

A detailed 3D anatomical illustration of the human ear and auditory pathway. The image shows the external ear (pinna and ear canal) on the left, leading to the eardrum (tympanic membrane). The middle ear contains the ossicles (malleus, incus, stapes) and the oval window of the cochlea. The cochlea is shown in cross-section, revealing the cochlear duct and the cochlear nerve. The auditory pathway continues through the brainstem. The illustration is rendered in a light, translucent style, allowing for a clear view of the internal structures.

L'OREILLE ET LE SON **3D**...

Bernard Lagnel
Avril 2015

QUELQUES RAPPELS:

- La sensation sonore (d'intensité en dB ou fréquentiel en Hz) varie comme le **logarithme** de l'excitation.
- Le **dB** est un **rapport** sans dimension (rapport de puissance mais aussi rapport de tension ou d'intensité sonore...).
- Le dB adopte l'échelle logarithmique.
- La plus petite variation de niveau perçue \approx **0,5 dB**.
- Temporellement, il faut \approx **200 ms** pour estimer l'allure des variations de la modulation et « pour tenir son niveau !! ».
- Le tympan est un capteur de pression (micro omni) de \approx 1 cm de diamètre (donc sensible aux variations de pression).
- Le seuil d'audibilité est de $20 \mu\text{Pa}$ *(micro-pascals) à 2000 Hz.
- La référence 0 dB **SPL** (**S**ound **P**ressure **L**evel) est à $20 \mu\text{Pa}$.

*(1 Pa = 10^{-5} bar)

En dB SPL

Sound
Pressure
Level...

AUDIOMÉTRIE ÉCHELLE DU BRUIT

PERÇUS :

DOULOUREUX

RISQUE DE SURDITÉ

PÉNIBLE

Réflexe stapédien

FATIGUANT

SUPPORTABLE

AGRÉABLE

CALME



130

Avion au décollage



120

Marteau-piqueur

110

Concert et discothèque



100

Baladeur à puissance maximum

90

Moto/Quad/Tracteur



80

Automobile/Circulation

70

Aspirateur/Tondeuse



60

Conversation courante

50

Machine à laver



40

Bureau tranquille

30

Chambre à coucher



20

Conversation à voix basse

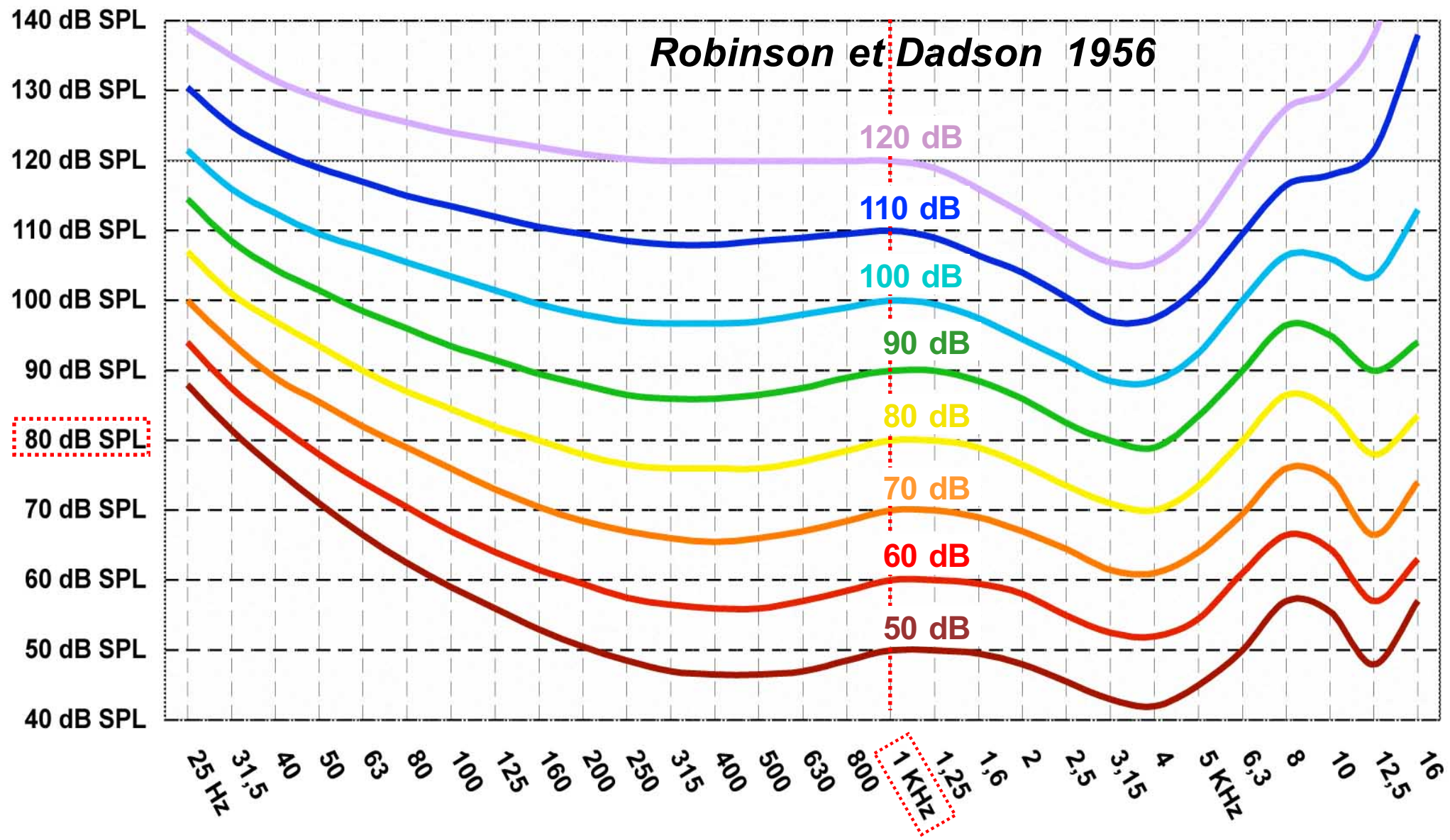
10

Vent dans les arbres

0

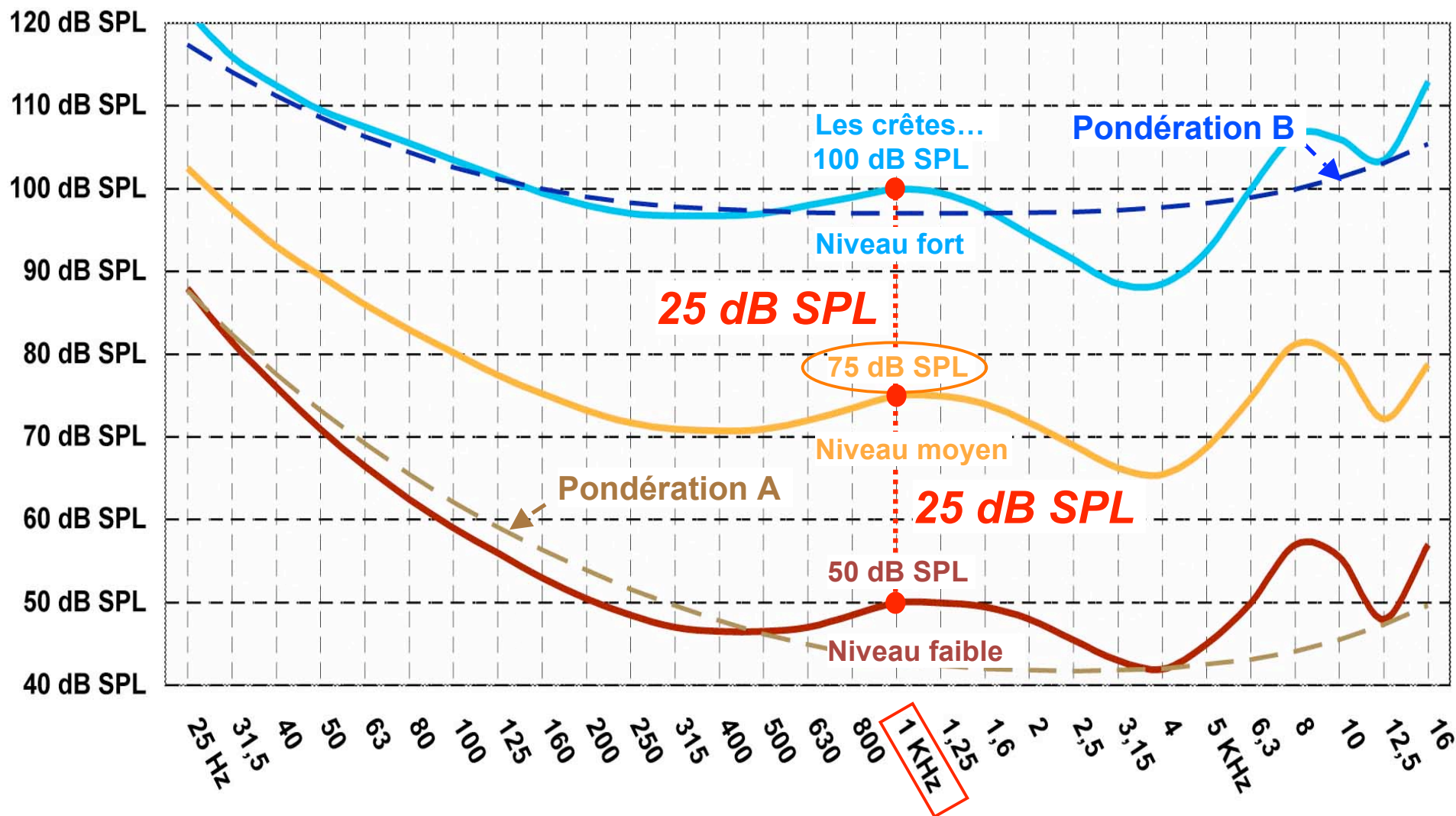
Seuil d'audibilité

Courbes isosoniques ISO 3746 pour une écoute binaurale en champ libre (utilisation d'une source frontale 0° à 20 ans)



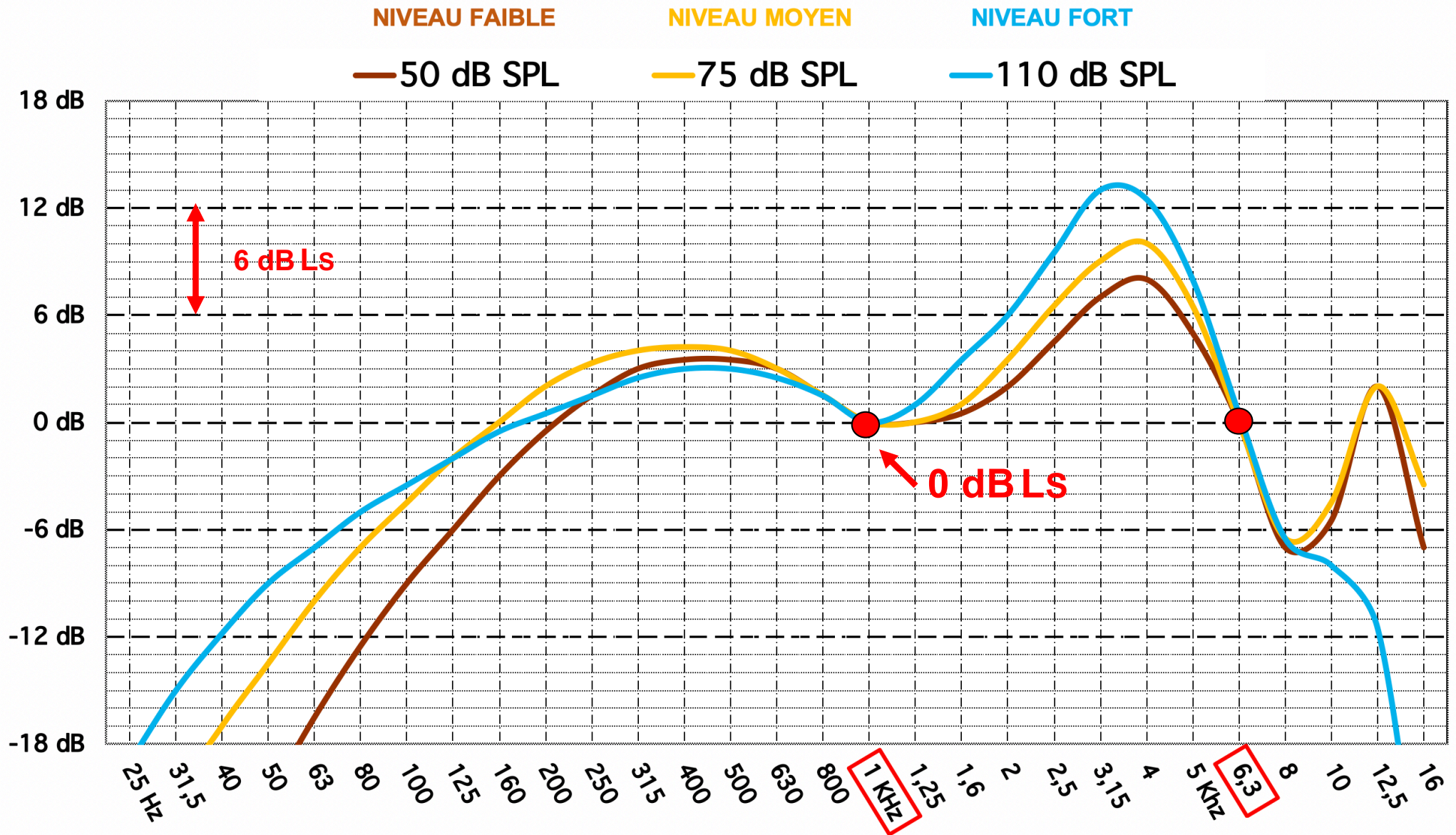
Les lignes isosoniques permettent de savoir quels niveaux physiques donnent une même sensation sonore quand on fait varier la fréquence

Dynamique d'écoute (50 dB SPL) dans une cabine de prise de son et à la place du preneur de son.
Courbes isosoniques ISO 3746 (source frontale).



