisation ou en type, coïncide bien avec la variabilité de la surdité qui peut être transmissionnelle, perceptive ou mixte et aller de la surdité légère à la cophose.

Epidemiologie

L'otospongiose, est une affection répandue dans le monde avec une fréquence variable selon les pays et les études.

La prévalence présumée de l'otospongiose dans une population donnée, d'après une revue de la littérature publiée en 2009 par Uppal [57], est de l'ordre de 2,1%, et dans une population caucasienne, la prévalence de l'otospongiose clinique varie de 0,04% à 1% [58].

Un facteur ethnique a été noté depuis longtemps et cette pathologie affecte avec une plus grande fréquence les populations caucasiennes, est rare dans les populations noires, exceptionnelle chez les asiatiques et absente chez les Indiens d'Amérique. Il semblerait que chez les asiatiques, la prévalence histologique soit la même que chez les caucasiens et que seule l'expression clinique change [59]. Le caractère familial de la maladie, également connu depuis longtemps, est incontestable puisque plus d'un cas sur deux survient au sein d'une famille déjà touchée [60, 61]

La prépondérance féminine de la maladie ne s'applique qu'à l'otospongiose clinique, ainsi cette affection est deux fois plus fréquente chez la femme que chez l'homme selon certains auteurs [62]. En revanche, si l'on considère l'otospongiose histologique, on ne retrouve pas de différence significative entre les deux sexes.

L'âge de début de l'affection est difficile à préciser. Selon les auteurs, on retrouve une majorité d'atteinte entre 15 et 45 ans [63].

Etiopathogénie

La ou les causes exactes de l'otospongiose restent encore mystérieuses de nos jours malgré les nombreuses hypothèses formulées. Aujourd'hui il est communément admis que l'otospongiose est une pathologie multifactorielle survenant sur un terrain génétique propice. Les caractères épidémiologiques comme la prépondérance féminine, les atteintes familiales ou encore la disparité ethnique sont autant d'arguments en faveur d'une cause génétique ou

hormonale. Cependant, étant donnée l'importante diversité épidémiologique de l'otospongiose, d'autres facteurs environnementaux ou pro-inflammatoires semblent importants à prendre en compte.

- Facteurs génétiques

La prévalence accrue de l'otospongiose dans la population caucasienne ainsi que la notion d'atteinte familiale sous-tendent une forte implication génétique (Fig 14). Toynee fut le premier en 1841 à évoquer le caractère héréditaire de l'otospongiose [64]. Les premières preuves supportant la théorie génétique furent apportées par Fowler en 1966 [65] puis par Wayoff en 1979 [66] qui mirent en évidence des signes d'otospongiose de façon systématique chez de nombreuses paires de jumeaux homozygotes atteints. Cause père et fils, en analysant les données issues de l'étude de 1465 membres de 614 familles, supportèrent le mode de transmission autosomique dominant avec une pénétrance variable d'environ 40% [67].

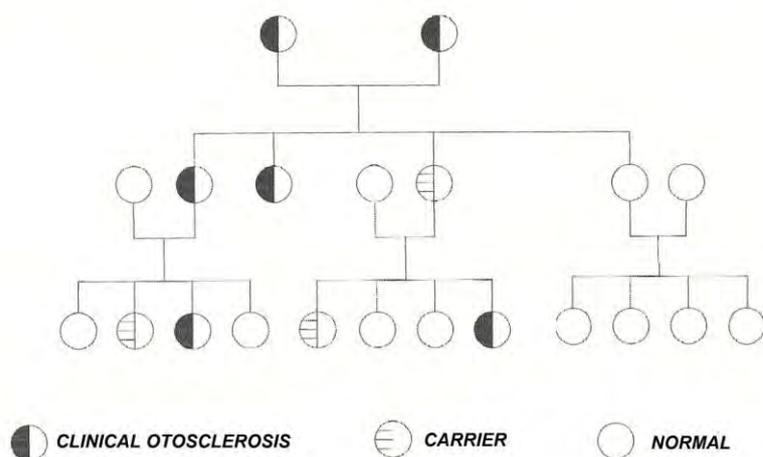


Fig. 14 : Exemple de répartition généalogique des cas d'otospongiose au sein d'une famille [Filipo R. 1990]

On retrouve une association statistique de la prévalence de l'otospongiose avec certains groupes HLA (Human Leucocyte Antigens) : A3, A9, A11, B13. Une intrication familiale semble particulièrement associée aux groupes A9 et A11. Six loci impliqués dans l'otospongiose ont également pu être mis en évidence : OTSC1 sur le chromosome 15q, OTSC2 sur 7q, OTSC3 sur 6p, OTSC4 sur 16q, OTSC 5 sur 3q, OTSC 7 sur 6q, OTSC 8 qui est péricentrométrique sur le chromosome 9 et OTSC 10 sur 1q [68]. OTSC 6 et 9 ont été réservés sur la nomenclature du génome humain mais n'ont jamais fait l'objet d'études publiées. A noter que le locus OTSC 3 couvre la région des gènes HLA et OTSC 2 est plus fréquent dans les populations européennes occidentales [69]. Aucun gène spécifique n'a pu

être identifié sur ces différents loci ce qui concorde avec la grande hétérogénéité génétique de la maladie et ses différentes formes cliniques.

D'autres théories mettent en cause le gène COL1A1 codant pour le collagène de type 1. Thalmann en 1987 a ainsi rapproché certaines formes d'otospongiose de la maladie de Lobstein ou ostéogénèse imparfaite [70]. Cependant les zones impliquées se résumeraient aux zones régulatrices du gène ce qui expliquerait les conséquences cliniques moins lourdes. Enfin, le problème des cas sporadiques a été soulevé par Mazzoli, Rosignoli et Martini en 2001 qui ont montré que la cause génétique ne pouvait pas être exclue dans ces cas du fait de la pénétrance incomplète de la maladie et de la possibilité d'un autre mode de transmission ou de mutations de novo [71].

Dans tous les cas, la génétique ne peut expliquer à elle seule la survenue de l'otospongiose et force est de constater que des facteurs hormonaux ou environnementaux sont aussi susceptibles d'entrer en jeu.

Au final, aucun conseil génétique ou audiogramme systématique n'est conseillé devant une atteinte vraisemblablement familiale d'otospongiose ou vis-à-vis de la descendance d'un patient atteint. La démarche à privilégier est une information du patient et de sa famille de l'intérêt de consulter un ORL en cas de survenue de symptômes évocateurs d'otospongiose tels que l'hypoacousie ou les acouphènes.

- Facteurs hormonaux

L'impact hormonal sur la maladie a été empiriquement suspectée devant le sex-ratio en faveur des femmes et les poussées évolutives au cours de la grossesse et du post-partum.

-Estrogènes

Les estrogènes, hormones féminines par excellence, ont été les premiers à être incriminés. Pourtant les dernières études ne semblent pas mettre en évidence de relation causale. Lippy en 2005 a comparé 47 nullipares et 47 mères opérées d'otospongiose et n'a pas trouvé de corrélation entre l'importance de l'otospongiose et le nombre d'enfant ou la pratique de l'allaitement [72]. Bien avant, en 1967, Shambaugh avait évalué à 1/24 le risque d'aggravation de la surdité chez les patientes otospongiosiques au décours de la grossesse [73]. Causse a montré que les taux élevés d'estrogènes fragilisent les membranes lysosomales de l'oreille interne. Leur rupture causerait la libération des enzymes dans les liquides cochléaires, favorisant le développement de foyers otospongieux [74]. Une hypothèse récente expliquerait néanmoins le lien entre estrogènes et otospongiose : l'hyperprolactinémie induite par de forts taux d'estrogènes pourrait inhiber la protection osseuse due à l'ostéoprotégérine en diminuant son niveau d'expression [75].

-Parathormone

D'autres théories ont été avancées concernant la parathormone (PTH). Les récepteurs de la PTH seraient défaillants au niveau des cellules des foyers otospongieux ce qui entrainerait une désensibilisation de ces dernières à l'action ostéoprotectrice de la PTH [76].

En pratique, bien que cela ait été fait largement par le passé, les données de la littérature actuelle ne permettent en aucun cas de contre-indiquer une grossesse ou un traitement estrogénique chez une patiente souffrant d'otospongieuse.

- La rougeole

A l'instar de la maladie de Paget qui serait liée aux paramyxovirus, le rôle de la rougeole dans le développement de l'otospongieuse est évoqué initialement par Arnold et Friedman en 1987 [77]. McKenna par la suite mettra en évidence des antigènes et de l'ARN viral morbilleux au sein de foyers otospongieux [78]. De même, des études ont retrouvé des taux élevés d'IgG spécifiques au virus de la rougeole dans la périlymphe de sujets souffrant d'otospongieuse comparé aux sujets contrôles [79]. Plus récemment, une série de plus de 200 platines otospongieuses a pu mettre en évidence la présence d'ARN viral morbilleux dans plus de 2/3 des cas avec une augmentation du récepteur CD46 au sein des foyers pérennisant l'infection virale locale [80].

Des arguments corroborent la théorie virale : la susceptibilité féminine plus importante à cette maladie [81, 82] et l'impact de la vaccination anti rougeole sur le nombre et l'âge de découverte des patients souffrant d'otospongieuse [83]. Cependant, si l'association entre rougeole et otospongieuse semble bien réelle, les mécanismes reliant les 2 restent obscurs. Une infection persistante et latente des ostéocytes et chondrocytes au sein des globuli interosseï permettrait à ces cellules quiescentes de soutenir un remodelage osseux anarchique.

- Facteurs auto-immuns

L'hypothèse d'une origine auto-immune créant un état inflammatoire local responsable des lésions sclérotiques fut avancé au milieu des années 70 [84]. Des anticorps anti-collagène de type II et IX furent retrouvés de façon plus importante chez les patients souffrant d'otospongieuse [85] même si ce résultat ne fut pas constaté chez d'autres auteurs[86]. Le collagène de type II est majoritairement retrouvé au sein des cellules embryonnaires cartilagineuses de la couche enchondrale de l'os temporal et serait donc le site d'action privilégié de ces anticorps.

Les hypothèses auto-immunes restent à ce jour peu fondées et contradictoires.

Clinique et paraclinique

Le diagnostic d'otospongiose est avant tout clinique. La présentation typique est celle d'une surdité acquise de l'adulte jeune, à tympan normal, avec une composante transmissionnelle majoritaire associée à une éventuelle abolition du réflexe stapédien. Les antécédents familiaux de surdités présentant les mêmes caractéristiques orientent volontiers vers la maladie.

Le scanner des rochers confirme le plus souvent le diagnostic avec mise en évidence de foyers otospongieux. L'exploration chirurgicale à visée thérapeutique authentifie l'otospongiose par mise en évidence du blocage stapédo-vestibulaire et la visualisation de foyers otospongieux macroscopiques.

- Signes Fonctionnels

- L'hypoacousie

C'est le motif principal de consultation. Il s'agit d'une surdité acquise, d'évolution progressive, bilatérale dans 75% des cas mais souvent asymétrique, chez un sujet adulte de 15 à 45 ans en moyenne. La paracousie de Willis, amélioration apparente et paradoxale de l'audition dans le bruit, est un signe classiquement retrouvé dans l'otospongiose, sans être spécifique ni sensible. Ce phénomène, dû à l'élévation de la voix de l'interlocuteur pour s'entendre dans une ambiance bruyante, est en faveur d'une surdité avec faible participation cochléaire. [51]

- Les acouphènes

Ils sont fréquemment associés à la surdité, mais peuvent également être isolés. On les retrouve dans un tiers des cas lors du diagnostic initial et chez deux tiers des patients au stade chirurgical. Il faut déterminer leur timbre à visée pronostique : les acouphènes aigus, qui témoigneraient d'une atteinte cochléaire, sont classiquement moins améliorés par la chirurgie que ceux de tonalité grave.

- L'autophonie

Elle traduit la sensation pour le patient d'entendre sa voix résonner dans ses oreilles de manière excessive. L'autophonie est induite par la surdité de transmission et peut retentir sur la voix qui est alors de faible intensité.

- Les vertiges

Les vertiges rotatoires vrais sont rares, mais une instabilité est parfois rapportée. Trois mécanismes sont évoqués pour expliquer la présence de vertiges dans un syndrome otospongieux : une dégénérescence neuronale au contact d'un foyer otospongieux ; une

modification biochimique de la périlymphe induite par un foyer ; un hydrops endolymphatique secondaire.

Une imagerie des rochers et de l'angle ponto-cérébelleux est alors indispensable pour rechercher un diagnostic différentiel, notamment une surdité de transmission de l'oreille interne.

- Signes Physiques

- L'otoscopie

La membrane tympanique est en règle générale normale, sauf en cas de pathologie associée. Le signe de Schwartz est rarement observé. Il correspond à une tache rosée rétro tympanique du quadrant postéro-supérieur, liée à une hyperhémie du promontoire en rapport avec un foyer otospongieux évolutif [51].

- L'acoumétrie

Dans la forme typique d'ankylose stapédo-vestibulaire, on retrouve une surdité de transmission, objectivée par les signes suivants à l'examen au diapason (512Hz) :

Un test de Rinne négatif ;

Un test de Weber latéralisé du côté atteint ;

Un test de Lewis négatif : la conduction osseuse est meilleure que la conduction cartilagineuse au niveau du tragus ;

Un test de Bonnier positif : perception des vibrations meilleure du côté atteint lorsque le diapason est placé sur le poignet ou la rotule ;

Un test de Bing négatif : pas d'augmentation de l'intensité perçue après occlusion du conduit auditif externe ipsilatéral à la mastoïde sur laquelle est placé le diapason [51].

- Examens paracliniques

- L'audiométrie tonale

Elle représente un élément indispensable du bilan, pour le diagnostic positif, l'évaluation de la sévérité, la surveillance évolutive et l'évaluation de la prise en charge chirurgicale.

Elle a une valeur diagnostique en montrant une surdité de transmission ou une surdité mixte à prédominance transmissionnelle.

Le diagnostic est conforté par la présence d'une encoche de Carhart : scotome auditif se manifestant par une élévation des seuils de perception en conduction osseuse prédominant sur les fréquences 1000 et 2000 Hz. C'est la signature audiométrique de l'ankylose stapédo-vestibulaire. Cette encoche est due à la diminution de la participation du système tympano-ossiculaire dans la transmission osseuse des vibrations sonores. C'est un artéfact mécanique,

corrigeable par la chirurgie, car il n'est pas le reflet d'une atteinte neurosensorielle. Il faut en tenir compte pour l'évaluation de la réserve cochléaire réelle (Fig. 15).

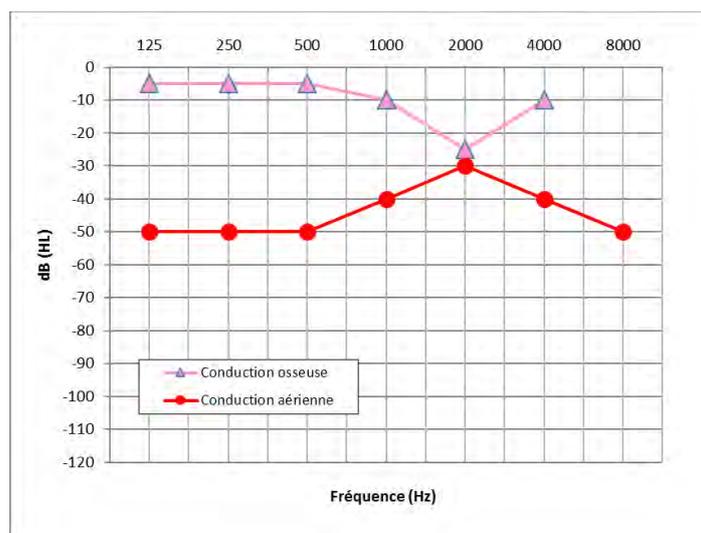


Fig. 15 : Audiogramme typique d'une otospongiose

Dans les otospongioses à prédominance cochléaire, l'audiogramme montre des courbes superposables en conduction aérienne et osseuse, avec une atteinte dominante des fréquences moyennes. Les seuils en conduction osseuse contribuent à la décision opératoire dans les atteintes bilatérales, en déterminant l'oreille la plus lésée.

-L'audiométrie vocale

Elle est corrélée à l'audiométrie tonale. La reconnaissance des mots est inversement proportionnelle à l'atteinte cochléaire. Elle permet une évaluation objective de la gêne sociale et constitue donc un élément supplémentaire pour la décision thérapeutique. L'audiométrie vocale dans le bruit permet de détecter les sujets avec un mauvais pronostic opératoire : une mauvaise discrimination signe une atteinte cochléaire importante.

-L'impédancemétrie et les réflexes stapédiens

Le tympanogramme est normal. L'absence de réflexe stapédien est un argument majeur pour le diagnostic. Dans les formes débutantes, on peut retrouver un effet ON/OFF : double déflexion négative au début et à la fin du stimulus sonore pouvant encadrer un réflexe d'aspect normal. La première déflexion est retrouvée chez 40% des sujets sains ; elle n'est donc pas spécifique. La deuxième déflexion est pathologique et pathognomonique. Elle témoigne d'une brusque augmentation de la compliance du système tympano-ossiculaire au début et à la fin du stimulus sonore, liée au déblocage brutal de la platine partiellement ankylosée (Fig. 16) [51].

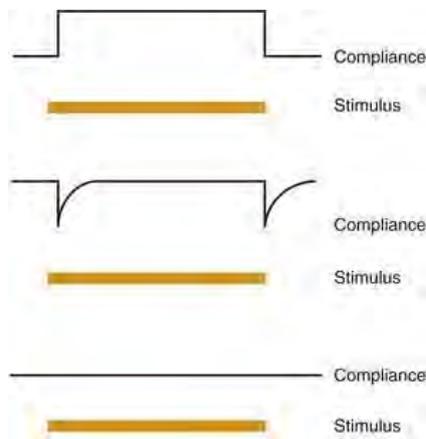


Fig. 16 : Réflexes stapédiens : normal (haut), ON/OFF (milieu), absent (bas)

-L'imagerie

L'exploration radiologique est devenue déterminante dans la prise en charge de l'otospongiose depuis l'avènement de la tomодensitométrie spiralée en coupes fines et ses perfectionnements. [87] L'imagerie constitue également un outil capital dans l'investigation des échecs et complications de la chirurgie. Sa réalisation n'est pas obligatoire mais recommandée chez tout patient ayant une surdité de transmission à tympan normal faisant évoquer le diagnostic d'otospongiose, d'après les recommandations de la Société française d'oto-rhino-laryngologie (SFORL) en 2007.

La tomодensitométrie à quatre objectifs principaux :

- confirmer le diagnostic (qui reste clinique) par la mise en évidence de foyers dysplasiques péri-labyrinthiques de l'os temporal ;
- dépister les variations anatomiques et les anomalies associées qui constituent des écueils opératoires ;
- évaluer le pronostic en fonction de la localisation des foyers otospongieux ;
- rechercher une éventuelle association pathologique.

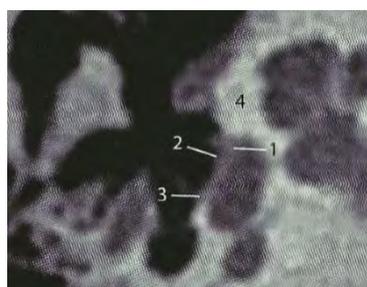
Même si le diagnostic d'otospongiose peut être posé cliniquement, la TDM permet d'éliminer les diagnostics différentiels de surdité de transmission à tympan normal : autres anomalies ossiculaires, déhiscence du canal semi-circulaire supérieur, oreille geysier, cholestéatome congénital, neurinome du nerf facial tympanique ou persistance d'une artère stapédienne bloquant l'étrier. La technique d'étude nécessite la réalisation d'un scanner haute résolution des rochers, idéalement centré sur les cavités tympaniques, l'oreille interne et le méat auditif interne. Le plan d'acquisition usuel est orbito-méatal, permettant une acquisition dans le plan du canal semi-circulaire latéral. L'épaisseur de coupe est de 0,5 à 0,6 mm, avec un intervalle de coupe de 0,2mm. Il est à noter que l'apparition du Cone Beam offre une alternative à la TDM des rochers en restant aussi performant et moins irradiant. [88, 89]

L'aspect du foyer otospongieux apparaît sous la forme d'une hypodensité focale au sein de la capsule labyrinthique. Sa localisation principale est en avant de la fenêtre ovale, au contact de l'implantation de la branche antérieure de l'étrier, soit en avant et en dehors du vestibule. D'autres zones peuvent être atteintes comme la région péri-cochléaire, en avant du méat auditif interne, dans la partie postérieure de la capsule labyrinthique ou au niveau de la couche labyrinthique moyenne antérieure.

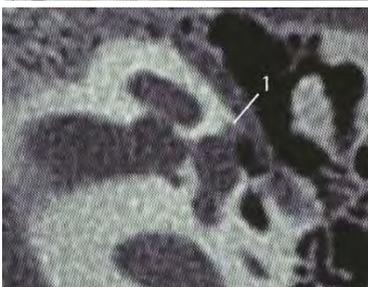
Veillon classe l'otospongiose en quatre types tomодensitométriques, en fonction de la localisation et de l'étendue des foyers (Fig. 17) [90] :

- type Ia : atteinte isolée de la platine, épaissie (supérieure à 0,6 mm) et hypodense ;
- type Ib : hypodensité préstapédienne inférieure ou égale à 1 mm, sans extension à la couche labyrinthique moyenne antérieure ;
- type II : hypodensité préstapédienne de diamètre supérieur à 1 mm, sans contact avec la lumière cochléaire ;
- type III : hypodensité préstapédienne supra-millimétrique en contact avec la lumière cochléaire ;
- type IVa : hypodensités péricochléaires, dans la couche moyenne de la capsule labyrinthique ;
- type IVb : hypodensités labyrinthiques postérieures autour de la lumière des canaux semi-circulaires ou du vestibule.

Il n'y a pas de corrélation systématique entre la taille, la localisation ou le nombre de foyers otospongieux et le degré ou le type d'hypoacousie. Enfin, un scanner normal (9% des cas) n'élimine pas le diagnostic. En cas de forte présomption clinique et en l'absence d'argument pour une autre étiologie, le diagnostic de certitude est fait lors de l'exploration chirurgicale.



Type Ia



Type Ib

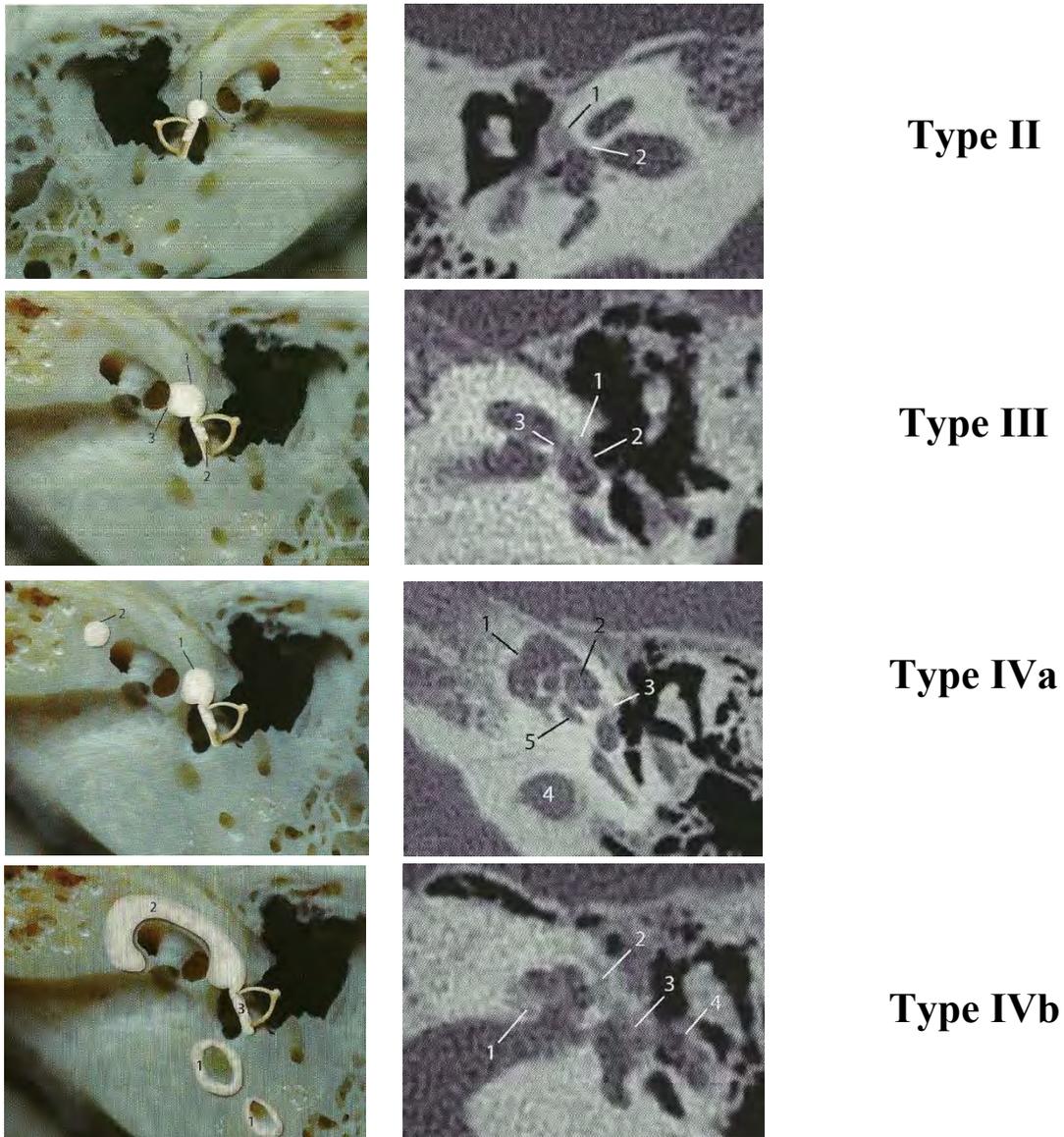


Fig. 17 : Classification radiologique de l'otospongiose de Veillon [91]

Traitement médical

Contrairement à la prise en charge chirurgicale de l'otospongiose, qui a été l'objet de nombreuses expérimentations menant à des avancées significatives au cours des dernières décades, le traitement médical de l'otospongiose reste aujourd'hui encore peu développé et largement controversé. « Depuis plus d'une décade, les otologistes ont été occupés à élaborer des interventions ingénieuses et complexes pour améliorer la surdité causée par l'otospongiose. Néanmoins, ils ont perdu de vue l'essence même de la méthode scientifique concernant l'appréhension des maladies qui consiste à s'efforcer à en découvrir les causes pour, par la suite, trouver une thérapeutique ciblée qui sera basée sur la connaissance précise des étiologies » [92].

En effet, la chirurgie peut être perçue comme un traitement « palliatif » de l'otospongiose qu'il convient de mettre œuvre une fois que la maladie est suffisamment évoluée. Par ailleurs, les surdités neurosensorielles pures ou surajoutées aux surdités de transmission que l'on peut rencontrer dans certains cas d'otospongiose peuvent se révéler inaccessibles au traitement chirurgical.

Pour comprendre les fondements du traitement médical, il faut intégrer le fait que le labyrinthe osseux est unique et diffère histologiquement et biologiquement des autres os du squelette humain. La concentration de calcium et de phosphore y est plus importante alors que l'activité enzymatique des phosphatases alcalines y est de 3 à 6 fois plus faible. Cette caractéristique a été démontrée par Ross en 1979 par l'étude de la fixation de calcium radiomarqué qui est plus lente au niveau de la capsule otique comparé à n'importe quel autre os du squelette [93].

L'atteinte neurosensorielle survient lorsque les foyers otospongieux affleurent l'endoste cochléaire, notamment au niveau du ligament spiral. Parahy et Linthicum mirent en évidence en 1984 dans ces cas une atrophie de la strie vasculaire qui pourrait expliquer à elle seule l'atteinte neurosensorielle [55]. Causse et collègues ont mis en évidence une activité protéolytique accrue au sein des foyers cochléaires qui auraient un effet toxique sur l'organe de Corti lui-même [94].

Le traitement médical le plus étudié reste le fluorure de sodium qui présente des vertus pro-ostéoblastique et anti-ostéoclastique. Shambaugh fut le premier en 1964 à proposer cette thérapeutique [95], suivi par Petrovich en 1966 [96]. Pour appuyer cette théorie, Bernstein en 1966 [97] puis Daniel en 1969 se rendirent compte que l'incidence de l'otospongiose pouvait être inversement corrélée à la concentration de fluorure de sodium dans l'eau potable de certaines régions des Etats-Unis [98]. Une étude prospective randomisée en double-aveugle réalisée, mit en évidence une efficacité sur l'aggravation de la surdité neurosensorielle du fluorure de sodium comparé au placebo en changeant les foyers otospongieux en foyers inactifs [99]. Causse étudia par la suite l'effet antiprotéolytique du fluorure de sodium sur les foyers otospongieux actifs en prélevant et analysant le liquide périlymphatique chez 648 patients opérés ayant préalablement été traités ou pas par fluorure de sodium. Les auteurs découvrirent que le fluorure de sodium inhibait l'action enzymatique de la trypsine, de l'alpha1-antitrypsine et de l'alpha2-macroglobuline [100].

Les indications thérapeutiques au fluorure de sodium peuvent être discutées dans certaines circonstances [101] :

- Patients opérés d'une otospongiose qui a été confirmée chirurgicalement et qui développent par la suite une surdité neurosensorielle disproportionnée par rapport à leur âge.
- Patients souffrant d'une surdité neurosensorielle pure avec des antécédents personnels ou familiaux solides en faveur d'une otospongiose.
- Patients présentant une otoscopie avec tâche de Schwartz typique.
- Patients avec des signes radiologiques d'otospongiose.
- Patients atteints d'otospongiose et présentant des signes d'hydrops cochléo-vestibulaires homolatéraux.
- Refus de la chirurgie due la part du patient qui est ouvert à d'autres formes de traitement.

Les contre-indications du fluorure de sodium sont les suivantes [102] :

- Néphropathies chroniques (risque de rétention rénale du produit avec toxicité systémique).
- Polyarthrite rhumatoïde (augmentation des douleurs articulaires).
- Femmes enceintes ou allaitantes.
- Enfants et adolescents n'ayant pas fini leur croissance.
- Fluorose squelettique
- Allergies au fluorure de sodium

Le schéma de traitement le plus consensuel reste la dose journalière de 50 à 75mg de fluorure de sodium pendant 2 ans (en réalité jusqu'à ce que l'audition se stabilise, que la tâche de Schwartz régresse ou que l'on trouve des preuves radiologiques de recalcification). Puis le traitement doit être poursuivi à vie à la dose de 25mg par jour. Des suppléments alimentaires de calcium (1 gramme par jour) et de vitamine D (500UI par jour ou de façon plus sporadique) doivent également être prescrits en parallèle [103]. A noter que 5 grammes de fluorure de sodium suffisent à constituer une dose létale. Les effets indésirables sont dominés par les troubles digestifs bénins qui peuvent être prévenus par un pansement gastrique associé au fluorure de sodium. La fluorose reste une complication rarissime mais potentiellement grave qui nécessite un suivi ostéo-squelettique tous les 2 ans pour les patients traités par fluorure de sodium. Aucun effet indésirable permanent n'a été reporté dans la littérature lorsque le traitement est pris dans les conditions normales d'utilisation [104, 105].

A défaut de soigner l'otospongiose, le fluorure de sodium semble avoir un effet stabilisateur des lésions. Ceci a été démontré sur l'audition [100, 105, 106], le réflexe stapédien [107], les éventuels symptômes vestibulaires [108].

D'autres thérapeutiques médicales ont été proposées dans le traitement de l'otospongiose :

-Les biphosphonates de la 1^{ère} à la 3^{ème} génération ont été administrés chez certains patients souffrant d'otospongiose. Les résultats semblent prometteurs notamment concernant les molécules récentes qui sont de puissants inhibiteurs de la résorption osseuse (Alendronate, Residronate, Zolendronate) [109]. Une toxicité cochléaire a néanmoins été décrite dans certains cas [110, 111] et le risque d'ostéochimionécrose reste toujours présent avec ces molécules.

-La calcitonine par spray nasal a également été offerte comme traitement médical à certains patients mais les études validant ce traitement tardent à arriver [112].

-Enfin certaines cytokines inhibitrices (antagoniste du récepteur à l'IL1 (Anakinra ; KINERET[®]) ; anti-TNFalpha (Thalidomide)) sont à l'essai [113, 114].

Technique chirurgicale : stapédotomie et restauration de l'effet collumellaire

Chays et al. [115] s'appuie sur trois concepts physiopathologiques pour expliquer les résultats « quasi constants » de la chirurgie de l'otospongiose alors que des résultats théoriquement différents devraient être obtenus en fonction de la technique chirurgicale employée :

-Le concept hydraulique : ce concept fait intervenir le rapport des surfaces entre la surface de la membrane tympanique et celle de la platine de l'étrier. Selon ce concept, la pression croît dans le rapport inverse des surfaces. Suivant le concept hydraulique, les résultats théoriques des platinotomies devraient être supérieurs à ceux des platinectomies et même à ceux d'une oreille normale.

-Le concept de vitesse volumique : la vitesse par unité de volume du piston devrait être inférieure à celle de l'étrier, puisque le diamètre du piston est inférieur à celui de la platine. Selon les auteurs, chez l'opéré, la raideur de l'ensemble tympano-ossiculaire serait moindre en raison de la disparition du rôle du ligament annulaire. Les déplacements du piston, plus libres dans l'orifice de platinotomie, pourraient être donc plus importants entraînant une augmentation de la vitesse volumique.

-Le concept énergétique : c'est ce concept qui expliquerait les similitudes entre les résultats obtenus par platinectomie ou platinotomie. Si le rapport des surfaces modifie l'« aspect » de l'énergie, il ne change en rien sa « quantité ». Selon la répartition des facteurs « vitesse » et « pression », l'énergie peut donc se présenter au labyrinthe suivant différents aspects.

De nombreuses publications font état des résultats obtenus par l'utilisation de différents modèles de prothèses [116-118] (matériaux, diamètre, technique de serrage sur l'enclume), et différents diamètres ou techniques de stapédotomie.

En ce qui concerne la prothèse elle-même, il existe un large panel de modèles utilisables, se différenciant par leurs matériaux de composition et par leur design. La sélection d'une prothèse particulière va être dictée par la facilité d'utilisation, sa fiabilité, les résultats audiométriques qu'elle procure, ainsi que les particularités anatomiques du patient et les difficultés rencontrées lors de la chirurgie. Depuis Shea en 1956 et Marquet [117] avec une prothèse en Téflon, différents modèles de prothèses ont été développés: en acier par Schuknecht, associant métal et Téflon par d'autres auteurs. En 1999, le titane est introduit dans les prothèses et sa haute biocompatibilité, sa légèreté et sa facilité d'utilisation associées à de très bons résultats auditifs [118, 119] en font un matériau largement répandu. Cependant il n'existe pas de prothèse ayant fait la preuve de sa supériorité par rapport aux autres modèles [120]. Des équipes ont comparé les résultats obtenus avec des prothèses de différents diamètres (0,4 contre 0,8 mm) mais n'ont pas retrouvé de différences significatives [121, 122]. Le poids de la prothèse jouerait également un rôle dans les résultats audiométriques avec des résultats significativement meilleurs dans les basses fréquences pour des pistons plus lourds (>10 mg), et dans les hautes fréquences pour des pistons plus légers.

Certains auteurs ont étudié les différentes techniques de platinotomie en comparant l'utilisation du Skeeter Oto-tool® à différents types de laser (notamment le laser CO₂) sans retrouver de différences significatives entre ces deux techniques [123], d'autres y trouvent un avantage en termes de sécurité et de survenue de complications [124].

Il en ressort qu'il existe une grande diversité méthodologique entre les équipes chirurgicales et que les résultats des différentes équipes sont assez comparables. Ce qui semble importer est en fait l'expérience du chirurgien et l'habitude dans la réalisation d'une technique ou d'une autre [125, 126]. Certaines publications démontrent un effet de courbe d'apprentissage pour la chirurgie de l'otospongiose influant sur les résultats obtenus [127-129].

La stapédotomie telle qu'elle est pratiquée dans le service d'ORL de Toulouse-Purpan

La procédure chirurgicale habituelle dans notre service se déroule sous anesthésie générale ou locale associée à une diazanalgie. Nous utilisons une voie d'abord trans-méatale dans la majorité des cas, voire une voie endaurale pour des raisons d'exposition.

La corde du tympan est refoulée et une encoche de Rosen est réalisée à la curette.

Après palpation du manche du marteau et de l'étrier pour s'assurer de la fixité de la chaîne au niveau platinare, on réalise la désarticulation incudo-stapédienne, ablation de la super structure de l'étrier après section des crus au laser en général voire aux micro-ciseaux ou fracture de celles-ci à l'aide d'une pointe de Rosen (Fig. 18 et 19).

La distance longue apophyse de l'enclume-platine est mesurée pour adapter au mieux la longueur de la prothèse qui sera utilisée.

La platinotomie est réalisée au laser puis calibrée secondairement à la fraise diamantée de 0,6 mm (Skeeter Oto-Tool System®) (Fig. 20)

Une fois la prothèse mise en place (Fig. 21), un comblement de la platinotomie est réalisé par apposition de tissu conjonctif ou graisseux prélevé en rétro-auriculaire (Fig. 22).

Nous utilisons principalement des pistons de fluoroplastique (Téflon) type Causse® (0,4 mm de diamètre) et pistons métalliques (alliage Platine-Titane) de type Big Easy® (0,5 mm de diamètre) (Fig. 23).

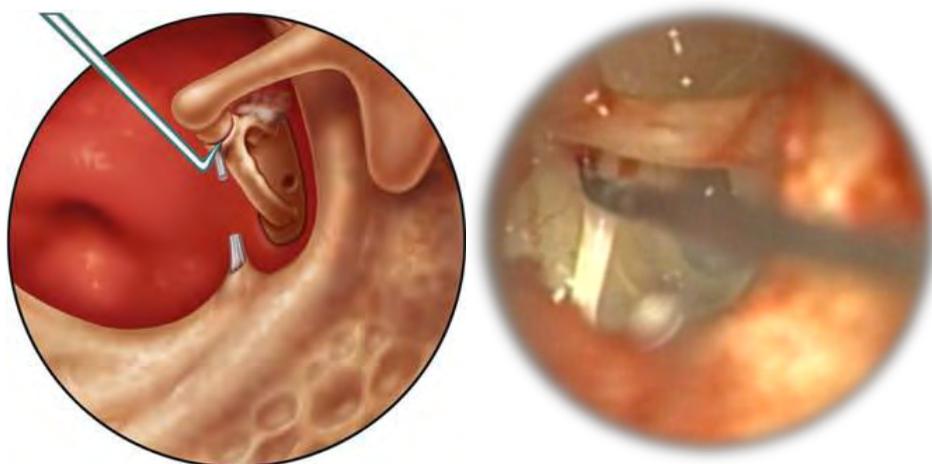


Fig. 18 : Désarticulation incudo-stapédienne

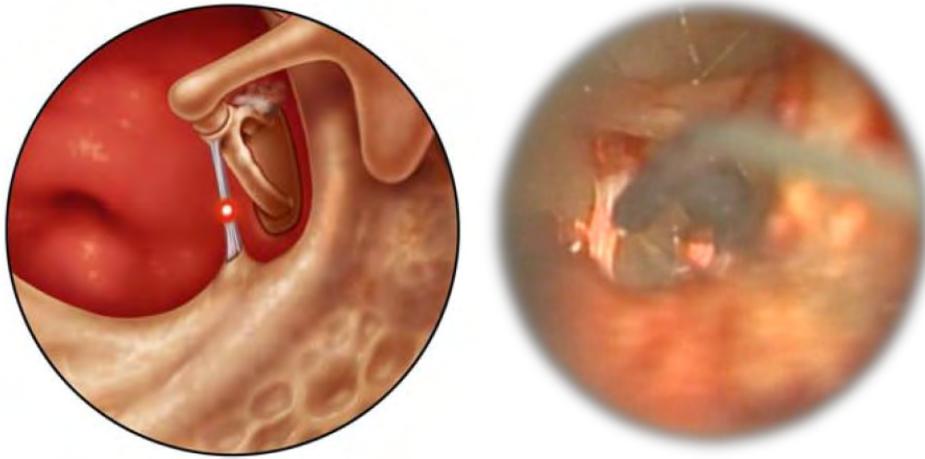


Fig. 19 : Section du tendon de l'étrier

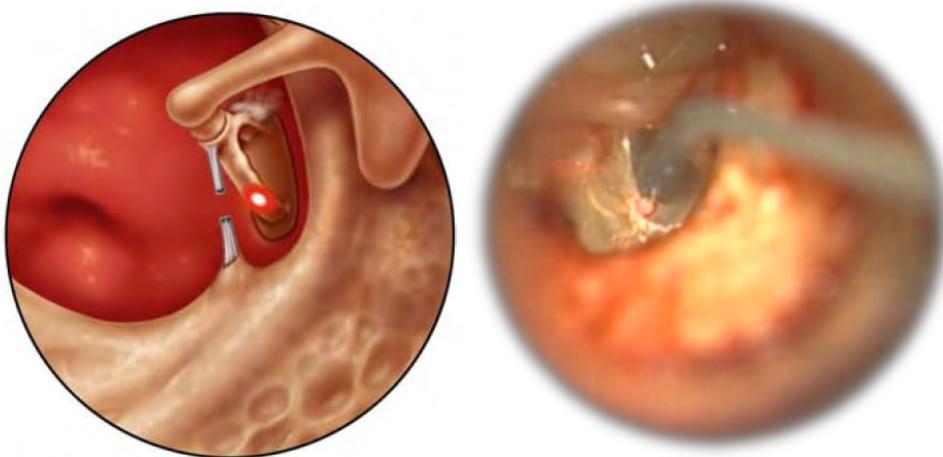


Fig. 20 : Section de la branche postérieure de l'étrier

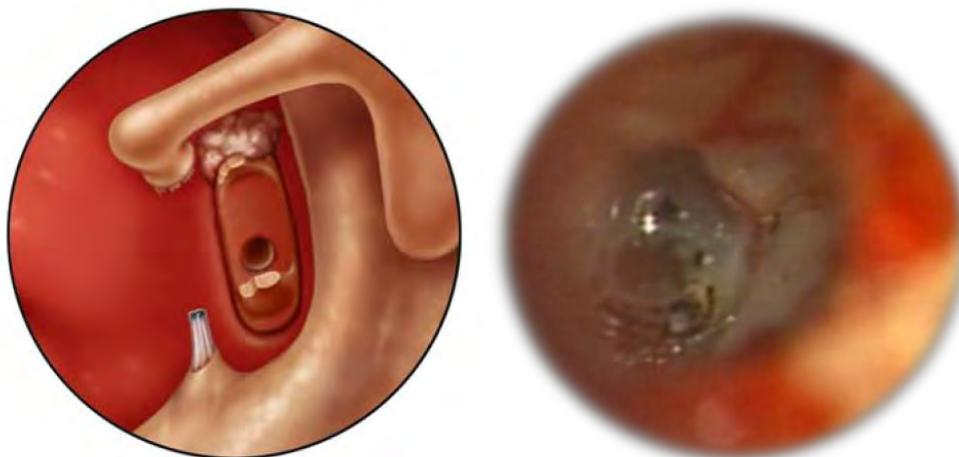


Fig. 21 : Platinotomie +/- laser calibrée à l'Ototool®

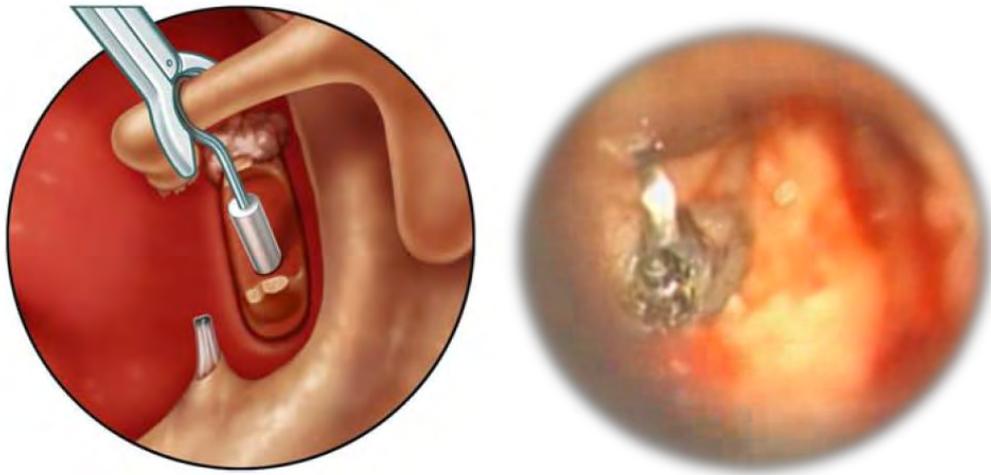


Fig. 22 : Mise en place de la prothèse

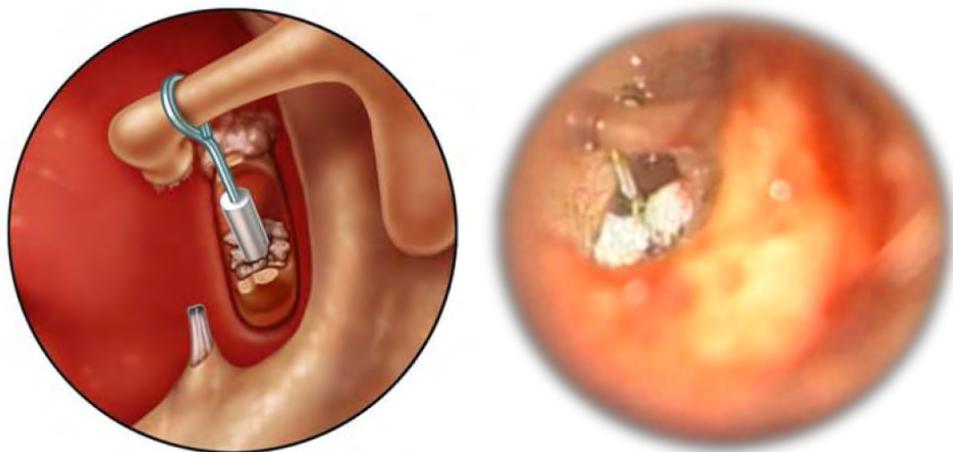


Fig. 23 : Comblement de la platinotomie par du tissu conjonctif



*Fig. 24 : Prothèse partielle en fluoroplastique type Causse° (gauche)
et en titane type BigEasy° (à droite)*

2ème partie : La réhabilitation des surdités par audioprothèse

Depuis plusieurs siècles, l'Homme a développé des moyens techniques pour mieux entendre. Depuis la révolution technologique du XXème siècle, les premiers systèmes acoustiques ont été supplantés par les audioprothèses. Avec les progrès exponentiels récents de l'électronique et de l'informatique, les audioprothèses modernes n'ont jamais été aussi performantes mais également aussi complexes.

Cette partie a pour but de présenter de façon générale la réhabilitation des surdités par appareillage auditif externe

Généralités sur les signaux acoustiques

La notion de pression acoustique [130]

L'oreille humaine peut percevoir des niveaux de volume sonore excessivement variés. L'unité physique de la pression acoustique est exprimée en Pascal (Pa). La pression acoustique perçue par l'homme varie de 20 à 20 000 000 μ Pa. Pour éviter de tels chiffres, Alexander Bell inventa l'échelle logarithmique suivante :

$$L = 10 \cdot \log_{10}(p^2/p_0^2)$$

$$L = 20 \cdot \log_{10}(p/p_0)$$

L = niveau de pression acoustique en décibels (dB)

p = pression acoustique mesurée (Pa)

p₀ = pression acoustique de référence : 20 μ Pa (2 x 10⁻⁵ Pa)

Le Bel est l'unité pour le ratio logarithmique des pressions au carré.

Le facteur 10 dans la première ligne de l'équation permet de convertir cette valeur en unités 10 fois plus faibles, les décibels (dB), plus adaptées à la pratique quotidienne. La deuxième ligne de l'équation est une simplification de la première équation en introduisant le facteur 20 afin de représenter le rapport des pressions acoustiques (p/p₀) directement. La Figure 25 illustre les relations entre pression acoustiques exprimées en Pa et en dB.

De cette façon, une pression acoustique multipliée par 2 représente 6dB supplémentaires alors qu'une pression acoustique multipliée par 10 représente 20dB supplémentaires.

On parle de dB SPL pour Sound Pressure Level qui correspond à l'unité de base utilisée le plus souvent par les audioprothésistes.

Pression acoustique (Pa)	Niveau de pression acoustique (dB)
20	120
10	110
5	100
2	90
1	80
0,5	70
0,2	60
0,1	50
0,05	40
0,02	30
0,01	20
0,005	10
0,002	0
0,001	
0,0005	
0,0002	
0,0001	
0,00005	
0,00002	

Exemples de sources sonores	Niveau de pression acoustique (dB)
Marteau pneumatique	120
Orchestre de rock-n-roll	110
Machine de fabrication de textiles Rotative	100
Tondeuse à gazon motorisée (à l'oreille de l'utilisateur)	90
Fraiseuse	80
Broyeur d'ordures	70
Camion diesel roulant à 40 mi/h	60
Aspirateur	50
Automobile roulant à 50 mi/h	40
Conditionneur d'air de fenêtre	30
Conversation	20
Pièce silencieuse	0

Fig. 25 : Équivalences entre la pression acoustique (en Pa) et les niveaux de pression acoustiques (en dB)

Les sons purs

D'un point de vue mathématique, les sons purs peuvent être représentés par des ondes sinusoïdales. Elles sont caractérisées par leur période, leur fréquence et leur amplitude (Fig. 26). Le son émis par un diapason est un exemple de son pur.

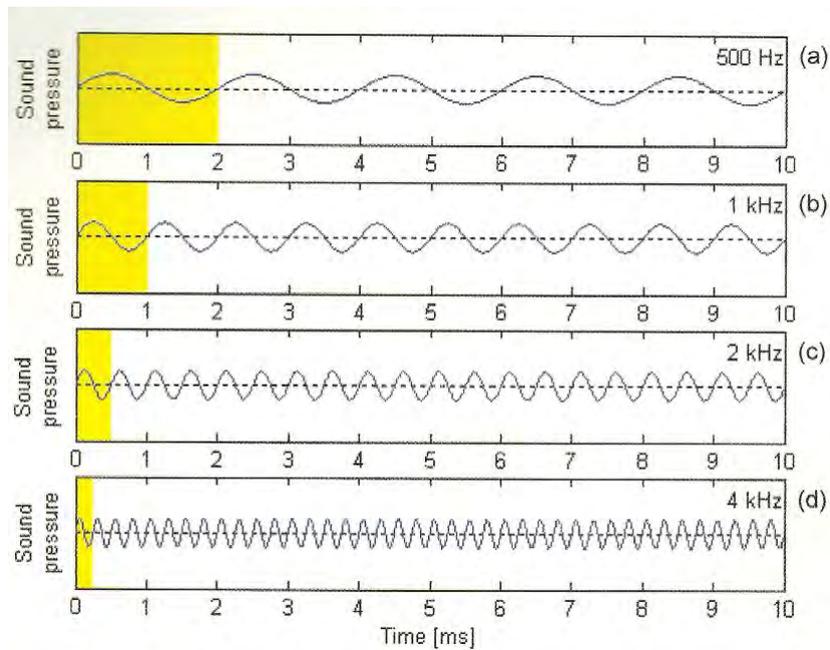


Fig. 26 : Sons purs de même amplitude à différentes fréquences : 500Hz, 1KHz, 2KHz et 4KHz.

La période, exprimée en secondes (s), est l'intervalle de temps au bout duquel la fonction se reproduit identiquement à elle-même.

La fréquence, exprimée en Hertz (Hz) est l'inverse de la période. Elle représente le nombre fois que la fonction se répète par seconde.

L'amplitude correspond à la pression acoustique.

La phase représente la position d'un son, ou d'un composant d'un son, par rapport à un autre.

Une période complète correspond à 360° ou 2π radians. Deux sons sont déphasés si leur sinusoïde a systématiquement des polarités inversées, soit un décalage de phase de 180° .

Une octave, tenant son nom de la musique occidentale où il représente un intervalle de 8 notes ou 12 demi-tons, est l'intervalle au cours duquel la fréquence double.

Les sons complexes

Tous les sons non-purs peuvent être caractérisés de complexes.

Le spectre d'un son complexe est sa décomposition lorsque cela est possible en sons purs sur une portion de temps.

Quand le son complexe est périodique, sa fréquence générale est dite fréquence fondamentale, les sons purs qui le composent sont appelés les harmoniques et leurs fréquences sont des multiples entiers de la fréquence fondamentale (Fig. 27).

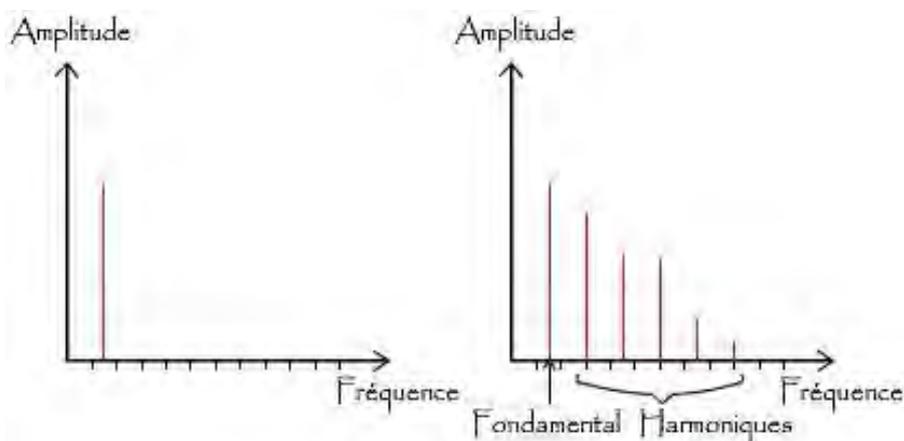


Fig. 27 : Spectres d'un son pur (à gauche) et complexe (à droite)

Les représentations graphiques des signaux acoustiques peuvent prendre 3 formes :

La représentation temporelle est l'évolution de la pression acoustique du signal sonore dans le temps (Fig. 28).

La représentation fréquentielle (ou spectrale) est la composition fréquentielle d'un son mais également l'intensité de chaque fréquence (Fig. 29).

La représentation tridimensionnelle (sonagramme ou spectrogramme) est la représentation temps-fréquence du son où l'on signale la répartition énergétique du son par un code couleur en fonction du temps et des fréquences (Fig. 30).

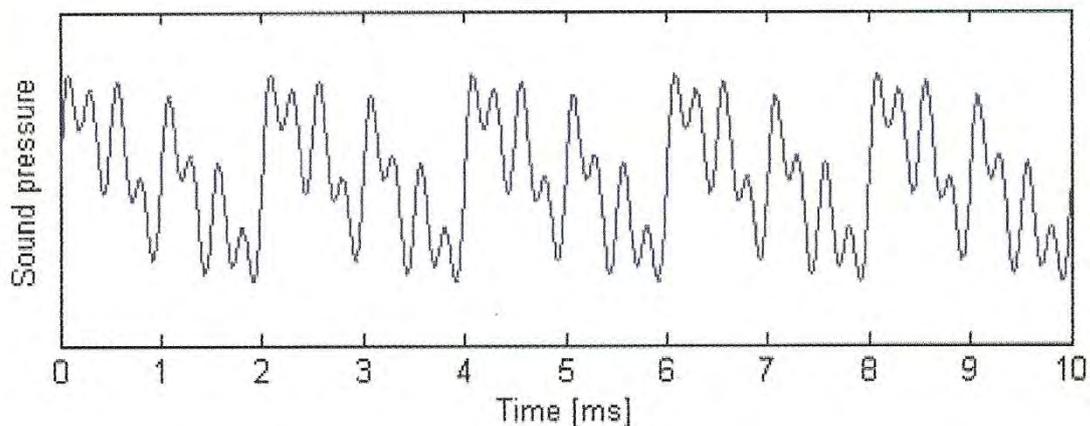


Fig. 28: Représentation temporelle d'un son complexe

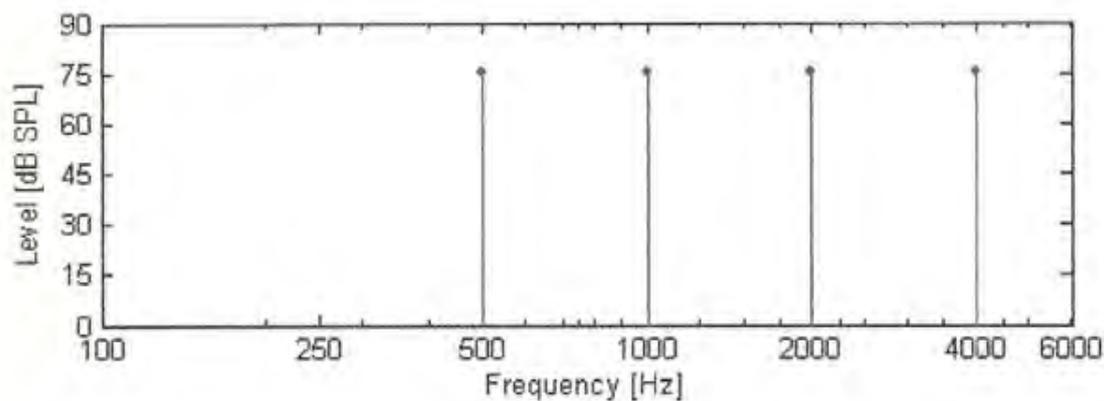


Fig. 29 : Représentation fréquentielle d'un son complexe

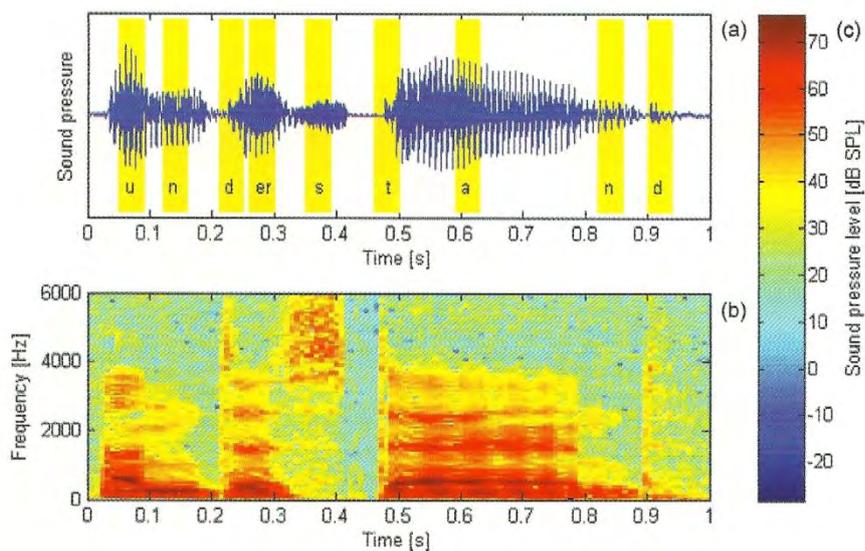


Fig. 30 : Représentation temporelle (haut) et spectrogramme (bas) du mot "understand"

Notions de psychoacoustique

La psychoacoustique correspond à l'étude des relations entre l'homme et son environnement sonore. On parle souvent de psychologie auditive pour qualifier la psychoacoustique parce qu'elle observe et interprète les sensations auditives de l'être humain. En d'autres termes, cette science relie l'acoustique scientifique à la conscience auditive de l'être humain.

