

L'AUDITION

les cahiers de

REVUE D'INFORMATIONS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES – VOL. 16 – Mars/Avril 2003 – N°2 – ISSN 0980-3482



Dossiers

Neurobiologie de l'apprentissage, de la mémoire et de la communication

**Quand des professionnels
s'adressent à des professionnels...**

Un séminaire à ne pas manquer,
une date à retenir, le 12 mai 2003
voir informations en page 25

Le monde numérique en 3D



CANTA 7



GN ReSound sas
Orlytech - 3, allée Hélène Boucher
PARAY - VIEILLE POSTE
91781 WISSOUS CEDEX
Tél.: 01 41 73 49 49 - Fax : 01 41 73 49 40

GN ReSound
Hearing Innovations for Life

PUBLICATION DE LA S.A.R.L.

GALATÉE 12^{ter}, Rue de Bondy -
93600 AULNAY SOUS
BOIS
http : www.soniclaire@infonie.fr

GÉRANT Daniel CHEVILLARD -
12^{ter}, Rue de Bondy - 93600 AUL-
NAY SOUS BOIS - Tél : 01 48 68
19 10 Fax : 01 48 69 77 66

CO-GERANT Ronald DE BOCK -
50, rue Nationale - BP 116
59027 LILLE cedex - Tél : 03 20
57 85 21 Fax : 03 20 57 98 41

REDACTEUR EN CHEF Professeur
Paul AVAN - Faculté de
Médecine Laboratoire de
Biophysique -
28, Place Henri Dunant BP 38 -
63001 CLERMONT FERRAND
Cedex - Tél. : 04 73 17 81 35 -
Fax : 04 73 26 88 18

CONCEPTION - REALISATION

MBQ - 32, rue du Temple -
75004 Paris - Tél. : 01 42 78 68 21

Fax : 01 42 78 55 27

PUBLICITE Christian RENARD -
50, rue Nationale - BP 116 -
59027 Lille Cedex -
Tél. : 03 20 57 85 21 -
Fax : 03 20 57 98 41

ABONNEMENTS FRANCE
(1 an / 6 numéros) 90 € - Prix du
numéro 20 €

DEPOT LEGAL 2^{ème} bimestre
2003 (Loi du 21.06.1943) -
Mars/Avril 2003 - Vol. 16 - N°2

COMMISSION PARITAIRE
N°71357

Les Cahiers de l'Audition décli-
nent toute responsabilité sur les
documents qui leur sont confiés,
insérés ou non. Les articles sont
publiés sous la seule responsabi-
lité de leurs auteurs.

2 INSTRUCTIONS AUX AUTEURS**5 EDITORIAL**

Paul AVAN

7 EN BREF

François DEGOVE

**15 PLASTICITÉ DU SYSTÈME AUDITIF CENTRAL
CHEZ L'ADULTE**

Jean-Marc EDELINÉ

**27 LE TRAITEMENT DES STIMULI AUDITIFS
PENDANT LE SOMMEIL**

Pr Elizabeth HENNEVIN

**38 COMMUNICATIONS ACOUSTIQUES ANIMALES
ET ENVIRONNEMENT SONORE CONTRAIGNANT**

Thierry AUBIN

**45 RELATIONS ENTRE LA PERCEPTION
ET LA PRODUCTION DU CHANT CHEZ LES OISEAUX**

Catherine DEL NEGRO

55 VEILLE INFORMATIQUE

Charles ELCABACHE

62 LIVRES ET COMMENTAIRES

François DEGOVE

64 INFORMATIONS**LISTE DES ANNONCEURS**

ACOUREX - AUDIOMEDI - BELTONE - BERNAFON - CRIP INFORMATIQUE - ENTENDRE
GN RESOUND - INTRASON - OTICON - PHONAK - SIEMENS - STARKEY

“LES CAHIERS DE L'AUDITION” SONT PLACÉS SOUS L'ÉGIDE DU COLLÈGE NATIONAL D'AUDIOPROTHÈSE

Président : Xavier RENARD

Premier Vice-Président : Eric BIZAGUET

Chargé de Missions auprès du Président :

Jean BANCONS

Rédaction

Rédacteur en Chef : Professeur Paul AVAN

Conception-Réalisation : MBQ

Publicité : Christian RENARD

Comité Biotechnologie Electronique et Acoustique :

Professeur Christian GELIS

Philippe VERVOORT

Comité Techniques Prothétiques et Audiologie de

l'Adulte et de l'Enfant : François DEGOVE

Thierry RENGLLET - Frank LEFEVRE

Comité Audiologie Expérimentale :

Christian LORENZI

Stéphane GARNIER

Stéphane GALLEGRO

Comité Sciences Cognitives et Sciences du Langage

(phonétique) : Benoît VIROLE

Comité O.R.L. Audiophonologie :

Responsable : Professeur Alain ROBIER

Adjoint : Professeur René DAUMAN

Docteur Dominique DECORTE

Docteur Christian DEGUINE

Docteur Olivier DEGUINE

Professeur Alain DESAULTY

Docteur Jocelyne HELIAS

Docteur Jacques LEMAN

Docteur Lucien MOATTI

Docteur Jean-Claude OLIVIER

Docteur Françoise REUILLARD

Professeur François VANEECLOO

Docteur Christophe VINCENT

Comité Orthophonie Education et Rééducation

de la Parole et du Langage : Annie DUMONT

Comité Veille Technologique : Robert FAGGIANO

Comité Veille Informatique : Charles ELCABACHE

Comité Bibliographie :

François DEGOVE - Philippe LURQUIN

Relations avec les Etats-Unis et le Québec :

François LE HER - Jean BELTRAMI

Comité de Lecture :

Au titre de la Société Française d'Audiologie :

Président : Professeur Bruno FRACHET

Au titre de Membres du Collège National

d'Audioprothèse :

Jean-Claude AUDRY

Jean-Paul BERAHA

Geneviève BIZAGUET

Daniel CHEVILLARD

Christine DAGAIN

Ronald DE BOCK

Jacques DEHAUSSY

Jean-Pierre DUPRET

Jack DURIVAUT

Thierry GARNIER

Eric HANS

Jérôme JILLIOT

Jean MONIER

Maryvonne NICOT-MASSIAS

Jean OLD

Georges PEIX

Benoit ROY

Claude SANGUY

Philippe THIBAUT

Joany VAYSETTE

Jean-François VESSON

Alain VINET

Au titre de Membres Correspondants Étrangers

du Collège National d'Audioprothèse :

Roberto CARLE

Leon DODELE

Philippe ESTOPPEY

André GRAFF

Bruno LUCARELLI

Carlos MARTINEZ OSORIO

Juan Martinez SAN JOSE

Christoph SCHWOB

**Au titre de Présidents des Syndicats
Professionnels d'Audioprothésistes :**

Bernard AZEMA

Francine BERTHET

Frédéric BESVEL

Luis GODINHO

**Au titre de Membres du Bureau de l'Association
Européenne des Audioprothésistes :**

Corrado CANOVI

Marianne FRICKEL

Hubert KIRSCHNER

Leonardo MAGNELLI

Fred VAN SCHOONDERWALDT

**Au titre de Membres du Comité Européen
des Techniques Audiologiques :**

Herbert BONSEL

Franco GANDOLFO

Heiner NORZ

**Au titre de Directeurs de l'Enseignement
de l'Audioprothèse :**

Professeur Julien BOURDINIERE

Professeur Lionel COLLET

Professeur Pascale FRIANT-MICHEL

Professeur Alexandre GARCIA

Professeur Jean-Luc PUEL

Professeur Patrice TRAN BA HUY

**Au titre de Membres du Conseil d'Administration
de la Société Française d'Audiologie :**

Professeur Jean-Marie ARAN

Bernadette CARBONNIÈRE

Docteur Jean-Louis COLLETTE

Docteur Marie-José FRAYSSE

Professeur Eréa-Noël GARABEDIAN

Docteur Bernard MEYER

Docteur Sophie TRONCHE

**Au titre des Membres de la Fédération Nationale
des Orthophonistes : 3 membres**

**Au titre des Membres du Syndicat National
des Oto-Rhino-Laryngologistes : 3 membres**

**Au titre de Membres du Syndicat National
des Phoniâtres : 2 membres**

INSTRUCTIONS AUX AUTEURS

Généralités

Les travaux soumis à la rédaction des Cahiers de l'Audition sont réputés être la propriété scientifique de leurs auteurs. Il incombe en particulier à ceux-ci de recueillir les autorisations nécessaires à la reproduction de documents protégés par un copyright.

Les textes proposés sont réputés avoir recueilli l'accord des co-auteurs éventuels et des organismes ou comités d'éthique dont ils ressortent. La rédaction n'est pas responsable des textes, dessins ou photos publiés qui engagent la seule responsabilité de leurs auteurs.

L'acceptation par la rédaction implique le transfert automatique des droits de reproduction à l'éditeur.

Esprit de la revue

De manière générale, les Cahiers de l'Audition sont une revue d'informations scientifiques et techniques destinée à un public diversifié : audioprothésistes, audiologistes, orthophonistes ou logopèdes, médecins en contact avec les différents secteurs de l'audition (généralistes, neurologues, électrophysiologistes, ORL, etc...).

Ce public souhaite une information qui soit à la fois à jour sur le plan scientifique et technique, et didactique. Le but des auteurs des Cahiers de l'Audition doit être de lui rendre accessible cette information, même aux non-spécialistes de tel ou tel sujet.

Bien que les Cahiers de l'Audition n'exigent pas d'un article qu'il présente des données originales, l'article lui-même doit être original c'est à dire ne pas avoir déjà été publié tel quel dans une autre publication sans l'accord explicite conjoint des auteurs et de la rédaction des Cahiers de l'Audition.

Manuscrits

Ils sont à fournir en deux exemplaires (1 original + 1 copie, complets à tous égards). La remise de manuscrits électroniques (disquettes 3 pouces 1/2, format Macintosh ou PC Word 5 ou Word 6) est vivement encouragée. Elle est destinée à l'imprimeur et ne dispense pas de l'envoi des 2 exemplaires "papier". Ne pas faire soi-même de mise en page puisqu'elle sera faite par l'imprimeur.

Les schémas, dessins, graphiques doivent être ou des originaux ou des tirages bien contrastés, en trait noir sur papier blanc. Les tirages sur imprimante laser de qualité sont encouragés. Les diapositives de ces éléments ayant servi à une projection sont acceptées. L'encre bleue est prohibée pour des raisons techniques. Les photos doivent être de préférence des diapositives ou des tirages papier de grande qualité. Les illustrations doivent être référencées avec précision et leur emplacement souhaité dans le texte indiqué approximativement, ainsi que la taille souhaitée (noter que 1 colonne de revue = 5,3 cm de large).

En cas de demande expresse, les documents seront retournés aux auteurs après impression.

Les manuscrits, rédigés en français, devront comporter en 1ère page le titre de l'article, les noms des auteurs, leurs titres, leurs adresses, une table des matières et un résumé en français et en anglais indiquant brièvement le but général de l'article, les méthodes mises en œuvre et les conclusions proposées.

Le plan de l'article sera découpé en sections. La bibliographie ne sera pas forcément limitée à celle citée dans le texte : en effet, les auteurs peuvent rajouter quelques ouvrages de base dont ils recommandent la lecture à ceux qui souhaiteraient compléter leur information. Toutefois, l'usage extensif de références à des publications difficiles d'accès pour les lecteurs, ou trop spécialisées, n'est pas recommandé.

Chronologie

Lorsque les auteurs ont été sollicités par un responsable de la rédaction, ils en reçoivent une confirmation écrite qui leur indique une date limite souhaitée pour la rédaction de leur article. Le respect de cette date est essentiel car il conditionne la régularité de parution de la revue. Lorsqu'un auteur soumet spontanément un article à la revue, la chronologie est indiquée ci-dessous.

Les manuscrits une fois reçus seront soumis au comité de lecture qui pourra demander des modifications ou révisions avant publication. L'avis du comité de lecture sera transmis aux auteurs dans un délai ne dépassant pas 1 mois. La publication doit donc survenir au plus tard 2 mois après réception de l'article sauf cas de force majeure (qui pourrait rajouter un délai de 3 mois). Ces indications n'ont pas valeur de contrat et le fait de soumettre un article aux Cahiers de l'Audition sous-entend l'acceptation des conditions de publication.

Une fois mis en page, l'auteur reçoit de l'imprimeur les épreuves de son article : celles-ci doivent être renvoyées corrigées sous les 3 jours. Les seules corrections admises portent sur ce qui n'a pas été respecté par rapport au manuscrit, ou sur la mauvaise qualité de la mise en pages ou de la reproduction de figures.

L'auteur ou l'équipe d'auteurs recevra 20 exemplaires gratuits du numéro de la revue où l'article est paru.

Les manuscrits sont à adresser à :

Professeur Paul Avan

Les Cahiers de l'Audition

Laboratoire de Biophysique

Faculté de médecine, BP38

63001 Clermont-Ferrand cedex, France

Beltone ORIA™



La solution
que vous
recherchez



Beltone ORIA est notre nouvelle ligne d'appareils numériques haut de gamme, réglable avec SelectaFit et AVE, un logiciel unique d'environnements sonores. Avec ORIA, vous êtes sûrs d'obtenir :

Une excellente personnalisation

Une meilleure compréhension

La confiance au quotidien

Un extraordinaire confort d'écoute

Satisfy function™

Des aides auditives qui ajustent le gain automatiquement dans le temps

 **Beltone™**



Le Congrès 2003 juste terminé nous a permis de juger à quel point l'innovation technologique allait une nouvelle fois modifier nos pratiques, avec toutefois une ombre au tableau, une arrière-pensée qui nous empêche de triompher pleinement... car dans l'équipe impliquée dans le processus d'appareillage, il y a un mouton noir.

Celui-ci refuse obstinément de se laisser séduire, on va même jusqu'à le soupçonner d'être engagé dans une sombre entreprise de sabotage, d'abuser de son droit de veto. Pour un peu, à force de le voir si acharné à faire échouer les plus brillantes initiatives, on le laisserait volontiers hors jeu ou encore membre permanent du conseil de sécurité de l'Onu. Pourtant, un minuscule détail nous oblige à lui laisser une dernière chance, car

sans lui les perspectives à long terme sont aussi sombres que le fond du tiroir où l'on retrouve les bijoux de la technologie de la génération précédente : cet ingrat peu recommandable, c'est le cerveau du sujet à appareiller. Par son manque de mémoire, sa réticence vis-à-vis de la plasticité, son refus de communiquer en situations adverses (pensez donc, un rapport signal sur bruit négatif lui fait un peu peur...), il compromet tous nos efforts.

L'équipe UMR CNRS 8620, installé dans les locaux de l'Université d'Orsay sous la responsabilité de Jean-Marc Edeline, nous laisse espérer que cette vision est non seulement pessimiste mais, de plus en plus clairement, non fondée : ce laboratoire étudie sur modèles animaux et humains la neurobiologie de l'apprentissage, de la mémoire et de la communication. Jean-Marc Edeline et son équipe ont accepté de nous fournir un dossier volumineux et complet, mais néanmoins résolument pédagogique, destiné à bouleverser quelques idées reçues, non pas celles citées plus haut sur le mode ironique, mais celles qui visent à faire croire que le projet de comprendre la neurobiologie de l'apprentissage, de la mémoire et de la communication est trop ambitieux et voué à l'échec faute d'outils.

En réalité, grâce à l'emploi de nombreux outils issus de la neurophysiologie et de la bioacoustique, ce dossier nous apprend que le codage sensoriel est modifié, même chez l'adulte, lorsque des signaux sonores deviennent significatifs (mais toutes les modalités sensorielles sont concernées, voilà qui doit intéresser les rééducateurs de toutes écoles). Ce potentiel de plasticité ne demande qu'à être exploité, il n'y a plus de période critique (ou plutôt, toutes le sont.. les implanteurs ne sont pas tentés de démentir Jean-Marc Edeline). Elisabeth Hennevin aborde un autre thème fascinant, celui du sommeil : quand nous dormons, sommes-nous dans un état d'isolement sensoriel ? catégoriquement non; comment les neurones codent-ils les stimuli significatifs ? au delà de l'anecdote, nous découvrons des modèles d'importance fondamentale pour comprendre comment le sens est traité.

D'un point de vue encore plus directement appliqué à notre travail quotidien, la communication vocale, aussi bien en milieu adverse qu'en ce qui concerne la mise en place des interactions entre production et perception, est au cœur de nos préoccupations. Thierry Aubin examine notamment le cas des manchots, qui non contents de couvrir par -50° , produisent en colonie un bruit couvrant largement celui des vents les plus violents balayant leur territoire (cocktail party dans le blizzard...c'était l'impression plutôt surréaliste rapportée par l'expédition de Scott localisant à l'oreille, en plein hiver antarctique par tempête de force 10, la première " maternité " jamais visitée de manchots empereurs). Ces oiseaux nous font découvrir l'existence de stratégies fascinantes de codage et de décodage qui permettent de surmonter des rapports signal/bruit très défavorables. Enfin Catherine Del Negro se base sur des approches neurophysiologiques chez des oiseaux chanteurs pour montrer qu'il existe des structures centrales impliquées à la fois dans la perception de sa propre voix et dans la production vocale. Le langage humain n'est pas si loin...

INFORMATIONS

PRIX NOBEL

Notre activité n'a pas pour vocation première de s'intéresser aux économistes qui reçoivent le prix Nobel. Fin 2002, ce prix a été remis à deux chercheurs dont l'un, D. Kahneman est psychologue et non économiste pur même s'il s'intéresse plus particulièrement à ce domaine. Dans une interview qu'il a donné au journal *La Recherche* en décembre 2002, André Orléan remarque que ce choix est un "pavé dans la mare" surtout si on se réfère à la théorie économique classique, celle qui privilégie l'axiomatique qui fait de l'homme un décideur rationnel ne tenant compte pratiquement que des risques de pertes et de gains. Ainsi, les travaux que Daniel Kahneman a réalisés avec un autre chercheur décédé il y a quelques années, Amos Tversky, permettent de jeter un éclairage intéressant sur la théorie du choix rationnel qui dit qu'une décision est indépendante de la façon dont le choix est présenté (principe d'invariance). En s'appuyant sur une expérience qu'ils ont réalisée, ils proposent à un premier groupe de personnes deux pro-

grammes A et B pour combattre une maladie qui va tuer plusieurs centaines de personnes et, ils proposent 2 autres programmes, C et D, à un autre groupe. Si A est choisi, on sauve 200 personnes. Si B est choisi, il y a 66% de chance que personne ne soit sauvé. Dans cette alternative 72% des personnes choisissent le programme A. Pour le deuxième groupe, si C est choisi 400 personnes disparaissent et, si c'est D il existe une probabilité de 33% que personne ne meurent. Dans ce groupe 78% des gens choisissent D. Les deux situations sont parfaitement similaires. Lorsque les gens raisonnent en terme "d'anticipations rationnelles" dans le cas du groupe 1, ils préfèrent éviter les risques et se reportent sur l'option A. Quand ils raisonnent en termes de pertes dans le cas du groupe 2, ils préfèrent prendre des risques pour éviter les pertes. En d'autres termes, la manière de présenter les choses influence les décisions. Certains diront qu'il n'y a là rien de très nouveau et que les vendeurs d'illusions de miracles technologiques ou financiers savent cela depuis bien longtemps.

En fait ce type de travaux conduit à construire les outils que certains qualifient "d'engineering micro-économique".

Leur utilisation avec suffisamment de finesse semble très intéressante.

MARKETING TOUJOURS ET ENCORE

La première question que doit poser un dirigeant d'entreprise à son service marketing est : "quel est le retour sur investissement ?". Ceci revient à demander si les choix marketing se sont avérés judicieux. Les effets de l'investissement dans ce domaine sont, il faut bien le dire assez difficile à quantifier avec précision contrairement à ce qui se passe dans d'autres secteurs de l'entreprise. Evaluer les résultats du marketing cela suppose déjà de poser des objectifs dépourvus d'ambiguïté que ce soit sur le plan financier ou, que ce soit sur d'autres points de vue - non financiers - tels que ceux des clients, des consommateurs et des concurrents. Normalement ces différents aspects devraient être intégrés au modèle de développement élaboré pour une meilleure visibilité des

actions de l'entreprise. Apparemment, seules celles travaillant sur le marché des actions tiennent véritablement compte de ces données et évaluent les comportements des consommateurs et des acheteurs intégrant des données telles que celles auxquelles nous avons fait allusion (D. Kahneman Ci-dessus). Le deuxième critère à retenir concerne l'évaluation par rapport aux standards dans le domaine considéré mais aussi dans des domaines complémentaires. Le troisième concerne l'apport en terme de notoriété pour l'enseigne ou la marque. Là, l'évaluation se pose en terme d'opposition entre rentabilité à court terme et à long terme. En pratique, la question qui est posée concerne surtout le fait de développer une métrique qui permettra de quantifier avec suffisamment de précision l'opportunité des actions entreprises tout en vérifiant que les résultats sont cohérents avec le plan de développement. En d'autres termes, le marketing aujourd'hui doit dépasser les points de vue des années 1970/80 qui se résumaient à faire de la publicité et des promotions dont les actions, au bout du compte, marginalisaient tellement les

concepts de produit et d'identité qu'ils conduisaient certaines entreprises à avoir des comportements à contre courant de l'image qu'elles essayaient de donner d'elles-mêmes. Trop souvent, elles demandaient aux clients de les écouter mais, elles, ne les écoutaient jamais !

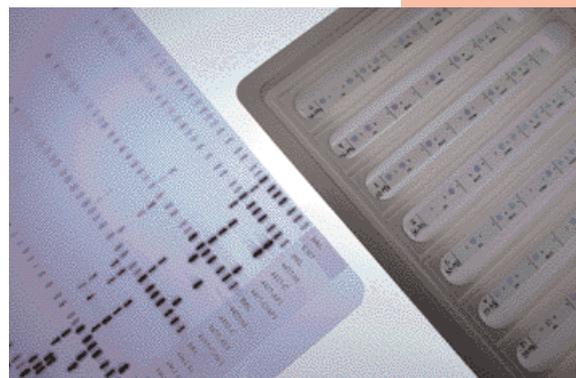
DONNER DU SENS AU MANAGEMENT

La réflexion sur la participation des travailleurs au sein d'une entreprise consiste à répondre entre autres à la question suivante : comment donner du sens au travail des gens ? Les réponses sont à la fois difficile et trop de managers ont une approche qui pour une part dépend de leur propre personnalité et de l'importance qu'ils accordent à telle ou telle principe dans le fonctionnement d'une entité.

STATISTIQUES AMÉRICAINES

Comme vous le savez sans doute dans les statistiques américaines de déficits auditifs les hommes présentent des pertes supérieures aux femmes ! Les Américains, dit-on, sont tellement accros aux

armes à feu que ce serait leur usage intensif qui en serait la cause essentielle. Nous ne savons pas si cela est une réalité mais ce que l'on peut dire c'est que le résultat si l'on en croit le documentaire de Michael Moore, *Bowling for Columbine*, les dégâts ne portent pas que sur les oreilles !

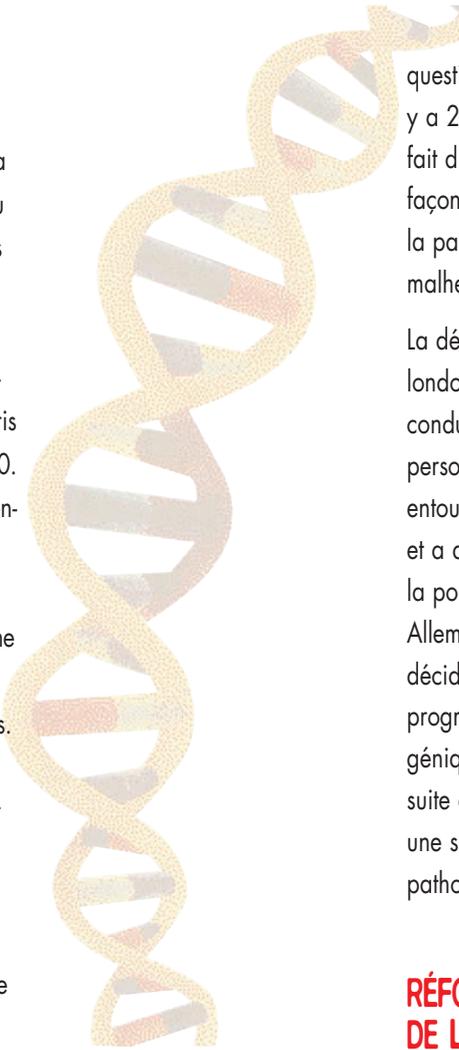


FIN DU DÉCRYPTAGE DU GÉNOME DE LA SOURIS

Dans son numéro du 5 décembre 2002 la revue anglaise Nature annonce la fin du décryptage du génome de la souris. Ce travail a et aura des conséquences sans aucun doute très intéressantes à terme puisque la souris est l'animal privilégié de la recherche médicale y compris bien sûr dans le domaine de la surdité. Chacun des deux



génomés, de la souris et de l'homme contiennent environ 30 000 gènes pour la première et contiendrait à peu près 32 000 à 39 000 gènes pour le second ce qui serait beaucoup moins que ce qui était prévu puisque les estimations avant les travaux entrepris portaient le nombre à 100 000. Le génome de l'homme contiendrait environ 2,9 milliards de paires de bases (qui sont les éléments unitaires du patrimoine génétique) alors que la souris en aurait environ 2,5 milliards. Il semble par ailleurs que, au moins 80% des gènes présent dans la souris le soient aussi chez l'homme. Il reste à préciser toutefois que ce n'est qu'une première étape dans le travail sur le génome car si maintenant les gènes sont connus leurs fonctions ne le sont pas encore. Rappelons à ce sujet que 100 à 200 gènes seraient impliqués dans les atteintes mono géniques à l'origine de la surdité. La difficulté de la tâche vient entre autre du fait que, dans ces cas là, il n'y a pas qu'un seul gène en cause. Les facteurs environnementaux jouent aussi un rôle prépondérant. Néanmoins, il n'en reste pas moins vrai que le franchissement de l'étape du décryptage, qui même s'il nécessite de revoir certains outils ou certaines théories pour aller bien au-delà, est un palier décisif.



THÉRAPIE GÉNIQUE

Les Anglo-saxons ont repris les essais de thérapie géniques alors qu'en France certaines équipes ont décidé de faire une pause. Qu'en est-il ? En fait des complications inattendues et assez contrariantes ont conduit certains groupes à suspendre des essais pendant quelques mois pour mieux évaluer les risques que le virus porteur d'un gène correcteur a de s'insérer dans un site à partir duquel il pourrait déclencher une action contraire à celle recherch e.

Pour les Anglais qui travaillent sur le même thème il n'est pas

question de s'arrêter même s'il y a 20% de décès d'enfants du fait du traitement. De toutes les façons, les enfants suivis pour la pathologie en cause seraient malheureusement décédés.

La décision prise par l'équipe londonienne l'a néanmoins conduite à prévenir les personnes concernées ou leur entourage des risques encourus et a demandé leur accord pour la poursuite des essais. Les Allemands ont, de leur côté, décidé d'interrompre tous les programmes de thérapie génique depuis quelques mois suite à un incident survenu sur une souris qui a développé une pathologie grave.

RÉFORME DE LA POLITIQUE EN FAVEUR DES HANDICAPÉS

Le parlement examinera à l'automne 2003 une réforme de la politique en faveur des handicapés. L'objectif étant de personnaliser autant que possible les aides. L'idée serait de créer des maisons des personnes handicapées lesquelles seraient coordonnées par une agence nationale des handicaps.

Y trouvera-t-on des traducteurs permettant aux sourds de s'exprimer en langue des signes pour traiter directement et personnellement de leurs difficultés ?

DONNÉES DE L'ÉCONOMIE

Les données de l'économie, ce n'est pas la peine de se le cacher, ne sont pas très enthousiasmantes au moins en Europe car il semblerait qu'aux Etats Unis elle soit orientée un peu moins négativement que dans les mois précédents ?

Certaines données de l'économie semblent en effet influencer mois négativement, le fait que le marché des obligations tend à baisser aux USA serait, d'après certains analystes, un signal positif qui tendrait à suggérer que les investisseurs retournent vers le marché des actions donc qu'ils consentent à prendre un peu plus de risques. En ce qui concerne les entreprises, les gains de productivité commenceraient à porter leurs fruits chez eux mais en France les gains de productivité ont été pratiquement nuls en 2002. Cet aspect de l'économie est plutôt favorable à court terme mais si cela devait durer ce serait problématique pour le chômage.

Les entreprises devraient voir un certain nombre de tâches humaines disparaître du fait de l'investissement dans la technologie pour combler certains déficits en terme de personnel mais, une fois ces technologies bien au point elles conduiront vraisemblablement, à une diminution de l'emploi là où cela n'était pas nécessairement attendu et souhaitable...

Un certain nombre d'indices montrent que des entreprises ont eu des conduites astucieuses néanmoins, pour beaucoup d'entre elles, celles-ci ont été quasi-déflationnistes et aujourd'hui, les investissements étant assez peu élevés du fait de la prudence les bilans devraient donc tout de même s'améliorer. Mais, les marges devraient rester limitées et, ceci à la condition que la consommation tende à se maintenir ce qui n'est pas sûr si on regarde l'évolution des dépenses des ménages en France depuis août dernier. En effet, une suite de chaud et de froid, de valeurs positives, alternant avec des valeurs négatives et, jusqu'à aujourd'hui toujours plus sensibles pour les dernières que pour les premières. Le moral des ménages baisse et, la notation de la perception que les chefs d'entreprises ont de l'avenir immédiat n'est pas très bonne.

Dans ce contexte il n'est pas étonnant que les prévisions de croissance pour 2003 restent très incertaines de l'ordre de 1% selon les dernières estimations. Le chômage est déjà en train de reprendre la première place dans les sources d'inquiétude des Français ce que certains événements extérieurs pourraient aussi venir accentuer. Pour ce qui nous concerne, il faut donc rester très prudent même si notre marché se trouve pour le moment légèrement tiré par la prise en charge de la stéréo-

phonie ce qui devrait continuer l'année prochaine avec sans doute l'appui de la CMU qui ne devrait pas ralentir car les statistiques indiquent que le nombre de RMistes a augmenté sur les 6 premiers mois de l'année. Fin juin 2002 il y avait 1% d'augmentation ce qui conduisait leur nombre total à 1 084 310.

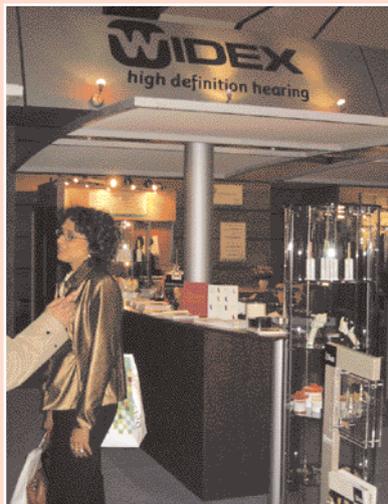
Mais, comme le notait Lindsay Owen Jones dans une interview, si la croissance de certains marchés est soutenue cela serait dû, pour une part, à l'amélioration constante des produits et pour une autre part à l'accession de nouvelles clientèles aux produits.

La CMU ne fait-elle pas partie de cette dernière catégorie ?

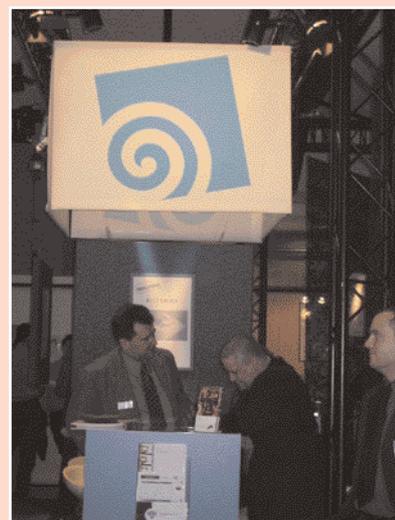
Après tout, il n'y a pas de marchés négligeables et cela dans l'intérêt de tous. ■



CONFÉRENCES



FORUMS

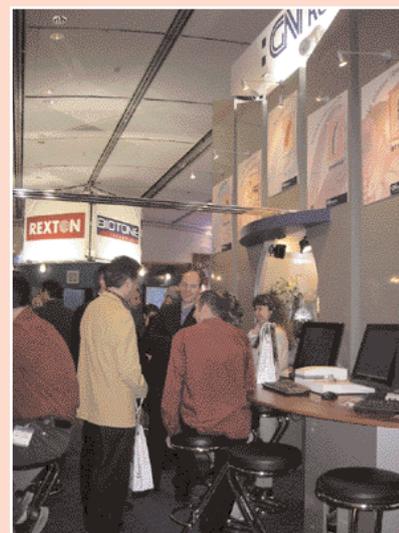
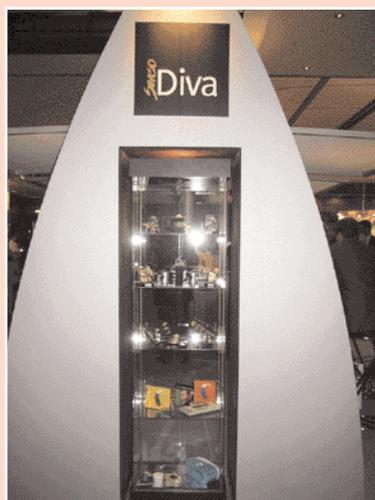


10

RENCONTRES

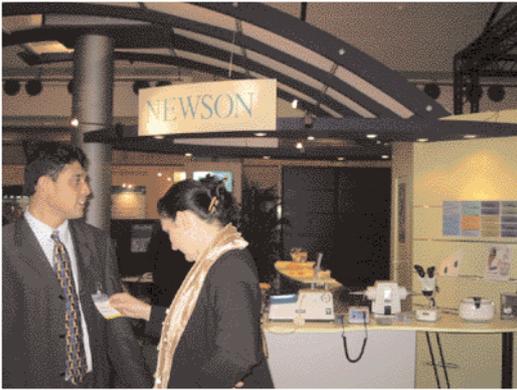


TECHNOLOGIE



INFORMATIQUE

SÉMINAIRES



MÉDIA



INNOVATIONS

ACTUALITÉ



Le congrès 2003 qui s'est déroulé à Paris les 22, 23, 24 Mars au Carrousel du Louvre, a été, une fois encore, l'occasion de découvrir les dernières nouveautés et innovations technologiques. Toutes les sociétés représentatives de l'ensemble de notre profession étaient présentes dans ce lieu prestigieux. Les participants ont amené, leur enthousiasme, leur volonté et leur foi dans l'avenir de nos métiers. Attendons donc maintenant le prochain Congrès... du 13 au 15 Mars 2004 au CNIT de la Défense

adapto™

Demo
Voice Finder
pour vos centres

Adapto reconnaît les signaux de la parole et cela se voit !