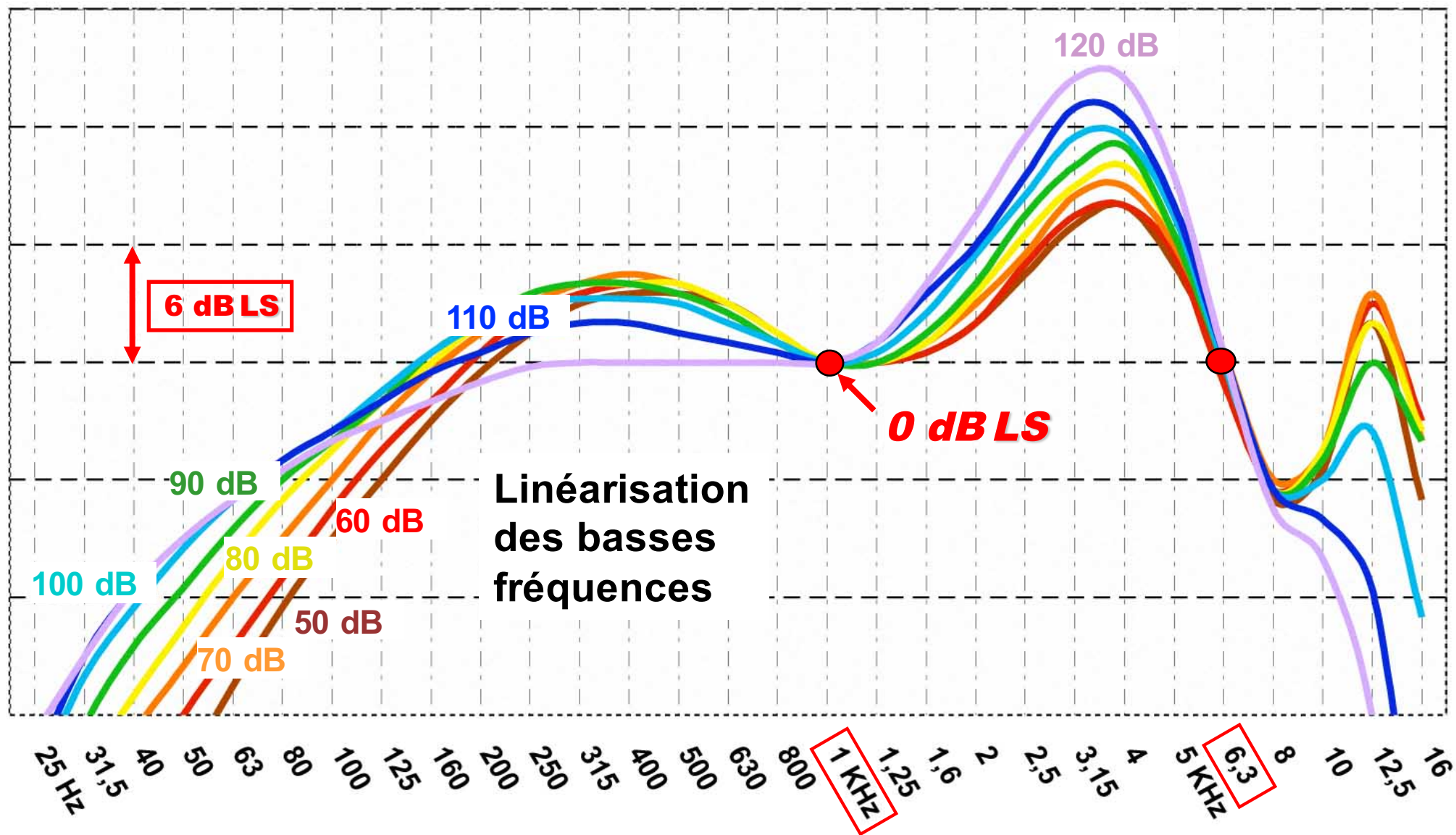
Niveau de pression acoustique ou dB SPL "Sound Pressure Level"...

Sur du Bruit Rose la **Sensation Sonore en "dBLS"** pour 3 seuils :



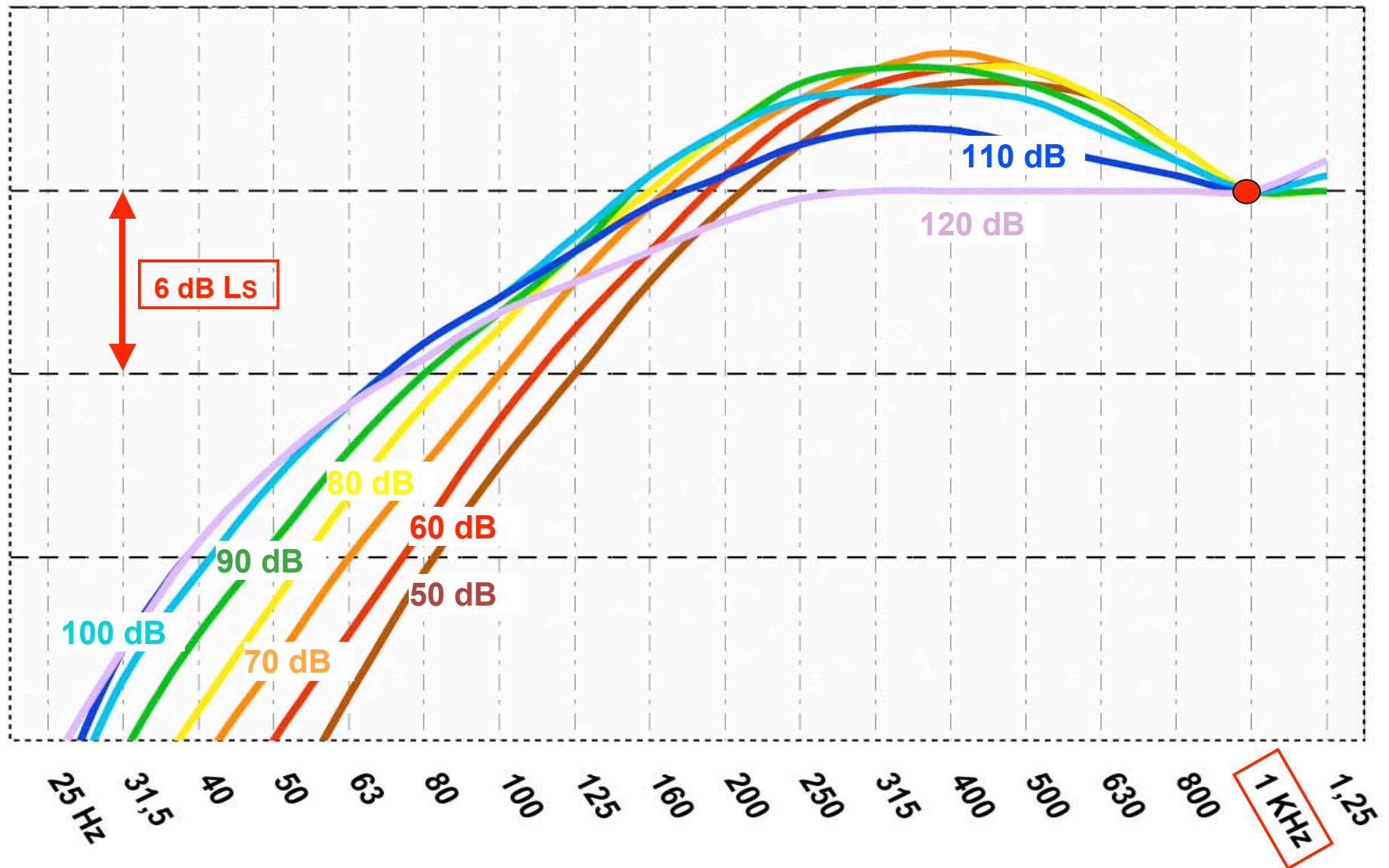
Ces seuils sont ramenés sur une échelle relative de **0 dBLS** à 1 KHz.
(source frontale 0° à niveau constant SPL = **BRUIT ROSE**).

Sensation sonore en dB LS pour les différents seuils
à niveau constant **Bruit Rose** sur tout le spectre...



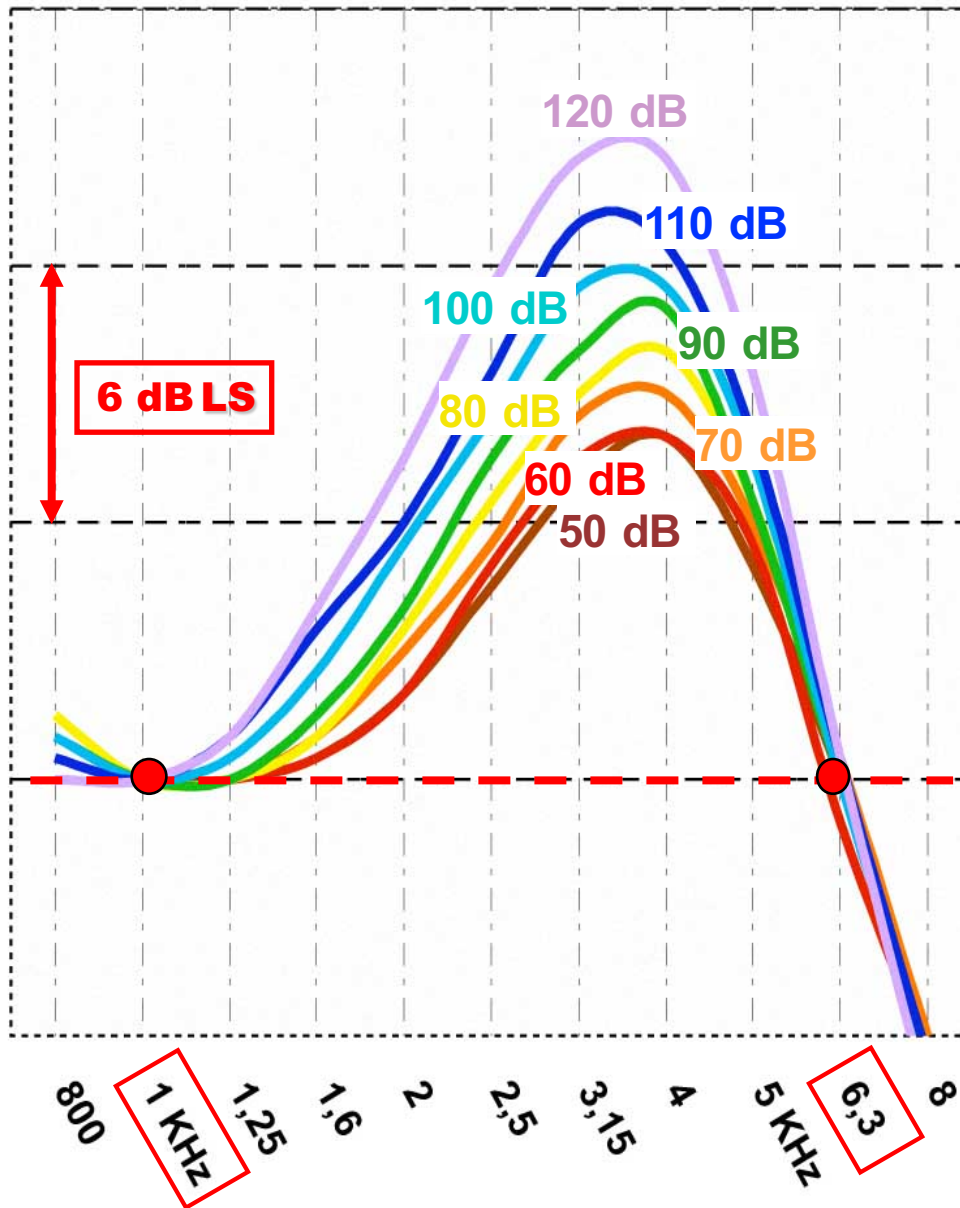
Ces seuils sont ramenés sur une échelle relative de **0 dB LS** ...

Pour les basses fréquences jusqu'à 1 KHz...



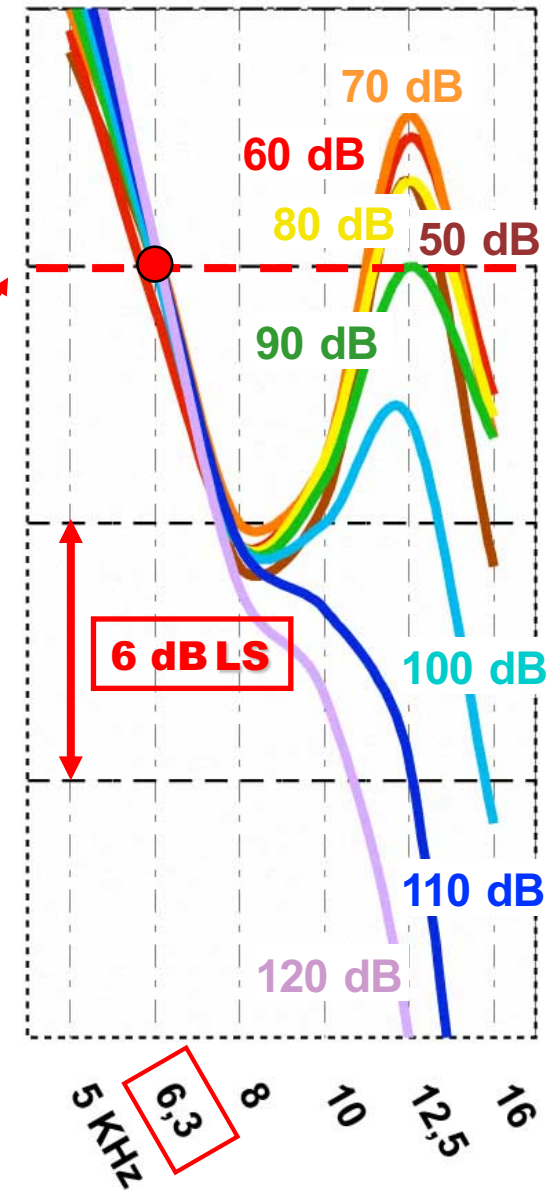
Augmentation du niveau SPL \Rightarrow Linéarisation dans les basses fréquences...

De 1 KHz à 6,3 KHz



À **3,5 KHz**, la sensibilité de l'oreille ne cesse d'augmenter avec le niveau...

> à 6,3 KHz



Max pour **70 dB SPL**

Réflexe stapédien ?

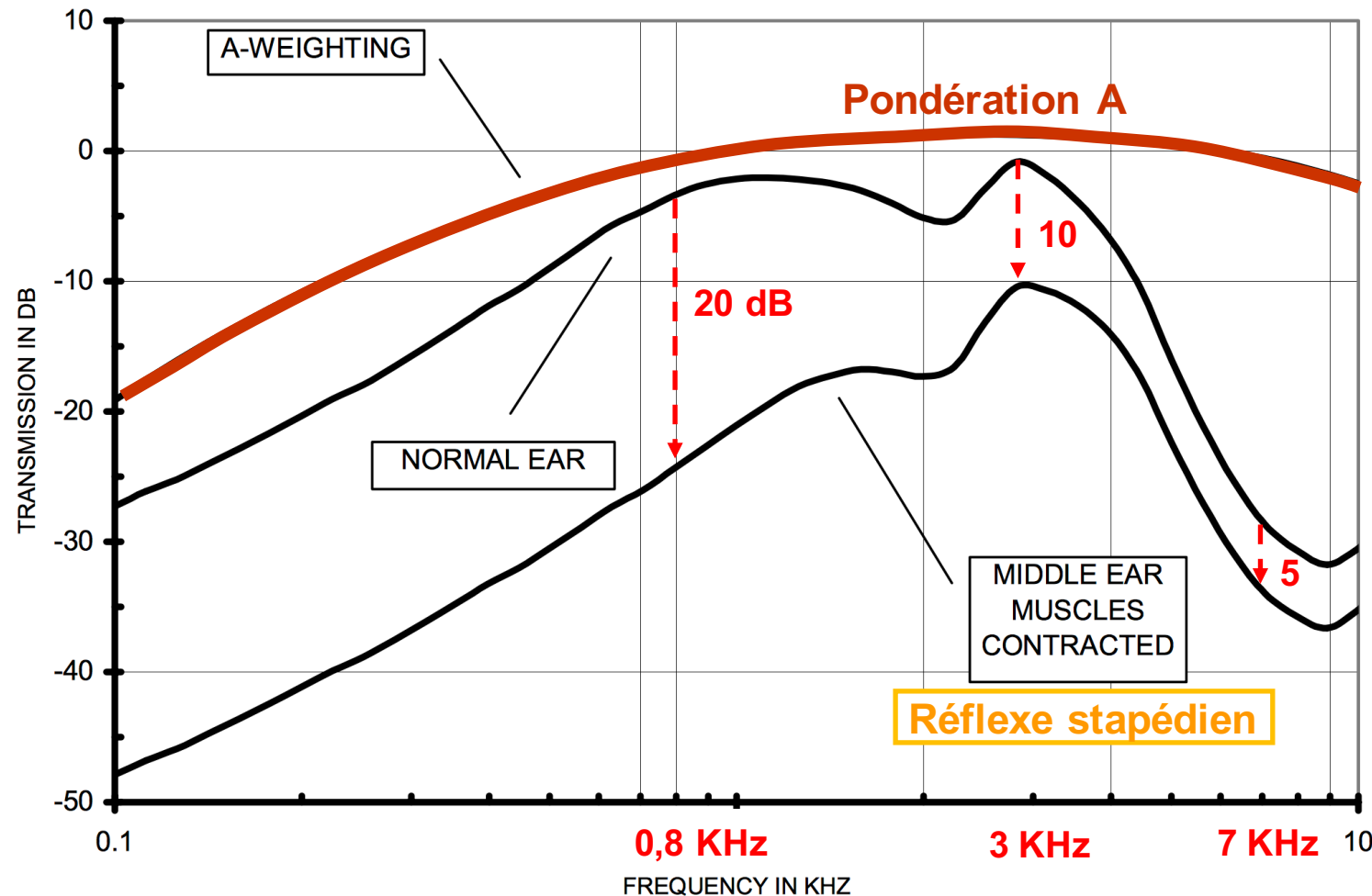
A New Method for Rating Hazard from Intense Sounds: Implications for Hearing Protection, Speech Intelligibility, and Situation Awareness