On appelle sonie (ou *loudness* en anglais) la composante de la perception auditive subjective liée à l'intensité acoustique. Cette sensation, principalement liée à la pression acoustique, nous permet de différencier un son fort d'un son faible.

Deux caractères de la sonie sont importants à noter :

-Le *seuil absolu* constitue le niveau minimal de pression acoustique nécessaire à engendrer une sensation auditive dans un environnement silencieux. Ce seuil varie pour chaque auditeur et chaque fréquence.

-Le *seuil d'inconfort*, pour un auditeur et une fréquence donnés, correspond au niveau minimal de pression acoustique qui produit une sensation auditive inconfortable.

Les courbes dites de *Fletcher & Munson*, du nom des deux scientifiques qui les ont établies à l'aide de mesures effectuées sur un large panel d'individus, illustrent le fait que la sensibilité de l'oreille n'est pas identique à toutes les fréquences. Ces courbes, aussi appelées « isosoniques », représentant la sensibilité moyenne de l'oreille pour une plage de fréquences audibles (Fig. 31).

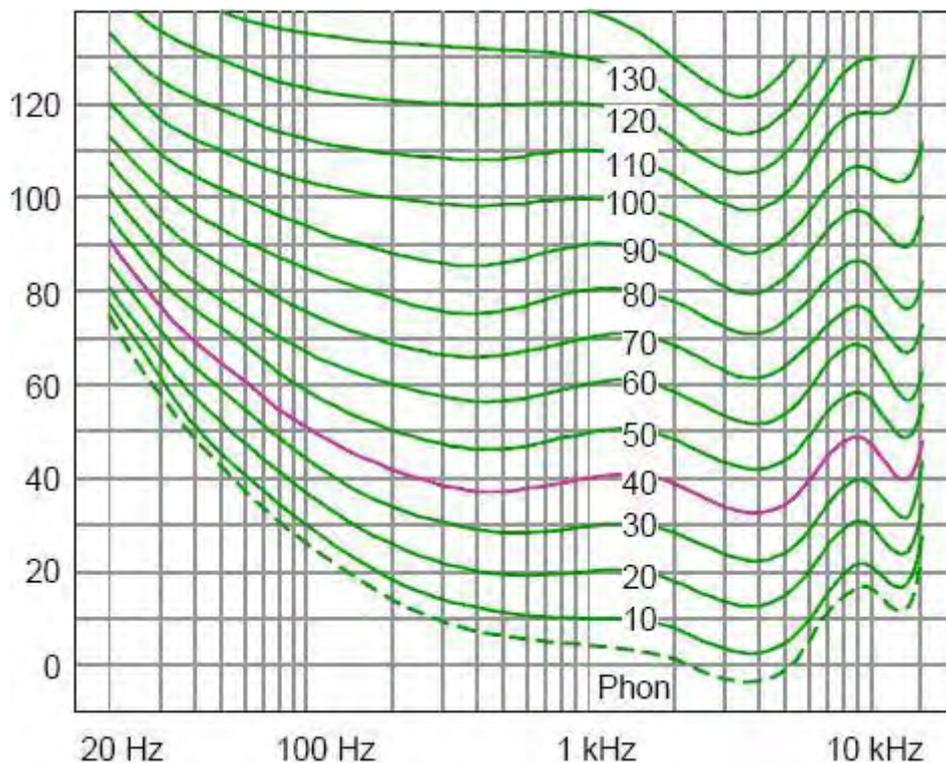


Fig. 31 : Courbes isosoniques de Fletcher & Munson

Ces courbes sont paramétrées en *phones*. Par définition, le numéro de chaque courbe (ou niveau en *phones*) est égal à l'intensité correspondant en décibels à une fréquence de 1000 Hz. Ainsi un son de 100 phones correspond à un niveau de 100 dB à 1000 Hz, et de 120 dB à 30 Hz.

Ces courbes indiquent, pour chacune des fréquences du spectre audible, le niveau de pression acoustique SPL nécessaire à la perception d'une même intensité, d'où le terme « courbe iso-phonique ».

D'une manière générale, l'oreille est moins sensible aux fréquences graves et aiguës qu'aux fréquences conversationnelles, comprises entre 1 et 5 KHz.

C'est de la courbe iso-phonique que sont déterminés les seuils en dB Hearing Levels (HL) qui sont utilisés par les praticiens ORL en audiométrie clinique.

Une autre notion importante est celle des *bandes critiques*. Si l'on fait entendre sur une même oreille un son complexe composé de 2 sons purs de fréquences différentes mais proches, la sonie reste inchangée tant que l'écart fréquentiel entre les 2 sons reste inférieur à la largeur de la bande critique. On peut assimiler les bandes critiques à une batterie de filtres passe-bandes juxtaposés dont les fréquences de coupures ne sont pas figées le long de la cochlée mais fonction d'une part de la composition fréquentielle du son mais également de l'individu.

Enfin, l'*effet de masque* correspond au phénomène qui veut que la perception de certaines fréquences à certaines intensités a tendance à empêcher la perception d'autres composants du son. Cet effet est décrit dans la Figure 32 où les seuils auditifs sans masquage sont comparés aux seuils à différentes intensités avec masquage d'un bruit blanc de 1100-1300Hz. On se rend compte que l'effet masque augmente avec l'intensité et est plus important pour les hautes fréquences. À noter qu'il existe aussi un masquage central.

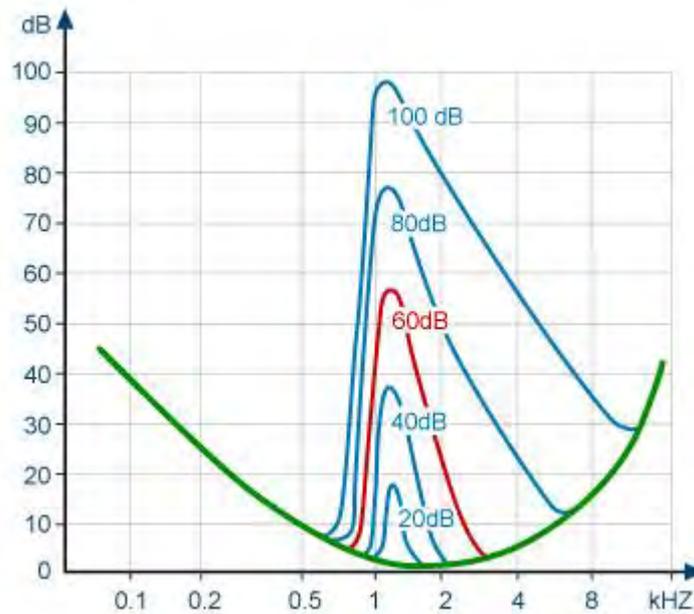


Fig. 32 : Seuils auditifs en db SPL obtenus sans masquage (courbe verte) et avec différentes intensités d'un bruit blanc de 1100-1300Hz.

La tonie, ou hauteur d'un son, correspond à la sensation de fréquence d'un son.

Elle est particulièrement liée à la fréquence, même si au-delà de 1 000 Hz la tonie a tendance à augmenter de façon moins importante que la fréquence. Pour information, l'échelle de tonie est graduée en mels mais cette échelle est peu usitée en pratique.

Le timbre est la composante de la sensation auditive qui permet de distinguer deux sons de même sonie et de même tonie. Le timbre d'un son est essentiellement lié à sa composition spectrale, mais également à son évolution dans le temps (forme de l'enveloppe spectrale, attaque des sons...). Ainsi, il permet la reconnaissance de l'origine ou de l'appartenance à un groupe de sons donnés. L'exemple le plus connu est la distinction des instruments de musique. Seul le timbre permet de différencier deux instruments qui jouent la même note.

Un résumé des principales caractéristiques psychoacoustiques du son est présenté dans le tableau récapitulatif de la Figure 33.

Grandeur	Unité	Perception de	Vocabulaire	Grandeur physique principale associée	Unité physique
isotonie	phones	égale intensité	Fort / faible	-	dB
sonie	sones	intensité / loudness		niveau SPL	dB
tonie	tones / mels	hauteur / pitch	Grave / aigu	fréquence	Hz
<i>multiples</i>	- - -	timbre	« mat, chaud, cuivré... »	- - -	- - -

Fig. 33 : Tableau récapitulatif des caractéristiques psychoacoustiques du son

Les caractéristiques du déficit auditif

Les personnes souffrant de surdité, particulièrement neurosensorielle, présentent en réalité une multiplicité d'incapacités. Il est important de les appréhender car la correction de la surdité doit passer par la prise en charge de tous ces paramètres.

Diminution de l'audibilité

La surdité empêche dans un premier temps tout simplement d'entendre certains sons. Il s'agit principalement des phonèmes doux, habituellement les consonnes, ou alors de portions de certains phonèmes. Les hautes fréquences sont également moins bien perçues que les fréquences graves à perte auditive égale [131]. L'audioprothèse doit donc compenser cette perte, notamment là où la parole présente ses plus faibles composantes.

Diminution du champ dynamique auditif

Le champ dynamique auditif est la différence entre le seuil d'inconfort et le seuil auditif absolu. Chez les malentendants, le seuil auditif absolu est souvent plus élevé que ne l'est le seuil d'inconfort (Fig. 34). Les phénomènes de recrutement qui surviennent chez les sourds entraînent même un abaissement de ces seuils d'inconfort, ce qui réduit le champ dynamique [132]. L'audioprothèse doit donc être en mesure de prendre en compte ce facteur dans le traitement du signal sonore.

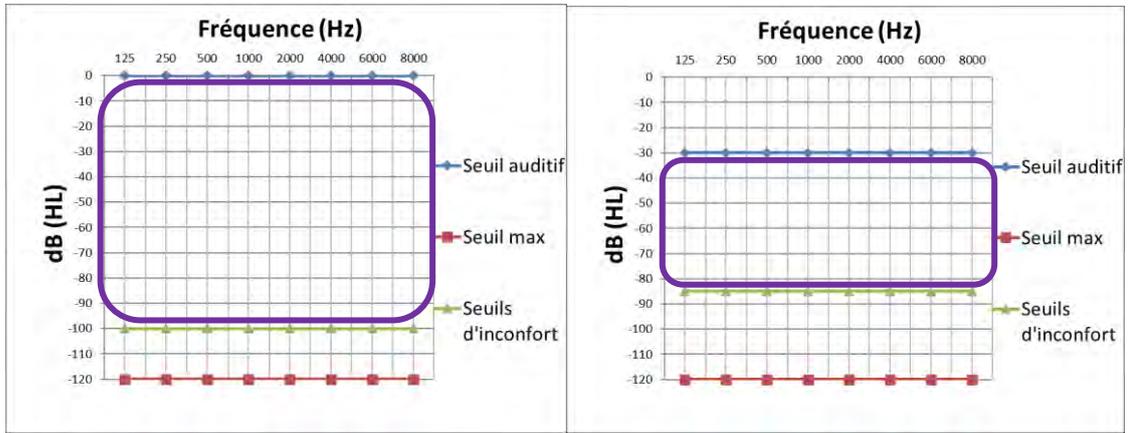


Fig. 34 : Audiogramme d'un patient normal (gauche) et présentant une surdité légère (droite) avec mise en évidence du champ dynamique auditif (encadré)

Diminution de la résolution fréquentielle

Ce facteur survient principalement dans les surdités sévères à profondes. Il peut devenir difficile pour le patient sourd de différencier 2 signaux de fréquences proches mais différentes (Fig. 35). Ce phénomène, lié majoritairement à la perte des cellules ciliées externes, entraîne une diminution de discrimination de la parole dans le bruit. Lorsque la résolution fréquentielle est très altérée, cela peut même engendrer des difficultés de compréhension de la parole dans le silence. La résolution fréquentielle diminue naturellement lorsque le signal est plus fort ce qui est un facteur supplémentaire de détérioration chez les patients sourds qui nécessitent des intensités sonores plus élevées [133]. L'audioprothèse peut tenter de pallier à ces problèmes par les microphones directionnels, des variations appropriées du gain (en favorisant les fréquences aiguës par rapport aux basses fréquences).

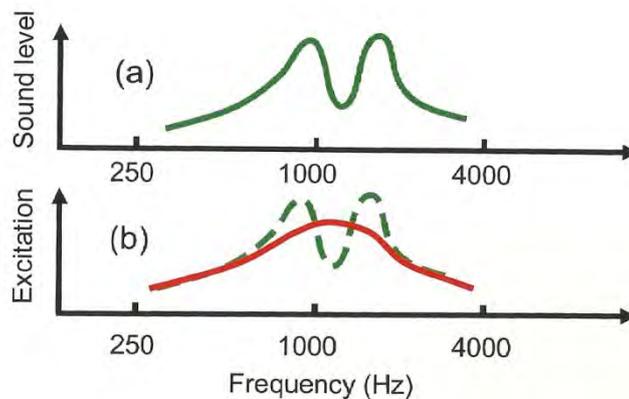


Fig. 35 : Représentation spectrale d'un son complexe (a)
Perception pour un patient sourd (ligne rouge) (b)

Diminution de la résolution temporelle

La résolution temporelle revêt deux aspects. D'une part, les sons intenses vont avoir tendance à masquer les sons plus faibles qui suivent [134]. C'est en partie cet effet qui explique la diminution de l'intelligibilité même chez les normo-entendants alors que le Signal-Noise-Ratio (SNR) augmente.

Avec la surdité survient un allongement de cet intervalle de « masquage temporel », ce qui signifie qu'un patient sourd aura systématiquement besoin d'un SNR supérieur à un normo-entendant pour comprendre la parole [135]. Un autre aspect de la résolution temporelle est la capacité de déterminer ce que l'on appelle la structure temporelle fine contenue dans le signal sonore. Cette capacité augmente également la perception dans le bruit [136]. L'audioprothèse doit prendre en compte ces défaillances par l'utilisation de systèmes de compression d'action rapide.

Histoire de l'audioprothèse

La plus grosse évolution concernant les appareils auditifs est qu'ils sont devenus de plus en plus petits. C'est cette volonté qui a fait avancer les technologies en matière d'audioprothèse. Certes, les performances ont quelquefois dû être sacrifiées au profit de l'encombrement minimum mais souvent elles ont été au contraire développées dans cette optique de réduction de taille. Les dernières décennies, avec l'avènement de l'ère digitale, ont vu naître des progrès majeurs concernant les aides auditives. Les audioprothèses sont désormais plus fiables, plus flexibles et plus performantes que jamais [137].

L'ère acoustique (*acoustic era*) :

L'ère acoustique a probablement commencé lorsque le premier être humain a mis une main derrière son oreille, ce qui produit un gain de 5 à 10 dB sur les hautes et moyennes fréquences venant d'en face et protège du bruit venant de derrière. Les premières traces d'aides acoustiques datent du milieu du XVII^{ème} siècle. Il s'agit alors d'objets à la forme de trompettes de cornes ou d'entonnoirs. Au début du XVII^{ème} siècle, on imagine réduire en taille ces objets souvent volumineux en les enroulant sur eux-mêmes. Mais c'est en 1757 que le Docteur Claude-Nicolas Le Cat invente réellement la toute première aide auditive « brevetée » : le cornet acoustique (Fig. 36). Il imagine un cornet replié sur lui-même fait en métal poli recouvert de cuir très fin. Cette première prothèse permet d'amplifier le son d'environ 15dB.



Fig. 36 : Le cornet acoustique

De la même façon d'autres instruments ont été créés et miniaturisés à partir du principe du cornet acoustique : « le tube conversationnel », « l'éventail acoustique » ou « les bandeaux acoustiques » (Fig. 37).

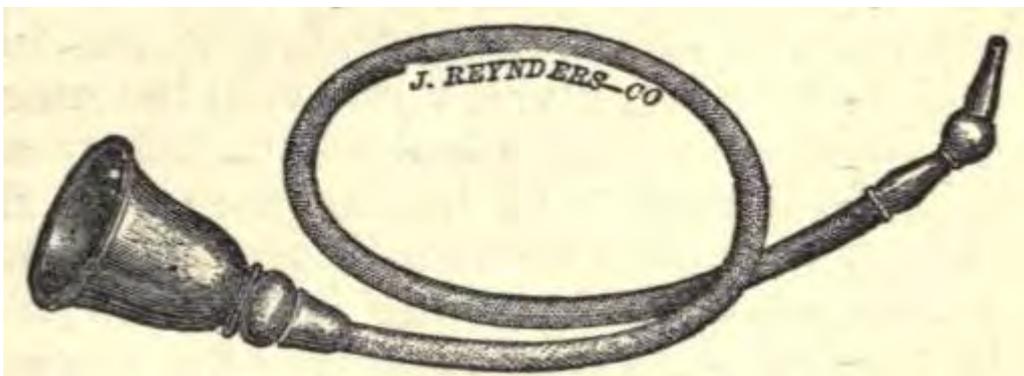


Fig. 37 : Un bandeau acoustique (en haut à gauche), un éventail acoustique (en haut à droite) et un tube conversationnel (en bas)

En 1841, l'otologiste Harrison Curtis met au point le fauteuil auditif (Fig. 38). Comme son nom l'indique, c'est un fauteuil muni sur chaque accoudoir de deux "oreilles" qui captent les sons, et de deux tubes à air comprimé de chaque côté qui les amplifient. Ce système d'aide auditive n'a pas connu de grand développement en raison notamment de son encombrement.



Fig. 38 : Fauteuil acoustique du roi du Portugal Jean VI (1800)

L'ère de carbone (carbone era) :

Un appareil auditif de carbone, dans sa forme la plus simple, est constituée d'un microphone de carbone, d'un amplificateur de carbone, d'un récepteur magnétique et d'une batterie de 3 à 6 Volts pour le faire fonctionner. En 1899, Miller Reese Hutchinson créa l'AKOULLALION° (issu du grec « entendre » et « parler ») qui est une table puis son équivalent portable l'AKOUPHONE° qui deviendra l'ACOUSTICON° (Fig. 39). Ces appareils furent utilisés jusqu'aux années 1940 mais n'étaient efficaces que pour des surdités légères à modérées puisqu'ils n'apportaient un gain que de 20 à 30 dB maximum.



Fig. 39 : ACOUSTICON° (modèle de 1910)

L'ère des tubes électroniques ou à vide (vacuum era) :

Le tube électronique fait son apparition en 1907 et forme un composant électronique actif, composé d'électrodes placées dans le vide ou dans un gaz, isolées entre elles par ce milieu. En 1921, E.C. Hanson, s'inspirant du tube à vide de Flemming, invente le vactuphone (Fig. 40). C'est une petite valise équipée d'un microphone relié à l'oreille par un câble. En 1925 il est amélioré et devient le fortiphone. Encore très encombrant, il pèse environ 500 grammes mais tient dans la poche. La combinaison de plusieurs tubes électroniques permet une forte amplification pouvant aller jusqu'à 70 dB de gain maximum. Le plus gros problème avec les appareils auditifs à tubes électroniques est là encore leur encombrement car ces dispositifs nécessitent entre autres 2 batteries (une pour les filaments des tubes électroniques, l'autre pour alimenter les circuits des amplificateurs).



Fig. 40 : Vactuphone

Dès 1937, le modèle est miniaturisé par la société américaine SONOTONE° (Fig. 41). Il est beaucoup plus petit, et son efficacité s'est améliorée. Ce modèle qui subira par la suite de nombreuses améliorations techniques fut une telle révolution qu'il constitue aujourd'hui encore un mot à part entière de la langue française.



Fig. 41 : Publicité pour le SONOTONE°

-L'ère du transistor et des circuits intégrés (transistors and integrated circuits era)

En 1947, un composant électrique apparaît et révolutionne les prothèses auditives, le transistor. En 1952, il est commercialisé et il aura remplacé dès 1953 les tubes électroniques dans la quasi-totalité des appareils auditifs. Sa petite taille et surtout sa faible consommation électrique permettent rapidement de créer des appareils entièrement portés au niveau de la tête. Ceci représente plusieurs avantages : les vêtements n'interfèrent plus avec le microphone, le corps n'a plus d'effets sur la provenance des sons recueillis, il n'y a plus besoin de câbles, de vraies aides auditives binaurales sont possibles. Les premiers appareils apparaissent alors sous forme de barrettes à cheveux ou de lunettes (Fig. 42).



Fig. 42 : Prothèses auditives intégrées aux branches d'une paire de lunettes

Les contours d'oreilles se démocratisent par la suite en devenant la principale forme d'audioprothèse aux États-Unis et en Europe. Les intra-auriculaires font leur apparition en 1950. Deux évolutions technologiques sont à noter : l'apparition des circuits intégrés en 1964 et des microphones à gradient de pression en 1968 qui évoluèrent vers les microphones directionnels. Les premiers appareils intra-canaux apparurent en 1990, révolutionnant l'aide auditive en la rendant invisible.

-L'ère digitale (digital era)

Jusqu'en 1995, tous les appareils sont analogiques : un amplificateur analyse et traite les signaux électriques émis par le micro, il les envoie ensuite à l'écouteur. Les premières recherches en matière de technologie digitale commencèrent en 1960 au sein des laboratoires BELL. Mais il fallut attendre le développement des ordinateurs pour voir exploser cette technologie qui rend l'appareillage auditif beaucoup plus flexible et précis. En 1996, les premiers appareils auditifs entièrement digitaux sont commercialisés et ils représentent la totalité des appareils ce jour.

Les avantages de la technologie digitale sont :

- Une meilleure flexibilité et précision avec un contrôle accru des caractéristiques du traitement du signal
- Un traitement intelligent du gain selon la fréquence et le bruit environnant
- Un traitement intelligent du gain selon la localisation du son entrant
- Une augmentation des gains
- Une réduction des problèmes de rétroaction acoustique (feedback)
- Une diminution de la taille des batteries et par conséquent de l'audioprothèse elle-même
- La possibilité de transpositions fréquentielles
- Les connections automatiques aux autres appareils électroniques (téléphones, ordinateur, microphone déporté, coordination d'appareillage bilatéral, système CROS...)
- Des appareils auditifs intelligents qui apprennent et s'adaptent en fonction des conditions d'utilisation de leur propriétaire

Composition d'une audioprothèse moderne

La définition générale d'un appareil auditif est une chaîne électroacoustique miniaturisée, à l'usage des déficients auditifs, destinée à transformer un message sonore afin d'en améliorer la perception et l'intelligibilité.

Chaque appareil auditif est constitué d'éléments indispensables à son fonctionnement :

-Le ou les microphones : il s'agit d'un transducteur qui va transformer le signal acoustique en signal électrique. La forme d'onde du signal acoustique est alors la même que celle du signal électrique. Les microphones peuvent être omnidirectionnels ou directionnels selon qu'ils favorisent un signal sonore de l'environnement par rapport à un autre en fonction de sa provenance.

-Les amplificateurs : ces composés électroniques augmentent et traitent le signal entrant. Ils sont aussi responsables de l'écrouissage du signal, de la distorsion harmonique, de la compression.

-Les circuits digitaux : Microphones et amplificateurs sont issues de la technologie « analogue » où le voltage électrique est analogue à la pression acoustique du son incident. Depuis 1990, on a vu apparaître l'avènement de la technologie digitale qui équipe aujourd'hui la quasi-totalité des appareils auditifs. Des circuits digitaux sont nécessaires pour transformer le signal analogue en signal digital, c'est-à-dire une suite de 0 et de 1, et réciproquement. Entre ces 2 types de circuits, des processeurs numériques permettent divers traitements du signal et une mémoire interne permet de stocker les caractéristiques des réglages. (Fig. 43)

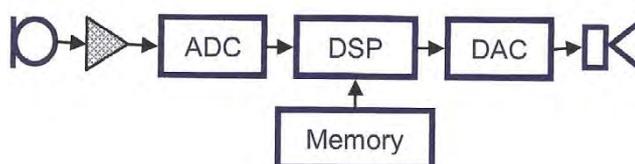


Fig. 43 : Composants basiques d'un appareil auditif digital

ADC: Analog-to-Digital Converter

DSP: Digital Signal Processor

DAC: Digital-to-Analog Converter

-Les filtres, égaliseurs et structures de filtres :

Un filtre en électronique est un circuit qui réalise une opération volontaire de mise en forme d'une grandeur électrique. Le filtre transforme l'histoire de cette grandeur d'entrée (c'est-à-dire ses valeurs successives sur une période de temps) en une grandeur de sortie. Le rôle du filtre est de faire varier le gain en fonction de la fréquence (passe-haut, passe-bas, passe-bande, coupe-bande).(Fig. 44).

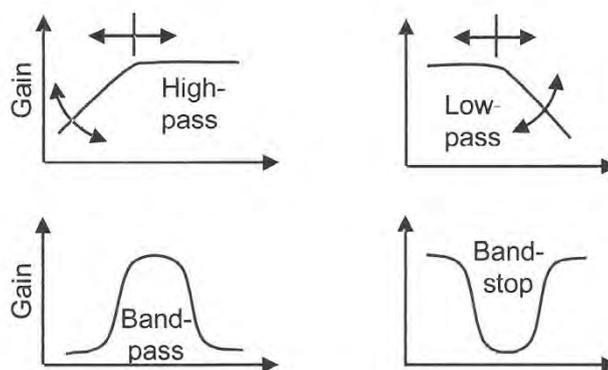


Fig. 44 : Réponse gain/fréquence de différents types de filtres (passe-haut, passe-bas, passe-bande, stop-bande)

Les égaliseurs sont des filtres ajustables qui permettent de modifier le timbre d'un son. Les structures de filtres sont des assemblages de filtres. Ils peuvent être montés en série (Fig. 45) ou en parallèle (Fig. 46). Les montages en parallèles sont constitués de « bandes » ou plus communément de « canaux ».

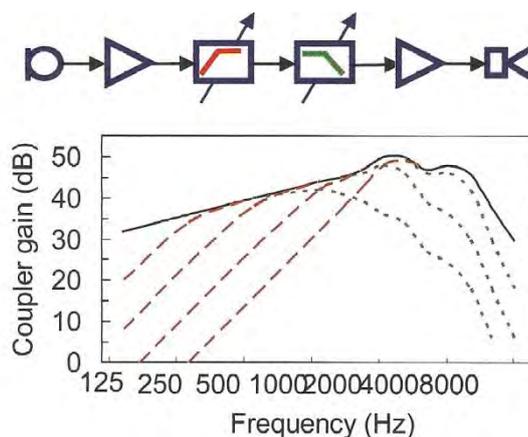


Fig. 45 : Diagramme de montage en série d'un appareil auditif

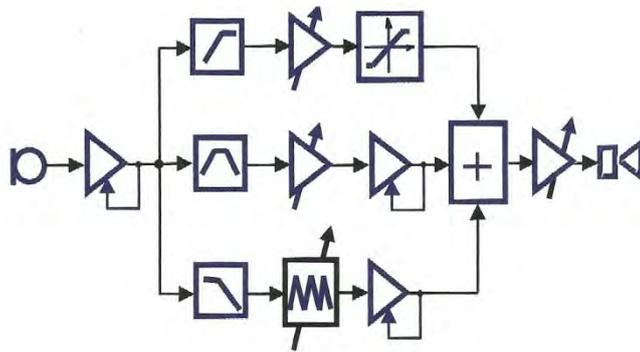


Fig. 46 : Diagramme de montage en parallèle d'un appareil auditif (3 canaux)

-Les écouteurs enfin convertissent le signal électrique en signal acoustique. Ils conditionnent le type d'appareil auditif selon leur position dans le schéma général de l'appareil.

-La batterie dont la taille et la puissance dépend majoritairement de la consommation des éléments cités plus hauts.

Une vision schématique des principaux constituants d'une audioprothèse moderne est représentée en Figure 47.

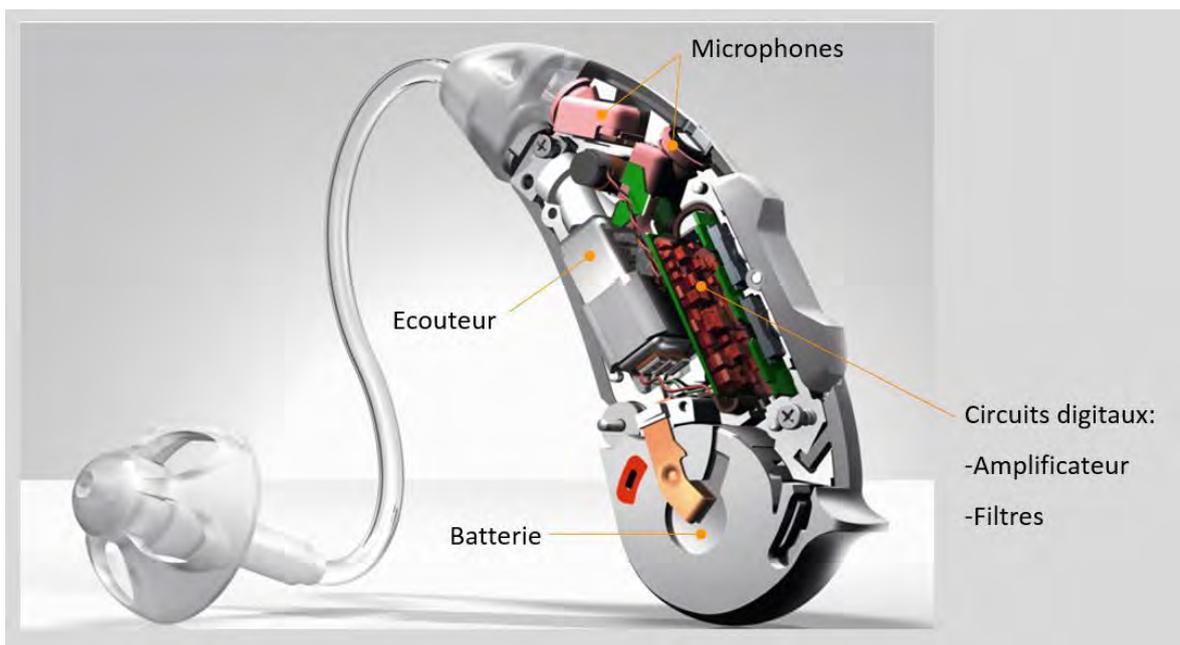


Fig. 47 : Composants principaux d'un appareil auditif

Les spécifications techniques des appareils digitaux comprennent :

- Le nombre d'instructions par seconde en MIPS (Million d'Instructions Par Seconde).
- Le taux, ou fréquence, d'échantillonnage est le nombre de fois par seconde que l'appareil prélève les valeurs d'un signal entrant.
- Le nombre de bits. Plus il est élevé, moins il y aura de « bruit » ajouté au signal entrant.

- La consommation électrique qui retentit directement sur l'autonomie, la taille des batteries et l'apparence de l'audioprothèse.
- Le délai de traitement entre le signal entrant et sortant.

Les différents types d'audioprothèses

Les audioprothèses peuvent être catégorisées de différentes manières. La plus simple est certainement de les classer en fonction de l'endroit où ils sont portés (Fig. 48).

- *Les « body aids »* sont les ancêtres des appareils auditifs actuels et ont complètement disparu. Ils peuvent être assimilés à de gros baladeurs MP3.
- *Les contours d'oreilles (BTE : Behind The Ear)*. Le microphone et les composants électroniques sont contenus dans le corps de l'appareil qui a grossièrement une forme de banane. Classiquement l'écouteur est également dans le corps et le son est transmis de façon acoustique par un tube et un embout standardisés ou personnalisés. Leur taille varie beaucoup selon les marques et les technologies, allant du contour d'oreille classique au mini-contour d'oreille. Ces appareils peuvent être regroupés sous le terme *RITA* pour *Receiver In The Aid*.
- *Les mini-contours d'oreille à écouteur déporté (RITE : Receiver In The Ear-canal)* sont basés sur le même principe mais leur écouteur est déporté dans le CAE. Dans ce cas, il ne s'agit pas d'un tube acoustique mais d'un canal électrique qui relie le corps et l'embout de l'appareil.
- *Les intra-auriculaires (ITE : In The Ear)* ou simplement "intras" représentent une autre forme d'appareillage où la totalité des éléments sont regroupés et positionnés dans le CAE. Il peut s'étendre légèrement en dehors du CAE (intra-conques) ou être exclusivement dans le conduit (5.2) on parle alors d'intra-auriculaires profonds (*ITC : In-The-Canal* ou *CIC : Completely-In-the-Canal* selon la profondeur et la taille).
- Les péri-tympaniques sont des CIC poussés à l'extrême. Certains modèles peuvent rester en place plusieurs mois voire années (LYRIC^o) (Fig. 49).



Fig. 48 : Les principaux types d'audioprothèses



Fig. 49 : Appareil auditif péritympanique (LYRIC®)

Les traitements du signal dans les appareils auditifs digitaux

Notions de base

Le gain d'un appareillage : il s'agit du ratio d'amplitude du signal sortant et du signal entrant.

$$\text{Gain} = \text{Signal sortant} / \text{Signal entrant}$$

Cette formule est valable pour les signaux électriques en Volts ou acoustiques en Pascal.

Concernant les signaux acoustiques exprimé en dB SPL, la formule du gain sera :

$$\text{Gain} = \text{Signal sortant} - \text{signal entrant}$$

Un amplificateur linéaire présente un gain constant pour un signal donné.

La représentation graphique du gain peut être un diagramme Entrée/Sortie (Fig. 50).

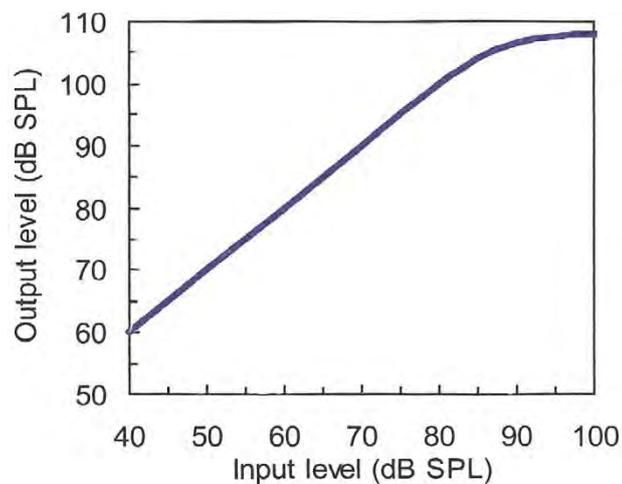


Fig. 50 : Diagramme entrée/sortie pour un signal donné d'un appareil auditif linéaire (gain constant à 20dB)

Le gain est systématiquement dépendant de la fréquence, y compris pour un appareil auditif linéaire, on pourra alors représenter le gain en fonction de la fréquence. Il s'agit de courbes dites "gain/fréquence" ou tout simplement "courbe de gain" (Fig. 51).

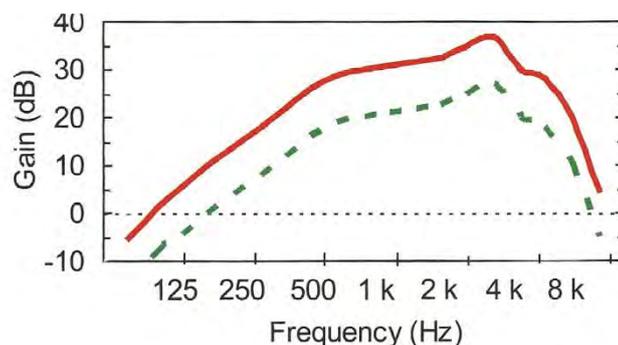


Fig. 51: Courbes gain/fréquence d'un appareil auditif linéaire à 2 réglages de volume (courbe rouge continue: volume maximum ; courbe verte discontinue: volume minimum)

Il est à noter que ces courbes sont adaptées aux amplificateurs linéaires. Pour les amplificateurs non linéaires, elles peuvent être réalisées à titre informatif mais la nature du signal entrant doit alors être spécifiée.

Le niveau de saturation de pression acoustique

Tous les appareils auditifs deviennent non-linéaires lorsque le signal entrant ou sortant excède un certain niveau. On voit clairement ce phénomène sur la figure 43 à partir de 80dB. Ceci est dû notamment au fait que le gain est limité par le voltage de la batterie qui alimente l'amplificateur. Mais il est parfois intéressant de limiter le signal sortant ne serait-ce que pour ne pas être délétère vis-à-vis des potentiels traumatismes sonores qui pourraient être infligés à l'utilisateur.

La plus grande valeur que l'appareillage peut produire est appelé le niveau de saturation de pression acoustique (Saturation Sound Pressure Level). Des termes approchants sont ceux de Maximum Power Output (MPO) ou encore de OSPL90 (Output Sound Pressure Level for a 90 dB input level). Le terme OSPL90 est particulièrement employé par les audioprothésistes car il reflète le comportement d'une audioprothèse exposée à un son de 90dB SPL ce qui est dans la quasi-totalité des cas suffisant à saturer l'appareil.

Les systèmes de compression

D'après Harvey Dillon [137], « la compression est comme la maternité : tout le monde s'entend pour dire qu'il s'agit d'une bonne chose mais il y a beaucoup de désaccords concernant la meilleure façon de la mener ».

Le rôle majeur de la compression est de diminuer le champ dynamique des signaux acoustiques extérieurs afin qu'il puisse être contenu dans la dynamique auditive du patient appareillé. En d'autres termes, cela signifie que les sons faibles doivent être plus amplifiés que les sons forts.

Ce mécanisme est effectué par des compresseurs qui ne sont rien d'autres que des amplificateurs qui adaptent leur gain selon la nature du signal qu'ils traitent.

Il y a différentes façons d'effectuer une compression. Dans la Figure 52 par exemple, le même résultat de réduction du champ dynamique peut être effectué de 3 façons différentes. Les images du haut représentent les différentes intensités du signal avant et après compression.

Les vignettes du bas traduisent la même relation dans une fonction entrée/sortie.

La compression correspond aux flèches rouges. Elle peut être affectée aux sons de faibles intensités (image de gauche) comme à ceux de forte intensité (image de droite). Le système du centre de la figure représente une application graduelle de la compression sur une large plage d'intensité de signaux entrants (Wide Dynamic Range Compression ou WDRC).

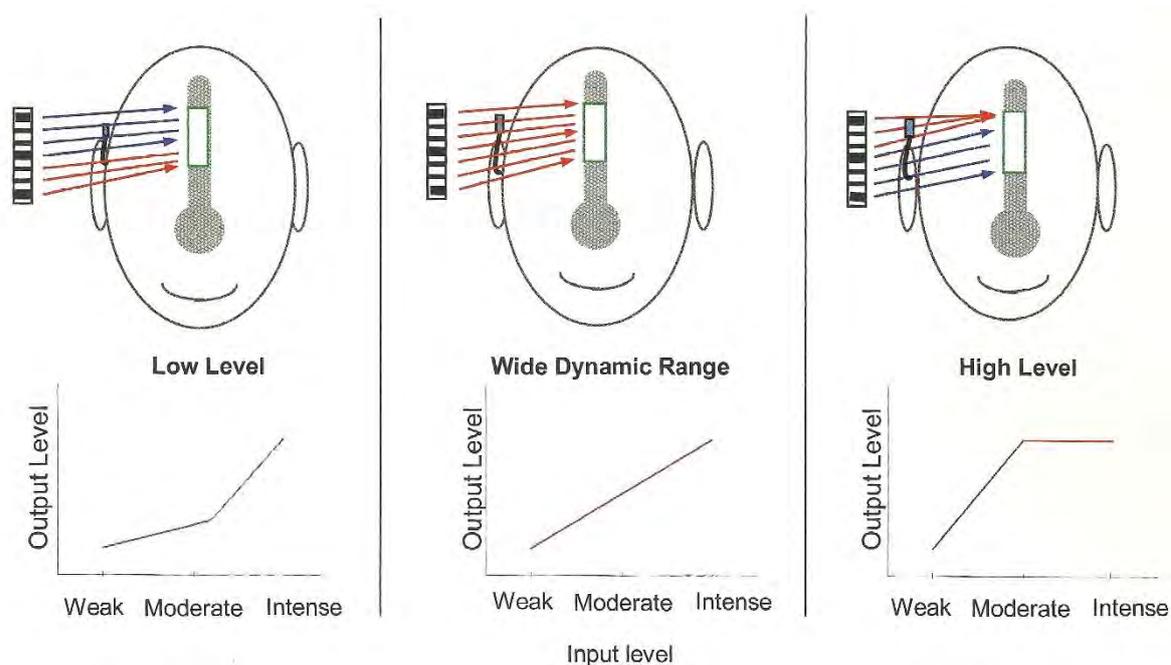


Fig. 52 : Différentes techniques de compression qui sont appliquées de gauche à droite aux sons faibles, à l'ensemble des sons (WDRC) ou aux sons forts

Il est intéressant de noter que la compression a été un succès commercial quel que soit la stratégie de compression.

Les caractéristiques de base d'un compresseur :

-Les *caractéristiques dynamiques du compresseur* : temps d'attaque et de relâche. Ces caractéristiques définissent la **rapidité d'action** du compresseur.

Le temps d'attaque est celui que met le compresseur pour réagir à une augmentation du signal entrant et le temps de relâche à une diminution de ce signal (Fig. 53).

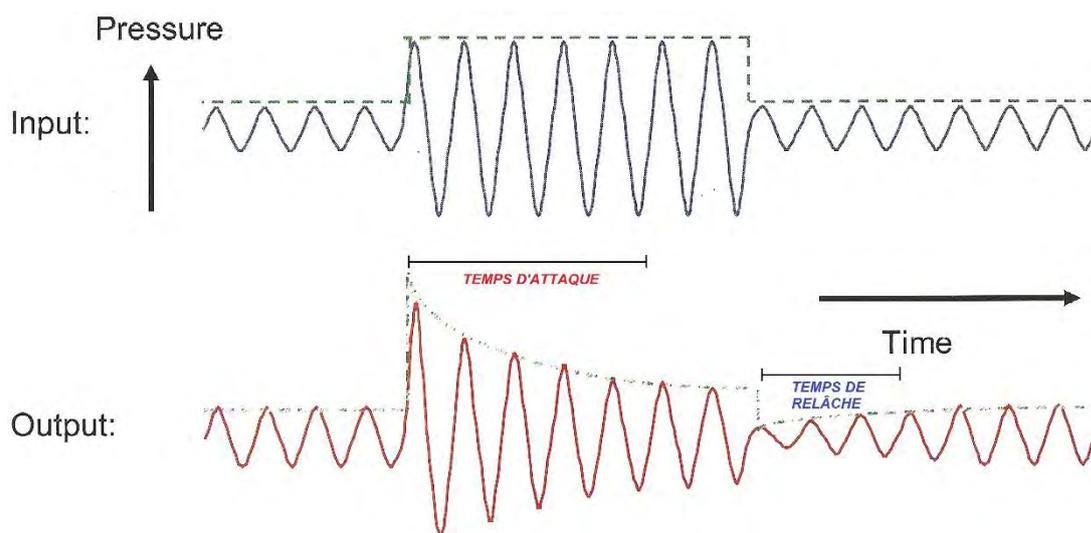


Fig. 53 : Caractéristiques dynamiques de la compression

Bien que les temps d'attaque et de relâche puissent être réglés sur des valeurs très courtes proches de zéro, les conséquences peuvent être indésirables. En effet des valeurs trop courtes entraînent des distorsions de l'enveloppe du signal. La difficulté du réglage de ces valeurs réside dans le fait que lorsqu'elles sont trop longues, elles n'entraînent quasiment aucune modification au signal entrant et que réglées trop courte, elles peuvent changer profondément l'identité des sons (Fig. 54). De nombreux appareils auditifs modernes possèdent des systèmes de réglages automatiques de ces paramètres en fonction du type de signal entrant. C'est le cas par exemple de l'ADRO : Adaptive Dynamic Range Optimization qui est aussi utilisé dans certains implants cochléaires.

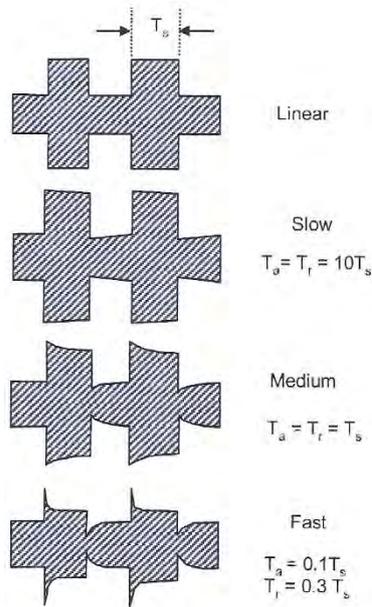


Fig. 54 : Envelopes d'un signal sortant d'un amplificateur linéaire (haut) et d'un amplificateur avec système de compression aux caractéristiques dynamiques (T_a = Temps d'attaque ; T_r = Temps de relâche) lentes, moyennes et rapides

-Les caractéristiques statiques du compresseur : elles définissent l'adaptation du gain en fonction du niveau d'intensité.

Les caractéristiques statiques sont définies pour des signaux suffisamment longs pour s'affranchir des temps d'attaque et de relâche. Le seuil à partir duquel le compresseur est opérant est appelé le *seuil de compression* (Fig. 55). Avant ce seuil l'amplification est linéaire, après ce seuil le gain diminue alors que le signal d'entrée augmente.

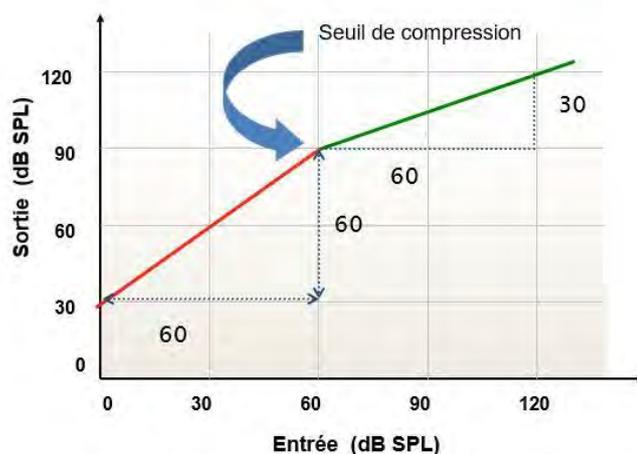


Fig. 55 : Seuil de compression de 60dB

Avant ce seuil (courbe rouge) l'amplification est linéaire
Après ce seuil (courbe verte) l'amplification est comprimée

Le *rapport de compression* est défini par l'augmentation nécessaire en dB du signal entrant pour augmenter d'1dB le signal sortant. Les rapports de compression allant de 1,5 : 1 à 3 : 1 sont les plus fréquemment utilisés dans les appareillages à WDRC (Fig. 56).

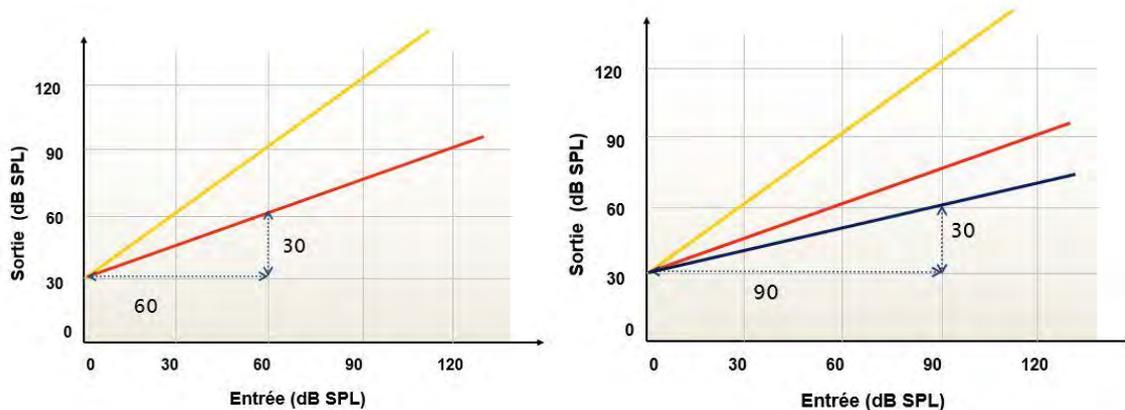


Fig. 56 : Différents rapports de compression (2 : 1 en rouge et 3 : 1 en bleu)

Un rapport de compression de 1 : 1 est donc considéré comme un amplificateur linéaire et les rapports de compression supérieurs à 8 : 1 sont considérés comme des limiteurs.

Enfin des rapports de compression de moins de 1 : 1 sont techniquement possibles mais rares. Il s'agit alors d'expandeurs de dynamique auditive qui sont peu utilisés dans les appareillages auditifs conventionnels des surdités.

-Le contrôle d'entrée ou de sortie

Comme nous l'avons vu, la compression commence à un certain seuil. Qu'en est-il si l'utilisateur ajuste le contrôle de volume de son appareil ? Tout dépend en réalité de la position du compresseur dans la chaîne du signal. Soit le compresseur est placé avant l'ajustement de volume et on parle alors de contrôle d'entrée ou de gain automatique de contrôle. Soit il est situé après l'ajustement de volume et on parle alors de contrôle de sortie (Fig. 57).

Les contrôles de volume, qu'ils soient placés en amont ou en aval du système de compression, ont tendance à contrecarrer les effets de la compression. Avec la popularisation de la WDRC, il est commun pour un appareillage auditif de ne plus avoir de contrôle de volume ce qui facilite la situation et le confort d'utilisation de l'utilisateur.

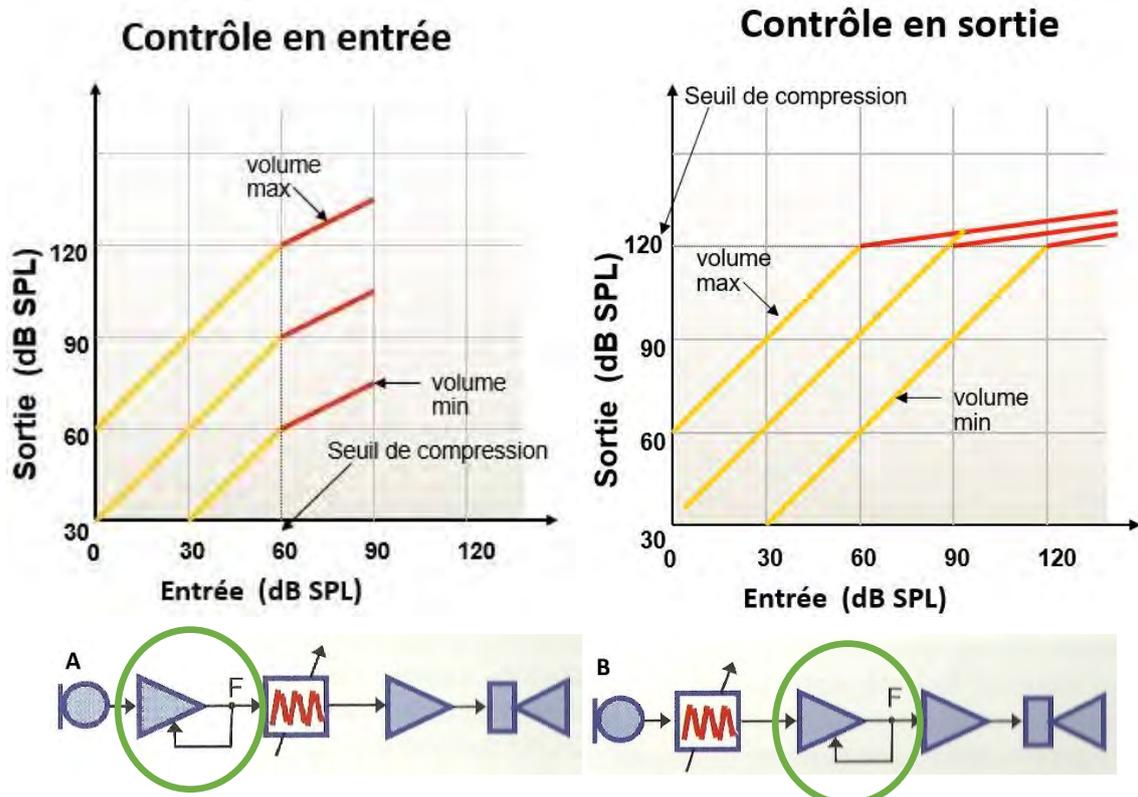


Fig. 57 : Compression en contrôle d'entrée (A) ou de sortie (B)

-La compression multicanal

Un appareil auditif multicanal divise le signal entrant selon différentes bandes de fréquence et chaque bande de signal passe à travers un système d'amplification (et donc de compression) différent (Fig. 58).

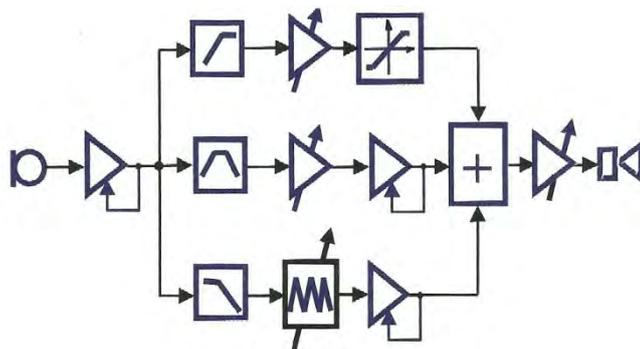


Fig. 58 : Compression multicanal

Les intérêts de tels appareils sont d'une part que la quantité de compression varie avec la perte auditive qui elle-même varie avec la fréquence. D'autre part, la quantité de compression varie avec l'intensité du signal entrant qui a plus d'énergie dans certaines fréquences que dans d'autres (notamment dans le bruit).