L'innovation **Voice Finder** détecte automatiquement les signaux de la parole lorsqu'elle est présente pour une intel-

ligibilité maximale. Autrement, Adapto passe en mode confort.

Cette efficacité se démontre visuellement



Prodition

37-39 rue Jean-Baptiste Charcot
Bp 314 - 92402 Courbevoie Cedex
E-Mail : info@prodition.fr

oticon
PEOPLE FIRST

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

L'équipe Plasticité Sensorielle, Neuromodulation et Etats de Vigilance

Catherine Del Negro (MCF, Paris X)
Jean-Marc Edeline (DR, CNRS)
Elizabeth Hennevin (PR, Paris X)
Catherine Maho (CR, CNRS)
Aurélie Massaux (Doctorante)

L'équipe Communications Acoustiques

Thierry Aubin (DR, CNRS)
Nicolas Mathevon (MCF, St Etienne)
Gérard Nicolas (CR, CNRS)
Fanny Ribak (MCF, Paris XI)
Isabelle Charrier (Post-Doctorante)
Solange Kowalski (Doctorante)
Frédéric Sebe (Doctorant)
Clémentine Vignal (Doctorante)

Au sein du laboratoire de Neurobiologie de l'Apprentissage, de la Mémoire et de la Communication (NAMC, UMR CNRS 8620), deux équipes étudient, à différents niveaux, la détection et la reconnaissance de stimuli acoustiques chez l'animal.

L'équipe "Plasticité Sensorielle, Neuro-modulation et Etats de Vigilance" effectue des enregistrements électrophysiologiques de neurones à la présentation de stimuli acoustiques artificiels ou naturels. En échantillonnant les neurones dans les structures auditives centrales de rats ou de cobayes, l'équipe évalue comment les caractéristiques élémentaires du codage sensoriel sont modifiées suite à un apprentissage au cours duquel un son est rendu signifiant, et comment ces caractéristiques sont modulées par certains neurotransmetteurs (acétylcholine et noradrénaline) ou par les changements d'état de vigilance. Dans le prolongement direct de ces travaux, les mécanismes sous-tendant les capacités de reconnaissance des stimuli signifiants pendant le sommeil sont recherchés. L'équipe s'intéresse également à la plasticité des structures nerveuses impliquées dans la perception et la production du chant chez le canari.

Cette plasticité est un formidable modèle pour comprendre comment différents mécanismes (génèse de nouveaux neurones, modification de la morphologie neuronale, augmentation du nombre de récepteurs aux hormones) coopèrent pour permettre la détection et la reconnaissance de signaux complexes signifiants.

Cette thématique est source d'interactions avec la seconde équipe.

L'équipe "Communications Acoustiques" s'attache, elle, à décrire les mécanismes de codage-décodage des signaux acoustiques chez les vertébrés (principalement chez l'oiseau mais aussi chez le mammifère). Elle étudie également l'adaptation de ces signaux aux conditions de propagation. En effet, le milieu peut être contraignant pour la communication acoustique, pour différentes raisons : absorption due aux obstacles, bruit ambiant, ou absence de tout autre mode possible de communication. Certaines méthodes de codage permettent de contourner ces contraintes et d'établir malgré tout des communications dans ces milieux "extrêmes" pour le son.

L'équipe s'intéresse notamment à la façon dont peut se faire la communication acoustique dans des milieux très absorbants, telles les forêt équatoriales. Pour parvenir à communiquer efficacement dans un milieu aussi contraignant pour le son, les oiseaux doivent utiliser des stratégies particulières, adaptées au milieu de propagation. L'environnement social (individus groupés ou isolés par exemple) influe lui aussi sur les systèmes de codage-décodage.

L'équipe étudie, par exemple, comment au sein d'une colonie de manchots, les individus arrivent à reconnaître leur partenaire même lorsque le chant de ce dernier est 6 dB en dessous du bruit de fond généré par la colonie.

Pour plus d'informations, visiter le site web de notre laboratoire :

<http://H0.web.u-psud.fr/namc/french/recherche.htm>



Boire le café
50 dB, 500 Hz - 4 kHz

Gonfler le ballon
55 dB, 500 Hz - 5 kHz

Félicitations
71 dB, 250 Hz - 8 kHz

Bruit de pas sur le gravier
50 dB, 300 Hz - 3 kHz

Le son haute définition

La technologie révolutionnaire de Symbio lui permet de s'adapter instantanément à chaque environnement sonore. Tout en accordant la priorité à la parole, Symbio procure en permanence un son clair et naturel.



• PRIORITÉ A LA PAROLE

C.A.S.I.™ – Adaptation continue de l'intégrité de la parole. Cette méthode de traitement du signal travaille dans le domaine temporel. C.A.S.I.™ analyse les composants du son et accepte le signal entrant dans son ensemble, conservant ainsi son intégrité naturelle.

S'adaptant instantanément à chaque changement, Symbio offre l'un des algorithmes les plus précis combiné à une vitesse de calcul parmi les plus rapides qu'on puisse imaginer.

La technologie numérique d'avant-garde de Symbio offre un son clair et naturel ainsi qu'une intelligibilité de la parole à un niveau exceptionnel.

• SOUNDLOGIC™

La flexibilité du programme OASIS plus ainsi que la précision du micro processeur prennent toute leur ampleur à travers SoundLogic™ afin de répondre aux besoins d'amplification de chaque déficience auditive. Ce concept audiologique exclusif apporte une solution personnalisée et d'une précision jamais atteinte à ce jour. Mesure audiométrique et vérification in situ ajoutent une nouvelle dimension aux séances d'appareillage.

SYSTÈME ANTI-LARSEN ADAPTATIF • MICRO DIRECTIONNEL VÉRITABLEMENT AUTOMATIQUE • UNE GAMME COMPLÈTE

PLASTICITÉ DU SYSTÈME AUDITIF CENTRAL CHEZ L'ADULTE

Lorsqu' il y a 40 ans les travaux d' Hubel et Wiesel ont révélé la plasticité développementale des systèmes sensoriels, personne ne croyait que des réorganisations pouvaient survenir chez l' adulte. Une véritable révolution s' est déroulée au cours des dix dernières années au point que la plasticité des systèmes sensoriels adultes est devenue l' objet principal d' étude de nombreux laboratoires de physiologie sensorielle. En effet, dans pratiquement toutes les modalités sensorielles, des modifications sélectives de champs récepteurs, de propriétés fonctionnelles et/ou de cartographie corticale ont été décrites chez des animaux adultes. Dans le cas du système auditif, les circonstances qui conduisent à ces modifications vont de lésions ponctuelles de la cochlée à des apprentissages perceptifs. Après avoir passé en revue les résultats les plus saillants de cette littérature, la question qui se pose naturellement est celle des relations entre ces phénomènes de plasticité et les performances perceptives des sujets. Comme nous le verrons, ces relations sont loin d' avoir été complètement éclaircies. Ceci tient en partie au nombre encore restreint d' études qui se sont attaquées à ce problème, mais également au fait que des techniques très différentes sont mises en œuvre pour évaluer des réorganisations fonctionnelles chez l' homme et chez l' animal. Nul doute qu' un travail considérable de recherche fondamentale est nécessaire pour comprendre comment le potentiel de plasticité des systèmes sensoriels adultes peut-être utilisé pour aider les sujets ayant des déficiences perceptives.

When, 40 years ago, Hubel and Wiesel described the developmental plasticity of the visual system, nobody believed that sensory systems could reorganize in adult animals. A real revolution has occurred in this field during the past ten years. Things have changed up to a point that plasticity in adult animals has become the main topic of many sensory physiology laboratories. In all sensory modalities, receptive field modifications, as well as changes in functional properties and/or reorganizations of cortical maps, have been reported in adult animals under various circumstances. In the auditory system, this literature has been particularly documented after specific lesion of the cochlea or after behavioral training. After reviewing the main results of this field, the question that arises concerns the relationships between this plasticity and the subjects' perceptive performances. As it will be discussed, these relations have not yet been clarified enough to draw firm conclusions. This is certainly due to the paucity of the data in this domain and also to the fact that very different techniques are used in humans and in animals to evaluate functional reorganizations. Considerable efforts in fundamental research will be necessary to understand how the potential of plasti-

1 CADRE HISTORIQUE : DE LA PLASTICITÉ DÉVELOPPEMENTALE DES SYSTÈMES SENSORIELS À LA PLASTICITÉ CHEZ L'ADULTE

Au début des années 60, les travaux de Hubel et Wiesel ont mis en évidence les extraordinaires capacités de réorganisations dont sont capables les systèmes sensoriels lors de périodes critiques du développement (Wiesel et Hubel, 1963, 1965). Ces remarquables travaux, qui servent encore de modèle aux physiologistes

sensoriels, ont toutefois eu pour conséquence le fait que la plasticité des systèmes sensoriels a été admise et largement étudiée au cours du développement, mais qu'elle a été considérée impossible chez l'adulte. Pourtant, dans ses tous premiers travaux réalisés sur des animaux adultes, D. Hubel décrivait les effets de l'attention sur les réponses évoquées dans le cortex auditif. Il appelait alors à s'intéresser aux facteurs susceptibles de modifier l'activité des systèmes sensoriels chez l'animal vigile... "It may be that studies in which cortical unit activity is examined during the course of conditioning and learning will illuminate these matters"... (Hubel et al., 1959). A la même époque, d'autres travaux, effectués dans le système auditif, s'interrogeaient sur les différences observées entre les réponses évoquées obtenues chez l'animal anesthésié et chez l'animal vigile (Evans & Whitfield, 1964).

JEAN-MARC EDELIN

Chercheur au CNRS
NAMC, UMR 8620, Bâtiment 446
Université Paris-Sud, 91405 Orsay cédex

Un changement fondamental s'est produit ces dix dernières années, puisque de très nombreux laboratoires de physiologie sensorielle ont mis en évidence des phénomènes de plasticité chez l'animal adulte, et ceci dans presque toutes les modalités sensorielles (voir pour revue Gilbert, 1993; Kaas, 1991; Weinberger, 1995; Edeline, 1999). Les conditions dans lesquelles sont mis en évidence ces phénomènes de plasticité sensorielle chez l'adulte vont de lésions ponctuelles de l'épithélium sensoriel à des manipulations du niveau de dépolarisation d'un neurone lors de la présentation d'un stimulus, jusqu'à de réels entraînements comportementaux. Sans chercher à être exhaustif, la plasticité exprimée par le système auditif central dans ces différentes circonstances sera présentée dans les paragraphes suivants.

2 PLASTICITÉ POST-LÉSIONNELLE

Chez l'animal adulte, des réorganisations considérables de la tonotopie du cortex auditif primaire ont été décrites après des lésions mécaniques sélectives d'une portion de la cochlée. Par exemple, après une lésion qui provoque une perte sélective en cellules ciliées (internes et externes) et une atténuation d'au moins 50 dB du potentiel d'action global du nerf auditif entre 12 et 18 kHz, les territoires corticaux répondant normalement à cette gamme de fréquences se trouvent répondre à des fréquences de 10 kHz ou de 21 kHz avec des seuils qui ne sont pas différents de ceux des animaux contrôles (Robertson et Irvine, 1989). Ces réorganisations, qui ont été décrites après au moins un mois de récupération post-lésionnelle, ne s'expliquent pas par le démasquage d'afférences sous-liminaires. En effet, de telles réorganisations ne s'observent pas immédiatement après la lésion : dans les minutes et heures

qui suivent, les sites corticaux présentent uniquement des élévations de seuil de 80dB accompagnées d'un glissement de la fréquence caractéristique vers les basses fréquences (Robertson et Irvine, 1989). Contrairement à ce qui a été affirmé par le laboratoire de Merzenich dans le cas de la plasticité post-lésionnelle du cortex somesthésique, plusieurs données suggèrent que la réorganisation de la tonotopie corticale ne résulte pas de mécanismes intrinsèquement corticaux. Notamment, bien que la représentation tonotopique contralatérale à la lésion cochléaire soit modifiée sur de larges étendues, aucune modification de la tonotopie n'est détectée lorsque la cochlée ipsilatérale est activée (Irvine et al., 1992; Rajan et al., 1993). Etant donné qu'une large majorité de neurones du thalamus auditif reçoivent des informations binaurales - et donc convoient des informations binaurales au cortex - il apparaît bien plus vraisemblable que des réorganisations se produisent à des niveaux sous-corticaux, soit au niveau de la convergence des informations binaurales, soit avant. Cette hypothèse se trouve corroborée par le fait que, chez les animaux lésés, les réponses obtenues dans la zone réorganisée présentent des latences plus courtes (et non plus longues) que celles obtenues chez des animaux contrôles (Rajan et al., 1993). En fait, des réorganisations semblent déjà exister au niveau de certaines zones du noyau central des colliculi inférieurs (Irvine et al., 1991), mais pas au niveau de la partie dorsale du noyau cochléaire (Rajan et Irvine, 1998). D'après Irvine et collègues, ces données indiquent que des réorganisations surviennent dans certains, mais non pas dans tous, les relais qui convergent sur les colliculi inférieurs (Irvine et al., 1992). Il faut remarquer que dans le cas de traumatismes induits par des bruits intenses de courtes durées (15-25 minutes), d'autres équipes ont observé des réorganisations au niveau sous-cortical plus systématiquement (Wang et al., 1996; 2002). Toutefois, pour qu'un changement de tonotopie puisse être qualifié de "plasticité" - au sens d'un processus dynamique de réorganisation d'une

topographie - il est nécessaire de s'assurer que les réponses obtenues ne sont pas un "résidu" de réponses pré-existant avant la lésion. De tels phénomènes de "pseudo-plasticité" ont notamment été décrits au niveau du noyau cochléaire dorsal par le groupe de Kaltenbach suite à des expositions à un bruit intense (Kaltenbach et al., 1992; Meleca et al., 1997).

Cette plasticité de l'organisation fréquentielle observée chez l'adulte démontre que le système auditif central ne reste pas "passif" face à une privation d'une partie de ces afférences : les territoires déafférentés vont répondre à des fréquences immédiatement adjacentes à la zone déafférentée au niveau de l'organe périphérique (la cochlée). Notons que l'étendue de ces réorganisations dans des cortex d'animaux adultes (jusqu'à 2.6 mm dans Rajan et al., 1993) est comparable à celles qui sont présentées dans certains travaux suite à des lésions néonatales (Harrison et al., 1991). Toutefois, le groupe de Dexter Irvine propose que des facteurs bien plus fondamentaux que l'âge auquel a lieu la perte auditive contrôlent ces réorganisations. Plus précisément, ces auteurs proposent que des réorganisations corticales ne se produisent que si la perte auditive est telle qu'on passe brutalement d'une zone où les seuils acoustiques sont normaux à une zone où les seuils acoustiques sont très élevés. A l'appui de cela, Rajan et Irvine (1996) n'ont pas observé de réorganisations corticales chez un animal ayant présenté une perte auditive idiopathique se développant progressivement. De plus, sur une série d'animaux ayant des pertes auditives modérées (25dB d'élévation du seuil par rapport à la sensibilité normale) idiopathiques ou induites par traumatismes acoustiques, il n'a pas été observé le moindre signe de réorganisation corticale alors que les neurones corticaux de ces animaux semblaient totalement dépourvus d'inhibitions latérales (Rajan, 1998). Ceci est très important étant donné que plusieurs équipes ont fait l'hypothèse que les mécanismes d'inhibitions latérales jouent un rôle clef dans les réorganisations survenant lors de traumatismes acoustiques

chroniques ou aigus (voir par exemple Wang et al., 1996 ; 2002). En fait, il a été montré (dans le système somesthésique) que le démasquage rapide de larges champs récepteurs après une lésion périphérique ne passe pas par une perte des inhibitions latérales évoquées par les stimuli sensoriels, mais par la perte d'inhibitions soutenues non évoquées par des stimuli (Calford et Tweedale, 1988 ; 1991).

Quels qu'en soient les mécanismes intimes, ces données montrent aussi que, si des réorganisations peuvent être détectées au niveau cortical suite à des pertes d'audition, leur origine pourrait se situer en grande partie au niveau sous-cortical, et ceci bien que tous les relais sous-corticaux ne se réorganisent pas.

réelle modification de l'information véhiculée par les neurones. Pour trancher entre ces deux hypothèses, il était nécessaire de conduire, au sein du même protocole, une expérience d'apprentissage et une expérience de physiologie sensorielle en déterminant le Champ Récepteur (ChR) de chaque neurone avant et immédiatement après l'apprentissage. Dans le système auditif, le ChR d'un neurone peut se définir par la gamme de fréquences tonales qui provoquent une réponse du neurone enregistré. A une intensité donnée, la fréquence tonale qui provoque les réponses les plus fortes est la fréquence préférentielle ("best frequency" ou BF) du neurone. A l'intensité la plus faible à laquelle le neurone répond, la BF est la fréquence caractéristique (CF) du neurone. Si un apprentissage induit simplement une

augmentation d'excitabilité des neurones auditifs, cela devrait se traduire par une expansion des ChRs des neurones (Figure 1A). Par contre, si l'apprentissage induit une modification du codage sensoriel, cela devrait conduire à un changement de la BF du neurone (Figure 1B). Le protocole utilisé (Figure 1C) pour trancher entre ces deux hypothèses a donc consisté à tester le ChR des neurones avant et après un bref apprentissage (30-70 essais au plus) au cours duquel une fréquence tonale particulière prédit l'apparition d'un stimulus aversif (un bref choc sur la patte de l'animal). Les premiers résultats obtenus avec ce protocole ont décrit des modifications sélectives dans le ChR des neurones des aires auditives secondaires (aires All et VE du cortex auditif chez le chat).

3 PLASTICITÉ INDUITE PAR L'APPRENTISSAGE DANS LE SYSTÈME THALAMO-CORTICAL

Dès les années 70, plusieurs laboratoires ont décrit des augmentations de réponses dans des structures sensorielles lors de l'acquisition d'un conditionnement classique aversif ou appétitif (revue dans Weinberger et Diamond, 1987, Edeline, 1999). Cependant, ces résultats ne permettaient pas d'établir avec certitude l'existence de modifications du codage sensoriel suite à un apprentissage. En effet, en analysant uniquement les réponses au stimulus qui acquiert une signification - le stimulus conditionnel (SC) - on ne peut savoir si les changements neuronaux reflètent simplement des changements non-spécifiques de l'excitabilité cellulaire, ou s'ils représentent une

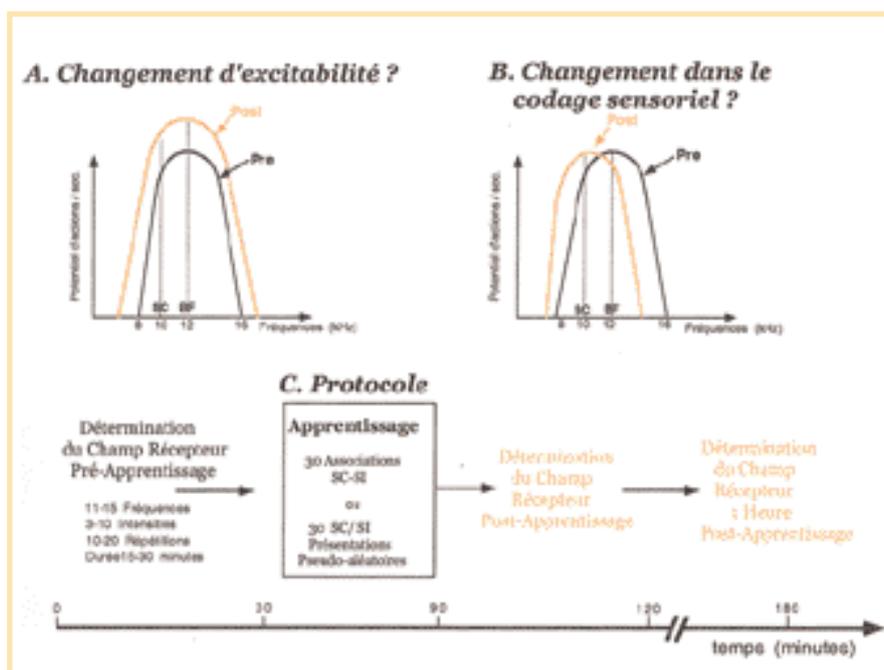


Figure 1 : Protocole expérimental et résultats envisageables.

Jusqu'au milieu des années 80, on pouvait interpréter les augmentations de réponses évoquées survenant dans le système auditif lors d'un apprentissage comme résultant soit d'une augmentation de l'excitabilité neuronale (A.), soit d'un changement dans le codage sensoriel lui-même (B.). Pour trancher entre ces deux possibilités, il était nécessaire de comparer les champs récepteurs (ChRs) des neurones avant et après apprentissage. Dans le cas d'une augmentation d'excitabilité, on devait s'attendre à observer une augmentation des réponses évoquées pour toutes les fréquences testées, ce qui conduit à une expansion du champ récepteur du neurone. Au contraire, si on a affaire à une modification du codage sensoriel, on devrait avoir un décalage du ChR du neurone de telle sorte que le stimulus rendu signifiant devient la fréquence préférentielle (BF pour "best frequency") du neurone. Le protocole expérimental (C.) consiste donc à déterminer le ChR d'un neurone sur un animal vigile par la présentation d'une gamme de fréquences à différentes intensités.

Dans près des deux tiers des enregistrements, des altérations sélectives ont été observées dans le champ récepteur principalement à la fréquence utilisée comme SC lors de l'apprentissage. Toutefois, ces modifications ont consisté tout autant en des diminutions sélectives qu'en des augmentations sélectives pour le SC (Diamond et Weinberger, 1986 ; 1989). Des études ultérieures ont montré que des effets sélectifs survenaient également dans 33-70% des cas au niveau de l'aire auditive primaire, et, à ce niveau, seules des augmentations sélectives ont été rapportées. Cette plasticité des ChRs corticaux s'observe suite à des conditionnements classiques, simples (Bakin et Weinberger, 1990, Edeline et al., 1993) ou discriminatifs (Edeline et Weinberger, 1993), et suite à des conditionnement instrumentaux (Bakin et al., 1996). Cette plasticité émerge déjà après un petit nombre d'essais de conditionnement (15 essais, Edeline et Weinberger, 1993) et semble persister bien au-delà de la séance d'apprentissage. En effet, dans toutes ces expériences, les modifications sélectives de ChR se sont maintenues lorsque les neurones ont été re-testés une heure après l'apprentissage et, dans quelques cas, lorsqu'ils ont pu être testés 24 h après l'apprentissage (Bakin et Weinberger, 1990). Notons que des modifications similaires ont été obtenues après des conditionnements aversifs chez la chauve-souris (Gao et Suga, 2000), mais aussi après un conditionnement "appétitif" (Kisley et Gerstein, 2001).

Bien entendu, la question se pose de savoir si ces réorganisations sont propres au cortex auditif ou si elles prennent déjà place au niveau des différents relais sous-corticaux. Au niveau du thalamus auditif, plusieurs expériences ont clairement montré que, suite à un apprentissage, des modifications de ChRs s'observent avec une sélectivité identique à celle décrite au niveau cortical. Le thalamus auditif étant composé de trois principales divisions, qui diffèrent tant par leurs projections que par les caractéristiques des ChRs des neurones, il était important d'évaluer séparément le potentiel de plasticité de ces trois divisions. Dans chacune d'entre elles, des

réorganisations sélectives des ChRs ont été observées (pour 29% à 55% des neurones). Toutefois, les effets sélectifs observés au niveau de la partie ventrale, tonotopique, se sont maintenus moins d'une heure, alors que dans les deux autres divisions (dorsale et médiane) elles se sont maintenues plus d'une heure (Edeline et Weinberger, 1991a,b, 1992). Des modifications sélectives ont également été observées au niveau des colliculi inférieurs (Gao et Suga, 1998). Etant donné l'importance des connexions corticofuges, on peut envisager que les changements thalamiques

ou colliculaires surviennent sous l'influence de ces connexions, donc grâce à l'émergence de la plasticité corticale. Cependant, le fait que le déroulement temporel des effets décrits dans la partie ventrale du thalamus auditif et dans les colliculi inférieurs soit différent de ceux observés au niveau cortical ne plaide pas en faveur d'une relation étroite entre plasticité corticale et sous-corticale. Pourtant, arguant du fait que des stimulations électriques du cortex auditif induisent des glissements de BF similaires à ceux observés après conditionnement, certains auteurs

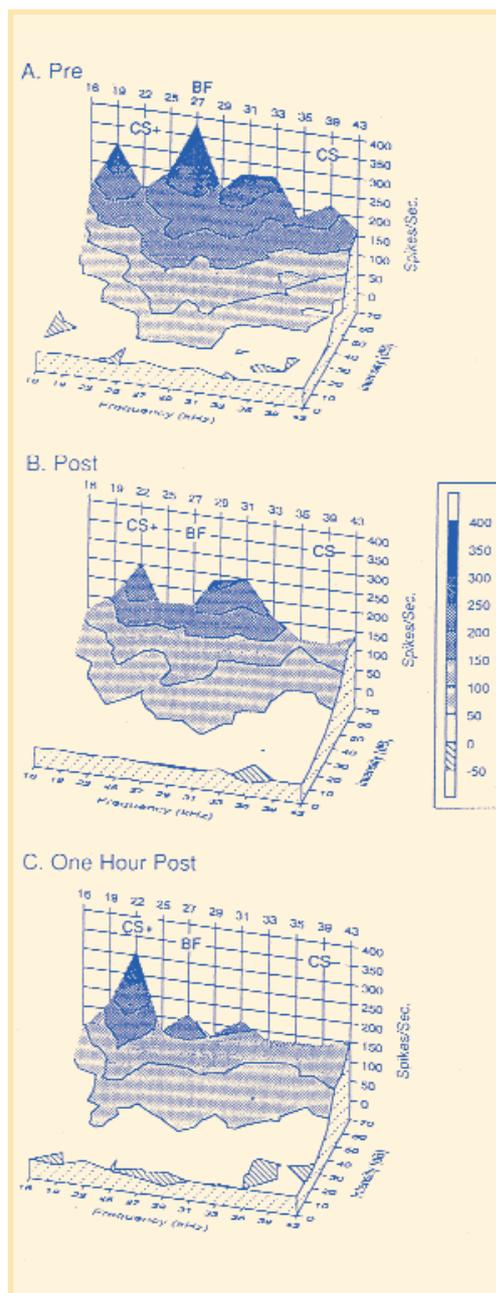


Figure 2 : Modification sélective du champ récepteur (ChR) d'un neurone cortical induite par un entraînement discriminatif.

Ces graphiques 3D représentent les réponses évoquées pour une série de fréquences (de 16 à 43kHz) et une série d'intensités (de 0 à 70 dB). La force des réponses évoquées, cumulées sur 20 répétitions de chaque fréquence et chaque intensité, est portée sur l'axe vertical. Avant apprentissage, ce neurone présentait une BF à 27kHz, ce à toutes les intensités (A.). L'animal a été engagé dans une tâche de discrimination entre un CS+ (qui prédisait l'arrivée du stimulus inconditionnel) et un CS- (qui ne le prédisait pas). Après 30 essais de présentation du CS+ (22kHz) et du CS- (39kHz) à l'issue desquels l'animal présentait des réponses comportementales différentes à ces deux signaux, le champ récepteur de cette cellule a été retesté immédiatement (B.) et une heure (C.) après la fin de l'apprentissage. Immédiatement après la fin de l'apprentissage (B.), les réponses à la BF sont effondrées et un pic apparaît au CS+ alors que le neurone ne répondait quasiment pas à cette fréquence avant apprentissage (les réponses à 22kHz étaient dans une "vallée" entre la BF et un pic secondaire à 19kHz). Une heure après la fin de l'apprentissage (C.), pratiquement toutes les réponses excitatrices obtenues en testant le ChR de ce neurone sont localisées autour ou à la fréquence du CS+. Les réponses au CS- sont fortement diminuées à la fois immédiatement et une heure post-apprentissage. Modifiée d'après Edeline et Weinberger, 1993.

soutiennent que le cortex est responsable des changements sous-corticaux (Gao et Suga, 2000 ; Sakai et Suga, 2002).

Si des changements de BF se produisent à des intensités supraliminaire, qu'en est-il au seuil, la CF est-elle modifiée ? Ceci n'a pas été étudié systématiquement dans les expériences d'apprentissage, mais, dans au moins une expérience, des modifications sélectives ont été décrites à toutes les intensités pour 25% des enregistrements (voir figure 2 ; voir aussi la figure 10 dans Edeline et Weinberger, 1993). Cela est-il suffisant pour induire des réorganisations de la cartographie corticale similaires à celles obtenues après une lésion

mécanique de la cochlée ? Il n'est pas possible de répondre à cette question puisque, à ce jour, aucune étude n'a tenté d'établir une cartographie d'un cortex sensoriel après une brève période d'apprentissage. Par contre, tant dans le système somesthésique que dans le système auditif, les travaux de Merzenich et collègues ont décrit des réorganisations assez impressionnantes de la topographie corticale après des entraînements perceptifs de longues durées (voir Figure 3). Des singes ont été entraînés à discriminer des couples de stimuli acoustiques constitués soit de deux fois le même stimulus (ce couple est appelé S1) soit de deux stimuli de

fréquences légèrement différentes (ce couple est appelé S2). La détection correcte de S2 permet à l'animal d'obtenir un renforcement alimentaire; mais le S2 est modifié de séance en séance (l'écart entre les 2 fréquences est diminué) de telle sorte que l'animal ne le détecte que dans 70% des cas. Après trois mois d'un tel entraînement, la cartographie du cortex auditif de ces animaux a été établie sous anesthésie générale et comparée à celle d'animaux contrôles (Recanzone et al., 1993). Le nombre de sites corticaux répondant à la fréquence S1 à laquelle l'animal a été entraîné (2.5, 5 ou 8 kHz selon les animaux) est bien plus important chez les animaux entraînés que chez les animaux contrôles, ce qui conduit à un élargissement sélectif de la zone corticale allouée à la fréquence significative (voir Figure 4). De plus, le Q10dB, un indice traditionnel de la sélectivité des ChRs des neurones auditifs, est significativement plus élevé chez les animaux entraînés. Ajoutons enfin que la latence des réponses évoquées est plus longue chez les animaux entraînés, ce qui est interprété par les auteurs comme la conséquence d'un recrutement de nouvelles connexions.

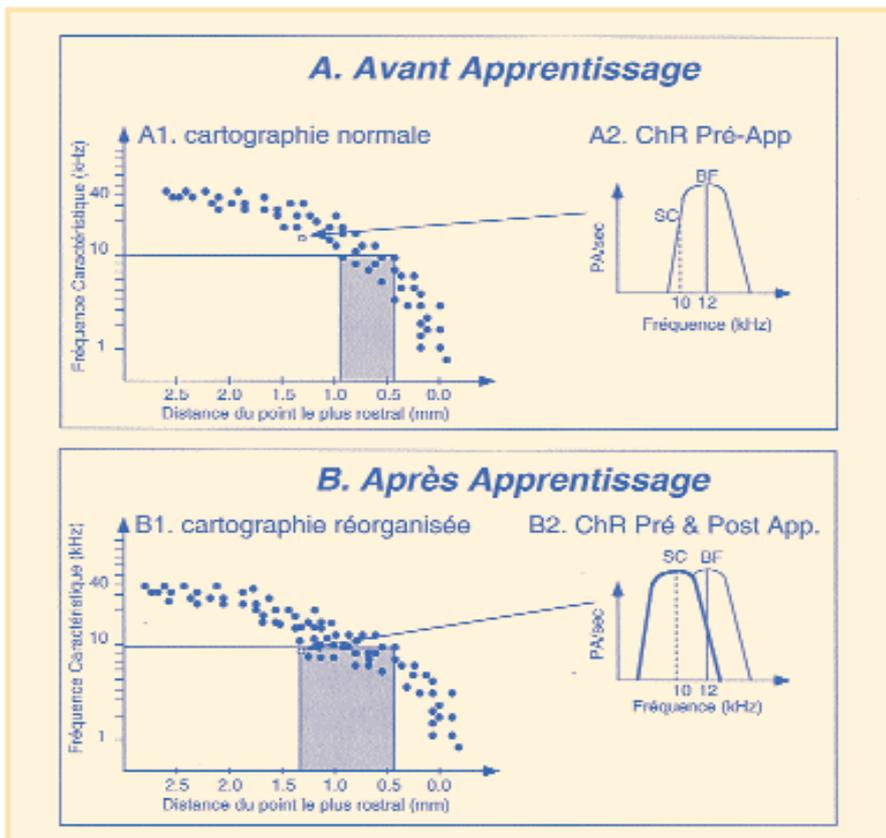


Figure 3 : Relation potentielle entre plasticité des champs récepteurs (ChR) corticaux et réorganisation de cartographie corticale.

Au niveau du cortex auditif primaire du cobaye, l'organisation tonotopique se manifeste par le fait qu'il existe, au seuil, une progression régulière des fréquences préférentielles des neurones (ou groupe de neurones) lorsque l'on se déplace du point le plus rostral vers le point le plus caudal de cette aire corticale (A.1). En un point donné de cette carte, le ChR d'un neurone donné est centré sur la fréquence préférentielle du neurone et est donc un reflet local de l'organisation topographique (A.2). Lorsque, suite à un apprentissage portant sur une fréquence particulière, la fréquence préférentielle du neurone et son ChR sont décalés vers la fréquence du stimulus rendu significatif lors de l'apprentissage (B.2), cela peut traduire une réorganisation de la cartographie corticale de telle sorte que l'aire allouée au stimulus significatif occupe une plus grande surface corticale qu'avant l'apprentissage (B.1). Modifiée d'après Edeline 1999.