G. Richard Price

AHAnalysis

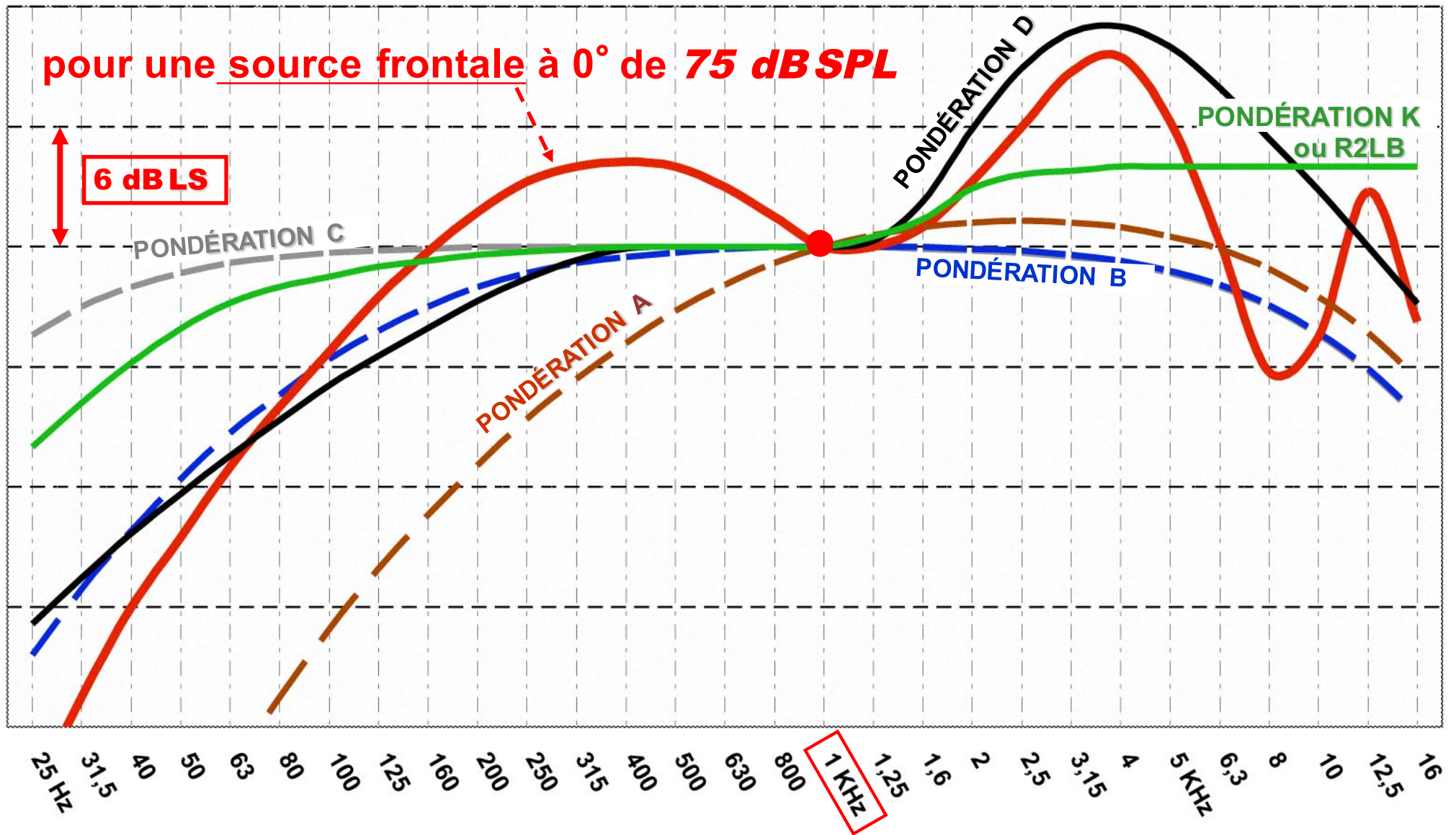
125 Conestoga Street, POB 368
Charlestown, MD 21914
USA

AHAnalysis@Comcast.net



Transmission of the human ear with no muscle contraction and with a middle ear muscle contraction compared with the A-weighting function

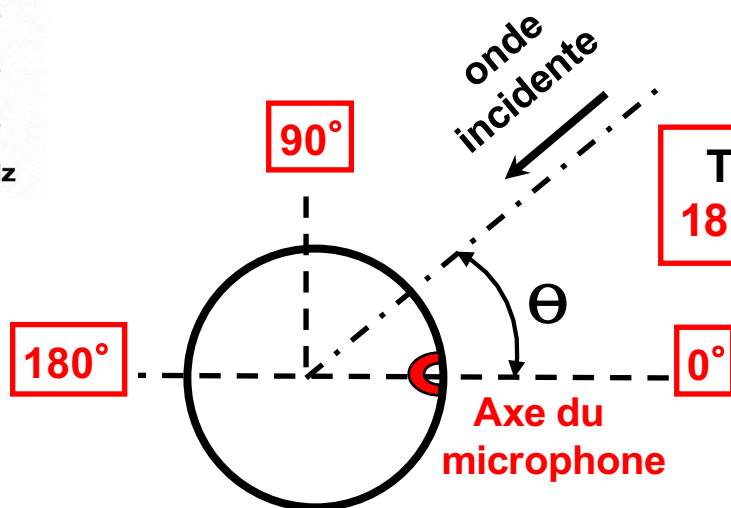
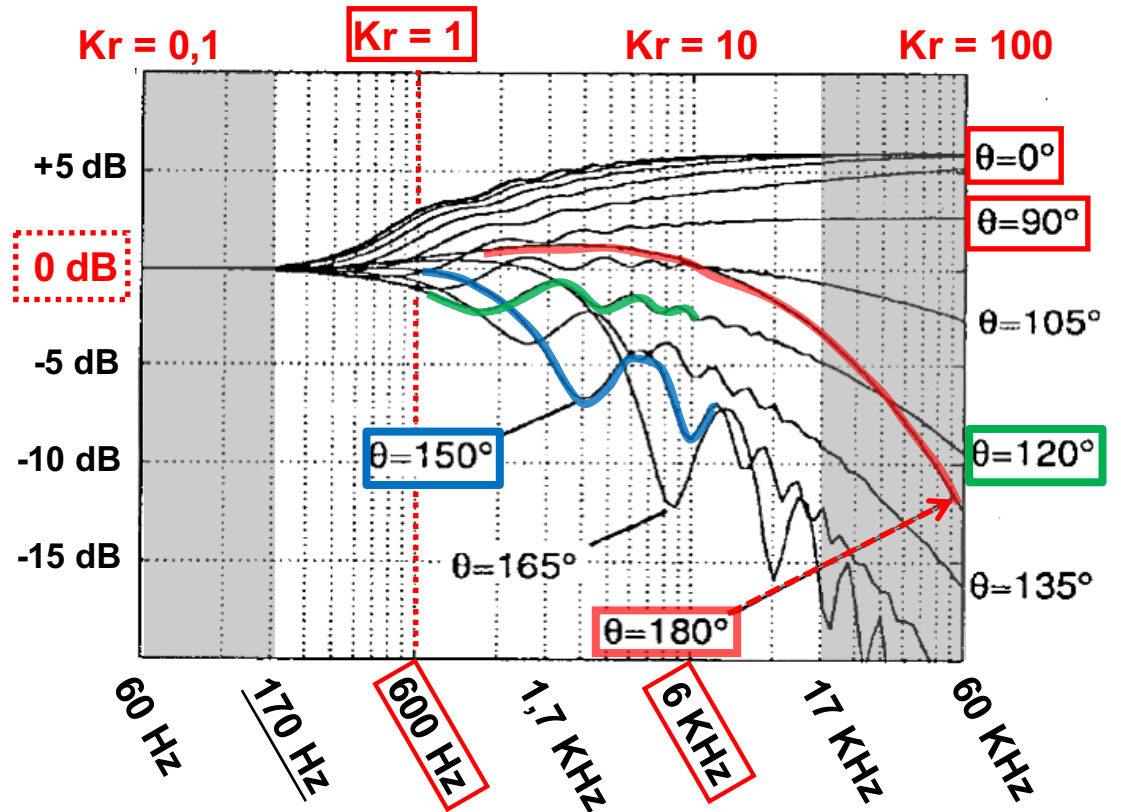
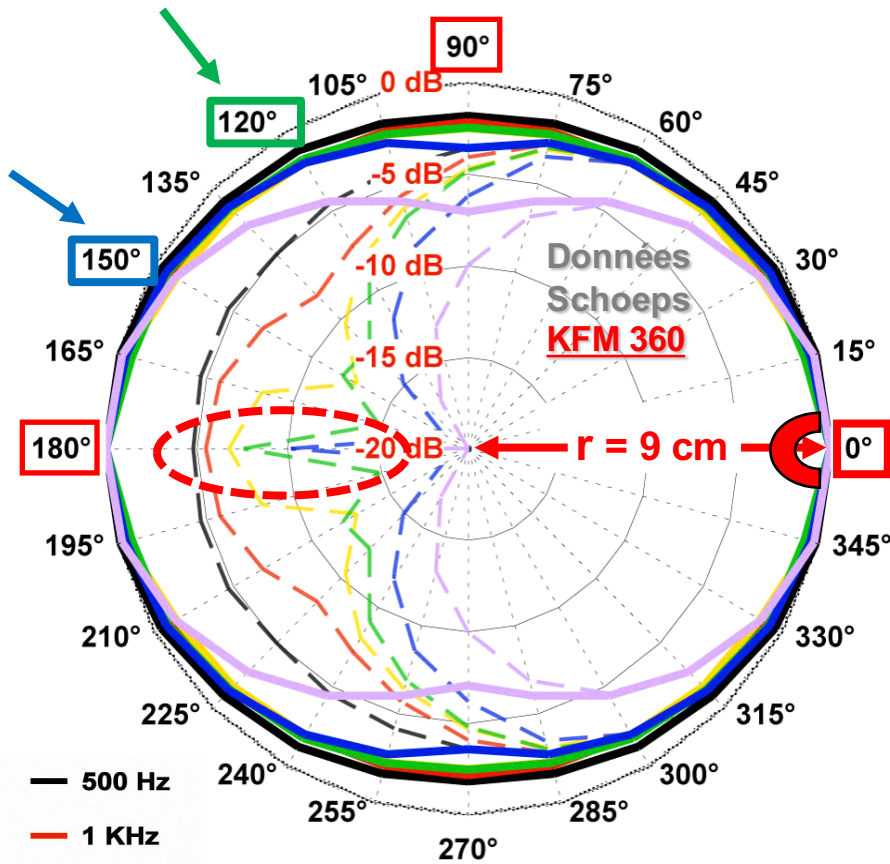
LES DIVERSES PONDÉRATIONS



La pondération **K** ou **R2LB** est calquée sur la diffraction de la tête...
(Elle est le moteur de la norme **R128** pour évaluer le **LU**...)

DIFFRACTION DE LA TÊTE HUMAINE :

Modèle = Sphère de **18 cm** de \varnothing



Tour de tête pour
18 cm de $\varnothing = 56,5 \text{ cm}$

$$Kr = 2\pi r / \lambda$$

Pour $Kr = 1$:

$$F = C / (2\pi r)$$

$$F \approx 600 \text{ Hz}$$

(C = Célérité du son)

Résultats de la Campagne Nationale de Mensuration

Conférence de presse
 Salon PRET à PORTER PARIS®
 Le 2 février 2006

!-Quelques informations sur les mains, les pieds et la tête

(L'étude est réalisée sur la population pondérée : effectif=somme des poids)

Ce document donne quelques statistiques descriptives, notamment la valeur moyenne, les valeurs minimales et maximales et l'écart-type, sur les mains (longueur et largeur), les pieds (longueur et largeur) et la tête (longueur, largeur et périmètre) pour différentes populations issues de la base de données de la Campagne Nationale de Mensuration (adultes, enfants, hommes, femmes, filles ou garçons).

Moyenne, écart-type, minimum, maximum

POPULATION DES ADULTES (hommes et femmes âgés de plus de 18 ans) :