Les justifications de la compression

1) Limiter l'inconfort, les distorsions et les traumatismes sonores

Les raisons pour limiter le niveau sonore maximal qu'un appareillage auditif est capable de produire sont doubles. D'une part de trop fortes intensités peuvent être délétères pour l'oreille interne du sujet appareillé et d'autre part cela peut être particulièrement désagréable. Une des façons les plus simples de limiter l'OSPL90 est le « peak clipping » ou écrêtage. Cette méthode est néanmoins particulièrement pourvoyeuse de distorsions et mal perçue par la plupart des patients appareillés. Un compresseur de type contrôle de sortie, avec un rapport d'au moins 8:1, un temps d'attaque rapide de moins de 15ms et un temps de relâche suffisamment rapide également pour éviter les masquages peut tout à fait accomplir le rôle de limiteur avec de meilleurs résultats fonctionnels que l'écrêtage (Fig. 59)

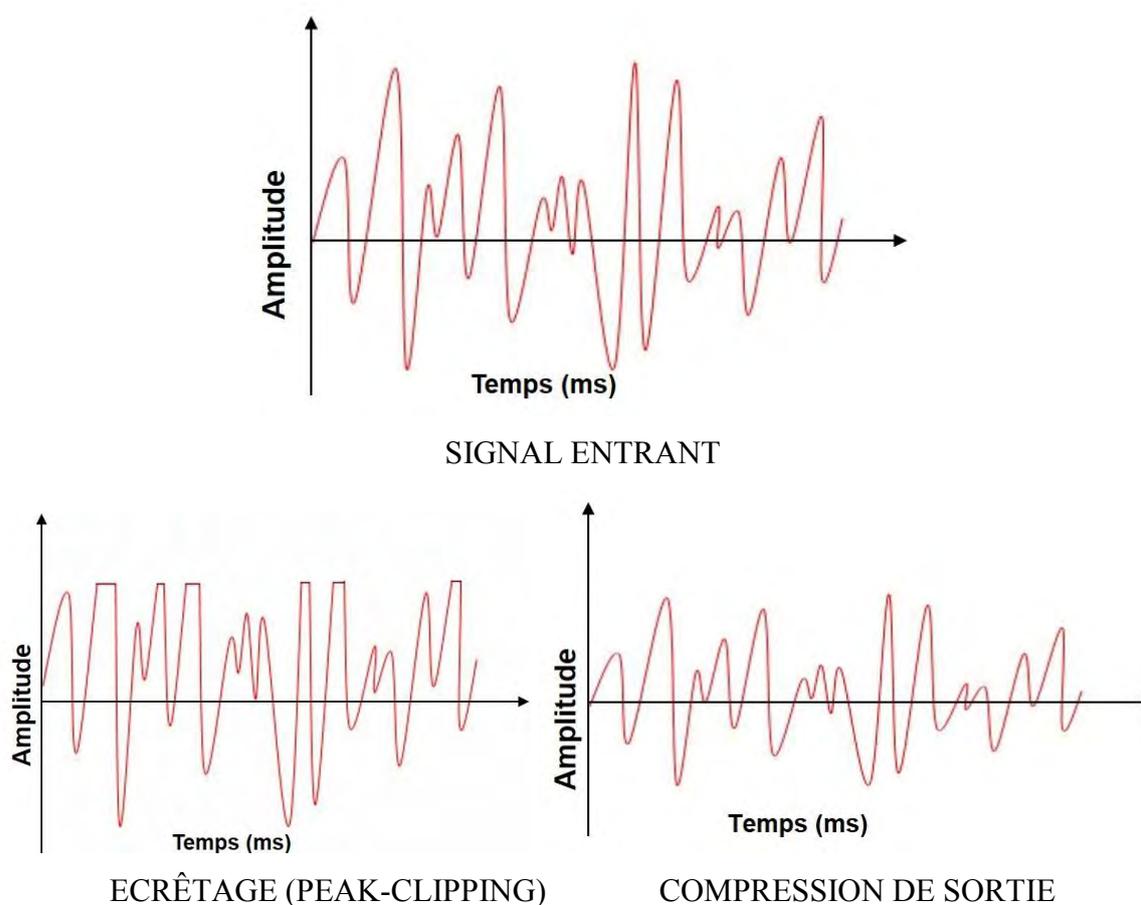


Fig. 59 : Limitation du OSPL90 par peak-clipping et compression de sortie

2) Atténuer les différences d'intensités inter-syllabiques et inter-phonémiques

Dans le cadre de la parole, certaines consonnes non voisées (p-t-f-s-k) peuvent dépasser de 30dB certaines voyelles douces (e-i-y). Pour certains patients avec une dynamique auditive extrêmement réduite, il peut être difficile de trouver des réglages stables permettant de supporter les consonnes non voisées tout en amplifiant suffisamment pour entendre les consonnes douces. Des compressions à contrôle d'entrée, à faible rapport et très faible taux d'attaque et de relâche peuvent alors être utiles (Fig. 60).

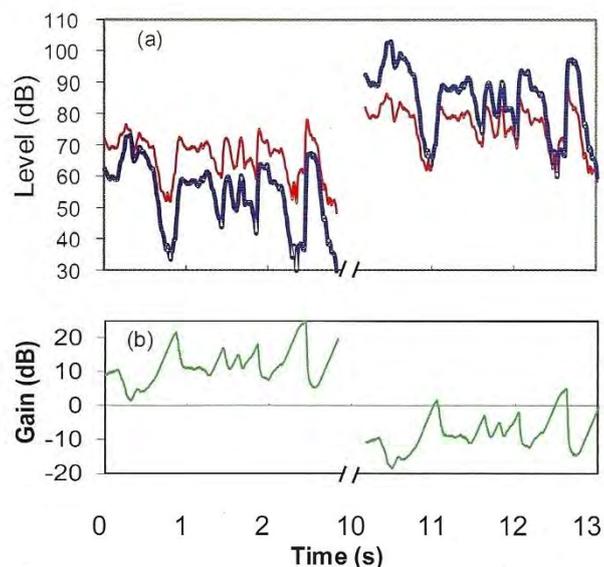


Fig. 60 : Compression d'action rapide

(a) L'enveloppe d'un phrase répétée 30dB plus intense est reportée sur la ligne bleue. La ligne rouge est le niveau de sortie d'une aide auditive avec une compression de 3:1 et des taux d'attaque de 20ms et de relâche de 200ms

(b) Représentation du gain appliqué par le compresseur

Il faut néanmoins être vigilant car bien que cette technique permette une amélioration de l'audibilité, elle peut diminuer l'intelligibilité en modifiant ces différences relatives d'intensité de sons au sein du discours. Un autre effet indésirable des compressions d'action rapide est le phénomène de pompage qui correspond à la variation d'intensité du bruit de fond. Lorsque ce dernier est moins fort que la parole, le compresseur aura tendance à diminuer le gain pendant la parole et augmenter le gain lorsqu'elle cesse créant une impression d'augmentation du bruit de fond entre 2 périodes de discours.

3) Le contrôle de volume automatique

Une alternative au point précédent est de diminuer la dynamique auditive au long sans changer les différences inter-syllabiques ou phonémiques. Ceci peut être effectué en

choisissant une compression à contrôle d'entrée avec des temps d'attaque et de relâche beaucoup plus longs que la durée habituelle d'une syllabe, soit plus de 100ms. Ce type de compression est appelé à juste titre le contrôle automatique de volume. Le rapport de compression optimal sera dépendant de la dynamique auditive et des préférences du patient. On préfère en effet de façon générale que les sons soient présentés à différents niveaux d'intensité en fonction du contexte et de l'humeur (Dillon : « Si le sifflement d'un train à vapeur à son entrée en gare et quelques mots doux chuchotés étaient perçus à la même intensité sonore, la vie serait bien moins intéressante »).

Le problème principal des compressions aux caractéristiques dynamiques lentes se manifeste en cas de variation brutale d'intensité sonore. Un son fort brutal présentera un gain initial important qui créera de l'inconfort et une diminution brutale d'intensité sonore sera initialement peu amplifiée ce qui risque d'engendrer une perte d'information (Fig. 61).

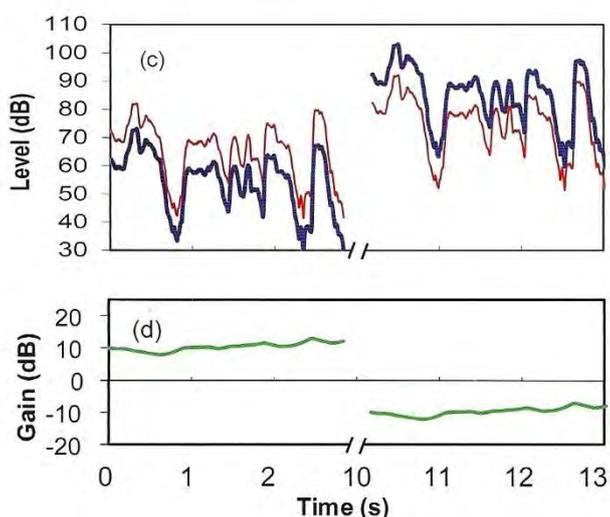


Fig. 61 : Compression d'action lente

(c) L'enveloppe d'une phrase répétée 30dB plus intense est reportée sur la ligne bleue. La ligne rouge est le niveau de sortie d'une aide auditive avec une compression de 3:1 et des taux d'attaque de 1000ms et de relâche de 2000ms

(d) Représentation du gain appliqué par le compresseur

Ce problème peut être minimisé en utilisant des temps d'attaque et de relâche adaptés. Certains appareils multicanaux ont des compressions d'action lentes différentes dans chaque canal pour pallier à ce problème et on trouve même des temps d'attaque et de relâche adaptatifs sur quelques appareils perfectionnés.

4) Augmenter le confort d'écoute

Outre limiter l'inconfort, des systèmes de compression ciblant les intensités moyennes et hautes sont réputés particulièrement agréables à l'usage. À noter qu'ils ne sont pas supposés améliorer l'intelligibilité mais seulement le confort d'écoute.

5) Normaliser la perception sonore

Le principe de la normalisation de perception sonore est simple : pour n'importe quelle intensité de signal entrant à n'importe quelle fréquence, l'appareil auditif « idéal » doit être en mesure de fournir le gain nécessaire et suffisant pour permettre à l'utilisateur de percevoir le son comme le percevrait un normo-entendant.

Les réglages doivent se baser sur les perceptions subjectives propres à chaque patient. L'échelle catégorique d'intensités sonores, basée sur 7 assertions, représente une façon simple et répandue pour aider les audioprothésistes à régler les paramètres de compression.

6) Maximiser l'intelligibilité

Des compressions multicanaux peuvent être utilisées et adaptées à chaque bande fréquentielle en fonction de l'audition du patient. Les résultats sur l'intelligibilité sont théoriques mais souvent inégaux en pratique.

7) Réduire le bruit de fond

Le bruit de fond représente le problème numéro 1 de la plupart des porteurs d'audioprothèses.

Les principales caractéristiques du bruit de fond sont les suivantes :

- L'enveloppe du bruit de fond prédomine la plupart du temps sur des fréquences plus graves (liées à la réverbération, à la diffraction et à la distance des sons émis) que celles de la parole.
- Ces basses fréquences du bruit de fond participent le plus à l'intensité du bruit.
- Les basses fréquences de la parole sont alors les plus susceptibles d'être masquées par le bruit de fond.
- Le phénomène de propagation du masquage vers les hautes fréquences (cf. Fig. 32) peut faire que le bruit de fond masque aussi les hautes fréquences de la parole.
- Le Signal-Noise-Ratio (SNR) diminue au fur et à mesure que la pression acoustique du signal dans l'environnement diminue.

Une compression axée sur les fréquences basses sources de gêne, aussi connue sous le nom de déconvolution de Wiener, peut alors être utilisée.

Le SNR à un instant et à une fréquence donnés est inchangé puisque la compression applique le même gain au signal et au bruit. Le bénéfice de la compression réside alors dans la

diminution de l'intensité et de la gêne du bruit d'une part et dans la suppression du phénomène de propagation du masquage vers les fréquences plus aigües. Cela est d'autant plus efficace que le spectre du bruit de fond est différent de celui du signal. Il faut néanmoins noter que dans le cas où le bruit de fond possède un spectre similaire au signal (cocktail party) la compression ne sera d'aucun recours.

Les combinaisons de compresseurs dans les appareils digitaux modernes multicanaux offrent les meilleures performances. Les bénéfices de la compression sont sans nul doute importants mais des recherches ultérieures sont encore nécessaires pour améliorer ces technologies complexes dans les conditions de la vie réelle.

Les microphones directionnels

Il n'y a que 2 véritables moyens à ce jour d'améliorer la compréhension dans le bruit :

-Le premier est d'approcher le microphone de l'audioprothèse le plus proche de la source en question ce qui aura pour effet d'augmenter significativement le SNR. Malheureusement, se rapprocher de la source ou utiliser un microphone déporté n'est pas toujours faisable en pratique.

-L'autre solution est d'utiliser la technologie des microphones directionnels.

Il s'agit d'une technologie complexe qui nécessite dans tous les cas au moins 2 entrées microphoniques, qui peuvent être issues d'un seul microphone directionnel à plusieurs entrées (Fig. 62) ou de plusieurs microphones omnidirectionnels (Fig. 63).

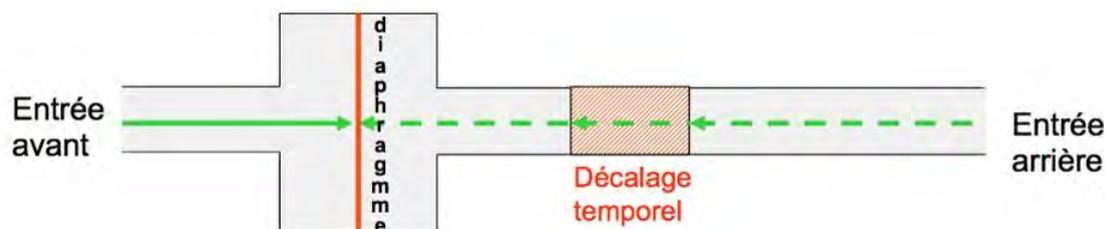


Fig. 62 : Microphone directionnel à 2 entrées

Association de 2 micros

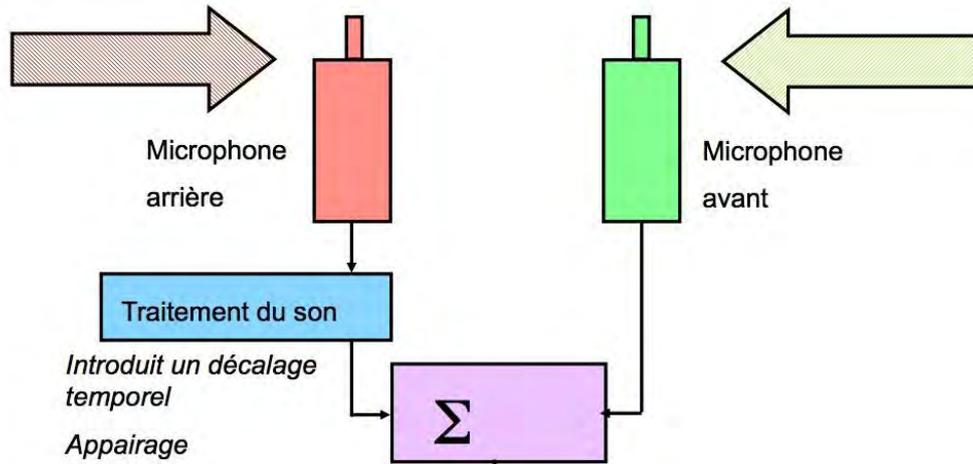


Fig. 63 : Combinaison de 2 microphones omnidirectionnels

Les microphones directionnels atténuent les sons venant d'une direction alors qu'ils amplifient ceux venant d'une autre direction. Le facteur de directivité est le ratio de la puissance de sortie du microphone d'une source venant d'en face par rapport à une source venant de n'importe quelle autre direction. L'index de directivité (DI) est l'équivalent en décibel de ce facteur. La représentation de la sensibilité directionnelle peut être représenté en 2 ou 3 dimensions (Fig. 64).

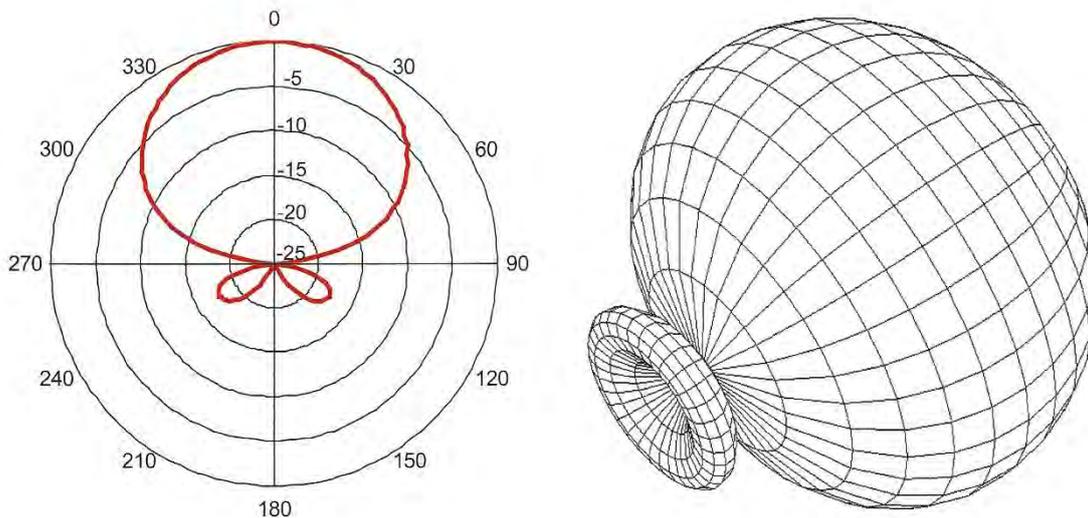


Fig. 64 : Représentation 2D et 3D de la sensibilité directionnelle d'un microphone

L'opposé d'un microphone directionnel est un microphone omnidirectionnel à une seule entrée dont le motif de sensibilité polaire est un cercle parfait. Il existe différents types de directivités selon les réglages administrés à l'audioprothèse pourvue de microphones directionnels (Fig. 65).

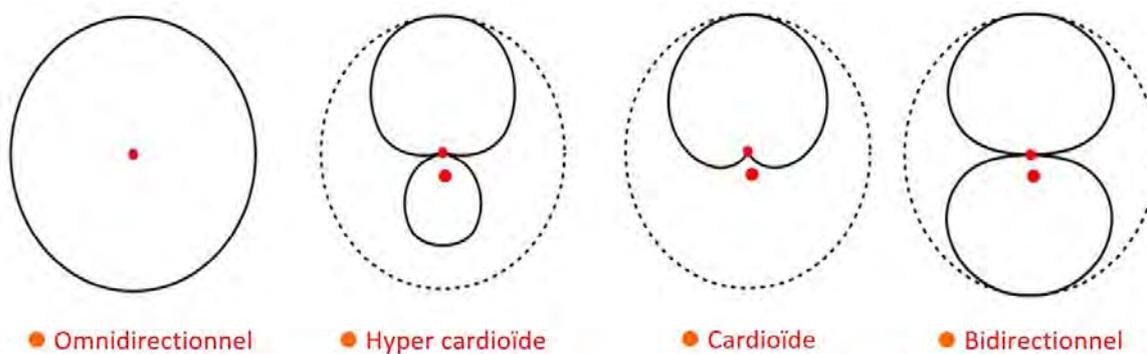


Figure 65 : Différents modèles de directivités des microphones directionnels

Les microphones directionnels soustractifs de premier ordre représentent la technologie la plus basique. Le principe consiste à retarder et soustraire les niveaux de sortie d'un microphone omnidirectionnel par rapport à un autre. Le délai interne entre les 2 microphones relatif à l'espacement entre ces microphones détermine en grande partie le motif de sensibilité polaire. Ce type de technologie est pourvoyeur de bruit interne.

Les microphones directionnels additifs créent une directivité en ajoutant les niveaux de sortie de 2 ou plus microphones omnidirectionnels. Cette technologie n'est pas pourvoyeuse de bruit interne mais, pour être efficace, suppose que les microphones soient suffisamment espacés. Cette technologie est donc plus adaptée aux accessoires, tels que les microphones déportés, qu'aux appareils auditifs en tant que tels.

Les microphones adaptatifs représentent une technologie plus complexe qui adapte la directivité en fonction du bruit environnant.

Les microphones directionnels sont particulièrement efficaces lorsque la source et/ou le bruit environnant sont proches, c'est à dire lorsque les phénomènes de réverbération sont moins importants (Fig. 66)

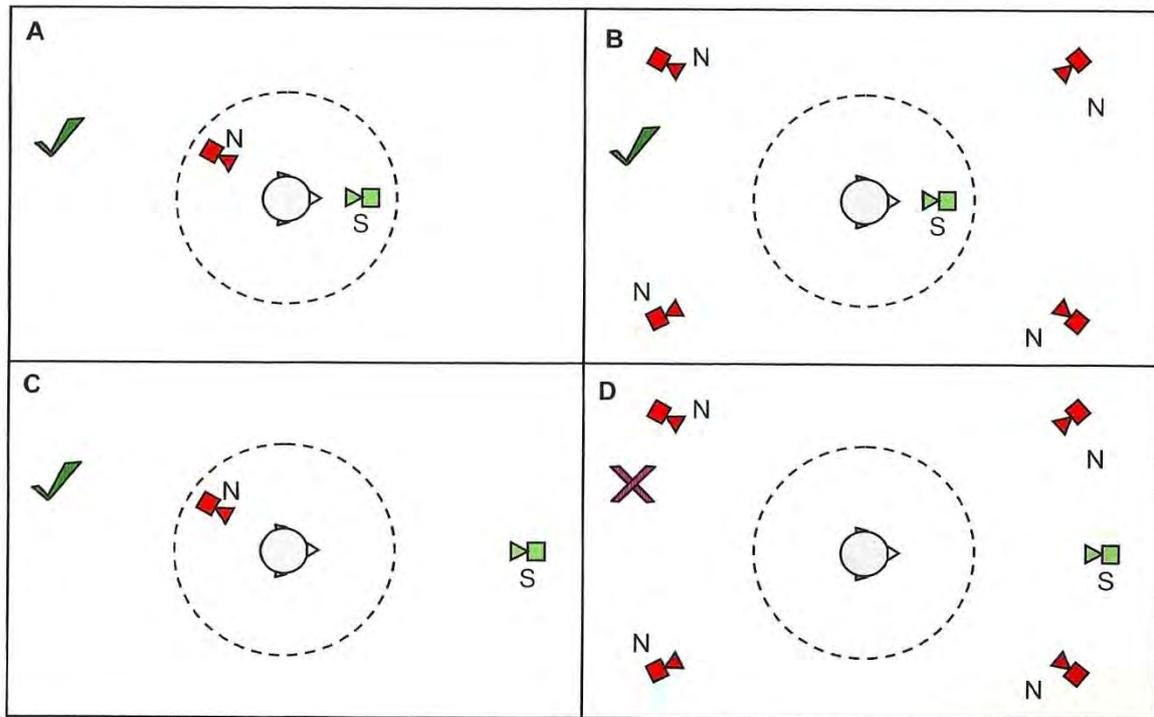


Fig. 66 : Quatre situations différentes de signal (S) dans le bruit (N)

Les situations A, B, C sont propices à l'utilisation des microphones directionnels alors qu'ils sont peu utiles dans la situation D

Dans le cas optimal d'une source frontale proche et d'un bruit environnant distant omnidirectionnel, sans réverbération, avec un appareillage à embouts fermés, l'amélioration du SNR approximera l'index de directivité en dB qui peut aller jusqu'à 4dB.

Les inconvénients des microphones multidirectionnels sont la désensibilisation à des sons désirables du côté et de l'arrière, l'augmentation du bruit interne dans les lieux silencieux, la diminution des capacités de localisation spatiale et l'augmentation de sensibilité au vent. Ces inconvénients peuvent être minimisés par une commutation manuelle ou automatique entre les modes omnidirectionnels et directionnels en fonction des situations. En pratique clinique, les bénéfices des microphones directionnels sont incontestables même s'il existe indéniablement des limites dans les conditions réelles d'utilisation.

De façon générale, toutes les audioprothèses sont candidates aux microphones multidirectionnels car tous les patients souffrant de surdité nécessitent un meilleur SNR pour la compréhension dans le bruit qu'un normo-entendant. Par expérience, les patients sont généralement satisfaits de tels dispositifs une fois qu'ils ont intégré le concept de "regarder quand ils veulent entendre".

Les systèmes avancés de traitement de signal

Ce chapitre traite des dernières avancées techniques, disponibles le plus souvent depuis quelques années, et de plus en plus performantes.

Les réducteurs de bruit adaptatifs

L'augmentation de l'intelligibilité par diminution du bruit ambiant grâce à un autre moyen que les microphones directionnels reste un des problèmes les plus cruciaux, équivalent à la « quadrature du cercle » du développement des nouveaux appareils auditifs. Levitt en 1997 exprimait que "notre connaissance du problème est si limitée que non seulement nous sommes incapables à ce jour de trouver une réelle solution mais que nous ne savons même pas s'il est seulement possible d'augmenter l'intelligibilité dans le bruit de façon significative".

La technologie de réduction de bruit ambiant a été créée dans le but de diminuer spécifiquement le gain du bruit par rapport à celui de la parole. Des détecteurs de bruit et de parole ont ainsi été imaginés en se basant sur l'enveloppe du signal. La parole présente des modulations d'amplitudes de l'ordre de 3 à 6 Hz, c'est à dire de l'ordre de la fréquence de production des syllabes et des mots, ce qui est peu fréquent pour le bruit ambiant. Des indices comme les bursts (éclats) variant entre des fréquences de 100Hz pour les hommes et 400Hz pour les femmes et les enfants sont d'autres indices que le signal perçu est de la parole. Des algorithmes de réduction de bruit tels la déconvolution de Wiener ou la soustraction spectrale constituent alors des outils au décryptage de la parole dans le bruit afin d'augmenter le signal sortant de l'une et de diminuer celui de l'autre.

La dynamique de traitement des réducteurs de bruit est aussi importante. Des temps de déclenchement et d'arrêt rapides auront ainsi l'avantage de diminuer le bruit entre les mots et les syllabes mais créeront des distorsions de la parole en contrepartie.

Les bénéfices théoriques des systèmes de réduction adaptative du bruit sont l'amélioration du SNR ce qui n'est pas en pratique synonyme d'une amélioration de l'intelligibilité. Ces systèmes fonctionnent mieux lorsque le bruit est limité à une bande fréquentielle étroite (moteur d'une voiture par exemple) et il existe peu d'études sur les bruits à large bande fréquentielle. Ces systèmes sont par exemple peu performants dans le cas où le bruit est lui-même de la parole (cocktail party).

Les réducteurs de rétroaction acoustique (feedback)

La rétroaction acoustique, observée dès les débuts de la téléphonie est mieux connue sous son nom anglais « feedback » ou « Effet Larsen » du nom de l'homme qui la décrit Søren Absalon Larsen. Cet effet se produit lorsque l'émetteur amplifié et le récepteur d'un système audio sont placés à proximité l'un de l'autre. Le son émis par l'émetteur est capté par le récepteur qui le retransmet amplifié à l'émetteur (Fig. 67). Cette boucle produit un signal ondulatoire qui augmente progressivement en intensité jusqu'à atteindre les limites du matériel utilisé, avec le risque de l'endommager ou même de le détruire (Fig. 68).

Les facteurs qui favorisent la rétroaction acoustique sont : les bouchons de cérumen, les défauts d'étanchéité de l'embout, une mauvaise mise en place de l'embout, une aération par événements trop importante de l'embout, un gain de l'audioprothèse important

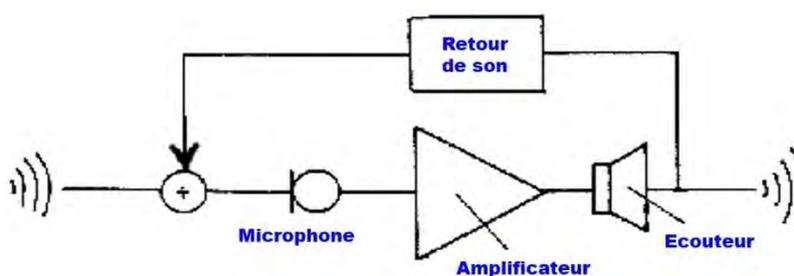


Fig. 67 : Schéma de la rétroaction acoustique (Effet Larsen)

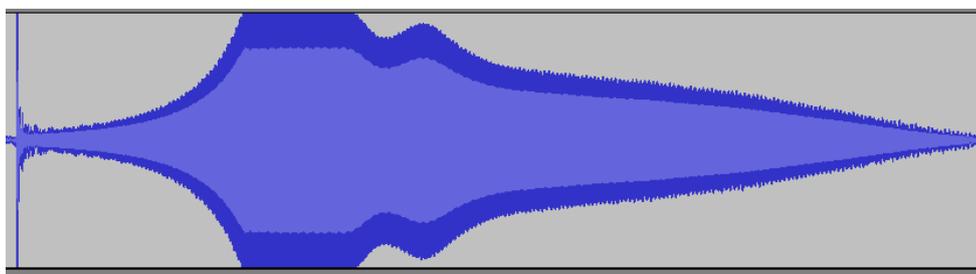


Fig. 68 : Représentation temporelle d'une rétroaction acoustique

Plusieurs méthodes ont été développées pour diminuer cet effet larsen inhérent aux audioprothèses. Il est à noter qu'aucune n'est en mesure de le supprimer totalement. Le contrôle de réponse gain/fréquence consiste simplement à diminuer le gain au niveau des fréquences en cause (Fig. 69). Cela suppose le plus souvent des appareils auditifs multicanaux et à filtres digitaux. Le principal problème est que les fréquences incriminées peuvent être variables et multiples. De plus cette technologie suppose une réduction de gain donc d'efficacité de l'appareil auditif, qui est cependant minimisée en cas de système adaptatif se déclenchant en cas de besoin seulement.

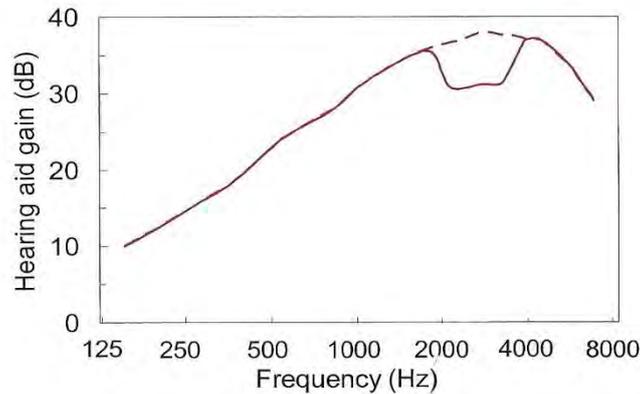


Fig. 69 : Contrôle de réponse gain/fréquence

D'autres systèmes plus sophistiqués comme l'opposition de phase consistent à créer une rétroaction acoustique opposée pour annuler la première (Fig. 70). Les nouveaux appareils auditifs disposent souvent d'une combinaison de ces technologies anti-larsen.

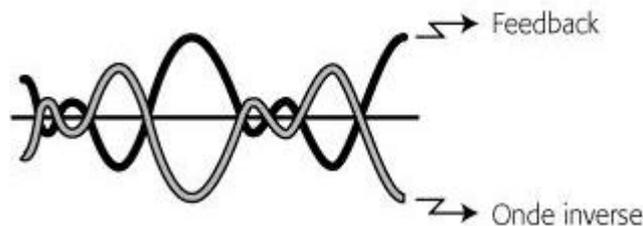


Fig. 70 : Réducteur de rétroaction acoustique par inversion de phase

Les décalages fréquentiels

Cette technologie est essentiellement adaptée aux surdités en pente de ski avec une perte importante des fréquences aigües.

Le principe est simple : permettre au malentendant de percevoir des stimulations sonores qui restent inaudibles malgré une amplification maximale. Pour ce faire, il est nécessaire de déplacer ou modifier ces mêmes stimulations dans une zone d'audibilité de façon à ce qu'elles puissent être perçues par le patient. Il existe 3 façons différentes d'arriver à ce résultat : la compression fréquentielle, la translation fréquentielle et la duplication fréquentielle.

Dans le premier cas, l'énergie présente dans les hautes fréquences est transférée par compression vers une zone fréquentielle inférieure. Cette technique fait appel à une fréquence de coupure, c'est-à-dire qu'en dessous de cette fréquence, le signal reste inchangé et qu'au-dessus de celle-ci, tous les signaux sont compressés. Avec la compression fréquentielle, le signal est restitué dans son intégralité, tout en respectant l'ordre des fréquences sur une bande fréquentielle plus étroite (Fig. 71)

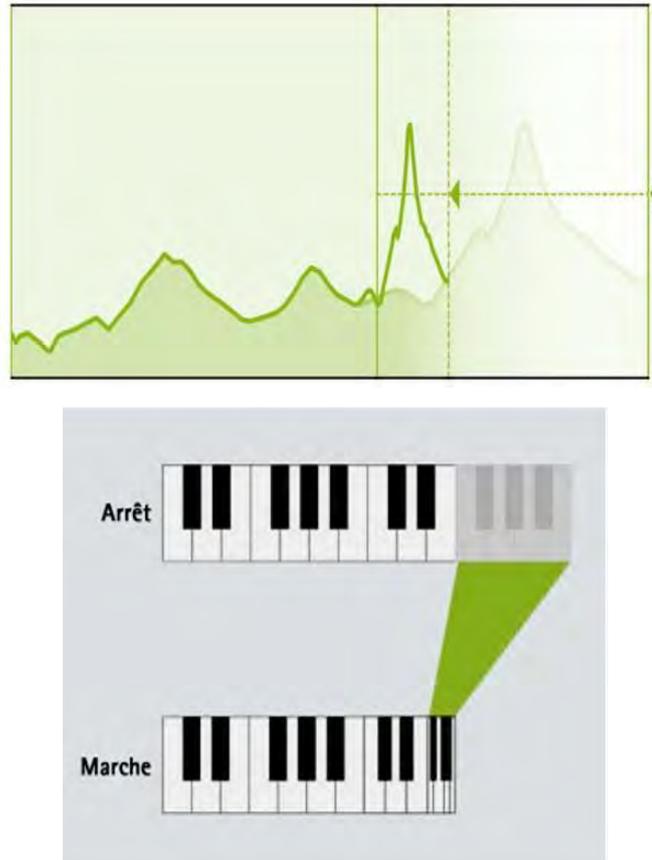


Fig. 71 : La compression fréquentielle

La transposition fréquentielle c'est « un changement de tonalité sans pour autant modifier les aspects mélodiques, rythmiques et de nuance ». Les fréquences aiguës vont être transférées dans une plage fréquentielle plus basse. Elles viennent alors chevaucher certains sons de fréquences graves existants (Fig. 72).

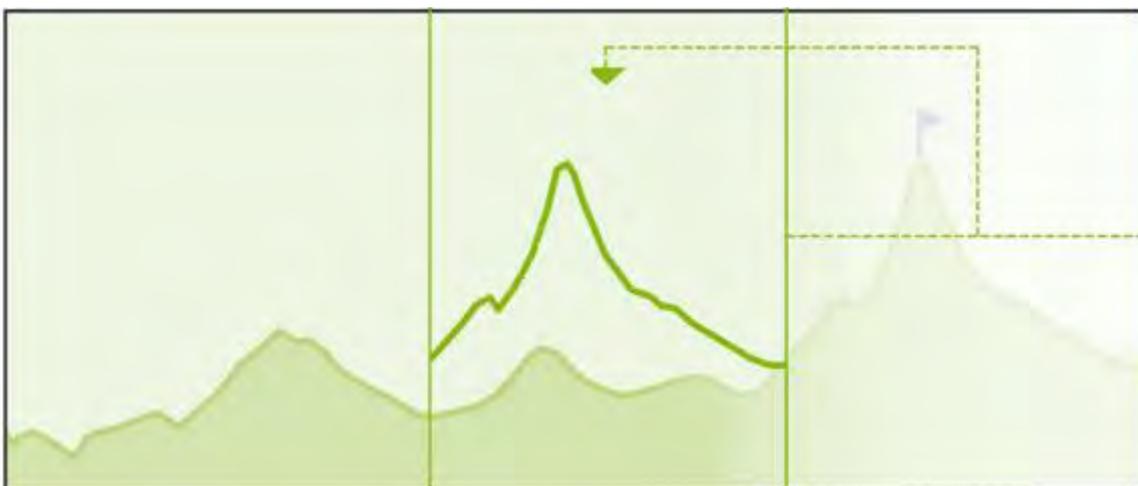


Fig. 72 : La transposition fréquentielle

La duplication fréquentielle est basée sur une technique « Fonction d'Identification Spectrale » qui enregistre le signal d'entrée dans l'aide auditive. Cette dernière identifie et classe les caractéristiques acoustiques dans les hautes fréquences et traite le signal pour le reproduire à une fréquence plus grave dans la zone d'audition du patient. Il y a alors une reproduction réelle des indices vocaux aigus ce qui permet la limitation de la distorsion.

L'amélioration des indices de la parole (speech cue enhancement)

Ce traitement fonctionne par algorithmes qui sont sensés reconnaître et renforcer les caractéristiques spectrales de la parole (Fig. 73).

L'intérêt en pratique de ces traitements de signaux reste limité.

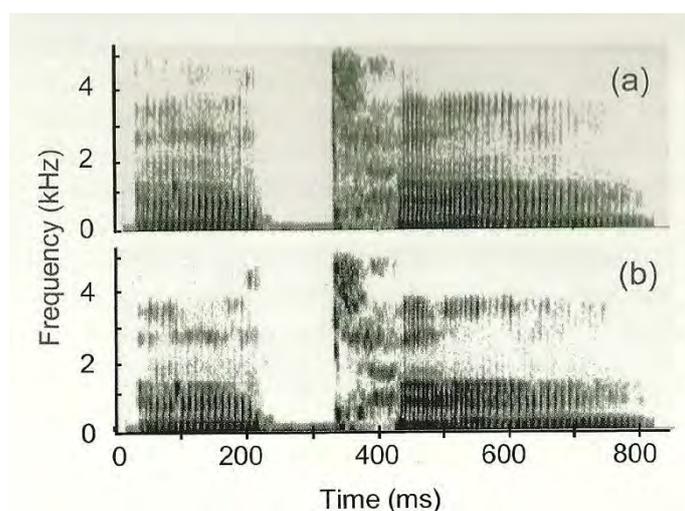


Fig. 73 : Spectrogramme de la syllabe « ata »

(a) Sans amélioration des indices de la parole

(b) Avec amélioration des indices de la parole : les formants sont mieux dessinés

Autres traitements du signal

De nombreux autres traitements du signal sont en développement tels la dé-réverbération avec réduction de l'écho, la classification des environnements, la détection automatique du téléphone, l'enregistrement des données en vue d'une ré-exploitation ultérieure...en bref l'évolution vers des appareils auditifs de plus en plus "intelligents" et interconnectés (Fig. 74).



Fig. 74 : Multiplicité des accessoires numériques en interconnexion avec les audioprothèses modernes

La réhabilitation audioprothétique des surdités

Appareiller ou ne pas appareiller telle est la question ?

("To fit or not to fit : that is the question ?")

La prévalence de l'hypoacousie dans la population générale adulte est importante, 10 à 16% selon les études.

Pourtant la plupart des patients souffrant de surdité ne font pas l'acquisition d'audioprothèses et seulement un quart de ces patients toutes surdités confondues sont appareillés : c'est ce qu'on appelle le taux de pénétration de l'appareillage. Ce taux augmente à 50% pour les surdités de plus de 40dB en moyenne.

Les patients plus âgés sont plus susceptibles de se faire appareiller que les plus jeunes. Pourtant les besoins auditifs des patients jeunes semblent plus importants.

Enfin, la position vis-à-vis du financement de l'audioprothèse des différents gouvernements en fonction du pays que l'on considère est également un facteur majeur décisionnel dans le choix du patient malentendant de se faire appareiller.

2 questions sont primordiales quand on se demande si un patient PEUT et DOIT se faire appareiller :

- Le patient est-il suffisamment sourd pour bénéficier d'une audioprothèse ?
- Le patient est-il trop sourd pour bénéficier d'une audioprothèse ? Ou en d'autres termes, le patient bénéficiera-t-il plus d'une audioprothèse conventionnelle ou d'un autre type d'aide auditive (implant à ancrage osseux, implant cochléaire, aide tactile...).

La première question semble facile et pourtant elle ne peut être déduite simplement de l'audiogramme. Une approche purement quantitative pour tenter de répondre à cette question est impossible en raison du trop grand nombre de facteurs entrant en jeu : seuils auditifs, âge, difficultés auto-reportées, niveau d'éducation, performances cognitives, performances visuelles, santé générale, taille de l'appareillage auditif externe et sa manipulation, réaction au bruit de fond, attentes du patient concernant l'appareillage auditif.

Étudions un par un les différents facteurs qui peuvent influencer sur l'appareillage et nous aider à savoir quel patient va bénéficier de son appareillage et quel autre n'en retirera que peu de bénéfice.

-Attitude et motivation :

C'est probablement le facteur le plus important. Il découle de la prise de conscience du patient de sa propre surdité, de ses limitations d'activités liées à la surdité, des conséquences de sa surdité dans sa vie quotidienne, de la perception qu'il a de soi-même vis à vis de sa surdité, de ses attentes, de sa peur ou incertitude vis à vis de l'appareillage et du rapport bénéfice attendu / coût.

Saunders (1997) propose 2 questions clés à poser à un patient candidat à un appareillage auditif :

- Qu'est-ce qui vous a amené à faire ce test auditif ?
- Qu'attendez-vous de cet entretien ?

La première question recherche les difficultés liées à la surdité éprouvées par le patient ou la pression de ses proches. La seconde question cherche à savoir si le patient est dans une optique d'aide (par appareillage ou autre) vis-à-vis de sa surdité ou s'il est dans le déni et en attente d'une confortation sur le fait qu'il n'est pas sourd.

-La configuration de l'audiogramme

Des études ont montré que plus la surdité était importante (tout en restant appareillable), plus les patients avaient tendance à s'appareiller, à utiliser leurs appareils et à en tirer un bénéfice (Fig. 75).

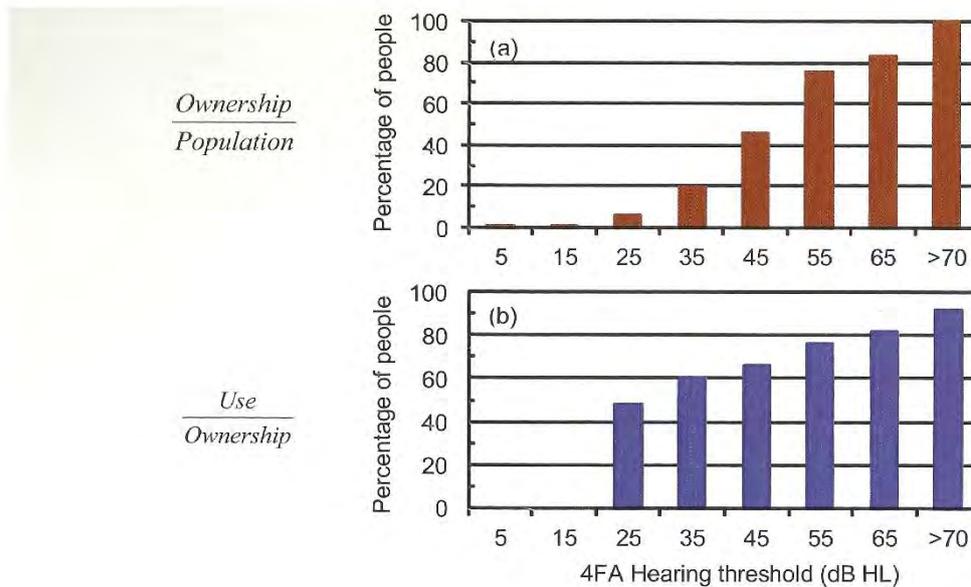


Fig. 75 : Proportion des propriétaires/population totale (a) et utilisateurs/propriétaires (b) d'audioprothèses selon le degré de surdité moyenne (250-4000Hz) [138]

Concernant le type de surdité, les pertes auditives en plateau sur l'audiogramme pourraient être un meilleur facteur pronostique de l'appareillage que les surdités en pente de ski [139, 140]. De la même façon, une perte de moins de 35dB sur les fréquences de 500, 1000 et 2000 Hz serait un facteur péjoratif du bénéfice d'un appareillage auditif [141]. Pourtant les études sont contradictoires sur ce point puisque certaines montrent que 85% des patients appareillés dans ces conditions seraient satisfaits à 6 mois [142]. Une autre étude aurait objectivé que lorsqu'on offrait un appareillage à des patients, les patients qui déclinaient l'offre n'étaient pas statistiquement les moins sourds [143].

Enfin les surdités de transmission pures ou mixtes seraient également plus susceptibles de bénéficier de l'appareillage que les surdités de perception [144].

Au final, bien que souvent considéré comme l'élément le plus pertinent pour décider d'un appareillage, l'audiogramme ne représenterait en réalité qu'un indicateur parmi bien d'autres pour juger de la candidature à un appareillage auditif. De plus, il serait plus judicieux de se focaliser non pas sur la meilleure oreille mais plutôt sur la plus mauvaise. Un audiogramme normal à lui seul peut par contre suffire pour indiquer que l'appareillage n'apportera vraisemblablement pas de bénéfice. À contrario, une surdité sévère à l'audiogramme orientera vers un probable bénéfice substantiel de l'appareillage.

- Tests de reconnaissance de la parole

Un patient avec un mauvais score de reconnaissance de la parole dans le silence constituera dans presque tous les cas un bon candidat à l'appareillage auditif [145]. Lorsque les

difficultés sont mises en évidence dans le bruit (c'est à dire un patient avec des Speech Reception Threshold in the noise (SRTn) élevés), le résultat n'est pas toujours aussi évident [146]. Ces tests étant très dépendants des conditions de mesure, ils restent peu standardisés et donc non validés pour évaluer à priori le bénéfice potentiel de l'appareillage.

- Auto-perception du handicap

Cet aspect constitue un bon indicateur : ceux qui bénéficient le plus de l'appareillage auditif sont systématiquement ceux qui sont initialement conscients de leur handicap auditif [145, 147]. Il est à noter qu'il peut exister une discordance entre l'audiogramme et cette auto-perception du handicap qui va être propre à chacun, d'où l'intérêt de réaliser dans certains cas des questionnaires pour avoir matière à discussion avec un patient qui se dit peu gêné avec pourtant une perte auditive conséquente à l'audiométrie. L'APHAB "avant appareillage" est alors un outil intéressant lorsque le patient affirme : "je ne suis pas suffisamment sourd pour avoir besoin de porter un appareil auditif" alors que son audiogramme est éloquent [148].

-La tolérance aux sons

Il existe un test simple pour évaluer le niveau de bruit acceptable par le patient (ANL : Acceptable Noise Level), c'est à dire la quantité de bruit de fond qu'il est prêt à accepter. Le test consiste à faire écouter un récit au patient et à lui faire déterminer le volume sonore d'écoute le plus confortable (MCL : Most Comfortable Level). On rajoute par la suite un bruit de fond à type de bavardages et on demande au patient de déterminer le niveau maximum du bruit de fond qui lui permet de suivre le récit (BNL : Background Noise Level).

Le niveau de bruit acceptable, qui est en fait le SNR le plus faible supporté par le patient, est alors déduit de la façon suivante :

$$\text{ANL} = \text{MCL} - \text{BNL} \text{ (en dB)}$$

Pour un ANL inférieur à 7dB, il y a de bonnes chances que le patient devienne un utilisateur de son audioprothèse "à temps plein". Pour un ANL supérieur à 13 dB par contre, il y a un risque important pour que le patient ne soit pas satisfait de son appareil et ne l'utilise que de façon sporadique[149]. Fait notable, l'ANL n'est ni lié au sexe (bien que l'homme semble avoir des MCL et BNL plus importants)[150], ni aux seuils auditifs ou d'inconfort[151]. Il est par contre faiblement associé à l'âge et aux scores d'intelligibilité dans le bruit[149]. Des études montrent que de faibles ANL sont associés à de plus faibles amplitudes des ondes V aux PEA sans altération des ondes I et III ce qui serait en faveur d'une sorte d'inhibition centrale plus développée[152].

-Attentes du patient et conditions d'écoutes

Dans le silence, les difficultés éprouvées par le patient viennent surtout de sa surdité (Fig. 76 vignette de gauche). Dans le bruit par contre, la gêne est plus liée au bruit ambiant qu'au degré de surdité (Fig. 76 vignette de droite).

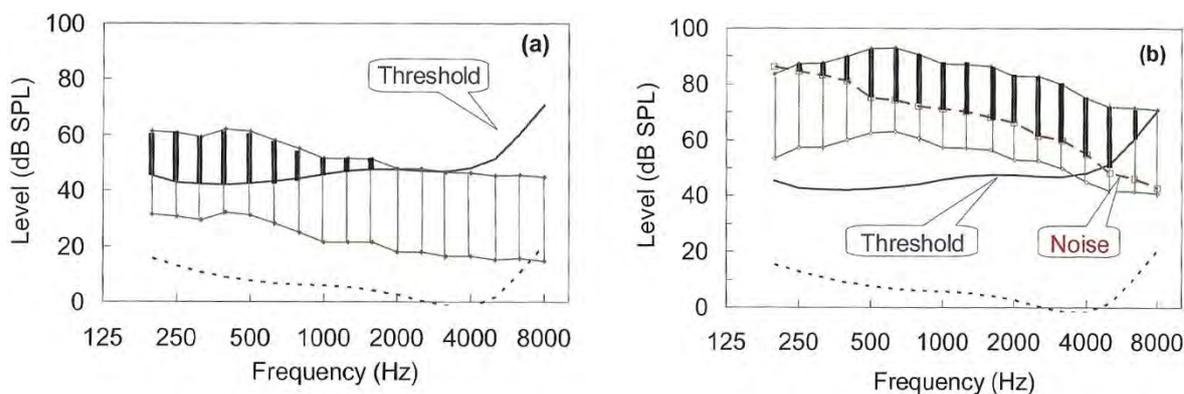


Fig. 76 : Représentation spectrale (a) de la parole à 55dB dans un milieu calme et (b) de la parole à 85dB dans un milieu bruyant

Les lignes verticales vertes/fines représentent la dynamique entre les plus faibles et les plus intenses indices de la parole perçus. La proportion de la parole audible par le patient est représentée par les lignes verticales noires/épaisses.

Personne n'a pu mettre de relation franche entre les attentes du patient et les résultats ressentis de l'appareillage. L'intérêt de l'interrogatoire reste cependant primordial et peut être aidé par certains questionnaires (COSI : Client Oriented Scale of Improvement) [153]. A noter également que plus un patient aura de contacts avec d'autres sujets, plus il sera susceptible de bénéficier de l'appareillage [140]. Un ermite passant son temps devant la TV ou la radio n'a clairement pas besoin d'appareillage auditif.

-Préoccupations esthétiques et peur de la stigmatisation

La peur de paraître plus que son âge reste très ancrée dans les préoccupations qu'engendre un appareillage auditif potentiel. Pourtant des études portant sur des photos ont montré que des personnes portant un appareillage auditif ne paraissent pas plus âgés et cela quel que soit l'âge [154]. Les patients appareillés semblent aussi avoir une meilleure image d'eux même que les patients partageant un même degré de surdité ne souhaitant pas se faire appareiller [155]. Le fait d'être appareillé améliore-t-il la confiance en soi ou est-ce que les patients les plus confiants sont davantage susceptibles de choisir l'appareillage ?

Les patients appareillés croient en tout cas que leur surdité est moins visible aux yeux des autres lorsqu'ils portent leur appareil [156].

La taille de l'appareil auditif semble aussi jouer un rôle, d'autant plus que le patient est jeune[157].

Ces préoccupations sont souvent inavouées et doivent être recherchées systématiquement à l'interrogatoire.

-La manipulation/gestion de l'appareil et l'âge

Cet aspect peut être rendu difficile par divers facteurs : arthrose digitale, déficience visuelle, maladies neuro-dégénératives, déficience cognitive...

De façon générale, la gestion et manipulation de l'appareil auditif est rendue difficile avec l'âge, notamment chez les patients très âgés. L'âge n'influe pas directement mais plutôt à travers les comorbidités précédemment citées qui sont alors plus fréquentes [158]. Ainsi, un patient appareillé avant l'âge de 70 ans a beaucoup plus de chance de devenir un utilisateur régulier qu'un patient débutant sa réhabilitation après l'âge de 80 ans[159, 160].

-La personnalité [161]

Certains traits de caractère sont plus propices à l'appareillage auditif. Les patients extrovertis, agréables d'abord ou avec un fort locus de contrôle interne rapporteront davantage de bénéfice d'un appareil auditif. Les patients névrotiques ou obsessionnels seront plus difficiles à contenter. Étonnamment, les patients ouverts d'esprits seront plutôt de mauvais candidats car leurs capacités d'adaptation vis-à-vis de leur surdité sont souvent étonnantes et peuvent pallier à l'appareillage auditif.

-Les surdités centrales

Des études ont montré que les pathologies auditives centrales diminuaient l'utilisation, les performances, le bénéfice et la satisfaction de l'appareillage auditif par rapport à une surdité périphérique [162, 163].

La personne, ou le côté atteint, sera particulièrement sensible aux différences de signal entre les 2 oreilles. Les études peuvent se révéler contradictoires à ce sujet ce qui est logique étant donné la diversité des pathologies en cause. La présence d'une composante centrale aux troubles auditifs ne doit donc en aucun cas être un frein à l'appareillage auditif si cela peut apporter un bénéfice, même minime, au patient[164].

-Les acouphènes

La présence d'un acouphène invalidant peut représenter une excellente indication d'appareillage auditif[164]. L'acouphène peut être masqué par la réapparition d'une information auditive apportée par l'appareil, notamment sur les fréquences aiguës[165]. Un bruiteur intégré à l'appareil réglé sur les fréquences proches de l'acouphène permet également d'effectuer une thérapie sonore d'excellente qualité (Tinnitus Retraining Therapy).

En résumé, voici quelques-uns de principaux facteurs qui peuvent se révéler comme des obstacles à l'appareillage auditif :

- L'absence de handicap perçu par le patient
 - La peur de la stigmatisation
 - Les préconceptions sur l'appareillage
 - L'acceptation passive de son handicap
 - L'attribution de ses difficultés aux autres
- Les renforcements négatifs par la famille, les amis, des professionnels de santé
 - Les difficultés de gestion/manipulation des appareils
 - Les troubles cognitifs
 - Les autres problèmes de santé
 - Les surdités légères
 - La forte sensibilité aux bruits
 - Le coût de l'appareillage

Les situations nécessitant dans tous les cas un recours préalable au médecin ORL :

- Surdités unilatérales brusques récentes
- Surdités rapidement progressives
 - Oalgies tenaces
 - Acouphène aigu ou unilatéral
- Surdité unilatérale ou asymétrie auditive
 - Vertiges
 - Céphalées
- Surdité de transmission d'origine inconnue
 - Otites externes ou moyennes chroniques
- Cérumen ou corps étranger dans le conduit auditif externe
- Atrésie ou malformation de l'oreille externe

L'évaluation de l'appareillage auditif

"On ne connaît bien que ce que l'on peut mesurer" (Lord Raleigh : prix Nobel de Physique (1904) et auteur de *The Theory of Sound* (1877))

Il existe plusieurs raisons d'évaluer la réhabilitation auditive apportée par un appareillage auditif :

- Faire progresser l'audioprothèse
- Savoir si l'on a suffisamment aidé un patient
- Prouver aux instances gouvernementales l'intérêt d'une telle prise en charge.

Les résultats recherchés, ou bénéfiques, sont une diminution des limitations d'activité, des restrictions sociales, de l'effort d'écoute, des conséquences émotionnelles de la surdité ainsi qu'une amélioration de la qualité de vie. Pour simplifier, le but principal est que les patients utilisent leur appareil auditif et en soient satisfaits.

Les tests de compréhension de la parole

On peut effectuer des prédictions grâce à des méthodes de calcul de l'index d'intelligibilité de la parole (Speech Intelligibility Index). Les prédictions se basent sur les scores auditifs du patient avant appareillage, du gain de l'appareil et des caractéristiques du bruit environnant dans les conditions du test [166]. Il suffit donc de comparer les scores obtenus par le patient à ces prédictions pour savoir si le résultat de l'appareillage peut être considéré comme acceptable (Fig. 77).

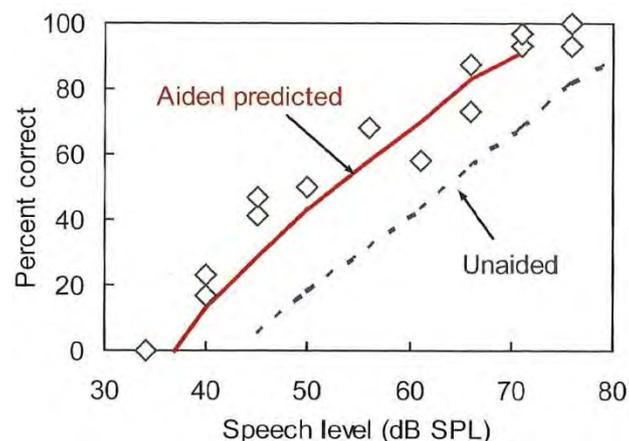


Fig. 77 : Performances vocales pour un sujet donné avec audioprothèse (losanges), sans audioprothèse (pointillés) et prédictions en fonction du gain (ligne rouge)

Ces tests présentent plusieurs avantages. Il s'agit d'un moyen particulièrement objectif d'évaluation de l'appareillage auditif qui permet d'apporter des "preuves" au patient sur le

bon fonctionnement de l'appareil. Plusieurs types de paroles ou environnements peuvent être testés afin de cibler les difficultés et guider un éventuel entraînement de perception de la parole personnalisé. Les limites des tests de compréhension de la parole sont dominées par les conditions de mesure, propres à chaque cabinet d'audioprothèse et souvent différentes des conditions d'écoute du patient dans la vie réelle. De plus ces tests ne prennent pas en compte les attentes du patient qui peuvent varier entre 2 sujets.

Les auto-questionnaires

Il existe 2 méthodologies aux questionnaires dans l'évaluation du bénéfice de l'appareillage auditif externe.

L'estimation directe du bénéfice peut être recherchée. C'est le cas du **Hearing Aid Performance Inventory (HAPI)** où l'apport de l'appareillage est notée de "Entrave" à "Très utile" pour différentes situations spécifiques de communication [167].

L'estimation des difficultés de communication selon les situations représente une autre forme d'approche par questionnaire. C'est le cas de l'**Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit (APHAB)** qui analyse les facilités de communication, la réverbération, le bruit ambiant et la gêne aux sons dans différentes situations d'écoute. L'administration de l'APHAB doit être effectuée avant et après appareillage [148]. Les applications de l'APHAB sont nombreuses et ce questionnaire est aussi bien utile pour guider l'appareillage que pour le suivi du patient appareillé. L'analyse fine des réponses aux différentes situations peut faire modifier les technologies nécessaires ou les réglages utiles au patient (microphones directionnels, compression). Les limitations de ce questionnaire sont surtout d'ordre cognitif, notamment chez les sujets âgés.

Des développements récents ont permis la création de questionnaires centrés sur les capacités binaurales, notamment le **Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale (SSQ)** [168]. Ce questionnaire est particulièrement adapté pour évaluer les bénéfices de la réhabilitation auditive des surdités unilatérales ou l'avantage de l'appareillage des 2 oreilles chez des patients sourds bilatéraux.