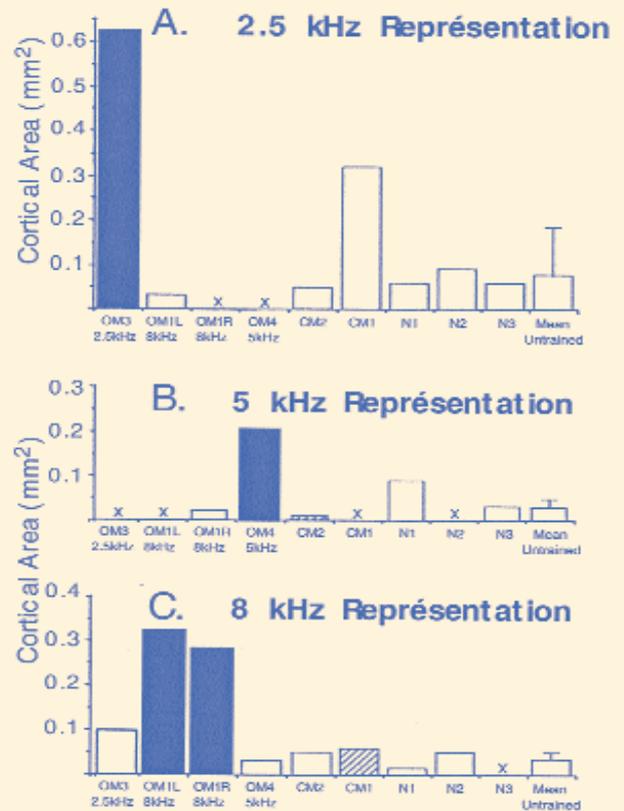
4 PLASTICITÉ INDUITE PAR DES PROTOCOLES MANIPULANT L'ENVIRONNEMENT NEURONAL

Depuis une dizaine d'années, de nombreux laboratoires se sont engagés dans la recherche de mécanismes expliquant la plasticité des cortex sensoriels survenant soit après des lésions périphériques soit

Figure 4 : Plasticité de la tonotopie dans le cortex auditif après un apprentissage perceptif.

Chacun de ces histogrammes représente la surface corticale allouée à la représentation d'une fréquence tonale particulière (2.5 kHz, 5 kHz ou 8 kHz) pour différents animaux soumis à des entraînements perceptifs autour d'une fréquence particulière. Suite à un entraînement à la fréquence de 2.5 kHz (A.), la surface corticale allouée à cette fréquence est d'environ 0.6 mm² pour l'animal entraîné à cette fréquence (OM3), une valeur bien supérieure à celles obtenues chez les autres animaux entraînés à d'autres fréquences ou naïfs (N1, N2, N3). Suite à un entraînement à la fréquence de 5 kHz (B.), la surface corticale allouée à cette fréquence est, pour l'animal entraîné à cette fréquence (OM4), bien supérieure à celles obtenues chez les autres animaux entraînés à d'autres fréquences ou naïfs. Suite à un entraînement à la fréquence de 8 kHz (C.), la surface corticale allouée à cette fréquence est, dans les deux hémisphère de l'animal entraîné à cette fréquence (OM1), bien supérieure à celles obtenues chez les autres animaux entraînés à d'autres fréquences ou naïfs.

Modifiée d'après Recanzone et al., 1993.



après des apprentissages. Le plus souvent, ces études ont temporellement associé la présentation d'un stimulus sensoriel avec celle d'un événement supposé être critique pour l'expression d'une plasticité. Par exemple, la présentation d'une fréquence tonale associée à une augmentation artificielle du taux de décharge d'un neurone cortical peut induire une modification sélective de la réactivité du neurone pour cette fréquence (Cruikshank et Weinberger, 1996).

D'autres expériences ont montré qu'une plasticité très sélective des réponses neuronales pouvait survenir lors de l'association entre la présentation d'une fréquence tonale et la libération d'acétylcholine ou l'activation du système cholinergique issu du noyau basal magnocellulaire (Metherate et Weinberger, 1989, 1990 ; Hars et al., 1993 ; Edeline et al., 1994 ; Bakin et Weinberger, 1996).

Ce type de protocole a conduit à des modifications des ChRs corticaux qui

semblent avoir la même sélectivité que celles survenant lors de réelles situations d'apprentissage (Bakin et Weinberger, 1996).

De plus, lorsque l'association entre l'activation du système cholinergique et la présentation d'une fréquence particulière est répétée pendant plusieurs semaines, des réorganisations importantes, et sélectives, de la cartographie corticale ont été décrites (Kilgard et Merzenich, 1998).

Notons que récemment des données similaires ont été obtenues suite à l'activation du système dopaminergique (Bao et al., 2001). Ces données tendent à montrer que les systèmes neuromodulateurs pourraient jouer un rôle essentiel dans la plasticité sensorielle détectée suite à des apprentissages comportementaux, puisque leur mobilisation semble suffisante, à elle seule, pour produire des phénomènes de plasticité similaires à ceux obtenus lors de l'apprentissage.

5 RELATIONS ENTRE PLASTICITÉ SENSORIELLE ET PERFORMANCE PERCEPTIVES

La question cruciale qui se pose à l'issue de ces expériences est celle de la relation entre ces réorganisations de champs récepteurs et de cartographie corticale et les performances perceptives des sujets. Comme nous allons le voir, il est particulièrement difficile de répondre à cette question. Pour apporter des éléments de réponses, il est fondamental ici de bien distinguer les circonstances dans lesquelles survient la plasticité sensorielle.

Après des lésions périphériques, il a souvent été envisagé que ces réorganisations représentaient une "compensation centrale" de la perte périphérique. Pourtant, comme le soulignent Irvine et collègues (Irvine et al., 2000), cette interprétation est peu vraisemblable : la sensibilité qui est perdue pour une gamme de fréquences du fait d'une lésion cochléaire n'est pas récupérée par les réorganisations centrales. La question qui se pose alors est de savoir si l'existence d'un territoire cortical plus important pour les fréquences en bordure de la zone lésée peut compenser la perte de sensibilité pour les fréquences de la zone cochléaire lésée. Actuellement, aucune donnée expérimentale chez l'animal ne vient étayer cette hypothèse. Ce manque de données dans la littérature animale a conduit Irvine et collègues à examiner les performances perceptives de sujets humains présentant des pertes auditives les plus proches possibles de celles qui, chez un animal, conduisent à des réorganisations de la topographie corticale. La perception de l'intensité et la capacité à discriminer les fréquences tonales de 5 sujets présentant tous des pertes auditives abruptes dans les hautes fréquences ont été étudiées en détail (McDermott et al., 1998). Ces sujets avaient par ailleurs des seuils auditifs normaux pour les basses fréquences adjacentes à leur perte auditive. Chez tous les sujets, la pente relative de la fonction qui quantifie la détection de l'augmentation d'intensité des sons est plus faible à proximité immédiate de la lésion que dans des zones de basses fréquences ayant un seuil similaire ou meilleur. De plus, chez tous les sujets, la plus petite différence de fréquence détectable présente un minimum local à proximité de la zone de la perte auditive. Ces deux résultats indiquent donc qu'en termes de perception des intensités et de discrimination des fréquences, les performances des sujets sont relativement meilleures à proximité de la zone de coupure à partir de laquelle les sujets présentent des pertes auditives (et donc des élévations de seuil très importantes). Bien qu'une étude publiée la même année sur des sujets présentant des pertes auditives similaires n'ait pas relevé

de supériorité en performance discriminative à proximité de la zone lésée (Buss et al., 1998), des données plus récentes ont confirmé et étendu les observations de l'étude de McDermott et collègues (Than-Van et al., 2002). Il est donc fondamental que d'autres études soient effectuées, si possible en conjonction avec des techniques permettant d'objectiver la présence de réorganisations de la topographie corticale, telles que l'IRMf ou la MEG.

Il faut cependant remarquer que ces techniques révèlent parfois des réorganisations surprenantes par rapport à celles observées classiquement chez l'animal par des techniques testant directement la réactivité des populations neuronales. Par exemple, chez des sujets présentant un acouphène tonal (perçu comme une fréquence), la localisation du pic N1 détecté en MEG est déplacée chez un sous-groupe de sujets, ce qui a été interprété comme la signature d'une expansion de la représentation corticale de la fréquence de l'acouphène (Mühlnickel et al., 1998). Deux observations sont cependant à mentionner pour pondérer ce résultat. D'une part, le maximum de perte auditive des sujets dans cette étude était de 25dB (moyenne 13.8dB), ce qui, dans la littérature animale, n'est pas suffisant pour induire des réorganisations corticales (Rajan, 1998). D'autre part, la "réorganisation" qui est décrite (au travers de ce décalage du pic N1) se présente comme un glissement, ou une expansion, de la zone où il y a une perte auditive vers (ou dans) les zones corticales adjacentes, plutôt que comme une expansion des territoires adjacents à la zone lésée. Des études plus détaillées, et impliquant des recoupements entre les résultats obtenus par différentes techniques, sont donc indispensables pour éclaircir ces dissonances entre littérature humaine et animale.

Après des apprentissages comportementaux, la situation n'est pas non plus totalement claire. D'un côté, les modifications de cartographie corticale décrites par Recanzone et collègues après deux à trois mois d'apprentissage perceptif chez le primate semblent indiquer une relation très

étroite entre l'étendue de la représentation corticale allouée à une fréquence tonale particulière et les performances perceptives (Recanzone et al., 1993). La corrélation obtenue ($r=0.88$) indique que plus la zone corticale allouée à une fréquence tonale est importante, meilleures sont les performances de discrimination d'un stimulus présenté autour de cette fréquence. D'un autre côté, la plasticité des ChRs thalamiques et corticaux semble peu en rapport avec les réponses comportementales observées après une brève période d'apprentissage. Au niveau thalamique, des changements sélectifs de ChRs, ou une absence de changement, ont été détectés alors que les animaux exprimaient des réponses conditionnées similaires (Edeline et Weinberger, 1991a). Au niveau cortical, des modifications très sélectives des ChRs ont été observées dans la même proportion dans une tâche de discrimination facile (où l'animal présentait des réponses comportementales différenciées pour les deux fréquences à discriminer) et dans une tâche de discrimination difficile (où les réponses comportementales étaient similaires pour les deux signaux présentés, voir Edeline et Weinberger 1993). Ces résultats ne sont cependant pas complètement contradictoires. On peut légitimement supposer qu'au bout d'une séance unique d'apprentissage, la réponse comportementale de l'animal et la plasticité neuronale observée à l'échelle microscopique (à travers les modifications du ChR d'un neurone unique) ne soient pas corrélées pour de nombreuses raisons (que l'on ne peut décrire en détail ici). Dans un second temps, après un entraînement de plusieurs semaines ou mois, lorsque les performances des sujets tendent vers une asymptote, une relation entre l'étendue des réorganisations corticales et les performances du sujet pourrait émerger. Notons que, dans la littérature humaine, quelques données suggèrent également l'existence de telles relations. Ainsi, dans l'étude de Mühlnickel et al. (1998), une forte corrélation ($r=0.82$) a été rapportée entre l'amplitude des réorganisations corticales et l'amplitude subjective de l'acouphène décrit par les

sujets sur une échelle arbitraire (mais voir ci-dessus les limites de cette étude). De leur côté, Pantev et collègues ont rapporté qu'il existait, chez des musiciens professionnels de haut niveau, une représentation corticale élargie (25% de plus que chez les sujets contrôles) pour les sons de piano (mais pas pour les sons purs de fréquence fondamentale similaire et de même intensité). Qui plus est, ces auteurs ont affirmé que l'élargissement de la représentation corticale était fonction de l'âge auquel les musiciens avaient commencé leur pratique (Pantev et al., 1998).

Finalement, une étude a exploré les modifications de capacités perceptives qui pourraient résulter d'une plasticité corticale induite par à des protocoles "artificiels" (Talwar et Gerstein, 2001). Dans cette étude, les auteurs ont utilisé la technique de micro-stimulation intracorticale, qui avait déjà été utilisée dans le passé pour induire des réorganisations de cartographie dans le cortex somesthésique, ainsi que des modifications de ChRs dans le cortex auditif. Une matrice d'électrodes est tout d'abord implantée dans le cortex auditif des animaux ; cette matrice est constituée de fils métalliques très fins (25µm) disposés tous les 300µm selon l'axe rostro-caudal de l'aire auditive primaire. Puis, après avoir déterminé les capacités de discrimination fréquentielle de chaque animal, un site cortical où les neurones répondent pour une gamme de fréquences donnée (par exemple 12kHz) est stimulé répétitivement pendant quatre heures avec de faibles courants (typiquement 5 µA). Ces micro-stimulations provoquent des modifications sélectives des ChRs aux sites corticaux situés de part et d'autre de la zone stimulée, là où les neurones répondent initialement pour des fréquences plus basses (6 kHz) ou pour des fréquences plus hautes (18 kHz). Ces effets se produisent aux sites corticaux situés à 300µm du site stimulé (mais pas pour des sites plus distants) et se dissipent dans les heures qui suivent la fin des stimulations. Les capacités de discrimination des animaux sont re-testées dans les minutes qui suivent la fin du protocole de stimulation. L'expérience a été répétée

plusieurs jours de suite : les animaux sont donc quotidiennement testés avant et après l'expansion d'une zone corticale allouée à une fréquence donnée. Sur les 10 animaux de cette étude, un seul a présenté des modifications de capacités perceptives après les microstimulations, et cette augmentation de performance peut, en partie, s'expliquer par un biais de réponse (une plus grande proportion de "fausses alarmes") après les stimulations. Les auteurs en ont donc logiquement conclu que l'induction d'une plasticité neuronale capable d'étendre la représentation corticale pour un stimulus donné n'est pas suffisante pour améliorer les capacités perceptives des sujets. Cette donnée ne doit pas être interprétée comme une évidence que les cortex sensoriels, et leur plasticité lors de situations d'apprentissage, ne servent pas les capacités perceptives des animaux. En fait, chez des animaux entraînés dans des tâches de détection entre stimuli, l'inactivation bilatérale du cortex auditif empêche toute capacité de discrimination chez tous les sujets testés (Talwar et al., 2001). Par contre, ce qu'indiquent clairement les résultats issus de l'expérience de microstimulation de Talwar et Gerstein (2001), c'est qu'une plasticité induite pour un stimulus qui n'a aucune signification comportementale pour l'animal n'est d'aucune utilité pour les performances perceptives de l'animal.

6 CONCLUSIONS

Que peut-on conclure à l'issue de ce bref survol sur la plasticité du système auditif central ? Tout d'abord, que le dogme selon lequel les systèmes sensoriels ne se réorganisent que pendant "des périodes critiques" au cours du développement n'est plus tenable actuellement. La plasticité des systèmes sensoriels adultes est devenue en 10 ans un domaine de recherche en pleine expansion. Plusieurs

circonstances semblent capables de conduire à des réorganisations au sein des structures sensorielles. Suite à des lésions précises de l'épithélium sensoriel, des réorganisations de la topographie corticales surviennent et semblent en partie sous-tendues par des modifications survenant dès certains étages sous-corticaux. Dans ce domaine, il paraît crucial de bien distinguer les phénomènes de plasticité réels des phénomènes de pseudo-plasticité qui résultent des résidus de réponses observées immédiatement après une lésion d'une partie de la cochlée. Des réorganisations considérables de la topographie corticale surviennent également lors d'apprentissages comportementaux, et les changements sélectifs des champs récepteurs des neurones corticaux et sous-corticaux sont certainement les prémices à ces modifications de topographie. Ici encore, la contribution des étages sous-corticaux à la plasticité corticale est plus que probable. Enfin, les systèmes neuro-modulateurs, qui sont de façon très générale mobilisés lors d'augmentations du niveau de vigilance ou d'attention, semblent capables à eux seuls de produire des réorganisations considérables de la cartographie corticale.

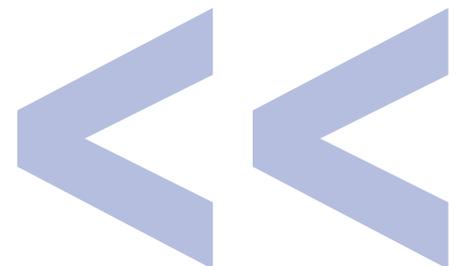
Les différentes conditions dans lesquelles des réorganisations surviennent sont toutes à prendre en compte, car elles peuvent survenir simultanément sur un même individu. Par exemple, un sujet victime d'une perte auditive subite (qu'il le veuille ou non), des réorganisations considérables de l'organisation tonotopique corticale. Si ce sujet entreprend activement une "ré-éducation" pour essayer de mieux discerner les fréquences tonales pour lesquelles l'épithélium sensoriel est détérioré, des phénomènes supplémentaires de plasticité vont certainement être mis en jeu et interagir avec les phénomènes de plasticité qui interviennent spontanément après une lésion. On ne peut que spéculer sur le fait que ces différents types de plasticité vont opérer en synergie pour permettre une récupération et/ou la meilleure compensation possible. Poser un implant cochléaire sur un tel sujet va aussi déclencher d'autres phénomènes de

plasticité certainement très complexes. De ce fait, l'observation de réorganisations corticales décrites par les techniques d'imagerie modernes après la pose d'implants cochléaires est un phénomène délicat à interpréter. Quelle est la part qui revient aux réorganisations spontanées, à celles qui résultent des efforts volontaires du sujet pour compenser son déficit, à celles qui résultent de la pose de l'implant et des efforts du sujet pour s'adapter au nouveau mode de fonctionnement que l'implant impose à tout son système auditif ? Il est impossible actuellement de répondre à cette question, et il est certain que beaucoup d'efforts de recherche doivent être entrepris, tant chez l'homme que chez l'animal, pour essayer de clarifier ce domaine. Nul doute que les malentendants bénéficieront à long-terme de ces efforts de recherche, mais il est important qu'un dialogue s'établisse entre recherche fondamentale et recherche clinique pour déboucher plus rapidement sur des solutions.

BIBLIOGRAPHIE

- Bakin, J. S. & Weinberger, N. M.** (1990) Classical conditioning induces CS-specific receptive field plasticity in the auditory cortex of the guinea pig. *Brain Res.*, 536, 271-286.
- Bakin, J. S. & Weinberger, N. M.** (1996) Induction of a physiological memory in the cerebral cortex by stimulation of the nucleus basalis. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 93, 11219-11224.
- Bakin, J.S., South, D.A. & Weinberger N.M.** (1996) Induction of receptive field plasticity in the auditory cortex of the guinea pig during instrumental avoidance conditioning. *Behav. Neurosci*, 110, 905-913.
- Bao S, Chan VT, Merzenich MM.**(2001) Cortical remodelling induced by activity of ventral tegmental dopamine neurons. *Nature* 412(6842):79-83.
- Buss E, Hall JW 3rd, Grose JH, Hatch DR.** (1998) Perceptual consequences of peripheral hearing loss: do edge effects exist for abrupt cochlear lesions? *Hear Res.*;125(1-2):98-108.
- Calford MB, Tweedale R.** (1988) Immediate and chronic changes in responses of somatosensory cortex in adult flying-fox after digit amputation. *Nature*; 332(6163):446-8.
- Calford MB, Tweedale R.** (1991) C-fibres provide a source of masking inhibition to primary somatosensory cortex. *Proc R Soc Lond B Biol Sci.*; 243(1308):269-75.
- Diamond, D. M. & Weinberger, N. M.** (1986) Classical conditioning rapidly induces specific changes in frequency receptive fields of single neurons in secondary and ventral ectosylvian auditory cortical fields. *Brain Res.*, 372, 357-360.
- Diamond, D. M. & Weinberger, N. M.** (1989) Role of context in the expression of learning-induced plasticity of single neurons in auditory cortex. *Behav. Neurosci.*, 103, 471-494.
- Edeline, J-M.** (1999) Learning-induced physiological plasticity in the thalamo-cortical sensory system: A critical evaluation of receptive field plasticity and maps changes and their potential mechanisms. *Prog Neurobiol.* , 57, 165-224.
- Edeline, J-M. & Weinberger N.M.** (1991a) Subcortical adaptive filtering in the auditory system : associative receptive field plasticity in the dorsal medial geniculate body. *Behav. Neurosci.*, 105, 154-175.
- Edeline, J-M. & N. M. Weinberger** (1991b) Thalamic short-term plasticity in the auditory system: Associative retuning of receptive fields in the ventral medial geniculate body. *Behav. Neurosci.*, 105, 618-639.
- Edeline, J-M. & N. M. Weinberger** (1992) Associative retuning in the thalamic source of input to the amygdala and auditory cortex: Receptive field plasticity in the medial division of the medial geniculate body. *Behav. Neurosci.*, 106, 81-105.
- Edeline, J-M & Weinberger N.M.** (1993) Receptive field plasticity in the auditory cortex during frequency discrimination training: selective retuning independent of task difficulty. *Behav. Neurosci.*, 107, 82-103.
- Edeline, J-M, Pham P. & Weinberger N.M.** (1993) Rapid development of learning-induced receptive field plasticity in the auditory cortex. *Behav. Neurosci.*, 107, 539-551.
- Edeline, J-M, Hars, B., Maho, C. & Hennevin, E.** (1994) Transient and prolonged facilitation of tone-evoked responses induced by basal forebrain stimulation in the rat auditory cortex. *Experimental Brain Research*, 97, 373-386.
- Evans EF & Whitfield IC** (1964) Classification of unit responses in the auditory cortex of the unanesthetized and unrestrained cat. *J. Physiol (London)* 171, 476-493
- Gao E, Suga N.** (1998) Experience-dependent corticofugal adjustment of midbrain frequency map in bat auditory system. *Proc Natl Acad Sci U S A*;95(21):12663-70.
- Gao E, Suga N.** (2000) Experience-dependent plasticity in the auditory cortex and the inferior colliculus of bats: role of the corticofugal system. *Proc Natl Acad Sci U S A*;97(14): 8081-6.
- Gilbert, C. D.** (1993) Rapid dynamic changes in adult cerebral cortex. *Curr. Opin. Neurobiol.*, 3, 100-103.
- Harrison RV, Nagasawa A, Smith DW, Stanton S, Mount RJ.** (1991) Reorganization of auditory cortex after neonatal high frequency cochlear hearing loss. *Hear Res.*;54(1):11-9.
- Hars, B., Maho, C., Edeline, J-M & Hennevin, E.** (1993) Basal Forebrain stimulation facilitates tone-evoked responses in the auditory cortex of awake rat. *Neuroscience*, 56, 61-74.
- Hubel, D. H., Henson, C. O., Rupert, A. & Galambos, R.** (1959) "Attention" units in the auditory cortex. *Science*, 129, 1279-1280.
- Irvine DR.** (2000) Injury- and use-related plasticity in the adult auditory system. *J Commun Disord.*;33(4):293-311.

- Irvine DR, Rajan R, Wise LZ, Heil P.** (1991) Effect of restricted cochlear lesions in adult cats on frequency organization of inferior colliculus in adult cats. *Proc. Aus. Neurosci. Soc.* 2, 31.
- Irvine DR, Rajan R, Robertson D** (1992) Plasticity in auditory cortex of adult mammals with restricted cochlear lesions. In RN Singh (Ed) "Nervous Systems : Principles of design and function", Wiley Eastern Limited, New Delhi, 319-349.
- Irvine DR, Rajan R, McDermott HJ.** (2000) Injury-induced reorganization in adult auditory cortex and its perceptual consequences. *Hear Res.*;147:188-99.
- Kaltenbach JA, Czaja JM, Kaplan CR.** (1992) Changes in the tonotopic map of the dorsal cochlear nucleus following induction of cochlear lesions by exposure to intense sound. *Hear Res.*;59(2):213-23.
- Kaas, J. H.** (1991) Plasticity of sensory and motor maps in adult mammals. *Ann. Rev. Neurosci.*, 14, 137-167.
- Kilgard MP, Merzenich MM.** (1998) Cortical map reorganization enabled by nucleus basalis activity. *Science*; 279(5357): 1714-8.
- Kisley MA, Gerstein GL.** (2001) Daily variation and appetitive conditioning-induced plasticity of auditory cortex receptive fields. *Eur J Neurosci.* 13(10):1993-2003.
- McDermott HJ, Lech M, Kornblum MS, Irvine DR.** (1998) Loudness perception and frequency discrimination in subjects with steeply sloping hearing loss: possible correlates of neural plasticity. *J Acoust Soc Am.*104:2314-25.
- Meleca RJ, Kaltenbach JA, Falzarano PR.** (1997) Changes in the tonotopic map of the dorsal cochlear nucleus in hamsters with hair cell loss and radial nerve bundle degeneration. *Brain Res.*;750(1-2):201-13.
- Metherate R & Weinberger NM** (1989) Acetylcholine produces stimulus-specific receptive field alterations in cat auditory cortex. *Brain Res.* 480: 372-377
- Metherate R & Weinberger NM** (1990) Cholinergic modulation of responses to single tones produces tone-specific receptive field alterations in cat auditory cortex. *Synapse* 6: 133-45
- Mühlnickel W, Elbert T, Taub E, Flor H.** (1998) Reorganization of auditory cortex in tinnitus. *Proc Natl Acad Sci USA*; 95(17):10340-3.
- Pantev C, Oostenveld R, Engelien A, Ross B, Roberts LE, Hoke M.** (1998) Increased auditory cortical representation in musicians. *Nature*; 392(6678):811-4.
- Rajan R.** (1998) Receptor organ damage causes loss of cortical surround inhibition without topographic map plasticity. *Nat Neurosci.*;1(2):138-43.
- Rajan R, Irvine DR.** (1996) Feature of and boundary conditions for lesion-induced reorganizations of adult auditory cortical maps. In Salvi RJ et al. (Ed) "Auditory system, plasticity and regeneration" Thema, New York 224-237.
- Rajan R, Irvine DR.** (1998) Absence of plasticity of the frequency map in dorsal cochlear nucleus of adult cats after unilateral partial cochlear lesions. *J Comp Neurol.* 14;399(1):35-46.
- Rajan R, Irvine DR, Wise LZ, Heil P.** (1993) Effect of unilateral partial cochlear lesions in adult cats on the representation of lesioned and unlesioned cochleas in primary auditory cortex. *J Comp Neurol.* 338(1):17-49.
- Recanzone, G. H., Schreiner, C. E. & Merzenich, M. M.** (1993) Plasticity in the frequency representation of primary auditory cortex following discrimination training in adult owl monkeys. *J. Neurosci.*, 13, 87-103.
- Robertson D and Irvine DRF** (1989) Plasticity of frequency organization in auditory cortex of guinea pigs with partial unilateral deafness. *J. Comp. Neurol.*, 282, 456-471.
- Sakai M, Suga N.** (2002) Centripetal and centrifugal reorganizations of frequency map of auditory cortex in gerbils. *Proc Natl Acad Sci U S A.*; 99(10): 7108-12.
- Talwar SK, Gerstein GL.** (2001) Reorganization in awake rat auditory cortex by local microstimulation and its effect on frequency-discrimination behavior. *J Neurophysiol.* ;86(4):1555-72.
- Talwar SK, Musial PG, Gerstein GL.** (2001) Role of mammalian auditory cortex in the perception of elementary sound properties. *J Neurophysiol.* ;85(6):2350-8.
- Thai-Van H, Micheyl C, Norena A, Collet L.** (2002) Local improvement in auditory frequency discrimination is associated with hearing-loss slope in subjects with cochlear damage. *Brain.*;125:524-37.
- Wang J, Salvi RJ, Powers N.** (1996) Plasticity of response properties of inferior colliculus neurons following acute cochlear damage. *J Neurophysiol.*, 75(1):171-83.
- Wang J, Ding D, Salvi RJ.** (2002) Functional reorganization in chinchilla inferior colliculus associated with chronic and acute cochlear damage. *Hear Res.*;168(1-2):238-49.
- Weinberger, NM** (1995) Dynamic regulation of receptive fields and maps in the adult sensory cortex. *Ann. Rev. Neurosci.*, 18, 129-158.
- Weinberger, N. M. & Diamond, D. M.** (1987) Physiological plasticity in auditory cortex: rapid induction by learning. *Prog. Neurobiol.*, 29, 1-55.
- Wiesel, T. N. & Hubel, D. H.** (1963) Single-cell responses in striate cortex of kittens deprived of vision in one eye. *J. Neurophysiol.*, 26, 1003-1017.
- Wiesel, T. N. & Hubel, D. H.** (1965) Comparison of the effects of unilateral and bilateral eye closure on cortical unit responses in kittens. *J. Neurophysiol.*, 28, 1029-1040.



Rencontrons-nous.

Avec le nouvel Entendre,
vous pouvez bénéficier, dès maintenant,
d'une journée de séminaire exclusif de très haut niveau.

Entendre a changé
Profitons de cette rencontre
pour parler de votre projet personnel

Entendre vous invite*
le 12 MAI 2003
Hôtel Hilton Orly

*sur réservation, séminaire et lunch offerts

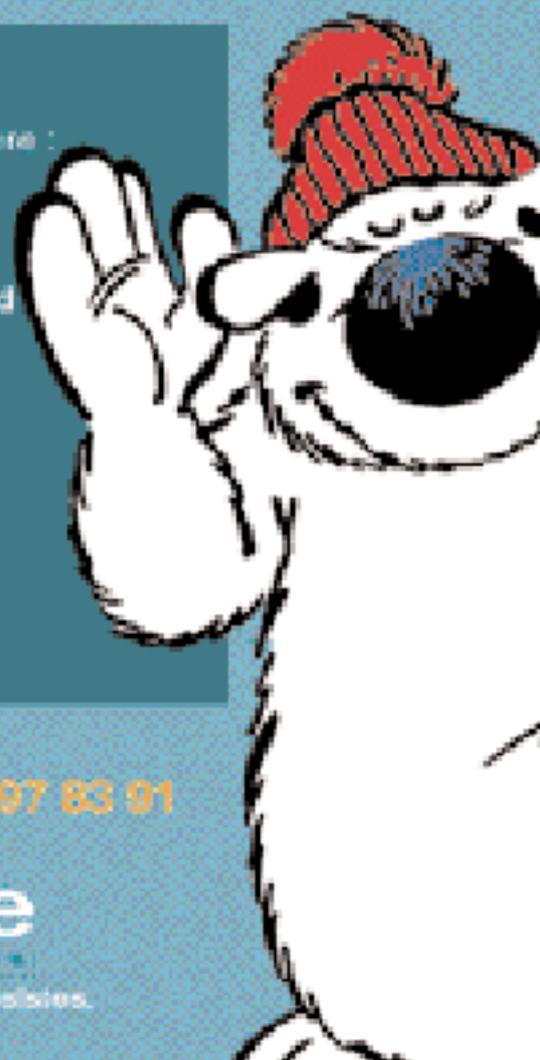


MATIN :

- La non linéarité du fonctionnement cochléaire : bases physiologiques
Professeur Lionel COLLET, Lyon
- Biomécanique cochléaire
Professeur Paul AVAN, Clermont-Ferrand
Lunch sur place

APRES MIDI :

- La non linéarité dans les aides auditives
 - Bases théoriques
 - Principes techniques
 - Méthodologie d'adaptation
- Stéphane Garnier, Dr. en Ingénierie Médicale, Audioprothésiste D.E.



Inscrivez-vous dès maintenant au **01 43 97 83 91**

 **entendre**

appareils auditifs

Le Groupe leader et expert d'audioprothésistes.

AxiENT de nouveaux bénéfices offerts à vos patients...



AxiENT II est le produit phare d'une gamme d'aides auditives numériques développées par Starkey. L'algorithme unique d'AxiENT II procure une clarté et des performances qui permettent de répondre à la plupart des besoins auditifs. Avec 4 canaux de compression WDR[®] mais de fréquences de coupures réglables et 8 bandes pour ajuster de manière optimale la réponse en fréquence, AxiENT II possède également les dispositifs suivants :

Réduction adaptative de bruit

Améliore le confort d'écoute en réduisant le gain uniquement dans les canaux où le bruit ambiant interfère avec le parole.

Exposition multi-canal

L'assure que le bruit du circuit et que les bruits faibles ambiants ne sont pas nocifs pour le patient.

Annulation adaptative de larsen

Élimine le larsen en temps réel sans réduire le gain ni modifier la courbe de réponse.

Le patient peut téléphoner, mettre un chapeau, se passer le main dans les cheveux tout naturellement !

Audition optimisée

Le patient entend où il regarde !

La capacité du patient à comprendre dans le bruit et dans les environnements bruyants est augmentée grâce à la mise en fonction automatique de microphones directionnels permettant ainsi d'augmenter le rapport signal/bruit.

En combinaison avec toutes ces fonctions avancées, AxiENT II vous permet également de pratiquer une audiométrie in-vivo ainsi que des tests de confort et d'inconfort très utiles pour optimiser les réglages avec votre patient. Toutes les fonctions d'AxiENT II sont configurables grâce au logiciel FFD v. 3.3 (Professional Fitting System).

Nous vous invitons à prendre en considération la qualité et la variété de ces dispositifs qui seront autant de bénéfices offerts à vos patients.



LE TRAITEMENT DES STIMULI AUDITIFS PENDANT LE SOMMEIL

Dans quelle mesure le sujet endormi peut-il détecter et analyser les stimuli qui surviennent dans son environnement ? La question est ancienne mais toujours largement débattue. Etant donné que c' est par le biais du canal acoustique que l' organisme endormi est le plus susceptible de rester en contact avec le monde extérieur, la plupart des études se sont focalisées sur le traitement des stimuli auditifs. Nous présentons ici les principaux résultats obtenus au cours de ces dix dernières années. Les deux premières parties sont consacrées aux recherches effectuées chez l' animal. Elles abordent deux questions. Pendant le sommeil, les neurones auditifs codent-ils encore les paramètres physiques des stimuli acoustiques ? Sont-ils capables de reconnaître un stimulus sonore significatif, c' est-à-dire le traitent-ils différemment d' un stimulus neutre ? La troisième partie présente les expériences qui ont, chez l' homme, enregistré les potentiels évoqués auditifs émis en réponse à des stimuli de saillance physique ou émotionnelle différente. Nous verrons que toutes ces études vont à l' encontre de l' idée, pourtant encore largement répandue, selon laquelle le sommeil est un état d' isolement sensoriel. Toutes en effet montrent clairement que des capacités permettant la détection et la discrimination des stimuli auditifs sont préservées pendant le sommeil.

The extent to which the sleeping brain remains able to monitor external stimuli is an old but still debated question. Answering it constitutes an important challenge intersecting the fields of sensory physiology and sleep research. Because the sleeping organism receives information from the external world mainly through acoustic input, auditory stimuli have been extensively used to assess the extent and limits of sensory information processing during sleep. A survey of the studies performed over the last ten years is presented here. The first two sections summarize the results obtained in animal studies. Two issues are addressed. First, do auditory neurons still code the sound physical parameters during sleep? Second, are they able to recognize a behaviorally relevant tone during sleep? The third section is devoted to human studies that recorded the auditory evoked potentials elicited by physically or emotionally salient stimuli. All these studies argue against the commonly accepted view that sleep is a state of sensory isolation. Indeed, all of them indicate that some aspects of auditory processing, allowing the detection and discrimination of auditory stimuli, are preserved during sleep.