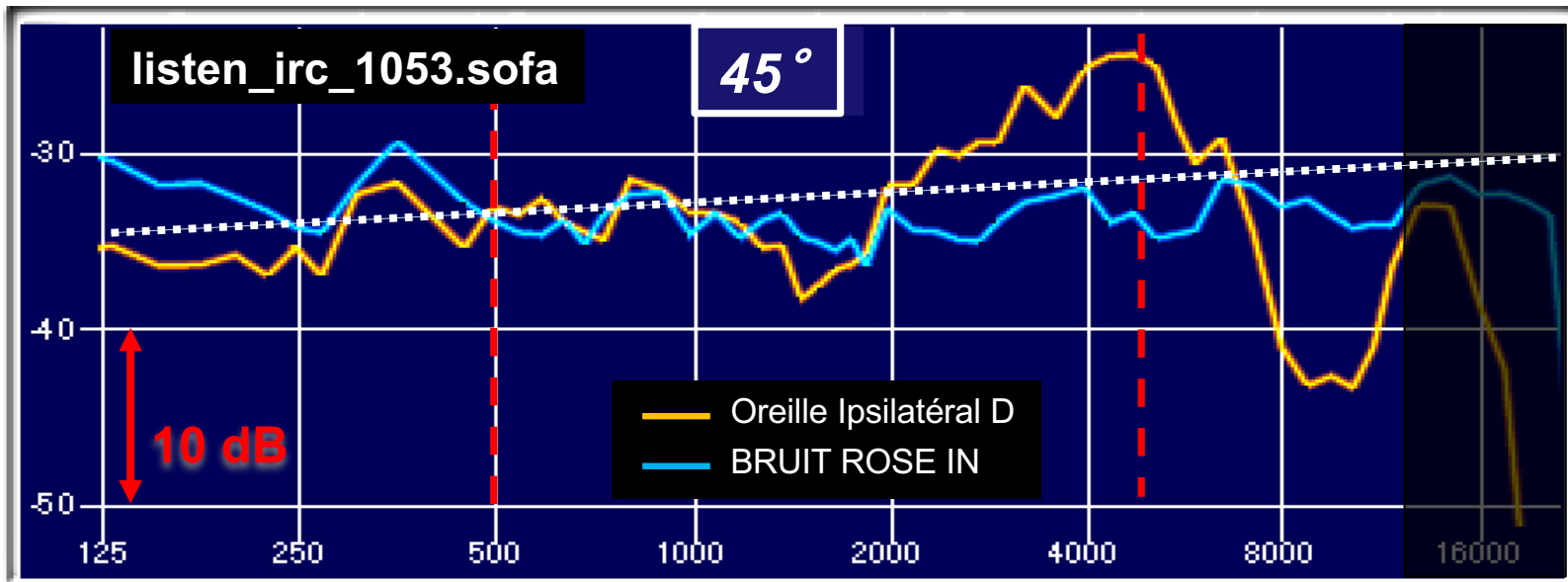
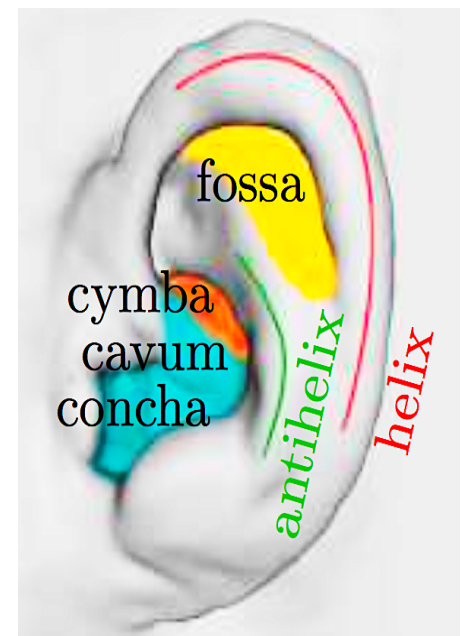
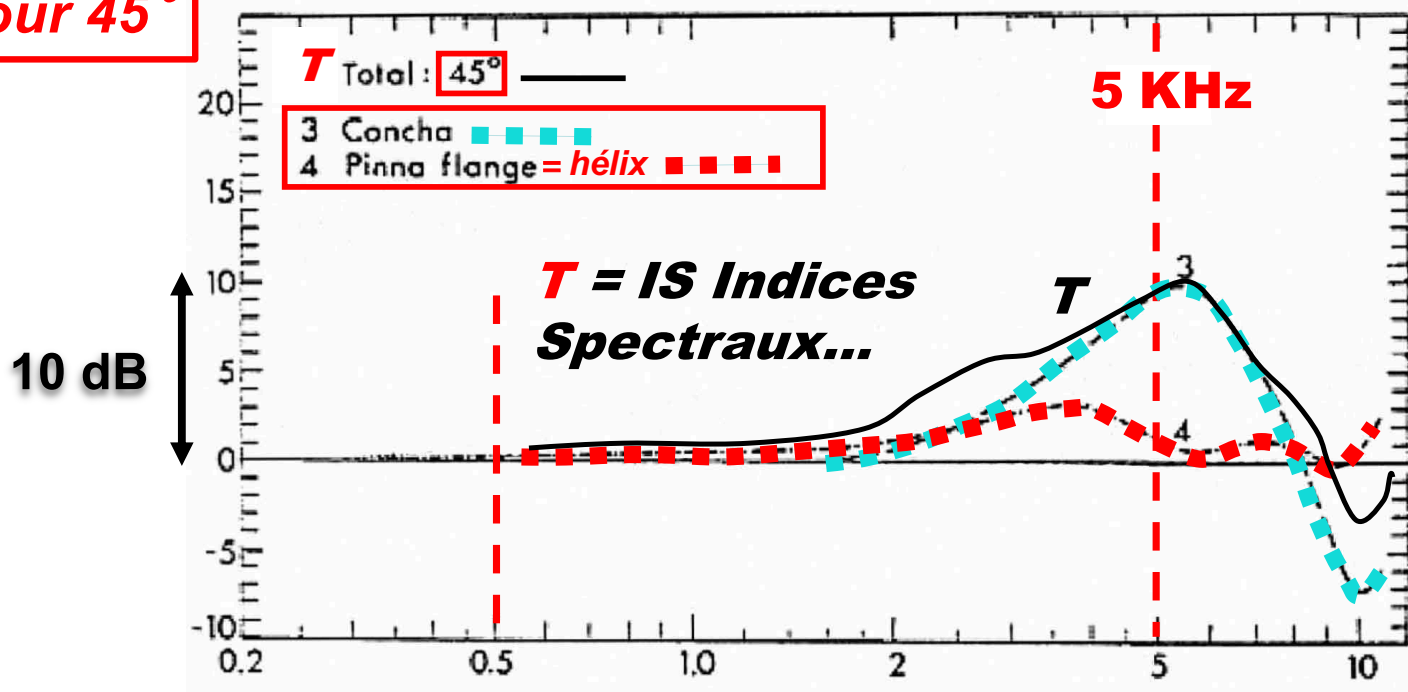
MAIN	Valeur moyenne	Écart-type	Valeur minimum	Valeur maximum
<i>Longueur de la main</i>	18,57 cm	1,473	10,7 cm	26,1 cm
<i>Largeur de la main</i>	8,28 cm	0,679	6,4 cm	14,8 cm
PIED	Valeur moyenne	Écart-type	Valeur minimum	Valeur maximum
<i>Longueur du pied</i>	24,97 cm	1,842	19,6 cm	32,3 cm
<i>Largeur du pied</i>	9,70 cm	0,769	6,5 cm	17,3 cm
TÊTE	Valeur moyenne	Écart-type	Valeur minimum	Valeur maximum
<i>Longueur de la tête</i>	18,91 cm	0,842	14,0 cm	24,1 cm
<i>Largeur de la tête</i>	15,04 cm	0,678	12,5 cm	19,5 cm
<i>Tour de tête</i>	56,33 cm	2,035	48,5 cm	65,0 cm



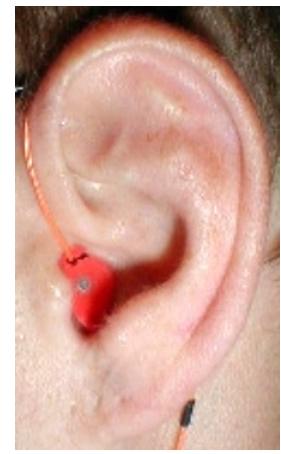
2D

« Fonction de Transfert » **HRTF** de l'oreille externe Conduit auditif bouché IRCAM [listen_irc_1053.sofa](#)

Pour 45°

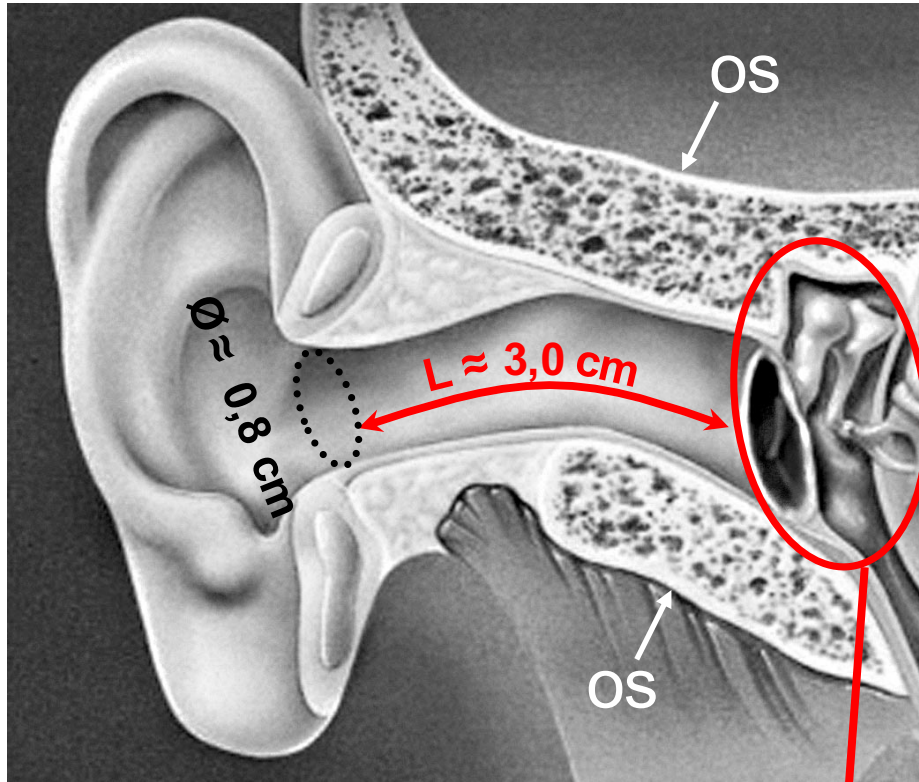


IRCAM
Conduit bouché



RÉSONNANCES DU CONDUIT AUDITIF EN $\lambda/4$:

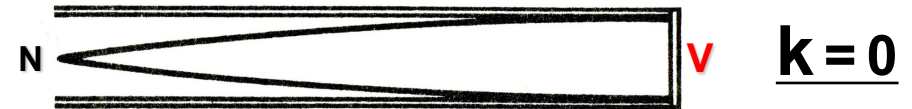
L'OREILLE EXTERNE



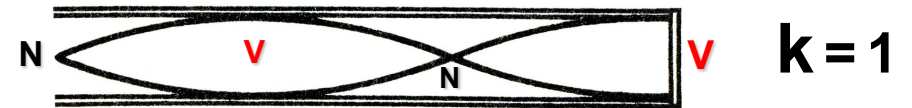
$$F = (2k+1) \frac{C}{4L + 0,82r}$$

r = rayon du conduit auditif...
($0,82 r$ = corrections dues aux frottements)

Fondamental $F = 2,7 \text{ KHz}$



1^{ère} Harmonique $F = 8,3 \text{ KHz}$



$V =$ [VENTRE DE PRESSION
MAX DE PRESSION

Le reflex stapédien :

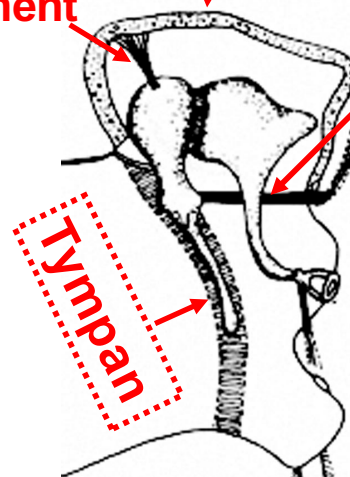
Limiteur Stéréo Organique !

pour un son $>$ à 85 dB SPL

- Attack : 40 ms (mode Link)
- Bypass à 15 minutes...
(pour 100 dB SPL constant)

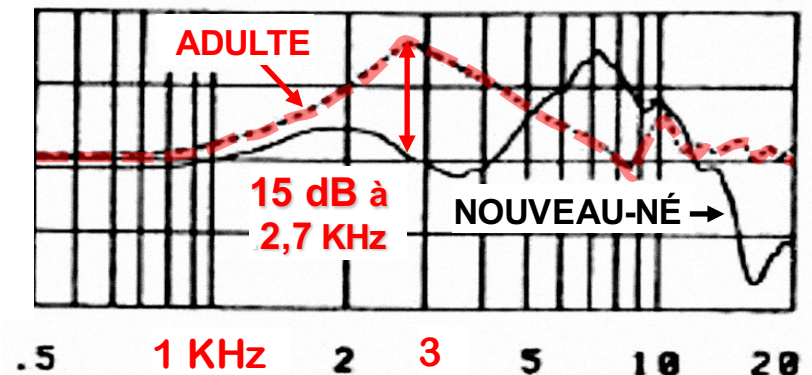
Ligament

Muscle



Tympan

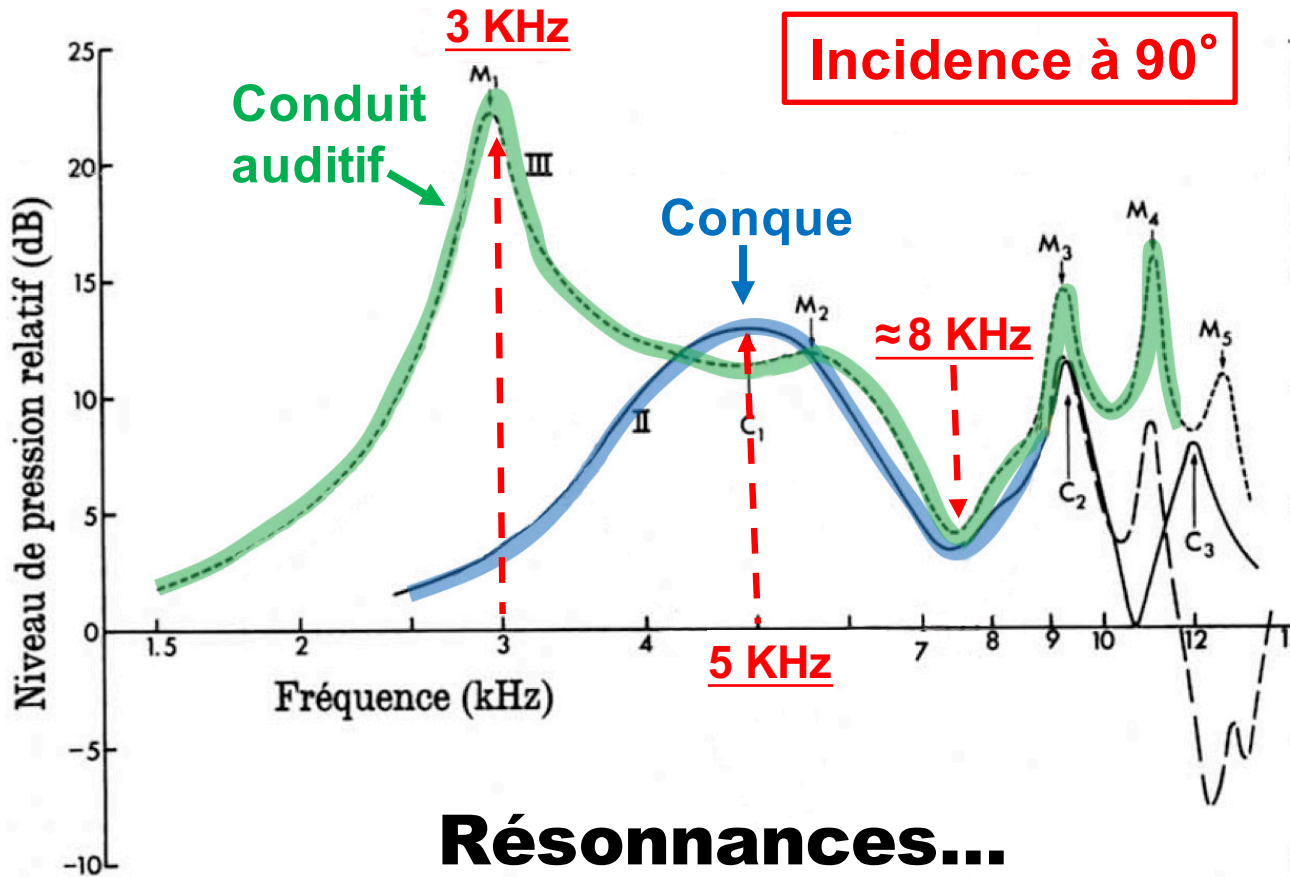
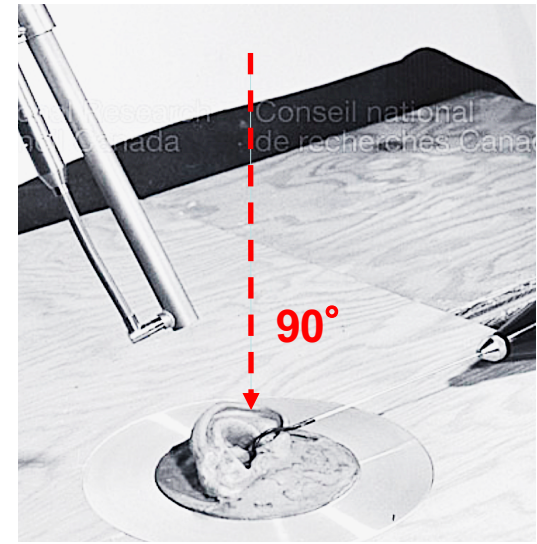
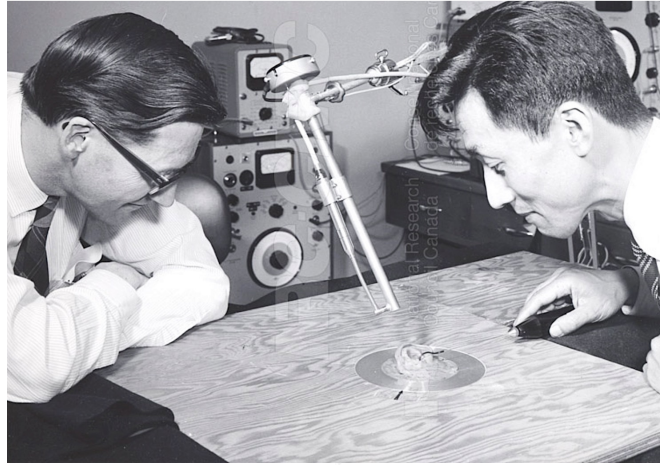
Les osselets de l'Oreille Moyenne