Les principaux problèmes soulevés par l'utilisation des questionnaires sont les réticences de certains patients ou de certains cliniciens. En effet, certains patients ne se reconnaîtront pas dans les situations exposées dans les questionnaires, ou alors auront du mal à appréhender les situations présentées. De la même façon, le manque de temps peut être un frein à l'utilisation des questionnaires en pratique audioprothétique courante.

L'idéal serait alors de réaliser un questionnaire propre à chaque patient dans le cadre d'une entrevue structurée. C'est l'objectif du **Client Oriented Scale of Improvement (COSI)**[153]

qui sera différent pour chaque patient puisqu'il est centré sur les situations spécifiques pour lesquelles le patient est demandeur de réhabilitation auditive. Ceci limite néanmoins son utilisation dans le cadre d'études par manque de standardisation.

Une méthode très simple d'évaluer la satisfaction du patient reste de lui demander à quel point il est satisfait de son appareillage, soit grâce à une échelle visuelle analogique de 0 (pas satisfait du tout) à 100 (totalement satisfait) ou de lui proposer quelques réponses stéréotypées (extrêmement satisfait ; satisfait ; indifférent ; insatisfait ; très insatisfait) [153]. Le questionnaire le plus complet pour évaluer l'efficacité de l'appareillage auditif externe reste peut être l'**International Outcomes Inventory for Hearing Aids (IOI-HA)** créé en 1999 par un groupe international de travail sur la question [169]. Il couvre tous les domaines d'intérêt mais présente pour principale limitation qu'il ne permet pas de comparaison avant/après appareillage et qu'il ne met pas en évidence les difficultés liées à l'appareillage.

L'évaluation des bénéfices en fonction du temps

Quand doit-on évaluer l'appareillage ? Le plus souvent reste le mieux mais cela reste difficile à réaliser en pratique courante.

Une évaluation précoce après le début de l'appareillage permet de régler les problèmes le plus rapidement possible. D'un autre côté, certains bénéfices mais aussi certains inconvénients de l'appareillage apparaissent avec le temps et une évaluation trop précoce risque de les minimiser. Berry parlait déjà en 1939 de "processus d'ajustement" qu'il estimait à quelques mois. En 1940, Watson et Knudsen rapportèrent une amélioration de l'audiométrie vocale de 40% dans les 3 mois qui suivaient l'appareillage. Ils appelèrent ce processus l'accommodation mais de nos jours nous utilisons plutôt le terme d'acclimatation [170, 171].

L'acclimatation est plus longue lorsque la perte auditive initiale est plus importante. Elle augmente également avec l'utilisation de traitements du signal non naturels. Elle sera par exemple plus importante pour une audioprothèse à compression multi-canaux que pour un système de gain linéaire [172]. Des études montrent que les patients améliorent leurs scores d'APHAB entre la deuxième semaine et le troisième mois d'appareillage [173]. D'un autre côté, on note un effet "lune de miel" qui engendre une satisfaction plus importante à 2 semaines qu'à 1 an d'utilisation [174]. L'acclimatation est bien entendu liée à la fréquence d'utilisation de l'appareillage et sera considérée comme optimale au-delà de 4 heures de portage de l'audioprothèse par jour [175].

Si l'on fait une synthèse des études sur le sujet, on peut estimer que le moment idéal, où l'acclimatation est en général atteinte, se situe autour de la 6^{ème} semaine d'appareillage. Il

semblerait qu'après cette période, les résultats des questionnaires d'évaluation restent stables. S'ils mettent en évidence des changements, il s'agirait alors plutôt de baisse de satisfaction avec le temps.

La réhabilitation auditive par audioprothèse semble au travers des études avoir un impact sur la qualité de vie en général et sur nombre de ses aspects :

- Diminution des états dépressifs [176, 177]
- Diminution de l'isolement social[176]
- Baisse de l'autonomie [176, 177]
- Baisse du taux de mortalité[176]
- Augmentation des fonctions cognitives[178]
- Augmentation de l'accès aux services de santé[179]
- Diminution d'autres aspects négatifs de la vie : colère, agitation, insécurité, détresse, paranoïa, fatigue, irritabilité, restriction d'activité, tristesse, chômage...

Il existe peu d'études randomisées sur l'appareillage auditif et la qualité de vie et elle se révèlent contradictoires[180, 181]. Des études transversales de grande envergure ont été menées en comparant les patients souffrant de surdité appareillés versus non appareillés. Le problème principal de ce type d'étude reste celui des facteurs de confusions : le fait de chercher à s'appareiller ne reflèterait-il pas à lui seul le signe d'une meilleure santé ?

Les questionnaires d'évaluation de la qualité de vie ne sont pas spécifiques à l'appareillage. L'utilité, dans le contexte de l'évaluation de la qualité de vie, décrit la proportion de parfaite santé qu'une personne peut présenter (1 représentant une santé parfaite et 0 le décès). Toute pathologie réduit l'utilité en partie et selon une étude, une personne en parfaite santé souffrant uniquement de surdité profonde aurait un score de 0.61 [182]. Des questionnaires génériques peuvent être utilisés tels que le **Medical Outcomes Study Short Form 36 (SF-36)**, le **Health Utilities Index Mark 3 (HUI3)** ou le **Glasgow Health Status Inventory (GHSI)**.

Les réglages d'une audioprothèse

La réhabilitation des surdités neurosensorielles

Les réglages d'une audioprothèse dépendent de 2 paramètres principaux : les conditions d'écoute (c'est à dire l'environnement dans lequel il est utilisé) et les préférences du patient. Établir un réglage optimal peut se révéler alors particulièrement complexe car ces 2 facteurs sont variables dans le temps. Dès lors, on peut supposer que le réglage audioprothétique optimal est une utopie et qu'il sera par définition imparfait. Avec l'avènement des nouvelles

technologies précédemment exposées, et notamment leur caractère adaptatif, il est désormais possible de tendre vers le réglage optimal.

Il existe 2 grandes procédures de prescription des réglages audioprothétiques correspondant à 2 approches différentes du problème :

L'approche normative qui consiste à déduire l'amplification et les réglages des seules caractéristiques auditives du patient.

L'approche évaluative qui consiste à essayer de façon empirique différents appareils auditifs et différentes amplifications jusqu'à trouver la combinaison idéale pour le patient. En pratique, cette méthode est impossible étant donnée la diversité des audioprothèses disponibles sur le marché et la complexité des réglages possibles.

De 1935 à nos jours, les audioprothésistes et ingénieurs se sont donc surtout employés à développer des procédures normatives basées sur les seuils auditifs et d'inconfort. Il est apparu que trouver une relation entre perte auditive et gain présentait un certain nombre de difficultés pour plusieurs raisons :

-La courbe optimale gain/fréquence est fortement dépendante du signal entrant (intensité, spectre...).

-La courbe optimale gain/fréquence dépend de facteurs difficiles à apprécier comme les perceptions supraliminaire, les capacités de résolution fréquentielle...

-La courbe optimale gain/fréquence dépend des "habitudes auditives" du patient dans les mois et les années qui ont précédé l'appareillage.

-La courbe optimale gain/fréquence n'est probablement pas unique, même pour un patient donné écoutant un discours donné à un moment donné selon que l'état d'esprit du patient est de maximiser l'intelligibilité, le confort, ou une autre caractéristique du son qu'il écoute (musique...).

Les premières revues détaillées de procédures normatives datent de 1983-1984 (Byrnes, Hawkins). De nos jours il existe des formules complexes, calculées par des logiciels, qui dépendent de la marque de l'audioprothèse et des habitudes de l'audioprothésiste. Mais au final, toutes les règles de prescription obéissent aux 3 mêmes buts :

- 1) Permettre la meilleure intelligibilité possible
- 2) Fournir une intensité sonore globale acceptable pour le patient
- 3) Offrir une qualité tonale préférée par le patient

Réglages des appareils auditifs linéaires

La courbe gain/fréquence est la même pour toutes les intensités de signal entrant à condition que le signal sortant ne dépasse les capacités techniques de l'appareil ou le niveau limite fixé. Il existe 3 principales procédures pour ces appareils : POGO (Prescription Of Gain and Output), NAL (National Acoustic Laboratories of Australia) et DSL (Desired Sensation Level). Nous ne décrivons pas les différentes formules de ces procédures qui restent du domaine du spécialiste audioprothésiste. Afin de choisir la meilleure approche, il convient néanmoins de prendre en compte les facteurs suivants :

-L'acclimatation et l'adaptation au gain. Il est classique que le patient présente une amélioration de la tolérance aux gains et préfère des gains plus importants avec le temps. Ce phénomène augmente avec l'intensité de la surdité et la durée de déprivation neuro-sensorielle.

-La notion d'intensité préférée. Il est courant que les patients appareillés préfèrent une intensité de confort sonore inférieure à celle des normo-entendants.

-Les zones inertes cochléaires. Certains patients présentent des lésions importantes sur certaines régions cochléaires. Trop amplifier ces régions risque de causer des stimulations adjacentes au niveau de l'organe de Corti et de dénaturer le signal[183].

-Le problème des hautes fréquences. Il n'existe pas de consensus sur l'amplification des hautes fréquences. En effet, les études montrent que les informations auditives restent utiles jusqu'à 10kHz mais également qu'elles sont moins bien appréhendées, même après amplification, avec l'augmentation de la surdité[184] (Fig. 73). Une amplification excessive des aigus peut alors diminuer l'intelligibilité mais surtout augmenter l'inconfort.

-La compression. Il est probable que les seuils de compression se doivent d'être en dessous ou au-dessus des seuils de production de la parole pour ne pas la dénaturer.

Réglages des appareils non linéaires

Les réglages de ces audioprothèses équivalent à définir différentes réponses gain/fréquence en fonction du signal entrant. Là aussi de nombreux algorithmes existent et sont choisis différemment en fonction de l'habitude de l'audioprothésiste et du type d'audioprothèse. Les nombreuses procédures sur le marché partagent le même but qui est la "normalisation" de l'intensité sonore mais présentent différentes stratégies pour y arriver. (Fig. 78)

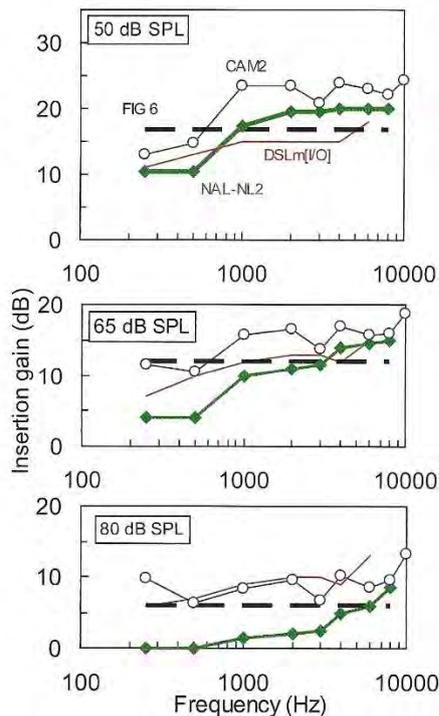


Fig. 78 : Représentation des courbes gain/fréquence à 3 niveaux de parole différents (50, 65 et 80 dB SPL) pour 4 différentes stratégies de codage

Prescrire le OSPL90

Le OSPL90 est une estimation du niveau maximum de sortie en dB SPL que l'audioprothèse peu fournir, équivalent à peu de chose près au Maximum Power Input (MPO). Le risque principal d'un mauvais réglage d'OSPL90 est de rendre l'appareil tout simplement insupportable. Les principes des réglages sont de limiter l'inconfort, les traumatismes sonores et les distorsions. Un OSPL90 ne doit donc pas être réglé trop haut au risque de ne pas répondre à ces principes. Parallèlement, un OSPL90 trop bas présente un certain nombre d'effets indésirables comme de diminuer l'intelligibilité, la qualité sonore et de limiter les sensations auditives. Le contrôle du OSPL90 peut être assumé par peak clipping ou compression (cf. Fig. 58). La compression est supérieure dans la majorité des surdités, le peak clipping est réservé aux surdités profondes avec des patients se plaignant que le son n'est pas assez amplifié.

La réhabilitation des surdités de transmission ou mixtes

Les caractéristiques de l'appareillage décrites précédemment sont principalement liées aux difficultés des réhabilitations des surdités de perception, comme la presbyacousie par exemple, qui constituent la majorité de surdités appareillées en France.

Théoriquement, une surdité de transmission pure présente un simple décalage (équivalent à l'importance de la surdité) des seuils d'audibilité absolus, des seuils de confort et d'inconforts. Il pourrait donc paraître aisé de régler simplement le gain en fonction de la perte auditive à chaque fréquence et de penser ainsi restituer une audition parfaitement normale puisque le signal est amplifié et transmis à une cochlée normale. De la même façon, la prise en charge des surdités mixtes relèverait finalement de la prise en charge de la surdité de perception à laquelle on rajouterait le gain équivalent à la surdité de transmission surajoutée pour chaque fréquence.

En réalité, la réhabilitation de telles surdités n'est pas si simple. Lybarger en 1963 instaura d'après ses travaux "la loi du quart-gain" qui stipulait que la prise en charge d'une surdité mixte devait correspondre à un gain égal à la moitié de la perte auditive totale auquel on devait rajouter le quart de la part transmissionnelle [185]. Pour une surdité de transmission pure, cela correspond empiriquement à une compensation de 75% de la perte auditive et non 100% comme on pourrait le supposer.

Il y a plusieurs raisons à ce constat :

-D'une part, un gain trop important ferait en sorte que l'appareil auditif atteindrait le seuil de limitation (OSPL90) trop fréquemment. Une façon différente de présenter les choses est de considérer que de par les limitations intrinsèques de l'audioprothèse, la dynamique auditive est réduite même pour les surdités purement transmissionnelles.

-Les surdités de transmission sont souvent associées à une perte du réflexe stapédien. Ce réflexe atténue les fréquences basses lorsque les sons sont importants (cf Fig 10). La perte auditive sur les graves pour les sons forts est alors moins importante que ne le laisserait supposer l'audiogramme.

-Enfin, il ne faut pas toujours présumer en réhabilitation audioprothétique que la normalité et la meilleure solution. Le patient appareillé pourra souhaiter que les sons très forts soient atténués, notamment dans les milieux bruyants[186].

Le problème de la prise en charge des surdités de transmission est même plus complexe car il est utopique de penser qu'un gain fixe est la solution. Aujourd'hui, on estime que de façon schématique, les 20 premiers décibels de perte doivent systématiquement être compensés, puis qu'une application de gain dégressive doit être effectuée. De la même façon, les sons faibles doivent être dans tous les cas amplifiés de la totalité de la perte auditive alors que les

sons forts nécessitent une adaptation de gain. Les appareils auditifs non linéaires paraissent les plus adaptés à la réhabilitation de la surdité de transmission alors que la caractéristique de la surdité est justement une perte auditive linéaire.

Une spécificité à l'otospongiose est la fausse surdité de perception qu'elle peut engendrer, notamment sur les fréquences proches du 2000Hz. Cet effet est connu sous le nom d'encoche de Carhart [187]. Une correction des seuils de conduction osseuse, qui sont faussement abaissés, doit être apportée avant toute prescription de réglages audioprothétiques chez un patient souffrant d'otospongiose. Les valeurs à soustraire aux seuils des conceptions osseuses en fonction de la fréquence sont présentés en Figure 79 [188].

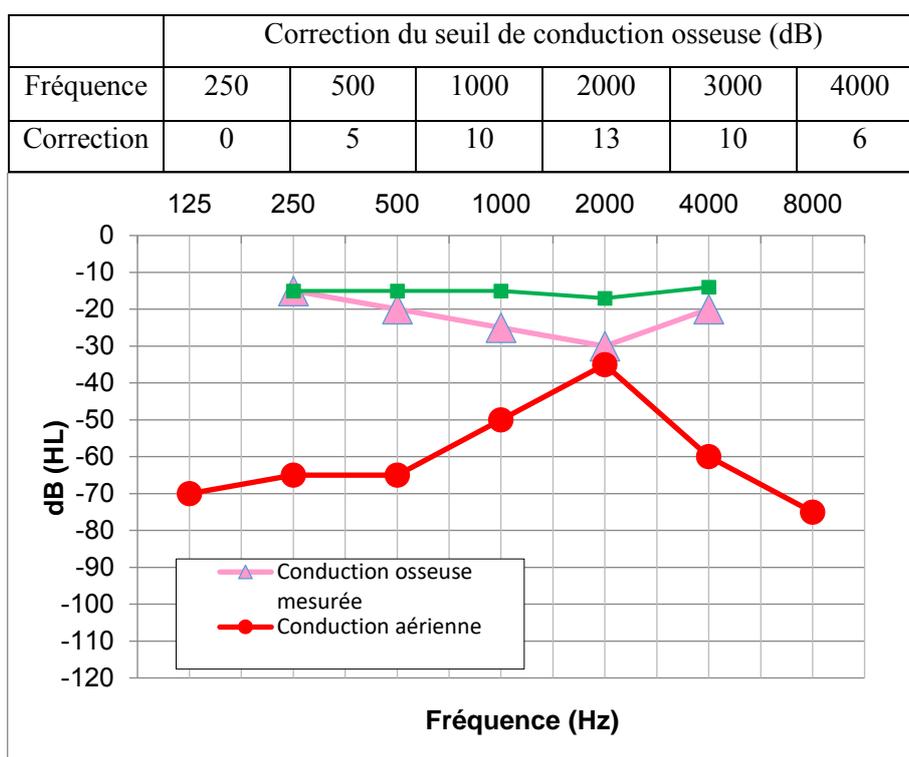


Figure 79 : Corrections des seuils en conduction osseuse chez un patient souffrant d'otospongiose

En résumé, les règles de prescription d'une surdité mixte sont donc les suivantes :

- Préférer une audioprothèse non linéaire.
- Prescrire le gain pour la part neurosensorielle de la surdité selon les règles précédemment décrites et selon la stratégie de son choix.
- Prescrire le gain additionnel pour la part transmissionnelle de la surdité en variant si possible entre 100% de la perte pour les sons faibles et 50 % de la perte pour les sons forts et graves.
- Dans le cas particulier d'une otospongiose, corriger les seuils en conduction osseuse de façon préalable.

Les différences en matière de prescription des réglages audioprothétiques concernant une surdité de perception et de transmission, à perte auditive égale, sont illustrées au travers la Figure 80.

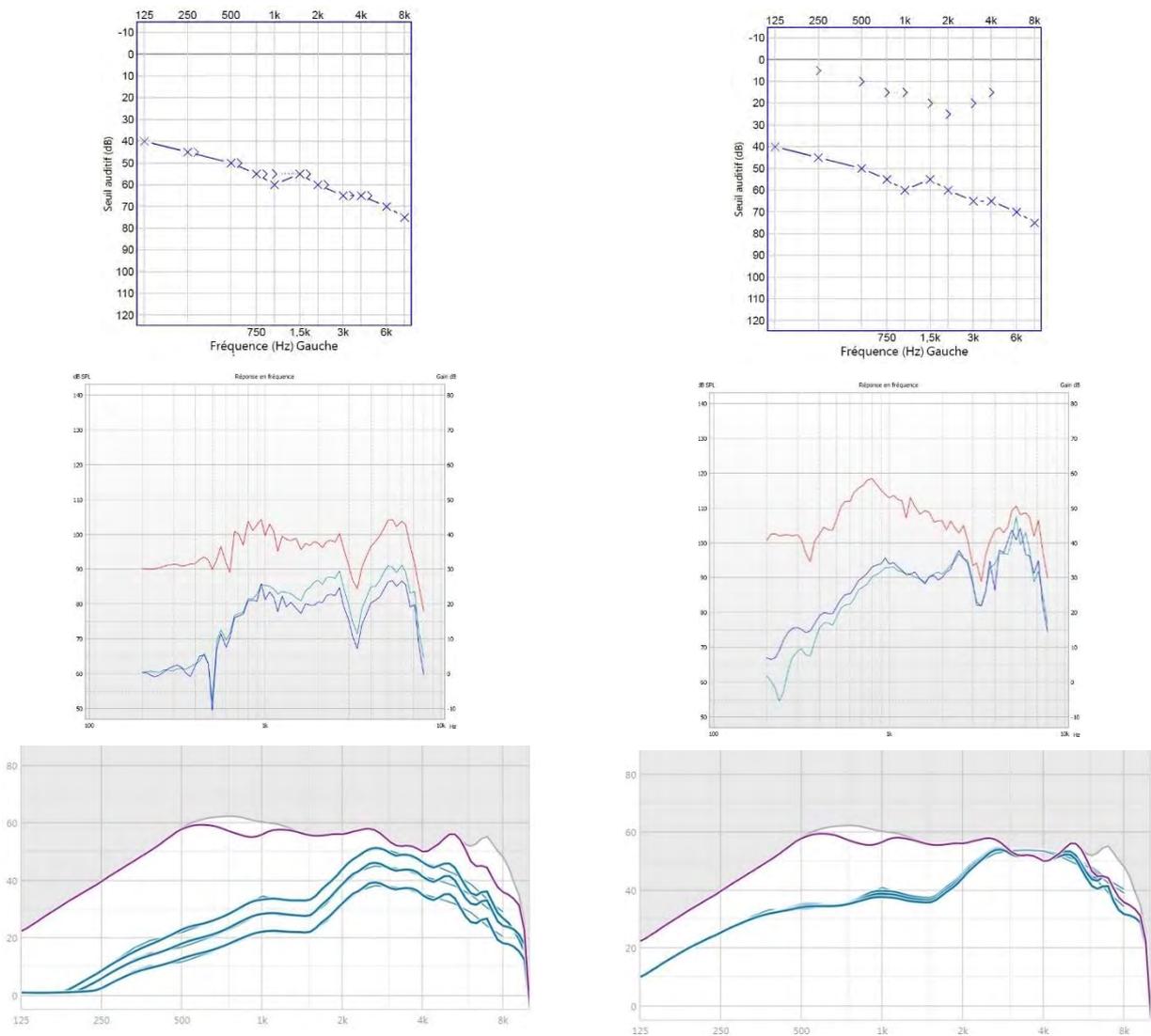


Fig 80 : Modalités de prescription audioprothétique d'une surdité de perception (à gauche) et mixte (à droite).

Les vignettes du milieu représentent les gains par fréquence apportés par l'audioprothèse pour des signaux entrants d'intensité différente. On note que les gains sont plus importants de façon générale pour la surdité à composante transmissionnelle.

Les vignettes du bas représentent les niveaux de sortie des différents canaux de l'audioprothèse. On remarque que la compression multicanal est plus marquée pour la surdité de perception.

Programmes multiples

Les audioprothèses modernes sont capables d'offrir différentes réponses gain/fréquence selon les circonstances en adaptant les réglages de compression, de microphones directionnels, d'adaptateurs de bruits. Les appareils peuvent également s'adapter automatiquement à certains environnements (acoustique, sans fil, magnétique, électriques...). Malgré leur relative "intelligence", les appareils restent sensibles aux humeurs du patient qui peuvent être variables avec différents buts d'écoute selon les situations. Les candidats aux appareils multiprogrammes sont essentiellement les sujets jeunes qui sont soumis à de nombreuses conditions d'écoute avec des satisfactions variables selon l'environnement. La maladie de Ménière est également une bonne indication à ces appareils qui peuvent s'adapter aux différentes phases de la maladie en fonction de préréglages choisis par le patient [189]. Enfin, lors de conditions d'écoute de musique, il est souvent nécessaire que l'appareil délivre de fortes intensités, avec une bande passante la plus large possible, en réduisant la compression, les variations gains/fréquences dans le temps et le réducteur de bruit.

Les aspects administratifs en France

Du point de vue médical [190]

La prescription d'une prothèse auditive nécessite dans tous les cas la réalisation préalable d'un examen otologique et d'une audiométrie tonale et vocale (Article 510-1 de la loi 67-4 du 4 janvier 1976). La prescription de l'appareillage doit être réalisée sur une ordonnance qui doit mentionner la nécessité et l'absence de contre-indication d'un appareillage auditif.

Du point de vue de l'audioprothésiste

Le rôle de l'audioprothésiste est défini par la loi du 3 janvier 1967 sur la réglementation de la profession d'audioprothésiste : " l'appareillage auditif comprend le choix, l'adaptation, la délivrance, le contrôle d'efficacité immédiate et permanente de la prothèse auditive ainsi que l'éducation prothétique du déficient et de l'ouïe appareillée ". Une période d'essai est recommandée par l'HAS mais non obligatoire.

Considérations financières

Chez l'adulte à partir de 20 ans :

L'Assurance Maladie couvre l'achat d'un appareil auditif externe sur la base d'un forfait de 199,71€ par appareil. Une allocation forfaitaire annuelle de 36.59€ par appareil est prévue pour l'achat des piles et des produits d'entretien. Les patients bénéficiant de la Couverture

Médicale Universelle sont pris en charge pour un seul appareil à raison de 463€ versés directement à l'audioprothésiste. Le renouvellement est accordé tous les 2 ans soit pour le même côté, soit pour l'autre oreille.

Chez l'enfant et l'adulte de moins de 20 ans ou chez l'adulte avec déficience visuelle associée (acuité visuelle inférieure à 2/10^e)

La présentation d'un protocole de soin avec reconnaissance comme affection de longue durée permet un remboursement de 467€ par appareil.

Surdité professionnelle :

En cas d'accident du travail ou de surdité professionnelle (perte de 35dB de moyenne sur les fréquences 500 à 4000Hz sur la meilleure oreille, moins d'un an après exposition dans le cadre d'une profession du **tableau 42 des maladies professionnelles**), le remboursement est de 100% du ticket modérateur au lieu des 2/3 soit 67€ de plus par oreille par rapport à un patient standard.

Autres aides financières :

Les mutuelles peuvent prendre en charge une partie de l'appareillage selon les contrats. En cas de perte moyenne de plus de 50dB sur la meilleure oreille, la reconnaissance de travailleur handicapé par soumission d'un dossier à la Maison Départementale des Personnes Handicapées (MDPH) permet d'obtenir en plus des prises en charge précédemment citées une subvention par l'Association de Gestion du Fond pour l'Insertion Professionnelle des Personnes Handicapées (AGEFIPH). Cette aide est à hauteur maximale de 50% du prix de la prothèse. Une déduction fiscale peut être obtenue pour les activités libérales. Les personnes retraitées peuvent solliciter une allocation en s'adressant au service d'action de leur mairie. Les systèmes d'aide à la communication (microphones hautes fréquences...) ne sont pas pris en charge par la caisse d'assurance maladie.

3ème partie : Prothèse auditive et réhabilitation chirurgicale dans la prise en charge de l'otospongiose : étude pilote (PARCO)

Avant d'entamer cette troisième partie qui a pour but d'exposer l'étude prospective PARCO et de présenter les premiers résultats, il convient de comprendre l'enjeu dont il est question. La première partie avait pour objectif de présenter l'otospongiose en tant que pathologie ainsi que son traitement privilégié qui est la chirurgie.

La deuxième partie avait pour but d'offrir une vision d'ensemble sur l'évolution et la complexité de la réhabilitation auditive par audioprothèse qui constitue la seconde option thérapeutique à l'otospongiose.

Les questions relatives à la prise en charge de l'otospongiose par ces 2 méthodes à la fois « concurrentes » et complémentaires sont multiples et peu documentées dans la littérature. Voici 2 articles qui décrivent particulièrement bien les enjeux soulevés par ces questions en tant que préambule à cette troisième partie.

Appareillage auditif et otospongiose : Pourquoi et Quand ?

Hearing Aids and otosclerosis : Why and When ? [101]

Ingmar Klockhoff (1989)

Filipo, R : *Otosclerosis : proceedings of the International Workshop on Otosclerosis, Rome, April 25-27, 1989.*

“Il aurait été particulièrement intéressant que je sois en mesure de vous fournir des études où l'audioprothèse a été systématiquement choisie au lieu de la chirurgie. L'absence d'intervention chirurgicale nous aurait permis notamment de mieux appréhender l'évolution naturelle de la maladie. Je ne sais pas si de telles études existent et je doute fort qu'elles puissent être développées au sein d'établissements de santé dotés de chirurgiens otologistes et des dernières avancées en matière de microchirurgie. Par rapport aux excellents résultats obtenus, les complications de la chirurgie peuvent être jugées comme raisonnablement faibles. D'un autre côté, il est particulièrement importun de se retrouver en post-opératoire avec une cophose, une labyrinthisation, un acouphène invalidant, des vertiges ou un déplacement de prothèse. De même, l'apparition d'une surdité neurosensorielle à long terme peut difficilement être rattachée à une complication tardive de l'intervention chirurgicale ou

à la course évolutive normale de la maladie. Il est probable que nombre de ces complications chirurgicales sont imputables aux conditions per-opératoires (bruit, température, gradients de pression des liquides cochléo-vestibulaires) et seront réduites par l'avènement de nouvelles technologies. Naturellement, la recommandation d'une audioprothèse dépendra de la balance bénéfique/risque qui sera fortement influencée par ce qu'il convient d'appeler « la confiance microchirurgicale ». [...] Mais les conditions peuvent évidemment être très différentes..."

Controverse : Audioprothèse ou Stapéctomie ?
--

Dans son ouvrage *Otosclerosis and stapedectomy*, Christopher De Souza expose la controverse sur la prise en charge de l'otospongiose qui secoua la communauté scientifique dans les années 2000 [102].

Un article très controversé fut publié en 1998 par Howard : « Is stapedectomy ever ethical ? » [191]. Howard s'appuyait sur les travaux de Wiet de 1991 [74] pour insister sur le fait que l'appareillage auditif pouvait représenter une alternative aussi valable, sinon meilleure, à la chirurgie dans la prise en charge de l'otospongiose. D'un point de vue éthique mais aussi médico-légal, Howard estimait qu'il était obligatoire de présenter cette option thérapeutique comme étant l'égale de la chirurgie. De nombreuses objections à cet article furent adressées à l'éditeur.

Lundy en 1999 par exemple rétorqua dans une lettre que l'appareillage auditif était onéreux (entre 800\$ et 2500\$ par oreille), devait être remplacé tous les 3 à 4 ans de même que les batteries toutes les semaines, sans compter les coûts de réparations éventuelles [192]. Cet investissement n'étant pas pris en charge par la sécurité sociale ou la plupart des mutuelles complémentaires, il considérait qu'à moins que l'audioprothèse ne prouve sa supériorité sur la chirurgie, il ne pouvait se résoudre à la considérer comme une alternative égale. Lundy concédait néanmoins que la plus grande force de l'appareillage était d'être dénué de risques mais que la valeur d'un traitement ne pouvait se résoudre à simplement considérer les risques encourus.

Gauthier en 1999 souleva 3 points [193] :

- La stapéctomie est couverte par la plupart des systèmes de santé et des assurances alors que l'audioprothèse ne l'est pas.
- Une situation éthique pour le patient ne supposerait-elle pas que les coûts et les bénéfices entre la chirurgie et l'appareillage auditif soient les mêmes pour le patient ?

-Est-il éthique que seuls les patients aisés puissent bénéficier de l'option à « faible risque » que constitue l'appareillage auditif ?

Gianoli refusa que l'appareillage auditif soit considéré comme une alternative égale à la chirurgie. Pour lui, le son produit par une audioprothèse ne pouvait être de la même qualité. De plus, un patient correctement opéré ne souffrait pas de problème de rétroaction acoustique, n'était jamais à court de batterie, ne devait pas redevenir sourd lorsqu'il prenait un bain, ne craignait pas les bouchons de cérumen ou les otites externes causés par les embouts et présentait moins de troubles de la discrimination dans le bruit [194].

Miller, un audiologiste, nota qu'il proposait systématiquement l'appareillage auditif comme une alternative à la chirurgie mais qu'il préférait cette dernière en cas de Rinne important et de bonne réserve cochléaire [195].

Au final, Howard répondit également à son propre article en concédant que la différence de prise en charge par le système de santé était effectivement un frein à « l'égalité » des 2 prises en charge. Néanmoins, le consentement éclairé et l'information au patient furent des points soulevés dans cet article et ses multiples commentaires qui ressortirent comme des éléments essentiels de la prise en charge et le sont encore aujourd'hui.

INTRODUCTION

L'otospongiose est une pathologie qui s'est imposée comme une indication fiable parmi les chirurgies de la surdité. Le traitement chirurgical n'est cependant pas dénué de risque, ce qui est toujours à prendre en compte notamment dans le cadre d'un traitement « fonctionnel ». Brookler, en 1979, estimait que la chirurgie était supérieure aux aides auditives mais au prix de risques anesthésiques et chirurgicaux non anodins pour le patient, le chirurgien et la société [196]. L'appareillage auditif externe constitue la principale alternative à proposer systématiquement au patient. Or la décision thérapeutique n'est à ce jour orientée par aucune recommandation de société scientifique ni aucune donnée fiable de la littérature. En effet la décision du patient est le plus souvent soumise à différents facteurs qui ne sont pas basés sur des données scientifiques :

-Les habitudes et les compétences chirurgicales du médecin ORL

-Les croyances personnelles du patient vis-à-vis de l'audioprothèse ou de la chirurgie

-Le pays et son système médico-économique de prise en charge des soins dans lequel il évolue. En France par exemple, la prise en charge de l'otospongiose est majoritairement chirurgicale alors qu'au Royaume-Uni, c'est l'appareillage auditif qui est prédominant. Cela s'explique par le fait que l'audioprothèse en France est en grande partie aux frais du patient. En février 2014, le Syndicat national des audioprothésistes (UNSAF) estimait, s'appuyant

sur des données de l'Assurance maladie, que le coût moyen d'un appareil auditif s'élevait à 1 535 € par oreille (prestations de suivi et d'adaptation de la prothèse comprises). De cette façon, pour un adulte de plus de 20 ans, quelle que soit la classe de l'appareil, le remboursement des prothèses auditives par l'Assurance Maladie atteint 199,71 €. Soit un reste à charge moyen par appareillage de 1 480 € avant l'éventuelle intervention de l'organisme complémentaire. En Angleterre, le National Health Service (NHS) propose aux patients souffrant de surdité une prise en charge à 100% de la prothèse auditive. Le choix de la prothèse n'est pas du ressort du patient mais est déduite du type de surdité. La chirurgie au Royaume-Uni est également moins bien prise en charge qu'en France. Enfin, la prescription spécialisée en Angleterre n'est pas de mise contrairement à la situation française [197].

Voici un rapide descriptif des principales modalités des 2 différentes prises en charge que l'on peut proposer à un patient souffrant d'otospongiose :

L'audioprothèse

Elle constitue une alternative au traitement chirurgical, par refus du patient d'une intervention chirurgicale ou en présence d'une contre-indication opératoire. Elle peut être indiquée comme complément en cas d'échec ou d'insuffisance de la chirurgie. Certaines études exposent même le caractère « indispensable » à moyen ou long terme de l'appareillage auditif externe dans la prise en charge de l'otospongiose. Smyth estime ainsi qu'un patient opéré nécessitera en moyenne un appareillage auditif entre 13 et 21 ans après la chirurgie [198]. Redfors a évalué une centaine de patients opérés 30 ans après stapédotomie et constaté que, bien que seuls 54% des patients étaient appareillés, 95% présentaient une perte auditive redevable d'un appareillage auditif [199]. De plus, tout le monde s'accorde pour souligner que les meilleurs résultats audioprothétiques sont obtenus chez les sujets atteints d'une surdité de transmission pure car il n'y a pas de modification pathologique du champ auditif, ni de trouble de la discrimination majeurs [200].

Les progrès récents concernant les nouvelles aides auditives externes (plus puissantes, plus modulables, plus compactes, plus confortables...) sont très peu étudiés dans la littérature scientifique. Une étude de Kiessling a récemment montré une amélioration significative de la qualité de vie avec les nouvelles audioprothèses comparées aux anciennes [201]. Aucune étude à notre connaissance ne les a confrontées à la stapédotomie dans le cadre de la prise en charge de l'otospongiose. De même, s'il existe de nombreuses études sur les implants cochléaires et les implants d'oreille moyenne ou à ancrage osseux (BAHA), les données de la littérature concernant l'appareillage auditif externe des surdités de transmission sont rares.

Il existe certes des études montrant l'amélioration de la qualité de vie de patients sourds appareillés par audioprothèse. Une étude s'est par exemple employé à montré de façon comparative et prospective l'amélioration de la qualité des vie liée à l'appareillage chez des patients âgés [180]. Une autre étude s'est focalisée sur la réhabilitation de la surdité chez l'adolescent par audioprothèse [202]. De façon générale, il est montré dans la littérature une amélioration de la qualité de vie des patients sourds après appareillage auditif externe. Aucun travail n'a encore été mené spécifiquement vis-à-vis des patients souffrant d'otospongiose.

Le traitement chirurgical

Il s'agit encore de nos jours du traitement de référence en France. Le chirurgien doit informer son patient des objectifs, des modalités et surtout des risques potentiels de la stapédotomie. Il doit également recueillir son consentement libre et éclairé après lui avoir exposé les autres alternatives thérapeutiques (dont l'audioprothèse). Les indications opératoires en cas d'otospongiose dépendent de plusieurs éléments. La nécessité d'opérer est justifiée par la présence d'une surdité socialement gênante. Cette surdité doit être supérieure à 30 dB de perte moyenne sur les fréquences conversationnelles (500 à 4000Hz) avec un Rinne suffisant de l'ordre de 20dB en moyenne. Sur le plan auditif, il semble raisonnable de limiter les indications chirurgicales aux patients ayant une réserve cochléaire suffisante. Cette réserve peut être estimée simplement grâce à l'audiométrie vocale [203]. Certains auteurs ont remarqué que des seuils de conduction osseuse pré-opératoire inférieurs à 30dB, sans constituer réellement un facteur de mauvais pronostic, pouvaient à eux seuls indiquer une mauvaise réserve cochléaire et être prédictifs de moins bons résultats après stapédotomie [204]. Ces limites doivent être analysées en fonction de l'atteinte uni ou bilatérale et des possibilités éventuelles d'appareillage auditif complémentaire [198, 205, 206]. Il est aussi essentiel de tenir compte des contre-indications à l'anesthésie pouvant créer un risque vital ou limiter les possibilités d'une chirurgie exsangue. Une oreille unique est considérée par beaucoup comme une contre-indication opératoire formelle [101, 102]. En cas d'acouphènes mal tolérés, l'intervention reste justifiée car dans un pourcentage non négligeable d'oreilles opérées, ils disparaissent. En cas de dysfonctionnement tubaire avéré, on évitera de poser une indication opératoire. De même, une malformation cochléovestibulaire, telle que la présence d'un large aqueduc ou d'une déhiscence du canal semi-circulaire supérieur, contre-indique la chirurgie [101, 102].

De nombreuses études ont démontré l'intérêt de la chirurgie dans la prise en charge de l'otospongiose. Aarnisalo montrait en 2003 que la stapédotomie était sûre et efficace dans

l'amélioration de la qualité de vie des patients souffrant d'otospongiose avec un recul de 20 ans [207]. Morzaria en était venu au même constat en utilisant le questionnaire de qualité de vie générique SF-36 [208] de même que Subramaniam en 2006 en utilisant le GBI [209]. Concernant les résultats moyens audiométriques après chirurgie, selon Lagleyre, sur une série de 209 patients, on retrouvait une amélioration de la conduction aérienne de 20,1 dB avec une diminution du Rinne de 17,4 dB en moyenne [210].

Cependant, certains auteurs, tout en ne remettant pas en cause les qualités de la réhabilitation chirurgicale de l'otospongiose, ont souligné les inconvénients potentiels inhérents à l'opération qui peuvent être particulièrement handicapants et sont difficilement acceptables dans le cadre d'une prise en charge fonctionnelle [211-213]. Hazenberg a montré en 2013 que le seul facteur prédictif de satisfaction du patient à 6 mois d'une stapédotomie était précisément le fait que la chirurgie et ses suites soient totalement dénuées de complication [214]. La décision thérapeutique doit donc être expliquée, discutée, motivée sans oublier qu'il existe dans tous les cas une solution alternative (audioprothèse). L'expérience de l'opérateur apparaît comme un paramètre déterminant.

Nous nous sommes intéressés à une population souffrant de surdité unilatérale liée à l'otospongiose avec une oreille controlatérale normo-entendante. Cela permet notamment de se focaliser sur la prise en charge auditive d'un côté sans que les tests ou questionnaires ne soient biaisés par des performances auditives controlatérales variables entre les sujets. Nous avons également choisi de sélectionner les patients présentant une bonne réserve cochléaire traduite par des seuils en conduction osseuse non effondrés. Cela nous a permis de centrer notre comparaison sur la prise en charge de la surdité de transmission puisque la chirurgie ne prend en charge que cet aspect de la surdité tandis que l'audioprothèse est sensée pouvoir également restaurer une surdité neurosensorielle associée.

De Seta avait montré l'intérêt de l'intervention chirurgicale sur les patients atteints d'otospongiose unilatérale [215]. Cela est dû notamment au phénomène de restauration de la binauralité qui constitue la condition d'écoute normale et repose sur des principes physiologiques complexes encore imparfaitement décrits. Le choix de sélectionner des patients avec une oreille controlatérale saine était également sous-tendu par la volonté de réaliser une exploration de la binauralité chez ces sujets après réhabilitation auditive par audioprothèse ou chirurgie.

Les principes de la binauralité sont influencés par de nombreuses variables, telles que la nature des stimuli étudiés ou les conditions d'expérimentation. La binauralité repose sur l'analyse par le système auditif et nerveux des différences entre le signal parvenant à l'oreille

droite et celui parvenant à l'oreille gauche. Ces différences interaurales d'intensité et de temps représentent les principaux indices binauraux. Les effets binauraux sont de 3 types :

-L'effet d'ombre et de diffraction de la tête (Head Shadow Effect)

Les intensités et latences d'un signal sonore sont perçues de façon différente entre les 2 oreilles selon d'où vient le son. Cet effet purement physique et périphérique permet d'identifier la localisation et la direction du son [216]. De plus, lorsque les sources du signal et du bruit sont séparées dans l'espace, l'effet d'ombre de la tête entraîne un bénéfice pour la compréhension [217].

-L'effet de sommation (Binaural Redundancy)

L'effet de sommation est l'amélioration du SNR par la capacité d'entendre « 2 fois » la source ce qui améliore la détection et la discrimination de la parole [217, 218].

-Le démasquage binaural (Squelch Effect)

Le système auditif binaural central peut combiner le signal des 2 entrées auditives pour réduire partiellement l'impact du bruit sur la compréhension de la parole par comparaison et analyse des différences de temps et d'intensités interaurales. L'effet de démasquage binaural peut améliorer l'intelligibilité lorsque le signal et le bruit proviennent de différentes directions [217, 219]. La combinaison de ces effets binauraux aide à la compréhension dans le bruit et à la localisation des sources sonores. Les tests auditifs classiques sont limités pour évaluer ces capacités et mettre en évidence un avantage à la restauration binaurale comme l'ont montré Mencher et Davis en 2006 [220]. Divers tests complexes (test MATRIX et de localisation des sons) et questionnaires (SSQ) ont été créés dans ce but et seront décrits dans la partie Matériel et Méthodes.

OBJECTIFS DE L'ETUDE

Le ressenti actuel est que la place de la stapédotomie en France dans la réhabilitation auditive de l'otospongiose est encore particulièrement importante. Cependant, avec les avancées technologiques des systèmes d'audioprothèses modernes, il est logique que les patients et les médecins se posent la question du bénéfice attendu lié à une prise en charge chirurgicale par rapport aux risques opératoires et anesthésiques encourus. Savvas a déjà comparé les 2 techniques de réhabilitation auditive de l'otospongiose d'un point de vue purement économique pour le patient et la société [221]. Sur 164 patients opérés d'une stapédotomie, il a déduit un bénéfice économique de 800 000 € en faveur de la chirurgie en incluant les reprises chirurgicales éventuelles et la nécessité éventuelle d'un appareillage auditif à distance pour certains patients. Mais qu'en est-il d'un point de vue de qualité de vie pour le

patient, de performances auditives simples et complexes et d'effets indésirables ? Avec les problèmes croissants d'économie de la santé et d'exigences des patients envers une médecine toujours plus efficace et plus sûre, il paraissait essentiel de faire le point sur cette question.

L'objectif principal de cette étude est de montrer que le traitement de l'otospongiose en monaural quel que soit le mode (audioprothèse ou stapédotomie) améliore la qualité de vie et d'écoute des patients souffrant d'otospongiose au prix d'effets indésirables peu importants.

Les objectifs secondaires sont de réaliser une analyse descriptive et comparative des performances auditives simples et complexes à travers divers tests et questionnaires ainsi que des effets indésirables éventuels afin d'évaluer s'il existe une meilleure alternative thérapeutique.

MATERIEL ET METHODES

Il s'agit d'une étude clinique, monocentrique (Service ORL, Otoneurologie et ORL pédiatrique du CHU de Toulouse), expérimentale, non randomisée, prospective avec description longitudinale de l'évolution des patients souffrant d'otospongiose et exposés successivement à 2 types de réhabilitation auditive (audioprothétique puis chirurgicale). Chaque patient constituera son propre témoin puisqu'il sera pris systématiquement en charge, de façon séparée et séquentielle dans le temps, par appareillage auditif externe et stapédotomie. L'étude PARCO (Prothèse Auditive et Réhabilitation Chirurgicale dans la prise en charge de l'Otospongiose) est inscrite dans le cadre d'un Appel d'Offre Local et a reçu l'avis favorable du Comité de Protection des Personnes le 14 janvier 2015 (**ANNEXE I**). Les étapes chronologiques de création de l'étude sont présentées en **ANNEXE II**.

Modalités de recrutement

Le recrutement a été effectué parmi les patients se présentant aux consultations d'Otoneurologie du service d'ORL du CHU Toulouse-Purpan à l'Hôpital Pierre-Paul Riquet. Tout patient consultant pour une surdité asymétrique liée à une otospongiose et souhaitant une réhabilitation chirurgicale était susceptible de participer à l'étude et ainsi de bénéficier d'un essai gratuit d'audioprothèse en période préopératoire pour une durée de 2 mois. Après vérification des critères d'inclusion et d'exclusion, les patients intéressés par l'étude étaient pré-inclus (visite V1) et reconvoqués pour la visite d'inclusion comprenant l'appareillage auditif externe (visite V2).

Les critères d'inclusion étaient les suivants :

- Critères démographiques : homme ou femme majeur(e)
- Critères nosologiques :
 - Diagnostic clinique d'otospongiose
 - Surdité de transmission d'au moins 30dB de perte moyenne avec un Rinne moyen supérieur ou égal à 25dB (moyenne des fréquences 0,5-1-2-4kHz)
 - Tympan normal
 - Scanner des rochers montrant au moins une hypodensité préstapédienne
 - Oreille controlatérale présentant une perte auditive de moins de 25dB (moyenne des fréquences 0,5-1-2-4kHz)
- Critères relatifs aux traitements : Aucune prise en charge préalable (chirurgie ou appareillage) sur l'oreille considérée
- Critères relatifs à la réglementation : Affiliation obligatoire à la sécurité sociale

Les critères d'exclusion étaient les suivants :

- Critères relatifs à la pathologie :
 - Otospongiose maligne (far advanced otosclerosis) définie comme un seuil de conduction aérienne supérieur à 95dB sur toutes les fréquences ou un seuil de conduction osseuse supérieur à 55dB sur au moins une fréquence [222]
 - Otospongiose cochléaire sur le scanner des rochers
 - Diagnostics différentiels cliniques ou radiologiques : cholestéatome, perforation tympanique, oreille geyser, luxation ossiculaire, malformation ossiculaire, malformation de l'oreille interne
- Critères relatifs aux traitements proposés :
 - Contre-indication à l'anesthésie générale ou à l'anesthésie locale
 - Contre-indication opératoire : Troubles de la coagulation, rétraction tympanique, dysfonctionnement tubaire, otite chronique, malformation de l'oreille interne, oreille unique, refus du patient
- Critères relatifs aux explorations proposées : Barrière de la langue, troubles cognitifs
- Critères relatifs aux traitements antérieurs : Appareillage auditif ou chirurgie antérieurs sur l'oreille considérée
- Critères relatifs à la réglementation : Patients mineurs, incapables majeurs, majeurs sous tutelle ou curatelle, majeurs incapables de donner leur consentement

Appareillage auditif externe

L'appareillage auditif externe sur l'oreille considérée dans l'étude était instauré à la visite d'inclusion (visite V2).

Pour des raisons d'uniformisation et de comparabilité des résultats, un seul type d'audioprothèse classée comme appareil moyen/haut de gamme, (Bolero Q70 de PHONAK^o) était fournie. Les caractéristiques techniques et modalités d'appareillage sont exposées en **ANNEXE III**.

L'appareillage était effectué initialement par un seul audioprothésiste de ville expérimenté, vacataire dans le service d'ORL du CHU de Toulouse. L'obligation pour le patient de se faire appareiller par cet audioprothésiste était motivée par une volonté d'uniformisation des réglages initiaux de l'audioprothèse. Pour des raisons de praticité, les réglages ultérieurs étaient effectués "à la demande" en ce qui concerne le nombre de visites et dans la mesure du possible par un audioprothésiste géographiquement proche du lieu de vie des patients inclus. La durée d'appareillage a été fixée à 2 mois pour permettre une durée d'évaluation du même ordre que celle de la chirurgie et pour s'affranchir au maximum du phénomène d'acclimatation. L'appareil auditif était rendu par le patient au bout de cette période au cours de la visite post-appareillage (visite V3) qui coïncidait avec la consultation d'anesthésie réalisée à l'hôpital Pierre-Paul Riquet.

Restauration chirurgicale de l'effet columellaire

L'intervention chirurgicale était réalisée sous anesthésie locale avec diazanalgésie ou sous anesthésie générale, en ambulatoire ou hospitalisation traditionnelle de courte durée selon les habitudes du chirurgien et le souhait du patient. La prise en charge chirurgicale et péri-opératoire ne présentait pas de spécificités particulières liées au cadre de l'étude [223]. Les modalités de la chirurgie ont été exposées dans la première partie de cette thèse. Le patient était convoqué 2 mois après l'intervention chirurgicale pour la visite post-opératoire (visite V4).

Schéma de l'étude

L'étude se composait de 4 visites étalées sur une période de 5 mois environ (Fig. 81).

-La visite de pré-inclusion (V1) réalisée par le chirurgien en charge du patient. La notice d'information et de consentement éclairé au patient était donnée au patient à l'occasion de cette consultation (ANNEXE IV).

-La visite d'inclusion (V2) réalisée avec le médecin investigateur principal et l'interne chef de projet. Le consentement du patient était recueilli et l'appareillage effectué.

-La visite post-appareillage (V3) réalisée avec le médecin investigateur principal et l'interne chef de projet. L'audioprothèse était récupérée et la consultation d'anesthésie réalisée.

-La visite post-opératoire de fin d'étude (V4) réalisée avec le chirurgien en charge du patient, le médecin investigateur principal et l'interne chef de projet.

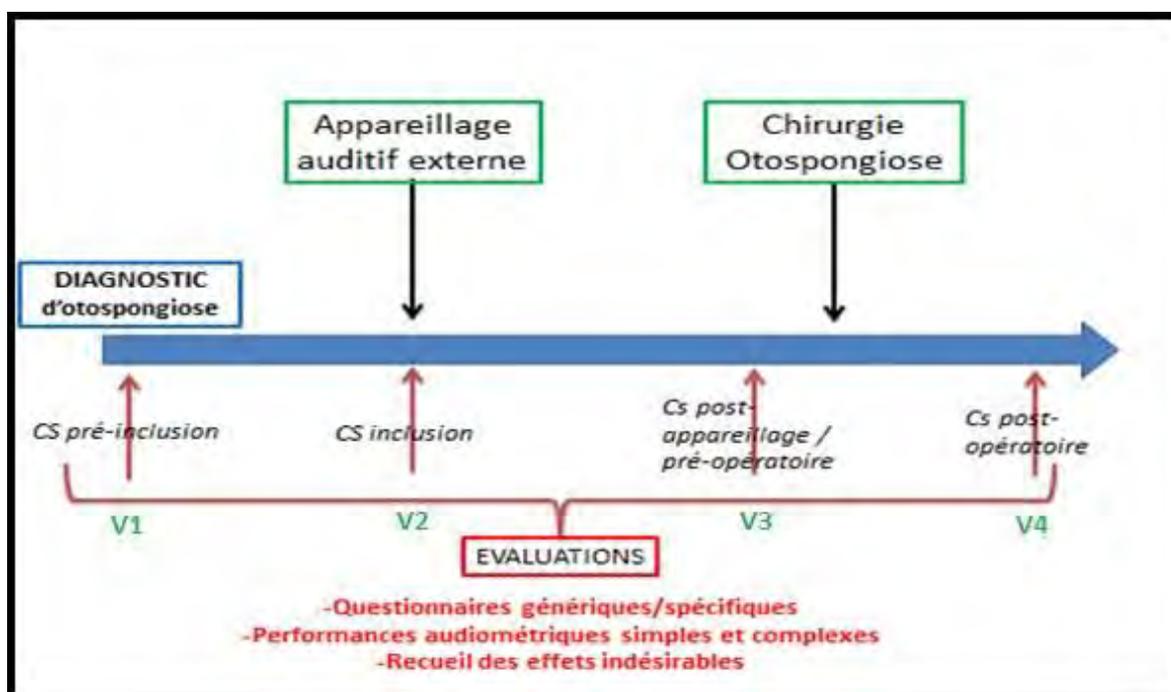


Fig. 81 : Schéma général de l'étude PARCO

Critères d'évaluation

Critère de jugement principal

Le critère de jugement principal était basé sur la mesure de la qualité de vie du patient avec l'une et l'autre des deux prises en charge par le score obtenu au questionnaire de qualité de vie validé : le Glasgow Health Status Inventory (GHSI) (ANNEXE V). Ce questionnaire sur l'état de santé a été conçu par l'équipe de Robinson, Gatehouse et Browning pour évaluer

l'état de santé des patients présentant une pathologie oto-rhino-laryngologique [224]. Ils est généralisable à différentes pathologies et interventions oto-rhino-laryngologiques comme l'implantation cochléaire ou certaines chirurgies plastiques et reconstructrices de la face [225-227]. Chaque question s'adresse à un aspect de la qualité de la vie lié à la santé et indépendant de la maladie concernée. Les questions sont donc d'ordre général mais renvoient à un état (la surdité dans ce cas). Les scores vont de 0 à 100, 0 correspondant à un très mauvais état de santé et 100 à un excellent état de santé. Les résultats du questionnaire peuvent être divisés en différentes parties : score général, sous-score général, sous-score de soutien d'autres personnes et sous-score de santé physique.

Le questionnaire était donné à remplir au patient aux visites V2, V3 et V4.

Critères de jugement secondaires

Les critères secondaires étudiés étaient basés sur les performances auditives simples (audiogramme tonal et vocal) et complexes (tests des capacités binaurales, test de performances musicales). Des questionnaires spécifiques à l'audition binaurale, à l'appareillage auditif ou à la prise en charge par appareillage/chirurgie étaient également soumis aux patients. Par souci de standardisation des examens et d'uniformisation des résultats, les tests auditifs étaient réalisés par un seul technicien spécialisé de la consultation ORL de l'Hôpital PPR dans la même cabine audiométrique. De la même façon, les questionnaires étaient administrés et recueillis à chaque visite par le même assistant de recherche clinique.

1) Les tests auditifs simples :

-Audiogramme tonal au casque

Les examens d'audiométrie tonale au casque étaient pratiqués en cabine d'audiométrie. Selon les recommandations du « Committee on Hearing and Equilibrium of the American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery » [228], il est préconisé d'utiliser la moyenne des seuils auditifs en conduction aérienne et osseuse sur les fréquences 0,5-1-2-3kHz. Il a été montré que l'utilisation des seuils en CA sur les fréquences de 0,5-1-2-4kHz était comparable par différents auteurs [229] et notamment dans la chirurgie de l'étrier [230]. Nous avons donc choisi la seconde option car il existe de nombreuses raisons pour garder le 4 kHz dans les moyennes des résultats auditifs. En effet cette fréquence est importante dans la discrimination de la parole et une perte auditive neurosensorielle après chirurgie est plus facilement révélée par cette fréquence. La combinaison des fréquences 0,5-1-2-4kHz a également été retenue comme correspondant mieux aux seuils perceptifs de la parole [231].

La fréquence 250Hz nous a paru également intéressante à conserver dans les résultats car elle permet de s'intéresser aussi à la restauration des fréquences graves qui jouent un rôle notamment dans certaines capacités binaurales. Dans notre étude, les résultats d'audiométrie tonale ont été recueillis bruts et moyennés pour les seuils en conduction aérienne (CA), en conduction osseuse (CO), et le Rinne moyen selon l'indice :

$$(0,25\text{kHz} + 0,5\text{kHz} + 1\text{kHz} + 2\text{kHz} + 4\text{kHz}) / 5$$

La fréquence 8kHz a été également recueillie en conduction aérienne pour évaluer une éventuelle labyrinthisation.

-Audiogramme vocal dans le silence au casque pour l'oreille considérée

Les examens d'audiométrie vocale utilisaient les listes de mots dissyllabiques de Fournier. Il est à noter que dans le cadre de la visite post-appareillage (V3), du fait du port de l'audioprothèse, ces examens étaient réalisés en champ libre dans une cabine d'audiométrie ayant pour dimensions 2,70 m de longueur sur 2,60 m de largeur, la source sonore étant à 1,12 m de hauteur et à environ 1,10 m de la tête du patient (assis au centre de la cabine). L'oreille controlatérale était masquée au casque qui était donc positionné uniquement sur l'oreille saine. Les seuils en dB pour une reconnaissance de 10%, 50% et 100% des mots ont été notés.