A bien des égards, qu'il s'agisse des mécanismes physiologiques qui le sous-tendent, des fonctions qu'il remplit ou des activités cognitives qui peuvent y prendre place, le sommeil reste un monde mystérieux qui continue de faire l'objet d'une intense investigation. L'une des questions les plus débattues concerne les capacités de traitement de l'information pendant le sommeil. Vaste question, qui ne sera abordée ici que sous l'une de ses facettes, celle qui a trait aux capacités de détection et d'analyse des stimuli externes, auditifs en l'occurrence.

On considère généralement le sommeil comme un état d'isolement sensoriel. Cependant, même si la baisse de réactivité aux stimuli externes ne peut évidemment être niée, l'organisme endormi n'est pas totalement déconnecté de son environnement : que le dormeur puisse être réveillé par des stimuli externes en est la preuve la plus évidente. Les études qui ont évalué le pouvoir éveillant de stimuli présentés pendant le sommeil (revue dans Bonnet,

1982) ont l'intérêt d'avoir montré que ce pouvoir dépendait des interactions entre de multiples facteurs, en particulier (1) le stade de sommeil dans lequel se trouve le dormeur (et donc, la profondeur du sommeil), (2) l'activité mentale en cours (le fait que le dormeur soit ou non en train de rêver par exemple), (3) la nature et les caractéristiques physiques du stimulus (en particulier, bien sûr, son intensité), et (4) l'expérience antérieure du sujet (la nouveauté ou, plus encore, la signification du stimulus pour le sujet). Mais prendre le réveil du sujet comme seul indice de la détection des stimuli pendant le sommeil ne peut conduire qu'à des conclusions très limitées, pour deux raisons : d'une part, la présence d'un réveil indique que le stimulus a été détecté mais ne renseigne en rien sur la nature du traitement qui a été effectué ; d'autre part et surtout, une absence de réveil ne veut pas dire que le stimulus n'a pas été traité. Évaluer les capacités de traitement sensoriel pendant le sommeil nécessite donc d'utiliser des stimuli non-

PR ELIZABETH HENNEVIN

NAMC, UMR 8620
Université Paris-Sud, 91405 Orsay Cedex

éveillants et de recueillir des indices centraux : enregistrement des potentiels évoqués ou des réponses neuronales aux différents étages du système sensoriel considéré chez l'animal ; enregistrement sur le scalp des potentiels évoqués ou, comme cela commence à se faire, études d'imagerie fonctionnelle chez l'homme.

Nous avons parlé plus haut de stade de sommeil. En effet, le sommeil n'est pas un état uniforme. Deux états de sommeil, aux caractéristiques radicalement différentes, doivent être distingués : d'une part, le sommeil paradoxal (SP), qui se caractérise par des ondes électroencéphalographiques (EEG) de bas voltage et de fréquence élevée (comme dans la veille donc), une atonie posturale et la survenue de mouvements oculaires rapides (d'où l'appellation "rapid-eye movement sleep" adoptée par les anglo-saxons) ; d'autre part, un sommeil qui, par opposition au précédent, est qualifié de non-paradoxal et au sein duquel on distingue (tout au moins chez l'homme) quatre stades allant du stade 1, le plus léger, au stade 4, le plus profond. Le stade 1 n'est encore qu'un état de transition entre veille et sommeil. Le stade 2 se caractérise principalement par l'apparition d'ondes EEG en fuseau. Les stades 3 et 4 constituent le sommeil à ondes lentes (SL) car y apparaissent puis y prédominent des ondes EEG d'amplitude élevée et de fréquence faible. Notons qu'une activité mentale peut prendre place dans tous les stades de sommeil ; cependant, l'idée prévaut que les rêves à proprement parler sont beaucoup plus étroitement associés au SP qu'aux autres stades. Chez l'animal, on ne distingue le plus souvent que le SL et le SP.

Étant donné que c'est par le biais du canal acoustique que l'organisme endormi est le plus susceptible de rester en contact avec le monde extérieur, la littérature sur le traitement des stimuli auditifs pendant le sommeil est abondante. Nous n'en donnons ici qu'un rapide aperçu qui illustrera, par quelques résultats marquants obtenus

au cours de ces dernières années, les grandes approches utilisées chez l'animal et chez l'homme. Pour des raisons faciles à comprendre, peu d'études ont pu tester la réactivité aux stimuli pendant tous les stades de sommeil. Il serait donc prématuré de vouloir comparer les capacités de traitement existant dans les différents stades. Néanmoins, ces capacités diffèrent probablement d'un stade à l'autre, comme nous en verrons quelques exemples plus bas.

RÉPONSES NEURONALES À DES STIMULI NEUTRES : ÉTUDES AUX DIFFÉRENTS ÉTAGES DU SYSTÈME AUDITIF CHEZ L'ANIMAL

S'interroger sur le traitement des stimuli acoustiques pendant le sommeil pose d'abord la question du devenir des messages au sein du système auditif. Les premiers travaux relatifs à cette question ont montré que les caractéristiques des potentiels évoqués corticaux et sous-corticaux enregistrés pendant le SL différaient notablement de ceux recueillis dans la veille, alors que les différences étaient moins marquées entre veille et SP (voir par exemple Hall & Borbely, 1970, et pour d'autres références et discussion, Coenen, 1995; Velluti, 1997; Meeren et al., 2001). Les études plus récentes ont privilégié une technique à résolution plus fine, celle des enregistrements unitaires extracellulaires¹ chez l'animal non drogué, maintenu en contention. Ainsi, après avoir montré que les potentiels enregistrés à la périphérie auditive (potentiel microphonique et potentiel composite du nerf auditif) étaient plus amples pendant le SL que pendant la veille et retrouvaient une amplitude comparable à celle de la veille pendant le SP (Velluti et al., 1989), l'équipe de Ricardo Velluti a étudié les réponses neuronales évoquées par un son de fréquence pure dans les différents

étages du système auditif. Au niveau du noyau cochléaire, le passage de la veille au SL s'accompagne majoritairement d'une augmentation des réponses évoquées, et il en est de même lors du passage du SL au SP : dans les deux cas, la moitié des cellules présente des réponses augmentées, l'autre moitié présentant, en proportions équivalentes, des réponses soit diminuées soit inchangées (Pena et al., 1992). Aux deux étages suivants (olive latérale supérieure et colliculus inférieur), aucun changement dominant n'est observé : que ce soit de la veille au SL ou du SL au SP, la même proportion de neurones présente des réponses augmentées, diminuées ou inchangées (Pedemonte et al., 1994; Morales-Cobas et al., 1995). Enfin, la moitié des neurones du cortex auditif primaire montre des réponses d'amplitude comparable dans la veille, le SL et le SP ; l'autre moitié a pour un quart des réponses augmentées, pour un quart des réponses diminuées (Pena et al., 1999). Ces résultats indiquent donc clairement que la transmission du message auditif n'est pas bloquée pendant le sommeil. Ils suggèrent également que les différents étages du système auditif ne sont pas affectés de la même façon par les changements d'état de vigilance. Les données que nous avons recueillies dans le thalamus auditif (non exploré par l'équipe de Velluti) renforcent cette idée. En effet, contrastant avec les changements modérés rapportés pour les étages inférieurs et le niveau cortical, la quasi-totalité (97/102) des neurones enregistrés dans le corps genouillé médian (CGM) présente en SL des réponses diminuées (Edeline et al., 2000).

Cependant, examiner les réponses à un stimulus unique ne donne qu'une image très incomplète de la dynamique du traitement sensoriel. Comprendre comment ce traitement est modifié pendant le sommeil nécessite de quantifier les paramètres fondamentaux qui caractérisent le codage sensoriel, à savoir la taille des champs

¹ L'activité d'un seul neurone (enregistrement unitaire) est enregistrée par le biais d'une micro-électrode à haute impédance, placée à proximité immédiate du neurone (enregistrement extracellulaire).

récepteurs (ChR), la sélectivité des réponses pour une dimension donnée du stimulus, le seuil et la latence des réponses. Nous avons donc comparé les ChRs aux fréquences² des neurones thalamiques pendant la veille, le SL et le SP. Pendant le SL, les neurones du CGM se comportent comme une population homogène : comparativement à la veille, 95% d'entre eux ont un ChR plus petit (voir les exemples présentés dans les figures 1 et 2), une sélectivité accrue, un seuil de réponse plus élevé, une latence plus longue et plus variable. Pendant le SP par contre, une dichotomie existe entre deux populations de cellules : certaines (60%) présentent des ChRs encore plus petits qu'en SL, alors que d'autres (40%) présentent des ChRs comparables à ceux observés en veille (Edeline et al., 2000). Le même type d'étude effectué au niveau du cortex auditif primaire a révélé une hétérogénéité des réponses cellulaires plus marquée qu'au niveau thalamique. Pendant le SL et le SP, plus de la moitié des neurones corticaux enregistrés présente des modifications significatives dans la taille de leur ChR et la sélectivité de leurs réponses évoquées, mais ces changements se font dans une direction pour certains neurones et dans la direction opposée pour d'autres neurones. De ce fait, sur l'ensemble de la population testée, ni la taille des ChRs ni la sélectivité des réponses évoquées n'est en moyenne significativement modifiée, que ce soit pendant le SL ou le SP (Edeline et al., 2001). Notons que les changements de ChR que nous avons observés aux niveaux thalamique et cortical diffèrent fondamentalement de ceux qui ont été décrits dans la littérature lors de changements spontanés de l'EEG chez des animaux anesthésiés, ce qui montre que, malgré certaines ressemblances apparentes, le sommeil naturel ne peut pas être assimilé à l'état anesthésié.

Il est clair qu'un énorme travail reste à faire pour déterminer comment les états de sommeil affectent les opérations de

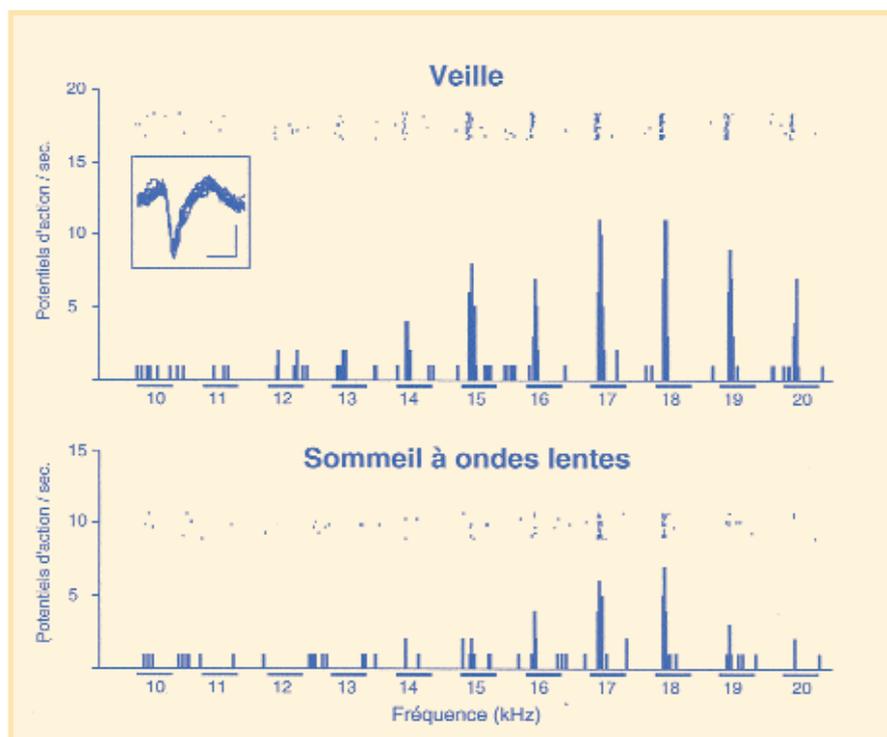


Figure 1 : Réponses évoquées dans le champ récepteur d'un neurone du thalamus auditif pendant la veille et le sommeil à ondes lentes (SL).

Dix présentations successives de la gamme de fréquences (10-20 kHz) à laquelle le neurone répondait ont été effectuées dans la veille et le SL, à une intensité de 30 dB. La durée de chaque son était de 100 ms (barres noires sous les histogrammes), et l'intervalle entre les sons d'une seconde (seules les 100 ms précédant chaque son sont ici représentées). Les histogrammes (classes de 5 ms) représentent les réponses évoquées cumulées sur l'ensemble des 10 présentations. Les décharges enregistrées à chacune des 10 présentations sont montrées au dessus des histogrammes ; chaque point indique l'apparition d'un potentiel d'action. L'insert montre la forme du potentiel d'action (30 échantillonnages, acquis à 50 kHz ; échelle : 0,5 mV, 0,5 ms). Pour ce neurone, situé dans la partie médiane du CGM, une forte atténuation des réponses évoquées et un net rétrécissement du champ récepteur ont été observés dans le SL comparativement à la veille. Cet exemple est représentatif de l'ensemble de la population neuronale enregistrée dans le CGM. Figure modifiée, tirée de Edeline et al., 2000.

codage des neurones auditifs. Des résultats obtenus pour le moment, il ressort qu'au sein d'une structure donnée, les neurones auditifs sont touchés de manière différentielle par les changements d'état de vigilance, probablement du fait de différences dans les types cellulaires co-existant au sein d'une même structure et/ou de différences dans les afférences (auditives et non-auditives) que reçoivent les neurones. Il ressort également que les changements qui surviennent à un étage donné du système auditif ne reflètent que très partiellement ceux qui surviennent en amont, ce

qui souligne la relative indépendance du traitement qui prend place à chaque étage. En tout cas, le fait que les ChRs des neurones thalamiques et corticaux ne soient pas désorganisés (même si leur taille est réduite pour certains neurones) et que le codage de l'intensité et la sélectivité des réponses soient préservés suggère que le message auditif conserve un certain contenu informatif et que des capacités d'analyse des stimuli sonores persistent pendant le sommeil. Les résultats obtenus par d'autres approches appuient, nous allons le voir, cette idée.

² Un neurone auditif ne répond qu'à une certaine gamme de fréquences tonales, plus ou moins étroite selon les neurones et selon les structures. Caractériser le ChR aux fréquences d'un neurone consiste donc à déterminer la gamme de fréquences à laquelle le neurone répond et à quantifier les réponses qu'il donne à chaque fréquence. Plus le ChR est étroit, plus le neurone est sélectif.

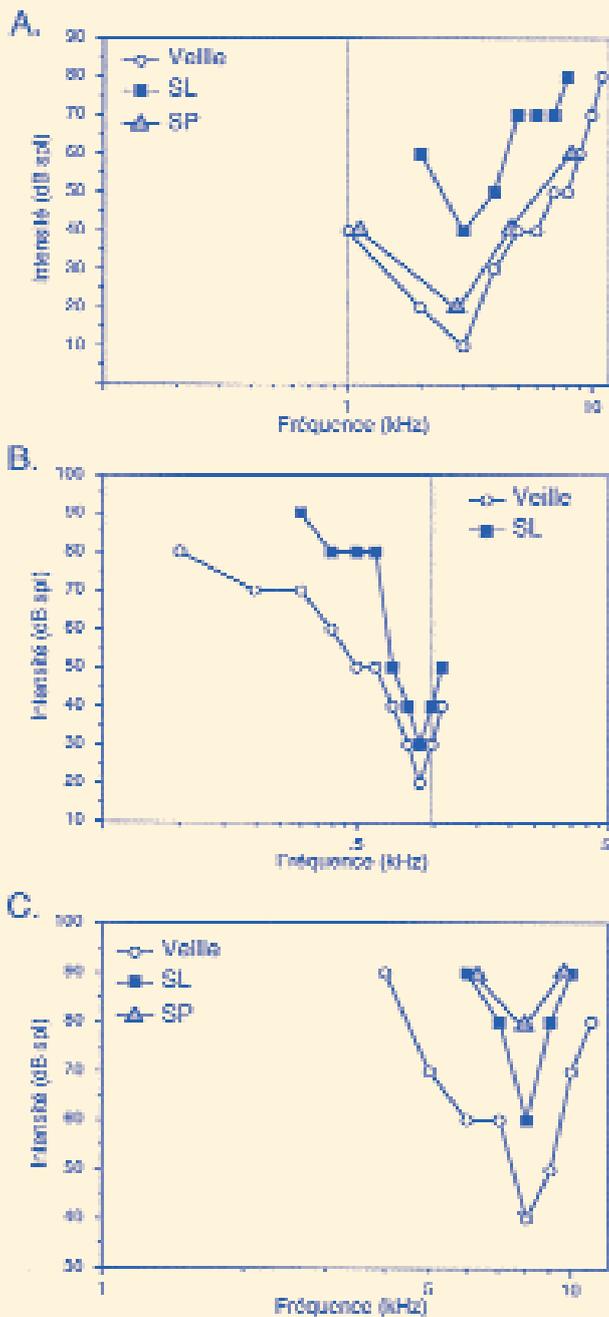


Figure 2 : Modifications de l'aire de réponse au seuil pour trois neurones du thalamus auditif.

L'aire de réponse aux fréquences a été déterminée au travers des intensités dans la veille et le sommeil à ondes lentes (SL) pour les neurones A, B et C, ainsi que dans le sommeil paradoxal (SP) pour les neurones A et C. Dans le SL, la taille du champ récepteur est diminuée pour les trois neurones. Dans le SP, elle est peu différente de celle obtenue dans la veille pour le neurone A, alors qu'elle est extrêmement réduite pour le neurone C. Figure tirée de Edeline et al., 2000.

EXPRESSION PENDANT LE SOMMEIL PARADOXAL DE LA PLASTICITÉ NEURO-NALE INDUITE PAR APPRENTISSAGE : ÉTUDES CHEZ L'ANIMAL

Un stimulus externe à forte valeur affective (tel le cri du bébé pour sa mère) réveille le sujet, alors qu'un stimulus de même intensité mais non-signifiant est sans effet. Un ou des mécanismes assurant l'évaluation et la sélection des stimuli restent donc opérationnels pendant le sommeil, permettant à l'information pertinente d'être reconnue comme telle. Quel est le substrat physiologique sous-tendant cette capacité préservée et à quel(s) niveau(x) du système nerveux central prend-il place ? Les expériences décrites ci-dessous apportent des éléments de réponse à ces questions.

Dans toutes ces expériences, des rats ont été soumis dans la veille à un protocole de conditionnement classique au cours duquel un son de fréquence pure (le stimulus conditionnel, SC) était rendu signifiant du fait de son association avec un autre stimulus à forte valeur biologique (le stimulus inconditionnel, SI). Ce même son était ensuite présenté seul, à une intensité jamais éveillante, pendant des phases de SP³. Les réponses neuronales (activité multi-unitaire⁴) évoquées par le stimulus sonore ont été enregistrées dans différentes structures nerveuses, pendant la veille et pendant le SP, avant et après conditionnement. Chez l'animal éveillé, lorsqu'un stimulus a acquis par conditionnement une valeur signifiante, il évoque des réponses neuronales plus fortes que celles qu'il évoquait auparavant quand il était encore non-signifiant. Ces réponses conditionnées cellulaires s'observent dans de très nombreuses structures nerveuses, tant associatives que sensorielles ou motrices.

³ Seul le SP a été étudié. Dans une expérience préliminaire, nous avons tenté de présenter le son pendant le SL également. Nous avons dû y renoncer car lorsque le son était devenu signifiant du fait de son appariement avec le SI, sa présentation réveillait l'animal. Pour éviter ces éveils, nous devions diminuer de manière substantielle l'intensité du son, mais les réponses neuronales enregistrées pendant la veille et, a fortiori, le sommeil devenaient alors trop faibles et trop variables. Ces problèmes ne se posent pas pour le SP (tout au moins aux intensités sonores que nous avons utilisées) qui est, chez l'animal, beaucoup plus profond que le SL.

⁴ Étant donné que les enregistrements de l'activité neuronale étaient effectués sur plusieurs jours (quatre jours consécutifs) chez des animaux totalement libres de leurs mouvements, nous avons privilégié la technique de l'enregistrement multi-unitaire, c'est à dire le recueil de l'activité d'un petit groupe de neurones (5 à 10).

En testant si des réponses conditionnées cellulaires acquises durant la veille peuvent s'exprimer dans le SP, nos expériences visaient donc à évaluer si les neurones de telle ou telle structure "reconnaissent" pendant le SP un son signifiant, c'est-à-dire le traitent différemment d'un son non-signifiant.

Nous avons tout d'abord utilisé un protocole de peur conditionnée, au cours duquel un son (le SC) précédait systématiquement l'application d'un choc électrique désagréable (le SI) sur les pattes de l'animal. En quelques essais d'appariement SC-SI, l'animal apprend que le son signale l'arrivée du choc et manifeste des réponses de peur à la présentation du son. Nos premiers enregistrements ont été effectués au niveau de l'hippocampe : alors que les neurones hippocampiques ne répondaient pas au son avant conditionnement, après conditionnement ils ont présenté une nette augmentation de leur taux de décharges lors de la présentation du son dans le SP (Maho et al., 1991). Nous avons ensuite montré que cette reconnaissance du stimulus signifiant n'est pas le propre de structures associatives, tel l'hippocampe, puisqu'elle se fait déjà au niveau du thalamus auditif. En effet, comme le montre la figure 3, les neurones du CGM répondent plus vigoureusement au son quand celui-ci est devenu signifiant au niveau du thalamus auditif. En effet, comme le montre la figure 3, les neurones du CGM répondent plus vigoureusement au son quand celui-ci est devenu signifiant au niveau du thalamus auditif. En effet, comme le montre la figure 3, les neurones du CGM répondent plus vigoureusement au son quand celui-ci est devenu signifiant au niveau du thalamus auditif. En effet, comme le montre la figure 3, les neurones du CGM répondent plus vigoureusement au son quand celui-ci est devenu signifiant au niveau du thalamus auditif.

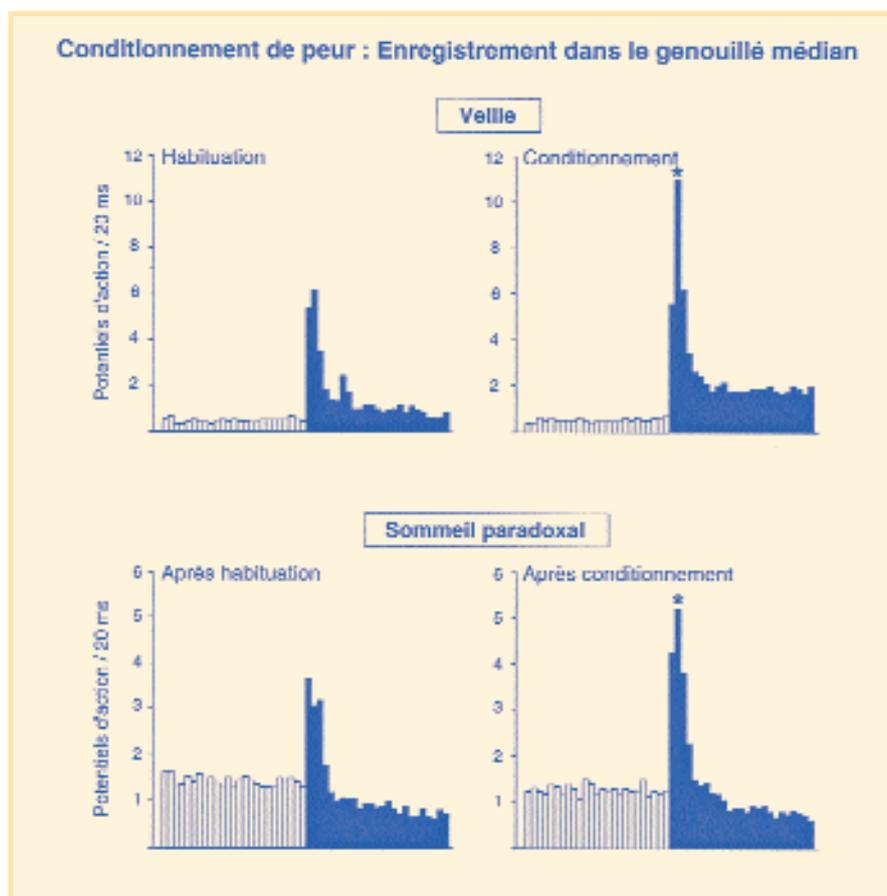


Figure 3 : Réponses conditionnées exprimées par les neurones du thalamus auditif (CGM) dans la veille et le sommeil paradoxal (SP).

Les animaux éveillés ont été soumis à une séance d'habituation (10 présentations du son seul) puis, les trois jours suivants, à une séance quotidienne de 10 essais d'un conditionnement de peur (le son signalait l'arrivée d'un choc désagréable appliqué sur les pattes de l'animal). Après chaque séance, le son seul a été présenté 10 fois, à une intensité non-éveillante, pendant des phases de SP. L'activité neuronale multi-unitaire a été enregistrée dans la partie médiane du CGM à chaque présentation du son (dans la veille et le SP). La figure montre les données moyennes de groupe (n = 13) obtenues dans la veille à la séance d'habituation et à la 2ème séance de conditionnement (panneau supérieur), et dans le SP consécutif à chacune de ces deux séances (panneau inférieur). Chaque histogramme représente le nombre de potentiels d'action (par classe de 20 ms) enregistrés dans les 500 ms qui précèdent (colonnes blanches) et les 500 ms qui suivent (colonnes noires) le début du son. La quantification des réponses évoquées dans les premières 60 ms du son indique que le conditionnement induit une augmentation de la réactivité neuronale dans la veille, et que cette augmentation s'exprime également dans le SP. Figure modifiée, tirée de Hennevin et al., 1993.

Il est important de souligner que, dans chacune de ces expériences, un groupe d'animaux soumis à un protocole de pseudo-conditionnement (le son et le choc sur les pattes leur étaient présentés mais sans jamais être associés l'un avec l'autre) a été étudié en parallèle avec le groupe d'animaux conditionnés. Chez ces groupes contrôles, aucune modification significative de réactivité au son n'a été observée, que ce soit dans la veille ou le SP. Ceci

atteste que les changements que nous avons décrits après conditionnement sont de nature associative : c'est donc bien la valeur signifiante acquise par le son qui est reconnue dans le SP.

Qu'en est-il dans le cas d'un stimulus signifiant mais non-aversif ? Nous n'avons abordé cette question que très récemment, en utilisant un protocole comportemental permettant à un stimulus sonore d'acquiescer une valeur appétitive : lors des essais de

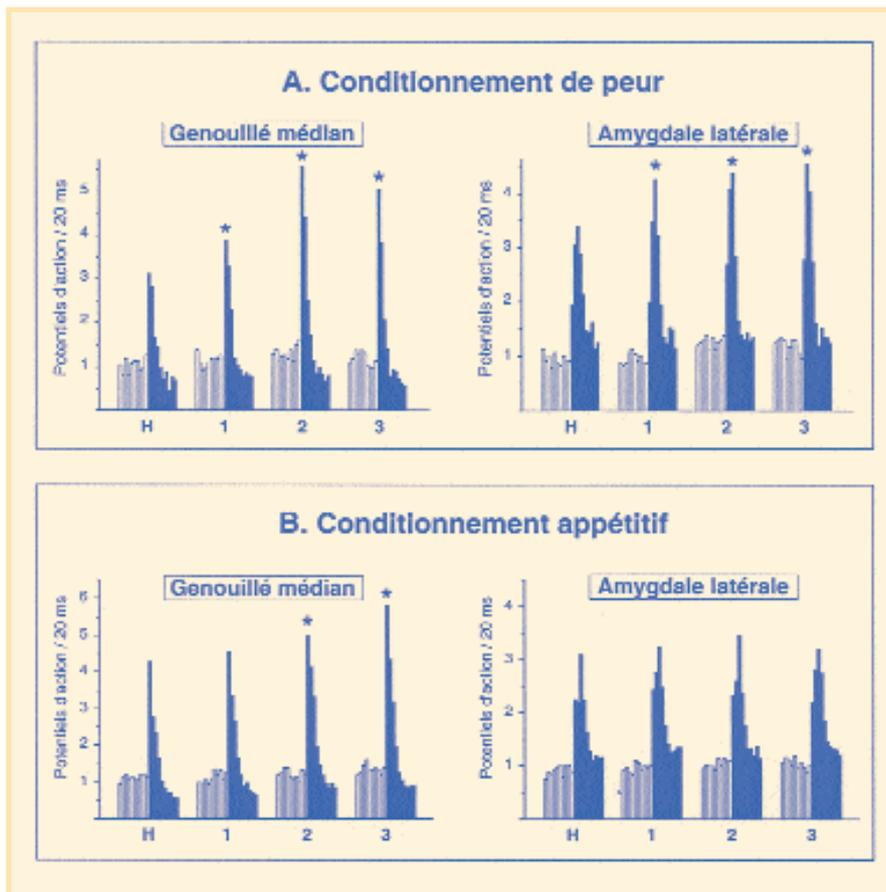


Figure 4 : Comparaison des réponses conditionnées exprimées dans le sommeil paradoxal (SP) par les neurones du thalamus auditif et les neurones du noyau latéral de l'amygdale.

Après une séance d'habituation, les animaux ont été soumis, trois jours de suite, à une séance quotidienne de conditionnement : conditionnement de peur dans l'expérience A (le son signalait l'arrivée d'un choc désagréable sur les pattes), conditionnement appétitif dans l'expérience B (le son signalait l'arrivée de boulettes de nourriture). Après chaque séance, le son seul a été présenté 10 fois, à une intensité non-éveillante, pendant des phases de SP. L'activité multi-unitaire a été enregistrée simultanément dans la partie médiane du CGM et dans la partie dorsale du noyau latéral de l'amygdale. La figure montre les données moyennes de groupe ($n = 14$ ou 15 selon les expériences) obtenues dans le SP consécutif à la séance d'habituation (H) et à chaque séance de conditionnement (1-3). Chaque histogramme représente le nombre de potentiels d'action (par classe de 20 ms) enregistrés dans les 200 ms qui précèdent (colonnes blanches) et les 200 ms qui suivent (colonnes noires) le début du son. La quantification des réponses évoquées dans les premières 60 ms du son indique qu'après le conditionnement de peur, les neurones thalamiques et amygdaliens expriment dans le SP des réponses conditionnées (séances 1, 2 et 3) ; par contre, après le conditionnement appétitif, seuls les neurones thalamiques présentent des réponses conditionnées (séances 2 et 3). Figures modifiées, tirées de Hennevin et al., 1998 (pour A) et de Maho & Hennevin, 2002 (pour B).

conditionnement, deux boulettes de nourriture (le SI) étaient données à l'animal après chaque présentation du son (le SC). Des enregistrements simultanés ont été effectués dans le CGM et le noyau latéral de l'amygdale. Bien que les neurones des deux structures aient présenté dans la veille des décharges conditionnées au

son, seuls les neurones thalamiques en ont présentées dans le SP (voir la figure 4B ; Maho & Hennevin, 2002). Autrement dit, les neurones amygdaliens expriment dans le SP des réponses conditionnées uniquement quand le son a une signification aversive, pas quand il a une signification appétitive ; par contre, les neurones du

thalamus auditif expriment des réponses conditionnées dans les deux cas.

Ces résultats présentent deux intérêts majeurs. Tout d'abord, ils soulignent la robustesse de la plasticité qui prend place dans les systèmes sensoriels et le rôle critique qu'elle peut jouer pour la détection pendant le sommeil des stimuli pertinents. En effet, en dépit d'un changement d'état radical, les neurones du thalamus auditif expriment dans le SP des changements plastiques induits dans la veille. Grâce à cette expression, le message auditif transmis en aval (au cortex auditif et à l'amygdale) continue de porter l'information "le stimulus est significatif", et ce, quelle que soit la signification (aversive ou appétitive) du stimulus. Le second intérêt de nos résultats est de montrer que le traitement qui s'effectue sur le stimulus pendant le sommeil (le SP tout au moins) va au-delà d'une simple reconnaissance du fait que ce stimulus est significatif : comme nous l'avons vu, la réactivité des neurones amygdaliens au son significatif dépend de la signification du son. Les SIs utilisés dans le conditionnement de peur et le conditionnement appétitif - et donc la valeur qu'acquiert le SC sonore associé à l'un ou à l'autre - diffèrent sous deux aspects : leur valence, négative pour l'un et positive pour l'autre, et leur charge émotionnelle qui, dans nos conditions expérimentales, était plus forte pour le SI aversif que pour le SI appétitif. Au-delà du thalamus sensoriel, en particulier au niveau de l'amygdale, s'effectuerait donc une sélection plus fine des stimuli, basée non plus seulement sur le caractère significatif ou non des stimuli, mais sur leur valence et/ou leur saillance émotionnelle.

En conclusion, et pour répondre aux deux questions que nous avons posées au début de cette partie, l'expression de la plasticité neuronale induite par l'expérience dans les systèmes sensoriels et certaines structures associatives (dont l'amygdale) pourrait constituer l'un des mécanismes sous-tendant les capacités de détection et d'évaluation des stimuli qui persistent pendant le sommeil.

DÉTECTION PENDANT LE SOMMEIL DES STIMULI RARES, DÉVIANTS OU SIGNIFIANTS : ÉTUDES CHEZ L'HOMME

Traiter de la détection des stimuli auditifs pendant le sommeil sans aborder les études réalisées chez l'homme (beaucoup plus nombreuses d'ailleurs que celles effectuées chez l'animal) est difficilement concevable. Nous présenterons donc quelques unes de ces études, en renvoyant le lecteur à trois revues de question qui lui fourniront une image plus complète des connaissances dans le domaine (Campbell et al., 1992; Bastuji & García-Larrea, 1999; Atienza et al., 2001)*.

L'outil utilisé dans ces études est l'enregistrement des potentiels évoqués (PE) recueillis à la surface du scalp. Ces potentiels sont extraits de l'activité EEG par moyennage des réponses, ce qui permet de réduire les activités d'arrière-fond, indépendantes du stimulus. On distingue classiquement deux grandes catégories de réponse : les PEs dits "sensoriels" (ou exogènes) et les PEs dits "cognitifs" (ou endogènes). Les premiers surviennent rapidement après le stimulus ; ils reflètent l'activation des voies afférentes sous-corticales et des aires corticales réceptrices ; ils sont très sensibles aux caractéristiques physiques du stimulus. Les seconds sont plus tardifs (plus de 100 ms après le stimulus), et les sources (probablement multiples) qui les génèrent restent mal connues ; ils reflètent le traitement de l'information portée par le stimulus, et non les caractéristiques physiques du stimulus.