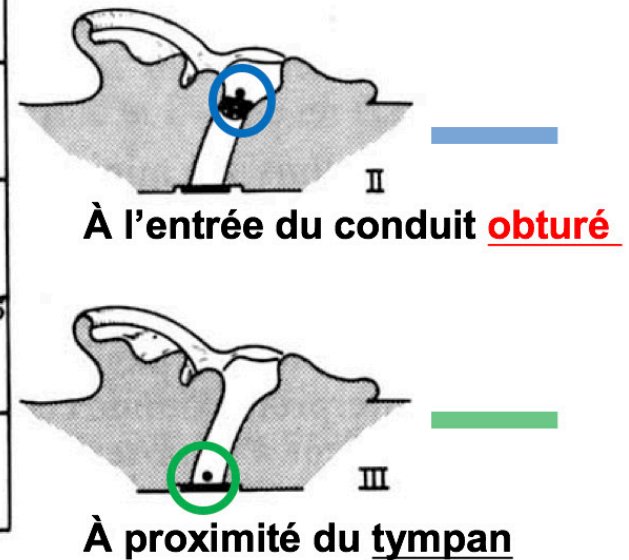
B. Kruger & R. Ruben, 1987



Shaw et Teranishi, 1968

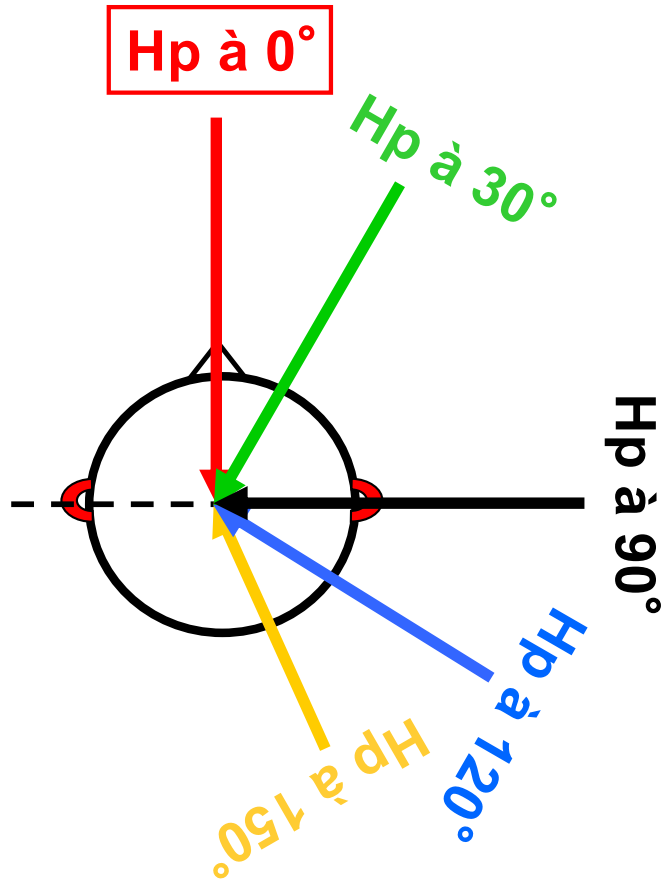


Shaw EAG, Teranishi R (1968). Sound pressure generated in an external-ear replica and real human ears by a nearby point source. J Acoust Soc Am 44:240-249

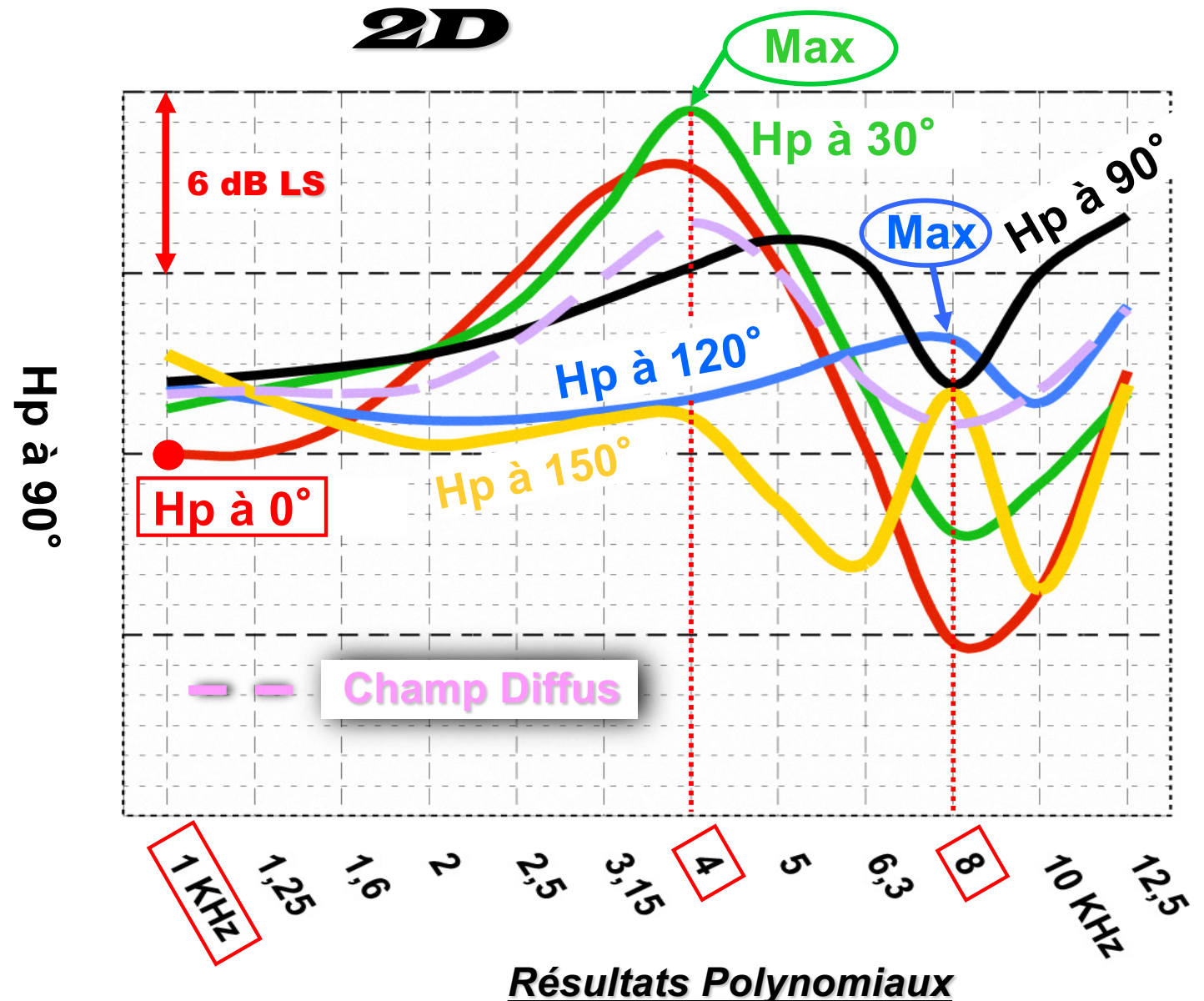


Les Hauts parleurs (Hp) 7.0 dans le plan azimutal

Sensation sonore pour 75 dB SPL sur du Bruit Rose :



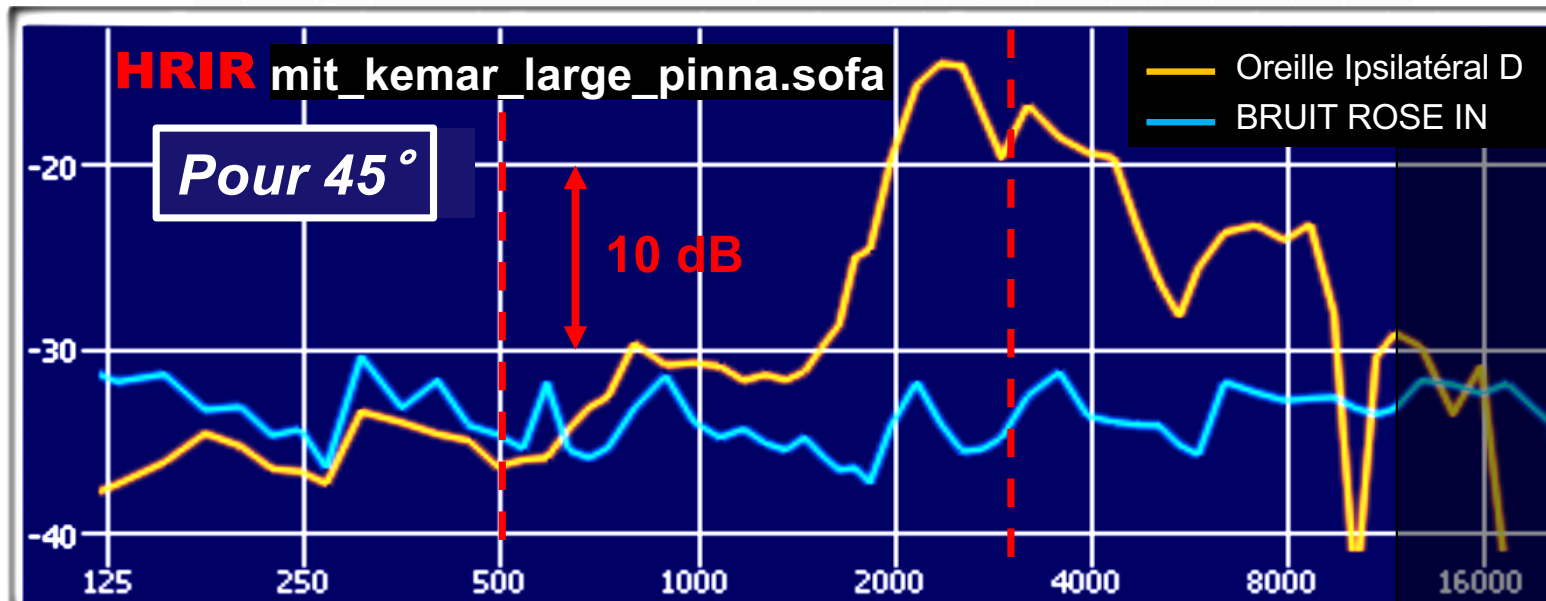
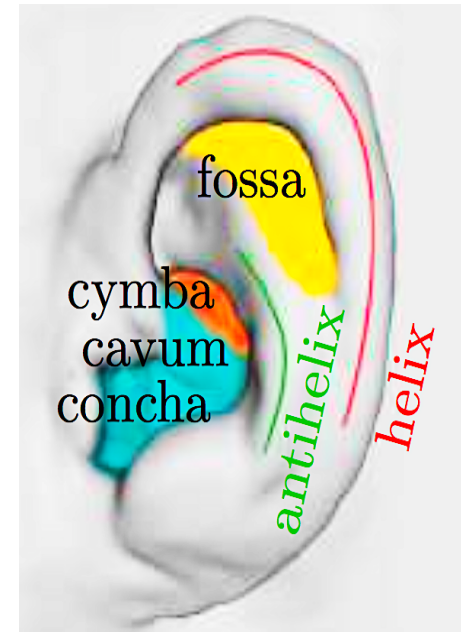
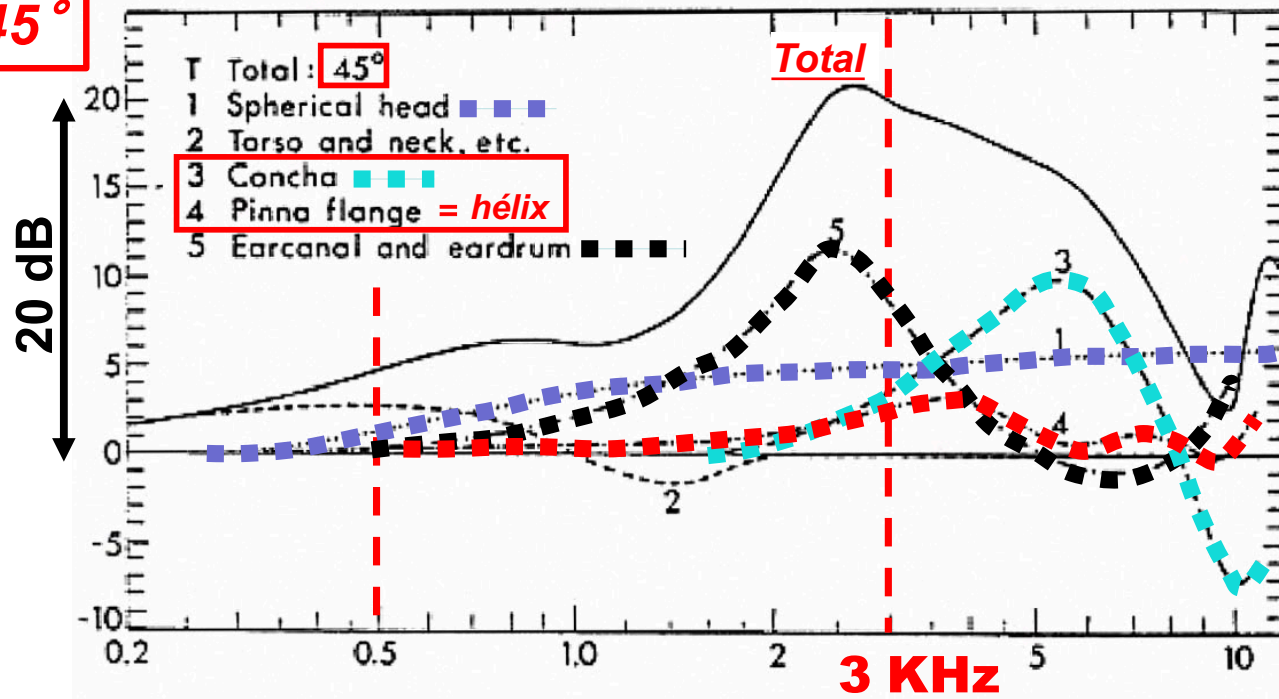
Mono
Stéréo
5.0 7.0



2D

Gain acoustique, également appelé « gain étymotique » ou « Fonction de Transfert » **HRTF** de l'oreille externe

Pour 45°



Kemar



L'oreille externe :

Réflexion (et diffusion) pour un objet de dimension $\geq 1/2 \times \lambda$



PAVILLON pour l'espace *frontal*

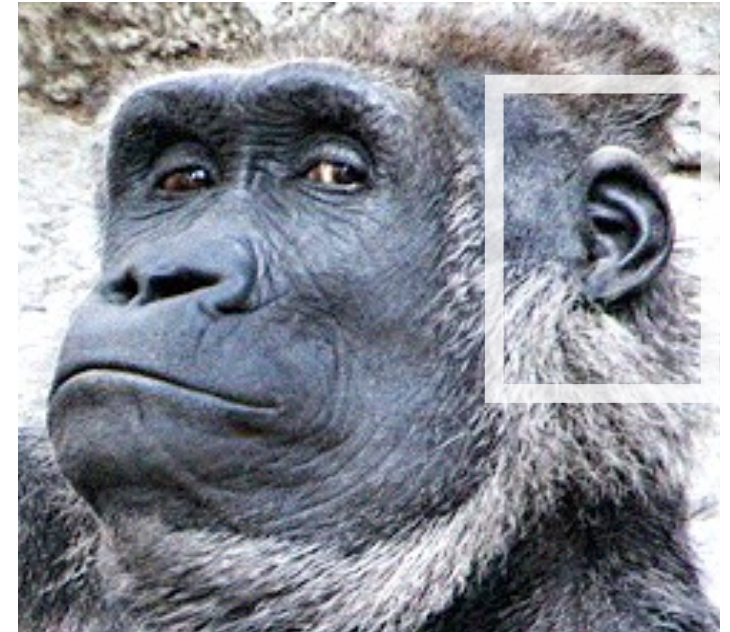
4 cm $\approx 1/2 \times \lambda$ à 4 kHz