Les examens audiométriques tonal et vocal étaient réalisés aux visites V1, V3 et V4.

2) Tests de performances auditives complexes

-Tests d'intelligibilité dans le bruit (MATRIX)

Le test MATRIX d'audition binaurale était également réalisé en champ libre en cabine d'audiométrie. C'est un test adaptatif de discrimination de la parole dans le bruit qui a été validé dans sa version française en 2012 [232]. Ce test fonctionne avec un logiciel qui génère des phrases aléatoires composées de cinq mots provenant d'une liste fermée sans contexte sémantique ce qui limite la suppléance mentale : prénom, verbe, nombre, objet et couleur (exemple : « Agnès déplace neuf livres verts ») (Fig. 82). Le bruit compétitif correspond à des superpositions multiples des phrases possibles.

	Prénom	Verbe	Nombre	Objet	Couleur
1	Agnès	achète	deux	anneaux	blancs
2	Charlotte	attrape	trois	ballons	bleus
3	Emile	demande	cinq	classeurs	bruns
4	Etienne	déplace	six	crayons	gris
5	Eugène	dessine	sept	jetons	jaunes
6	Félix	propose	huit	livres	mauves
7	Jean-Luc	ramasse	neuf	pions	noirs
8	Julien	ramène	onze	piquets	roses
9	Michel	reprend	douze	rubans	rouges
10	Sophie	voudrait	quinze	vélos	verts

Fig. 82 : Liste de mots fermée pour la génération de phrases pour le test MATRIX

La configuration spatiale des haut-parleurs correspond aux azimuts 0° , -60° et $+60^\circ$ à 1,12 m de hauteur (environ à hauteur de la tête du sujet assis) et à 1,30 m de distance de la tête du patient, ce dernier étant assis au centre de l'arc de cercle sur lequel sont disposés les haut-parleurs (Fig. 83).

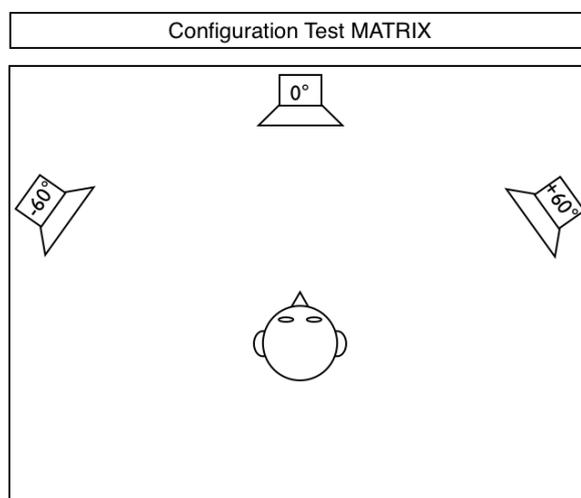


Fig. 83 : Disposition de la cabine pour le test MATRIX

Le patient est disposé au centre de l'arc de cercle sur lesquels sont disposés les haut-parleurs aux azimuts -60° , 0° , et $+60^\circ$

Le test est réalisé dans trois conditions différentes : diotique, dichotique, et dichotique inversée. Le test débute par la condition diotique, c'est à dire que le signal et le bruit sont délivrés par le même HP situé face au patient, à l'azimut 0° (Fig. 84). Dans la condition dichotique, le signal est délivré par le HP situé du côté de l'oreille étudiée (azimut $+$ ou $-$

60°), le bruit étant délivré par le HP du côté controlatéral (Fig. 85). La condition dichotique inversée correspond à un signal délivré du côté sain alors que le bruit masquant est délivré du côté de l'oreille étudiée (Fig. 86).

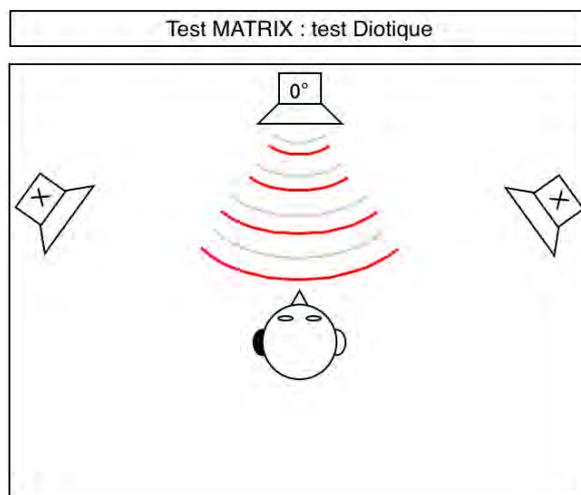


Fig. 84 : Réalisation du test diotique

Le signal et le bruit masquant sont émis par le HP face au patient

L'oreille en question est représentée en noir

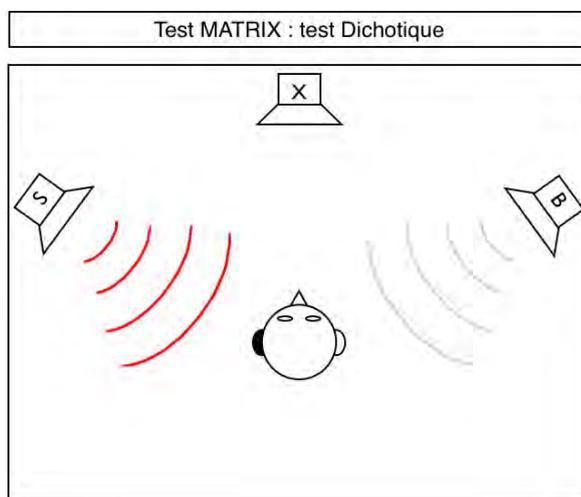


Fig. 85 : Représentation du test dichotique

L'oreille étudiée est représentée en noir

Le signal est délivré par le haut-parleur situé du côté de l'oreille étudiée (« S »)

Le bruit est délivré par le haut-parleur controlatéral (« B »)

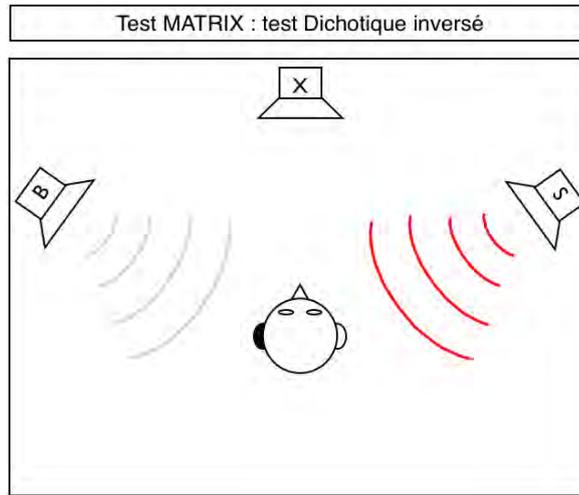


Fig. 86 : Représentation du test dichotique inversé

L'oreille étudiée est représentée en noir

Le signal est délivré par le haut-parleur situé en controlatéral à l'oreille étudiée (« S »)

Le bruit est délivré par le haut-parleur homolatéral (« B »)

Le signal de la parole est délivré à une intensité fixe de 65 dB pour chaque condition et l'intensité du bruit est modifiée de manière automatisée par le logiciel. La consigne pour ce test est de répéter tous les mots perçus. Les bonnes réponses sont entrées dans le logiciel par l'examineur et la phrase suivante est délivrée, chaque série comprenant 20 phrases. Deux séries sont réalisées en condition diotique (signal et bruit provenant du HP 0°), deux séries en condition dichotique (signal côté étudié, bruit côté sain) et deux séries en condition dichotique inversée (signal côté sain, bruit côté étudié). Le résultat obtenu est la mesure du rapport signal sur bruit pour lequel la compréhension du patient est égale à 50% des mots délivrés, appelé SRT pour Speech Reception Thresholds. Le test MATRIX était réalisé en condition binaurale aux visites V2, V3 et V4.

-Tests de localisation spatiale

Ce test s'appuie sur les travaux de Arndt [233] et a été créé dans le service pour l'étude de Vannson [234]. Sept haut-parleurs sont situés dans une cabine audiométrique en arc-de-cercle sur un plan horizontal de -90 degrés à +90 degrés tous les 30 degrés. Ces haut-parleurs sont situés à 1 m du sujet et à une hauteur de 1,12 m du sol afin d'être à la hauteur de la tête d'un sujet assis. Ce dernier est placé au centre de l'arc-de-cercle. La numérotation des haut-parleurs va de 1 (haut-parleur situé à 90° à gauche du sujet) à 7 (haut-parleur situé à 90° à droite du sujet) (Figure 87 et 88).

Le test de localisation comprend 63 présentations du stimulus (2 bouffées tonales 0-8 kHz, de 150 ms chacune, séparées de 100 ms, à 65 dB). Les données exploitées ont été le

pourcentage de bonnes réponses d'une part, et le calcul du Root Mean Square (RMS) d'autre part. Le RMS est la racine carrée de la moyenne des déviations en degré par rapport à la bonne réponse au carré. Cette valeur est calculée par un logiciel dédié et est exprimée en degrés. Le test de localisation spatiale est réalisé en condition binaurale aux visites V2, V3 et V4.

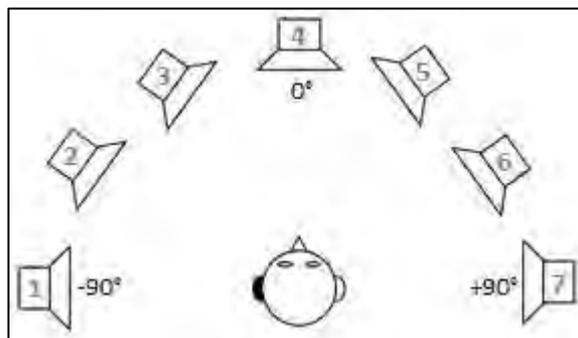


Fig. 87 : Représentation du test de localisation spatiale

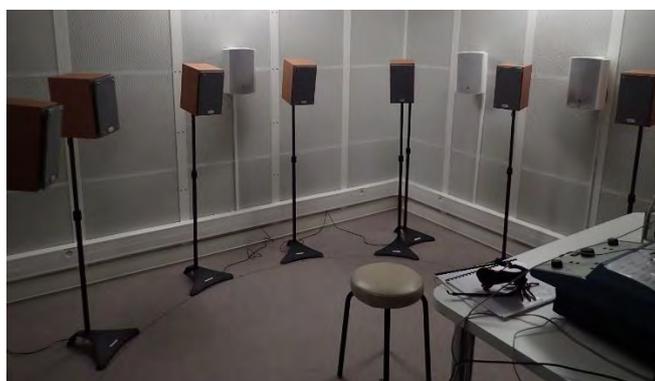


Fig. 88 : Photographie de la cabine audiométrique pour la réalisation des tests de localisation spatiale et MATRIX°

-Test de perception de la musique

Le test BRAMS de perception de la musique effectué "online" (www.brams.org/en/onlinetest/) est issu du travail d'Isabelle Peretz sur l'amusie congénitale [235]. Le test comprend 78 exercices divisées en 3 parties et dérivées de la Montreal Battery Evaluation of Amusia (MBEA) [236]. Le début du test correspond à l'écoute d'une mélodie 3 fois de suite afin de procéder au réglage du volume qui est le plus confortable pour le patient.

-La 1^{ère} partie correspond à l'exposition de 2 mélodies se suivant en demandant au patient si elles lui paraissent différentes ou similaires (Fig89 ; lignes A et B). Cette première partie est constituée de 30 expositions de paires de mélodies.

-La 2^{ème} partie correspond à l'exposition d'une mélodie en demandant au patient s'il estime qu'il existe une rupture de continuité dans le rythme de la mélodie. La discontinuité,

lorsqu'elle est présente, correspond à 7/5 du tempo de la mélodie (Fig 89 ; Ligne C). Cette partie est constituée de 24 expositions de mélodies.

-La 3^{ème} partie correspond à l'exposition d'une mélodie en demandant au patient si elle contient d'après lui une fausse note. La fausse note, lorsqu'elle est présente, correspond à une note éloignée d'un demi-ton d'une mélodie correspondant aux critères occidentaux d'harmonie (Fig. 89 ; Ligne D). Cette partie est constituée de 24 expositions de mélodies. Les mélodies ont été créées avec 10 instruments de timbres différents parmi lesquels figurent le piano, le saxophone, la clarinette, la flûte à bec, la harpe, la guitare et des instruments à cordes.



Fig. 89 : Test BRAMS

Lignes A et B : Recherche de différences entre 2 mélodies présentées successivement

Ligne C : Recherche de coupure du rythme d'une mélodie

Ligne D : Recherche d'une « fausse note »

Le test est réalisé de façon monaurale aux visites V2, V3 et V4. Pour les visites V2 et V3, les patients utilisent un écouteur intra-auriculaire adapté à leur anatomie et inséré dans l'oreille d'étude. Pour la V3, le test est administré à travers l'appareil auditif en place par le système de streaming TVlink°. Le score à chaque partie et final était exprimé en pourcentage de réussite.

3) Questionnaires

Le questionnaire **Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale (SSQ)** est une échelle qui a été conçue par Gatehouse et Noble en 2004 pour mesurer une gamme de troubles auditifs dans plusieurs domaines [168, 237] (**ANNEXE VI**).

Le SSQ est axé sur plusieurs fonctions auditives supposées dépendre du système binaural. Trois aspects généraux ont été distingués : audition de la parole, audition spatiale, et qualité de l'audition.

-Première partie : Audition de la parole

Cette partie comprend 14 items recouvrant des conditions de sons compétitifs, de visibilité d'autres interlocuteurs, de nombre de personnes impliquées dans une conversation et différentes conditions environnementales (silence, bruit constant, réverbération).

-Deuxième partie : Audition spatiale

Cette partie composée de 17 items concerne l'appréciation directionnelle et de distance, mais s'intéresse également à la discrimination du mouvement du son. En effet dans la vie quotidienne, de nombreux événements audibles dont la direction et la distance sont appréciables pour l'auditeur sont de source stationnaire, mais la trame de la « scène auditive » est également dynamique.

-Troisième partie : Qualité de l'audition

Cette dernière partie regroupe 18 items, traitant de la facilité d'écoute, de l'aspect naturel du son, de la clarté du son, du caractère identifiable de différents orateurs, morceaux, instruments musicaux et sons de l'environnement quotidien.

Le SSQ était remis aux patients comme un auto-questionnaire et rempli avec l'aide de l'assistant de recherche clinique aux visites V2, V3 et V4. La consigne leur était expliquée oralement et se trouvait également par écrit sur la première page du questionnaire. Chaque question était accompagnée d'une échelle graduée de 0 à 10 pour laquelle 0 représente une incapacité totale et 10 une compétence parfaite. Le patient avait pour consigne de signaler par une marque (une croix par exemple) sa position par rapport à l'énoncé de l'item sur l'échelle. Les scores pour chacune des 3 parties et le score total étaient calculés.

L'Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit (APHAB) a été imaginé par Cox en 1995 qui voulait créer un questionnaire facile d'utilisation pour l'évaluation de l'appareillage auditif [148] (**ANNEXE VII**). L'APHAB est un questionnaire simplifié tiré du Profile of Hearing Aid Benefit (PHAB) du même auteur [238]. De nombreuses études ont validé son utilisation dans le cadre de l'évaluation de l'appareillage auditif [239-241]. L'APHAB comprend 24 affirmations classées dans les 4 catégories suivantes : Facilité de communication (EC), Réverbération (RV), Bruits ambiants (BN), Sons indésirables (AV). Chacune des 24 affirmations concerne une seule catégorie. Il existe pour chaque affirmation 7 réponses possibles allant de « toujours » à « jamais » et correspondant à des pourcentages. Les mesures se font grâce à un logiciel dédié et sont données en pourcentage de difficulté

sur les 4 catégories décrites ci-dessus. Le questionnaire était administré aux visites V2 et V3 pour les parties respectives "Non appareillé" et "Appareillé". Les scores en pourcentage de difficultés étaient calculés pour chaque catégorie (EC, RV, BN, AV) avant et après appareillage.

Le **Glasgow Benefit Profile (GBI)** est un questionnaire post-interventionnel validé qui évalue les effets d'une intervention sur l'état de santé d'un patient (le cas échéant, l'appareillage auditif externe et la chirurgie) (**ANNEXE VIII**). Ce questionnaire sur l'état de santé a été également conçu par l'équipe de Robinson, Gatehouse et Browning pour évaluer l'état de santé des patients présentant une pathologie oto-rhino-laryngologique [224]. Il est généralisable à différentes pathologies et interventions oto-rhino-laryngologiques. Chaque question s'adresse à un aspect de la qualité de la vie lié à la santé, indépendant de l'intervention concernée. Les questions sont donc d'ordre général mais renvoient à un événement (appareillage/chirurgie). Les mesures s'effectuent selon un score allant de -100 (aggravation totale après l'intervention), à +100 (amélioration totale après l'intervention) en passant par 0 (aucun changement après l'intervention). Le questionnaire était donné à remplir au patient aux visites V2, V3 et V4. Les résultats du questionnaire peuvent être divisés en différentes parties : score général, sous-score général, sous-score de soutien d'autres personnes et sous-score de santé physique.

Le questionnaire **Tinnitus Handicap Inventory (THI)**, (**ANNEXE IX**) est un questionnaire développé par Newman et al en 1996 [242] et validé en français [243] dans l'évaluation de l'acouphène. Il correspond à 25 questions en rapport avec l'acouphène qui peuvent être cotées « Oui », « Parfois » ou « Non ». Le score total est sur 100 et correspond à 5 niveaux de handicap lié à l'acouphène : léger de 0 à 16, faible de 18 à 36, moyen de 38 à 56, sévère de 58 à 76 et catastrophique de 78 à 100. Ce questionnaire était administré uniquement en cas d'acouphène ressenti par le patient aux visites V2, V3 et V4.

En cas d'acouphène, la gêne occasionnée et l'intensité ressentie par le patient étaient évaluées par l'Echelle Visuelle Analogique gêne (EVA_g) et intensité (EVA_i). Ces EVA sont standardisées de façon à ce qu'une même phrase soit prononcée pour chacune des 2 échelles. Le patient bouge alors un curseur sur chacune des 2 réglettes en fonction qu'il ne présente respectivement « pas de gêne » ou « pas d'acouphène » et « une gêne maximale imaginable » ou « une intensité maximale imaginable » (**ANNEXE X**).

Le **Questionnaire post-opératoire** de l'otospongiose a été conçu pour répertorier les effets indésirables éventuels de la chirurgie sur le goût et l'hypersensibilité au bruit (**ANNEXE X**). Le questionnaire de goût est issu de la traduction d'un questionnaire spécifique de l'étude de Clark sur la fonction du nerf corde du tympan après chirurgie de l'oreille moyenne [244]. Il est composé de diverses questions sur la qualité générale du goût, la perception des saveurs sucré/acide/salé/amer, des perceptions anormales (picotements, goût métallique) ou encore sur la quantité de salive. Le questionnaire sur l'hyperacousie se limite à quelques questions sur la gêne engendrée par les sons brusques et forts avec une cotation de 0 à 10 de l'hypersensibilité au bruit en général avant et après l'opération. Ces questionnaires étaient administrés au cours de la V4.

4) Autres variables relevées :

D'autres variables ont été recueillies :

- Les caractéristiques otoscopiques ont été notées pour les visites V1, V3 et V4.
- L'âge, le sexe, l'ancienneté de la surdité, le niveau d'étude, la profession (actuelle ou ancienne), les tympanogramme, les réflexes stapédiens , le stade scannographique s'appuyant sur la classification de Veillon [90] ont été recueillis au cours de la visite V1.
- Un recueil des effets indésirables et complications après appareillage et chirurgie a été effectué au cours des visites V3 et V4.

Un tableau récapitulatif du suivi patient est disponible en **ANNEXE XII**.

Analyses statistiques

Le protocole de l'étude a été élaboré avec l'aide du Service d'épidémiologie du CHU de Toulouse (Dr Benoit LEPAGE).

Calcul de la taille d'étude

Dans cette étude, l'objectif principal était de décrire de manière longitudinale, l'évolution de la qualité de vie entre le début de la prise en charge (V2) :

- et d'une part 2 mois après prise en charge par audioprothèse (V3)
- et d'autre part 2 mois après stapédotomie (V4)

Dans les études pilotes, un effectif minimal de 30 sujets est généralement recommandé pour décrire la distribution des critères de jugement [245].

Comparaison « avant-après » :

Peu de données sont disponibles dans la littérature sur l'évolution du score de qualité de vie GHSI chez des patients traités pour surdité. A titre d'exemple, on peut se référer à l'étude de Orabi [227] qui a montré chez 19 patients (âgés de 60-80 ans) une différence significative « avant vs après » traitement par implant cochléaire du score total GHSI ($p < 0,001$). Cette significativité correspond à une différence de 0,9 écart-type environ sur test apparié. Pour rechercher une différence légèrement plus faible de 0,6 écart-type, avec une puissance de 80% et un risque alpha de 5%, le nombre de sujets nécessaires était de 26. La réalisation d'un test « avant-après » traitement de manière exploratoire paraissait donc compatible avec les effectifs de cette étude pilote, parallèlement à l'estimation de l'évolution des scores de qualité de vie.

Méthodes statistiques employées

Les données manquantes étaient décrites et les données aberrantes recherchées à l'aide de contrôles logiques. Ces données manquantes et aberrantes étaient corrigées, dans la mesure du possible, à l'étape de data management.

Objectif principal :

La distribution du score de qualité de vie GHSI a été décrite pour le score total et les sous-scores par les moyennes et écarts-types aux différents temps de mesure V2, V3 et V4. Les moyennes ont été estimées avec un intervalle de confiance à 95%. Elles sont comparées d'un temps de mesure à l'autre à titre exploratoires par un test apparié (test de Wilcoxon en cas de répartition non normale).

Objectifs secondaires :

Les critères de jugement secondaires quantitatifs étaient décrits de la même manière que le critère de jugement principal.

RÉSULTATS

Population d'étude

Entre décembre 2015 et septembre 2016, 18 patients ont été inclus dans l'étude.

Une sortie d'étude à la visite V3 a été effectuée pour un patient devant la découverte d'un critère scannographique d'exclusion (déhiscence du canal semi-circulaire supérieur). Le patient n'a pas été opéré et une prescription d'appareillage auditif lui a été fournie.

Les résultats suivants concernent les patients qui ont terminé l'étude.

Sur les 9 patients ayant terminé l'étude, on comptait 7 femmes et 2 hommes âgés de 44 à 74 ans avec une moyenne d'âge de 58,7 ans et une médiane de 62 ans. Concernant le côté étudié, il s'agissait de l'oreille droite dans 3 cas et de l'oreille gauche dans 6 cas. Trois chirurgiens ont participé au recrutement des patients dont un à raison de 7 patients. Six patients présentaient un niveau d'étude Baccalauréat ou plus, 2 patients un Brevet élémentaire, CAP ou BEP et 1 patiente un niveau de Certificat d'Étude Primaire. Quatre patients exerçaient ou avaient exercé en tant que cadre supérieur ou profession intellectuelle supérieure, 3 patients en tant qu'artisan, commerçant ou chef d'entreprise et 2 patients en tant qu'employés.

On comptait 4 patients actifs, 4 patients retraités et un demandeur d'emploi.

Pour 8 patients, il s'agissait d'une découverte du diagnostic d'otospongiose et pour une patiente, on notait la notion de stapédotomie au niveau de l'oreille controlatérale il y avait plusieurs années avec un bon résultat fonctionnel. Aucun patient ne présentait d'antécédents familiaux d'otospongiose à l'interrogatoire. Les antécédents personnels notables étaient une maladie de Parkinson pour une patiente, une épilepsie pour une autre patiente et une association sarcoïdose avec syndrome de Raynaud pour une troisième.

L'ancienneté de la surdité ressentie du côté évalué variait de 1 à 25 ans pour une moyenne de 6.9 ans et une médiane de 2 ans. Le nombre de visites chez l'audioprothésiste, visite d'appareillage incluse, a varié de 1 à 4 pour un nombre moyen de visites de 2.7 et médian de 2.

Les données audiométriques initiales

La surdité sur l'oreille considérée s'étendait de 43dB à 76dB en conduction aérienne (250-4000Hz) avec une moyenne de 55dB de perte. La fréquence 8kHz présentait des seuils allant de 30 à 85dB pour une moyenne de perte de 57dB.

La réserve cochléaire, évaluée par la conduction osseuse (250-4000Hz), s'étendait de 13 à 31dB de perte pour une moyenne de 21dB. Le Rinne moyen était de 34dB pour avec un minimum de 29,5dB et un maximum de 44dB.

Les tympanogrammes et réflexes stapédiens

Du côté évalué, les tympanogrammes étaient considérés comme normaux (type A1) dans 6 cas, comme de mobilité diminués (type AS) dans 2 cas et plat (type B) dans 1 cas.

Le côté controlatéral révélait des tympanogrammes normaux dans 4 cas, de mobilité diminuée dans 3 cas et augmentée (type AD) dans 2 cas.

Les réflexes stapédiens étaient absents du côté évalué dans 6 cas, présents dans 1 cas et montraient un effet ON/OFF dans 2 cas. Du côté controlatéral, ils étaient absents dans 3 cas, présents dans 4 cas et montraient un effet ON/OFF dans 1 cas.

Les données radiologiques

Du côté évalué, le scanner montrait une hypodensité pré-stapédienne dans la totalité des cas. Il s'agissait d'une hypodensité pré-platinaire de moins de 1mm (stade II de Veillon) dans 3 cas et de plus de 1mm sans contact cochléaire (stade II de Veillon) dans 6 cas. L'étude du côté controlatéral ne révélait aucun signe d'otospongiose dans 6 cas, une otospongiose classée Ib dans 1 cas et II dans 2 cas. Sur les 9 patients étudiés, 3 patients présentaient donc une atteinte bilatérale.

La chirurgie

Les 9 patients ont été opérés sous anesthésie générale. Le choix du type d'anesthésie a été déterminé après discussion conjointe entre le chirurgien et le patient. L'intervention s'est déroulée en ambulatoire pour 1 patient et en secteur d'hospitalisation traditionnelle pour 8 patients. La durée d'hospitalisation pour ces derniers a été de 3 jours pour 7 patients (entrée la veille et sortie le lendemain de l'intervention) et de 5 jours pour une patiente qui a présenté des vertiges et des vomissements post-opératoires rapidement résolutifs.

Pour une patiente, la chirurgie a permis la mise en évidence d'une fixation de la tête du marteau par ossification du ligament suspenseur associée à la fixation stapédienne par le foyer pré-platinaire. La libération de cette fixation malléaire a pu être effectuée dans le même temps opératoire et il a été décidé de conserver cette patiente pour les résultats présentés dans cette thèse.

Critères cliniques

L'otoscopie

Les tympan des patients ont été contrôlés à la visite V2 et se sont révélés normaux sauf pour un côté, controlatéral à celui étudié, chez une patiente qui avait déjà été opérée de stapédotomie il y a plusieurs années dans un autre centre. Les otoscopies n'ont pas été modifiées après appareillage ou chirurgie.

Évolution des signes fonctionnels

Les acouphènes

Sur les cinq patients qui présentaient un acouphène à l'inclusion, 3 ont vu leur acouphène persister quel que soit le type de réhabilitation de leur surdité. Pour 1 patient, l'appareillage a supprimé l'acouphène alors que pour un autre c'est la chirurgie a permis sa disparition.

Les otalgies

Deux patients se plaignaient initialement d'otalgies. Ces otalgies ont disparu dès l'appareillage pour un patient et seulement après la chirurgie pour l'autre. Un seul patient a présenté des otalgies post-opératoires.

Les vertiges

Deux patients se plaignaient de vertiges à l'inclusion qui auraient disparus avec l'appareillage et seraient réapparus dans 1 cas après chirurgie.

Un patient a décrit l'apparition de vertiges après la chirurgie. Aucun cas de vertiges n'a été à déplorer au cours de l'appareillage.

L'hyperacousie

Trois patients souffraient d'hyperacousie à l'inclusion. Cette hyperacousie a persisté pour 2 d'entre eux à l'appareillage et une hyperacousie est apparue pour 2 nouveaux patients.

Après chirurgie, 3 patients ont présenté une apparition d'hyperacousie et deux patients la persistance d'une hyperacousie ancienne. Une hyperacousie au cours de l'appareillage a été résolutive pour 1 patient après chirurgie.

Autres symptômes

Une patiente s'est plainte de sensation d'oreille bouchée à l'inclusion et à l'appareillage qui a disparu après chirurgie.

Critères audiométriques

Audiométrie tonale

Les données par patient sont représentées en **ANNEXE XII**.

Les résultats de l'évolution des conductions osseuses avant et après chirurgie sont présentés en Figure 90.

On remarque que 5 patients ont présenté une amélioration et 4 patients une dégradation des seuils moyens. La moyenne des seuils en conduction osseuse en post opératoire est de 8,9dB (+/- 2,9dB) ce qui constitue une amélioration moyenne des seuils de 11,8dB en post-opératoire (p=0,722). Il n'a pas été mis en évidence de labyrinthisation traduite par une aggravation des seuils en CO.

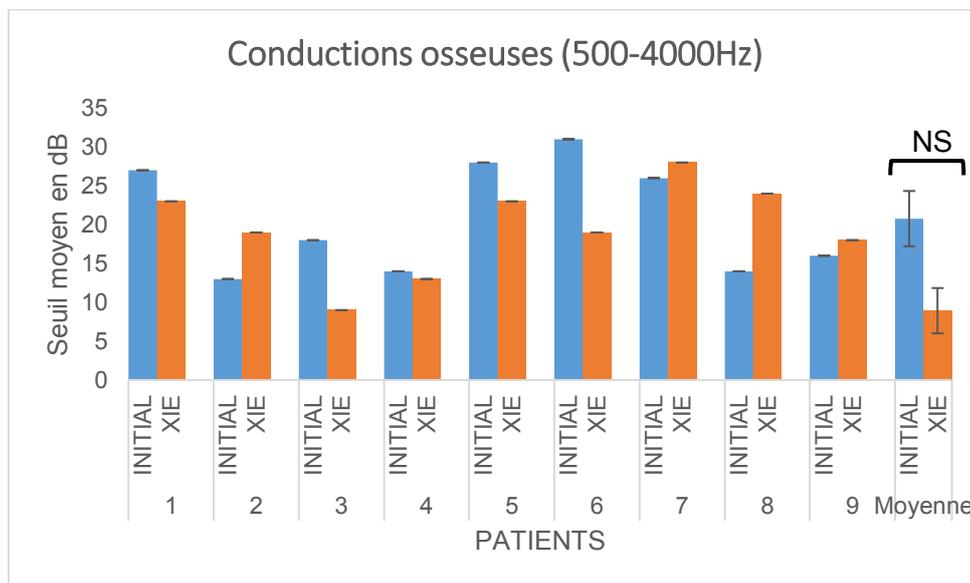


Fig. 90 : Conductions osseuses (250-4000Hz) pour chaque patient et en moyenne avant (INITIAL) et après chirurgie (XIE)

[NS : Non significatif]

Concernant l'évolution en conduction aérienne, les résultats sont présentés en Figure 91. Tous les patients ont présenté une amélioration des seuils que ce soit avec l'appareillage ou la chirurgie hormis un patient qui a vu ses seuils moyens se dégrader de 1dB en moyenne avec l'appareillage. La moyenne des seuils en conduction aérienne (250-4000Hz) était de 54,7dB (+/- 5,3dB) en préopératoire, 39,9dB (+/- 3dB) après appareillage et 30,1dB (+/- 4dB) après chirurgie. L'amélioration moyenne a donc été de 14,8dB avec appareillage (p=0.015) et de 24,6dB avec la chirurgie (p=0,009). Huit patients ont été davantage améliorés avec la chirurgie mais il n'a pas été retrouvé de différence statistiquement significative entre les 2 méthodes de réhabilitation (p=0,066).

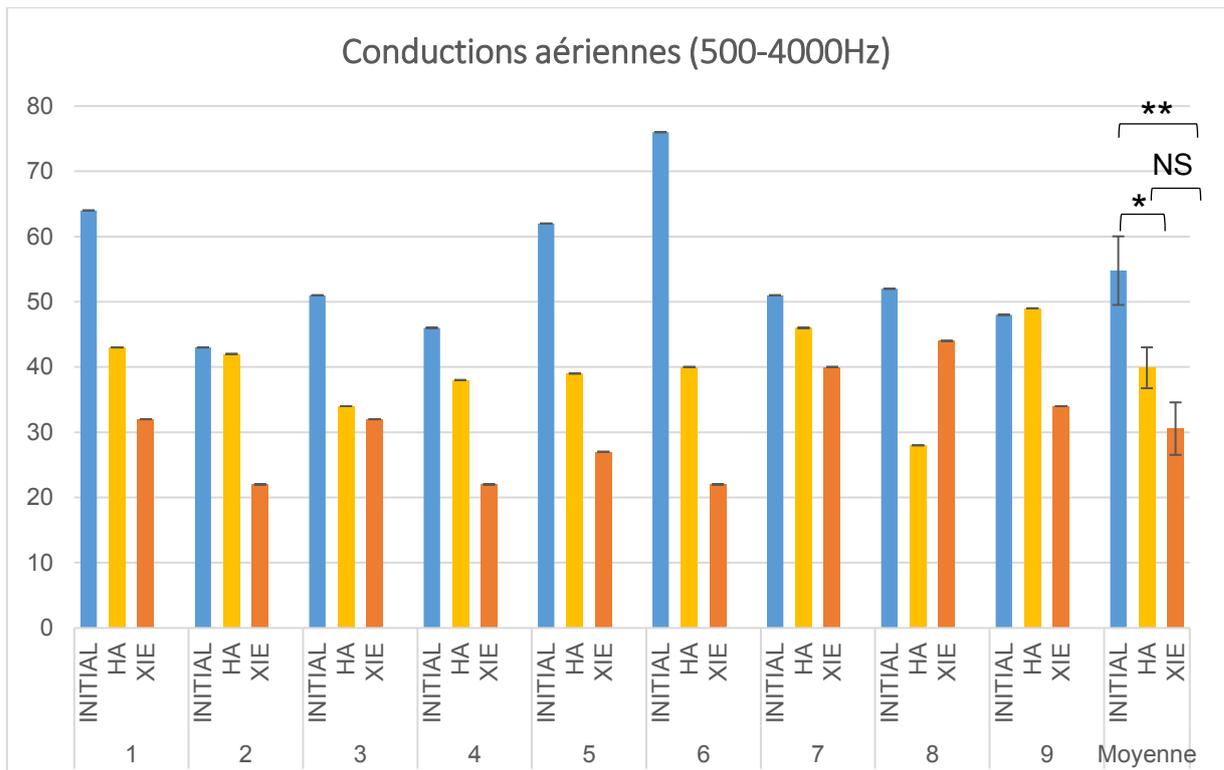


Fig. 91 : Conduction aérienne (250-4000Hz) pour chaque patient et en moyenne au début de l'étude (INITIAL), après appareillage (HA) et après chirurgie (XIE)
 [NS : Non significatif ; * : $0,01 \leq p \leq 0,05$; ** : $p \leq 0,01$]

Concernant les résultats sur la fréquence 8000Hz, les résultats sont présentés en Figure 92. On remarque que 2 patients présentent de moins bons seuils après appareillage sur cette fréquence et 4 patients après chirurgie jusqu'à 20dB d'aggravation pour un patient. La moyenne des seuils en conduction aérienne sur la fréquence 8000Hz était de 57,2dB (+/- 10,6dB) en préopératoire, 55,7dB (+/- 5,5dB) après appareillage et 60dB (+/- 10,1dB) après chirurgie. En moyenne, les seuils après appareillage sont améliorés de 1,5dB ($p=0,343$) et dégradés de 2,7dB après chirurgie ($p=0,552$). Il n'y a pas de différences significatives lorsqu'on compare les résultats de l'audioprothèse et de la chirurgie ($p=0,232$).

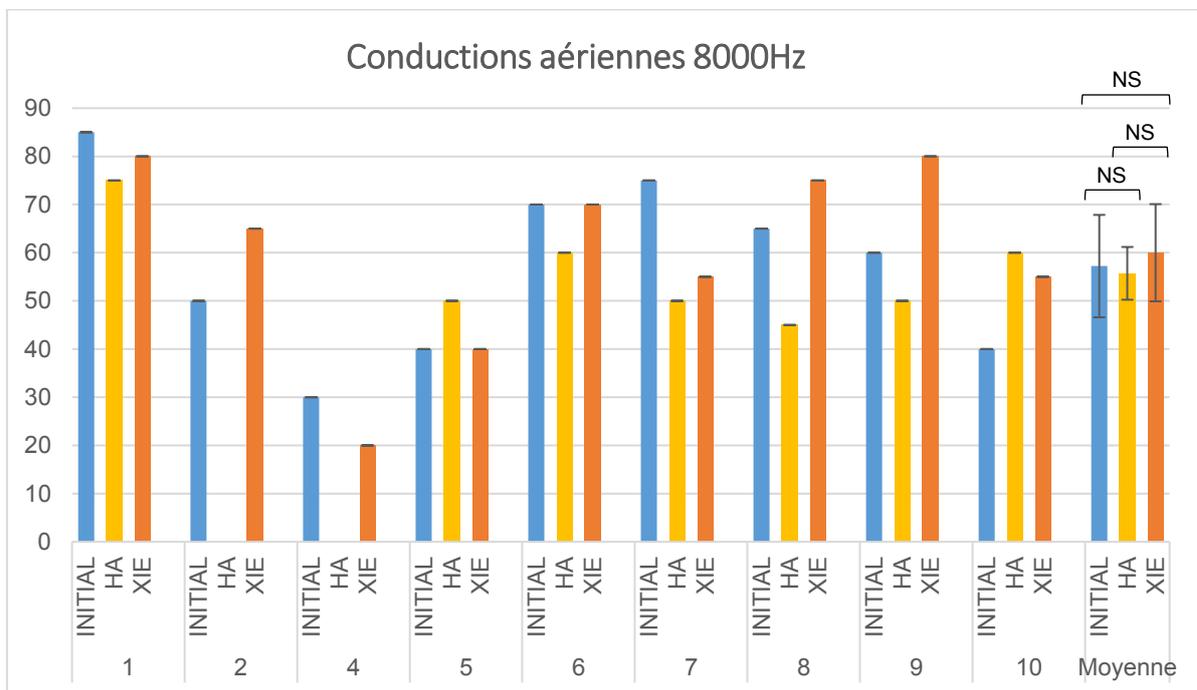


Fig. 92 : Conduction aérienne (8000Hz) pour chaque patient et en moyenne au début de l'étude (INITIAL), après appareillage (HA) et après chirurgie (XIE)

[NS : Non significatif]

En ce qui concerne la diminution du Rinne audiométrique, il a eu lieu chez 8 patients avec l'appareillage et chez tous les patients avec la chirurgie. La moyenne de fermeture du Rinne pour l'appareillage était de 13,3dB et la médiane de 13,5dB. Pour la chirurgie, la moyenne de fermeture était de 18,5dB et la médiane de 19dB. La chirurgie a offert une réduction plus importante du Rinne dans 7 cas.

Les audiométries moyennes avec écarts-types au début de l'étude, après appareillage et après chirurgie sont représentés à titre indicatif dans les Figures 93 à 95.

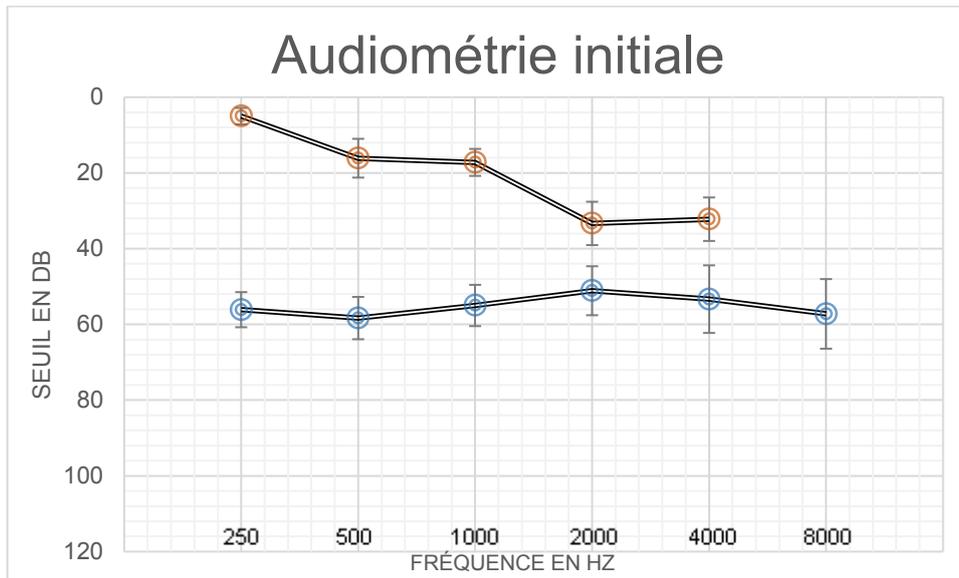


Fig. 93 : Audiométrie moyenne avec écarts-types au début de l'étude

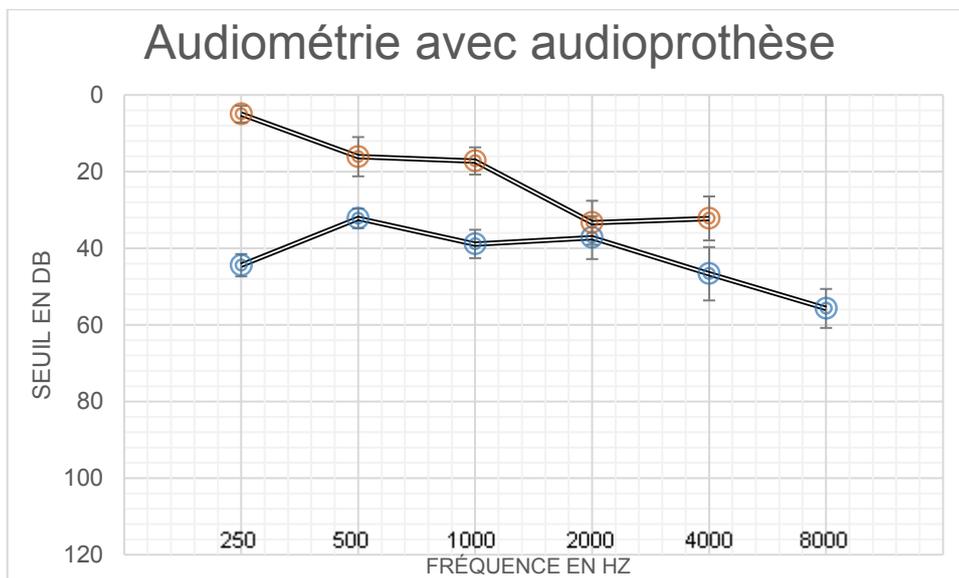


Fig. 94 : Audiométrie moyenne avec écarts-types après appareillage

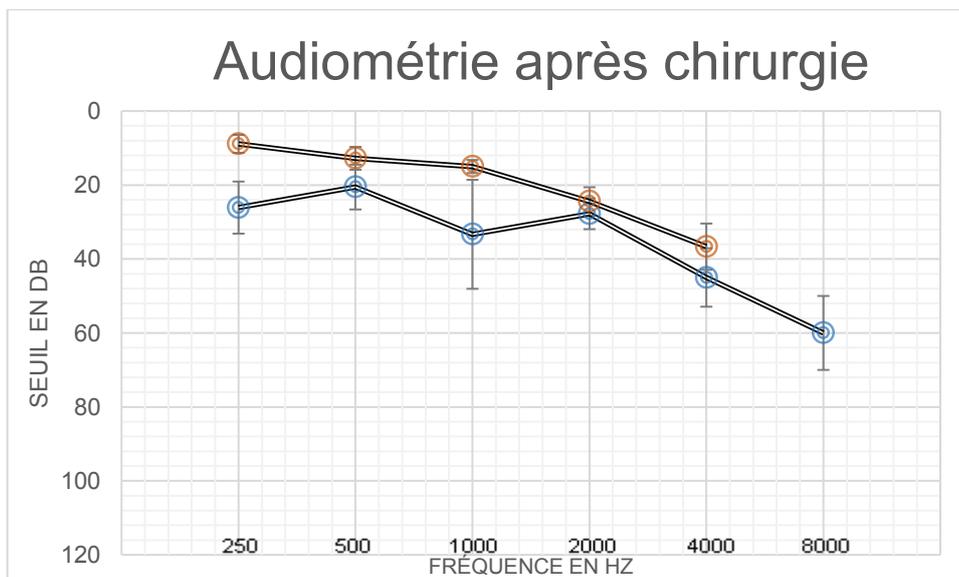


Fig. 95 : Audiométrie moyenne avec écarts-types après chirurgie

Audiométrie vocale

Les données brutes par patient sont représentées en ANNEXE XIV.

Nous avons considéré le seuil en dB pour les pourcentages de reconnaissance de mots suivants : 10%, 50% et 100% et les résultats sont présentés en Figure 96. Les moyennes initiales des seuils étaient respectivement de 55,1dB (+/- 6,1dB), 59,9dB (+/- 7,5dB) et 68,3dB (+/- 6,9dB).

L'appareillage a permis une amélioration de tous les seuils pour 6 patients. Pour 3 patients, certains seuils étaient inchangés ou dégradés. Les moyennes des seuils après appareillage étaient respectivement de 49,2dB (+/- 5,8dB), 49,6dB (+/- 5,2dB) et 59dB (+/- 4,1dB).

L'amélioration n'a jamais été statistiquement significative.

La chirurgie a permis l'amélioration systématique des seuils de l'audiométrie vocale excepté pour un patient qui a présenté un seuil d'intelligibilité légèrement dégradé (+1dB) et un seuil maximal d'intelligibilité identique à son état pré-opératoire. Les moyennes des seuils après chirurgie étaient respectivement de 21,6dB (+/- 7,4dB), 29,6dB (+/- 7,2dB) et 41,7dB (+/- 7,2dB).

L'amélioration a été significative pour les scores 10%, 50% et 100% avec respectivement $p=0,009$; $p=0,024$ et $p=0,024$.

De façon générale sur les seuils moyens, la chirurgie a été significativement supérieure à l'appareillage quel que soit le score ($p=0,013$; $p=0,018$; $p=0,018$).

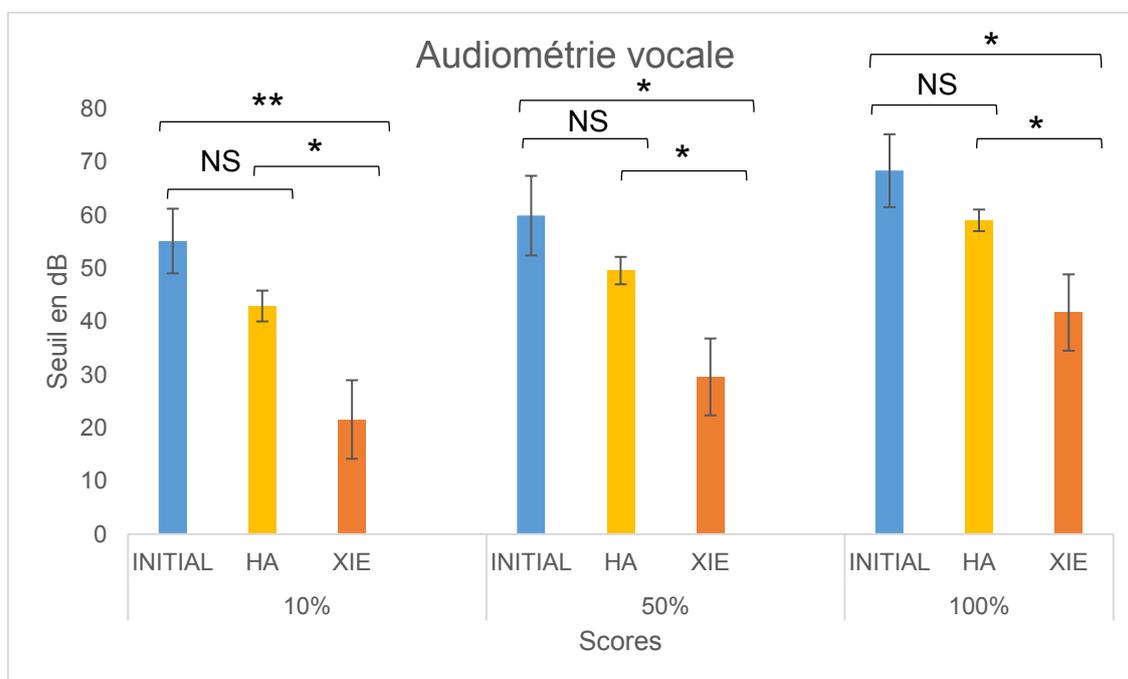


Fig. 96 : Seuils audiométriques vocaux au début de l'étude (INITIAL), après appareillage (HA), après chirurgie (XIE) pour des scores de reconnaissance de mots de 10, 50 et 100%.

[NS : Non significatif ; * : $0,01 \leq p \leq 0,05$; ** : $p \leq 0,01$]

Audition binaurale

Évolution des scores de test de localisation des sons

Les résultats par patient des tests de localisation et les RMS calculés sont présentés en **ANNEXE XV**.

A la visite d'inclusion, cinq patients présentaient des scores de localisation des sons inférieurs à 50% de réponses justes et 4 patients des scores supérieurs à 50% de réponses justes. Une patiente a répondu le même haut-parleur pour les 63 présentations lors de la visite initiale V2. Les résultats du test de localisation spatiale sont présentés en Figure 97.

Après appareillage :

Cinq patients ont vu leurs scores diminuer, 1 patient a gardé le même score et 2 patients ont vu leurs scores s'améliorer.

Après chirurgie :

Un seul patient a vu son score diminuer et huit patients ont vu leurs scores augmenter. Un patient n'a pas été amélioré par l'appareillage alors qu'il l'a été par la chirurgie. Enfin sur les 4 patients qui ont été améliorés par l'appareillage, 3 l'ont été davantage par la chirurgie et un seul (mauvais performeur) a présenté de meilleurs scores avec audioprothèse.

Les scores moyens initiaux, après appareillage et après chirurgie étaient respectivement de 51 (+/- 16), 43 (+/- 9) et 62 (+/- 15).

En moyenne, l'appareillage a tendance à détériorer la localisation spatiale de 8 points de % ($p=0,234$) et la chirurgie à l'améliorer de 11 points de % ($p=0,097$). La chirurgie a été statistiquement supérieure à l'appareillage en matière de performances sur le test de localisation des sons ($p=0,013$).

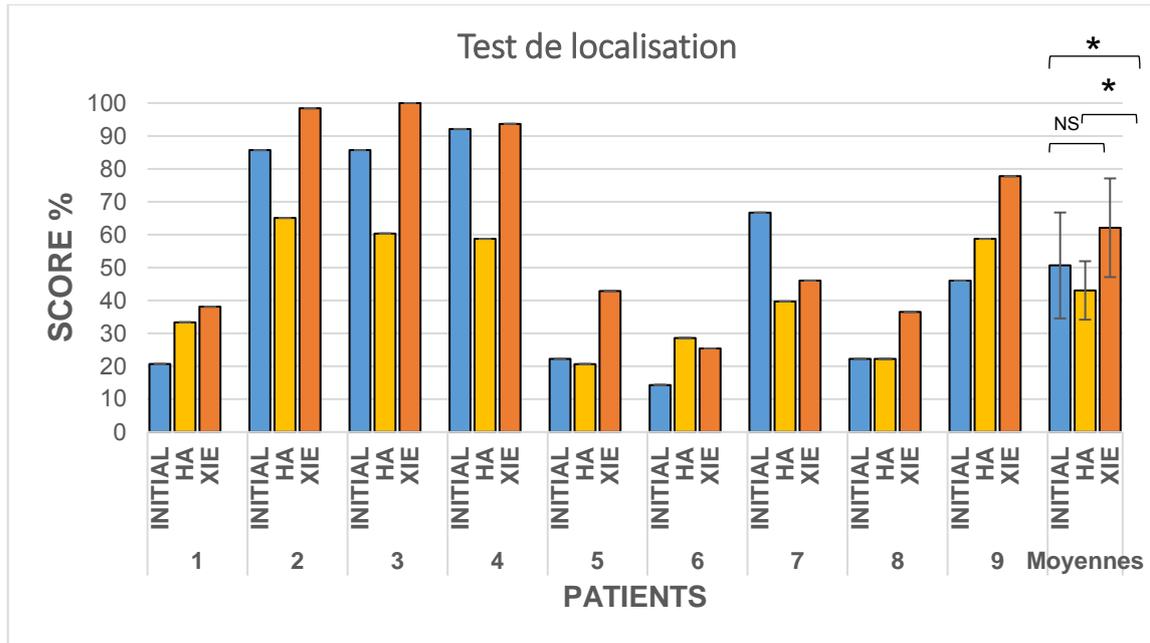


Fig. 97 : Scores au test de localisation par patients et moyenne au début de l'étude (INITIAL) après appareillage (HA) et après chirurgie (XIE)

[NS : Non significatif ; * : $0,01 \leq p \leq 0,05$]

L'évolution du RMS par patient et moyen est représenté en figure 98.

Huit patients ont présenté de meilleures valeurs de RMS après la chirurgie et un seul a vu son score initial se dégrader. Quatre patients ont vu leurs scores se dégrader après appareillage et cinq s'améliorer. Au total, les meilleurs scores sont obtenus après chirurgie pour 6 patients et après appareillage pour 3 patients.

Les scores moyens initiaux, après appareillage et après chirurgie du RMS étaient respectivement de $48,1^\circ$ ($\pm 19,9^\circ$), $37,1^\circ$ ($\pm 8,1^\circ$) et $29,3^\circ$ ($\pm 15^\circ$).

En moyenne, l'appareillage a permis néanmoins une amélioration du RMS de 9° ($p = 0.5$) et la chirurgie de $18,8^\circ$ ($p=0.012$).

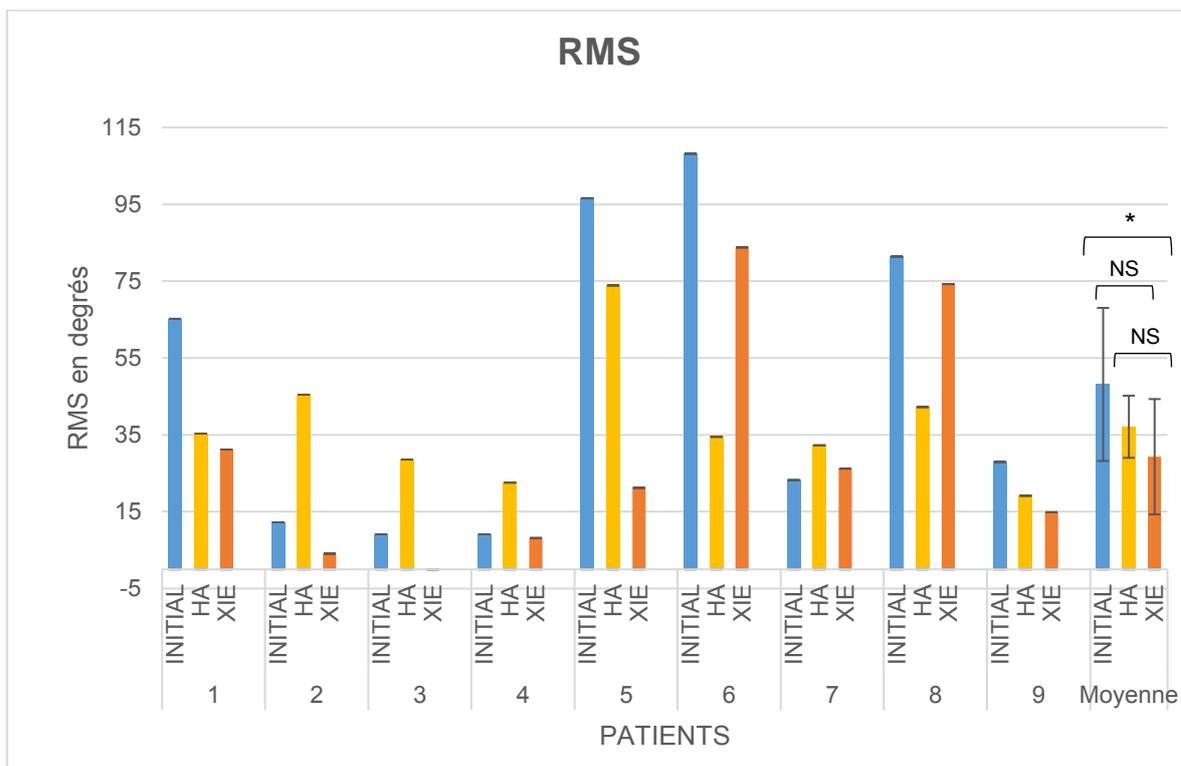


Fig. 98 : RMS par patients et moyenne au début de l'étude (INITIAL) après appareillage (HA) et après chirurgie (XIE)

[NS : Non significatif ; * : $0,01 \leq p \leq 0,05$]

Évolution des scores d'intelligibilité dans le bruit (MATRIX°)

Les résultats patients du test MATRIX sont en ANNEXE XVI.

Les résultats moyens du test MATRIX sont présentés en Figure 99 et 100.

Deux patients présentant de scores aberrants systématiques tout au long de l'étude (SRT très élevés) ont été exclus des résultats présentés ci-dessous.

En conditions diotique :

L'appareillage entraîné une augmentation du SRT chez 3 patients et une diminution chez 3 avec un score moyen de -2,2dB (+/- 1,2dB) soit une amélioration de -0,4dB (p=1). Un patient a présenté les mêmes scores avant et après appareillage. La chirurgie entraîné une diminution du SRT pour un seul patient et une augmentation pour 6 patients avec un score moyen de -1,5dB (+/- 0,6dB) soit une dégradation des scores de +0,2dB (p=0,27).