Nous ne considérerons ici que les réponses à longue latence, qui sont d'ailleurs celles qui sont les plus modifiées pendant le sommeil (pour les réponses précoces, voir Campbell et al., 1992; Bastuji & García-Larrea, 1999). Plus encore que les modifications d'amplitude et de latence affectant le groupe d'ondes N1-P2 (qui culminent 100-200 ms après le stimulus), le changement le plus impressionnant observé dans le sommeil non-paradoxal est une complexification de la réponse, due à l'apparition (dans les 350-900 ms

post-stimulus) d'une séquence d'ondes non présentes en veille : le complexe K. Les complexes K sont de très grande amplitude ; ils sont évoqués dans les stades 2, 3 et 4. Leur signification et la possible hétérogénéité fonctionnelle de leurs différentes composantes sont encore débattues. Pendant le SP, il n'y a pas de complexes K, et la morphologie générale de la réponse redevient similaire à celle observée dans la veille.

Afin d'évaluer les capacités de discrimination auditive pendant le sommeil, de nombreuses études ont introduit des stimuli rares, déviants et/ou intrinsèquement signifiants dans le train de stimuli présentés au sujet. Le paradigme le plus largement utilisé est le "oddball paradigm" (intraduisible...) : au sein d'une série monotone de sons identiques répétés à cadence rapide (sons standards), on introduit un son déviant qui diffère de tous les autres par une de ses caractéristiques physiques (sa fréquence tonale, sa durée ou son intensité) et par sa probabilité d'apparition beaucoup plus faible. Chez le sujet éveillé, la présentation du stimulus déviant a pour effet de produire une onde négative supplémentaire qui se superpose à la forme habituelle des ondes N1-P2 (elle culmine donc 100-200 ms après le début du stimulus) et qui est appelée négativité de non-concordance (NNC ; "mismatch negativity" en anglais). En règle générale, la NNC survient indépendamment de l'attention du sujet et semble donc refléter la détection automatique d'un changement survenant au sein d'un fond sonore monotone : un stimulus ne concordant pas avec la représentation en mémoire sensorielle des stimuli précédents a été détecté. Une autre onde susceptible d'être évoquée par le stimulus déviant est l'onde P3 ou P300. A la différence de la NNC, P300 n'est en général évoquée que lorsque le sujet a pour consigne de détecter le stimulus déviant et qu'il le détecte effectivement. Plus qu'une simple détection, cette onde est donc supposée refléter l'évaluation du stimulus et sa catégorisation : le stimulus a été reconnu comme étant la cible à détecter. Il est à noter cependant que des réponses du type P300

peuvent aussi s'observer dans des protocoles ne requérant pas un engagement actif du sujet ; dans ce cas, elles sont produites en réponse à un stimulus qui, de par ses caractéristiques physiques et/ou sa signification, est particulièrement saillant.

On a donc recherché si ces deux types d'ondes pouvaient être évoqués pendant le sommeil. Plusieurs études ont montré que, sous certaines conditions, un stimulus rare et déviant pouvait évoquer pendant le SP une NNC (Loewy et al., 1996; Atienza et al., 1997, 2001; Nashida et al., 2000) ou une onde P3 (Niiyama et al., 1994; Bastuji et al., 1995; Sallinen et al., 1996; Cote & Campbell, 1999; Cote et al., 2001), qui, bien qu'en général plus tardives et moins amples, semblent comparables à la NNC ou à la P300 enregistrées dans la veille. Par contre, ces deux types de réponse n'ont pas été observés pendant le sommeil non-paradoxal. Cependant, ceci ne veut pas dire que le son déviant n'est pas détecté dans les stades 2, 3 et 4 : il y évoque des complexes K qui sont plus amples et/ou plus fréquents que ceux évoqués par les sons standards (Bastuji et al., 1995; Niiyama et al., 1995). Afin d'évaluer si les capacités de discrimination pendant le sommeil vont au delà d'une détection basée sur la saillance physique des stimuli, quelques études ont utilisé des stimuli verbaux. Dans l'étude menée par Perrin et collègues (Perrin et al., 1999), 8 prénoms, dont celui du sujet, ont été présentés de façon équiprobable. Dans la veille, une réponse du type P300 est observée à la présentation du prénom du sujet. Cette composante se retrouve dans le SP, exclusivement en réponse au prénom du sujet, avec la même latence et la même distribution topographique sur le scalp que dans la veille. Dans le stade 2, tous les prénoms évoquent des complexes K, mais l'amplitude de la partie précoce de ces complexes est sélectivement augmentée pour le prénom du sujet. En montrant ainsi qu'une réponse différentielle au prénom du sujet est donnée en SP et en stade 2, ces résultats confortent ceux obtenus dans une étude antérieure qui avait présenté le prénom du sujet et des noms communs (Pratt et al.,

1999). Enfin, deux études suggèrent qu'une discrimination sémantique, indépendante de toute connotation émotionnelle (contrairement aux prénoms), est possible dans ces deux mêmes stades. Des paires de mots ont été présentées aux sujets ; pour certaines paires, le second mot était sémantiquement relié au premier (par exemple, animal-cheval) ; pour d'autres paires, il ne l'était pas (animal-dimanche). Dans la veille, la détection de l'incongruité sémantique se manifeste par une augmentation d'amplitude de l'onde N400 en réponse aux mots sémantiquement discordants. De même, dans le stade 2 (sans complexe K) et dans le SP, une onde négative tardive présentant des caractéristiques proches de la N400 de veille apparaît plus ample après les mots incongrus (Brualla et al., 1998; Perrin et al., 2002). Il convient néanmoins de préciser que le traitement des incongruités sémantiques dans ces deux stades de sommeil est moins élaboré que celui effectué en veille (voir Perrin et al., 2002).

Sans vouloir minorer leur intérêt, les recherches basées sur l'enregistrement des PEs de surface ont pour point faible de ne donner aucune indication sur les substrats neuroanatomiques sous-tendant le traitement des stimuli. L'idéal serait évidemment de pouvoir combiner cette approche avec la neuroimagerie. Nous n'en sommes pas là, mais deux études récentes d'IRM fonctionnelle ont commencé à ouvrir la voie, en décrivant les changements d'activation qui prennent place à l'échelle régionale lors de la présentation de stimuli auditifs pendant le sommeil non-paradoxal (Portas et al., 2000; Czisch et al., 2002). Ainsi, Portas et collaborateurs ont comparé les changements survenant lors de la présentation de deux stimuli de même durée et même intensité mais de valeur affective différente : un son pur et le prénom du sujet. Les sujets ont été testés dans la veille et les stades 2-3. Que ce soit dans la veille ou le sommeil, la présentation de l'un ou l'autre des stimuli active le gyrus temporal supérieur (cortex auditif) et le thalamus, mais le prénom du sujet induit des activations plus marquées que le son pur dans le gyrus temporal moyen et le cortex orbitofrontal

(impliqués dans le traitement du langage). Plus intéressant encore, comparativement au son neutre et à la veille, la présentation du prénom du sujet pendant le sommeil s'accompagne d'activations plus fortes dans l'amygdale et le cortex préfrontal gauches. Ces réponses différentielles suggèrent qu'un réseau neural permettant la détection et l'évaluation des stimuli à charge émotionnelle est activé pendant le sommeil. Est-il besoin de le souligner, cette hypothèse rejoint celle que nous avons émise plus haut pour rendre compte des données que nous avons obtenues chez l'animal.

Nous l'avons dit en commençant, on considère généralement le sommeil comme un état d'isolement sensoriel... Prétendre que le traitement sensoriel n'est pas appauvri pendant le sommeil serait absurde, mais, au vu des résultats que nous venons de présenter, parler d'isolement sensoriel l'est tout autant : pendant le sommeil, le système auditif et certaines structures associatives continuent d'assurer les fonctions essentielles permettant à l'organisme de rester en contact avec son environnement.

BIBLIOGRAPHIE

Aiñenza, M. & Cantero, J.L. (2001) Complex sound processing during human REM sleep by recovering information from long-term memory as revealed by the mismatch negativity (MMN). *Brain Res.*, 901, 151-160.

Aiñenza, M., Cantero, J.L. & Escera, C. (2001) Auditory information processing during human sleep as revealed by event-related brain potentials. *Clin Neurophysiol.*, 112, 2031-2045.

Aiñenza, M., Cantero, J.L. & Gómez, C.M. (1997) The mismatch negativity component reveals the sensory memory during REM sleep in humans. *Neurosci. Lett.*, 237, 21-24.

Bastuji, H. & García-Larrea, L. (1999) Evoked potentials as a tool for the investigation of human sleep. *Sleep Med. Rev.*, 3, 23-45.

Bastuji, H., García-Larrea, L., Franc, C. & Mauguière, F. (1995) Brain processing of stimulus deviance during slow-wave and paradoxical sleep: a study of human auditory evoked responses using the oddball paradigm. *J. Clin. Neurophysiol.*, 12, 155-167.

Bonnet, M. (1982) Performance during sleep. In Webb, W.B. (ed), *Biological Rhythms, Sleep, and Performance*. Wiley & Sons, Chichester, pp. 205-237.

Brualla, J., Romero, M.F., Serrano, M. & Valdizán, J.R. (1998) Auditory event-related potentials to semantic priming during sleep. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 108, 283-290.

Campbell, K.B., Bell, I. & Bastien, C. (1992) Evoked potential measures of information processing during natural sleep. In Broughton, R.J. & Ogilvie, R.D. (eds), *Sleep, Arousal, and Performance*. Birkhäuser, Boston, pp. 88-116.

Coenen, A.M.L. (1995) Neuronal activities underlying the electroencephalogram and evoked potentials of sleeping and waking: implications for information processing. *Neurosci. Biobehav. Rev.*, 19, 447-463.

Cote, K.A. & Campbell, K.B. (1999) P300 to high intensity stimuli during REM sleep. *Clin. Neurophysiol.*, 110, 1345-1350.

Cote, K.A., Etienne, L. & Campbell, K.B. (2001) Neurophysiological evidence for the detection of external stimuli during sleep. *Sleep*, 24, 791-803.

Czisch, M., Wetter, T.C., Kaufmann, C., Pollmächer, T., Holsboer, F. & Auer, D.P. (2002) Altered processing of acoustic stimuli during sleep: reduced auditory activation and visual deactivation detected by a combined fMRI/EEG study. *NeuroImage*, 16, 251-258.

Edeline, J.-M., Dutrieux, G., Manunta, Y. & Hennevin, E. (2001) Diversity of receptive field changes in auditory cortex during natural sleep. *Eur. J. Neurosci.*, 14, 1865-1880.

Edeline, J.-M., Manunta, Y. & Hennevin, E. (2000) Auditory thalamus neurons during sleep: Changes in frequency selectivity, threshold, and receptive field size. *J. Neurophysiol.*, 84, 934-952.

- Hall, R.D. & Borbely, A.A.** (1970) Acoustically evoked potentials in the rat during sleeping and waking. *Exp. Brain Res.*, 11, 93-110.
- Hennevin, E., Maho, C. & Hars, B.** (1998) Neuronal plasticity induced by fear conditioning is expressed during paradoxical sleep: Evidence from simultaneous recordings in the lateral amygdala and the medial geniculate in rats. *Behav. Neurosci.*, 112, 839-862.
- Hennevin, E., Maho, C., Hars, B. & Dutrieux, G.** (1993) Learning-induced plasticity in the medial geniculate nucleus is expressed during paradoxical sleep. *Behav. Neurosci.*, 107, 1018-1030.
- Loewy, D.H., Campbell, K.B. & Bastien, C.** (1996) The mismatch negativity to frequency deviant stimuli during natural sleep. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 98, 493-501.
- Maho, C. & Hennevin, E.** (1999) Expression in paradoxical sleep of a conditioned heart rate response. *NeuroReport*, 10, 3381-3385.
- Maho, C. & Hennevin, E.** (2002) Appetitive conditioning-induced plasticity is expressed during paradoxical sleep in the medial geniculate, but not in the lateral amygdala. *Behav. Neurosci.*, 116, 807-823.
- Maho, C., Hennevin, E., Hars, B. & Poincheval, S.** (1991) Evocation in paradoxical sleep of a hippocampal conditioned cellular response acquired during waking. *Psychobiology*, 19, 193-205.
- Meeren, H.K.M., van Cappellen van Walsum, A.M., van Luitelaar, E.L.J.M. & Coenen, A.M.L.** (2001) Auditory evoked potentials from auditory cortex, medial geniculate nucleus, and inferior colliculus during sleep-wake states and spike-wave discharges in the WAG/Rij rat. *Brain Res.*, 898, 321-331.
- Morales-Cobas, G., Ferreira, M.I. & Velluti, R.A.** (1995) Firing of inferior colliculus neurons in response to low-frequency sound stimulation during sleep and waking. *J. Sleep Res.*, 4, 242-251.
- Nashida, T., Yabe, H., Sato, Y., Hiruma, T., Sutoh, T., Shinozaki, N. & Kanebo, S.** (2000) Automatic auditory information processing in sleep. *Sleep*, 23, 821-828.
- Niiyama, Y., Fujiwara, R., Satoh, N. & Hishikawa, Y.** (1994) Endogenous components of event-related potential appearing during NREM stage 1 and REM sleep in man. *Int. J. Psychophysiol.*, 17, 165-174.
- Niiyama, Y., Fushimi, M., Sekine, A. & Hishikawa, Y.** (1995) K-complex evoked in NREM sleep is accompanied by a slow negative potential related to cognitive process. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 95, 27-33.
- Pedemonte, M., Pena, J.L., Morales-Cobas, G. & Velluti, R.A.** (1994) Effects of sleep on the response of single cells in the lateral superior olive. *Arch. Ital. Biol.*, 132, 165-178.
- Pena, J.L., Pedemonte, M., Ribeiro, M.F. & Velluti, R.A.** (1992) Single-unit activity in the guinea-pig cochlear nucleus during sleep and wakefulness. *Arch. Ital. Biol.*, 130, 179-189.
- Pena, J.L., Pérez-Perera, P.L., Bouvier, M. & Velluti, R.A.** (1999) Sleep and wakefulness modulation of the neuronal firing in the auditory cortex of the guinea pig. *Brain Res.*, 816, 463-470.
- Perrin, F., Bastuji, H. & García-Larrea, L.** (2002) Detection of verbal discordances during sleep. *NeuroReport*, 13, 1345-1349.
- Perrin, F., García-Larrea, L., Mauguière, F. & Bastuji, H.** (1999) A differential brain response to the subject's own name persists during sleep. *Clin. Neurophysiol.*, 110, 2153-2164.
- Portas, C.M., Krakow, K., Allen, P., Josephs, O., Armony, J.L. & Frith, C.D.** (2000) Auditory processing across the sleep-wake cycle: Simultaneous EEG and fMRI monitoring in humans. *Neuron*, 28, 991-999.
- Pratt, H., Berlad, I. & Lavie, P.** (1999) "Oddball" event-related potentials and information processing during REM and non-REM sleep. *Clin. Neurophysiol.*, 110, 53-61.
- Sallinen, M., Kaartinen, J. & Lyytinen, H.** (1996) Processing of auditory stimuli during tonic and phasic periods of REM sleep as revealed by event-related brain potentials. *J. Sleep Res.*, 5, 220-228.
- Velluti, R.A., Pedemonte, M. & Garcia-Austt, E.** (1989) Correlative changes of auditory nerve and microphonic potentials throughout sleep. *Hearing Res.*, 39, 203-208.
- Velluti, R.A.** (1997) Interactions between sleep and sensory physiology. *J. Sleep Res.*, 6, 61-77.
- * **Additif :**
Peu après l'envoi du présent article, la revue *International Journal of Psychophysiology* a publié un numéro spécial sur les potentiels évoqués pendant le sommeil. On y trouve en particulier les cinq revues de question suivantes.
- Aiienza, M., Cantero, J.L. & Dominguez-Marin, E.** (2002) Mismatch negativity (MMN): an objective measure of sensory memory and long-lasting memories during sleep. *Int. J. Psychophysiol.*, 46, 215-225.
- Bastien, C.H., Crowley, K.E. & Colrain, I. M.** (2002) Evoked potential components unique to non-REM sleep: relationship to evoked K-complexes and vertex sharp waves. *Int. J. Psychophysiol.*, 46, 257-274.
- Bastuji, H., Perrin, F. & Garcia-Larrea, L.** (2002) Semantic analysis of auditory input during sleep: studies with event-related potentials. *Int. J. Psychophysiol.*, 46, 243-255.
- Campbell, K. & Colrain, I.M.** (2002) Event-related potential measures of the inhibition of information processing: II. The sleep onset period. *Int. J. Psychophysiol.*, 46, 197-214.
- Cote, K.A.** (2002). Probing awareness during sleep with the auditory odd-ball paradigm. *Int. J. Psychophysiol.*, 46, 227-241.

Supero™ : Numérique, pour le maximum de puissance utile

Le réglage numérique
du MPO délivre plus de
puissance dans l'oreille

“ Supero m a fait
d couvrir
de nombreux sons,
jusqu alors ”

dB gain max.



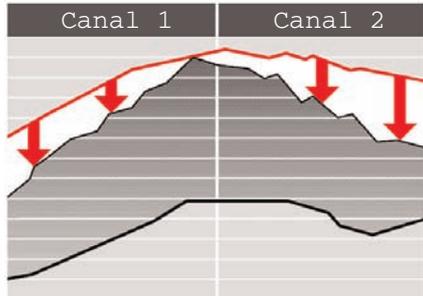
dB SPL niveau max. de sortie

(Données sur simulateur d'oreille)

Greet Penneman, 24 ans, Belgique
Etudiante à l'université de Gand,
préparation d'un doctorat de chimie

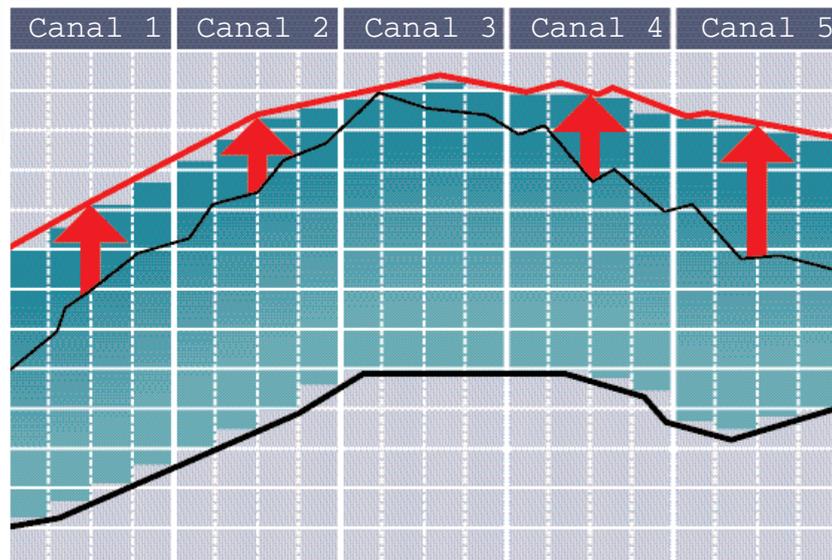
La différence décisive de Supero

Sans réglage de la courbe du MPO



Sans réglage de la courbe du MPO, la gamme dynamique résiduelle n'est pas totalement exploitée. Malgré des gains et des niveaux de sortie élevés au coupleur, la

Avec réglage de la courbe du



Grâce à la technique numérique Phonak de réglage de la courbe du MPO, la gamme dynamique résiduelle est totalement exploitée. Ceci garantit le maximum



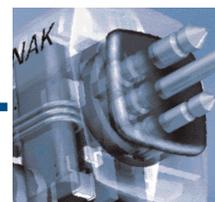
Power Design



Power Processing



Power Fitting



Power Communication



PHONAK

hearing systems

COMMUNICATIONS ACOUSTIQUES ANIMALES ET ENVIRONNEMENT SONORE CONTRAIGNANT

Chez de nombreuses espèces animales, les signaux acoustiques jouent un rôle très important dans l'accomplissement de fonctions vitales : reconnaissance de l'espèce, du groupe, du partenaire sexuel, du jeune ou du parent, indication d'états émotionnels. Les informations véhiculées par les signaux acoustiques doivent donc impérativement être transmises malgré les altérations dues à la propagation dans le milieu. Comment ce mode de communication peut-il fonctionner dans des environnements contraignants pour le son ? C'est la question que notre équipe, spécialisée en Bioacoustique, se pose depuis plusieurs années. Deux environnements contraignants pour la transmission d'une information acoustique sont tout particulièrement intéressants à étudier : le milieu absorbant et le milieu bruyant. Nous avons ainsi été amenés à étudier comment des oiseaux arrivent à transmettre par leur chant des informations à plus ou moins longue distance, dans l'environnement absorbant d'une forêt tropicale et comment les manchots arrivent à se reconnaître individuellement par la voix dans l'environnement bruyant d'une colonie. Résoudre ces problèmes implique naturellement d'examiner la structure des signaux utilisés, mais également d'analyser les modifications qu'ils subissent au cours de la propagation et enfin d'étudier, en diffusant à l'animal des signaux modifiés, comment ces signaux sont codés et décodés. Nos résultats ont montré que les oiseaux forestiers, pour communiquer à longue distance, utilisaient des paramètres acoustiques simples, résistants à la propagation en milieu absorbant, en particulier des modulations de fréquence lentes. Quant aux manchots, ils utilisent un système redondant, localisable, sécurisé par une double-clé de codage, qui leur permet d'identifier et de situer acoustiquement un individu parmi des milliers d'autres, dans le bruit intense d'une colonie. Les animaux intègrent donc parfaitement les contraintes imposées par le milieu et adaptent leur système de communication en conséquence.

For many animal species, the acoustic signals play an important role in the achievement of vital functions: recognition of the species, the group, the sexual partner, the young or the parent, indication of motivational states. These acoustic information must imperatively be transmitted in spite of the alterations due to the propagation through the environment. How does this communication mode work in constraining environments for sounds? Our team, specialized in Bioacoustic, is trying to answer to this question for some years. Two constraining environments for the transmission of an acoustic information were particularly interesting to study: the absorbent environment and the noisy one. This is the reason why we have studied on the one hand how birds can transmit by songs an information at long range in the absorbent environment of a tropical forest, and on the other hand how penguins can recognize each others by voice in the noisy environment of a colony. To solve these problems, we have first to examine the acoustic structure of signals studied, second to analyze

LA BIOACOUSTIQUE OU L'ÉTUDE DES COMMUNICATIONS ACOUSTIQUES ANIMALES

Dans l'ensemble du règne animal, la communication acoustique est un mode de communication qui s'est uniquement développé chez les Arthropodes et les Vertébrés. Les caractéristiques propres à la signalisation acoustique - elle est rapide et ne laisse pas de trace - ont fait qu'elle s'est développée essentiellement chez les animaux mobiles et aptes à se déplacer rapidement dans des milieux à trois dimensions : l'eau (Poissons, Grenouilles, Mammifères marins) et l'air (Insectes,

Oiseaux, Chauve-souris). Ce sont principalement les animaux qui vivent en groupes ou en sociétés qui utilisent des signaux acoustiques sophistiqués. En effet, pour communiquer, il faut nécessairement être au minimum deux : un émetteur et un récepteur. L'émetteur "mentalise" un message qui va être codé par des systèmes spécialisés, cerveau et organes phonatoires. Une fois codé, le message devient un signal qui va se propager dans un canal de transmission solide liquide ou gazeux, canal dans lequel le signal va subir des modifications dues aux bruits générés par le milieu. A l'autre extrémité de cette chaîne de transmission de l'information, le signal propagé va être

THIERRY AUBIN

Equipe Communications Acoustiques
NAMC CNRS UMR 8620
91405 Orsay Cedex
e-mail: thierry.aubin@ibaic.u-psud.fr

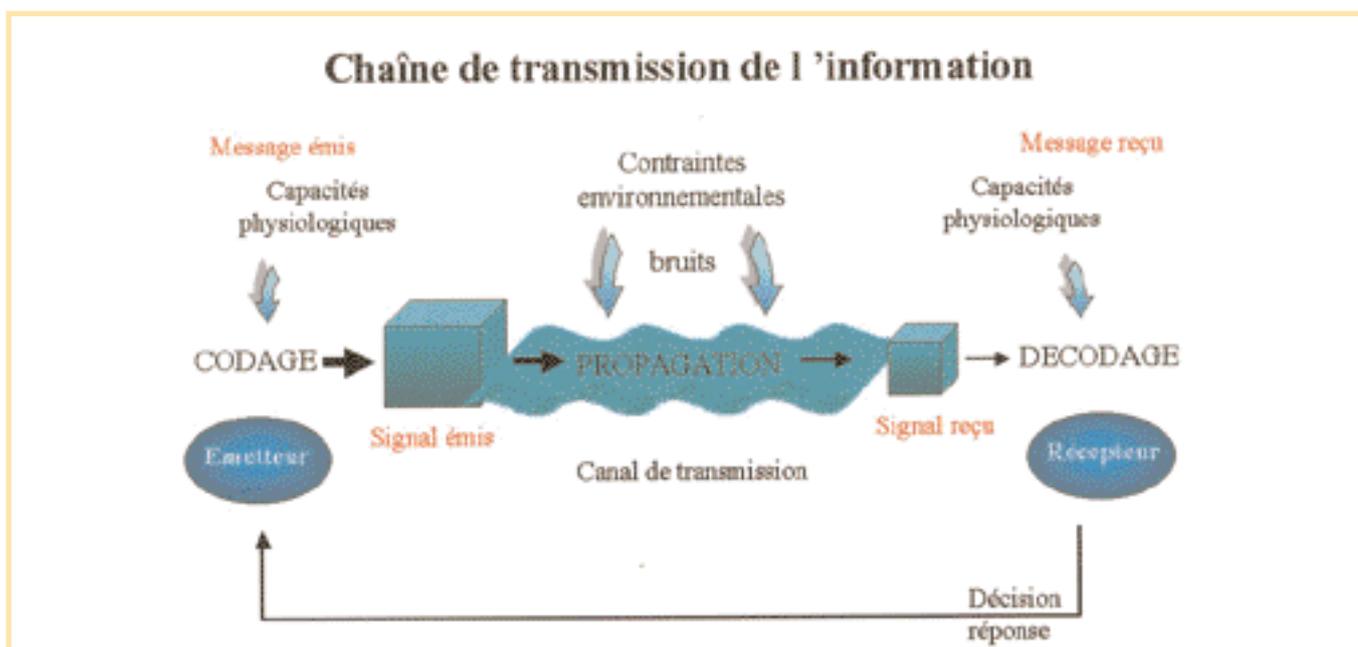


Figure 1 : Chaîne de transmission de l'information (d'après le schéma classique de Shannon & Weaver 1949). Ce schéma indique que pour étudier une communication, il faut étudier l'ensemble du processus. Cela implique d'analyser comment un individu émetteur code son message en signal, comment ce signal se modifie dans le milieu de propagation, comment ce signal modifié est décodé et interprété en tant que nouveau message par un individu récepteur et enfin quels sont les comportements qu'il déclenche.

récupéré par un récepteur, puis décodé à nouveau par des systèmes spécialisés, organes auditifs et cerveau, avant de prendre valeur d'un message dont la signification peut différer du message émis en raison des bruits qui ont pu modifier le signal lors de sa transmission. La réception du message va entraîner chez le receveur une réponse qui se matérialise généralement par un comportement particulier qui sera à son tour décrypté par l'émetteur initial. L'ensemble de ces interactions entre émetteur(s) et receveur(s) constitue une communication acoustique (figure 1). Décrire et comprendre une communication acoustique implique donc obligatoirement que l'on étudie la fonction de chacun des maillons de la chaîne de transmission de l'information. Analyser les mécanismes de codage-décodage, suppose que l'on s'intéresse aux centres nerveux et aux organes phonatoires et auditifs transformant le signal en message ou réciproquement : cela passe par des études anatomophysiologiques. La notion de signal et de propagation implique que l'on appréhende l'onde sonore en tant que phénomène physique et donc que l'on connaisse sa

structure et ses lois de propagation dans un milieu donné, c'est à dire que l'on fasse appel à des notions de physique. Enfin, la notion de message sous-entend que l'on associe au signal une signification, ce qui veut dire que l'on est amené à étudier le comportement de l'émetteur ou du receveur. A côté de l'acte de communication lui-même, on peut également s'intéresser à l'origine, innée ou acquise, du signal, à son évolution et à son adaptation au milieu ou à la situation, ce qui amène à évoquer des problèmes de génétique ou d'évolution.

Toute étude d'un système de signalisation acoustique passe donc obligatoirement par une approche pluridisciplinaire.

L'ABSORPTION ET LE BRUIT : DEUX CONTRAINTES MAJEURES POUR LES SIGNALISATIONS ACOUSTIQUES

La bioacoustique, ou étude des communications acoustiques animales, qui au départ pouvait sembler un domaine d'investigation restreint, embrasse

finalement plusieurs champs disciplinaires. Cela conduit les équipes travaillant dans ce domaine de recherche à focaliser leurs champs d'investigation sur certains aspects de la communication acoustique. Dans notre équipe, nous avons jugé intéressant de centrer nos sujets d'investigation sur la manière dont les communications acoustiques fonctionnent en milieu défavorable. Qu'est-ce qu'un milieu défavorable pour les communications ? : c'est un milieu qui rend extrêmement difficile les échanges de signaux acoustiques entre des individus. Ces milieux "extrêmes" pour le son peuvent être schématiquement classés en deux catégories : les milieux absorbants et les milieux bruyants. Dans la nature, les forêts et en particulier les grandes forêts tropicales et équatoriales constituent un milieu absorbant caractéristique, en raison de l'humidité et de la végétation dense. Dans ce milieu, où les signaux visuels sont de peu d'utilité en raison des obstacles, les animaux utilisent énormément le canal acoustique pour établir des contacts entre-eux. Pour cette raison, nous nous sommes intéressés à la façon dont les oiseaux chanteurs de forêts

tropicales arrivaient à établir des communications acoustiques, parfois à longue distance, en dépit d'une forte absorption des signaux. L'autre milieu contraignant, le bruit, est présent dans le règne animal au sein par exemple des grandes colonies d'oiseaux marins. Ainsi, depuis plusieurs années, nous étudions comment les manchots arrivent à se reconnaître individuellement par la voix, malgré le brouhaha généré par les milliers d'individus de la colonie.

L'intérêt de se placer dans des situations extrêmes de communication réside dans le fait que, dans ces situations, les animaux sont amenés à développer des adaptations importantes, qui une fois étudiées, renseignent sur la façon d'optimiser une communication acoustique.

LES MÉTHODES UTILISÉES EN BIOACOUSTIQUE

Comme nous l'avons mentionné précédemment, essayer de comprendre un codage nécessite une étude préalable de la structure du signal. La particularité des signalisations animales (et humaines) est que le codage est basé sur un principe d'évolution temporelle : évolution de l'amplitude - c'est la modulation d'amplitude ou MA - et évolution de la fréquence - c'est la modulation de fréquence ou MF. Analyser une amplitude en fonction du temps ne pose pas de problèmes particuliers. Il en est de même des représentations fréquence-amplitude. Des appareils analogiques ou numériques de type oscillographes ou spectrographes existent depuis longtemps. Les représentations fréquence-temps sont par contre beaucoup plus problématiques.

Vers les années 1960, un appareil permettant ce type de représentation, le "Sonographe", est apparu sur le marché et a été beaucoup utilisé par les laboratoires étudiant la parole humaine ou les orthophonistes. Actuellement de nombreuses versions numériques de cet appareil existent. Il a connu un grand succès en Bioacoustique car il permet de

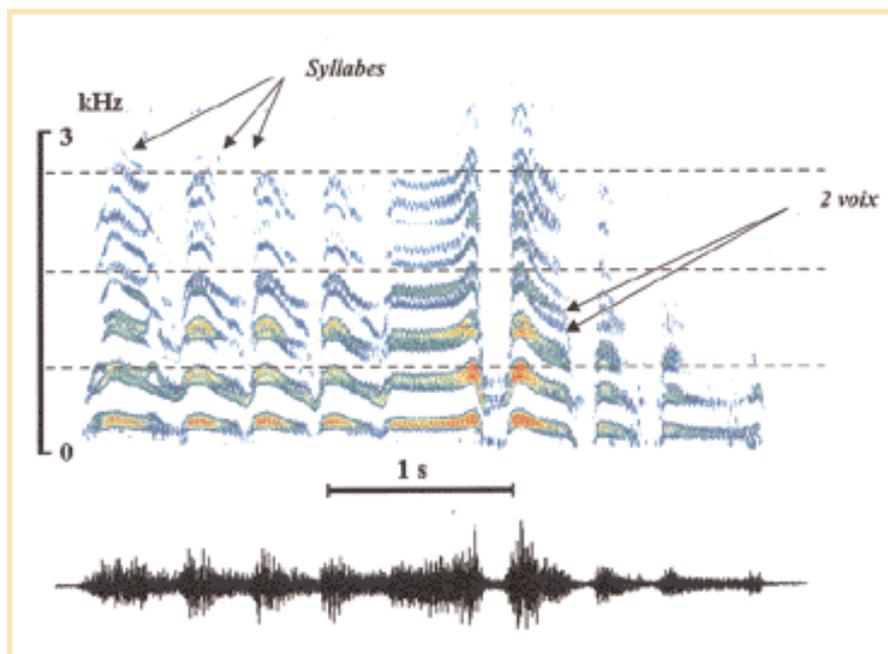


Figure 2 : Sonographe (en haut) et oscillographe (en bas) d'un chant de cour de manchot royal. Ce chant est un signal complexe, organisé en une succession de syllabes plus ou moins semblables et comprenant deux séries harmoniques indépendantes (phénomène "double voix", propre aux oiseaux).

visualiser un son suivant ses 3 dimensions, la dernière dimension, l'intensité, étant représentée par un code de couleur ou des nuances de gris (Figure 2).

Il présente cependant l'inconvénient de ne pouvoir être précis à la fois en fréquence et en temps. Lorsque l'on veut analyser des sons évoluant rapidement en fréquence, on est alors obligé de faire appel à des méthodes dites de représentation de la fréquence instantanée, telles les méthodes du "zéro-crossing" ou du signal analytique. Ces méthodes présentent elles aussi des limitations, étant souvent inopérantes lorsque le signal est bruité ou lorsqu'il est complexe avec de nombreuses harmoniques. On le voit, pour le Bioacousticien, la recherche d'une représentation fiable temps-fréquence n'est pas aisée.