2 cm $\approx 1/2 \times \lambda$ à 8 kHz

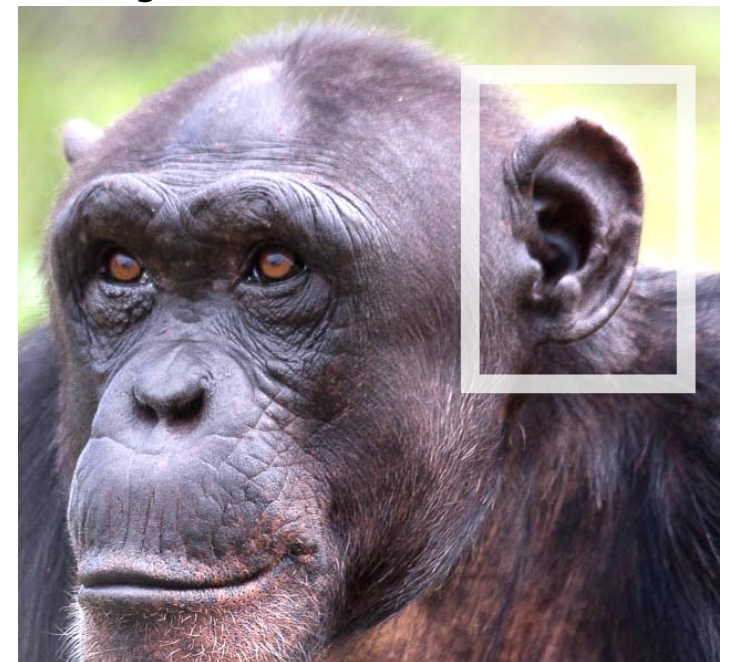
TRAGUS pour l'espace *dorsal*

Indices Spectraux (IS) = 3D

Modifications des fréquences dues à l'Oreille externe... (de 4 KHz à 16 KHz)

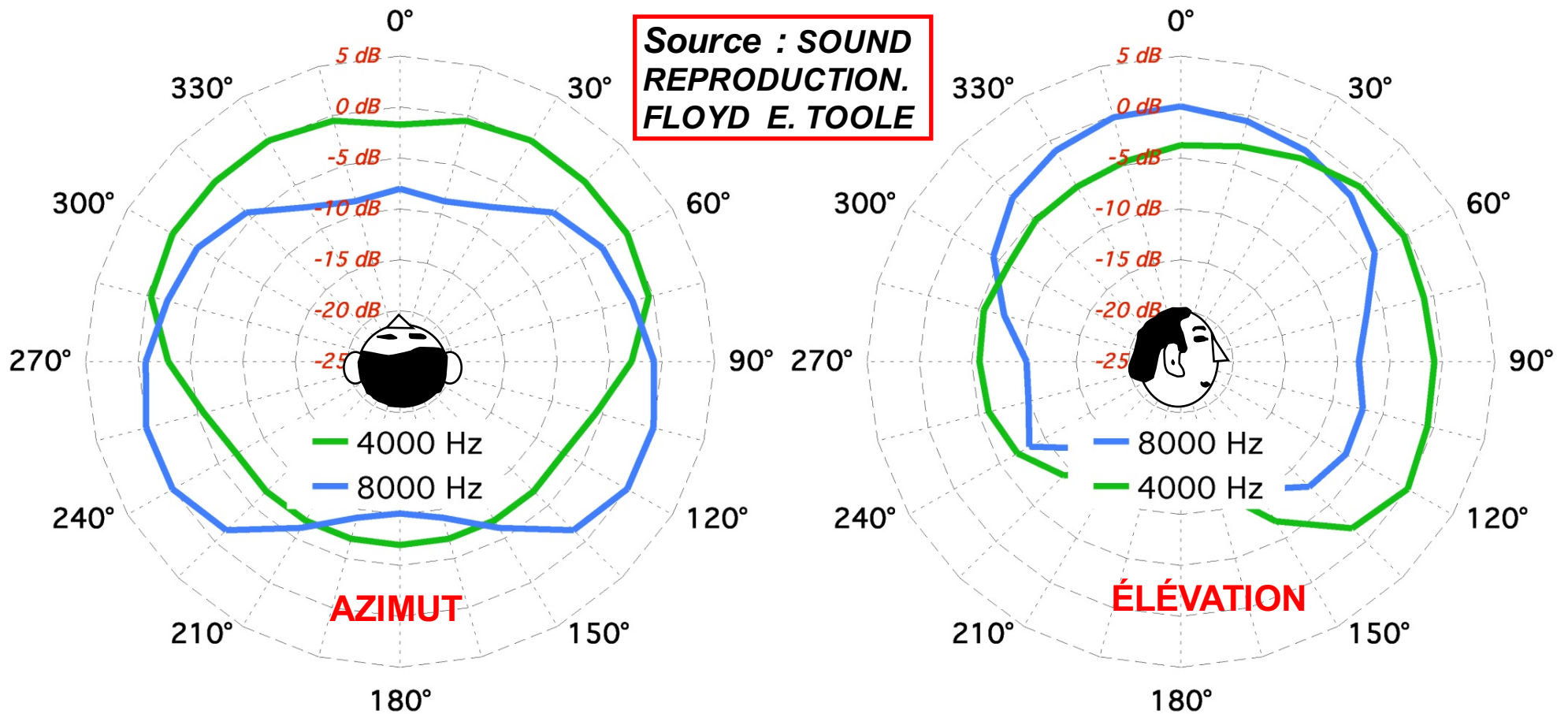


il y a + de 20 Ma !!



Domaine cognitif sensoriel dans un environnement **3D**

Les **HRTF** de Robinson & Whittle 1960 :



Directivité “marquée” de 2 fréquences : **4 kHz** et **8 kHz**

- le **4 kHz** = (présence / absence) ou la perception des distances
- le **8 kHz** = (brillance / mat) et l'Espace sonore en **3D**

438 CHAPTER 19 Psychoacoustics—Explaining What We Measure and Hear

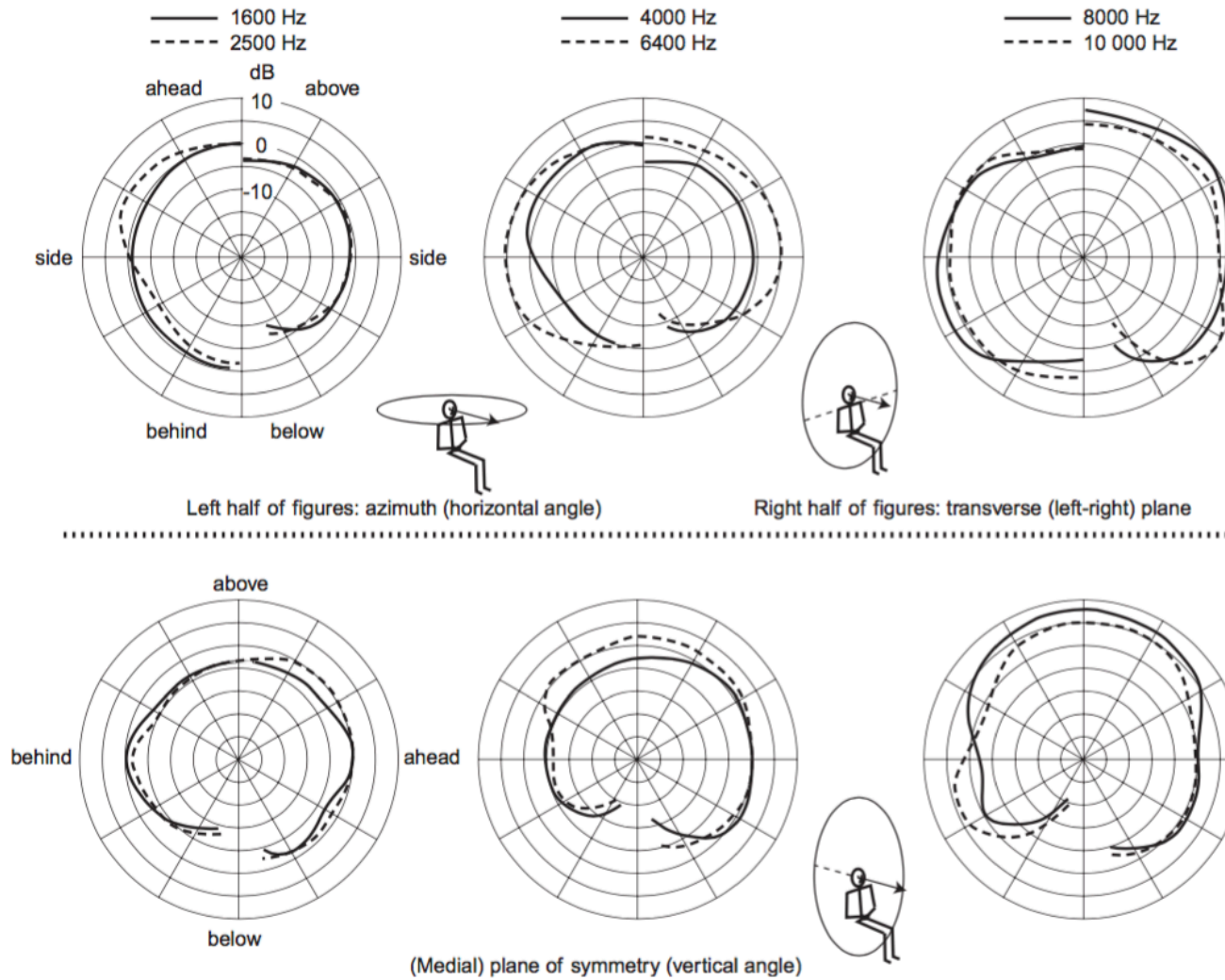
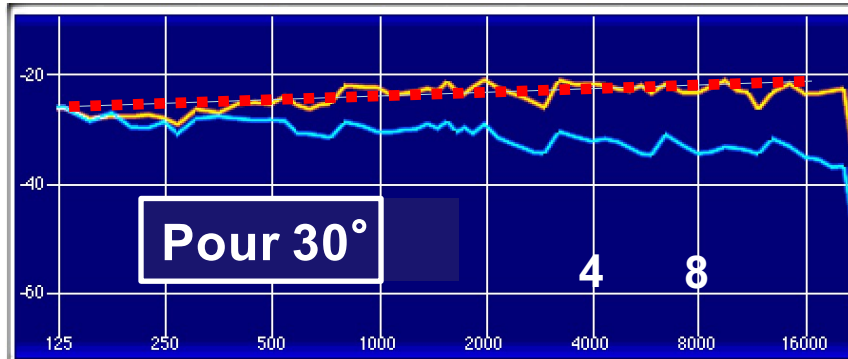


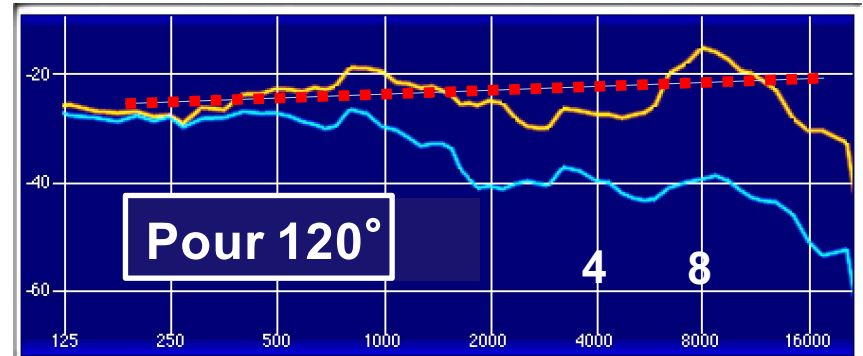
FIGURE 19.6 Hearing thresholds as a function of angle for three rotational axes. The greater the distance from the center of the polar plot, the greater is the perceived loudness. From Robinson and Whittle, 1960.

Le Plug-in *Nx* de WAVES:

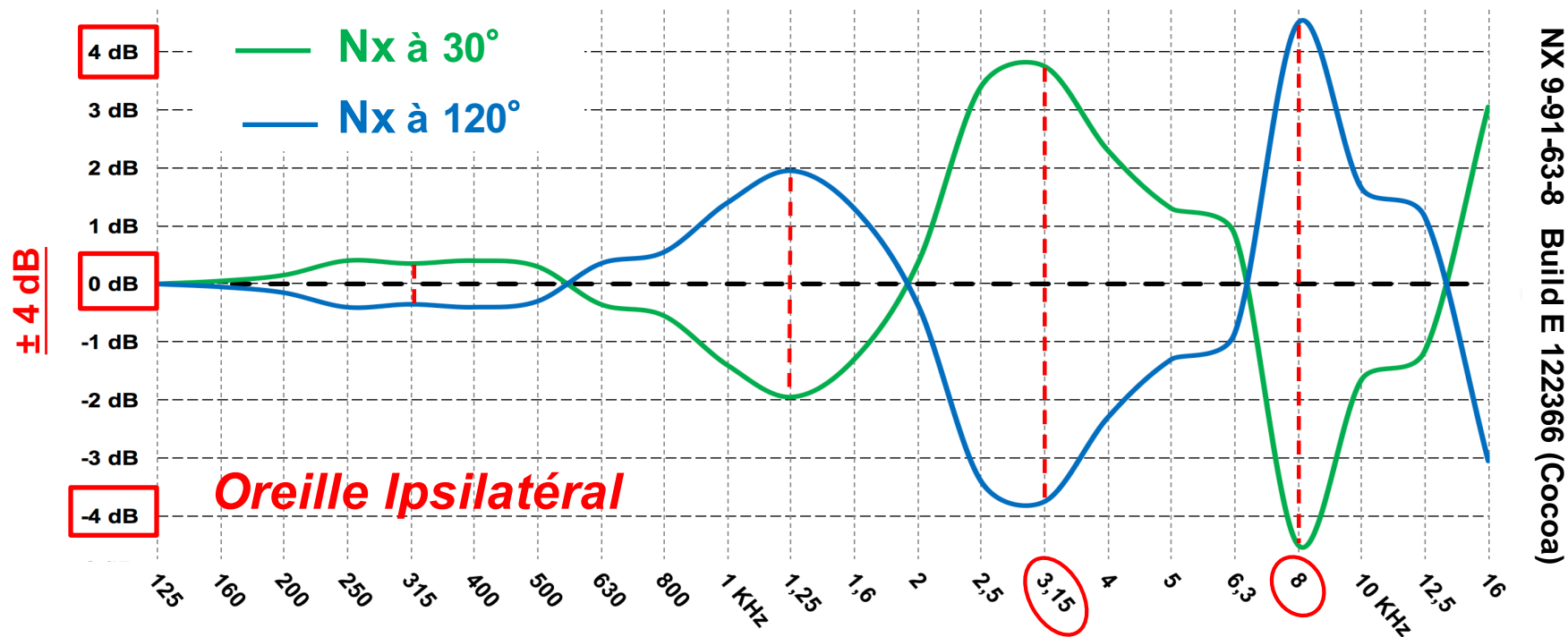
— Oreille Ipsilatéral
— Oreille Contralatéral