De façon générale, l'appareillage a eu tendance à diminuer le SRT de façon plus importante que la chirurgie (p=0,447).

En condition dichotique :

L'appareillage comme la chirurgie ont permis une diminution du SRT chez 5 patients et une augmentation du SRT dans 1 cas avec un score moyen respectif de -4,4dB (+/- 2,6dB) et -6,3dB (+/- 3,5dB) soit une diminution globale du SRT de -3dB et -4,8dB (p=0,035 dans les 2 cas).

De façon générale, la chirurgie a eu tendance à diminuer le SRT de façon plus importante que l'appareillage (p=0,236).

En condition dichotique inversé :

L'appareillage a permis une diminution du SRT chez 5 patients et une augmentation chez 2 patients avec un SRT moyen de -8,1B (+/- 1,6dB) soit une diminution globale du SRT de -0,6dB (p=0,611). La chirurgie a permis une diminution du SRT chez 6 patients et une augmentation chez 1 patient avec un SRT moyen de -9,6dB (+/- 1,7dB) soit une diminution globale du SRT de -2,1dB (p=0,034). De façon générale, la chirurgie permis une diminution significativement plus importante du SRT que l'appareillage (p=0,022).

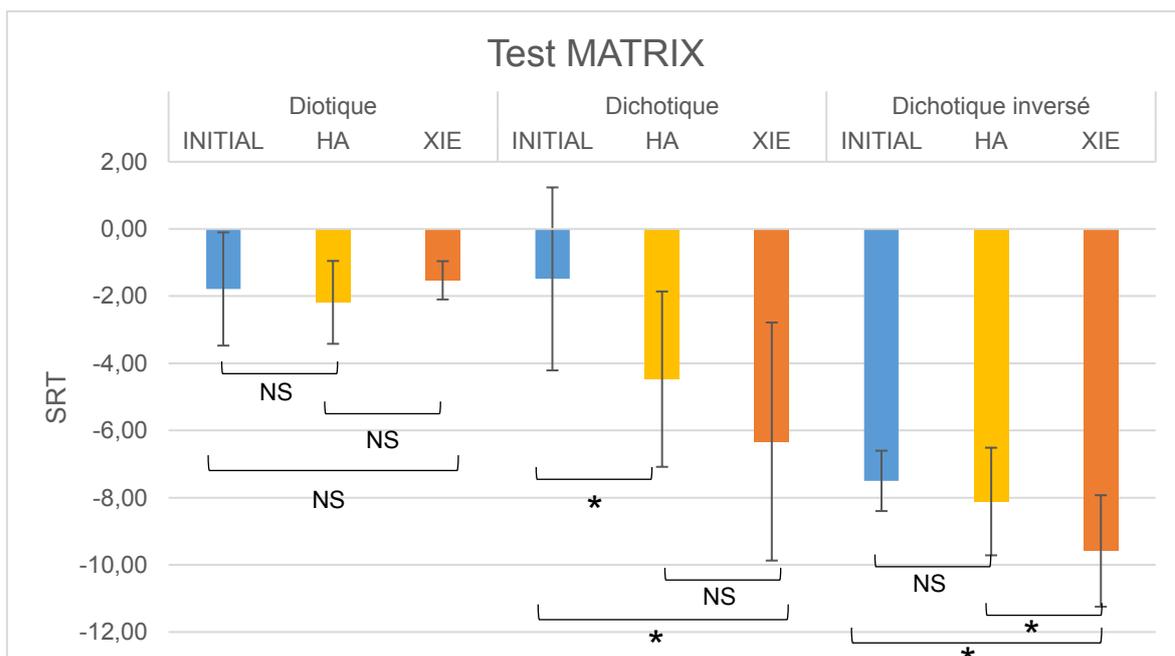


Fig. 99 : SRT moyens et écarts-types en conditions diotique, dichotique et dichotique inversée au début de l'étude (INITIAL) après appareillage (HA) et après chirurgie (XIE)

[NS : Non significatif ; * : $0,01 \leq p \leq 0,05$]

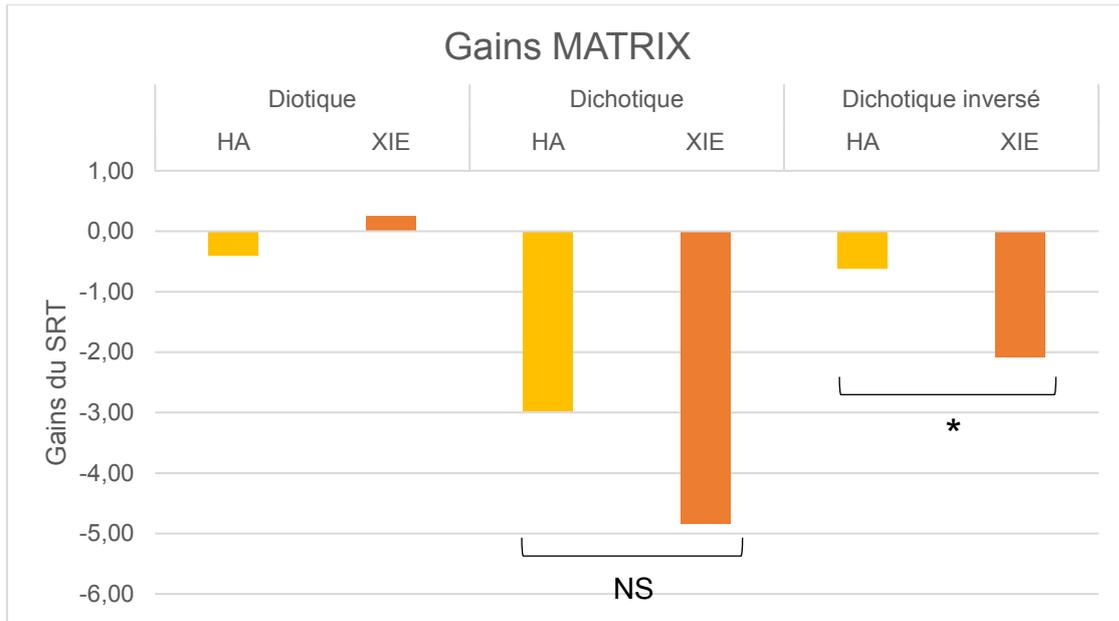


Fig. 100 : Représentation des gains du SRT après appareillage (HA) et chirurgie (XIE) en conditions diotique, dichotique et dichotique inversée
[NS : Non significatif ; * : $0,01 \leq p \leq 0,05$]

Évaluation du questionnaire SSQ

Les résultats patients du questionnaire SSQ sont en **ANNEXE XVII**.

Les résultats du questionnaire SSQ sont présentés en Figure 101.

1ère partie : Audition de la parole

Les scores moyens initiaux, après appareillage et après chirurgie ont été respectivement de 62,5 (+/- 12,8), 78,8 (+/- 9,2) et 69,7 (+/- 11,4).

Les scores ont été améliorés après appareillage dans 8 cas et diminués dans 1 cas avec une moyenne d'amélioration de 16,3 points ($p=0,018$).

La chirurgie a amélioré les patients dans tous les cas avec une moyenne d'amélioration de 34,2 points ($p=0,009$).

La chirurgie a été en général supérieure à l'appareillage ($p=0,044$).

2ème partie : Audition spatiale

Les scores moyens initiaux, après appareillage et après chirurgie ont été respectivement de 90,6 (+/- 19), 106,6 (+/- 14,5) et 122,1 (+/- 14,9).

L'appareillage a amélioré les scores dans 8 cas et l'a diminué dans 2 cas pour une moyenne d'amélioration de 16 points ($p=0,124$).

Les scores ont été améliorés après chirurgie pour 7 patients et diminués pour 2 patients avec une moyenne d'amélioration de 31,5 points ($p=0,058$).

La chirurgie a eu tendance à être supérieure à l'appareillage mais de manière non significative ($p=0,155$).

3ème partie : Qualité de l'audition

Les scores moyens initiaux, après appareillage et après chirurgie ont été respectivement de 112,3 (+/- 15,5), 128,6 (+/- 12,4) et 137,4 (+/- 11,7).

Les scores ont été améliorés dans 7 cas et diminués dans 2 cas après appareillage pour une moyenne de 16,3 points ($p=0,039$).

Après chirurgie, les scores ont été améliorés dans 8 cas et diminués chez 1 patient pour une moyenne d'amélioration de 25,1 points ($p=0,076$).

La chirurgie a eu tendance à être supérieure à l'appareillage de façon non significative ($p=0,514$).

Score total

Les scores moyens initiaux, après appareillage et après chirurgie ont été respectivement de 265,4 (+/- 42,3), 313,9 (+/- 31,2) et 356,2 (+/- 30,1).

L'appareillage a systématiquement amélioré les patients sur le score total avec une moyenne de 48,5 points ($p=0,009$) tandis que la chirurgie a amélioré 8 patients et dégradé 1 cas pour un score moyen de 90,8 points ($p=0,024$).

Hormis le patient qui a présenté de moins bons scores à la V4 par rapport aux score initiaux, la chirurgie a eu tendance à être supérieure à l'appareillage de façon non significative ($p=0,124$).

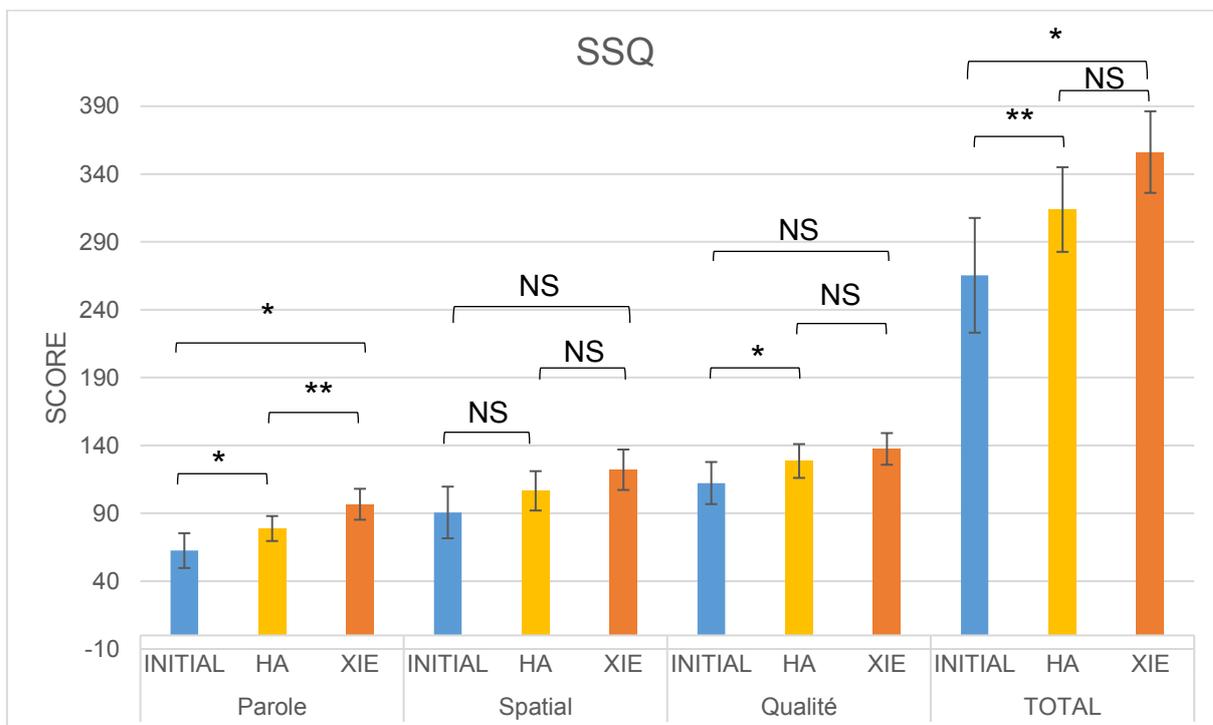


Fig. 101 : Représentation des scores moyens SSQ au début de l'étude (INITIAL) après appareillage (HA) et après chirurgie (XIE)
 [NS : Non significatif ; * : $0,01 \leq p \leq 0,05$; ** : $p \leq 0,01$]

Perception de la musique (BRAMS°)

Les données patients sont présentées en **ANNEXE XVIII**.

Les résultats de l'évolution des scores au test BRAMS° sont représentés en Figure 102.

1ère partie :

Les scores après appareillage ont été stables pour 3 patients, moins bons pour 2 patients et meilleurs pour 4 patients avec une moyenne de -1. Les scores après chirurgie ont été stables pour 2 patients, moins bons pour 5 patients et meilleurs pour 2 patients avec une moyenne de -2,3. L'appareillage a été l'égal de la chirurgie dans 2 cas et l'a surpassé pour cette partie dans 5 cas.

2ème partie :

Les scores après appareillage ont été stables pour 2 patients, moins bons pour 2 patients et meilleurs pour 5 patients avec une moyenne de +3,4. Les scores après chirurgie ont été stables pour 1 patient, moins bons pour 5 patients et meilleurs pour 3 patients avec une moyenne de -2,9. L'appareillage a été l'égal de la chirurgie dans 1 cas et l'a surpassé pour cette partie dans 7 cas.

3ème partie :

Les scores après appareillage ont été moins bons pour 2 patients et meilleurs pour 7 patients avec une moyenne de +6. Les scores après chirurgie ont été moins bons pour 2 patients et meilleurs pour 7 patients avec une moyenne de +7,1. La chirurgie a été l'égal de l'appareillage dans 1 cas et l'a surpassé pour cette partie dans 6 cas.

Score total :

L'appareillage comme la chirurgie ont amélioré 6 patients et dégradé 3 patients sur les scores généraux du test BRAHMS^o avec des scores moyens respectifs à +2,4 et +0,3. La chirurgie s'est révélée égale à l'appareillage dans 1 cas, inférieure dans 4 cas et supérieure dans 4 cas.

Aucun des résultats n'a été statistiquement significatif avec des valeurs de p systématiquement supérieures à 0.2 quel que soit la partie du test ou la modalité de réhabilitation auditive.

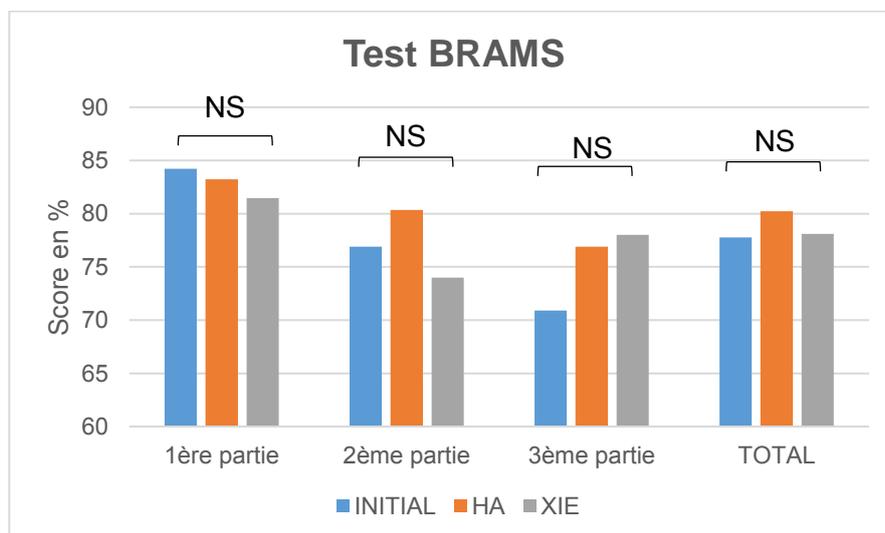


Fig. 102 : Moyennes des résultats du test BRAMS par partie total et au début de l'étude (INITIAL) après appareillage (HA) et après chirurgie (XIE) [NS=Non significatif]

Qualité de vie

GHSI

Les données des patients sont visibles en ANNEXE XIX et les résultats sont présentés en Figure 103.

Nous nous sommes principalement focalisés sur le score général qui nous semblait les plus pertinents pour représenter les variations de qualité de vie dans leur globalité.

Les scores généraux moyens initiaux, après appareillage et après chirurgie ont été respectivement de 54,7% (+/- 7%), 57,1% (+/- 5,7%) et 63,7% (+/- 5,4%).

Après appareillage, 4 patients ont vu leur score GHSI global empirer de 3,5 points de % en moyenne et s'améliorer pour 5 patients de 7,2 points de % en moyenne. Tous patients confondus, l'appareillage a apporté une amélioration moyenne de 2,4 points de % (p=0,342). Après chirurgie, tous les patients ont vu leur score GHSI s'améliorer de 9 points de % en moyenne (p=0,009). Les scores généraux du GHSI ont été systématiquement meilleurs après chirurgie qu'après appareillage (p=0,009).

Pour information, ces résultats sont du même ordre pour les sous-scores du GHSI avec de p respectifs de 0,108 pour l'appareillage et de 0,009 pour la chirurgie. Les sous-scores du GHSI ont été systématiquement meilleurs après chirurgie qu'après appareillage (p=0,009).

Les scores de soutien des autres personnes et de santé physique semblaient peu pertinents dans ce contexte. Les différences retrouvées pour ces scores étaient systématiquement non significatives avec des p supérieurs à 0,2 dans tous les cas.

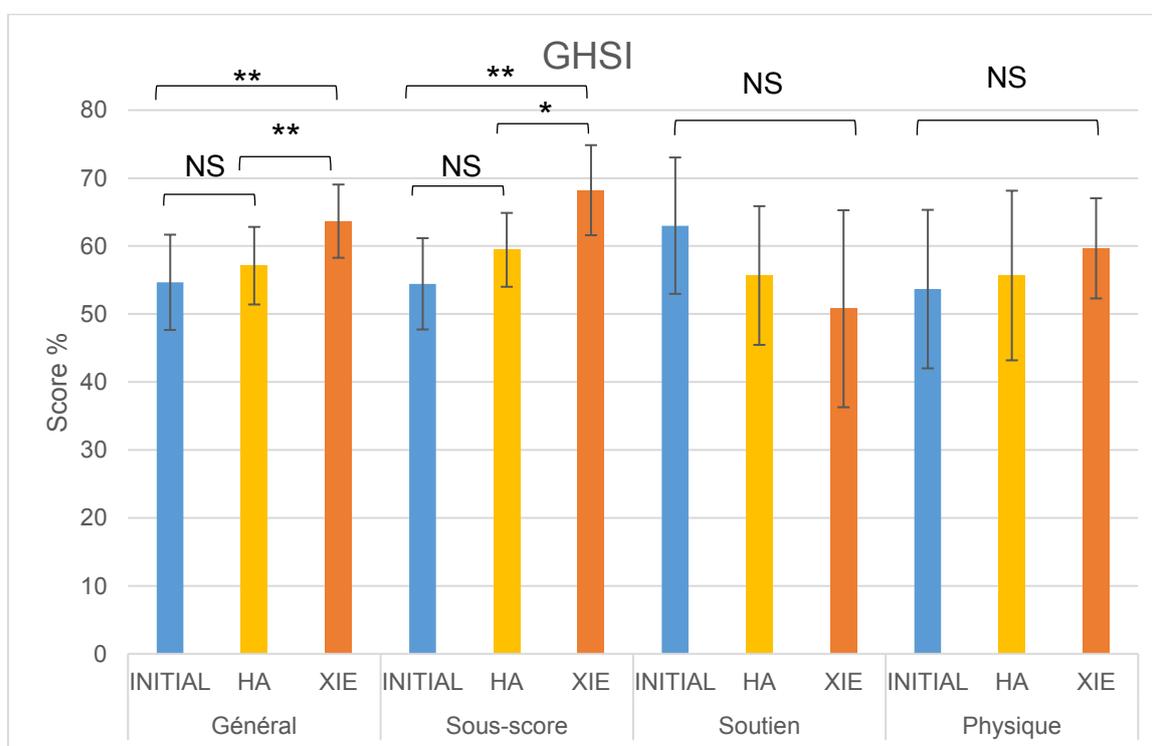


Fig. 103 : Moyennes des scores GHSI au début de l'étude (INITIAL) après appareillage (HA) et après chirurgie (XIE)

[NS : Non significatif ; * : $0,01 \leq p \leq 0,05$; ** : $p \leq 0,01$]

GBI

Les données patients sont accessibles en ANNEXE XX et les résultats moyens sont présentés en Figure 104.

Nous nous sommes là aussi concentrés sur les scores totaux du GBI (Fig 105).

Après l'appareillage, 2 patients ont présenté des scores du GBI négatifs traduisant une dégradation de leur qualité avec des scores moyens de -4,2. Un patient n'a ni été amélioré ni dégradé avec un score de 0. Six patients enfin ont été améliorés après appareillage avec un score moyen de +20,8. Au total, l'appareillage a amélioré les patients en moyenne d'un score global de +13 (+/- 7).

Après chirurgie, tous les patients ont présenté un score positif traduisant une amélioration systématique de la qualité de vie de +18 (+/- 8) en moyenne.

L'amélioration après chirurgie a été plus importante que l'appareillage aux vues du score GBI pour 5 patients, identique à l'appareillage pour 1 patient et moins importante pour 3 patients.

La comparaison entre audioprothèse et chirurgie ne met pas en évidence de différences significatives, que ce soit vis-à-vis du score général ($p=0,294$) ou du sous-score général ($p=0,205$). Il est cependant intéressant que seule l'audioprothèse a dégradé la qualité de vie mesurée par le GBI dans 2 cas.

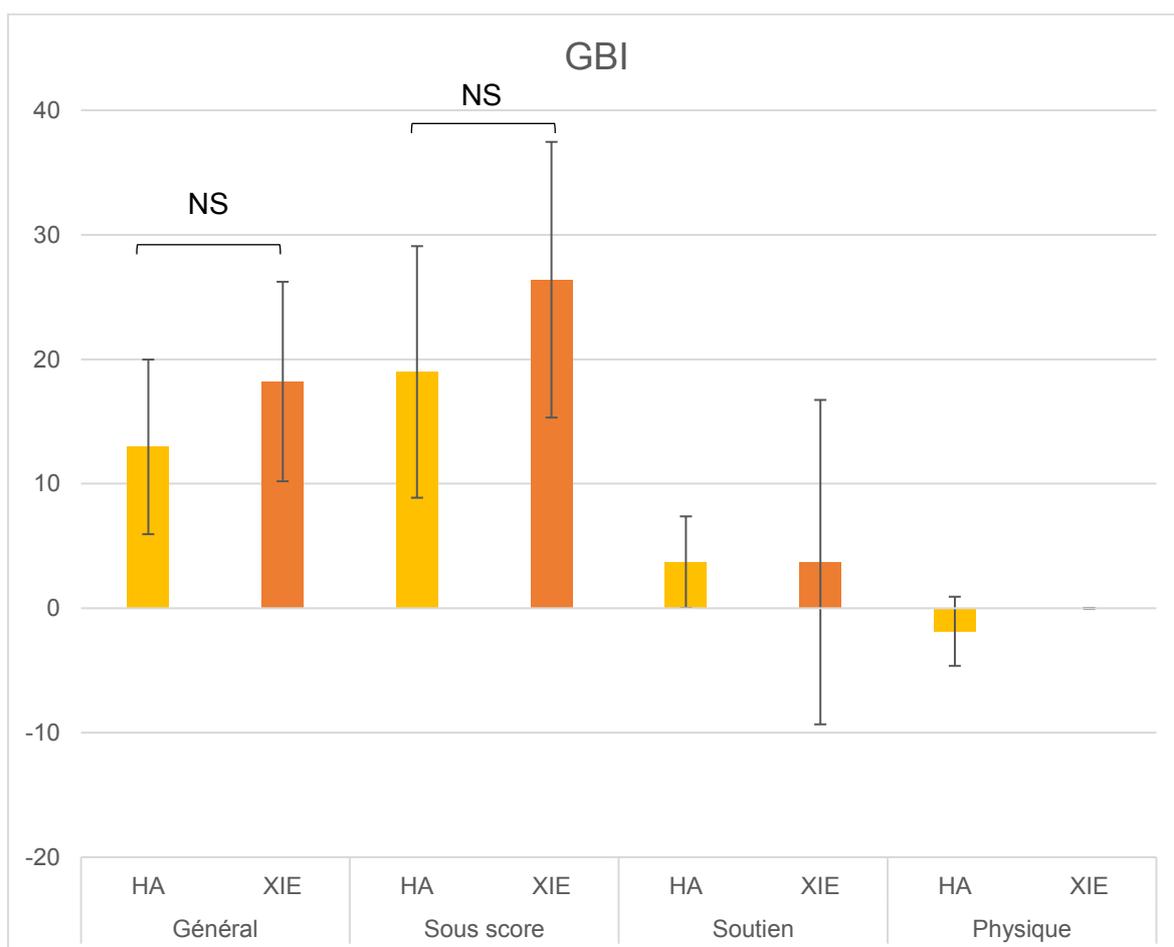


Fig. 104 : Moyennes des scores GBI après appareillage (HA) et après chirurgie (XIE)

[NS = Non Significatif]

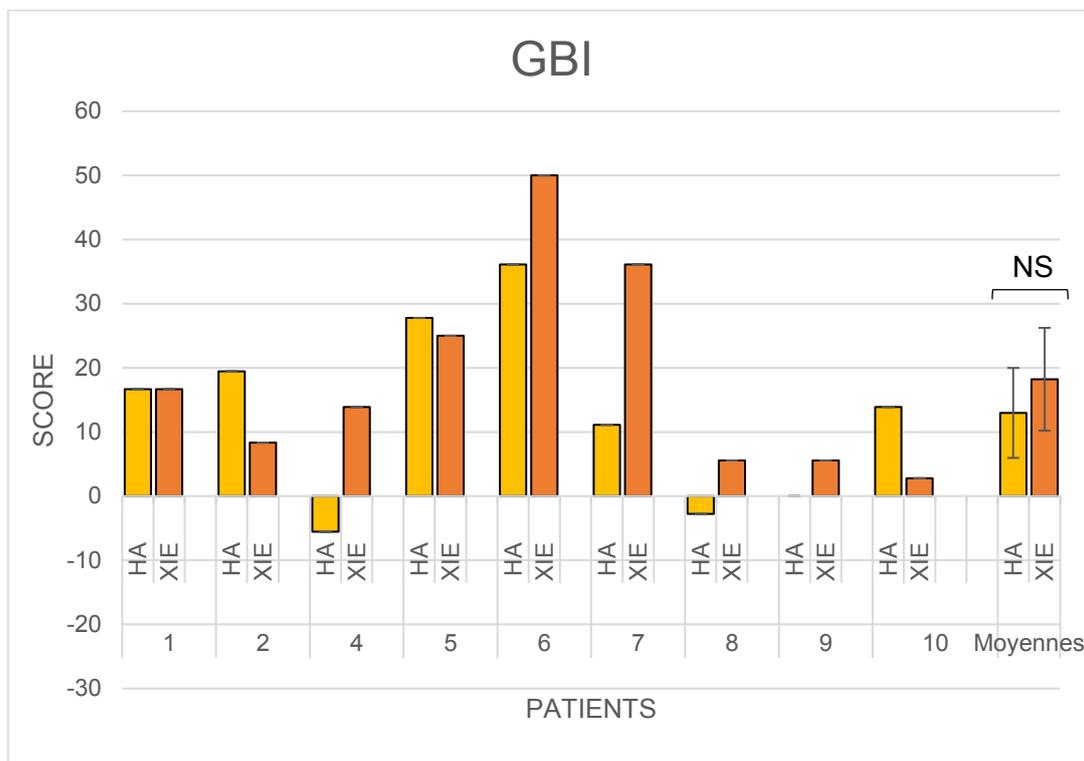


Fig. 105 : Scores généraux GBI par patient et moyenne après appareillage (HA) et chirurgie (XIE) [NS = Non Significatif]

Évaluation de l'appareillage par l'APHAB

Les données des patients concernant le questionnaire APHAB sont présentées en ANNEXE XXI.

Les scores généraux de l'APHAB avant et après appareillage sont présentés en Figure 106.

Facilité de communication

Les scores moyens en % de difficultés avant et après appareillage étaient respectivement de 31,8% (+/- 9%) et 27,1% (+/- 6,6%)

L'appareillage a amélioré 6 patients en réduisant leur pourcentage de difficultés de 12,3 points de % en moyenne et aggravé 3 patients en augmentant leur pourcentage de difficultés de 11 points de % en moyenne. Au total, l'appareillage améliore de 4,6 points % les patients sur la facilité de communication (p=0,553).

Réverbération

Les scores moyens en % de difficultés avant et après appareillage étaient respectivement de 46,4% (+/- 8,8%) et 40,7% (+/- 7,5%)

L'appareillage a amélioré 6 patients en réduisant leur pourcentage de difficultés de 12,5 points de % en moyenne et aggravé 2 patients en augmentant leur pourcentage de difficultés de 12,5 points de % en moyenne. Les scores d'un patient sont restés stables sur ce point avant et après appareillage. Au total, l'appareillage améliore de 5,7 points de % les patients sur la réverbération (p=0,206).

Bruits ambiants

Les scores moyens en % de difficultés avant et après appareillage étaient respectivement de 53,3% (+/- 11,7%) et 40,2% (+/- 7,6%)

L'appareillage a amélioré 5 patients en réduisant leur pourcentage de difficultés de 24 points de % en moyenne et aggravé 4 patients en augmentant leur pourcentage de difficultés de 11,2 points de % en moyenne. Au total, l'appareillage améliore de 8,3 points de % les patients sur les bruits ambiants (p=0,124).

Sons indésirables

Les scores moyens en % de difficultés avant et après appareillage étaient respectivement de 41,2% (+/- 12,1%) et 45,8% (+/- 13,7%)

L'appareillage a amélioré 5 patients en réduisant leur pourcentage de difficultés de 8,2 points de % en moyenne et aggravé 4 patients en augmentant leur pourcentage de difficultés de 16,4 points de % en moyenne. Au total, l'appareillage aggrave de 4,6 points de % les patients sur les sons indésirables (p=0,722).

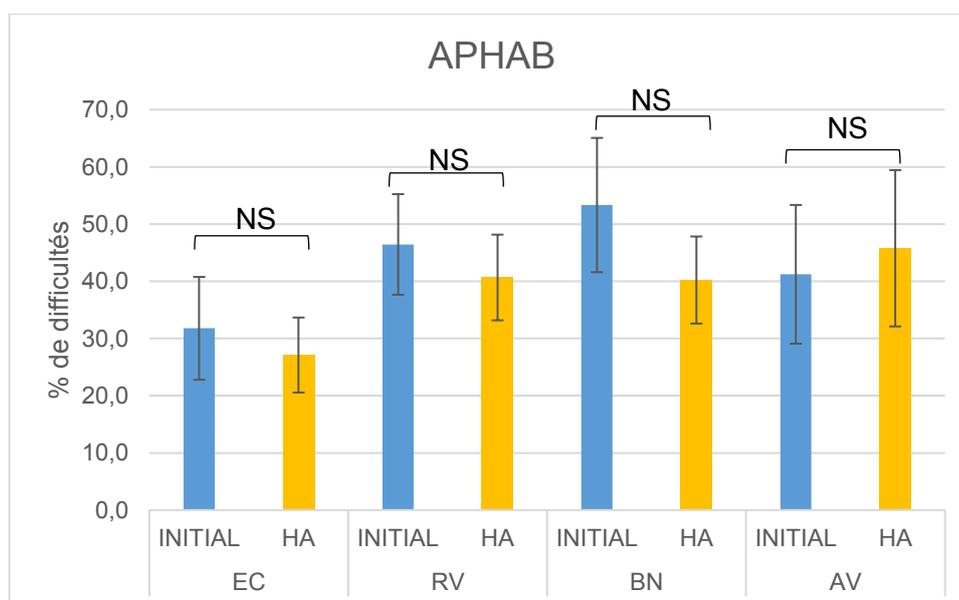


Fig. 106 : Scores de l'APHAB en % de difficultés concernant les facilités de communication (EC) la réverbération (RV), le bruit ambiant (BN) et les sons indésirables (AV) [NS = Non Significatif]

Acouphènes

Sur le THI

Les données relatives aux patients sont présentées en **ANNEXE XXII**.

Les résultats par patient sont présentés en Figure 107.

Quatre patients ne présentaient pas d'acouphènes à l'inclusion et n'ont pas noté l'apparition d'acouphènes avec la prise en charge de leur surdité, qu'il s'agisse de l'appareillage ou de la chirurgie. Cinq patients souffraient d'acouphènes avant toute intervention. Le THI révélait une absence d'handicap pour 3 patients, un handicap léger pour 1 patient et un handicap modéré pour le dernier. Le THI moyen initial était de 19,2 (+/- 14).

Après appareillage :

Aucune apparition d'acouphène n'a été à déplorer. Un patient a vu son acouphène disparaître, 2 patients ont vu leur acouphène diminuer (passant respectivement de modéré à léger pour un patient et restant peu invalidant pour l'autre) et 2 patients augmenter (restant peu invalidant pour un patient et passant de peu invalidant à léger pour l'autre). Le THI moyen après appareillage était de 15,2 (+/-13,3).

Les résultats ne se sont pas révélés statistiquement significatifs ($p=0,590$).

Après chirurgie :

Aucune apparition d'acouphène n'a été à déplorer. Un patient a vu son acouphène disparaître, 3 patients ont vu leur acouphène diminuer pour devenir non handicapant dans les 3 cas. Un patient a vu son acouphène augmenter mais rester non invalidant. Le THI moyen après chirurgie était de 8,4 (+/-6,4).

Les résultats ne se sont pas révélés statistiquement significatifs ($p=0,178$).

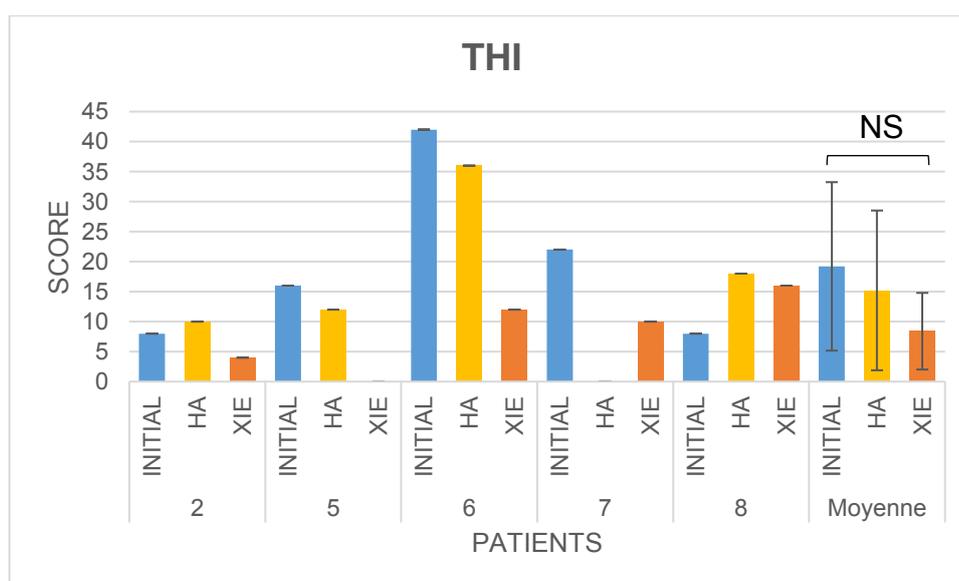


Fig. 107 : Scores THI par patient au début de l'étude (INITIAL) après appareillage (HA) et chirurgie (XIE) [NS : Non Significatif]

Sur les EVA gène et intensité (Fig 108 et 109)

Les moyennes initiales des EVAg et EVAi étaient respectivement de 54,2 (+/- 40) et 54,6 (+/- 18,1).

Après appareillage :

Les EVAg et EVAi ont été augmentées dans 2 cas, ont été stables dans 1 cas et diminuées dans 2 cas.

Les moyennes après appareillage des EVAg et EVAi étaient respectivement de 38,4 (+/- 37,5) et 61,2 (+/- 22,8).

Après chirurgie :

Les EVAg et EVAi ont été augmentées dans 1 cas. L'EVAi a été stable dans 1 cas et diminuée dans 2 cas. L'EVAg a été diminuée dans 3 cas.

Les moyennes après appareillage des EVAg et EVAi étaient respectivement de 20,2 (+/- 18,6) et 22,2 (+/- 11).

Les variations des EVAg/et EVAi étaient corrélées entre elles sauf pour 1 patient qui a présenté en post-opératoire une diminution de son EVAi alors qu'on retrouvait une augmentation de son EVAg.

De façon générale, les différences observées ne se sont pas révélées significatives même si l'on observe une tendance à de meilleures améliorations de l'EVAg et EVAi après chirurgie.

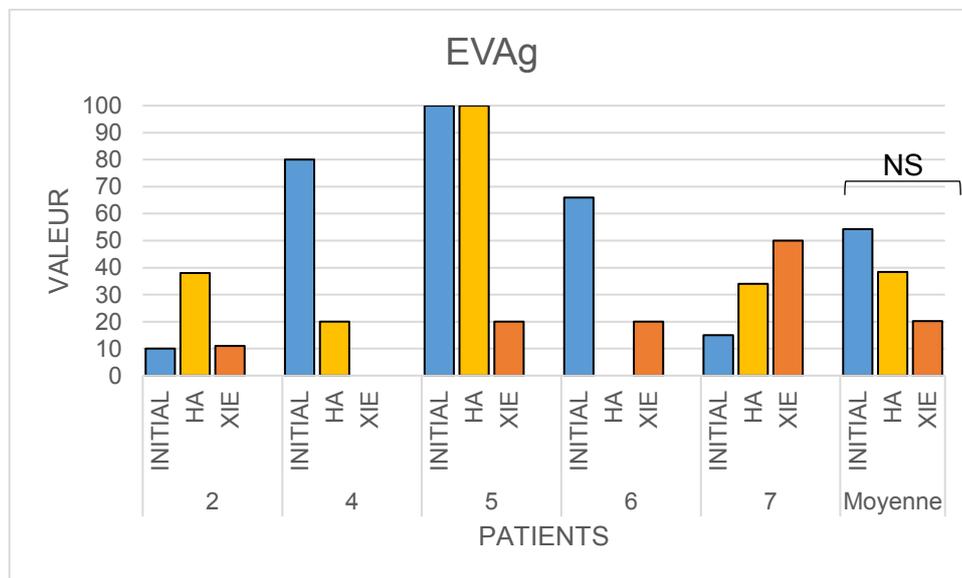


Fig. 108 : EVA gène par patient au début de l'étude (INITIAL) après appareillage (HA) et chirurgie (XIE) [NS : Non Significatif]

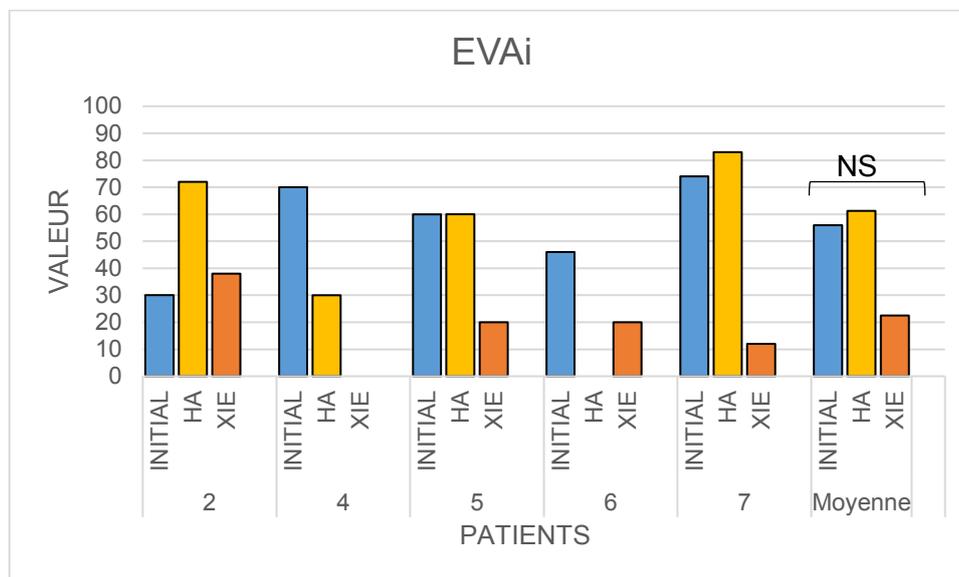


Fig. 109 : EVA intensité par patient au début de l'étude (INITIAL) après appareillage (HA) et chirurgie (XIE)[NS : Non Significatif]

Effets indésirables

Liés à l'appareillage

Les effets indésirables liés à l'appareillage ont été considérés comme "non graves" dans la totalité des cas. Il s'agissait dans 1 cas d'irritation du conduit auditif externe, dans 1 cas d'otalgies importantes (évaluées 8/10 à l'EVA), dans 1 cas de sensation de vertiges et d'oreille bouchée au retrait de l'appareil. Ces effets indésirables ont été tous résolutifs en 2 mois.

Liés à la chirurgie

Il n'y a pas eu de complication chirurgicale pour les 9 patients étudiés.

Les effets indésirables ont été considérés comme "non graves" dans la totalité des cas. Il s'agissait dans 3 cas de vertiges post-opératoires associés à des vomissements dans 1 cas et cédant dans tous les cas en quelques jours avec un traitement symptomatique. Deux patients se sont plaints de sensations occasionnelles d'oreille bouchée en post opératoire et 1 patient d'otalgies fugaces (évaluées 1/10 à l'EVA). A noter également qu'une patiente a présenté une exacerbation de lombosciatique dans les suites de la chirurgie. Tous ces effets indésirables ont été résolutifs en 2 mois excepté 2 patients qui se plaignaient encore de sensation de plénitude auriculaire et d'instabilités fugaces.

Les effets indésirables post-opératoires ont également été relevés au travers des questionnaires de perception de gout et d'hyperacousie (ANNEXE X).

Trois patients ont présenté une perception du goût diminué en post-opératoire dont un se plaignant spécifiquement de la perception du goût salé. Deux patients présentaient des perceptions gustatives anormales et un d'une diminution de la quantité de salive.

Concernant l'hyperacousie, 4 patients se disaient gênés par les sons forts et 1 patient par les sons brusques et inattendus. A l'étude des EVA de l'hyperacousie, l'hypersensibilité au bruit est restée stable dans 1 cas, est apparue dans un autre cas et a augmenté pour 2 patients.

Satisfaction et préférences

Nous avons évalué par une échelle de Likert la satisfaction globale de l'audioprothèse et de la chirurgie.

Concernant l'appareillage :

- 1 patient s'est dit plutôt insatisfait
- 1 patient s'est dit indifférent
- 6 patients se sont dits plutôt satisfaits
- 1 patient s'est dit très satisfait

Concernant la chirurgie :

- 1 patient s'est dit indifférent
- 2 patients se sont dits plutôt satisfaits
- 6 patients se sont dits très satisfaits

La préférence définitive s'est portée sur la chirurgie pour les 9 patients ayant terminé l'étude.

Résumé des principaux résultats

Ces résultats portent sur 9 des patients inclus. Leur caractère préliminaire nous incite à les interpréter avec prudence.

Qualité de vie :

- Pas d'amélioration significative de la qualité de vie après appareillage
- Amélioration significative de la qualité de vie après chirurgie retrouvée sur le questionnaire GHSI par rapport à l'état initial mais également par rapport à l'appareillage

Audiométriques :

- Amélioration significative des seuils moyens en conduction aérienne pour les 2 thérapeutiques (avec une tendance à de meilleurs résultats avec la chirurgie)
- Pas d'amélioration significative à l'audiométrie vocale après appareillage
- Amélioration significative de l'audiométrie vocale après chirurgie

Binauralité :

- Amélioration significative au test de localisation des sons après chirurgie uniquement
- Scores SRT significativement améliorés après appareillage par rapport à l'état initial en condition dichotique seule
- Scores SRT significativement améliorés après chirurgie par rapport à l'état initial en conditions dichotique et dichotique inversé et par rapport à la chirurgie en condition dichotique inversé
- Amélioration significative du score SSQ après appareillage et après chirurgie

Perception de la musique :

- Pas de différence significative mise en évidence après réhabilitation par audioprothèse ou chirurgie sur le test BRAMS

Acouphène :

- Pas de différence significative mise en évidence après réhabilitation par audioprothèse ou chirurgie sur le questionnaire THI ou les EVA gêne et intensité

Effets indésirables :

- Effets indésirables rares et bénins après appareillage
- Effets indésirables plus fréquents et durables après chirurgie (vertiges, hyperacousie, troubles du goût)

Satisfaction générale :

- Satisfaction générale plus importante après chirurgie
- Choix de la chirurgie dans 100% des cas

DISCUSSION

L'interprétation des résultats doit être menée avec prudence compte tenu du faible effectif de sujets d'étude analysé. Toutefois, l'analyse préliminaire a déjà pu mettre en évidence un certain nombre de résultats significatifs.

Dans le cadre précis d'une surdité de transmission ou mixte unilatérale liée à une otospongiose, il semblerait que la chirurgie représente la meilleure option thérapeutique.

L'appareillage améliore certes de façon significative l'audiométrie tonale et certains aspects de l'audition binaurale (score du questionnaire SSQ et SRT en condition dichotique au test MATRIX). Cependant, la chirurgie se révèle supérieure vis-à-vis de l'audiométrie vocale, de la localisation spatiale et surtout de l'amélioration de la qualité de vie qui constituait notre critère principal de jugement. L'intérêt majeur de l'audioprothèse réside par contre dans son innocuité puisque les effets indésirables qu'elle engendre sont minimes et réversibles.

Malgré les effets indésirables secondaires à la chirurgie, non graves mais potentiellement gênants pour le patient, la satisfaction globale de nos sujets d'étude semble conforter cette option thérapeutique comme prise en charge de premier choix dans l'otospongiose unilatérale.

Il faut souligner les difficultés d'inclusion que nous devons affronter liées d'une part aux critères sélectifs d'inclusion et de non inclusion, et d'autre part au manque de disponibilité des patients en général. La sélection minutieuse des patients nous a paru essentielle pour éviter de nombreux biais. La normalité des seuils auditifs de l'oreille controlatérale était ainsi un pré-requis nécessaire pour évaluer les modifications des fonctions auditives sans que les résultats ne soient contaminés par les seuils auditifs controlatéraux. De même, nous avons sélectionné des patients souffrant d'une surdité transmissionnelle avec un Rinne suffisant susceptible d'être aussi bien amélioré par l'audioprothèse que par la chirurgie.

Nous avons comparé notre population d'étude par rapport à l'ensemble des sujets atteints d'otospongiose qui se voient proposer une chirurgie au sein de notre service [210, 246]. Les caractéristiques de nos patients sont similaires aux données antérieures hormis l'âge moyen qui est plus élevé d'une dizaine d'années dans notre étude. Cela peut être mis en corrélation avec le nombre important de retraités dans notre population d'étude. En effet, malgré la volonté de rendre le protocole d'étude le moins chronophage possible, on imagine que les patients actifs ont plus facilement refusé la participation à l'étude par manque de temps.

Les données audiométriques initiales sont similaires aux études de Lagleyre et Marx précédemment citées. Les pertes sur les hautes fréquences sont plus importantes dans notre

population, ce qui peut être mis en relation avec la presbyacousie liée à une moyenne d'âge plus importante.

La répartition des signes fonctionnels à l'examen initial (acouphènes, otalgies, vertiges et hyperacousie) semble particulièrement floride. Les acouphènes sont assez fréquemment décrits dans l'otospongiose selon Gersdorff [247]. Les vertiges et les otalgies sont par contre décrits comme rares préalablement à la chirurgie. Certains auteurs pour les expliquer ont émis l'hypothèse d'hydrops endolymphatique associés à l'otospongiose mais ce phénomène est considéré comme marginal [248]. Enfin l'hyperacousie représente également un signe peu fréquent alors que 3 de nos patients d'étude s'en plaignaient. Il est probable qu'en pratique clinique quotidienne, le praticien ne recherche que les symptômes principaux c'est-à-dire l'hypoacousie ou les acouphènes. La recherche systématique de tous les signes fonctionnels otologiques prévue dans notre protocole d'étude explique certainement ces résultats et supposent que l'otospongiose est une pathologie, bien que dominée par l'hypoacousie, poly-symptomatique.

Concernant les résultats après appareillage, il n'y a pas à notre connaissance d'étude antérieure spécifique à la réhabilitation de l'otospongiose par audioprothèse. Il est donc difficile de s'appuyer sur des données pour vérifier la cohérence de nos constatations.

L'absence d'amélioration significative de la qualité de vie constatée sur divers questionnaires (APHAB, GHSI et GBI) est à contrôler au terme des inclusions prévues.

L'absence de résultats significatifs en audiométrie vocale après appareillage pourrait être expliquée par la méthode de mesure qui est différente pour l'évaluation après appareillage (champ libre avec audioprothèse en place et masquage de l'oreille controlatérale au casque) sans notion de contrôle sonométrique. Dans les biais éventuels de notre étude qui peuvent jouer en défaveur de l'appareillage auditif, il faut noter l'absence de prescription personnalisée de l'audioprothèse. En effet, dans une volonté de standardisation des réhabilitations et donc des résultats, la même audioprothèse (moyen/haut de gamme) avec le même embout a été proposé à chaque patient. L'absence d'embout sur-mesure pourrait rendre compte du gain tonal plus limité sur les fréquences graves. De plus, on note une importante disparité dans le nombre de visites chez les différents audioprothésistes pendant la période d'essai. Les réglages itératifs pendant la période d'acclimatation sont importants pour adapter les gains de l'audioprothèse et ainsi potentialiser les résultats.

L'évaluation à 2 mois d'appareillage peut aussi être discutée bien que Dillon [137] estime qu'une période de 6 semaines représente la durée d'acclimatation moyenne à l'audioprothèse. Il est évident que cette période est propre à chaque patient et qu'elle dépend

de nombreux facteurs. Il est probable que certains patients d'étude n'étaient pas arrivés au terme de leur période d'acclimatation et donc que les résultats avec audioprothèse n'étaient pas optimaux. La même période a été choisie pour les résultats après chirurgie ce qui nous permet théoriquement de la comparer à l'appareillage. Il est à noter qu'une quinzaine de jours entre la remise de l'audioprothèse et la chirurgie a été systématiquement respectée de façon à assurer un certain « wash-out ». La question qui peut se poser est si le port d'une audioprothèse pendant les 2 mois qui ont précédé la chirurgie n'a pas malgré tout préparé le patient d'une façon ou d'une autre à mieux entendre après l'opération, potentialisant ainsi les résultats de la chirurgie et diminuant certains effets indésirables classiques de la chirurgie comme l'hyperacousie. Il s'agit d'une hypothèse intéressante qui ne peut s'appuyer là encore sur aucune donnée de la littérature.

Concernant les résultats de l'audition binaurale avec appareillage, les données de la littérature sont souvent liées au port bilatéral de l'audioprothèse [249]. Une étude récente de Brown a montré chez des sujets appareillés en bilatéral des distorsions importantes en terme de différences d'intensité et de latences interaurales causées par les audioprothèses [250]. Les systèmes de compression non-linéaires sont d'après cet auteur les plus susceptibles d'engendrer des distorsions de ces différences ce qui réduit de façon significative la cohérence interaurale. D'autres auteurs ont fixé comme délai de traitement maximum le seuil de 20ms pour les appareils auditifs classiques et 6ms pour les « open-fitting » [251, 252]. L'impact des aides auditives sur l'ensemble des mécanismes de la perception de l'environnement, notamment les traitements divers et complexes du signal, semble particulièrement lié à la composante temporelle de la restitution du signal. Ceci peut expliquer les scores décevants au test MATRIX. La localisation des sons est également altérée, de manière non significative, après appareillage. Ceci peut être aussi dû au phénomène de perte d'indices spectraux du pavillon et du conduit auditif externe par l'audioprothèse [253, 254]. Certaines études ont fait le constat que l'appareillage unilatéral avait tendance à dégrader la localisation spatiale horizontale [255, 256]. Le phénomène d'acclimatation estimé sur ce point aussi à 6 semaines et la perte des indices fréquentiels sur les graves liée aux audioprothèses à embouts fermés sont des explications évoquées.

Concernant les résultats après chirurgie, l'audiométrie tonale sur les 9 patients d'étude met en évidence des valeurs cohérentes avec l'étude de Lagleyre [210] que ce soit sur l'amélioration des seuils en conduction osseuse, en conduction aérienne ou en matière de fermeture du Rinne audiométrique. Les hautes fréquences sont le plus souvent conservées comme l'a montré Bagger-Sjöbäck [257]. Les résultats sur l'audiométrie vocale post

opératoire sont peu décrits dans la littérature. Satar avait retrouvé en 2007 une amélioration des seuils qui restent cohérents avec nos résultats [204].

Les capacités binaurales après restauration de l'audition par stapédotomie sont logiques bien que peu décrites. Une seule étude effectuée par Magliulo en 1990 montrait par des tests de démasquage que 30% de patients présentaient toujours des capacités binaurales altérées après stapédotomie malgré la restauration des seuils auditifs [258]. Les analyses préliminaires montrent une amélioration quasi systématique sur le test MATRIX, la localisation spatiale ou le questionnaire SSQ. Les résultats en dichotique inversé notamment sont particulièrement intéressants puisqu'ils ne mettent pas en évidence d'amélioration du SRT avec l'appareillage auditif alors qu'il est important après la chirurgie. Les traitements avancés du signal de l'audioprothèse (réducteurs de bruit) ne seraient pas suffisants dans ces conditions à permettre une bonne discrimination de la parole dans le bruit contrairement à une oreille « naturelle ». Cela supposerait également une réorganisation centrale particulièrement rapide après stapédotomie puisque les résultats semblent effectifs à 2 mois post-opératoire. Les résultats retrouvés dans cette étude préliminaire sont cohérents avec ceux présentés dans la Thèse du Dr Lescure qui retrouvait une amélioration de l'ordre de 5dB de diminution du SRT en condition dichotique dans les 2 mois qui suivaient la stapédotomie [259].

Les résultats obtenus grâce au test de perception de la musique sont décevants, que ce soit vis-à-vis de la réhabilitation par appareillage auditif comme par chirurgie. L'explication principale que nous trouvons à ces résultats réside dans la nature du test qui ne serait pas adaptée. En effet, le volume sonore est réglé en condition de confort pour chaque patient. Le caractère de l'intensité du son n'intervient donc pas dans ce test qui se focalise sur la perception du timbre et de la musique. Il s'agit d'un test qui fait surtout appel au contexte musical propre au patient. De cette façon, un patient qui pratique le solfège et un instrument et a l'habitude d'écouter de la musique, notamment classique, obtiendrait forcément de meilleurs scores qu'un patient qui prête peu d'intérêt à cet art. Les résultats sont donc davantage patient-dépendants que liés à la réhabilitation auditive qu'on lui propose. Peu de tests de perception de la musique existent étant donné la difficulté de mesure qu'ils représentent. Il faudra probablement à l'avenir développer un test plus adapté qui s'attache plus au timbre du son pour juger de la qualité sonore musicale perçue.

Les acouphènes sont assez fréquemment décrits dans l'otospongiose selon Gersdorff [247]. Dans cette étude, les données concernent trop peu de patients pour être significatives. La

tendance est à une réduction de l'acouphène, que ce soit sur le questionnaire THI ou sur les EVA, qui paraît plus importante pour la chirurgie. Il est dommage de ne pas avoir caractérisé la hauteur tonale de l'acouphène car certaines études démontrent que les acouphènes aigus, liés plus volontiers à une atteinte neurosensorielle, sont habituellement mieux pris en charge par l'audioprothèse en comparaison avec les acouphènes graves qui sont bien corrigés par la chirurgie [165, 247, 257]. Des données sur un plus grand nombre de patients nous semblent nécessaires.

Enfin, il existe un biais important inhérent au schéma de cette étude lié au fait que les patients étaient spécifiquement recrutés sur leur volonté de se faire opérer. On peut alors imaginer qu'il s'agit de patients qui auront tendance à favoriser leur choix initial, notamment dans l'échelle de Likert sur la satisfaction globale.

CONCLUSION

Les patients souffrant d'otospongiose unilatérale présentent une altération de leur qualité de vie et d'écoute liée aux principaux signes fonctionnels de la maladie tels que l'hypoacousie, les acouphènes et la perte de l'audition binaurale.

La réhabilitation de la surdité, quel que soit la méthode, audioprothétique ou chirurgicale, améliore la fonction auditive globale.

L'audioprothèse est une option thérapeutique efficace sur le plan auditif avec peu d'effets indésirables mais ne permet pas d'améliorer la qualité de vie globale du patient.

La chirurgie est plus volontiers accompagné d'effets indésirables mais apporte une amélioration plus importante vis-à-vis des performances auditives comme sur le plan de la qualité de vie.

Ces résultats préliminaires de l'étude PARCO nous permettent de décrire précisément l'évolution de l'audiométrie, de l'audition binaurale, de la qualité de vie, de la perception de la musique et des acouphènes après réhabilitation d'une l'otospongiose unilatérale par audioprothèse ou par stapédotomie. Les résultats définitifs de cette étude permettront au praticien ORL de délivrer au patient atteint d'otospongiose unilatérale une information plus complète concernant les différentes modalités thérapeutiques qui lui sont proposées.