Une fois connue la structure du signal émis par l'animal, il faut chercher à comprendre comment cette structure se comporte dans l'environnement d'émission. Pour cela, il suffit d'émettre avec un haut-parleur le signal préalablement enregistré et de le réenregistrer avec un microphone relié à un magnétophone, dans les

circonstances d'émission que l'on veut étudier. On fait ainsi par exemple varier les hauteurs et distances entre émetteur et récepteur ou propager le signal à travers différentes catégories d'obstacles.

L'analyse des signaux propagés permet ainsi de quantifier les modifications subies par un signal naturel au cours de sa transmission dans l'environnement.

Connaître la structure du signal et la façon dont il se comporte au cours de sa propagation ne nous indique cependant pas comment le signal est décodé par l'individu récepteur. Pour le comprendre, il faut utiliser la méthode des leurres acoustiques. Cette méthode consiste à diffuser à l'animal soit le signal naturel, soit ce même signal, mais avec un ou plusieurs paramètres acoustiques modifiés.

Si l'animal testé répond à ce dernier signal comme au signal naturel, on en déduit que le ou les paramètres modifiés n'interviennent pas dans le processus de codage-décodage. Dans le cas contraire, le paramètre peut être considéré comme un paramètre important de ce processus.

COMMUNIQUER LOIN EN FORÊT TROPICALE

Avec sa végétation dense, constituée d'arbres pouvant atteindre 30 à 40 mètres, de fougères arborescentes, d'épiphytes et de lianes, la forêt tropicale ou équatoriale constitue un véritable laboratoire naturel pour l'étude des communications en milieu absorbant. Avec des collègues brésiliens et avec Nicolas Mathevon, de l'université de Saint-Etienne, nous nous sommes intéressés au système de communication acoustique d'une fauvette de la forêt atlantique, la paruline à sourcil blanc. De couleur verdâtre, cet oiseau passe totalement inaperçu au sein de la végétation. Par contre, son chant apparaît comme très original : c'est un signal très stéréotypé, d'une durée de cinq secondes en moyenne, et composé d'une succession de notes dont la fréquence décroît régulièrement de 7500Hz à 3000Hz (figure 3). Constitué en partie de notes aiguës, il ne semble pas être le signal idéal pour transmettre une information à travers le sous-bois dense et humide où vit cette espèce. Pourtant, le chant est de toute première importance pour la paruline. En effet, la densité de végétation comme les couleurs cryptiques de l'oiseau rendent impossible une communication visuelle au delà de quelques mètres. C'est donc par le chant que les mâles défendent activement contre les autres mâles de l'espèce un territoire, dont le diamètre est d'environ 100m, et y attirent une femelle. Pour remplir cette double fonction, le chant doit pouvoir véhiculer sur une assez longue distance et de manière fiable, l'information territoriale. Afin de comprendre le fonctionnement du système de communication acoustique de la paruline, nous avons donc, d'une part, évalué l'impact du milieu de propagation en analysant les modifications subies par le signal durant sa transmission et, d'autre part, cherché à comprendre comment un signal aussi simple et à priori mal adapté au milieu, permettait aux oiseaux d'échanger de l'information. Grâce à des expériences de propagation, il a été possible d'évaluer

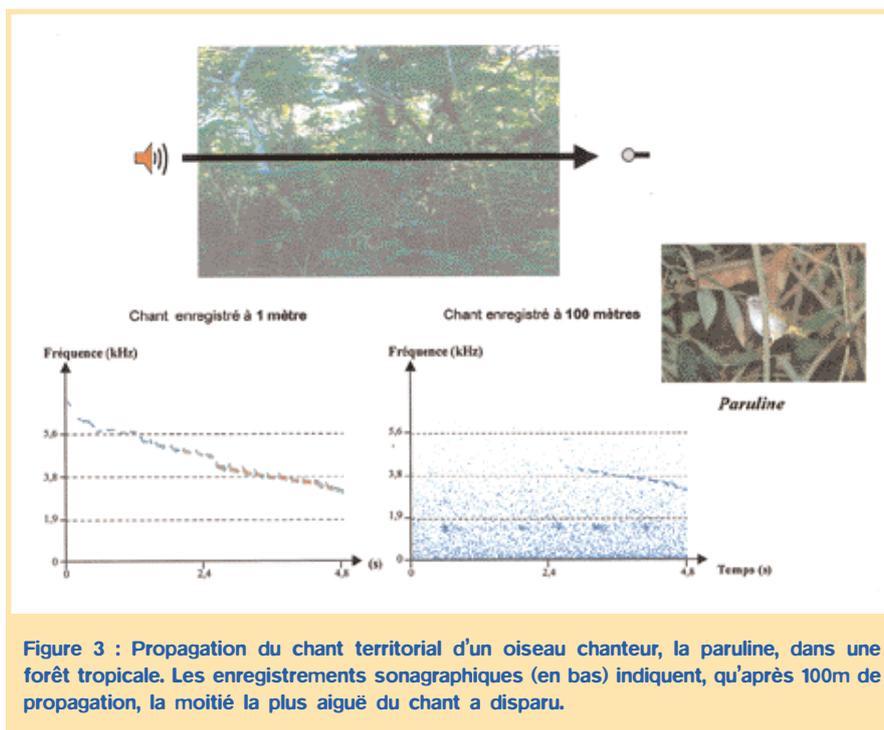


Figure 3 : Propagation du chant territorial d'un oiseau chanteur, la paruline, dans une forêt tropicale. Les enregistrements sonographiques (en bas) indiquent, qu'après 100m de propagation, la moitié la plus aiguë du chant a disparu.

l'impact de l'environnement sur la structure du chant. Les résultats de ces expériences indiquent que l'intensité diminue très rapidement avec la distance. D'autre part, après 100m de propagation, distance qui rappelle le diamètre moyen des territoires, la moitié des notes du chant - les plus aiguës - disparaissent dans le bruit de fond. Les structures fines des notes, c.à.d. les modulations rapides de fréquence et d'amplitude, sont également profondément modifiées. Enfin, les silences inter-notes sont rapidement comblés par l'écho des sons réverbérés : dès 75 m de propagation, ces silences ont disparu. Par des expériences avec des leurres acoustiques menées en parallèle, nous avons cherché à identifier les adaptations grâce auxquelles cette espèce dispose malgré tout d'un système de communication efficace. Ces expériences ont permis de montrer que le codage de l'identité spécifique repose sur une caractéristique simple : la pente d'une modulation de fréquence lente. Cette modulation de fréquence correspond à la décroissance régulière des fréquences des notes tout au long du chant et est caractérisée par une pente particulière. Un signal entièrement synthétique constitué d'un son continu avec une fréquence descendante

respectant la pente est reconnu par les parulines comme un chant appartenant à l'espèce et déclenche donc, lors de son émission, des réponses territoriales. Si par contre, l'on modifie suffisamment cette pente, le chant n'est plus reconnu. Des expériences complémentaires ont montré que la paruline n'a besoin que de quelques notes consécutives pour analyser la pente. Ainsi, même si la moitié supérieure du chant a disparu, ce qui, nous l'avons vu, est le cas après une propagation longue distance, la reconnaissance spécifique demeure effective. D'après nos estimations, le "rayon d'action" d'un chant pour l'information spécifique est d'au minimum 200m, ce qui correspond au diamètre de deux à trois territoires. Le codage de l'identité spécifique est donc particulièrement résistant aux contraintes qu'impose une propagation en milieu forestier dense. Si un seul paramètre du chant suffit pour véhiculer l'information spécifique, on peut se demander à quoi servent les autres paramètres participants à la structure caractéristique du chant de la paruline. En fait, et nos expériences l'ont montré, ils servent à véhiculer d'autres types d'information, telle l'information individuelle. Ces paramètres résistent beaucoup moins bien à la

propagation, mais une information de type signature individuelle est par nature beaucoup plus confidentielle. Elle est destinée aux voisins proches ou à la femelle et une efficacité à grande distance est donc inutile.

En résumé, la communication acoustique chez cet oiseau forestier intègre les contraintes imposées par le milieu. Les informations devant être transmises sur de longues distances, telle l'information spécifique, sont portées par des paramètres résistants à la propagation. Celles qui sont destinées à des auditeurs plus proches, telle l'information individuelle, sont codées par des paramètres plus fins mais également plus sensibles à la dégradation.

S'ENTENDRE DANS LE BRUIT

Les manchots ont une vie difficile et compliquée. Ils se reproduisent à terre dans d'immenses colonies mais doivent périodiquement se nourrir en mer, parfois à 500 km de leur lieu de nidification. Le mâle et la femelle participent tous les deux à l'incubation de l'œuf unique et à l'élevage du poussin. Ils effectuent donc un va-et-vient incessant entre terre et mer : pendant que l'un couve, l'autre cherche sa nourriture dans l'océan. Lorsqu'il revient de son voyage alimentaire, chaque individu doit donc retrouver son partenaire ou son poussin au milieu de milliers d'autres (figure 4). Chez les deux grands manchots, le manchot empereur et le manchot royal, le problème se complique du fait que ces deux espèces transportent leur œuf ou le tout jeune poussin sur leur patte et donc n'utilisent pas un nid, qui pourrait servir de repère topographique. Des expériences ont montré que ces manchots ne s'identifient ni visuellement ni olfactivement.

En fait ils utilisent un chant de reconnaissance appelé chant de cour. Ce chant est constitué par la succession de 5-6 syllabes plus ou moins semblables. Chacune des syllabes est constituée de deux séries harmoniques indépendantes, plus ou moins modulées en fréquence et en amplitude (figure 2).

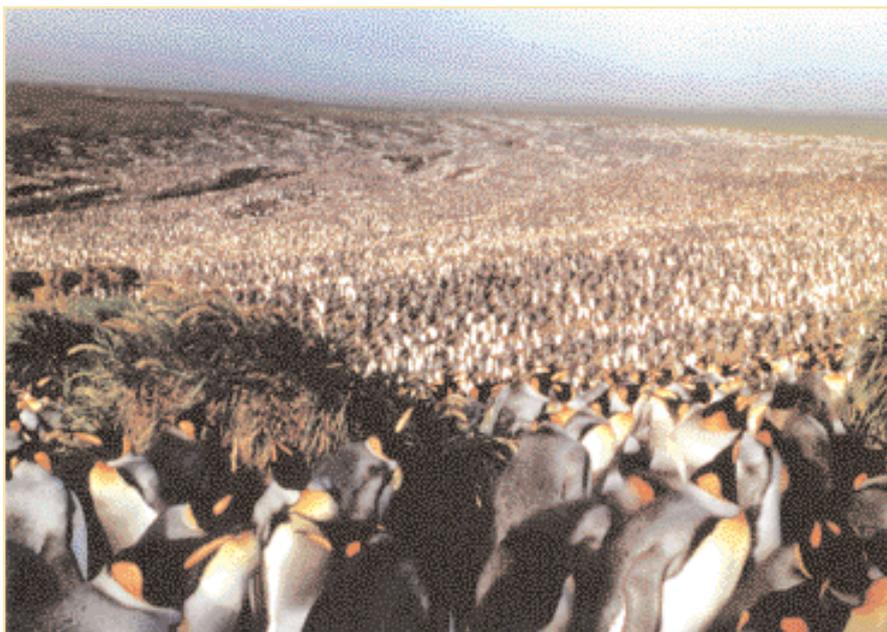


Figure 4 : Colonie de manchots royaux. Malgré le bruit intense généré par la colonie, les individus arrivent à identifier leur partenaire ou leur poussin en utilisant uniquement un signal acoustique, le chant de cour.

L'origine de ces deux fréquences vient du fait que le système phonatoire des oiseaux, permet de piloter indépendamment et simultanément deux fréquences fondamentales et leurs séries harmoniques respectives : c'est ce que l'on appelle le phénomène double voix. L'analyse des chants émis par différents individus a montré que chaque manchot possède sa propre signature vocale, véritable empreinte sonore, qui lui permet de se faire reconnaître de manière infailible. Le problème du manchot est de s'entendre dans la foule, milieu extrêmement contraignant pour les communications acoustiques. En effet, les autres membres de la colonie émettent eux-mêmes des signaux acoustiques de caractéristiques voisines, ce qui constitue donc un masque presque parfait. De plus le niveau sonore mesuré dans la colonie est très élevé : plus de 73 dB en moyenne! Malgré un masque efficace et un bruit d'ambiance très intense, les oiseaux sont capables de se retrouver dans la foule. Par des expériences de diffusion, nous avons pu montrer que des individus étaient capables de s'identifier à plus de 16 mètres de distance alors que d'autres expériences nous avaient révélé que, dès 8 m de

propagation, le spectre et l'enveloppe du signal disparaissaient dans ceux du bruit ambiant. De nouvelles expériences de diffusion nous ont permis d'expliquer ce phénomène. Nous avons diffusé à des individus le chant du partenaire "noyé" plus ou moins dans un masque constitué par la juxtaposition des chants de plusieurs individus. Il est ainsi apparu que les individus étaient capables d'extraire l'information même si l'intensité du signal était en dessous de celle du bruit de fond constitué par le masque. Ainsi, par exemple, à une distance de 7m, un manchot royal est capable de discriminer un chant dont le niveau est de 6 dB inférieur à celui du masque. Cette faculté d'extraire l'information d'un brouhaha assourdissant est appelée, en théorie de l'information, "l'effet cocktail-party". Pour vaincre le bruit, les manchots utilisent des stratégies acoustiques adaptées : signature vocale répétée sur chaque syllabe du chant, ce qui rend l'information redondante ; variations importantes d'amplitude entre les syllabes du chant et répartition de l'énergie sur une large bande de fréquence, ce qui rend le signal localisable. Ils utilisent également une technique de codage-décodage adaptée. En effet,

les expériences avec des leures acoustiques nous ont appris que l'information individuelle était supportée par deux paramètres : 1) une modulation de fréquence lente, dont la forme est caractéristique pour chaque individu et que l'on retrouve sur chaque début de syllabe ; 2) la forme des battements générés par le système double voix. La combinaison de ces deux paramètres rend la signature vocale unique et empêche toute confusion entre les individus. Ce système, redondant, localisable, sécurisé par une double-clé de codage, est parfaitement adapté au problème du manchot : identifier et localiser acoustiquement un individu parmi des milliers d'autres, dans le bruit intense d'une colonie.

En conclusion, les études de Bioacoustique du type de celles présentées ici, permettent de décrire le fonctionnement des systèmes de communications acoustiques utilisés par les animaux dans différentes situations environnementales. En cela, elles permettent de vérifier, dans le monde biologique, certaines lois de la théorie de l'information et peuvent même participer à la compréhension de la communication acoustique humaine. Ces recherches sont donc nécessaires mais naturellement pas suffisantes. Ainsi, elles ne nous renseignent pas sur les mécanismes "intimes" impliqués dans le

codage et le décodage de l'information, à savoir le fonctionnement des structures nerveuses des zones auditives et vocales. Ce type d'étude appartient au domaine de la neurophysiologie, qui apparaît comme le complément logique et indispensable du domaine de la bioacoustique.

POUR EN SAVOIR PLUS

Ouvrages généraux :

- L'univers Sonore Animal d'Y. Leroy. Gauthier-Villars éditeur, 1982, 350p.
- Paroles Animales. H.S. n°131 de Sciences et Avenir, Juin-Juillet 2002, 82p.
- La Communication Animale. Dossier H.S. n°34 de Pour La Science, Janvier-Avril 2002, 120p.

Communications acoustiques des manchots

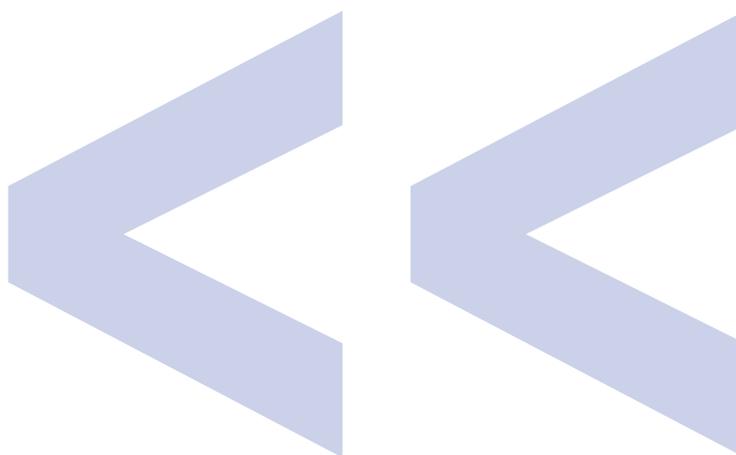
- Aubin T. & P. Jouventin (1998). Cocktail-party effect in king penguin colonies. *Proceeding of the Royal Society of London B* 265, 1665-1673.
- Jouventin P., Aubin T. & T. Lengagne (1999). Finding a parent in a king penguin colony : the acoustic system of individual recognition. *Animal Behaviour* 57, 1175-1183.

- Aubin T. (2001). La reconnaissance vocale des couples de manchots. *L'année Scientifique 2000*, Encyclopedia Universalis, pp 292-293.

- Aubin T. & P. Jouventin (2002). How to identify vocally a kin in a crowd ? The penguin model. *Advances in the Study of Behavior* 31, 243-277.

Communications des oiseaux en milieu forestier

- Mathevon N., Aubin T. & T. Dabelsteen (1996) Song degradation during propagation: importance of song post for the wren *Troglodytes troglodytes*. *Ethology* 102, 397-412.
- Mathevon N. & T. Aubin T (1997). Reaction to conspecific degraded song by the wren *Troglodytes troglodytes* : territorial response and choice of song post. *Behavioral Process* 39, 77-84.
- Aubin T., Mathevon N., Vielliard J. & M. L. da Silva (in press). How an inadequate acoustic signal succeeds in the extreme environment of a tropical forest ? The song of the White-browed Warbler. *Acta Zoologica Sinica*.

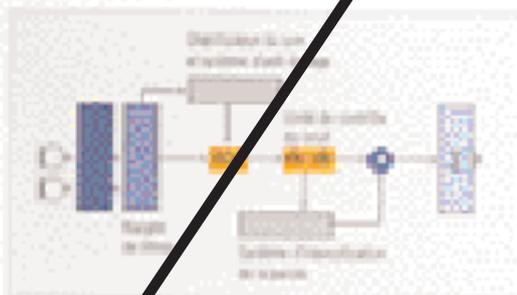


La différence numérique Widex

[Réduction du bruit et intensification de la parole]

Une caractéristique qui assure le meilleur confort d'écoute en toute situation

- L'algorithme de réduction du bruit entre en action à des niveaux d'entrée élevés pour préserver l'intelligibilité de la parole, tout en réduisant l'effet de masquage produit par le bruit.
- La distribution des niveaux du signal d'entrée est analysée dans les 15 canaux afin de pouvoir évaluer le rapport signal/bruit.
- Canaux d'un tiers d'octave avec une définition allant jusqu'à 50 dB/octave.
- Système d'intensification de la parole (SIS) qui favorise la parole et réalise une analyse du rapport signal/bruit sur chacune des bandes, pour ensuite redistribuer l'amplification sur chacun des 15 canaux.
- Un champ d'action ultra flexible assurant la meilleure intelligibilité et le meilleur confort d'écoute possible.



La caractéristique Réduction du bruit et intensification de la parole, caractéristique unique à Senso-Diva, assure le confort du malentendant, en particulier dans le bruit. Le malentendant peut porter son appareil toute la journée sans éprouver de fatigue.



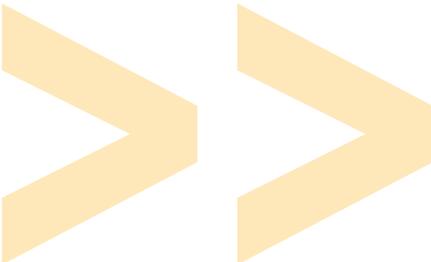
Senso-Diva
La première aide auditive de haute définition au monde

RELATIONS ENTRE LA PERCEPTION ET LA PRODUCTION DU CHANT CHEZ LES OISEAUX

Depuis une vingtaine d'années, les oiseaux chanteurs suscitent un intérêt croissant de la part des neurobiologistes qui cherchent à étudier les mécanismes nerveux impliqués dans la perception et la communication vocale. Une des raisons à cela est l'existence d'un certain nombre de parallèles entre le chant et le langage humain. Comme le langage humain, le chant nécessite non seulement un apprentissage, mais aussi des interactions étroites entre la perception et la production vocale, à travers le feed-back auditif, tout au long de la vie. Ce que nous ont appris les études neurophysiologiques est le fait qu'au sein même de l'organisation cérébrale des oiseaux chanteurs, la perception auditive des vocalisations de l'individu et leurs productions motrices sont intimement associées. Ainsi, au sein des structures cérébrales impliquées dans le contrôle de la production du chant, les neurones ont la particularité d'avoir des réponses auditives très sélectives en faveur du propre chant de l'oiseau et de participer au codage de la commande motrice du chant. Au sein des structures centrales purement auditives, les neurones ne présentent une telle sélectivité dans leurs réponses. Loin d'oublier que les aptitudes du langage humain et celles du chant ne sont pas clairement analogues, les oiseaux chanteurs en permettant l'étude, au niveau neuronal, des relations entre la perception et la production des signaux acoustiques significatifs apportent des informations tout à fait intéressantes quant aux mécanismes nerveux qui sous-tendent le langage humain.

Over the last 20 years, songbirds have emerged as a leading model for studying neural mechanisms involved in vocal communication. Human speech and birdsong have numerous parallels: both humans and songbirds learn their complex vocalizations early in life and exhibit a strong dependence on hearing themselves as they practice. What neurophysiological investigations in song nuclei revealed is that the neural organization reflects strong interactions between perception of one's own sounds and vocal production. Consistent with how intertwined these two processes, neurons in song nuclei not only respond selectively to the bird's own song but also show motor activity during singing. Such a selectivity is not exhibited by neurons in auditory central areas. Although some features of birdsong and speech are clearly not analogous, studies in how experience is internalized and used to shape vocal outputs in songbirds, have a remarkable potential to reveal neural mechanisms underlying human speech.

45



Dans le monde, plus de 4 000 espèces d'oiseaux sont répertoriées comme Oiseaux Chanteurs. Depuis une vingtaine d'années, ils suscitent un intérêt croissant de la part des neurobiologistes qui cherchent à étudier le substrat nerveux qui sous-tend la perception et la communication vocale. Une des raisons de cet intérêt vient du fait que les chants sont des signaux vocaux complexes qui présentent un certain nombre de points communs avec le langage humain.

notes et des syllabes (constituées de deux notes ou plus), ainsi que les règles d'organisation temporelle de ces notes et syllabes. Ce qui suggère qu'une syllabe est une unité de base du chant, est le fait qu'un oiseau finit la syllabe qu'il est en train de chanter lorsqu'il est interrompu par un bref éclair de lumière. Pour donner un exemple d'organisation temporelle, dans un chant de canari, les notes ou syllabes sont répétées plusieurs fois pour constituer ce que l'on appelle des phrases. Un chant de canari est constitué de la succession de plusieurs phrases (Figure 1).

STRUCTURE DES CHANTS

Les chants sont produits par le flot d'air émis lors de l'expiration à travers un système vocal, la syrinx. Comme le langage, le chant est constitué d'une suite organisée de signaux sonores, séparés par de brefs intervalles de silence. Pour chaque espèce, on s'attache à décrire le répertoire phonologique, c'est à dire l'ensemble des

LE CHANT REQUIERT UN APPRENTISSAGE DANS LES PREMIERS MOIS DE LA VIE

Un des principaux points communs entre le chant et le langage humain est le fait que le chant requiert un apprentissage

CATHERINE DEL NEGRO

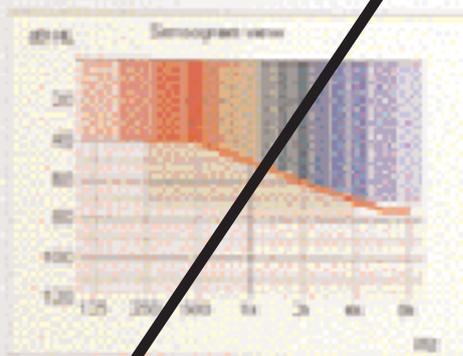
NAMC, UMR 8620, Bâtiment 446
Université Paris-Sud, 91405 Orsay Cédex

La différence numérique Widex

[Le Sensogramme]

Audiométrie in situ plus précise que jamais et unique en audioprothèse

- Seuils mesurés directement via l'aide auditive dans l'oreille du malentendant.
- Sensogramme axé sur 4 bandes principales pour simplifier le processus de mesure : 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz et 4000 Hz.
- Possibilité d'élargissement du Sensogramme sur 14 bandes, pour un affinement de réglage dans des situations particulières. Un intervalle d'un tiers d'octave, de 250 Hz à 8000 Hz assure un maximum d'exactitude pour toute perte d'audition.
- Les signaux test du Sensogramme sont des impulsions modulées en fréquence automatiquement réglées sur la largeur de bande critique correspondant à la fréquence centrale de chaque bande.



Le Sensogramme est pour l'audioprothésiste l'assurance d'une adaptation réussie dès la première visite avec la possibilité supplémentaire d'affiner le réglage pour des cas particuliers.

Sensia Diva

La première aide auditive de haute définition au monde

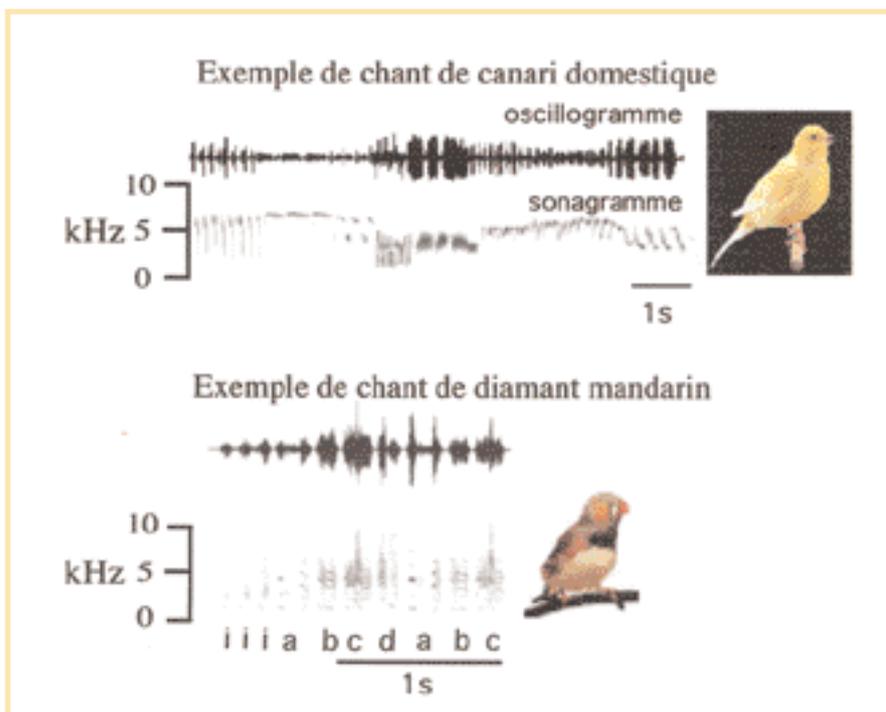


Figure 1 : Sonagrammes et oscillogrammes d'un chant de canari et d'un chant de diamant mandarin.

Les chants sont constitués de signaux sonores, modulés en fréquence et en amplitude, et organisés temporellement. Contrairement aux cris qui sont brefs, ils peuvent durer de quelques secondes à quelques dizaines de secondes. Dans le domaine de la neurobiologie des oiseaux chanteurs, deux espèces sont principalement étudiées, le canari (*Serinus canaria*) et le diamant mandarin (*Taenopygia guttata*). Dans un chant de canari, les notes (éléments sonores sans silence) ou syllabes sont répétées plusieurs fois pour constituer des phrases. La succession de plusieurs phrases différentes va former un chant. Chez le canari, le chant est très variable, tant dans sa durée que dans sa composition. Pour déterminer ce qu'un individu est susceptible de chanter, il faut enregistrer plus d'une centaine de ces chants afin de définir le répertoire des notes et syllabes qu'il émet. Le chant du diamant mandarin est, d'un point de vue acoustique, complètement différent de celui du canari. Il est constitué de notes introductives (i), suivies d'une succession de différentes syllabes (abcd) séparées par des silences. Cet ensemble (syllabes, silences) s'appelle un motif qui peut être répété plusieurs fois à la suite. Les syllabes peuvent contenir des sons purs, des harmoniques et des sons apériodiques. Chez un diamant mandarin adulte, d'un motif à l'autre, la structure et l'ordre des syllabes, ainsi que la durée des silences varient très peu.

dans les premiers mois de la vie (Doupe et Kuhl, 1999). C'est à l'âge adulte qu'un oiseau chanteur émet un chant ayant les caractéristiques acoustiques des chants de son espèce. Au cours des premiers mois qui suivent la naissance, avant de commencer à produire des vocalisations, le jeune oiseau, comme le jeune enfant, va d'abord mémoriser les caractéristiques acoustiques des chants produits par les individus adultes autour de lui. Un oiseau chanteur d'une espèce donnée ne produira des chants typique de son espèce qu'à condition qu'il ait été exposé aux chants de son espèce au cours des premiers mois de sa vie. Puis, le jeune oiseau va com-

mencer à chanter. Ajoutons que, pour certaines espèces d'oiseaux chanteurs, plusieurs mois, ceux de l'automne, séparent la fin de la période de mémorisation des premières vocalisations. Peu à peu, au cours d'une période appelée "sensorimotrice", les vocalisations produites vont se modifier jusqu'à correspondre à celles de l'espèce. L'oiseau va d'abord produire des sons très variables sans structure, sans organisation, qui rappellent le babillage des jeunes enfants. Ensuite, apparaîtra le chant plastique dans lequel seront d'abord distinguées des notes ou des syllabes typiques de l'espèce. Enfin, se mettra en place l'organisation temporelle des notes

et syllabes. Un oiseau isolé après la période de mémorisation produira un chant typique de son espèce: les informations acoustiques mémorisées vont guider et contraindre ce qui est produit par l'oiseau. A la maturité sexuelle, lorsque le taux d'hormones stéroïdes sexuelles aura augmenté, le chant émis sera celui d'un adulte de l'espèce. Les oiseaux sont alors classés en deux catégories: i) ceux dont le chant va très peu se modifier au cours de la vie, c'est le cas du diamant mandarin; ii) ceux dont le chant peut se modifier d'une année à l'autre, c'est le cas du canari, qui a, de plus, la particularité, de présenter un chant dont les caractéristiques acoustiques varient au cours des saisons.

L'apprentissage du chant a été particulièrement étudié chez le diamant mandarin parce qu'en 3 mois, un jeune oiseau de cette espèce acquiert son chant (il faut environ 8 mois chez le canari). A partir de la maturité sexuelle, le chant perd de sa variabilité, il est dit cristallisé: les paramètres temporels et spectraux des syllabes ne varient plus, l'ordre des syllabes ne change plus et les intervalles de temps entre les syllabes sont étroitement fixés, que l'oiseau soit en colonie ou seul avec une femelle (qui ne chante pas). Le diamant mandarin adulte va produire toute sa vie le même chant, dans lequel on reconnaît des syllabes de l'adulte tuteur, avec lequel il a été placé. Les hormones sexuelles jouent un rôle dans le processus de cristallisation. En effet, si on traite un jeune diamant mandarin (à 40 j) avec de la testostérone, cela a pour effet de précipiter la fin de la période sensorimotrice, l'oiseau a alors un chant stéréotypé comme celui de l'adulte, mais beaucoup plus court, c'est à dire avec un nombre réduit de syllabes. Si un diamant mandarin est isolé de ces congénères dans les 3 premiers mois de sa vie, son taux de testostérone reste bas et, s'il est mis en contact avec un adulte, il modifiera son chant de manière à copier certaines syllabes de cet adulte.

IMPORTANCE DU FEED-BACK AUDITIF DANS LE CONTRÔLE DU CHANT

Le jeune oiseau ne doit pas seulement avoir entendu les chants produits par les individus de son espèce, il doit entendre ce qu'il produit lui-même pour le corriger et le faire correspondre à ce qu'il a mémorisé (ce qui n'est pas le cas des vocalisations d'oiseaux non chanteurs comme la caille ou le poulet). Un jeune oiseau rendu sourd ne développera pas un chant ayant toutes les caractéristiques acoustiques des chants de son espèce. Ainsi, comme le langage humain, le chant nécessite des interactions étroites entre la perception de ses propres vocalisations et leurs productions motrices. Son acquisition dépend de la capacité à modifier les commandes motrices en utilisant le feedback auditif comme guide.