En 5.0

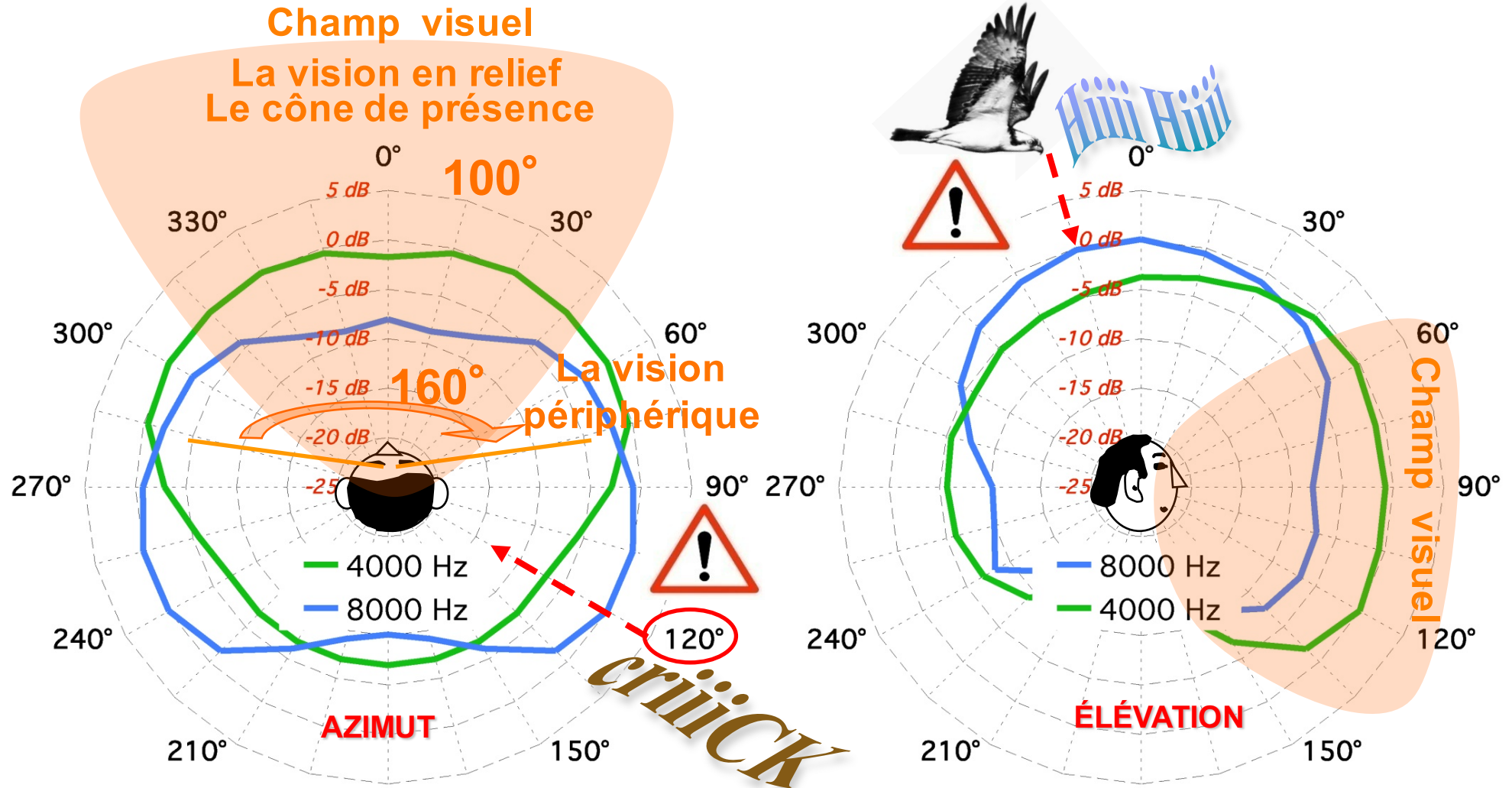


Corrections pour « *binauraliser* » en *ILD* du multicanal **5.0**:



Domaine cognitif sensoriel dans un environnement **3D**

Les **HRTF** de Robinson & Whittle 1960 :

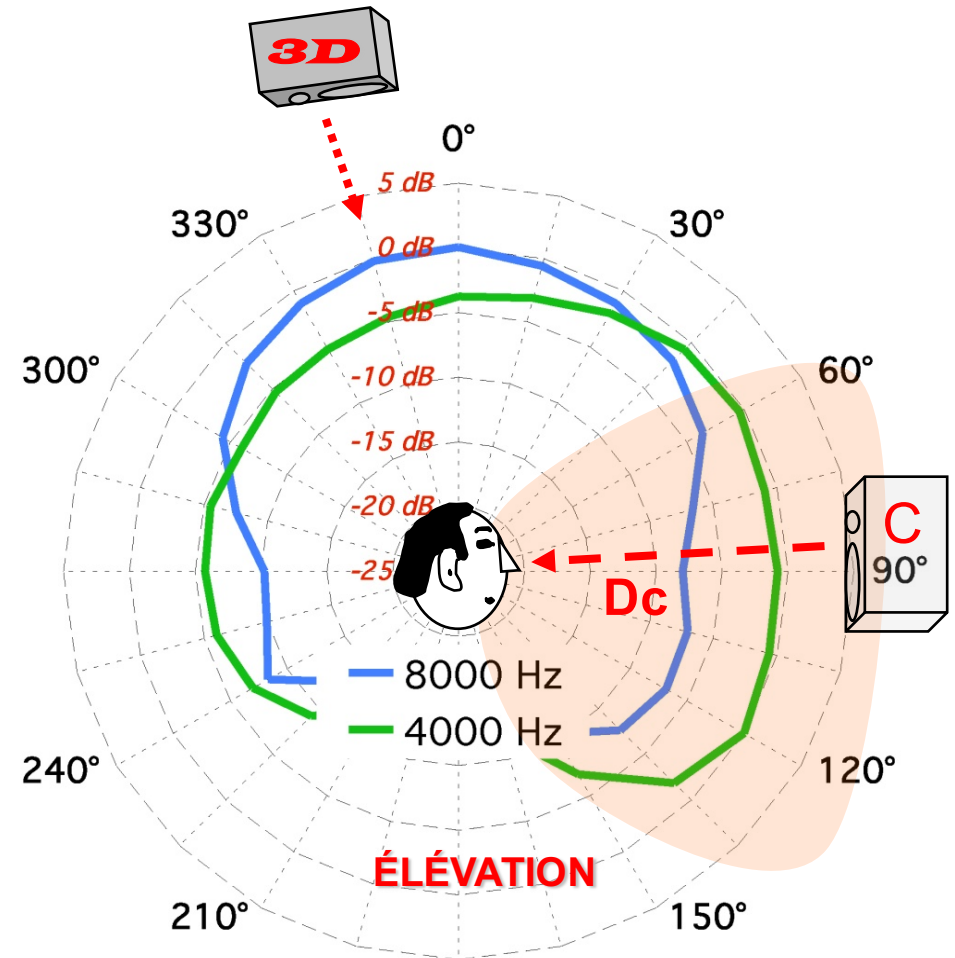
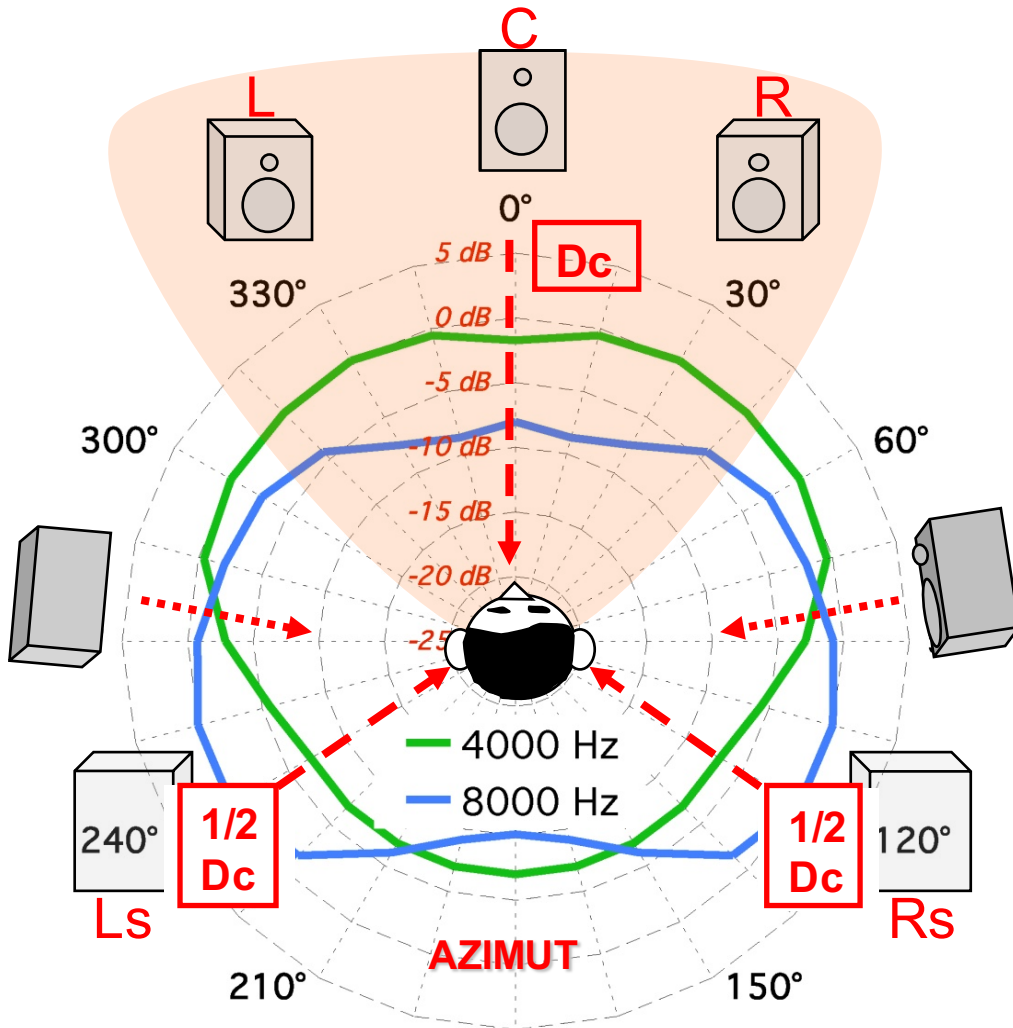


Oreille Primitive ↔ Écoute de Vigilance en **3D**

Pas d'homogénéité de l'espace sonore perçu

Domaine cognitif sensoriel dans un environnement **3D**

Les **HRTF** de Robinson & Whittle 1960 :



Localisation instable d'une source fantôme entre **R** et **Rs** \Rightarrow **7.0**

Dc est mal perçue à l'arrière (**Ls Rs**) \Rightarrow délai pour conformité ITU.

IRC_1053

<http://recherche.ircam.fr/equipes/salles/listen/download.html>

ID : IRC53

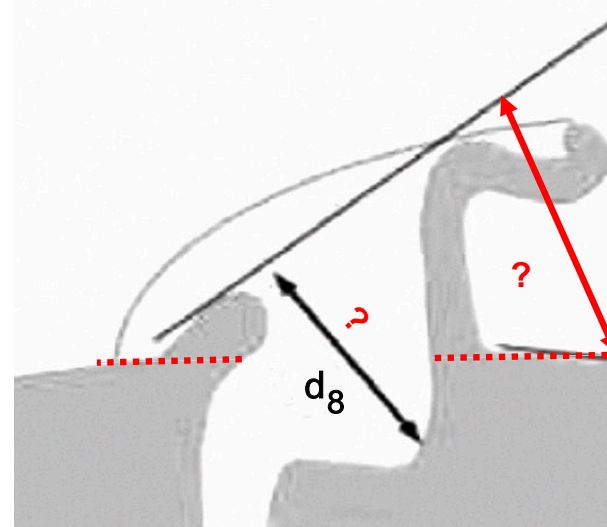
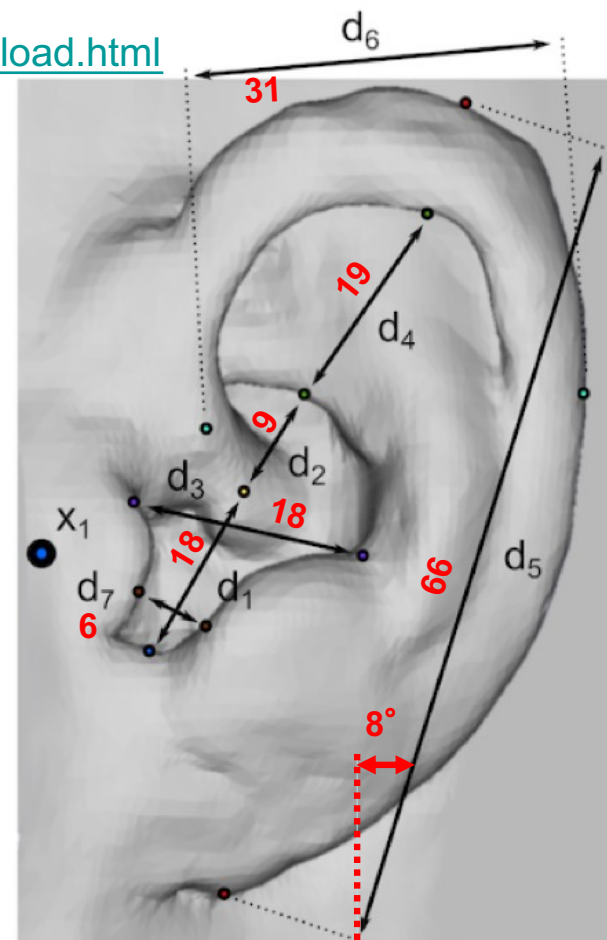
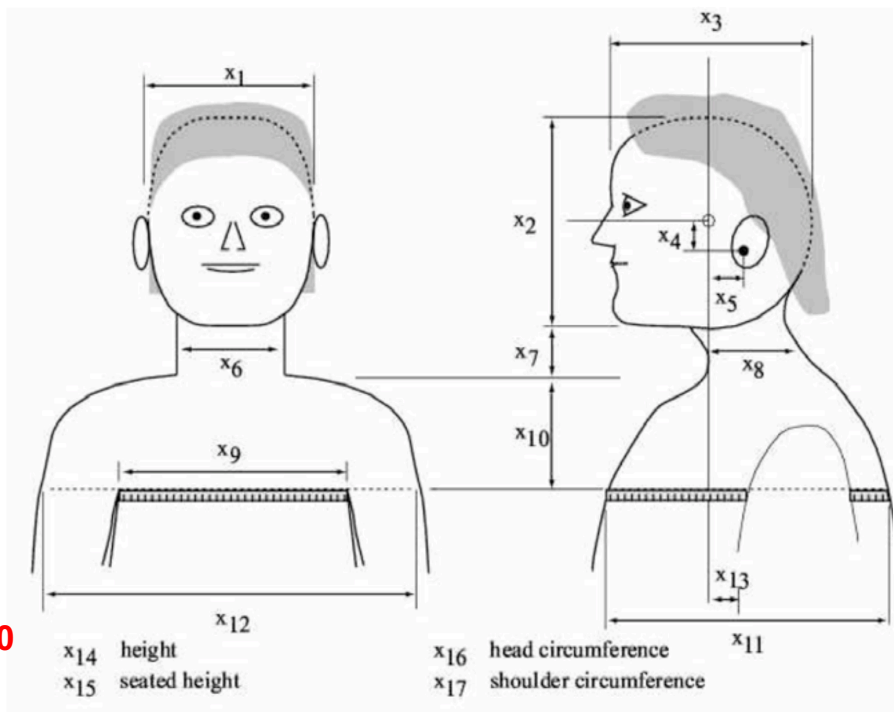
Automne 2002