*Vu permis d'imprimer
Le Doyen de la Faculté
de Médecine Toulouse - Purpan*



Didier CARRIÉ



Professeur Bernard FRAYSSE

PPPS : 10003056100
CHU de Toulouse - Hôpital Pierre Paul Riquet
Place du Docteur Baylac - TSA 40031
31059 TOULOUSE Cedex 9

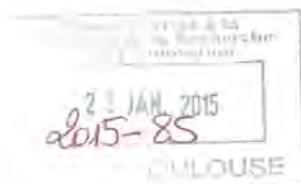
ANNEXES

ANNEXE I : Avis favorable du Comité de Protection des Personnes

COMITÉ DE PROTECTION DES PERSONNES SUD-OUEST ET OUTRE MER III

Président : Professeur Emmanuel CUNY

DOSSIER ENREGISTRÉ CPP N° : 2014/104
Numéro d'enregistrement : 2014-A01764-43



DESTINATAIRE : Hôpitaux de Toulouse
Arnaud LENDRIEUX
DRCO
Hôtel-Dieu Saint-Jacques
2 rue Viguerie
TSA 80035
31059 Toulouse cedex 9

Vos réf. : étude PARCO

Bordeaux, le 15 janvier 2015.

Avis favorable avec remarques en date du 17 décembre 2014.

PROMOTEUR : CHU de Toulouse
2 rue Viguerie
TSA 80035
31059 Toulouse cedex 9

COORDONNATEUR : Docteur Mathieu MARX
Service Otonéurologie
CHU Toulouse Purpan
Hôpital Pierre-Paul Riquet
Place du Docteur Baylac
31059 Toulouse cedex 9

En date du **17 DECEMBRE 2014**, conformément aux dispositions du Code de la Santé Publique, le Comité de Protection des Personnes Sud-Ouest et Outre-mer III a examiné le protocole de recherche biomédicale portant pas sur un dispositif médical ou un dispositif médical de diagnostic in vitro intitulé :

**"PROTHESE AUDITIVE ET REHABILITATION CHIRURGICALE DANS LA PRISE EN CHARGE
DE L'OTOSPONGIOSE - PARCO."**

En date du **14 JANVIER 2015**, au vu des corrections apportées, le comité confirme son

AVIS FAVORABLE

Le Président du Comité

Professeur Emmanuel CUNY.

Conformément à l'article R. 1123-28 du code de la santé publique, si dans un délai d'un an suivant le présent avis la recherche biomédicale n'a pas débuté, cet avis devient caduc.

Service de Pharmacologie clinique – Groupe Hospitalier Pellegrin – Bât. 1A
Place Amélie Raba Léon – 33076 BORDEAUX CEDEX
TÉL/FAX : 33-(0)5.57.81.76.07 – E-mail : cpp.soom3@u-bordeaux2.fr
Site Internet : www.cpp-soom3.u-bordeaux2.fr

1/2

ANNEXE II : Calendrier de l'étude PARCO

- Mai 2014 :
Création d'un dossier de candidature à un Appel d'Offre Local
Protocole
Notice d'information / Consentement Éclairé
Budget Prévisionnel de l'étude

- Juin 2014 :
Soumission du dossier de candidature à AOL à la Direction de la Recherche Clinique du CHU de Toulouse

- Octobre 2014 :
Acceptation du dossier à AOL

- Septembre 2014 :
Validation du budget prévisionnel par le chef de service

- Octobre 2014 :
Demande d'autorisation de recherche biomédicale portant sur un dispositif médical auprès de l'Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des produits de Santé (ANSM)

- Novembre 2014 :
Présentation du protocole de l'étude au Comité de Protection des Personnes

- Décembre 2014 :
Acceptation avec remarques du CPP Sud-Ouest et Outre-Mer III

- Janvier 2015 :
Autorisation initiale de l'ANSM
Acceptation du CPP Sud-Ouest et Outre-Mer III

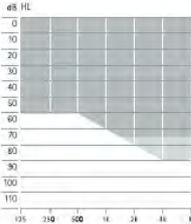
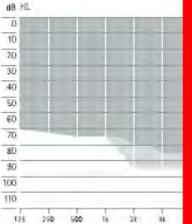
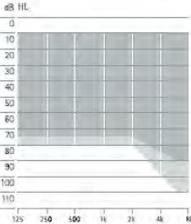
- Février – Octobre 2015 :
Création du Case Report Form
Validation du CRF par le service d'épidémiologie du CHU de Toulouse
Validation du CRF par l'Unité de Soutien Méthodologique à la Recherche (USMR) et de la Cellule Data Management du CHU Toulouse
Impression et livraison des NI/CE et CRF

- Novembre 2015 :
Réunion de présentation de l'étude au sein du service d'ORL Purpan
Réunion de mise en route de l'étude

- Décembre 2015 :
Première inclusion

- Juillet 2016 :
Monitoring

ANNEXE III : Caractéristiques produit du PHONAK° Bolero Q70

		Phonak Bolero Q-M312 (Q90/Q70/Q50/Q30)		Phonak Bolero Q-M13 (Q90/Q70/Q50/Q30)		Phonak Bolero Q-P (Q90/Q70/Q50/Q30)		Phonak Bolero Q-SP (Q90/Q70/Q50/Q30)	
		SlimTube HE	HE10 680	SlimTube HE	HE10 680	SlimTube HE	HE10 680	SlimTube HE	HE10 680
Max. Power Output (dB SPL)	2cc	126	132	126	132	129	133	131	133
	Ear simulator	128	134	128	134	130	135	132	135
Max. Gain (dB)	2cc	55	61	55	63	58	65	68	70
	Ear simulator	60	66	59	67	62	71	72	75
Frequency range (Hz)	2cc	<100 - 7200	<100 - 7300	<100 - 7100	<100 - 7100	<100 - 7700	<100 - 5500	<100 - 6600	<100 - 6500
Battery size		312		13		13		13	
Working current (mA)		1.2		1.2		1.3		1.3	
Push button (Program / Volume)		•		•		•		•	
Volume control						•		•	
Telecoil				•		•		•	
EasyPhone				•		•		•	
Nano coating		•		•		•		•	
IP rating		57 ¹⁾		67 ²⁾		57 ¹⁾		57 ¹⁾	
Direct Audio Input (DAI)				•		•		•	
Tamperproof battery compartment				•					
Fitting range									
		Mild to moderately-severe hearing loss, all audiometric configurations		Mild to severe hearing loss, all audiometric configurations		Mild to severe hearing loss, all audiometric configurations		Moderate to profound hearing loss, all audiometric configurations	

Cette note d'information/formulaire de consentement a été conçue et rédigée à partir de la version 2.0 du 01/09/2011 du document type de la DIRC Sud-Ouest Outre Mer

NOTE D'INFORMATION

PROTHÈSE AUDITIVE VERSUS RÉHABILITATION CHIRURGICALE DANS LA PRISE EN CHARGE DE L'OTOSPONGIOSE

PARCO – CODE PROMOTEUR

Version n°2

Promoteur de la recherche : *CHU Toulouse*

Investigateur coordonnateur/principal : *MARX Mathieu, Praticien Hospitalier*

Madame, Monsieur,

Votre médecin vous propose de participer à une recherche biomédicale dont le CHU de Toulouse est le promoteur. Avant de prendre une décision, il est important que vous lisiez attentivement ces pages qui vous apporteront les informations nécessaires concernant les différents aspects de cette recherche. N'hésitez pas à poser toutes les questions que vous jugerez utiles à votre médecin.

Votre participation est entièrement volontaire. Si vous ne désirez pas prendre part à cette recherche, vous continuerez à bénéficier de la meilleure prise en charge médicale possible, conformément aux connaissances actuelles.

Pourquoi cette recherche?

L'otospongiose est une maladie de l'oreille moyenne causant un blocage des osselets et plus particulièrement de l'étrier. Elle touche près de 1% de la population est cause une surdité très souvent handicapante.

Le traitement de référence en France reste la prise en charge chirurgicale qui consiste à remplacer l'étrier par une prothèse ossiculaire rétablissant ce que l'on appelle « l'effet columellaire », c'est-à-dire la transmission de l'onde sonore du tympan jusqu'à l'oreille interne où le son peut être décodé et analysé.

Cependant, en cas de contre-indication à la chirurgie ou de refus du patient, il est toujours possible d'envisager un appareillage auditif par prothèse externe. Ce traitement, plus contraignant au jour le jour et plus coûteux pour le patient, reste une bonne alternative à la chirurgie. Il a par ailleurs l'avantage de ne pas présenter les risques anesthésiques ou inhérents à toute intervention chirurgicale.

Avec les développements techniques de nouvelles prothèses, la question se pose aujourd'hui d'évaluer ces 2 traitements de l'otospongiose dans le domaine de la restauration de l'audition mais aussi dans celui de la préservation d'une bonne qualité de vie.

Les études évaluant l'appareillage dans l'otospongiose sont très rares et aucune étude n'a effectuée d'évaluation des 2 traitements sur les mêmes patients. Or, dans une société où l'économie de santé sera à l'avenir de plus en plus exigeante, il est nécessaire d'apporter la preuve scientifique que la chirurgie reste un traitement de choix ou alors, dans le cas contraire, que l'appareillage auditif externe se doit d'être revalorisé en ce qui concerne la prise en charge de l'otospongiose. Cela pourra être utile aux praticiens ORL et aux patients atteints d'otospongiose pour une prise en charge meilleure et plus documentée sur cette maladie.

Quel est l'objectif de cette recherche?

L'objectif de cette recherche est d'évaluer l'amélioration de la qualité de vie qu'apportent l'appareillage auditif externe et la restauration de l'effet columellaire chirurgicale dans la prise en charge de l'otospongiose.

Comment va se dérouler cette recherche?

Il s'agit d'une recherche monocentrique et prospective au sein du CHU Toulouse.

La durée totale de la recherche sera d'une année environ. Pour chaque patient, un suivi de 4 à 5 mois sera effectué.

Il s'agit d'une étude pilote amenée à déboucher sur une étude de plus grande envergure. Une trentaine de sujet sera nécessaire pour cette étude.

La recherche amènera les sujets inclus à tester l'appareillage auditif externe, et cela de façon parfaitement gratuite, avant d'être opérés pour leur maladie d'otospongiose. Les 2 traitements seront évalués de façon objective grâce à des tests de l'audition spécifiques, et de façon subjective grâce à des questionnaires proposés aux sujets inclus.

La prise en charge de l'otospongiose ne devra être effectuée qu'au sein du service d'ORL du CHU de Toulouse et tout traitement de cette maladie entrepris en dehors de ce centre entrainera une incompatibilité avec l'étude. Il n'y a par ailleurs aucune contre-indication formelle à la participation de cette étude mais toute intervention portant sur le système auditif ou neurologique, de par les biais qu'elle sera susceptible d'engendrer, sera rédhibitoire quant à l'inclusion dans cette étude.

Qui peut participer ?

Pour participer à cette étude, le patient devra répondre à un certain nombre de critères parmi lesquels les principaux sont :

- L'existence d'une réelle otospongiose authentifiée sur un scanner des rochers
- L'absence de chirurgie de l'oreille antérieure
- L'absence de port de prothèse auditive antérieure
- Le désir du patient et la possibilité de réaliser une intervention chirurgicale concernant cette otospongiose

Au niveau règlementaire, le patient devra être évalué par un examen clinique préalable en consultation spécialisée d'ORL au CHU de Toulouse. Il devra être affilié à la sécurité sociale de façon à ce que le bilan pré-opératoire et l'intervention chirurgicale puissent être prise en charge.

Le patient pourra participer à d'autres études en parallèle de celle-ci à la condition que ces études n'affectent pas les capacités audiologiques, neurologiques et neuro-psychologiques du patient.

Enfin, aucune indemnisation ne sera envisagée pour les participants à cette étude.

Que vous demandera-t-on ?

La recherche sera décomposée en 4 étapes :

-La visite de pré-inclusion au cours de laquelle vous rencontrerez votre chirurgien qui vous examinera, confirmera le diagnostic d'otospongiose la faisabilité de l'intervention chirurgicale et vous proposera de participer à cette étude. Au cours de cette visite, vous réaliserez une batterie de tests audiologiques standards (audiométrie tonale et vocale, tympanométrie) et vous repartirez avec des questionnaires (à remplir chez vous) portant sur votre audition et l'impact de celle-ci sur votre qualité de vie.

-La visite d'inclusion (2 semaine environ après la dernière visite) au cours de laquelle vous remettrez ce document signé confirmant votre participation à l'étude ainsi que les différents questionnaires. Vous réaliserez également quelques tests indolores testant de façon plus fine votre audition.

Vous bénéficierez de la consultation d'anesthésie en vue de l'intervention chirurgicale.

Vous quitterez ensuite la consultation en direction d'un cabinet d'audioprothèse en centre ville de Toulouse afin de recevoir un appareillage auditif externe et qu'il soit adapté à votre anatomie et votre audition grâce à des réglages spécifiques. Cet appareillage est à essayer chez vous pour une durée minimale de 2 mois en attendant l'opération.

-L'intervention chirurgicale et l'hospitalisation : Vous rentrerez la veille de l'hospitalisation, date à laquelle vous réaliserez de nouveau une batterie de tests audiologiques et de questionnaires afin d'évaluer l'efficacité de l'appareillage auditif chez vous, notamment l'amélioration de votre qualité de vie. Les prothèses auditives seront récupérées. Vous serez opérés le lendemain et quitterez le service d'ORL quelques jours après l'intervention.

-La visite de contrôle post-opératoire sera effectuée à 2 mois environ de l'intervention. Vous serez évalués cliniquement par votre chirurgien puis effectuerez de nouveau une série de tests et questionnaires afin d'évaluer l'efficacité de la chirurgie chez vous, notamment l'amélioration de votre qualité de vie.

Cette visite de contrôle clôturera votre participation à l'étude.

Il est important de noter que si vous êtes pleinement satisfait de la prothèse auditive et que vous décidez de ne pas vous faire opérer, nous vous fournirons une prescription médicale d'appareillage auditif externe afin que vous puissiez vous faire appareiller chez l'audioprothésiste de votre choix. Vous devrez seulement nous prévenir de votre choix, nous remettre la prothèse auditive prêtée dans le cadre de l'étude et vous sortirez de l'étude.

La seule obligation imposée à la personne se prêtant à cette recherche est de ne pas réaliser d'autre traitement/intervention vis-à-vis de son otospongiose dans un autre centre que le service d'ORL du CHU de Toulouse. La compliance à l'ensemble des tests et questionnaires et également de rigueur.

Les contre-indications à l'appareillage auditif sont rares : malformation de l'oreille externe, eczéma du conduit auditif et otites externes à répétition.

Les contre-indications à la chirurgie sont représentées par les troubles de la coagulation, rétraction tympanique et dysfonctionnement tubaire, oreille geysier, oreille unique, refus du patient.

Les contre-indications à l'anesthésie générale ou locale améliorée sont complexes et déterminées par les anesthésistes lors de la consultation d'anesthésie.

La grossesse n'est en rien un obstacle à la participation à cette étude mais elle peut constituer une contre-indication à l'anesthésie et ainsi réfuter le patient pour cette étude.

En cas d'arrêt de participation à la recherche, la continuité des soins sera effectuée comme pour tout patient suivi dans le service d'ORL du CHU de Toulouse en cherchant la meilleure prise en charge possible adaptée à l'états et à la volonté de soin du patient.

Quels sont les bénéfices attendus?

Concernant le patient se prêtant à cette recherche, les bénéfices attendus sont un suivi plus rapproché et de meilleure qualité qu'un autre patient souffrant d'otospongiose (consultations plus fréquentes, tests plus sophistiqués etc...)

L'essai d'un appareillage auditif externe de façon prolongée et gratuitement est également un avantage non négligeable. Il est à noter qu'en cas de totale satisfaction de l'appareillage, le patient aura le droit de refuser la chirurgie et d'opter pour cette prise en charge qui sera alors à ses frais.

Pour la science, cette étude permettra de réaliser une étude de plus grande envergure qui répondra à une question fondamentale dans la prise en charge de l'otospongiose.

Pour la société, les résultats de cette étude pourraient être importants et guider la prise en charge de l'otospongiose à l'avenir. Une meilleure prise en charge de cette maladie qui touche souvent une population jeune et active aura également un retentissement médico-économique majeur.

Quels sont les inconvénients possibles?

Les inconvénients possibles inhérents à cette étude seront limités.

Il s'agira essentiellement de quelques heures supplémentaires demandées au sujet pour se soumettre à des tests (indolores et non désagréables) et des questionnaires.

L'inconvénient principal sera d'aller consulter notre audioprothésiste référent en centre-ville pour débiter l'appareillage.

Le port de l'appareillage auditif externe peut être perçu comme désagréable mais ne sera que temporaire et n'est en aucun cas imposé au patient qui pourra s'y soustraire à condition qu'il le mentionne au médecin investigateur. Concernant les modalités de la prise en charge chirurgicale (anesthésie, technique chirurgicale, durée d'hospitalisation, risques opératoires et anesthésiques), elles ne seront pas différentes de n'importe quel patient ayant opté pour cette prise en charge dans le cadre d'une otospongiose avérée. La prise en charge de toute complication (détaillée par le chirurgien au cours de sa consultation de pré-inclusion) sera la même que le patient participe à cette étude ou pas.

Quelles sont les éventuelles alternatives médicales?

Les deux véritables traitements de l'otospongiose restent l'appareillage auditif externe et la chirurgie.

Les patients participant à cette étude bénéficieront donc des deux seuls traitements disponibles à ce jour selon les données actuelles de la science.

Quelles sont les modalités de prise en charge médicale?

Les modalités de prise en charge en cas d'arrêt prématuré de la recherche, d'exclusion de la recherche ou de fin de recherche ne seront pas différentes de tous les patients atteints d'otospongiose et suivis dans le service d'ORL du CHU de Toulouse. Il leur sera proposé un suivi régulier et des thérapeutiques adaptées à leur condition.

Quels sont vos droits ?

Votre médecin doit vous fournir toutes les explications nécessaires concernant cette recherche. Si vous souhaitez vous en retirer à quelque moment que ce soit, et quel que soit le motif, vous continuerez à bénéficier du suivi médical et cela n'affectera en rien votre surveillance future.

Dans le cadre de la recherche biomédicale à laquelle le CHU Toulouse vous propose de participer, un traitement informatique de vos données personnelles sera mis en œuvre pour permettre d'analyser les résultats de la recherche au regard de l'objectif de cette dernière qui vous a été présenté. A cette fin, les données médicales vous concernant, seront transmises au promoteur de la recherche ou aux personnes ou sociétés agissant pour son compte, en France ou à l'étranger. Ces données seront identifiées par un code et/ou vos initiales. Ces données pourront également, dans des conditions assurant leur confidentialité, être transmises aux autorités de santé françaises ou étrangères et à d'autres entités du CHU Toulouse.

Conformément aux dispositions de la loi relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés, vous disposez à tout moment d'un droit d'accès et de rectification des données informatisées vous concernant (loi n° 2004-801 du 6 août 2004 modifiant la loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés). Vous disposez également d'un droit d'opposition à la transmission des données couvertes par le secret professionnel susceptibles d'être utilisées dans le cadre de cette recherche et d'être traitées. Vous pouvez également accéder directement ou par l'intermédiaire du médecin de votre choix à l'ensemble de vos données médicales en application des dispositions de l'article L1111-7 du code de la santé publique. Ces droits s'exercent auprès du médecin qui vous suit dans le cadre de la recherche et qui connaît votre identité.

Tous les frais supplémentaires liés à la recherche sont pris en charge par le promoteur.

Conformément à la loi n°2004-806 du 9 août 2004 relative à la Politique de Santé Publique (art L1121-1 à L1126-6 du code de la santé publique) :

- cette recherche a obtenu un avis favorable du Comité de Protection des Personnes Sud-Ouest et Outre-Mer III le *date de l'avis* et l'autorisation de l'Agence Nationale de Sécurité des Médicaments et Produits de Santé (ANSM) le *date de l'autorisation*,
- le promoteur de cette recherche, le CHU Toulouse (2 rue Viguerie, 31059 Toulouse cedex), a souscrit une assurance de responsabilité civile auprès de la société *GERLING (contrat n°1006648-140029-10998)*,
- lorsque cette recherche sera terminée, vous serez tenus informés personnellement des résultats globaux par votre médecin dès que ceux-ci seront disponibles, si vous le demandez.

Après avoir lu cette note d'information, n'hésitez pas à poser à votre médecin toutes les questions que vous désirez. Après un délai de réflexion, si vous acceptez de participer à cette recherche, vous devez compléter et signer le formulaire de consentement de participation. Un exemplaire du document complet vous sera remis.

Nous vous remercions de votre participation à notre étude.

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT
PROTHÈSE AUDITIVE VERSUS RÉHABILITATION CHIRURGICALE DANS LA PRISE EN CHARGE DE L'OTOSPONGIOSE
PARCO – CODE PROMOTEUR
Version n°X.X

Promoteur de la recherche : *CHU Toulouse*

Investigateur coordonnateur/principal : *MARX Mathieu, Praticien Hospitalier*

Je soussigné(e) (*nom, prénom*) certifie avoir lu et compris la note d'information qui m'a été remise.

J'ai eu la possibilité de poser toutes les questions que je souhaitais au Pr/Dr (*nom, prénom*) qui m'a expliqué la nature, les objectifs, les risques potentiels et les contraintes liées à ma participation à cette recherche.

Je connais la possibilité qui m'est réservée d'interrompre ma participation à cette recherche à tout moment sans avoir à justifier ma décision et je ferai mon possible pour en informer le médecin qui me suit dans la recherche. Cela ne remettra naturellement pas en cause la qualité des soins ultérieurs.

J'ai eu l'assurance que les décisions qui s'imposent pour ma santé seront prises à tout moment, conformément à l'état actuel des connaissances médicales.

Je suis informé(e) que la possibilité qu'une partie des prélèvements effectués à l'occasion de ce protocole de recherche soit conservée pour une utilisation ultérieure à des fins de recherche. J'ai également été informé(e) de mon droit à m'opposer à ce que cette conservation et cette utilisation ultérieure à des fins de recherche aient lieu.

J'ai pris connaissance que cette recherche a reçu l'avis favorable du Comité de Protection des Personnes Sud-Ouest et Outre-Mer III le *date de l'avis favorable* et l'autorisation de l'ANSM le *date de l'autorisation* et a fait l'objet d'une déclaration à la Commission Nationale Informatique et Libertés (CNIL).

Le promoteur de la recherche, le CHU Toulouse (Hôtel Dieu 2 rue Viguerie TSA 80035 31059 Toulouse cedex 9) a souscrit une assurance de responsabilité civile en cas de préjudice auprès de la société *GERLING (contrat n°1006648-140029-10998)*.

J'accepte que les personnes qui collaborent à cette recherche ou qui sont mandatées par le promoteur, ainsi qu'éventuellement le représentant des Autorités de Santé, aient accès à l'information dans le respect le plus strict de la confidentialité.

J'accepte que les données enregistrées à l'occasion de cette recherche puissent faire l'objet d'un traitement informatisé sous la responsabilité du promoteur.

J'ai bien noté que, conformément aux dispositions de la loi relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés, je dispose d'un droit d'accès et de rectification. Je dispose également d'un droit d'opposition à la transmission des données couvertes par le secret professionnel susceptibles d'être utilisées dans le cadre de cette recherche et d'être traitées. Ces droits s'exercent auprès du médecin qui me suit dans le cadre de cette recherche et qui connaît mon identité.

Mon consentement ne décharge en rien l'investigateur et le promoteur de la recherche de leurs responsabilités à mon égard. Je conserve tous les droits garantis par la loi.

Les résultats globaux de la recherche me seront communiqués directement, si je le demande, conformément à la loi du 4 mars 2002 relative aux droits des malades et à la qualité du système de santé.

Ayant disposé d'un temps de réflexion suffisant avant de prendre ma décision, j'accepte librement et volontairement de participer à la recherche PARCO

/ *oui* / *non*

Je pourrai à tout moment demander des informations complémentaires au médecin qui m'a proposé de participer à cette recherche, n° téléphone :

Fait à le

Signature du patient/sujet :

Fait à le

Signature du médecin :

- 1^{er} feuillet (original) : à conserver à part par l'investigateur pendant 30 ans dans un lieu sûr fermant à clé
- 2^{ème} feuillet : à remettre au patient/sujet après signatures
- 3^{ème} feuillet : à ranger dans le classeur investigateur, il sera demandé ultérieurement par le promoteur

ANNEXE V : Questionnaire GHSI

Questionnaires

GHSI – GLASGOW HELATH STATUS INVENTORY

1	Votre surdité affecte-t-elle souvent vos activités ?				
	Fréquemment ou tout le temps <input type="checkbox"/> ₁	La moitié du temps <input type="checkbox"/> ₂	Parfois <input type="checkbox"/> ₃	Rarement <input type="checkbox"/> ₄	Jamais <input type="checkbox"/> ₅
2	Dans quelle mesure votre surdité affecte-t-elle votre vie en général ?				
	Pas du tout <input type="checkbox"/> ₅	Très peu <input type="checkbox"/> ₄	Un peu <input type="checkbox"/> ₃	Moyennement <input type="checkbox"/> ₂	Beaucoup <input type="checkbox"/> ₁
3	Parmi les propositions suivantes, laquelle décrit le mieux votre attitude face à l'avenir ?				
	Optimiste <input type="checkbox"/> ₅	Assez optimiste <input type="checkbox"/> ₄	Ne sait pas <input type="checkbox"/> ₃	Assez pessimiste <input type="checkbox"/> ₂	Pessimiste <input type="checkbox"/> ₁
4	En raison de votre surdité, vous sentez-vous souvent gêné(e) dans un groupe de gens				
	Fréquemment ou tout le temps <input type="checkbox"/> ₁	La moitié du temps <input type="checkbox"/> ₂	Parfois <input type="checkbox"/> ₃	Rarement <input type="checkbox"/> ₄	Jamais <input type="checkbox"/> ₅
5	Votre confiance en vous est-elle affectée par votre surdité?				
	Pas du tout <input type="checkbox"/> ₅	Très peu <input type="checkbox"/> ₄	Un peu <input type="checkbox"/> ₃	Moyennement <input type="checkbox"/> ₂	Beaucoup <input type="checkbox"/> ₁
6	Les difficultés liées à votre surdité affectent-elles souvent vos rapports avec les autres ?				
	Jamais <input type="checkbox"/> ₅	Rarement <input type="checkbox"/> ₄	Parfois <input type="checkbox"/> ₃	La moitié du temps <input type="checkbox"/> ₂	Fréquemment ou tout le temps <input type="checkbox"/> ₁
7	Êtes-vous soutenu(e) par vos amis ?				
	Extrêmement soutenu(e) <input type="checkbox"/> ₅	Assez soutenu(e) <input type="checkbox"/> ₄	Un peu soutenu(e) <input type="checkbox"/> ₃	Très peu soutenu(e) <input type="checkbox"/> ₂	Pas du tout soutenu(e) <input type="checkbox"/> ₁
8	Consultez-vous souvent votre médecin de famille pour une raison ou pour une autre ?				
	Au moins 7 fois par an <input type="checkbox"/> ₁	5 ou 6 fois par an <input type="checkbox"/> ₂	3 ou 4 fois par an <input type="checkbox"/> ₃	1 ou 2 fois par an <input type="checkbox"/> ₄	Jamais <input type="checkbox"/> ₅
9	Les difficultés liées à votre surdité affectent-elles souvent la façon dont vous considérez vos possibilités d'emploi ?				
	Jamais <input type="checkbox"/> ₅	Rarement <input type="checkbox"/> ₄	Parfois <input type="checkbox"/> ₃	La moitié du temps <input type="checkbox"/> ₂	Fréquemment ou tout le temps <input type="checkbox"/> ₁
10	Les difficultés liées à votre surdité vous rendent-elles souvent timide ?				
	Fréquemment ou tout le temps <input type="checkbox"/> ₁	La moitié du temps <input type="checkbox"/> ₂	Parfois <input type="checkbox"/> ₃	Rarement <input type="checkbox"/> ₄	Jamais <input type="checkbox"/> ₅
11	Combien de personnes s'occupent vraiment de vous ?				
	Plus de 6 personnes <input type="checkbox"/> ₅	5 ou 6 personnes <input type="checkbox"/> ₄	3 ou 4 personnes <input type="checkbox"/> ₃	1 ou 2 personnes <input type="checkbox"/> ₂	Aucune <input type="checkbox"/> ₁
12	Si un rhume ou une infection circule, l'attrapez-vous souvent ?				
	Fréquemment ou tout le temps <input type="checkbox"/> ₁	La moitié du temps <input type="checkbox"/> ₂	Parfois <input type="checkbox"/> ₃	Rarement <input type="checkbox"/> ₄	Jamais <input type="checkbox"/> ₅
13	Devez-vous souvent prendre des médicaments pour une raison ou pour une autre ?				
	Fréquemment ou tout le temps <input type="checkbox"/> ₁	La moitié du temps <input type="checkbox"/> ₂	Parfois <input type="checkbox"/> ₃	Rarement <input type="checkbox"/> ₄	Jamais <input type="checkbox"/> ₅

14 Les difficultés liées à votre surdité ont-elles un effet sur la façon dont vous vous considérez ?				
Aucun effet <input type="checkbox"/> 5	Très peu d'effet <input type="checkbox"/> 4	Peu d'effet <input type="checkbox"/> 3	Un peu d'effet <input type="checkbox"/> 2	Beaucoup d'effet <input type="checkbox"/> 1
15 Êtes-vous soutenu(e) par votre famille ?				
Extrêmement soutenu(e) <input type="checkbox"/> 5	Assez soutenu(e) <input type="checkbox"/> 4	Un peu soutenu(e) <input type="checkbox"/> 3	Très peu soutenu(e) <input type="checkbox"/> 2	Pas du tout soutenu(e) <input type="checkbox"/> 1
16 Êtes-vous souvent gêné(e) par votre surdité?				
Tous les jours <input type="checkbox"/> 1	1 ou 2 fois par semaine <input type="checkbox"/> 2	1 ou 2 fois par mois <input type="checkbox"/> 3	Moins de 6 fois par an <input type="checkbox"/> 4	Jamais <input type="checkbox"/> 5
17 Participez-vous souvent à des activités en société ?				
Plus de 3 fois par jour <input type="checkbox"/> 5	1 ou 2 fois par jour <input type="checkbox"/> 4	1 ou 2 fois par semaine <input type="checkbox"/> 3	1 ou 2 fois par mois <input type="checkbox"/> 2	Moins de 3 fois par mois <input type="checkbox"/> 1
18 Ressentez-vous souvent le besoin de vous retrouver seul(e) ?				
Fréquemment ou tout le temps <input type="checkbox"/> 1	La moitié du temps <input type="checkbox"/> 2	Parfois <input type="checkbox"/> 3	Rarement <input type="checkbox"/> 4	Jamais <input type="checkbox"/> 5

2ème partie : Audition spatiale

<p>1. Vous vous trouvez à l'extérieur, dans un endroit qui ne vous est pas familier. Vous entendez le bruit d'une tondeuse à gazon. Vous ne pouvez voir ni la tondeuse à gazon ni la personne qui l'utilise. Pouvez-vous indiquer spontanément d'où vient le bruit ?</p>	<p><i>Pas du tout</i> <i>Parfaitement</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Non applicable</p> <p style="text-align: right;">[] [] [] [] [] [] [] [] [] [] []</p>
<p>2. Vous êtes assis autour d'une table ou participez à une réunion avec plusieurs personnes. Vous ne pouvez pas voir toutes les personnes. Pouvez-vous dire où se trouvent les différentes personnes dès qu'elles prennent la parole ?</p>	<p><i>Pas du tout</i> <i>Parfaitement</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Non applicable</p> <p style="text-align: right;">[] [] [] [] [] [] [] [] [] [] []</p>
<p>3. Vous êtes assis entre deux personnes. L'une d'elles commence à parler. Pouvez-vous dire immédiatement sans regarder s'il s'agit de la personne assise à votre gauche ou à votre droite ?</p>	<p><i>Pas du tout</i> <i>Parfaitement</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Non applicable</p> <p style="text-align: right;">[] [] [] [] [] [] [] [] [] [] []</p>
<p>4. Vous vous trouvez dans une maison inconnue. Tout est calme. Vous entendez une porte claquer. Pouvez-vous indiquer immédiatement d'où vient le bruit ?</p>	<p><i>Pas du tout</i> <i>Parfaitement</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Non applicable</p> <p style="text-align: right;">[] [] [] [] [] [] [] [] [] [] []</p>
<p>5. Vous vous tenez dans la cage d'escalier d'un bâtiment, il y a des étages au-dessus et en dessous de vous. Vous entendez du bruit à un autre étage. Pouvez-vous indiquer facilement d'où vient le bruit ?</p>	<p><i>Pas du tout</i> <i>Parfaitement</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Non applicable</p> <p style="text-align: right;">[] [] [] [] [] [] [] [] [] [] []</p>
<p>6. Vous êtes à l'extérieur. Un chien aboie bruyamment. Pouvez-vous indiquer immédiatement où il se trouve, sans regarder ?</p>	<p><i>Pas du tout</i> <i>Parfaitement</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Non applicable</p> <p style="text-align: right;">[] [] [] [] [] [] [] [] [] [] []</p>
<p>7. Vous êtes sur le trottoir d'une rue animée. Pouvez-vous entendre immédiatement de quelle direction un bus ou un camion arrive avant de l'avoir vu ?</p>	<p><i>Pas du tout</i> <i>Parfaitement</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Non applicable</p> <p style="text-align: right;">[] [] [] [] [] [] [] [] [] [] []</p>
<p>8. Dans la rue, pouvez-vous dire à quelle distance se trouve une personne uniquement au son de sa voix ou de ses pas ?</p>	<p><i>Pas du tout</i> <i>Parfaitement</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Non applicable</p> <p style="text-align: right;">[] [] [] [] [] [] [] [] [] [] []</p>
<p>9. Pouvez-vous indiquer immédiatement à quelle distance se trouve un bus ou un camion, juste en entendant le bruit qu'il fait ?</p>	<p><i>Pas du tout</i> <i>Parfaitement</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Non applicable</p> <p style="text-align: right;">[] [] [] [] [] [] [] [] [] [] []</p>

10. Lorsque vous entendez un bus ou un camion, pouvez-vous reconnaître son sens de déplacement, par exemple de votre gauche à votre droite ou inversement ?	<p><i>Pas du tout</i> <i>Parfaitement</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Non applicable</p> <p style="text-align: right;">□</p>
11. Pouvez-vous indiquer dans quelle direction une personne se déplace, uniquement au son de sa voix ou de ses pas, par exemple de votre gauche à votre droite ou inversement ?	<p><i>Pas du tout</i> <i>Parfaitement</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Non applicable</p> <p style="text-align: right;">□</p>
12. Quand vous entendez la voix ou les pas d'une personne, pouvez-vous dire si elle s'éloigne ou si elle se rapproche de vous ?	<p><i>Pas du tout</i> <i>Parfaitement</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Non applicable</p> <p style="text-align: right;">□</p>
13. Lorsque vous entendez un bus ou un camion, pouvez-vous dire s'il s'éloigne ou s'il se rapproche de vous ?	<p><i>Pas du tout</i> <i>Parfaitement</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Non applicable</p> <p style="text-align: right;">□</p>
14. Avez-vous l'impression que les bruits et sons que vous entendez se trouvent plutôt à l'intérieur de votre tête ou plutôt dans le monde extérieur ?	<p><i>À l'intérieur de ma tête</i> <i>Dans le monde extérieur</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Non applicable</p> <p style="text-align: right;">□</p>
15. Les choses ou les personnes que vous entendez et que vous ne pouvez pas voir dans un premier temps sont-elles généralement plus près de vous que vous ne l'aviez imaginé avant de les voir ?	<p><i>Beaucoup plus près</i> <i>Pas plus près</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Non applicable</p> <p style="text-align: right;">□</p>
16. Les choses ou les personnes que vous entendez et que vous ne pouvez voir dans un premier temps sont-elles plus éloignées que vous ne vous l'aviez imaginé avant de les voir ?	<p><i>Beaucoup plus loin</i> <i>Pas plus loin</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Non applicable</p> <p style="text-align: right;">□</p>
17. Avez-vous l'impression de pouvoir déterminer avec précision d'où proviennent les bruits que vous entendez ?	<p><i>Pas du tout</i> <i>Parfaitement</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Non applicable</p> <p style="text-align: right;">□</p>

3ème partie : Qualité d'audition

1. Imaginez que vous entendez deux choses en même temps, par exemple de l'eau qui coule dans un lavabo et la radio. Avez-vous l'impression que ces deux bruits sont distincts l'un de l'autre ?	<p><i>Pas du tout</i> <i>Parfaitement</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Non applicable</p> <p style="text-align: right;">□</p>
2. Lorsque vous entendez plusieurs sons à la fois, pouvez-vous les distinguer clairement les uns des autres ou avez-vous l'impression qu'il s'agit d'un seul bruit confus ?	<p><i>Confus</i> <i>Distinct</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Non applicable</p> <p style="text-align: right;">□</p>
3. Vous vous tenez dans une pièce et il y a de la musique à la radio. Une autre personne parle dans la pièce. Pouvez-vous différencier la voix de la musique ?	<p><i>Pas du tout</i> <i>Parfaitement</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Non applicable</p> <p style="text-align: right;">□</p>
4. Pouvez-vous reconnaître facilement les différentes personnes que vous connaissez au son de leur voix ?	<p><i>Pas du tout</i> <i>Parfaitement</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Non applicable</p> <p style="text-align: right;">□</p>

5. Pouvez-vous distinguer facilement les différents morceaux de musique que vous connaissez ?	<p><i>Pas du tout</i> <i>Parfaitement</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p style="text-align: right;">Non applicable <input type="checkbox"/></p>
6. Pouvez-vous différencier certains bruits, par exemple une voiture par rapport à un bus ou de l'eau qui bout par rapport à la nourriture qui frit dans une poêle ?	<p><i>Pas du tout</i> <i>Parfaitement</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p style="text-align: right;">Non applicable <input type="checkbox"/></p>
7. Lorsque vous écoutez de la musique, pouvez-vous discerner les différents instruments ?	<p><i>Pas du tout</i> <i>Parfaitement</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p style="text-align: right;">Non applicable <input type="checkbox"/></p>
8. Lorsque vous écoutez de la musique, est-ce qu'elle retentit de manière distincte et naturelle ?	<p><i>Pas du tout</i> <i>Parfaitement</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p style="text-align: right;">Non applicable <input type="checkbox"/></p>
9. Les bruits quotidiens que vous entendez facilement sont-ils distincts (non brouillés) ?	<p><i>Pas du tout</i> <i>Parfaitement</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p style="text-align: right;">Non applicable <input type="checkbox"/></p>
10. Les voix des autres personnes sont-elles distinctes et naturelles ?	<p><i>Pas du tout</i> <i>Parfaitement</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p style="text-align: right;">Non applicable <input type="checkbox"/></p>
11. Les bruits quotidiens que vous entendez vous paraissent-ils artificiels ou peu naturels ?	<p><i>Artificiels</i> <i>Naturels</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p style="text-align: right;">Non applicable <input type="checkbox"/></p>
12. Votre propre voix retentit-elle de manière naturelle à vos oreilles ?	<p><i>Pas du tout</i> <i>Parfaitement</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p style="text-align: right;">Non applicable <input type="checkbox"/></p>

<p>13. Pouvez-vous facilement juger de l'humeur d'une personne au son de sa voix ?</p>	<p><i>Pas du tout</i> <i>Parfaitement</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p style="text-align: right;">Non applicable <input type="checkbox"/></p>
<p>14. Devez-vous vous concentrer intensément lorsque vous écoutez quelqu'un ou quelque chose ?</p>	<p><i>Concentration intense</i> <i>Pas de concentration nécessaire</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p style="text-align: right;">Non applicable <input type="checkbox"/></p>
<p>15. Devez-vous faire beaucoup d'efforts pour entendre ce qui se dit au cours d'une conversation avec d'autres personnes ?</p>	<p><i>Beaucoup d'efforts</i> <i>Aucun effort</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p style="text-align: right;">Non applicable <input type="checkbox"/></p>
<p>16. Lorsque vous conduisez, pouvez-vous facilement entendre ce que dit la personne assise à côté de vous ?</p>	<p><i>Pas du tout</i> <i>Parfaitement</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p style="text-align: right;">Non applicable <input type="checkbox"/></p>
<p>17. Lorsque vous êtes passager d'une voiture, pouvez-vous facilement entendre ce que dit le conducteur assis à côté de vous ?</p>	<p><i>Pas du tout</i> <i>Parfaitement</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p style="text-align: right;">Non applicable <input type="checkbox"/></p>
<p>18. Pouvez-vous ignorer facilement les autres bruits lorsque vous essayez d'écouter quelque chose ?</p>	<p><i>Ignorer difficilement</i> <i>Ignorer facilement</i></p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p style="text-align: right;">Non applicable <input type="checkbox"/></p>

ANNEXE VII : Questionnaire APHAB

APHAB – FORMULAIRE A

Instructions:

Veillez sélectionner les réponses qui correspondent le mieux votre expérience quotidienne. Si vous n'avez pas connu la situation que nous décrivons, essayez d'imaginer comment vous répondriez dans une situation similaire que vous connaissez.

- A** Toujours (99%)
- B** Presque Toujours (87%)
- C** En général (75%)
- D** La moitié du temps (50%)
- E** Parfois (25%)
- F** Rarement (12%)
- G** Jamais (1%)

	Non appareillé	Appareillé
1. Quand je suis dans un supermarché plein de monde et que je parle avec la caissière, j'arrive à suivre la conversation.	A B C D E F G	A B C D E F G
2. Quand j'écoute une conférence, beaucoup d'informations sont perdues pour moi.	A B C D E F G	A B C D E F G
3. Des bruits inattendus, tels qu'un détecteur de fumée ou une sonnerie d'alarme, me sont pénibles.	A B C D E F G	A B C D E F G
4. J'ai de la peine à suivre une conversation quand je suis chez moi, avec quelqu'un de ma famille.	A B C D E F G	A B C D E F G
5. J'ai de la peine à comprendre les dialogues au cinéma ou au théâtre.	A B C D E F G	A B C D E F G
6. Quand j'écoute les informations en voiture et que des membres de ma famille sont en train de parler, j'ai de la peine à entendre les nouvelles.	A B C D E F G	A B C D E F G
7. Quand je dîne avec plusieurs personnes et que j'essaie d'avoir une conversation avec l'une d'entre elles, j'ai de la peine à comprendre ce qu'elle dit.	A B C D E F G	A B C D E F G
8. Les bruits de la circulation sont trop forts.	A B C D E F G	A B C D E F G
9. Quand je parle avec quelqu'un à travers une grande pièce vide, je comprends ses paroles.	A B C D E F G	A B C D E F G
10. Quand je suis dans un petit bureau, en train de poser ou de me faire poser des questions, j'ai de la peine à suivre la conversation.	A B C D E F G	A B C D E F G
11. Quand je suis dans une salle de cinéma ou de théâtre et que les gens murmurent et froissent du papier autour de moi, j'arrive quand même à comprendre le dialogue.	A B C D E F G	A B C D E F G
12. Quand j'ai une conversation avec un ami et que nous parlons doucement, j'ai de la peine à comprendre.	A B C D E F G	A B C D E F G

		Non appareillé	Appareillé
13.	Les bruits d'eau courante, chasse d'eau ou douche par exemple, sont trop forts et me sont pénibles.	A B C D E F G	A B C D E F G
14.	Quand un orateur parle à un petit groupe et que tout le monde écoute calmement, je dois faire un effort pour comprendre.	A B C D E F G	A B C D E F G
15.	Lors d'une conversation tranquille avec mon médecin, dans son cabinet de consultation, il m'est difficile de suivre la conversation.	A B C D E F G	A B C D E F G
16.	Je comprends les conversations même quand plusieurs personnes sont en train de parler.	A B C D E F G	A B C D E F G
17.	Les bruits de chantier sont trop forts et me sont pénibles.	A B C D E F G	A B C D E F G
18.	J'ai de la peine à comprendre ce qui se dit lors de conférences ou de services religieux.	A B C D E F G	A B C D E F G
19.	J'arrive à communiquer avec les autres dans une foule.	A B C D E F G	A B C D E F G
20.	Le bruit de la sirène d'un camion de pompiers à proximité est si fort que je dois me boucher les oreilles.	A B C D E F G	A B C D E F G
21.	Je peux suivre le sermon, lors d'un service religieux.	A B C D E F G	A B C D E F G
22.	Les crissements de pneus sont trop forts et me sont pénibles.	A B C D E F G	A B C D E F G
23.	Dans des conversations en tête à tête, dans une pièce calme, je dois demander aux gens de répéter.	A B C D E F G	A B C D E F G
24.	J'ai du mal à comprendre les autres quand un système d'air conditionné ou un ventilateur est en marche.	A B C D E F G	A B C D E F G

ANNEXE VIII : Questionnaire GBI

GBI – GLASGOW BENEFIT INVENTORY

INSTRUCTIONS:

Quel est l'impact de votre appareillage sur votre vie actuelle? Choisissez la réponse qui se rapproche le plus de votre expérience quotidienne.

1	Le résultat de l'appareillage a-t-il affecté vos activités ?				
	Bien pire <input type="checkbox"/> ₁	Un peu mieux <input type="checkbox"/> ₂	Pas de changement <input type="checkbox"/> ₃	Un peu moins bien <input type="checkbox"/> ₄	Bien mieux <input type="checkbox"/> ₅
2	Les résultats de l'appareillage ont-ils rendu votre vie plus agréable ou plus désagréable ?				
	Bien mieux <input type="checkbox"/> ₅	Un peu mieux <input type="checkbox"/> ₄	Pas de changement <input type="checkbox"/> ₃	Un peu moins bien <input type="checkbox"/> ₂	Bien pire <input type="checkbox"/> ₁
3	Depuis votre appareillage, vous sentez-vous plus optimiste ou plus pessimiste face à l'avenir ?				
	Beaucoup plus optimiste <input type="checkbox"/> ₅	Plus optimiste <input type="checkbox"/> ₄	Pas de changement <input type="checkbox"/> ₃	Plus pessimiste <input type="checkbox"/> ₂	Beaucoup plus pessimiste <input type="checkbox"/> ₁
4	Depuis votre appareillage, vous sentez-vous plus à l'aise ou plus mal à l'aise dans un groupe de gens ?				
	Beaucoup plus mal à l'aise <input type="checkbox"/> ₁	Plus mal à l'aise <input type="checkbox"/> ₂	Pas de changement <input type="checkbox"/> ₃	Plus à l'aise <input type="checkbox"/> ₄	Beaucoup plus à l'aise <input type="checkbox"/> ₅
5	Depuis votre appareillage, vous sentez-vous plus sûr(e) de vous ou moins sûr(e) de vous ?				
	Beaucoup plus sûr(e) de moi <input type="checkbox"/> ₅	Plus sûr(e) de moi <input type="checkbox"/> ₄	Pas de changement <input type="checkbox"/> ₃	Plus sûr(e) de moi <input type="checkbox"/> ₂	Beaucoup sûr(e) de moi <input type="checkbox"/> ₁
6	Depuis votre appareillage, vous est-il plus facile ou plus difficile d'avoir affaire à d'autres personnes ?				
	Beaucoup plus facile <input type="checkbox"/> ₅	Plus facile <input type="checkbox"/> ₄	Pas de changement <input type="checkbox"/> ₃	Plus difficile <input type="checkbox"/> ₂	Beaucoup plus difficile <input type="checkbox"/> ₁
7	Depuis votre appareillage, avez-vous l'impression d'être plus soutenu(e) ou moins soutenu(e) par vos amis ?				
	Beaucoup plus soutenu(e) <input type="checkbox"/> ₅	Plus soutenu(e) <input type="checkbox"/> ₄	Pas de changement <input type="checkbox"/> ₃	Moins soutenu(e) <input type="checkbox"/> ₂	Beaucoup moins soutenu(e) <input type="checkbox"/> ₁
8	Pour une raison ou pour une autre, avez-vous consulté votre médecin de famille plus souvent ou moins souvent depuis votre appareillage?				
	Beaucoup plus souvent <input type="checkbox"/> ₁	Plus souvent <input type="checkbox"/> ₂	Pas de changement <input type="checkbox"/> ₃	Moins souvent <input type="checkbox"/> ₄	Beaucoup moins souvent <input type="checkbox"/> ₅
9	Depuis votre appareillage, vous sentez-vous plus confiant(e) ou moins confiant(e) concernant vos possibilités d'emploi ?				
	Beaucoup plus confiant(e) <input type="checkbox"/> ₅	Plus confiant(e) <input type="checkbox"/> ₄	Pas de changement <input type="checkbox"/> ₃	Moins confiant(e) <input type="checkbox"/> ₂	Beaucoup moins confiant(e) <input type="checkbox"/> ₁
10	Depuis votre appareillage, vous sentez-vous plus timide ou moins timide ?				
	Beaucoup plus timide <input type="checkbox"/> ₁	Plus timide <input type="checkbox"/> ₂	Pas de changement <input type="checkbox"/> ₃	Moins timide <input type="checkbox"/> ₄	Beaucoup moins timide <input type="checkbox"/> ₅
11	Depuis votre appareillage, y a-t-il davantage ou moins de gens qui s'occupent vraiment de vous ?				
	Beaucoup plus de gens <input type="checkbox"/> ₅	Plus de gens <input type="checkbox"/> ₄	Pas de changement <input type="checkbox"/> ₃	Moins de gens <input type="checkbox"/> ₂	Beaucoup moins de gens <input type="checkbox"/> ₁
12	Depuis votre appareillage, êtes-vous sujet(te) à des rhumes ou infections plus souvent ou moins souvent ?				
	Beaucoup plus souvent <input type="checkbox"/> ₁	Plus souvent <input type="checkbox"/> ₂	Pas de changement <input type="checkbox"/> ₃	Moins souvent <input type="checkbox"/> ₄	Beaucoup moins souvent <input type="checkbox"/> ₅
13	Pour une raison ou pour une autre, avez-vous eu à prendre plus de médicaments ou moins de médicaments depuis votre appareillage ?				
	Beaucoup plus de médicaments <input type="checkbox"/> ₁	Plus de médicaments <input type="checkbox"/> ₂	Pas de changement <input type="checkbox"/> ₃	Moins de médicaments <input type="checkbox"/> ₄	Beaucoup moins de médicaments <input type="checkbox"/> ₅

14	Depuis votre appareillage, vous sentez-vous mieux ou moins bien ?				
	Beaucoup mieux	Mieux	Pas de changement	Moins bien	Beaucoup moins bien
	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
15	Depuis votre appareillage, avez-vous l'impression d'avoir été plus soutenu(e) ou moins soutenu(e) par votre famille ?				
	Beaucoup plus soutenu(e)	Plus soutenu(e)	Pas de changement	Moins soutenu(e)	Beaucoup moins soutenu(e)
	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
16	Depuis votre appareillage, êtes-vous plus gêné(e) ou moins gêné(e) par votre problème de surdité ?				
	Beaucoup plus gêné(e)	Plus gêné(e)	Pas de changement	Moins gêné(e)	Beaucoup moins gêné(e)
	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
17	Depuis votre appareillage, avez-vous pu participer à davantage ou à moins d'activités en société ?				
	Beaucoup plus d'activités	Plus d'activités	Pas de changement	Moins d'activités	Beaucoup moins d'activités
	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
18	Depuis votre appareillage, avez-vous plus besoin ou moins besoin de vous retrouver seul(e) ?				
	Beaucoup plus besoin	Plus besoin	Pas de changement	Moins besoin	Beaucoup moins besoin
	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

ANNEXE IX : Questionnaire THI

THI

A ne remplir qu'en cas d'acouphène

Acouphène (côté évalué)

Oui ₁

Non ₀

1	Avez-vous des problèmes de concentration à cause de vos acouphènes ?	Non <input type="checkbox"/> ₀ Oui <input type="checkbox"/> ₁ Parfois <input type="checkbox"/> ₂
2	La puissance de vos acouphènes rend-elle la compréhension d'autres personnes difficile ?	Non <input type="checkbox"/> ₀ Oui <input type="checkbox"/> ₁ Parfois <input type="checkbox"/> ₂
3	Vos acouphènes vous rendent-ils agressif/ve ?	Non <input type="checkbox"/> ₀ Oui <input type="checkbox"/> ₁ Parfois <input type="checkbox"/> ₂
4	Vos acouphènes sont-ils source de confusion ?	Non <input type="checkbox"/> ₀ Oui <input type="checkbox"/> ₁ Parfois <input type="checkbox"/> ₂
5	Vous sentez-vous désespéré(e) à cause de vos acouphènes ?	Non <input type="checkbox"/> ₀ Oui <input type="checkbox"/> ₁ Parfois <input type="checkbox"/> ₂
6	Vous plaignez-vous souvent de vos acouphènes ?	Non <input type="checkbox"/> ₀ Oui <input type="checkbox"/> ₁ Parfois <input type="checkbox"/> ₂
7	Le soir, avez-vous du mal à trouver le sommeil à cause de vos acouphènes ?	Non <input type="checkbox"/> ₀ Oui <input type="checkbox"/> ₁ Parfois <input type="checkbox"/> ₂
8	Avez-vous la sensation de ne pas pouvoir « échapper » à vos acouphènes ?	Non <input type="checkbox"/> ₀ Oui <input type="checkbox"/> ₁ Parfois <input type="checkbox"/> ₂
9	Vos acouphènes vous empêchent-ils de profiter de vos sorties (au restaurant, au cinéma, etc.) ?	Non <input type="checkbox"/> ₀ Oui <input type="checkbox"/> ₁ Parfois <input type="checkbox"/> ₂
10	Vos acouphènes sont-ils source de frustration ?	Non <input type="checkbox"/> ₀ Oui <input type="checkbox"/> ₁ Parfois <input type="checkbox"/> ₂
11	Vos acouphènes vous donnent-ils l'impression d'être gravement malade ?	Non <input type="checkbox"/> ₀ Oui <input type="checkbox"/> ₁ Parfois <input type="checkbox"/> ₂
12	Vos acouphènes vous donnent-ils l'impression de vous empêcher de profiter de la vie ?	Non <input type="checkbox"/> ₀ Oui <input type="checkbox"/> ₁ Parfois <input type="checkbox"/> ₂
13	Vos acouphènes pèsent-ils sur vos responsabilités professionnelles ou personnelles ?	Non <input type="checkbox"/> ₀ Oui <input type="checkbox"/> ₁ Parfois <input type="checkbox"/> ₂
14	Êtes-vous souvent irritable à cause de vos acouphènes ?	Non <input type="checkbox"/> ₀ Oui <input type="checkbox"/> ₁ Parfois <input type="checkbox"/> ₂
15	Avez-vous du mal à lire à cause de vos acouphènes ?	Non <input type="checkbox"/> ₀ Oui <input type="checkbox"/> ₁ Parfois <input type="checkbox"/> ₂
16	Vos acouphènes vous contrarient-ils ?	Non <input type="checkbox"/> ₀ Oui <input type="checkbox"/> ₁ Parfois <input type="checkbox"/> ₂
17	Pensez-vous que vos acouphènes ont introduit du stress dans vos relations familiales ou amicales ?	Non <input type="checkbox"/> ₀ Oui <input type="checkbox"/> ₁ Parfois <input type="checkbox"/> ₂
18	Avez-vous du mal à vous concentrer sur autre chose que vos acouphènes ?	Non <input type="checkbox"/> ₀ Oui <input type="checkbox"/> ₁ Parfois <input type="checkbox"/> ₂
19	Avez-vous l'impression d'être impuissant(e) face à vos acouphènes ?	Non <input type="checkbox"/> ₀ Oui <input type="checkbox"/> ₁ Parfois <input type="checkbox"/> ₂
20	Vous sentez-vous souvent fatigué(e) à cause de vos acouphènes ?	Non <input type="checkbox"/> ₀ Oui <input type="checkbox"/> ₁ Parfois <input type="checkbox"/> ₂
21	Vous sentez-vous déprimé(e) à cause de vos acouphènes ?	Non <input type="checkbox"/> ₀ Oui <input type="checkbox"/> ₁ Parfois <input type="checkbox"/> ₂
22	Vos acouphènes vous rendent-ils anxieux/se ?	Non <input type="checkbox"/> ₀ Oui <input type="checkbox"/> ₁ Parfois <input type="checkbox"/> ₂
23	Ressentez-vous un sentiment de lassitude face à vos acouphènes ?	Non <input type="checkbox"/> ₀ Oui <input type="checkbox"/> ₁ Parfois <input type="checkbox"/> ₂
24	Vos acouphènes s'aggravent-ils lorsque vous êtes stressé(e) ?	Non <input type="checkbox"/> ₀ Oui <input type="checkbox"/> ₁ Parfois <input type="checkbox"/> ₂
25	Vos acouphènes vous rendent-ils peu sûr(e) de vous ?	Non <input type="checkbox"/> ₀ Oui <input type="checkbox"/> ₁ Parfois <input type="checkbox"/> ₂

ANNEXE X : EVA gêne et intensité

«Évaluez l'intensité de votre acouphène
entre pas d'acouphène du tout
(en montrant le bas de l'échelle)
et le maximum d'intensité imaginable
(en montrant le haut de l'échelle)».



«Évaluez la gêne que vous occasionne
votre acouphène dans votre vie
quotidienne, entre pas de gêne du tout
(en montrant le bas de l'échelle)
et le maximum de gêne imaginable
(en montrant le haut de l'échelle)
pour un acouphène».



ANNEXE XI : Questionnaire post-opérateur

QUESTIONNAIRE EFFETS INDESIRABLES POST-OPERATOIRE

Gout

Depuis votre opération :

Votre perception du goût vous paraît:

Augmentée

Oui ₁ Non ₀

Diminuée

Oui ₁ Non ₀

Absente

Oui ₁ Non ₀

Normale

Oui ₁ Non ₀

Pouvez-vous détecter le caractère sucré d'un bonbon?