De plus, comme chez l'homme, les interactions entre la perception et la production sont cruciales même chez l'adulte. En effet, au cours de ces dernières années, plusieurs études ont montré que le chant d'un diamant mandarin adulte, que l'on pensait stable tout au long de la vie de l'oiseau, est, néanmoins, plastique: il se modifie si le feedback auditif est perturbé. Ainsi, chez le diamant mandarin adulte rendu sourd, peu à peu le chant se dégrade. Il est d'abord observé, des modifications dans l'organisation temporelle des syllabes: l'oiseau répète certaines syllabes, l'ordre d'émission des syllabes change d'un chant à l'autre. Puis, apparaissent des changements dans la structure des syllabes. Tout d'abord, les nouvelles syllabes sont reconnaissables. Celles-ci résultent de la combinaison de deux anciennes syllabes ou d'un changement dans la fréquence fondamentale. Puis, peu à peu, les syllabes deviennent bruitées. Ces dégradations dépendent de l'âge du diamant mandarin: elles apparaissent dans les semaines qui suivent si l'oiseau adulte a moins de 6 mois (adulte à 3 mois), il faut attendre plusieurs mois pour un oiseau de plus de 2 ans (Lombardino and Nottebohm, 2000). Des modifications dans le chant ne s'observent pas seule-

ment lorsque l'oiseau est rendu sourd, elles peuvent également survenir au bout de quelques semaines si, lorsque l'oiseau est en train de chanter, son chant est diffusé avec un décalage temporel de 100 msec (Leonardo and Konishi, 1998). Ces modifications ne sont alors pas définitives, elles disparaissent peu à peu lorsque le feedback auditif redevient normal. Enfin, dans une expérience très récente, des auteurs montrent que la restauration de l'audition peut alors s'accompagner d'une nouvelle période d'apprentissage (Woolley and Rubel, 2002). Dans cette étude, une perte de l'audition était induite par un traitement pharmacologique ototoxique associé à

une exposition, chaque nuit, à des sons de basse fréquence, de façon à détruire massivement les cellules de la cochlée. Après ce traitement, certains oiseaux étaient placés en compagnie d'un autre adulte qui n'avait pas subi le traitement alors que d'autres étaient seuls dans leur cage. Dans les deux mois qui suivirent la restauration de l'audition (mesurée par potentiels évoqués), qui était due au fait que chez les oiseaux de nouvelles cellules de la cochlée viennent remplacer celles détruites, les oiseaux placés seuls retrouvèrent leurs chants alors que ceux placés en compagnie d'un autre mâle adulte produisirent un chant dont certaines syllabes étaient la

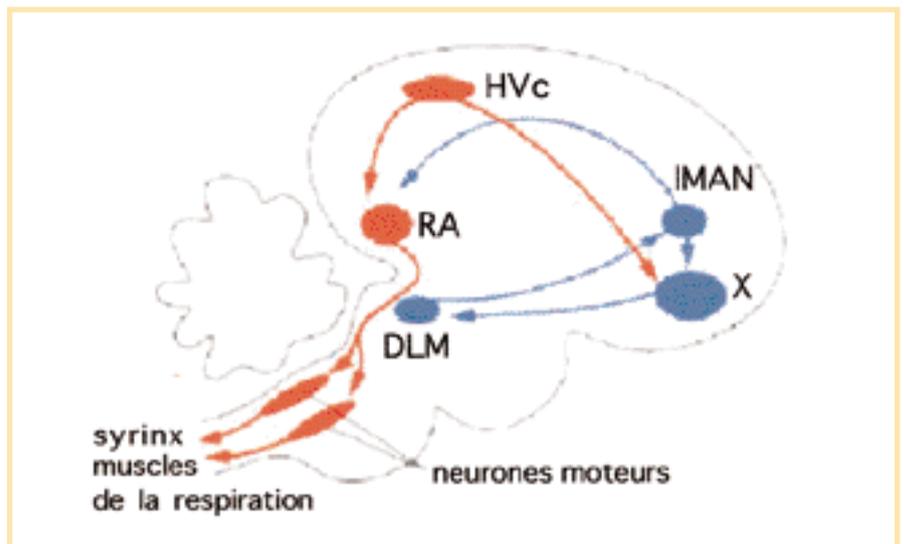


Figure 2 : Les structures cérébrales spécialisées dans le contrôle du chant sont organisées en deux circuits.

Les oiseaux chanteurs possèdent des structures cérébrales - communément appelées noyaux du chant - spécialisées dans le contrôle de la production de vocalisations complexes. Ces noyaux constituent deux circuits qui ont comme point de départ l'Hvc, lequel reçoit des informations auditives de plusieurs structures. Contrôlant l'organe vocal, la syrinx, un premier circuit (Hvc-RA-noyaux moteurs) est plus particulièrement impliqué dans la production du chant (en rouge sur le schéma). Après une lésion du noyau RA, l'oiseau n'émet plus de sons lorsqu'il tente de chanter. Un second circuit (aire X-DLM-IMAN) joue un rôle dans l'apprentissage du chant (en bleu sur le schéma). Chez le jeune diamant mandarin après une lésion de l'aire X, le chant reste peu structuré et variable dans les mois qui suivent. Au contraire, après une lésion du IMAN chez le jeune, le chant est d'emblée stéréotypé mais n'est composé que de très peu de syllabes. Une telle lésion précipite la fin de la période d'acquisition du chant. Ce circuit guiderait l'apprentissage du chant en évaluant la correspondance entre le chant qui vient d'être produit et le modèle mémorisé. De même chez l'adulte, ce circuit pourrait être responsable des modifications qui surviennent dans le chant. En effet, si chez les oiseaux rendus sourds (après ablation de la cochlée) le chant perd peu à peu ses caractéristiques acoustiques, cela n'est pas observé chez des oiseaux sourds qui ont subi, dans le même temps, une lésion du IMAN suggérant alors que la détérioration du chant résulte d'un processus actif et non pas d'une dégradation passive.

Hvc: acronyme ou high vocal center; RA: noyau robuste de l'archistriatum; X: aire X; DLM: partie médiane du noyau dorsolatéral du thalamus antérieur; IMAN: partie latérale du noyau magnocellulaire du néostriatum.

copie de celles émises par l'autre mâle montrant donc qu'un nouvel apprentissage est possible, sous certaines conditions expérimentales. Ainsi, chez les oiseaux chanteurs, à travers le feed-back auditif, les processus sensoriels, moteurs et d'apprentissage sont en interaction tout au long de la vie de l'oiseau.

Parallèlement, les études de neurophysiologie réalisées chez les oiseaux chanteurs révèlent, depuis une vingtaine d'années, qu'au sein même de l'organisation cérébrale, la perception des propres vocalisations de l'individu et leurs productions sont intimement associées.

EXISTENCE DE STRUCTURES CÉRÉBRALES SPÉCIALISÉES DANS LE CONTRÔLE DU CHANT

Les oiseaux chanteurs ne possèdent pas, comme les mammifères, un cortex constitué de plusieurs couches. Cependant, ils possèdent une hiérarchie complexe de structures cérébrales qui traitent à la fois les informations auditives et motrices (Figure 2). Ces structures très spécialisées, comme le sont les aires du langage chez l'homme (aire de Wernicke, aire de Broca) s'appellent les "noyaux du chant" et ne sont pas présentes chez les oiseaux non chanteurs. Ces noyaux constituent deux circuits qui ont comme point de départ le noyau HVC (acronyme ou high vocal center) vers lequel convergent les informations auditives de plusieurs structures. Un premier circuit (HVC-RA-noyaux moteurs) est plus particulièrement impliqué dans la production du chant et contrôle l'organe vocal des oiseaux, la syrinx, ainsi que les muscles impliqués dans la respiration. Un second circuit (aire X-DLM-IMAN) (homologue des circuits entre les aires corticales et les ganglions de la base chez les mammifères) joue un rôle dans l'apprentissage du chant et le maintien d'un chant stable chez l'adulte. Depuis une vingtaine d'années, les enregistrements électrophysiologiques de l'activité des neurones lors de la diffusion de stimuli auditifs, ont montré

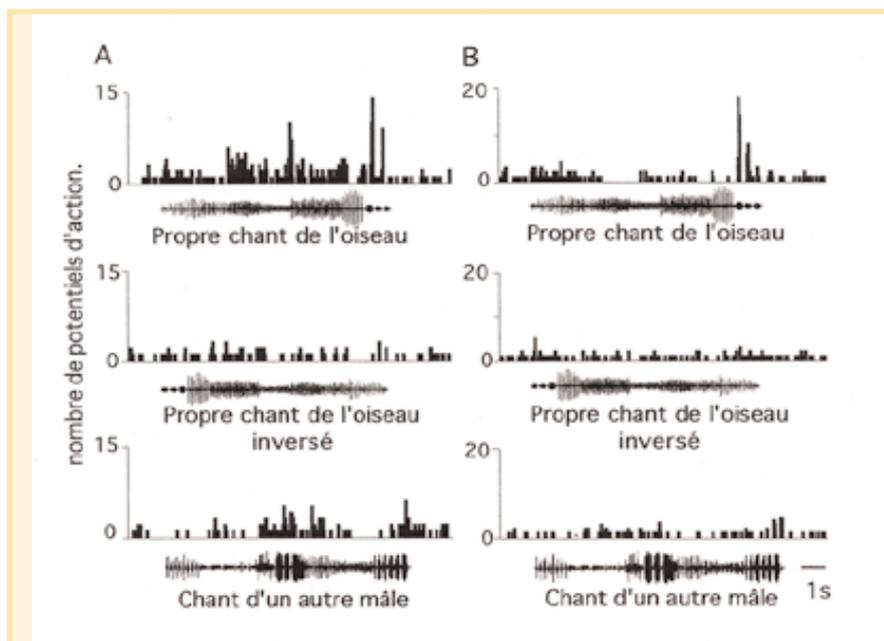


Figure 3 : Réponses auditives de deux neurones de l'HVC montrant une sélectivité en faveur du propre chant de l'oiseau.

Au sein de l'HVC d'un canari adulte en période de reproduction, un certain nombre de neurones (dont voici deux exemples A, B) présentent des changements importants dans leur activité lorsque le propre chant de l'oiseau est diffusé. Ces neurones ne répondent pas à la diffusion de ce chant à l'envers et à la diffusion d'un chant d'un autre canari. Les histogrammes présentent le nombre de potentiels d'action, par classe de 25 ms, émis lors de 10 répétitions des chants. Les oscillogrammes des chants sont présentés sous les histogrammes correspondant.

qu'au sein de l'ensemble de ces noyaux du chant, un grand nombre de neurones présentent les plus fortes réponses auditives lorsque le propre chant de l'oiseau est diffusé.

RÉPONSES AUDITIVES TRÈS SÉLECTIVES EN FAVEUR DU PROPRE CHANT DE L'OISEAU AU SEIN DES STRUCTURES CÉRÉBRALES SPÉCIALISÉES DANS LE CONTRÔLE DU CHANT

C'est au sein de l'HVC que les réponses auditives des neurones ont été particulièrement étudiées. Au sein de cette structure cérébrale, un certain nombre de neurones deviennent très actifs lorsque le propre chant de l'oiseau est diffusé (Figure 3). En revanche, ils ne répondent pas à des sons de fréquence pure, à des chants d'autres

espèces, et ils montrent également peu de changements dans leur activité en réponse à des chants d'individu de la même espèce et au propre chant de l'oiseau diffusé à l'envers (dans ce cas le chant possède la même gamme de fréquence, les relations entre modulation d'amplitude et de fréquence sont préservées, mais ces modulations sont inversées). En fait, des études réalisées chez le diamant mandarin, ont montré qu'au sein de l'HVC, les neurones sont extrêmement sensibles à la combinaison des paramètres acoustiques qui composent les syllabes du chant ainsi qu'à l'ordre temporel de présentation des syllabes (Margoliash and Fortune, 1992). Illustrons ce propos par trois descriptions de réponses neuronales pour révéler aussi leur diversité. Tout d'abord, certains neurones répondent à une syllabe du chant de l'oiseau. Si cette syllabe n'est plus modulée en intensité ou si un des éléments qui la composent est enlevée, le neurone répond nettement moins. Pour d'autres cellules,

l'activation est maximale pour une séquence de deux syllabes que l'on trouve dans le chant de l'oiseau. Si une des deux syllabes est présentée seule, le neurone répond moins, de même si l'ordre de présentation des deux syllabes est inversé ou si l'une des deux syllabes est répétée deux fois (Lewicki and Arthur, 1996). Il faut ajouter que l'activation induite par la séquence des deux syllabes est bien supérieure à la somme de celle obtenue pour chacune des deux syllabes ce qui signifie que l'intégration des paramètres acoustiques n'est pas linéaire. Enfin, certains neurones ne présentent d'augmentation de leur activité qu'après l'enchaînement de plusieurs syllabes du chant. Changer l'ordre de présentation de ces syllabes amoindrit alors les réponses. Ces résultats sont remarquables parce qu'ils indiquent qu'un grand nombre de neurones intègrent la combinaison des paramètres de temps, de fréquence et d'amplitude sur plusieurs dizaines de millisecondes. Cette étonnante sélectivité des réponses auditives des neurones de l'HVc fut, ensuite, retrouvée dans d'autres noyaux du chant, le noyau RA, l'aire X et le IMAN. Peu d'exemples dans la littérature scientifique montrent un si grand nombre de neurones ayant une sélectivité pour un signal complexe, qui est en fin de compte, celui produit par l'animal.

RELATIONS ÉTROITES ENTRE LE TRAITEMENT AUDITIF ET LA PRODUCTION DU CHANT, AU SEIN DES STRUCTURES CÉRÉBRALES IMPLIQUÉES DANS LE CONTRÔLE DU CHANT

Au sein de ces noyaux du chant (HVc, RA, aire X, IMAN), les neurones ne présentent pas seulement des réponses auditives, qui ont la particularité d'être sélectives en faveur du propre chant de l'oiseau, ils sont également actifs lorsque l'oiseau chante. Au cours de ces dernières années, des enregistrements de l'activité des neurones

pendant que l'oiseau chante nous ont appris que les neurones de l'HVc ou du noyau RA participent au codage de la commande motrice du chant (Yu and Margolia, 1996). Chez le diamant mandarin adulte qui a la particularité de toujours chanter le même chant, les neurones de l'HVc deviennent très actifs avant les notes d'introduction du chant et le restent jusqu'à la fin du chant. Leur activité dépend du type de syllabe qui va être produite. En revanche, au niveau du noyau RA, les neurones ne sont pas actifs pendant toute la durée du chant, leur activité dépend du type d'élément (composant de la syllabe) qui sera émis. En ce qui concerne l'Aire X et le IMAN, ces deux structures montrent également une augmentation dans l'activité de leurs neurones lorsque l'oiseau chante. Ainsi donc, au sein des noyaux du chant, le traitement auditif et la production motrice apparaissent comme associées. L'idée actuelle serait que la

remarquable sélectivité des réponses serait le résultat d'interactions étroites entre les processus sensoriels et moteurs.

LA SÉLECTIVITÉ DES RÉPONSES AUDITIVES POUR LE PROPRE CHANT DE L'OISEAU S'ÉLABORE AU SEIN DES STRUCTURES AUDITIVES.

Ajoutons alors que le remarquable degré de sélectivité des réponses auditives des neurones des noyaux du chant en faveur du propre chant de l'oiseau n'a pas été mise en évidence au sein des structures auditives du télencéphale, en amont de l'HVc.

Parmi les structures auditives qui projettent vers l'HVc et qui sont interconnectées de façon complexe (Figure 4), le champ L est considéré comme l'analogue du cortex auditif des mammifères.

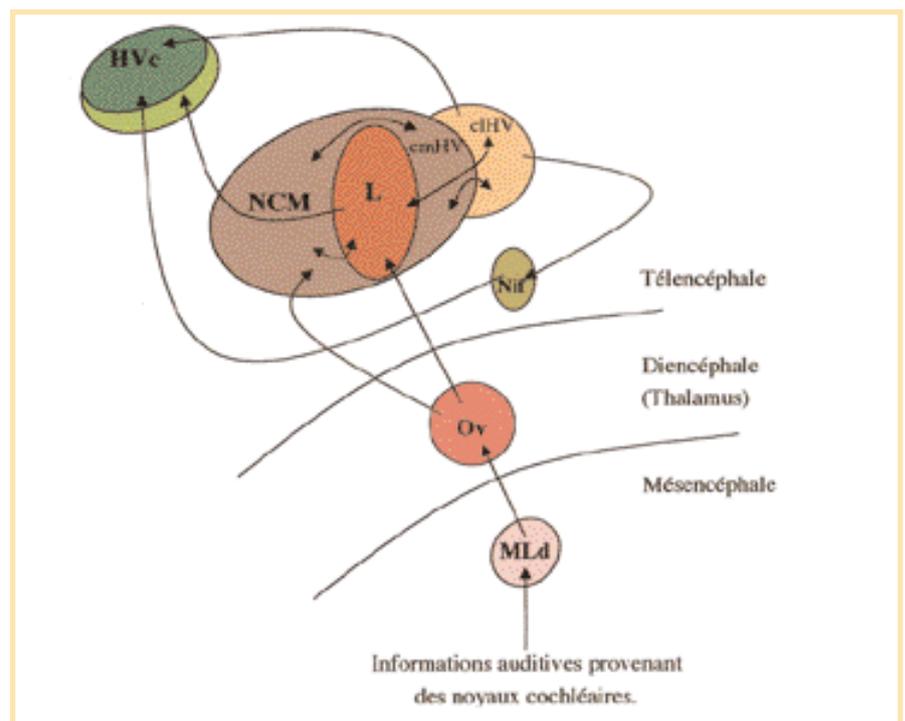


Figure 4 : Schéma simplifié des voies auditives.

Les informations auditives, qui arrivent au niveau de l'HVc, point de départ de deux circuits des noyaux du chant, ont préalablement été traitées au sein de nombreuses structures auditives. Au sein du télencéphale, ces structures auditives sont interconnectées entre elles de façon complexe. Parmi elles, le champ L est l'analogue du cortex auditif des mammifères.

MLd : parti dorsale du noyau mésencéphalique latéral; Ov: noyau ovoïdal; NCM: partie caudale du néostriatum; cmHV et clHV: hyperstriatum ventral caudomedian et caudolatéral; Nif: noyau interfascial.

Le Champ L est constitué de plusieurs sous régions, qui reçoivent, un contingent plus ou moins important d'axones provenant du noyau thalamique qui traite les informations auditives. Au sein du champ L, la majorité des neurones ne présente pas de réponses sélectives en faveur des caractéristiques acoustiques du propre chant de l'oiseau. Ils répondent tout autant au propre chant de l'oiseau, qu'à ce chant diffusé à l'envers et ils ne sont pas sensibles à l'ordre de diffusion des syllabes du chant. En revanche, au sein du noyau NIF, qui est plus en aval au sein du réseau des structures auditives et qui projette lui aussi vers l'HVc, la plupart des neurones présente des réponses plus importantes au propre chant de l'oiseau lorsqu'on compare les réponses obtenues à ce chant avec celles obtenues à ce chant diffusé à l'envers ou à un chant d'un mâle de la même espèce. Cependant, cette sélectivité est moindre que dans l'HVc. En effet, les neurones de NIF présentent également des excitations au propre chant de l'oiseau diffusé à l'envers alors que ceux de l'HVc n'y répondent pas. Ces données suggèrent donc une hiérarchie dans la sélectivité des réponses auditives en faveur du propre chant de l'oiseau parmi les structures auditives.

Parmi ces structures figurent également le NCM (partie caudale du néostriatum) et le cmHV (hyperstriatum ventral caudomedial). Le NCM reçoit des informations du champ L et du thalamus auditif. Au cours de ces dernières années, de nombreuses études de l'expression des gènes immédiats précoces (tels que *c-fos*, ZENK), utilisée comme marqueur de l'activation neuronale (mais l'expression de ces gènes ne reflètent pas de façon simple des changements d'activité des neurones), ont montré que l'expression de ces gènes augmentaient dans le NCM et le cmHV après diffusion de stimuli auditifs. Ainsi, le marquage dans le NCM pour des chants de l'espèce est deux fois plus important que celui obtenu pour des chants hétérospécifiques et quatre fois plus important que celui obtenu pour des bruits blancs (Mello et al., 1992; Mello et Clayton, 1994). Mais le propre chant de l'oiseau ne se

distingue pas, par ses effets, des chants des autres mâles de l'espèce. A partir de ces résultats, ces deux régions auditives ont été proposées comme jouant un rôle dans la reconnaissance et la discrimination parmi les chants entendus. En effet, d'autres études montraient aussi que l'expression de ces gènes immédiats précoces baisse après des présentations répétées du même chant, et peut être induite à nouveau si un nouveau chant est présenté (Mello et al, 1995).

Au sein des structures auditives du télencéphale, les neurones ne présentent donc pas des propriétés auditives comparables à celles des neurones de l'HVc. Cependant, il faut souligner le fait qu'un grand nombre d'entre eux opèrent une intégration complexe des signaux acoustiques qui joue vraisemblablement un rôle dans l'élaboration de la sélectivité des neurones de l'HVc et/ou un rôle dans d'autres fonctions comme la reconnaissance des chants d'autres individus.

INTÉGRATION NON LINÉAIRE DES PARAMÈTRES ACOUSTIQUES AU SEIN DES STRUCTURES AUDITIVES

Comme au sein du cortex auditif primaire chez l'homme, il existe une organisation tonotopique au sein du champ L. Cependant, les neurones du champ L ne répondent pas tous à des sons purs et certains présentent des réponses à des stimuli acoustiques complexes. Dans une étude récente, au cours de laquelle des enregistrements électrophysiologiques étaient réalisés dans le champ L de diamant mandarin, il a été pris en compte pour chaque potentiel d'action émis par le neurone enregistré, les signaux acoustiques présentés dans les 100 ms qui précédaient, et cela lors de la présentation de plus d'une vingtaine de chants d'individus différents. Certains neurones du champ L répondent à une gamme bien définie de fréquence avec une latence précise et le plus souvent assez courte, alors que d'autres répondent à plusieurs gammes assez larges de

fréquence avec des latences différant selon la gamme et qui peuvent dépasser 50 ms. Pour le premier type de neurone, il est possible, à partir des paramètres définis (fréquence, latence), de prédire fidèlement comment le neurone va répondre lors de la présentation de tel ou tel chant. En revanche, pour le second type, les prédictions ne correspondent pas à leurs réponses parce que ces neurones n'intègrent pas de façon linéaire les paramètres acoustiques qui leur sont pertinents. Au sein du champ L, de la sous région d'entrée, qui reçoit les informations auditives du thalamus, à celles de sortie, qui projettent vers l'HVc, la proportion de neurones montrant une intégration complexe et non linéaire des signaux acoustiques augmente progressivement.

De même au sein du NCM, les neurones ne semblent pas non plus intégrer de façon linéaire les informations auditives (Ball and Gentner, 1998). En effet, une étude réalisée chez le canari a montré que l'expression d'un gène immédiat précoce (ZENK) lors de la diffusion de syllabes complexes ne se réduit pas à la somme des expressions obtenues lors de la diffusion des différents éléments qui composent la syllabe. En effet, certaines zones du NCM ne sont pas activées lors de la diffusion de la syllabe complexe alors qu'elles le sont lorsque les éléments sont présentés séparément. De plus, la présentation répétée des éléments d'une syllabe entraîne une baisse dans l'expression du gène ZENK, qui est induite à nouveau si la syllabe complexe est diffusée suggérant que la syllabe a sa propre identité d'un point de vue auditif (Ribeiro et al, 1998).

L'ensemble de ces données suggèrent donc que la reconnaissance très sélective du propre chant de l'oiseau par les neurones de l'HVc pourrait nécessiter un grand nombre d'étapes de traitement neuronal au sein de nombreuses structures auditives en amont et émerger au sein des structures impliquées dans la production des patterns moteurs, comme l'HVc.

MÉCANISMES NERVEUX QUI SOUS-TENDENT LA SÉLECTIVITÉ DES RÉPONSES AUDITIVES POUR LE PROPRE CHANT DE L'OISEAU

Au sein de l'HVC, l'émergence de la sélectivité des réponses auditives des neurones de l'HVC en faveur du propre chant de l'oiseau, pourrait reposer sur les propriétés physiologiques des neurones. Une de nos études réalisées chez une espèce d'oiseau chanteur, qui se reproduit de façon saisonnière, le canari, dont le chant varie en fonction des saisons suggère cela. Au printemps, les canaris émettent des chants longs, très stéréotypés, dont un certain nombre de phrases sont constituées d'éléments à rapide modulation de fréquence. En revanche, au début de l'automne, les canaris produisent des chants plus courts, plus instables tant au niveau de la structure des syllabes qu'au niveau de l'organisation temporelle de ces syllabes (Figure 5). Au niveau de l'HVC, au cours de la période de reproduction, une proportion importante de neurones de l'HVC présentent une augmentation de leur activité en réponse à la diffusion du propre chant de l'oiseau et ne répondent pas ou peu à la diffusion de ce chant à l'envers ou à celle d'un chant d'un autre mâle canari. En dehors de la période de reproduction, chez des oiseaux dont le taux de testostérone est bas mais qui chantent, un nombre important de neurones ont une activité spontanée beaucoup plus faible et ne présentent même plus de réponses auditives au propre chant de l'oiseau, indiquant ainsi que les propriétés des neurones du HVC sont plastiques et dépendent des saisons. Quels pourraient être les mécanismes nerveux qui seraient impliqués dans ces changements dans les propriétés auditives des neurones de l'HVC chez le canari ? L'HVC a la particularité d'être constitué de neurones qui possèdent des récepteurs aux hormones stéroïdes sexuelles (androgènes et oestrogènes). Au printemps, lorsque les jours rallongent, le taux de ces hormones circulant dans le sang augmente et cela s'accompagne

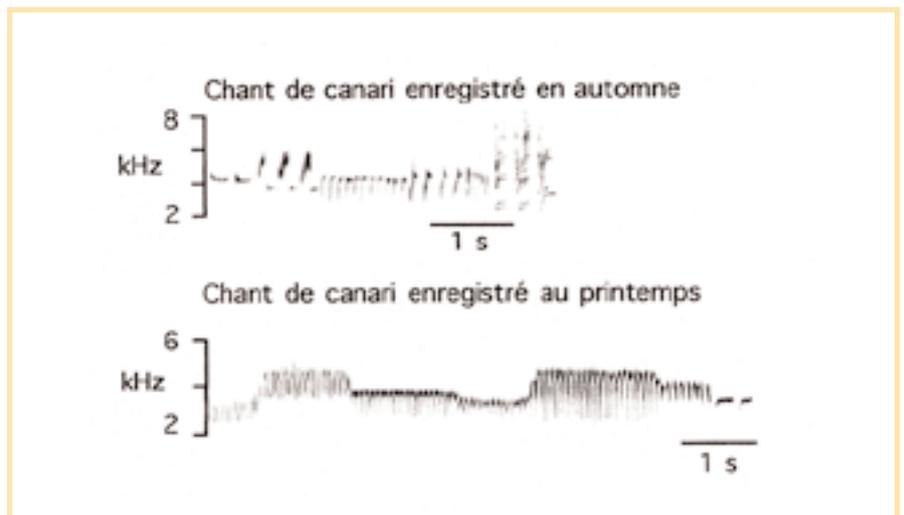


Figure 5: Sonagrammes de chants de canari enregistrés, respectivement, à la période de reproduction et hors de cette période.

Au printemps, les chants de canari sont longs, stéréotypés et composés de notes ou syllabes à rapide modulation de fréquence. Au début de l'automne, les chants sont plus courts, plus instables que ce soit dans la structure des syllabes ou celle du chant. Les notes sont plus longues et présentent peu de rapides modulation de fréquence.

d'une augmentation de la densité de leurs récepteurs au sein de l'HVC. Une des conséquences de cela serait de rendre les neurones de l'HVC très sensibles à l'action de ces hormones et pourrait conduire à des changements dans les propriétés des neurones. Ils seraient alors plus excitables.

Cependant, cette sélectivité des réponses des neurones de l'HVC chez des canaris en période de reproduction pourrait également reposer sur des changements dans le réseau de connectivité entre neurones, au niveau l'HVC. En effet, lorsqu'au printemps le taux d'hormones stéroïdes augmente, il est également observé, au niveau de l'HVC, une augmentation du volume et du nombre de neurones. De plus, une de nos récentes études suggère que la proportion des interneurons au sein de l'HVC est plus importante à la période de reproduction qu'hors période de reproduction (Del Negro and Edeline, 2002). Il faut dire qu'au sein de l'HVC, deux types de neurones, dont les interneurons, sont en renouvellement permanent (de nouveaux neurones sont sans cesse incorporés et remplacent les neurones qui meurent) et que, sous l'action des androgènes, la survie ou le recrutement de nouveaux neurones serait favorisée. Comme des données suggèrent que les

interneurons, par l'inhibition qu'ils peuvent induire, pourraient rendre les neurones, avec lesquels ils sont connectés, plus sélectifs dans leurs réponses neuronales, un changement dans leur proportion pourrait modifier la réactivité d'un grand nombre de neurones au sein de l'HVC, à la période de reproduction.

Pour finir, cette étude amène à se poser plusieurs questions plus générales. On peut se demander quelle est, chez le canari, l'activité des neurones de l'HVC lorsque le chant est stéréotypé (au printemps) et lorsque le chant est instable (en automne). Et surtout, on peut se demander comment se modifie, en parallèle, les réponses auditives et l'activité qui génère le chant, au sein de l'HVC, tout au long de l'année, lorsque le chant varie.

De même, cette question se pose, chez le diamant mandarin, lorsqu'il est rendu sourd et que son chant se dégrade. Tout cela pour indiquer qu'actuellement la question principale qui est abordée, chez les oiseaux chanteurs, est celle des relations, au niveau neuronal, entre la perception auditive et la production du chant. Parce que cette question est fondamentale pour la compréhension des mécanismes par lesquels peut agir le

feed-back auditif pour guider les changements dans la production vocale, les oiseaux chanteurs représentent un modèle d'étude des mécanismes nerveux qui sous-tendent le langage qui peut sembler tout à fait intéressant.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

G.F. Ball and T. Gentner (1998) They're playing our song: gene expression and bird-song perception. *Neuron*, 21: 271-274.

C. Del Negro and J.M. Edeline (2002) Sex ad season influence the proportion of thin spike cells in the canary HVc. *Neuroreport*, 13, november 15th.

A.J. Doupe and P. Kuhl (1999) Birdsong and human speech. *Annual Rev. Neurosci.*, 22: 567-631.

A. Leonardo and M. Konishi (1999) Decrystallization of adult birdsong by pertur-

bation of auditory feedback. *Nature*, 399: 466-470.

M.S. Lewicki and B.J. Arthur (1996) Hierarchical organization of auditory temporal context sensitivity. *J. Neurosci.*, 16: 6987-6998.

A.J. Lombardino and F. Nottebohm (2000) Age at deafening affects the stability of learned song in adult male zebra finches. *J. Neurosci.*, 20: 5054-5064.

D. Margoliash and E.S. Fortune (1992) Temporal and harmonic combination sensitive neurons in the zebra finch's HVc. *J. Neurosci.*, 12: 4309-4326.

C.V. Mello, D.S. Vicario and D.F. Clayton (1992) Song presentation induces gene expression in the songbird forebrain. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 89: 6818-6822.

C.V. Mello and D.F. Clayton (1994) Song-induced ZENK gene expression in auditory pathways of songbird brain and its relation to

the song control system. *J. Neurosci.*, 14: 6552-6666.

C.V. Mello, F. Nottebohm and D. Clayton (1995) Repeated exposure to one song leads to a rapid and persistent decline in an immediate early gene's response to that song in zebra finch telencephalon. *J. Neurosci.*, 15: 6919-6925.

S. Ribeiro, G.A. Cecchi, M.O. Magnasco and C.V. Mello (1998) Toward a song code: evidence for a syllabic representation in the canary brain. *Neuron*, 21: 359-371.

M.N. Woolley and E.W. Rubel (2002) Vocal memory and learning in adult bengales finches with regenerated hair cells. *J. Neurosci.*, 22: 7774-7787.

A.C. Yu and D. Margoliash (1996) Temporal hierarchical control of singing in birds. *Science*, 273: 1871-1875.

*Quelque soit le logiciel que vous utilisez :
Voici son complément indispensable*

Audi@Vital@e



Le mini logiciel pour le paiement rapide de vos tiers-payant

- Logiciel totalement autonome
- Pas de contrat de maintenance
- Auto-installable + aide-en-ligne interactive
- Très simple d'utilisation
- Compatible tous départements français

PRIX DE LANCEMENT
390 € HT
SEULEMENT



Lisez la carte vitale
ou saisissez



Télétransmettez



Recevez vos règlements
sous 6 jours (*)

C'est tout !

Demande d'information : p.fantinel@logidil.com Tel. : 04.91.79.96.96



INTELLIGENCE ET
PERFECTION NUMÉRIQUE

HANSATON
Produits de qualité

AUDITION

grand luxe

STYLE DE VIE



HANSATON
PREMIO
SYSTEME AUDITIF



AUDIOMEDI
HANSATON

VEILLE INFORMATIQUE

RECULER POUR MIEUX SAUTER !

Le passage à NOAH 3 ne provoque pas, loin s'en faut, un raz de marée, et pourtant, il est totalement inéluctable :

1. le renouvellement du parc informatique avec la mise en œuvre de nouveaux systèmes d'exploitation (XP home ou pro) rend l'installation et le fonctionnement de NOAH 2 incertains.
2. les nouveaux modules de programmation sont optimisés pour NOAH 3; certains posent des problèmes dans NOAH 2.
3. les avantages de NOAH 3 dans la gestion des sessions, le multitâches, l'audiophonologie et les suivis d'appareillage sont évidents.

Dès lors, il y a lieu de s'interroger sur les raisons de ce peu d'engouement :

- le coût de la mise à jour est non négligeable,
- NOAH 3 ne fonctionne bien que sur des configurations musclées et récentes,
- les petites imperfections persistantes ont agacé les premiers utilisateurs....Sans parler des traductions pittoresques ("Ton pur", "parole", "help"),
- enfin les fabricants d'ACA, de peur d'irriter leurs clients ont toujours proposé des modules de programmation fonctionnant sans NOAH 2...

En ce qui me concerne, je suis passé à NOAH 3 et objectivement, je n'en suis pas mécontent...et vous ?

C. ELCABACHE

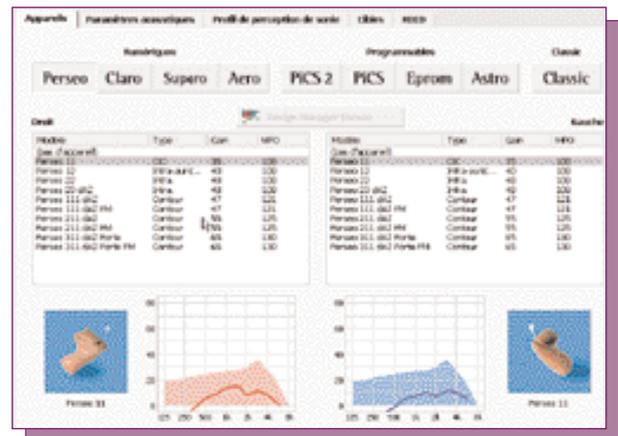
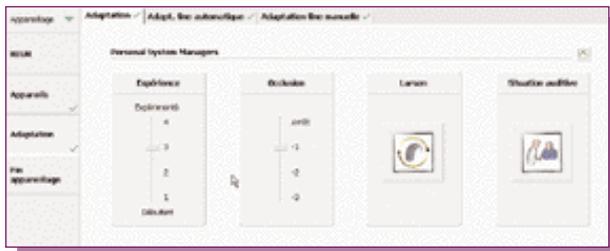
Membre du Collège National
d'Audioprothèse

COUP DE CŒUR PFG 8.1

La sortie d'une nouvelle gamme est l'occasion pour PHONAK de nous proposer une mise à jour de son logiciel de programmation et il faut admettre que nous ne sommes pas déçus.