Oui ₁ Non ₀

Pouvez-vous détecter l'acidité d'un jus de citron?

Oui ₁ Non ₀

Pouvez-vous détecter l'amertume du chocolat noir?

Oui ₁ Non ₀

Pouvez-vous détecter le caractère salé des chips?

Oui ₁ Non ₀

Votre capacité à détecter les différents goûts a-t-elle évoluée depuis l'opération ?

Goût	Meilleur	Identique	Pire
Sucré	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₀
Acide	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₀
Salé	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₀
Amer	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₀

Depuis votre opération :

Avez-vous des perceptions gustatives anormales (comme par exemple un goût métallique) ?

Oui ₁ Non ₀

Avez-vous des picotements de la langue?

Oui ₁ Non ₀

Avez-vous des perceptions gustatives en dehors des repas?

Oui ₁ Non ₀

La quantité de salive que vous produisez a-t-elle changé?

Oui ₁ Non ₀

Y en a-t-il davantage?

Oui ₁ Non ₀

Y en a-t-il moins?

Oui ₁ Non ₀

HYPERSENSIBILITE AUX BRUITS

Depuis votre opération :

Les sons forts vous gênent-ils davantage?

Oui ₁ Non ₀

Les sons brusques et inattendus vous gênent-ils davantage?

Oui ₁ Non ₀

Sur une échelle de 0 à 10 comment caractériseriez-vous votre hypersensibilité aux bruits **avant l'intervention** ?

□□□ / 10

Sur une échelle de 0 à 10 comment caractériseriez-vous votre hypersensibilité aux bruits **depuis l'intervention** ?

□□□ / 10

ANNEXE XII : Tableau récapitulatif du suivi patient

		Visite V1	Visite V2	Visite V3	Visite V4
EXAMEN CLINIQUE	Consentement éclairé		✓		
	Interrogatoire	✓	✓	✓	✓
	Otoscopie	✓	✓	✓	✓
	Données démographiques	✓			
	Stadification scannographique de Veillon	✓			
QUESTIONNAIRES	Questionnaire d'évaluation des attentes du patient		✓		
	Questionnaire GHS I		✓	✓	✓
	Questionnaire SSQ		✓	✓	✓
	Questionnaire APHAB		✓	✓	
	Questionnaire GBI appareillage			✓	
	Questionnaire GBI chirurgie				✓
	THI		+/- ✓	+/- ✓	+/- ✓
EXAMENS PARACLINIQUES	Audiométrie tonale	✓		✓	✓
	Audiométrie vocale dans le silence	✓		✓	✓
	Test d'intelligibilité dans le bruit		✓	✓	✓
	Tympanogramme	✓			
	Réflexes stapédiens	✓			
	Test de musicalité		✓	✓	✓
RECHERCHE DES EFFETS INDESIRABLES	Interrogatoire			✓	✓
	Otoscopie			✓	✓
	Questionnaire post-opératoire				✓

ANNEXE XIII : Données de l'audiométrie tonale**Audiométrie tonale en conduction aérienne (seuil en dB)**

PATIENT		250	500	1000	2000	4000	8000
1	INITIAL	65	75	65	50	65	85
	HA	45	40	40	35	55	75
	XIE	35	15	20	30	60	80
2	INITIAL	45	50	45	35	40	50
	HA	45	35	40	35	55	
	XIE	15	15	15	20	45	65
3	INITIAL	60	55	55	50	35	30
	HA	35	25	30	40	40	
	XIE	10	10	110	15	15	20
4	INITIAL	55	50	40	50	35	40
	HA	50	30	35	35	40	50
	XIE	20	15	20	25	30	40
5	INITIAL	55	60	60	60	75	70
	HA	45	30	30	35	55	60
	XIE	20	15	20	30	50	70
6	INITIAL	70	75	75	80	80	75
	HA	45	30	35	35	55	50
	XIE	15	10	20	20	45	55
7	INITIAL	55	65	55	45	35	65
	HA	55	30	50	50	45	45
	XIE	45	45	30	35	45	75
8	INITIAL	60	50	55	40	55	60
	HA	40	30	40	15	15	50
	XIE	50	35	30	35	70	80
9	INITIAL	40	45	45	50	60	40
	HA	40	40	50	55	60	60
	XIE	25	25	35	40	45	55

Audiométrie tonale en conduction osseuse (seuil en dB)

PATIENT		250	500	1000	2000	4000
1	INITIAL	5	25	25	40	40
	XIE	10	15	20	25	45
2	INITIAL	5	5	10	20	25
	XIE	5	15	10	20	45
3	INITIAL	0	20	25	25	20
	XIE	5	5	10	10	15
4	INITIAL	0	5	15	30	20
	XIE	0	5	15	25	20
5	INITIAL	10	25	15	40	50
	XIE	10	15	15	25	50
6	INITIAL	5	25	25	55	45
	XIE	15	10	15	20	35
7	INITIAL	10	25	20	40	35
	XIE	15	25	20	35	45
8	INITIAL	0	0	5	30	35
	XIE	10	15	15	35	45
9	INITIAL	10	15	15	20	20
	XIE	10	10	15	25	30

ANNEXE XIV : Données de l'audiométrie vocale (seuil en dB)

	10%		
Patient	INITIAL	HA	XIE
1	67	47	21
2	47	43	6
3	50	35	17
4	46	47	0
5	68	41	22
6	77	37	16
7	45	47	31
8	51	37	50
9	45	52	31
	50%		
Patient	INITIAL	HA	XIE
1	72	53	28
2	56	50	16
3	57	45	25
4	52	54	5
5	75	45	35
6	85	45	25
7	53	54	37
8	35	43	55
9	54	57	40
	100%		
Patient	INITIAL	HA	XIE
1	80	65	40
2	60	55	40
3	70	60	30
4	60	60	15
5	80	55	50
6	90	55	35
7	70	60	50
8	45	56	65
9	60	65	50

ANNEXE XV : Données patients du test de localisation de score (en pourcentage)

PATIENT	VISITE		
	INITIAL	HA	XIE
1	21	33	38
2	86	65	98
3	86	60	100
4	92	59	94
5	22	21	43
6	14	29	25
7	67	40	46
8	22	22	37
9	46	59	78

ANNEXE XVI : Données patients du test MATRIX

PATIENT		Diotique	Dichotique	Dichotique inversé
1	INITIAL	-0,60	5,30	-8,70
	HA	-1,80	0,60	-9,60
	XIE	0,10	5,50	-11,30
2	INITIAL	-3,2	-0,8	-9,7
	HA	-3,1	0,2	-13,9
	XIE	-1,1	-2,2	-14,6
3	INITIAL	-4,5	-8,2	-7,7
	HA	-4,5	-10,3	-8,4
	XIE	-3,2	-16	-10,6
4	INITIAL	-4,3	-9	-7,1
	HA	-5,5	-12,2	-7,4
	XIE	-2,6	-13,2	-10
5	INITIAL	-1	1,7	-5,6
	HA	1,2	-6	-5,9
	XIE	-0,6	-5,8	-6,8
6	INITIAL	-3,9	-2,3	-8,9
	HA	-2,2	-3,5	-8
	XIE	-1,4	-7,6	-9,6
7	INITIAL	-2,4	5,1	-13,5
	HA	56,7	94,8	-2,8
	XIE	0,6	13,4	-8,3
8	INITIAL	-1,4	-1,1	-5,9
	HA	9,5	-4,7	5,1
	XIE	29,4	33,5	6,9
9	INITIAL	5	2,9	-4,8
	HA	0,6	-0,1	-3,6
	XIE	-1,9	-5	-4,2

Les patients grisés ont été exclus à cause de résultats aberrants

ANNEXE XVII : Données patients du questionnaire SSQ

PATIENT		Parole	Spatial	Qualité	TOTAL
1	INITIAL	77	119	146	342
	HA	99	109	139	347
	XIE	87	71	132	290
2	INITIAL	48,5	18,5	118	185
	HA	70	79	154	303
	XIE	89	91	161	341
3	INITIAL	113,5	159	159,5	432
	HA	106	166	165	437
	XIE	128	162	163	453
4	INITIAL	54	89	102	245
	HA	77	97	134	308
	XIE	95	108	142	345
5	INITIAL	39	84	82	205
	HA	57	72	102	231
	XIE	128	126	155	409
6	INITIAL	76,5	110	118	304,5
	HA	98	131	139	368
	XIE	108	139	140	387
7	INITIAL	78	81	121	280
	HA	79	84	127	290
	XIE	93	156	122	371
8	INITIAL	39	83	108	230
	HA	66	113	109	288
	XIE	54	111	87	252
9	INITIAL	37	72	56	165
	HA	57	108	88	253
	XIE	88	135	135	358

ANNEXE XVIII : Données patients du test BRAMS (en pourcentage)

PATIENT		1^{ère} partie	2^{ème} partie	3^{ème} partie	TOTAL
1	INITIAL	93	83	75	85
	HA	93	88	79	87
	XIE	90	83	83	86
2	INITIAL	97	67	75	81
	HA	93	83	88	88
	XIE	93	79	96	90
3	INITIAL	90	83	71	82
	HA	90	67	75	78
	XIE	97	67	75	81
4	INITIAL	93	92	79	88
	HA	93	92	75	87
	XIE	83	88	92	87
5	INITIAL	67	50	71	63
	HA	47	79	42	55
	XIE	53	75	67	64
6	INITIAL	87	75	71	78
	HA	90	67	83	81
	XIE	87	54	38	62
7	INITIAL	97	92	79	90
	HA	100	92	92	95
	XIE	97	83	96	92
8	INITIAL	77	79	63	73
	HA	83	92	83	86
	XIE	73	58	92	74
9	INITIAL	57	71	54	60
	HA	60	63	75	65
	XIE				

ANNEXE XIX : Données patients du questionnaire GHSI (en pourcentage)

PATIENT		Général	Sous-score
1	INITIAL	68	73
	HA	64	69
	XIE	74	81
2	INITIAL	59	54
	HA	57	59
	XIE	64	67
3	INITIAL	81	81
	HA	79	79
	XIE	85	92
4	INITIAL	54	50
	HA	68	67
	XIE	69	69
5	INITIAL	61	52
	HA	55	50
	XIE	63	56
6	INITIAL	43	48
	HA	52	61
	XIE	54	53
7	INITIAL	40	44
	HA	43	46
	XIE	56	71
8	INITIAL	46	44
	HA	49	48
	XIE	54	52
9	INITIAL	40	44
	HA	47	56
	XIE	54	73

ANNEXE XX : Données patients du questionnaire GBI (en pourcentage)

PATIENT		SCORE TOTAL	SOUS-SCORE GENERAL
1	HA	16,7	25,0
	XIE	16,7	25,0
2	HA	19,4	29,2
	XIE	8,3	12,5
3	HA	-5,6	-8,3
	XIE	13,9	16,7
4	HA	27,8	41,7
	XIE	25,0	41,7
5	HA	36,1	50,0
	XIE	50,0	66,7
6	HA	11,1	16,7
	XIE	36,1	50,0
7	HA	-2,8	0,0
	XIE	5,6	20,8
8	HA	0,0	-4,2
	XIE	5,6	0,0
9	HA	13,9	20,8
	XIE	2,8	4,2

ANNEXE XXI : Données patients du questionnaire APHAB (en pourcentage de difficultés)

PATIENT		EC	RV	BN	AV
1	INITIAL	1	29	19	29
	HA	13	48	34	52
2	INITIAL	27	42	60	29
	HA	16	23	31	27
3	INITIAL	17	27	9	5
	HA	31	31	19	31
4	INITIAL	25	46	73	62
	HA	21	31	42	58
5	INITIAL	37	62	64	13
	HA	17	57	38	9
6	INITIAL	44	38	65	44
	HA	50	29	29	42
7	INITIAL	25	58	50	50
	HA	23	43	58	21
8	INITIAL	60	35	67	60
	HA	27	35	42	85
9	INITIAL	50	81	73	79
	HA	46	69	69	87

ANNEXE XXII : Données patients du questionnaire THI

PATIENT	VISITE	THI
2	INITIAL	8
	HA	10
	XIE	4
4	INITIAL	16
	HA	12
	XIE	0
5	INITIAL	42
	HA	36
	XIE	12
6	INITIAL	22
	HA	0
	XIE	10
7	INITIAL	8
	HA	18
	XIE	16

BIBLIOGRAPHIE

1. House HP. The evolution of otosclerosis surgery. *Otolaryngol Clin North Am* 1993; **26**: 323-33.
2. Toynbee J. A descriptive catalogue of preparations illustrative of the diseases of the ear, in the museum of Joseph Toynbee. London, : Churchill 1857.
3. Von Troltsch A. Lehrbuch der Ohrenheilkunde. Leipzig: Vogel 1882.
4. Mudry A. Adam Politzer (1835-1920) and the description of otosclerosis. *Otol Neurotol* 2006; **27**: 276-81.
5. Beales PH. Otosclerosis-past and present. *J R Soc Med* 1979; **72**: 553-61.
6. Kessel J. Über das Mobilisieren des Steigbugels durch Ausschneiden Trommelfelles, Hammers und Ambosses bei Undurchgängigkeit der tube. *Archiv für Ohrenheilkunde* 1878: 69-72.
7. Miot CB, J. Traité théorique et pratique des maladies de l'oreille et du nez. Paris, : Adrien Delahaye et Emile Lecrosnier 1884-1888.
8. Jack FL. Remarkable improvement in hearing by removal of the stapes. New Bedford, 1892.
9. Blake CJ. 1892. *Transactions of the American Otological Society*; **5**: 306.
10. Legent F, Boulanger J. [Maurice Sourdille, otologist of Nantes, famous and unknown]. *Hist Sci Med* 2009; **43**: 125-36.
11. Sourdille M. The Surgical Treatment of Otosclerosis. *Proc R Soc Med* 1930; **23**: 1443-55.
12. Hölmgren G. Opérations sur le temporal à l'aide de la loupe et du microscope. *Comptes-rendus des séances du XXème Congrès international d'otologie*. Paris 1922:19-22 juillet 1922.
13. Sourdille M. Trépanation mastoïdienne élargie et atticotomie transmastoïdienne (évidement partiel) [Issued also as thesis, Paris]. Paris,; 1915.
14. Shin Y. Surdités de transmission à tympan normal: à propos de 505 cas: Toulouse 2; 1999.
15. Nylen C-O. Quelques observations au moyen de la loupe et du microscope, en particulier dans les fistules labyrinthiques au niveau des fenêtres labyrinthiques avant et après l'évidement pétro-mastoidien. *Comptes-rendus des séances du XXème Congrès international d'otologie*. Paris 1922:317-9.
16. Sourdille M, Sanson RDd. Tendances évolutives de la fenestration. Paris, : Masson 1955.
17. Sourdille M. Nouvelles techniques chirurgicales pour le traitement des surdités de conduction. *Annales des maladies de l'oreille, du larynx, du nez et du pharynx* 1930: 10-1, 417-8.
18. Sourdille M. Traitement chirurgical de l'otospongiose. Paris: Congrès de la Société française d'Oto-Rhino-Laryngologie; 1935.
19. Sourdille M. New Technique in the Surgical Treatment of Severe and Progressive Deafness from Otosclerosis. *Bull N Y Acad Med* 1937; **13**: 673-91.
20. Lempert J. Improvement of hearing cases of otosclerosis : a new, one stage surgical technique. *Arch Otolaryngol* 1938; **28**: 42-97.
21. Lempert J. Lempert fenestra nov-ovalis operation for the restoration of serviceable unaided hearing in patients with clinical otosclerosis: its present evolutionary status. *Arch Otolaryngol* 1947; **46**: 478-511.
22. Nylen CO. The microscope in aural surgery, its first use and later development. *Acta Otolaryngol Suppl* 1954; **116**: 226-40.

23. Nylen CO. The otomicroscope and microsurgery 1921-1971. *Acta Otolaryngol* 1972; **73**: 453-4.
24. Rosen S. Palpation of stapes for fixation; preliminary procedure to determine fenestration suitability in otosclerosis. *AMA Arch Otolaryngol* 1952; **56**: 610-5.
25. Rosen S. Restoration of hearing in otosclerosis by mobilization of the fixed stapedial footplate; an analysis of results. *Laryngoscope* 1955; **65**: 224-69.
26. Basek M, Fowler EP, Jr. Anatomical factors in stapes-mobilization operations. *AMA Arch Otolaryngol* 1956; **63**: 589-97.
27. Altmann F, Basek M. Histological examination of a case of otosclerosis fifteen months after stapes-mobilization operation. *AMA Arch Otolaryngol* 1958; **68**: 314-24.
28. Shea JJ, Jr. Fenestration of the oval window. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1958; **67**: 932-51.
29. Shea JJ, Jr. A personal history of stapedectomy. *Am J Otol* 1998; **19**: S2-12.
30. Portmann M, Claverie G. Surgery of the windows of the labyrinth in otosclerosis. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1957; **66**: 49-66.
31. Portmann M, Claverie G. Stapediovestibular osteotomy in otosclerosis. *Laryngoscope* 1958; **68**: 797-804.
32. Schuknecht HF. A New Stapedectomy Prosthesis. *Arch Otolaryngol* 1964; **80**: 474.
33. Smyth GD. The case for small fenestra stapedectomy. *Otolaryngology* 1978; **86**: ORL488-91.
34. Smyth GD, Hassard TH. Eighteen years experience in stapedectomy. The case for the small fenestra operation. *Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl* 1978; **87**: 3-36.
35. Perkins RC. Laser stapedotomy for otosclerosis. *Laryngoscope* 1980; **90**: 228-40.
36. Strauss G, Maier T, Krinninger M et al. [Clinical use of a micromanipulator system: preliminary clinical experience in middle ear surgery]. *HNO* 2012; **60**: 807-13.
37. Miroir M, Nguyen Y, Szewczyk J et al. Design, kinematic optimization, and evaluation of a teleoperated system for middle ear microsurgery. *ScientificWorldJournal* 2012; **2012**: 907372.
38. Thomassin J-M DP, Danvin J-B Forman C. Anatomie de l'oreille moyenne. In: Elsevier Masson SAS P, ed. *EMC* 2008:20-015-A-10.
39. Guerrier Y. Anatomie à l'usage des oto-rhino-laryngologistes et des chirurgiens cervico-faciaux. Joué-lès-Tours: Simarre 1988.
40. Savic D, Djerić D. Morphological variations and relations of the epitympanum. *Rev Laryngol Otol Rhinol (Bord)* 1986; **107**: 61-4.
41. Rouvière H, Cordier GJ. Anatomie humaine, descriptive et topographique. 8. éd. rev. par G. Cordier. ed. Paris,: Masson 1959.
42. Anson BJ, Donaldson JA, Anson BJ. Surgical anatomy of the temporal bone. 3rd ed. Philadelphia: Saunders 1981.
43. Testut L, Latarjet A. Traité d'anatomie humaine. 9. éd., rev., corr. et augm. par A. Latarjet. ed. Paris,: Doin 1948.
44. Khanna SM, Tonndorf J. Tympanic membrane vibrations in cats studied by time-averaged holography. *J Acoust Soc Am* 1972; **51**: 1904-20.
45. Decraemer WF, Khanna SM, Funnell WR. Interferometric measurement of the amplitude and phase of tympanic membrane vibrations in cat. *Hear Res* 1989; **38**: 1-17.

46. Wever EG, Lawrence M. Physiological acoustics. Princeton, N. J.: Princeton Univ. Press 1954.
47. Nedzelnsky V. Sound pressures in the basal turn of the cat cochlea. *J Acoust Soc Am* 1980; **68**: 1676-89.
48. Avan P, Loth D, Menguy C, Teyssou M. Hypothetical roles of middle ear muscles in the guinea-pig. *Hear Res* 1992; **59**: 59-69.
49. Schoenwolf GC, Bleyl SB, Brauer PR, Francis-West PH. Larsen's human embryology. Fifth edition. ed. Philadelphia, PA: Elsevier/Churchill Livingstone 2015.
50. O'Rahilly R, Müller F, Streeter GL, Carnegie Institution of Washington. Developmental stages in human embryos : including a revision of Streeter's Horizons and a survey of the Carnegie Collection. Washington, D.C.: Carnegie Institution of Washington 1987.
51. Thomassin J.M CM, Bailhache A, Dessi P, Rodriguez F, Varoquaux A. Otospongiose. In: Paris EMS, ed. *EMC* 2010:20-195-A-10.
52. Linthicum FH, Jr. Histopathology of otosclerosis. *Otolaryngol Clin North Am* 1993; **26**: 335-52.
53. Schuknecht HF, Barber W. Histologic variants in otosclerosis. *Laryngoscope* 1985; **95**: 1307-17.
54. Lippy WH, Berenholz LP, Burkey JM. Otosclerosis in the 1960s, 1970s, 1980s, and 1990s. *Laryngoscope* 1999; **109**: 1307-9.
55. Parahy C, Linthicum FH, Jr. Otosclerosis and otospongiosis: clinical and histological comparisons. *Laryngoscope* 1984; **94**: 508-12.
56. Schuknecht HF, Merchant SN, Nadol JB. Schuknecht's pathology of the ear. 3rd ed. Shelton, CT: People's Medical Pub. House-USA 2010.
57. Uppal S, Bajaj Y, Rustom I, Coatesworth AP. Otosclerosis 1: the aetiopathogenesis of otosclerosis. *Int J Clin Pract* 2009; **63**: 1526-30.
58. Alberti PW, Ruben RJ. Otologic medicine and surgery. New York: Churchill Livingstone 1988.
59. Ohtani I, Baba Y, Suzuki T et al. Why is otosclerosis of low prevalence in Japanese? *Otol Neurotol* 2003; **24**: 377-81.
60. Cawthorne T. Otosclerosis. *J Laryngol Otol* 1955; **69**: 437-56.
61. Larsson A. Otosclerosis. A genetic and clinical study. *Acta Otolaryngol Suppl* 1960; **154**: 1-86.
62. Sakihara Y, Parving A. Clinical otosclerosis, prevalence estimates and spontaneous progress. *Acta Otolaryngol* 1999; **119**: 468-72.
63. Gordon MA. The genetics of otosclerosis: a review. *Am J Otol* 1989; **10**: 426-38.
64. Toynbee J. Pathological and Surgical Observations on the Diseases of the ear. *Med Chir Trans* 1841; **24**: 190-211.
65. Fowler EP. Otosclerosis in identical twins. A study of 40 pairs. *Arch Otolaryngol* 1966; **83**: 324-8.
66. Wayoff M, Chobaut JC, Raffoux C, Bertrand D. [HL-A system and otosclerosis]. *J Fr Otorhinolaryngol Audiophonol Chir Maxillofac* 1979; **28**: 299-301.
67. Causse JR, Causse JB. Otospongiosis as a genetic disease. Early detection, medical management, and prevention. *Am J Otol* 1984; **5**: 211-23.
68. Moumoulidis I, Axon P, Baguley D, Reid E. A review on the genetics of otosclerosis. *Clin Otolaryngol* 2007; **32**: 239-47.
69. Deguine O, Calvas P. Facteurs génétiques de l'otospongiose. Paris: Rapport de la Société Française d'ORL et de pathologie Cervico-Faciale; 2005.

70. Thalmann I, Thallinger G, Thalmann R. Otosclerosis: a local manifestation of a generalized connective tissue disorder? *Am J Otolaryngol* 1987; **8**: 308-16.
71. Mazzoli M RM, Martini A. Otosclerosis: are familial and isolated cases different disorders? *Audiological Med* 2001; **10**: 49-59.
72. Lippy WH, Berenholz LP, Schuring AG, Burkey JM. Does pregnancy affect otosclerosis? *Laryngoscope* 2005; **115**: 1833-6.
73. Shambaugh GE. Surgery of the ear. 2d ed. Philadelphia,: Saunders 1967.
74. Wiet RJ. Otosclerosis : (otospongiosis). 1st ed. Alexandria, VA (One Prince St., Alexandria 22314): American Academy of Otolaryngology--Head and Neck Surgery Foundation 1991.
75. Horner KC. The effect of sex hormones on bone metabolism of the otic capsule--an overview. *Hear Res* 2009; **252**: 56-60.
76. Grayeli AB, Sterkers O, Roulleau P et al. Parathyroid hormone-parathyroid hormone-related peptide receptor expression and function in otosclerosis. *Am J Physiol* 1999; **277**: E1005-12.
77. Arnold W, Friedmann I. [Detection of measles and rubella-specific antigens in the endochondral ossification zone in otosclerosis]. *Laryngol Rhinol Otol (Stuttg)* 1987; **66**: 167-71.
78. McKenna MJ, Kristiansen AG, Haines J. Polymerase chain reaction amplification of a measles virus sequence from human temporal bone sections with active otosclerosis. *Am J Otol* 1996; **17**: 827-30.
79. Niedermeyer HP, Arnold W. Otosclerosis: a measles virus associated inflammatory disease. *Acta Otolaryngol* 1995; **115**: 300-3.
80. Karosi T, Jokay I, Konya J et al. Activated osteoclasts with CD51/61 expression in otosclerosis. *Laryngoscope* 2006; **116**: 1478-84.
81. Niedermeyer HP, Arnold W, Neubert WJ, Sedlmeier R. Persistent measles virus infection as a possible cause of otosclerosis: state of the art. *Ear Nose Throat J* 2000; **79**: 552-4, 6, 8 passim.
82. Bujia J, Alsalameh S, Jerez R et al. Antibodies to the minor cartilage collagen type IX in otosclerosis. *Am J Otol* 1994; **15**: 222-4.
83. Arnold W, Busch R, Arnold A et al. The influence of measles vaccination on the incidence of otosclerosis in Germany. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2007; **264**: 741-8.
84. Bretlau P. Otosklerose; histopatologiske undersøgelser af det otosklerotiske focus. København, 1973.
85. Joliat T, Seyer J, Bernstein J et al. Antibodies against a 30 kilodalton cochlear protein and type II and IX collagens in the serum of patients with inner ear diseases. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1992; **101**: 1000-6.
86. Harris JP, Woolf NK, Ryan AF. A reexamination of experimental type II collagen autoimmunity: middle and inner ear morphology and function. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1986; **95**: 176-80.
87. Granier I. EB, Poirrier V., Hoa D., Bonafe A. Imagerie de l'otospongiose. In: SAS EM, ed. *EMC, Oto-Rhino-Laryngologie*. Paris 2009:20-047-A-60.
88. Dahmani-Causse M, Marx M, Deguine O et al. Morphologic examination of the temporal bone by cone beam computed tomography: comparison with multislice helical computed tomography. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis* 2011; **128**: 230-5.
89. Redfors YD, Grondahl HG, Hellgren J et al. Otosclerosis: anatomy and pathology in the temporal bone assessed by multi-slice and cone-beam CT. *Otol Neurotol* 2012; **33**: 922-7.
90. Veillon F, Stierle JL, Dussaix J et al. [Otosclerosis imaging: matching clinical and imaging data]. *J Radiol* 2006; **87**: 1756-64.

91. Veillon F CJ, Meriot, P, Cahen-Riehm S, Sick H. Imagerie de l'oreille et de l'os temporal. Paris: Médecine-sciences Lavoisier 2013.
92. Hall IS, Ogilvie RF. Otosclerosis in osteogenesis imperfecta. A study in the etiology of otosclerosis. *Acta Otolaryngol* 1961; **53**: 202-6.
93. Ross MD. Calcium ion uptake and exchange in otoconia. *Adv Otorhinolaryngol* 1979; **25**: 26-33.
94. Causse J, Chevance LG, Bretlau P et al. Enzymatic concept of otospongiosis and cochlear otospongiosis. *Clin Otolaryngol Allied Sci* 1977; **2**: 23-32.
95. Shambaugh GE, Jr., Scott A. Sodium Fluoride for Arrest of Otosclerosis; Theoretical Considerations. *Arch Otolaryngol* 1964; **80**: 263-70.
96. Petrovic A, Shambaugh GE, Jr. Promotion of bone calcification by sodium fluoride. Short-term experiments on newborn rats using tetracycline labeling. *Arch Otolaryngol* 1966; **83**: 162-70.
97. Bernstein DS, Sadowsky N, Hegsted DM et al. Prevalence of osteoporosis in high- and low-fluoride areas in North Dakota. *JAMA* 1966; **198**: 499-504.
98. Daniel HJ, 3rd. Stapedial otosclerosis and fluorine in the drinking water. *Arch Otolaryngol* 1969; **90**: 585-9.
99. Bretlau P, Causse J, Causse JB et al. Otospongiosis and sodium fluoride. A blind experimental and clinical evaluation of the effect of sodium fluoride treatment in patients with otospongiosis. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1985; **94**: 103-7.
100. Causse J, Chevance LG, Shambaugh GE, Jr. Clinical experience and experimental findings with sodium fluoride in otosclerosis (otospongiosis). *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1974; **83**: 643-7.
101. Filipo R. Otosclerosis : proceedings of the International Workshop on Otosclerosis, Rome, April 25-27, 1989. Amstelveen, Netherlands ; Berkeley, CA, U.S.A.: Kugler ; Milano, Italy : Ghedini 1990.
102. De Souza C, Glasscock ME. Otosclerosis and stapedectomy : diagnosis, management, and complications. New York: Thieme 2004.
103. Beales PH. Otosclerosis. Bristol Avon: Wright 1981.
104. Causse JR, Causse JB, Uriel J et al. Sodium fluoride therapy. *Am J Otol* 1993; **14**: 482-90.
105. Shambaugh GE, Jr., Causse J. Ten years experience with fluoride in otosclerotic (otospongiotic) patients. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1974; **83**: 635-42.
106. Ramsay HA, Linthicum FH, Jr. Mixed hearing loss in otosclerosis: indication for long-term follow-up. *Am J Otol* 1994; **15**: 536-9.
107. Colletti V, Fiorino FG. Stapedius reflex in the monitoring of NaF treatment of subclinical otosclerosis. *Acta Otolaryngol* 1987; **104**: 447-53.
108. Freeman J. Otosclerosis and vestibular dysfunction. *Laryngoscope* 1980; **90**: 1481-7.
109. Brookler KH, Tanyeri H. Etidronate for the the neurotologic symptoms of otosclerosis: preliminary study. *Ear Nose Throat J* 1997; **76**: 371-6, 9-81.
110. Boumans LJ, Poublon RM. The detrimental effect of aminohydroxypropylidene bisphosphonate (APD) in otospongiosis. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 1991; **248**: 218-21.
111. Yasil S, Comlekci A, Guneri A. Further hearing loss during osteoporosis treatment with etidronate. *Postgrad Med J* 1998; **74**: 363-4.
112. Lacosta JL, Infante JC, Sanchez Galan L. [Calcitonin and otosclerosis: a preliminary clinical note]. *Acta Otorrinolaringol Esp* 1997; **48**: 561-4.
113. Chole RA, McKenna M. Pathophysiology of otosclerosis. *Otol Neurotol* 2001; **22**: 249-57.

114. Merkel KD, Erdmann JM, McHugh KP et al. Tumor necrosis factor-alpha mediates orthopedic implant osteolysis. *Am J Pathol* 1999; **154**: 203-10.
115. Chays A, Roulleau P MC. L'Otospongiose Otosclérose. Paris: Rapport de la société française d'ORL.; 1994.
116. Fritsch MH, Naumann IC. Phylogeny of the stapes prosthesis. *Otol Neurotol* 2008; **29**: 407-15.
117. Marquet J. "Stapedotomy" technique and results. *Am J Otol* 1985; **6**: 63-7.
118. Zuur CL, de Bruijn AJ, Lindeboom R, Tange RA. Retrospective analysis of early postoperative hearing results obtained after stapedotomy with implantation of a new titanium stapes prosthesis. *Otol Neurotol* 2003; **24**: 863-7.
119. Shea JJ. Thirty years of stapes surgery. *J Laryngol Otol* 1988; **102**: 14-9.
120. Fayad JN, Semaan MT, Meier JC, House JW. Hearing results using the SMart piston prosthesis. *Otol Neurotol* 2009; **30**: 1122-7.
121. Shabana YK, Ghonim MR, Pedersen CB. Stapedotomy: does prosthesis diameter affect outcome? *Clin Otolaryngol Allied Sci* 1999; **24**: 91-4.
122. Huttenbrink KB. Biomechanics of stapesplasty: a review. *Otol Neurotol* 2003; **24**: 548-57; discussion 57-9.
123. Somers T, Vercruyse JP, Zarowski A et al. Transient depression of inner ear function after stapedotomy: skeeter versus CO(2) laser technique. *Adv Otorhinolaryngol* 2007; **65**: 267-72.
124. Jovanovic S, Schonfeld U, Scherer H. CO2 laser stapedotomy with the "one-shot" technique--clinical results. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2004; **131**: 750-7.
125. Esquivel CR, Mamikoglu B, Wiet RJ. Long-term results of small fenestra stapedectomy compared with large fenestra technique. *Laryngoscope* 2002; **112**: 1338-41.
126. House HP, Hansen MR, Al Dakhail AA, House JW. Stapedectomy versus stapedotomy: comparison of results with long-term follow-up. *Laryngoscope* 2002; **112**: 2046-50.
127. Hughes GB. The learning curve in stapes surgery. *Laryngoscope* 1991; **101**: 1280-4.
128. Sargent EW. The learning curve revisited: stapedotomy. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2002; **126**: 20-5.
129. Yung MW, Oates J, Vowler SL. The learning curve in stapes surgery and its implication to training. *Laryngoscope* 2006; **116**: 67-71.
130. Schaub A. Digital hearing aids. New York: Thieme 2008.
131. Byrne D. International Hearing Aid Conference. *Am J Audiol* 1992; **1**: 30-2.
132. Kamm C, Dirks DD, Mickey MR. Effect of sensorineural hearing loss on loudness discomfort level and most comfortable loudness judgments. *J Speech Hear Res* 1978; **21**: 668-81.
133. Zwicker E, Schorn K. Psychoacoustical tuning curves in audiology. *Audiology* 1978; **17**: 120-40.
134. Danaher EM, Wilson MP, Pickett JM. Backward and forward masking in listeners with severe sensorineural hearing loss. *Audiology* 1978; **17**: 324-38.
135. Bunnell HT. On enhancement of spectral contrast in speech for hearing-impaired listeners. *J Acoust Soc Am* 1990; **88**: 2546-56.
136. Lorenzi C, Gilbert G, Carn H et al. Speech perception problems of the hearing impaired reflect inability to use temporal fine structure. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2006; **103**: 18866-9.
137. Dillon H. Hearing aids: Boomerang Press ; Thieme 2001.

138. Hartley D, Rochtchina E, Newall P et al. Use of hearing AIDS and assistive listening devices in an older Australian population. *J Am Acad Audiol* 2010; **21**: 642-53.
139. Bertoli S, Staehelin K, Zemp E et al. Survey on hearing aid use and satisfaction in Switzerland and their determinants. *Int J Audiol* 2009; **48**: 183-95.
140. Meister H, Lausberg I, Kiessling J et al. Detecting components of hearing aid fitting using a self-assessment-inventory. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2005; **262**: 580-6.
141. Ovegard A, Ramstrom AB. Individual follow-up of hearing aid fitting. *Scand Audiol* 1994; **23**: 57-63.
142. Bennett CD. Hearing aid use with minimal high-frequency hearing loss. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1989; **100**: 154-7.
143. Stephens SD, Meredith R, Callaghan DE et al. Early intervention and rehabilitation: factors influencing outcome. *Acta Otolaryngol Suppl* 1990; **476**: 221-5.
144. Carlin WV, Browning GG. Hearing disability and hearing aid benefit related to type of hearing impairment. *Clin Otolaryngol Allied Sci* 1990; **15**: 63-7.
145. Popelka MM, Cruickshanks KJ, Wiley TL et al. Low prevalence of hearing aid use among older adults with hearing loss: the Epidemiology of Hearing Loss Study. *J Am Geriatr Soc* 1998; **46**: 1075-8.
146. Walden TC, Walden BE. Predicting success with hearing aids in everyday living. *J Am Acad Audiol* 2004; **15**: 342-52.
147. van den Brink RH, Wit HP, Kempen GI, van Heuvelen MJ. Attitude and help-seeking for hearing impairment. *Br J Audiol* 1996; **30**: 313-24.
148. Cox RM, Alexander GC. The abbreviated profile of hearing aid benefit. *Ear Hear* 1995; **16**: 176-86.
149. Nabelek AK, Freyaldenhoven MC, Tampas JW et al. Acceptable noise level as a predictor of hearing aid use. *J Am Acad Audiol* 2006; **17**: 626-39.
150. Rogers DS, Harkrider AW, Burchfield SB, Nabelek AK. The influence of listener's gender on the acceptance of background noise. *J Am Acad Audiol* 2003; **14**: 372-82; quiz 401.
151. Harkrider AW, Smith SB. Acceptable noise level, phoneme recognition in noise, and measures of auditory efferent activity. *J Am Acad Audiol* 2005; **16**: 530-45.
152. Haggard MP, Hall JW. Forms of binaural summation and the implications of individual variability for binaural hearing aids. *Scand Audiol Suppl* 1982; **15**: 47-63.
153. Dillon H, James A, Ginis J. Client Oriented Scale of Improvement (COSI) and its relationship to several other measures of benefit and satisfaction provided by hearing aids. *J Am Acad Audiol* 1997; **8**: 27-43.
154. Cienkowski KM, Pimentel V. The hearing aid 'effect' revisited in young adults. *Br J Audiol* 2001; **35**: 289-95.
155. Harless EL, McConnell F. Effects of hearing aid use on self concept in older persons. *J Speech Hear Disord* 1982; **47**: 305-9.
156. Surr RK, Hawkins DB. New hearing aid users' perception of the "hearing aid effect". *Ear Hear* 1988; **9**: 113-8.
157. Henrichsen J, Noring E, Christensen B et al. In-the-ear hearing aids. The use and benefit in the elderly hearing-impaired. *Scand Audiol* 1988; **17**: 209-12.
158. Knudsen LV, Oberg M, Nielsen C et al. Factors influencing help seeking, hearing aid uptake, hearing aid use and satisfaction with hearing aids: a review of the literature. *Trends Amplif* 2010; **14**: 127-54.

159. Akhtar N. The robustness of learning through overhearing. *Dev Sci* 2005; **8**: 199-209.
160. Brooks DN. The time course of adaptation to hearing aid use. *Br J Audiol* 1996; **30**: 55-62.
161. Cox RM, Alexander GC, Gray GA. Who wants a hearing aid? Personality profiles of hearing aid seekers. *Ear Hear* 2005; **26**: 12-26.
162. Givens GD, Arnold T, Hume WG. Auditory processing skills and hearing aid satisfaction in a sample of older adults. *Percept Mot Skills* 1998; **86**: 795-801.
163. Chmiel R, Jerger J. Hearing aid use, central auditory disorder, and hearing handicap in elderly persons. *J Am Acad Audiol* 1996; **7**: 190-202.
164. Silman S. Binaural interference in multiple sclerosis: case study. *J Am Acad Audiol* 1995; **6**: 193-6.
165. Searchfield GD, Kaur M, Martin WH. Hearing aids as an adjunct to counseling: tinnitus patients who choose amplification do better than those that don't. *Int J Audiol* 2010; **49**: 574-9.
166. Dillon H. Hearing aid evaluation: predicting speech gain from insertion gain. *J Speech Hear Res* 1993; **36**: 621-33.
167. Walden BE, Demorest ME, Hepler EL. Self-report approach to assessing benefit derived from amplification. *J Speech Hear Res* 1984; **27**: 49-56.
168. Gatehouse S, Noble W. The Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale (SSQ). *Int J Audiol* 2004; **43**: 85-99.
169. Cox R, Hyde M, Gatehouse S et al. Optimal outcome measures, research priorities, and international cooperation. *Ear Hear* 2000; **21**: 106S-15S.
170. Gatehouse S. Role of perceptual acclimatization in the selection of frequency responses for hearing aids. *J Am Acad Audiol* 1993; **4**: 296-306.
171. Horwitz AR, Turner CW. The time course of hearing aid benefit. *Ear Hear* 1997; **18**: 1-11.
172. Kuk FK, Potts L, Valente M et al. Evidence of acclimatization in persons with severe-to-profound hearing loss. *J Am Acad Audiol* 2003; **14**: 84-99.
173. Cox RM, Alexander GC. Maturation of hearing aid benefit: objective and subjective measurements. *Ear Hear* 1992; **13**: 131-41.
174. McLeod B, Upfold L, Broadbent C. An investigation of the applicability of the inventory, satisfaction with amplification in daily life, at 2 weeks post hearing aid fitting. *Ear Hear* 2001; **22**: 342-7.
175. Vestergaard MD. Self-report outcome in new hearing-aid users: Longitudinal trends and relationships between subjective measures of benefit and satisfaction. *Int J Audiol* 2006; **45**: 382-92.
176. Appollonio I, Carabellese C, Frattola L, Trabucchi M. Effects of sensory aids on the quality of life and mortality of elderly people: a multivariate analysis. *Age Ageing* 1996; **25**: 89-96.
177. Carabellese C, Appollonio I, Rozzini R et al. Sensory impairment and quality of life in a community elderly population. *J Am Geriatr Soc* 1993; **41**: 401-7.
178. Arlinger S. Negative consequences of uncorrected hearing loss--a review. *Int J Audiol* 2003; **42 Suppl 2**: 2S17-20.
179. Ubido J, Huntington J, Warburton D. Inequalities in access to healthcare faced by women who are deaf. *Health Soc Care Community* 2002; **10**: 247-53.
180. Mulrow CD, Aguilar C, Endicott JE et al. Quality-of-life changes and hearing impairment. A randomized trial. *Ann Intern Med* 1990; **113**: 188-94.
181. Tolson D, Swan I, Knussen C. Hearing disability: a source of distress for older people and carers. *Br J Nurs* 2002; **11**: 1021-5.

182. Abrams HB, Chisolm TH, McArdle R. Health-related quality of life and hearing aids: a tutorial. *Trends Amplif* 2005; **9**: 99-109.
183. Kluk K, Moore BC. Dead regions in the cochlea and enhancement of frequency discrimination: Effects of audiogram slope, unilateral versus bilateral loss, and hearing-aid use. *Hear Res* 2006; **222**: 1-15.
184. Ricketts TA, Dittberner AB, Johnson EE. High-frequency amplification and sound quality in listeners with normal through moderate hearing loss. *J Speech Lang Hear Res* 2008; **51**: 160-72.
185. Lybarger S. Simplified fitting systems for hearing aids. Cantonsburg, Pa: Radioear Co 1963.
186. Punch JL, Rakerd B, Amlani AM. Paired-comparison hearing aid preferences: evaluation of an unforced-choice paradigm. *J Am Acad Audiol* 2001; **12**: 190-201.
187. Carhart R. The clinical application of bone conduction audiometry. *Trans Am Acad Ophthalmol Otolaryngol* 1950; **54**: 699-707.
188. Hetu R. The stigma attached to hearing impairment. *Scand Audiol Suppl* 1996; **43**: 12-24.
189. Valente M, Mispagel K, Valente LM, Hullar T. Problems and solutions for fitting amplification to patients with Meniere's disease. *J Am Acad Audiol* 2006; **17**: 6-15.
190. Lina-Granade S GS, Thai-Van H, Truy E. Appareillage auditif conventionnel par voie aérienne. Paris: Elsevier Masson 2010:20-185-C-15.
191. Howard ML. Is stapedectomy ever ethical? *Am J Otol* 1998; **19**: 541-3; discussion 4-5.
192. Lundy LB. "Ethics" of stapedectomy. *Am J Otol* 1999; **20**: 137-8; author reply 41.
193. Gauthier MG. Is stapedectomy ever ethical? Never say "ever". *Am J Otol* 1999; **20**: 138; author reply 41.
194. Gianoli GJ, Gonsoulin T, Amedee R et al. Is stapedectomy ever ethical?-- Faulty premise, faulty conclusion. *Am J Otol* 1999; **20**: 138-40; author reply 41.
195. Miller MH. Is stapedectomy ever ethical? An audiologist replies. *Am J Otol* 1999; **20**: 140-1.
196. Brookler KH. Otosclerosis surgery: reassessment of its value in 1978. *Laryngoscope* 1979; **89**: 725-9.
197. Campbell JB, Nigam A. Hearing aid prescribing: is the specialist opinion necessary? *Clin Otolaryngol Allied Sci* 1991; **16**: 124-7.
198. Smyth GD, Hassard TH. Hearing aids poststapedectomy: incidence and timing. *Laryngoscope* 1986; **96**: 385-8.
199. Redfors YD, Hellgren J, Moller C. Hearing-aid use and benefit: a long-term follow-up in patients undergoing surgery for otosclerosis. *Int J Audiol*; **52**: 194-9.
200. Johnson EW. Hearing aids and otosclerosis. *Otolaryngol Clin North Am* 1993; **26**: 491-502.
201. Kiessling J, Kreikemeier S. [User benefit of modern hearing aids. A comparative study]. *HNO*; **61**: 662-9.
202. Adibi SM, Chen NR, Azmir NA et al. The quality of life in hearing impaired adolescents after hearing aid application. *Med J Malaysia*; **68**: 315-22.
203. Causse J, Bel J, Michaux P et al. Measurement of the precise cochlear reserve in otosclerosis value of speech Weber test. *Audiology* 1973; **12**: 70-89.

204. Satar B, Sen D, Karahatay S et al. Effect of cochlear reserve on postoperative outcome in otosclerosis. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2007; **264**: 489-93.
205. Smith MF, Hopp ML. 1984 Santa Barbara state-of-the-art symposium on otosclerosis. Results, conclusions, consensus. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1986; **95**: 1-4.
206. Smyth GD. Practical suggestions on stapedotomy. *Laryngoscope* 1982; **92**: 952-3.
207. Aarnisalo AA, Vasama JP, Hopsu E, Ramsay H. Long-term hearing results after stapes surgery: a 20-year follow-up. *Otol Neurotol* 2003; **24**: 567-71.
208. Morzaria S, Westerberg BD, Anzarut A. Quality of life following ear surgery measured by the 36-item Short Form Health Survey and the Glasgow Benefit Inventory. *J Otolaryngol* 2003; **32**: 323-7.
209. Subramaniam K, Eikelboom RH, Marino R et al. Patient's quality of life and hearing outcomes after stapes surgery. *Clin Otolaryngol* 2006; **31**: 273-9.
210. Lagleyre S, Sorrentino T, Calmels MN et al. Reliability of high-resolution CT scan in diagnosis of otosclerosis. *Otol Neurotol* 2009; **30**: 1152-9.
211. Shiao AS, Kuo CL, Cheng HL et al. Controversial issues of optimal surgical timing and patient selection in the treatment planning of otosclerosis. *Eur Arch Otorhinolaryngol*; **271**: 1007-14.
212. Ramsay H, Karkkainen J, Palva T. Success in surgery for otosclerosis: hearing improvement and other indicators. *Am J Otolaryngol* 1997; **18**: 23-8.
213. Guyot JP, Sakbani K. Patients' lives following stapedectomy complications. *Adv Otorhinolaryngol* 2007; **65**: 348-52.
214. Hazenberg AJ, Minovi A, Dazert S, Hoppe FF. Predictors of listening capabilities and patient satisfaction after stapes surgery in otosclerosis. *Otol Neurotol*; **34**: 220-6.
215. De Seta E, Rispoli G, Balsamo G et al. Indication for surgery in otosclerotic patients with unilateral hearing loss. *Otol Neurotol* 2009; **30**: 1116-21.
216. Middlebrooks JC, Green DM. Sound localization by human listeners. *Annu Rev Psychol* 1991; **42**: 135-59.
217. Bronkhorst AW, Plomp R. The effect of head-induced interaural time and level differences on speech intelligibility in noise. *J Acoust Soc Am* 1988; **83**: 1508-16.
218. Cox RM, DeChicchis AR, Wark DJ. Demonstration of binaural advantage in audiometric test rooms. *Ear Hear* 1981; **2**: 194-201.
219. Litovsky RY, Fligor BJ, Tramo MJ. Functional role of the human inferior colliculus in binaural hearing. *Hear Res* 2002; **165**: 177-88.
220. Mencher GT, Davis A. Bilateral or unilateral amplification: is there a difference? A brief tutorial. *Int J Audiol* 2006; **45 Suppl 1**: S3-11.
221. Savvas E, Maurer J. Economic viability of stapes surgery in Germany. *J Laryngol Otol* 2009; **123**: 403-6.
222. Lippy WH, Battista RA, Schuring AG, Rizer FM. Far-advanced otosclerosis. *Am J Otol* 1994; **15**: 225-8.
223. Trotoux J BP. Traitement chirurgical de l'otospongiose. *Encycl Méd Chir (Elsevier, Paris)* 1999.
224. Robinson K, Gatehouse S, Browning GG. Measuring patient benefit from otorhinolaryngological surgery and therapy. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1996; **105**: 415-22.
225. Hawthorne G, Hogan A. Measuring disability-specific patient benefit in cochlear implant programs: developing a short form of the Glasgow Health

- Status Inventory, the Hearing Participation Scale. *Int J Audiol* 2002; **41**: 535-44.
226. Goldberg RA. Transconjunctival orbital fat repositioning: transposition of orbital fat pedicles into a subperiosteal pocket. *Plast Reconstr Surg* 2000; **105**: 743-8; discussion 9-51.
 227. Orabi AA, Mawman D, Al-Zoubi F et al. Cochlear implant outcomes and quality of life in the elderly: Manchester experience over 13 years. *Clin Otolaryngol* 2006; **31**: 116-22.
 228. Equilibrium CoHa. Committee on Hearing and Equilibrium guidelines for the evaluation of results of treatment of conductive hearing loss. *Otolaryngol Head and Neck Surg* 1995: 186-7.
 229. Dawes PJ, Welch D, Lee P. How we do it: tympanoplasty: are different three- and four-frequency averages comparable? *Clin Otolaryngol* 2006; **31**: 321-4.
 230. Berliner KI, Doyle KJ, Goldenberg RA. Reporting operative hearing results in stapes surgery: does choice of outcome measure make a difference? *Am J Otol* 1996; **17**: 521-8.
 231. de Bruijn AJ, Tange RA, Dreschler WA. Efficacy of evaluation of audiometric results after stapes surgery in otosclerosis. II. A method for reporting results from individual cases. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2001; **124**: 84-9.
 232. Jansen S, Luts H, Wagener KC et al. Comparison of three types of French speech-in-noise tests: a multi-center study. *Int J Audiol* 2012; **51**: 164-73.
 233. Arndt S, Aschendorff A, Laszig R et al. Comparison of pseudobinaural hearing to real binaural hearing rehabilitation after cochlear implantation in patients with unilateral deafness and tinnitus. *Otol Neurotol* 2011; **32**: 39-47.
 234. Vannson N, James C, Fraysse B et al. Quality of life and auditory performance in adults with asymmetric hearing loss. *Audiol Neurootol* 2015; **20 Suppl 1**: 38-43.
 235. Peretz I GN, Tillmann B, Cuddy LL, Gagnon B, Trimmer CG, Paquette S, Bouchard B. On-line Identification of Congenital Amusia. *Music Perception* 2008; **25**: 331-43.
 236. Peretz I, Champod AS, Hyde K. Varieties of musical disorders. The Montreal Battery of Evaluation of Amusia. *Ann N Y Acad Sci* 2003; **999**: 58-75.
 237. Noble W. Assessing binaural hearing: results using the speech, spatial and qualities of hearing scale. *J Am Acad Audiol*; **21**: 568-74.
 238. Cox RM, Gilmore C. Development of the Profile of Hearing Aid Performance (PHAP). *J Speech Hear Res* 1990; **33**: 343-57.
 239. de Almeida K, Taguchi CK. [The use of the self-assessment questionnaire to evaluate hearing aid benefit]. *Pro Fono* 2004; **16**: 101-10.
 240. Cox RM, Alexander GC, Gray GA. Audiometric correlates of the unaided APHAB. *J Am Acad Audiol* 2003; **14**: 361-71.
 241. de Freitas CD, Costa MJ. Hearing aid fitting process in users fitted in a federal public institution: part II--Self-assessment questionnaire results. *Braz J Otorhinolaryngol* 2007; **73**: 660-70.
 242. Newman CW, Jacobson GP, Spitzer JB. Development of the Tinnitus Handicap Inventory. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1996; **122**: 143-8.
 243. Ghulyan-Bedikian V, Paolino M, Giorgetti-D'Esclercs F, Paolino F. [Psychometric properties of a French adaptation of the Tinnitus Handicap Inventory]. *Encephale*; **36**: 390-6.

244. Clark MP, O'Malley S. Chorda tympani nerve function after middle ear surgery. *Otol Neurotol* 2007; **28**: 335-40.
245. Lancaster GA, Dodd S, Williamson PR. Design and analysis of pilot studies: recommendations for good practice. *J Eval Clin Pract* 2004; **10**: 307-12.
246. Marx M, Lagleyre S, Escude B et al. Correlations between CT scan findings and hearing thresholds in otosclerosis. *Acta Otolaryngol* 2011; **131**: 351-7.
247. Gersdorff M, Nouwen J, Gilain C et al. Tinnitus and otosclerosis. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2000; **257**: 314-6.
248. Liston SL, Paparella MM, Mancini F, Anderson JH. Otosclerosis and endolymphatic hydrops. *Laryngoscope* 1984; **94**: 1003-7.
249. McArdle RA, Killion M, Mennite MA, Chisolm TH. Are two ears not better than one? *J Am Acad Audiol* 2012; **23**: 171-81.
250. Brown AD, Rodriguez FA, Portnuff CD et al. Time-Varying Distortions of Binaural Information by Bilateral Hearing Aids: Effects of Nonlinear Frequency Compression. *Trends Hear* 2016; **20**.
251. Stone MA, Moore BC. Tolerable hearing aid delays. I. Estimation of limits imposed by the auditory path alone using simulated hearing losses. *Ear Hear* 1999; **20**: 182-92.
252. Stone MA, Moore BC, Meisenbacher K, Derleth RP. Tolerable hearing aid delays. V. Estimation of limits for open canal fittings. *Ear Hear* 2008; **29**: 601-17.
253. Hunig G, Berg M. [Sound localization in patients with asymmetrical hearing loss]. *HNO* 1991; **39**: 27-31.
254. Van Wanrooij MM, Van Opstal AJ. Contribution of head shadow and pinna cues to chronic monaural sound localization. *J Neurosci* 2004; **24**: 4163-71.
255. Byrne D, Noble W, LePage B. Effects of long-term bilateral and unilateral fitting of different hearing aid types on the ability to locate sounds. *J Am Acad Audiol* 1992; **3**: 369-82.
256. Simon HJ. Bilateral amplification and sound localization: then and now. *J Rehabil Res Dev* 2005; **42**: 117-32.
257. Bagger-Sjoberg D, Stromback K, Hultcrantz M et al. High-frequency hearing, tinnitus, and patient satisfaction with stapedotomy: A randomized prospective study. *Sci Rep* 2015; **5**: 13341.
258. Magliulo G, Gagliardi M, Muscatello M, Natale A. Masking level difference before and after surgery in unilateral otosclerosis. *Br J Audiol* 1990; **24**: 117-21.
259. Lescure B. Modifications contrôlées de l'audition binaurale - modèle de l'otospongiose [Medicine Thesis]. Toulouse: Purpan; 2012.

**RÉHABILITATION AUDITIVE DE L'OTOSPONGIOSE :
AUDIOPROTHÈSE OU STAPÉDOTOMIE ?**

L'objectif de cette étude prospective est d'évaluer l'efficacité de la prise en charge thérapeutique de l'otospongiose unilatérale, puis de comparer les résultats obtenus par appareillage auditif et stapédotomie. Chaque sujet inclus est son propre témoin puisqu'il bénéficie d'abord d'une réhabilitation auditive par audioprothèse avant d'être opéré d'une stapédotomie. Le critère de jugement principal est basé sur l'évaluation de la qualité de vie par le questionnaire GHSI. Les critères de jugement secondaires sont l'évolution de l'audiométrie ; l'évolution de l'audition binaurale évaluée par les tests MATRIX, de localisation spatiale et le questionnaire SSQ ; l'évolution de la perception de la musique ; l'évolution des acouphènes par questionnaire THI et les EVA gêne et intensité ; la tolérance par recueil des effets indésirables.

Entre décembre 2015 et septembre 2016, 18 patients ont été inclus dont 9 ont terminé l'ensemble des visites prévues dans le cadre de l'étude.

La réhabilitation audioprothétique améliore de façon significative les seuils de l'audiométrie tonale et certains aspects de l'audition binaurale (score du questionnaire SSQ et SRT en condition dichotique au test MATRIX). En revanche, elle n'apporte pas d'amélioration significative vis-à-vis de l'audiométrie vocale, des autres aspects de l'audition binaurale et de l'amélioration de la qualité de vie. L'appareillage auditif est accompagné de peu d'effets indésirables, tous minimes et réversibles.

La chirurgie apporte des améliorations significatives en termes de qualité de vie, d'audition binaurale globale, d'audiométrie tonale et vocale malgré l'existence d'effets indésirables, non graves mais potentiellement gênants.

Dans le cadre précis d'une surdité de transmission ou mixte unilatérale liée à une otospongiose, le traitement par stapédotomie représenterait la meilleure option thérapeutique.

TITRE EN ANGLAIS : Hearing aid versus stapedotomy as treatment of otosclerosis

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE: Médecine Spécialisée Clinique

MOTS-CLÉS : Otospongiose, Audioprothèse, Stapédotomie, Audition binaurale, Qualité de vie

INTITULE ET ADRESSE DE L'UFR OU DU LABORATOIRE :

Université Toulouse III - Paul Sabatier

Faculté de Médecine Toulouse-Purpan

37 Allées Jules Guesdes 31000 Toulouse

Directeur de Thèse : Monsieur le Professeur Mathieu MARX