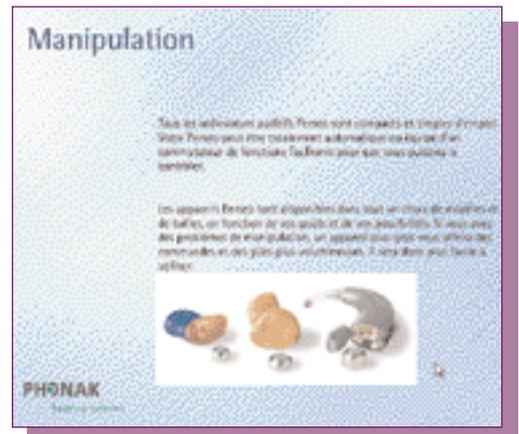
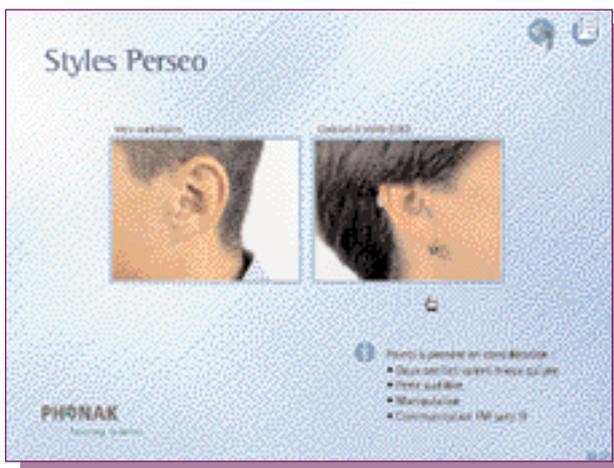
1. On ne change pas une équipe qui gagne

Les étapes de l'appareillage clairement définies et complétées sur la gauche, des boîtes à onglets pour bien structurer chacune d'entre elles, pas de doute, vous n'aurez pas à faire beaucoup d'effort pour retrouver vos habitudes.



2. Design Manager Perseo :

Voici le "power point" de l'audioprothésiste pour bien expliquer et bien choisir dans la gamme Perseo et dans sa riche collection d'extensions (télécommandes, montres et systèmes FM au grand complet).



Capteur téléphonique



Les personnes ayant Perseco peuvent profiter d'un capteur téléphonique. Il permet de mieux comprendre dans certaines situations.

Les avantages :

- Meilleure intelligibilité avec des interlocuteurs multiples d'une seule main (sans le cas de nombreux téléphones publics).
- Audition claire dans des situations publicitaires (magasins, hôtels, écoles, écoles, etc.).

Systèmes FM

Dans certaines situations, auditer par ce moyen d'écouter, la communication n'est possible qu'avec la technologie FM de Phonak.

Avantages de la FM :

- La FM transforme les aides auditives en systèmes de communication efficaces.
- Communication plus facile en milieu bruyant.
- Médiator communication à distance.
- Pour les enfants d'école Phonak peuvent être équipés de la FM sans modification.

Étendez et comprenez clairement la parole dans les situations auditives difficiles suivantes :



Systèmes FM en détail

Les systèmes FM proposent de nombreux modèles de microphones et d'émetteurs.



MoneyMic
Le microtransmetteur portable MoneyMic peut être placé sur une table de séminaire, sur un carrefour, votre ordinateur, votre téléphone, votre télévision ou votre ordinateur. Plus la MoneyMic.



TalkCom
TalkCom offre un accès continu au téléphone et la télévision ou à tout autre appareil audio. Plus la TalkCom.



Carfax 5
Carfax 5, doté d'une technologie moderne de transmission, est le meilleur choix pour les applications domestiques et les conférences. Plus la Carfax 5.

PHONAK
Hearing Systems

Détente

Regardez la télé tout en écoutant la télévision.



Le système FM peut offrir plusieurs avantages en regardant la télévision. Il élimine le bruit et augmente le volume sonore et vous permet de mieux entendre d'écouter une conversation, d'écouter le dialogue sonore et de comprendre pleinement la voix de votre correspondant.

Le système FM de Phonak est aussi idéal pour regarder de la musique à la radio, avec un lecteur de CD ou un ordinateur.

TelCom



Recherchez sur le téléphone et le téléphone. TelCom transmet clairement le son de la ligne et la qualité du téléphone dans les systèmes FM de vos aides auditives. Quand vous décrochez le combiné, TelCom continue automatiquement le son de téléphone et transmet clairement la voix de votre correspondant à vos aides auditives. En réglant le combiné, le signal audio du téléphone est envoyé à son système d'aiguage.

Pour la réception, le réglage, le lecteur de CD, l'ordinateur connecté ou tout autre appareil doté d'une sortie audio.

C'est de la "PREAUDAO", PREselection AUDio Assistée par Ordinateur, et il faut reconnaître que remettre un document imprimé au patient est un plus...même si les couleurs et l'orthographe sont à revoir (ah la "couleur bleue" !), ainsi que le système auditif Supero de Perseo.

PHONAK
hearing systems

Appareil : Perseo 111
Couleur : beige

Régages : Automatique et Microcommande WatchPilot? Homme biche SoundPilot

Caractéristiques

- Automatique. Le premier système automatique avec PersonalLogic. Vous entendez les sons comme vous voulez les entendre.
- Réducteur de bruit à haute résolution
- AudioZoom numérique adaptatif
- Protection contre le vent et les impuretés
- Commutateur TacTronic optionnel
- Microcommande optionnelle

Caractéristiques

- Automatique. Le premier système automatique avec PersonalLogic. Vous entendez les sons comme vous voulez les entendre.
- Réducteur de bruit à haute résolution
- AudioZoom numérique adaptatif
- Protection contre le vent et les impuretés
- Commutateur TacTronic optionnel
- Microcommande optionnelle

Perseo
L'Art et la science de mieux entendre

Cadre commercial : LABORATOIRE + AUDIO
Charles ESCABEC Phonak - Audiphoton
4, rue Gambetta - 09100 SENG
21.A.05.045.AUD
Tél. : 03 86 93 93 29

PHONAK
hearing systems

Appareil : Perseo 111
Couleur : beige F01
TacTronic :
Microcommande : WatchPilot? Homme biche SoundPilot

Logiciel : Commutateur TacTronic

Caractéristiques

- Automatique. Le premier système automatique avec PersonalLogic. Vous entendez les sons comme vous voulez les entendre.
- Réducteur de bruit à haute résolution
- AudioZoom numérique adaptatif
- Protection contre le vent et les impuretés
- Commutateur TacTronic optionnel
- Microcommande optionnelle

Perseo
L'Art et la science de mieux entendre

Cadre commercial : LABORATOIRE + AUDIO
Charles ESCABEC Phonak - Audiphoton
4, rue Gambetta - 09100 SENG
21.A.05.045.AUD
Tél. : 03 86 93 93 25

3. Ah l'aide !

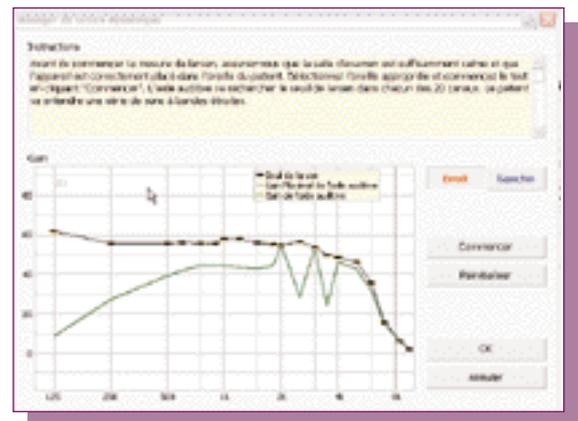
Osez cliquer dans la rubrique aide sur "protection des microphones", vous allez bénéficier d'un cours à domicile sur la technique d'échange du filtre coupe-vent et anti-poussière des Claro et Perseo.

4. "Personnalisez" la programmation

a. La boîte de vitesse automatique :

- Personal System Managers

En 4 étapes, vous allez pré-régler les ACA en fonction de l'expérience du patient, des gênes provoquées par l'occlusion d'un larsen ou du degré de réduction de bruit souhaité, ce de façon très visuelle.



- Adaptation fine automatique

Ici, vous retrouvez les mêmes options que sur les anciennes versions avec, par contre un accès direct aux différents programmes.

b. la boîte de vitesse manuelle à vingt rapports ! (Adaptation fine manuelle) :

Las d'avoir subi certaines critiques sur le mode manuel du Claro, PHONAK dote d'emblée le Perseo d'un nombre impressionnant de réglages sur vingt canaux (gain 50 dB -80 dB et TK) très efficaces et indépendants les uns des autres, ce qui devrait permettre de faire des réglages d'une très grande précision.



c. la boîte de vitesse manuelle assistée :

Pour les plus timorés ou prudents, les interventions sur les gains à 50 dB – 80 dB et sur le TK peuvent agir sur 1, 3 ou 6 bandes. Ici aussi, les changements de programme peuvent être effectués en cours de réglage fin, ce qui est largement plus commode.



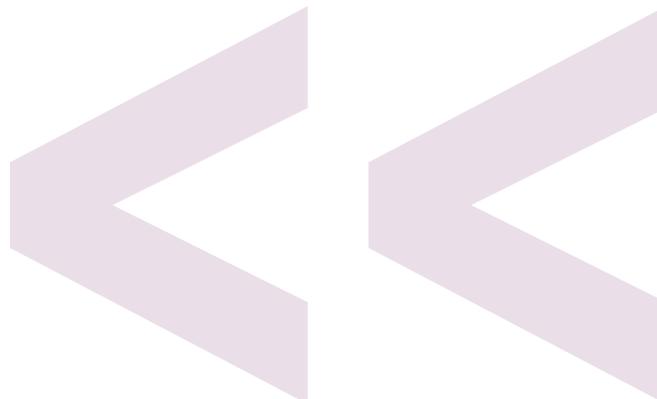
5. Fin de l'appareillage :

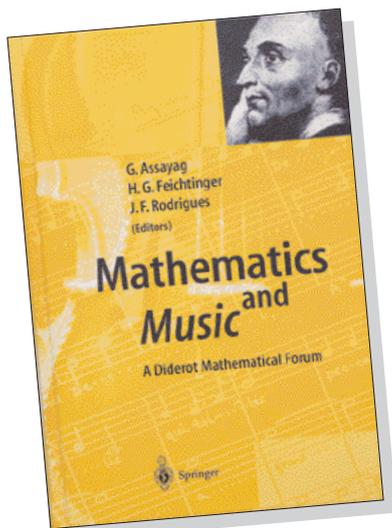
Ici aussi, vous retrouverez vos repères avec , en particulier, la possibilité de proposer jusqu'à 3 télécommandes ou montres au patient...ce qui me semble peu si vous tombez sur un "maniaque collectionneur" !

CONCLUSION

Nous n'entrerons pas ici dans les détails, mais je puis vous certifier que sous NOAH 3, l'ensemble fonctionne à la perfection...

Merci PHONAK.





MATHEMATIC AND MUSIC

**G. ASSAYAG, H. G. FEICHTINGER,
J. F. RODRIGUES
SPRINGER 2002.**

La musique ou tout du moins une réflexion sur l'acoustique et la musique va maintenant faire partie de la formation des futurs spécialistes de l'audiologie prothétique. C'est bien évidemment une nouveauté intéressante et c'est aussi la raison pour laquelle nous essaierons d'informer, quand l'occasion se présentera, les lecteurs de notre revue. Ce livre correspond à un ensemble de conférences présentées simultanément à Lisbonne, à Paris et à Vienne. Le fait que les mathématiciens et au-delà, les acousticiens s'intéressent à la musique ne vient-il pas, aussi, du fait qu'un philosophe comme Diderot ait pu écrire dans l'Encyclopédie : "c'est par les nombres et non par les sens qu'il faut estimer la sublimité de la musique".

N'y a-t-il pas là une certaine forme de provocation intellectuelle qui devait conduire les mathématiciens à rendre raison à Diderot et les physiciens acousticiens ainsi que les psy-

cho-acousticiens à relever le défi d'une telle affirmation ? L'objet de ce livre est assez subtil pour que, nous l'espérons, certains reviennent dessus pour essayer d'en présenter une recension digne de ce non. Certains titres sont très évocateurs et leur contenu assez attirant par exemple : "Etnomusicology, ethnomathematics. The logic underlying orally transmitted artistic practices". Mais, ce n'est pas seulement l'exotisme qui présente de l'intérêt. L'article qui précède et qui traite de : "The formalization of logic and the issue of meaning" est aussi intéressant que celui traitant du thème de : "Expressing coherence of musical perception in formal logic" ou "The musical communication chain and its modeling" ainsi que "computational models for musical sound sources". Tous ces thèmes sont intéressants pour qui essaie de comprendre un peu comment formaliser et comment aborder avec rigueur une question passionnante qui relève de la culture artistique et dans laquelle la pensée scientifique au travers de la logique et de l'algèbre, philosophique vis à vis de la perception trouve un écho.

François Degove

BIOPHYSIQUE DE L'ENVIRONNEMENT SONORE

CH. GELIS ; ELLIPSES ; 2002.

Est-il besoin de présenter cet auteur qui avant de prendre quelques distances avec l'université nous livre son deuxième

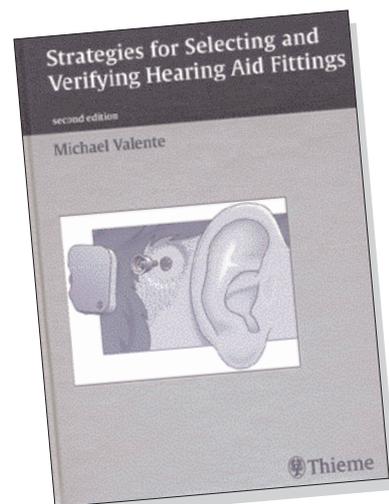
ouvrage sur un sujet qu'il connaît particulièrement bien. On y trouve en fait tout ce que devrait savoir au minimum, et avoir compris, un étudiant qui termine sa troisième année d'études supérieures. En particulier on y trouve un chapitre sur la musique qui maintenant fait maintenant aussi partie du savoir de base. La réflexion développée dans ce chapitre est particulièrement intéressante et les professionnels qui ont l'occasion de travailler avec des musiciens y trouveront un certain nombre de remarques qui les aideront à mieux comprendre ce type de patients souvent très intéressants mais aussi très exigeants.

F. D.

POUR LA SCIENCE. DÉCEMBRE 2002

SPÉCIAL CERVEAU : DES FENÊTRES SUR LA CONSCIENCE.

Assez régulièrement tous les 4 ou 5 ans les revues de vulgarisation scientifique proposent un numéro spécial consacré au cerveau. Cette fois-ci c'est donc la revue américaine traduite en français (Scientific American) qui s'est donc attelée à cette tâche. Pourquoi signaler un tel travail ? La raison en est simple c'est parce qu'on entend avec son cerveau et non avec mais, grâce à son oreille mais aussi parce que le contenu de ce numéro est plein d'enseignements.



STRATEGIES FOR SELECTING AND VERIFYING HEARING AID FITTINGS

**M. VALENTE ED. 2^{ÈME} ÉDITION
THIEME 395P. 2002.**

Voici donc une nouvelle version d'une série de 2 ouvrages qui avaient été publiés il y a quelques années et dont le contenu était déjà fort intéressant. Ces ouvrages restent d'ailleurs d'actualité et cette nouvelle mouture est plus un complément d'information et surtout l'occasion de développer des chapitres sur des sujets qui, pour différentes raisons n'avaient pas été traités précédemment.

C'est aussi intéressant de repasser un peu sur l'histoire de l'audiologie prothétique depuis 1994 et de se souvenir que certaines technologies n'étaient pas encore développées par exemple la Baha ou que certaines techniques de calcul répondant à des produits relativement innovant à l'époque n'existaient pas non plus, par exemples, NAL-NAL1 ; DSLi/o ; IHAFF et FIG6.

Parmi les nouveaux chapitres on trouve l'un d'entre eux

dédié aux précautions liées aux contrôles à réaliser pour éviter les infections thème que nous avons nous-même traité lors de l'EPU de décembre 2000 et dont nous avons essayé de montrer l'importance dans le tenue d'un laboratoire. L'un des aspects les plus intéressants de cette nouvelle version est sans doute liée au fait que les auteurs adoptent un point de vue critique et essaient d'explicitier un certain nombre de choix techniques et technologiques. Ainsi le chapitre 1er fait par exemple bien faire la part des choses à propos des méthodologies d'appareillage dont l'usage suppose de prendre en compte le type de traitement de signal qui sera effectué par le processeur faute de quoi la technique de calcul donne des cibles précises mais très difficilement accessibles voire, inaccessibles. Il est aussi réconfortant de noter que les auteurs appellent avec force que au centre de toutes les techniques actuelles, nouvelles ou non, le concept d'audibilité du spectre de la parole est central même si dans certains cas particulier le champ dynamique présentent des particularités telles qu'il faut arbitrer. Enfin on peut aussi noter que derrière la plupart des méthodologies se profile une normalisation qui doit conduire vers une restitution de la sensation du sujet normal ou, vers une recherche d'iso-sensation. D'autres concepts tels que ceux de "audiologist-driven protocol" ou de "patient-driven protocol" sont intéressants. Ils commencent d'ailleurs à être bien connus de nos étudiants

en audiologie prothétique. Un chapitre particulier est consacré à la sélection, la validation et la vérification de niveau maximum de sortie de la prothèse. Les 2 auteurs impliqués dans ce chapitre (H. G. Mueller et B. Hornsby) insistent sur le fait que aux US 16,2% des personnes appareillées ne portent jamais leur(s) aide(s) auditives et ils rappellent que lorsqu'une aide auditive est mal adaptée durant les 2 premières semaines de port les patients adoptent 4 attitudes particulières (usage constant du potentiomètre, ne portent l'aide que dans le calme, la règle très bas et n'y touchent plus enfin ne la portent pas). Leur point de vue se trouve confirmé par une étude qui montre que pour 88% des personnes qui ont interrompu le port de leur appareil, à l'origine il y avait le fait que les bruits étaient trop forts. A cela, nous pourrions ajouter que beaucoup d'aides auditives ont encore un défaut de maîtrise du passage des transitoires et, cela c'est bien regrettable ! Un gros chapitre est consacré à la mesure in-vivo et comporte bien des données utiles à qui aime utiliser cette approche de l'appareillage qui devrait devenir de plus en plus courante si elle était enseignée correctement et systématiquement et surtout qu'elle était présentée comme un outil de validation croisée. Cette approche est il faut le souligner injustement sous-estimée et son rejet est plus souvent le fait d'une incompréhension qu'il ne relève d'une argumentation clinique sérieuse.

On trouve aussi deux chapitres consacrés au contrôle prothétique et à la validation des choix par comparaison d'une part et par évaluation du bénéfice prothétique d'autre part.

Ce qui nous convient relativement bien dans cette démarche tient surtout au fait que les différents auteurs ont travaillé dans un esprit de mise en pratique -esprit qui manque trop souvent dans ce genre de travail- et qui rend l'application difficile. On trouve ensuite une série de chapitre dédié à des déficits auditifs identifiés comme par exemples les surdités issues d'un traumatisme sonore, les surdités asymétriques ou bien, les surdités unilatérales etc...

Au total il s'agit là d'un ouvrage important dans le sens où il permet à chacun de se faire une idée précise de ce qu'est l'audiologie prothétique aujourd'hui et en plus les auteurs ayant fait un gros effort de clarté il devient possible d'en sortir de nombreuses applications cliniques. **F. D.**

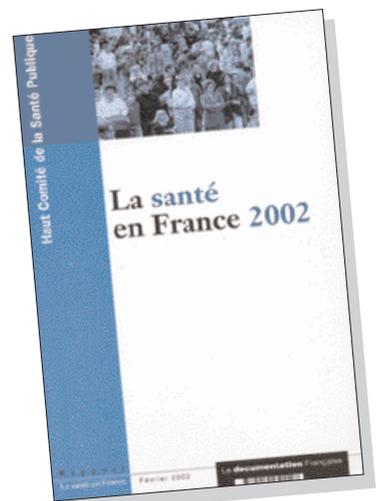
LA SANTE EN FRANCE EN 2002

LA DOCUMENTATION FRANCAISE

Nous avons déjà présenté dans ces colonnes un rapport édulcoré de ce document (La Découverte cf Les Cahiers No. 5 2002). Ici nous avons le rapport dans sa totalité. Nous noterons simplement pour mémoire que parmi les principales affections déclarées chez les 45/74 ans, la surdité vient

en 7ème position chez les hommes et n'est pas classée chez les femmes ou, plus précisément est classé après la 10ième position. Après 74 ans, les troubles de l'audition se situent en 5ème position chez les hommes et en 7ème position chez les femmes. 31% de cette population présenterait un trouble de l'audition.

L'ouvrage traite entre autres d'une problématique intéressante prenant en compte une nécessaire extension du seul point de vue épidémiologique qui, s'il est indispensable ne prend pas en compte les attitudes et les comportements ce qui est indispensable si on souhaite intervenir en amont de certaines pathologies plus faciles à prévenir qu'à guérir mais aussi il importe de mieux comprendre la perception que les groupes sociaux ont de la santé, la hiérarchisation des besoins de santé par rapport à d'autres besoins jugés importants par la personne, les capacités d'adaptation et d'intériorisation des normes médicales, les expériences médicales antérieures vécues par la famille et ainsi etc... **F. D.**



LA MONDIALISATION LIBERALE

S. GEORGE ET M. WOLF
GRASSET ; 185P. 2002.

Notre activité étant à la croisée des chemins il reste de notre devoir de responsable d'entreprise ou de laboratoire de garder un œil sur l'actualité économique et politique au sens large du terme.

Dans ce petit ouvrage deux auteurs s'affrontent et chacun a une connaissance et une vision bien particulière de l'activité économique.

D'un côté Susan George est la vice-présidente d'ATTAC dont on connaît bien l'orientation anti-mondialisation et, de l'autre, Martin Wolf qui est éditorialiste au Financial Times dont les choix économiques et philosophie libérale sont sans ambiguïté.

Ce qui caractérise les deux intervenants c'est une honnêteté intellectuelle et une grande compétence vis à vis de la

question traitée. S. G. se bat dit-elle contre une forme d'hégémonie culturelle qui fait dire à certains qu'il n'y a pas d'alternative au règne des marchés financiers et des entreprises et donc aucune possibilité sérieuse d'échapper aux ajustements structurels qui en découlent.

M. W. reconnaît d'emblée qu'il n'est pas difficile de constater que l'écart des revenus moyens des pays pauvres par rapport aux revenus moyens des pays riches ne cesse de s'accroître et qu'il n'est pas question pour lui de nier le fait de devoir reconnaître que les changements économiques induits par ces bouleversements conduisent inéluctablement à des modifications du mode de vie de beaucoup de populations ainsi qu'à des changements de conditions sociales très difficiles à accepter.

Compte tenu de ces réalités, l'auteur récusé l'idée de défendre le monde tel qu'il est

dans sa globalité mais, il refuse aussi de le condamner.

"Il faut essayer de comprendre pourquoi nous en sommes arrivés là" dit-il.

Dans sa discussion avec S. G. il tient à préciser un aspect particulier qu'il considère comme trop souvent oublié à propos de la mondialisation : contrairement aux idées reçues ce n'est pas un phénomène très récent car il ne faut pas oublier que le monde était sans doute beaucoup plus intégré à la fin de l'empire britannique ou du temps des colonies qu'il ne l'est aujourd'hui.

La libre circulation des travailleurs à cette époque était bien plus importante qu'elle ne l'est aujourd'hui.

Le choix tragique des immigrés qui sont venus à Sangatte très récemment n'est-il pas d'un certain point de vue une résurgence entretenue par une législation particulière de l'image de la Grande Bretagne perçue

comme une terre de libre circulation des hommes ?

Le changement de perception que nous avons aujourd'hui provient sans doute du fait que, entre autres, d'une part, les capitaux peuvent circuler librement et venir par exemple entraver le fonctionnement de certaines entreprises au point de les fragiliser et des les faire sombrer corps et biens et, d'autre part, que ces mêmes possesseurs de capitaux -dont on peut parfois s'interroger sur l'origine- peuvent influencer trop facilement sur les pouvoirs politiques.

Cette approche croisée de visions du monde en devenir est à notre point de vue suffisamment importante pour que chacun y accorde un minimum de temps et de réflexion car les responsabilités économiques doivent s'accompagner autant que possible d'une compréhension actuelle et cohérente du monde qui nous entoure. ■

Consultez vos dossiers avec +Audio....

+Audio

noah

100% compatible

Laboratoire +Audio - Informatique (C. Elcabache ou C. Vial)
4 rue Gambetta 89100 SENS Tel. : 03 86 83 89 29

ABONNEZ VOUS MAINTENANT AU CAHIERS DE L'AUDITION EN RENVOYANT CE COUPON RÉPONSE

Nom Prénom

Société Fonction

Adresse

Code postal Ville

Tarif : l'abonnement se prend pour l'année civile, 6 numéros, dont un gratuit.

Europe	90€ TTC
Reste du monde	100€
Etudiants	50€

Ci-joint un chèque de€ à l'ordre des **Cahiers de l'Audition** Demande de facture

A retourner aux **Cahiers de l'Audition**, 12 ter rue de Bondy - 93600 Aulnay sous Bois - Tél. : 01 48 68 19 10 - Fax : 01 48 69 77 66

CYCLE DE FORMATION POST-UNIVERSITAIRE ANNEE 2003

DEFICIENCE AUDITIVE ET TROUBLES ASSOCIES

PRISE EN CHARGE PLURIDISCIPLINAIRE ET APPAREILLAGE

Le thème de l'Enseignement Post-Universitaire (E.P.U.), mis en place par le Collège National d'Audioprothèse avec le concours des Directeurs d'Enseignement de l'Audioprothèse en France, est cette année : "Déficience auditive et troubles associés - Prise en charge pluridisciplinaire et Appareillage."

Cette manifestation aura lieu les Vendredi 21 et Samedi 22 Novembre 2003 dans les locaux de l'INSTITUT PASTEUR au Centre d'Information Scientifique 8, rue du Docteur Roux à PARIS (15^{ème})

Elle sera rehaussée par une exposition des industriels fabricants et importateurs de matériels d'audioprothèse et d'audiophonologie.

Le pré-programme est le suivant :

Vendredi 21 novembre 2003

- Les troubles associés chez l'enfant déficient auditif
- Retentissement sur le développement et la communication
- Particularités de l'appareillage de l'enfant déficient auditif atteint de troubles associés
- Prise en charge pluridisciplinaire : le point de vue de l'équipe

Samedi 22 novembre 2003

- Pathologies associées à la déficience auditive de l'adulte
- Retentissement sur la vie sociale et affective
- Particularités de l'appareillage de l'adulte déficient auditif atteint de troubles associés
- Prise en charge pluridisciplinaire : le point de vue du milieu de vie

Pour tout renseignement :

Danièle KORBA
Collège National d'Audioprothèse
50, rue Nationale - BP 116
59027 Lille cedex
Tél : 03 20 57 37 37
Fax : 03 20 57 98 41
E-mail : college.nat.audio@wanadoo.fr

LE COLLEGE NATIONAL D'AUDIOPROTHESE

PROPOSE PAR CONCOURS 12 PLACES DE MEMBRES ACTIFS

Les candidats doivent adresser au plus tard pour le 30 NOVEMBRE 2003 un dossier complet comprenant leur curriculum vitae et leurs titres et travaux, accompagné d'un travail personnel (article, communication, étude, etc...)

à Monsieur Xavier RENARD
Président du Collège National
d'Audioprothèse
50, Rue Nationale
BP 116 59027 LILLE cedex
Tout renseignement
au 03 20 57 37 37 ■

ANNONCES

Cherche audioprothésiste

Laboratoire dans la Région d'AIX en Provence (13)
cherche un(e) AUDIOPROTHESISTE
pour un poste à responsabilités
CDI à PLEIN TEMPS
Tél 06-07-90-12-68

Notre procédé consiste d'abord à scanner en trois dimensions l'empreinte de l'oreille de votre patient.

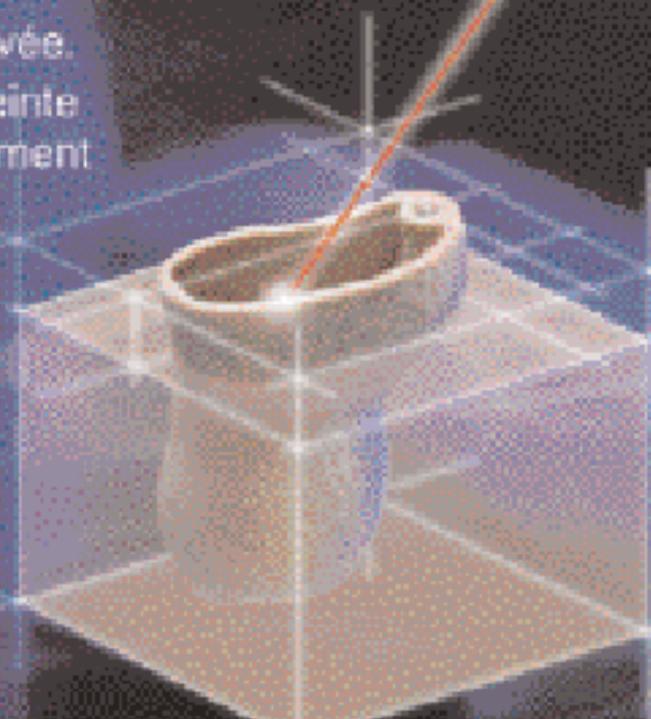
Puis une fois dans l'ordinateur, le fichier 3D sera reproduit par une machine LasR qui va fabriquer votre coque à partir de résine de polyamide (ou nylon). Cette matière beaucoup plus confortable que les matières standard offre de multiples avantages.

Téléphonez-nous au **01 49 33 92 11**



Découvrez dès aujourd'hui les nouvelles coques LasR pour intra auriculaires !

- Une bio-compatibilité parfaite (pas d'allergie),
- Une résistance accrue aux chocs,
- Un maintien et un confort d'utilisation améliorés grâce à la texture et la souplesse du matériau,
- Une reproductibilité immédiate de la coque car l'image de la 1^{ère} empreinte sera archivée. Plus besoin de refaire d'empreinte en cas de perte ou de changement d'appareillage récent.



Le cerveau n'a jamais tant aussi bien imité

ADRO[®], une nouvelle technologie, l'efficacité prouvée. ADRO[®] est une nouvelle technologie développée par des chercheurs australiens. (ADRO Adaptive Dynamic Range Optimization) apporte un traitement révolutionnaire du signal car il reproduit celui effectué naturellement par le cerveau (règles de logique floue).

A la différence de la technologie numérique conventionnelle, ADRO[®] permet d'adapter automatiquement le niveau de sortie en fonction de la distribution de l'énergie même analysée dans 64 canaux. Ce procédé procure une excellente résolution spectrale. Le niveau entendu est toujours inférieur au niveau d'inconfort. Le niveau de confort est atteint au moins 50% du temps; le niveau d'audibilité, au moins 70% du temps.

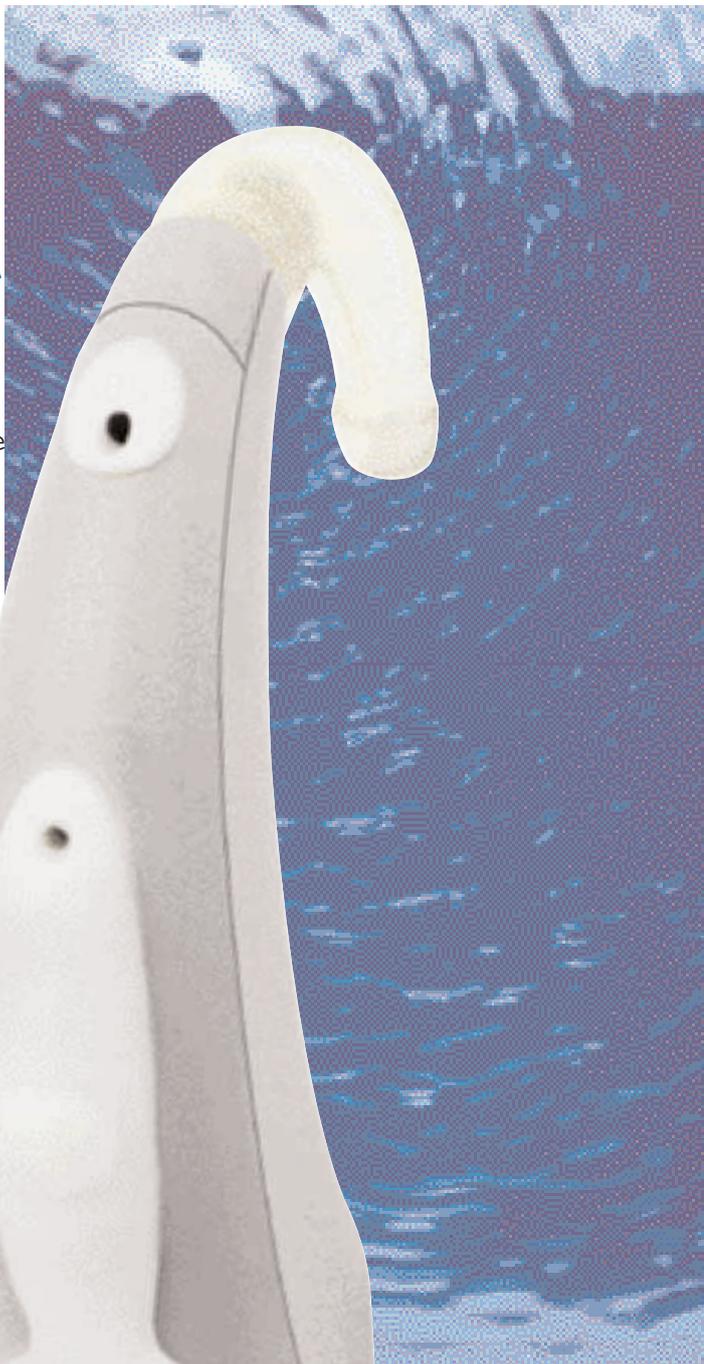
ADRO[®] s'adapte ainsi automatiquement aux différents environnements acoustiques et aux différents besoins de l'utilisateur, gardant toujours les sons audibles et confortables.

Cette toute nouvelle approche du traitement du signal implique une nouvelle méthode d'appareillage:

- le contrôle des trois cibles de l'utilisateur: audibilité, confort, inconfort
- l'appareillage obéit aux mêmes règles soit le type de perte.

Les tests effectués ont montré les qualités technologiques d'ADRO:

- meilleure intelligibilité dans le bruit
- meilleure perception des sons faibles
- meilleur contrôle des bruits forts
- moins de gêne par les bruits de fond.



Parc d'activités des gondoles
114 rue d'Alfortville - 94607 CHOISY LE ROI
Cedex
T 1. : 01 48 53 59 00 - Fax : 01 48 52 36 02