IRCAM

- Femme
- Coiffure : courte

en mm

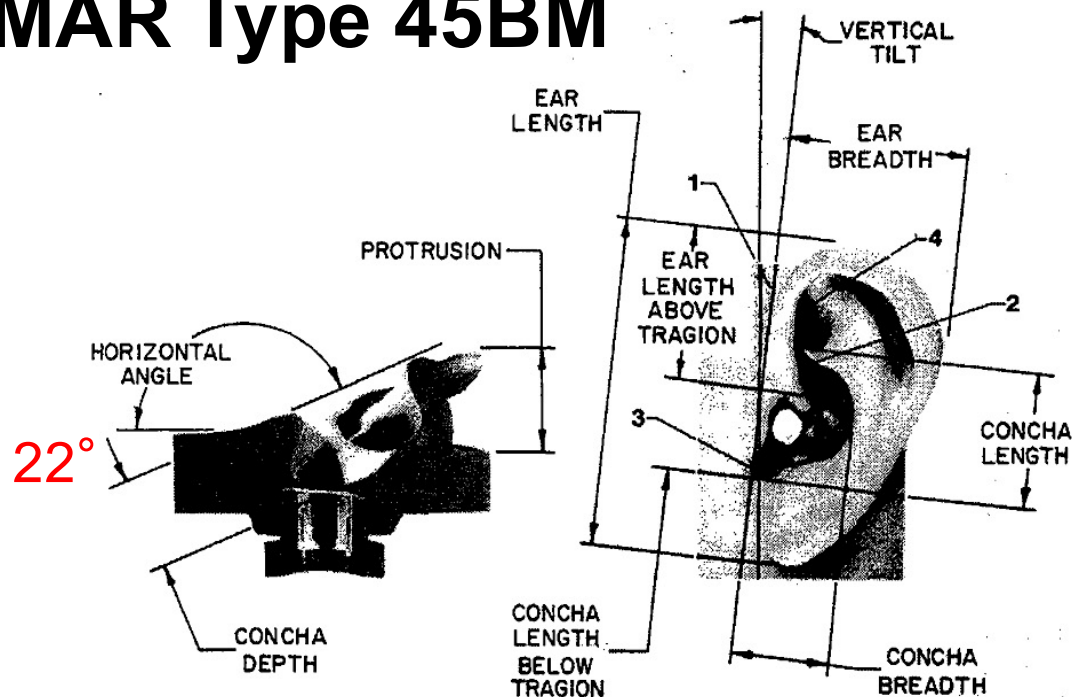
- x_1 head width 151
- x_2 head height 225
- x_3 head depth 185
- x_4 pinna offset down 15
- x_5 pinna offset back 15
- x_6 neck width 94
- x_7 neck height 102
- x_8 neck depth 102
- x_9 torso top width 260
- x_{10} torso top height 65
- x_{11} torso top depth 190
- x_{12} shoulder width 415
- x_{13} head offset forward
- x_{14} height
- x_{15} seated height
- x_{16} head circumference 570
- x_{17} shoulder circumference 1030



Moyenne pavillon CIPIC

d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7
18	8	18	19	64	33	5
18	9	18	19	66	31	6

KEMAR Type 45BM



Dimension		Averages			Standard deviation			KEMAR	50% Male ^a	50% Female ^a	Average
		12 Male	12 Female	Overall	12 Male	12 Female	Overall				
Ear length	cm	6.85	6.24	6.55	0.59	0.38	0.58	5.89	6.35	5.84	6.10
Ear length above tragon	cm	3.30	3.07	3.19	0.41	0.20	0.34	2.7	3.04		
Ear breadth	cm	3.77	3.36	3.57	0.24	0.27	0.33	3.1	3.55	3.3	3.42
Ear protrusion	cm	2.28	2.03	2.16	0.22	0.23	0.26	1.85	2.10		
Ear protrusion angle	deg	156.7	155.1	155.9	8.6	9.7	9.0	158			
Vertical tilt front view ^b	deg	3.0	2.7	2.9	3.2	3.6	3.1	7			
Vertical tilt side view ^b	deg	7.6	4.7	6.2	2.8	3.4	2.8	6			
Concha volume	cm ³	4.65	3.94	4.30	0.76	0.81	0.85	4.0			
Concha length	cm	2.73	2.53	2.63	0.23	0.20	0.24	2.45			
Concha length, tragon to lower notch	cm	1.74	1.62	1.68	0.16	0.16	0.17	1.82			
Concha breadth	cm	1.88	1.72	1.80	0.21	0.21	0.22	1.57			
Concha breadth tragon to helix	cm	1.82	1.65	1.73	0.27	0.22	0.25	1.39			
Concha depth	cm	1.29	1.29	1.29	0.12	0.08	0.10	1.33			

**Dimensions
externes de
l'oreille**

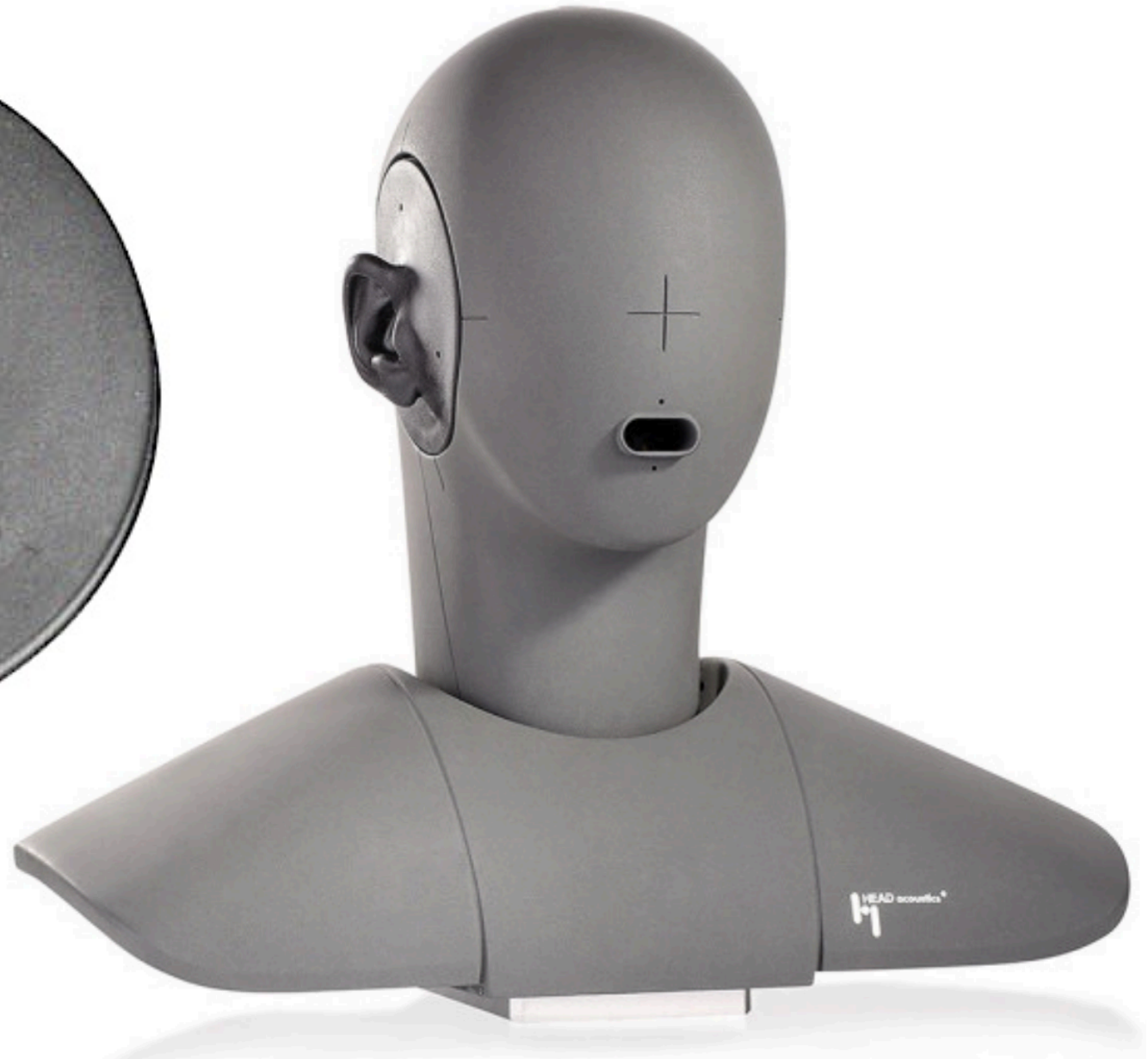
*Oreille Gauche selon
ITU-T P.57 Type 3.3*

^aDreyfus (1967).

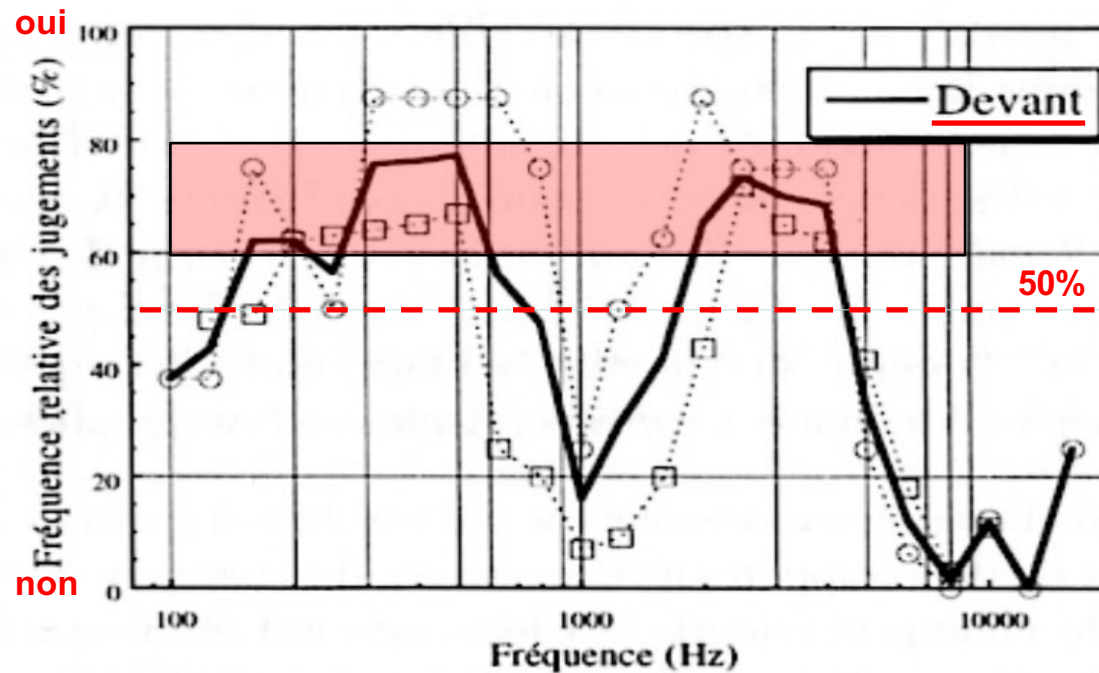
^bFour males and four females.

HEAD Acoustics HMS II.3

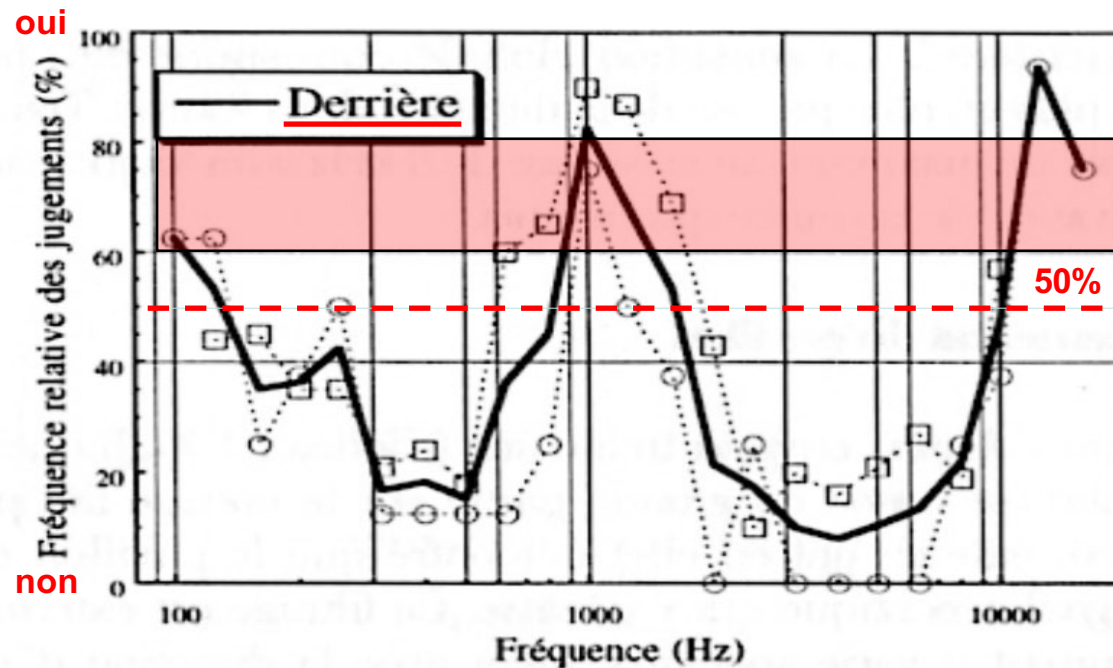
*Oreille Droite selon ITU-T P.57 Type 3.3
(forme anatomique)*



Fréquence relative des jugements en % : Devant 0° et Derrière 180°



Direction apparente de sons présentés dans le plan médian. Les points de mesure sont empruntés à Blauert 1969 pour les symboles carrés et à Chateau 1995 pour les symboles ronds.



LE SON ET L'ESPACE

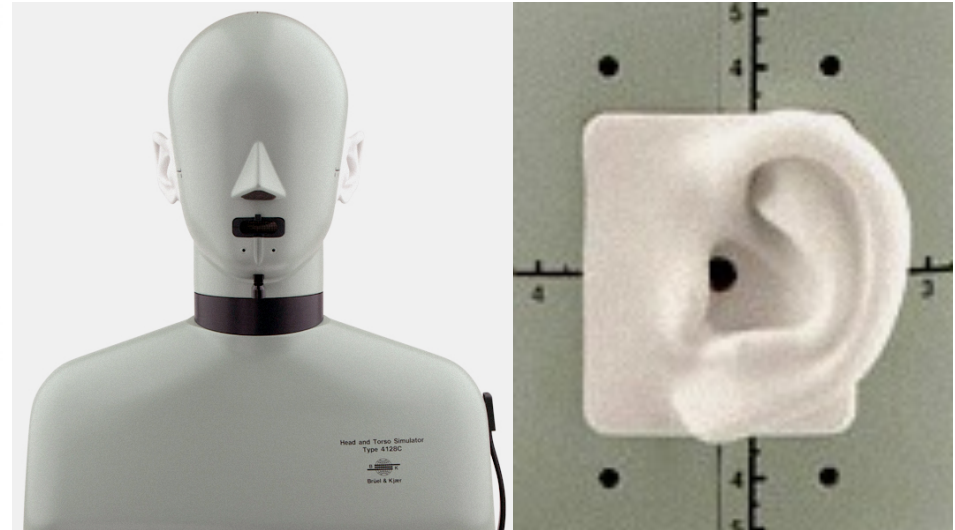
ALÉAS-GRAME

La localisation auditive des sons dans l'espace.

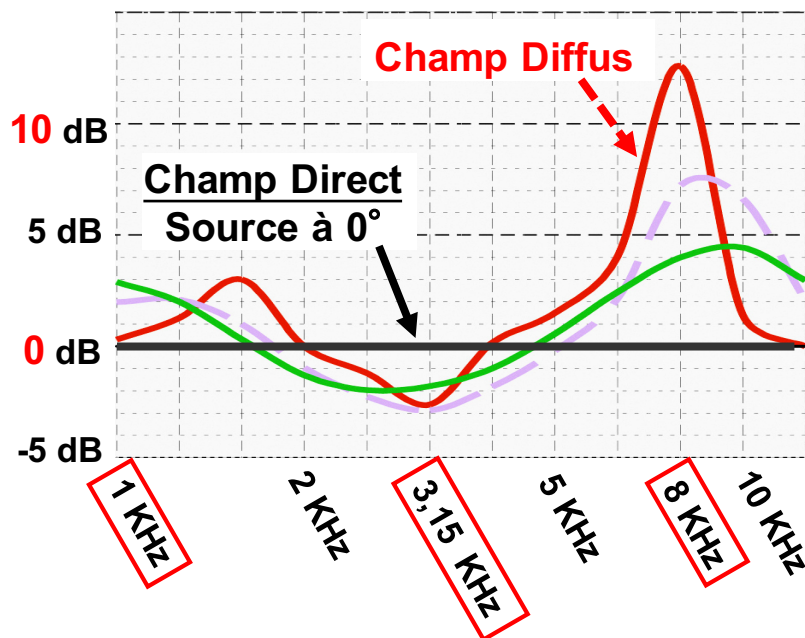
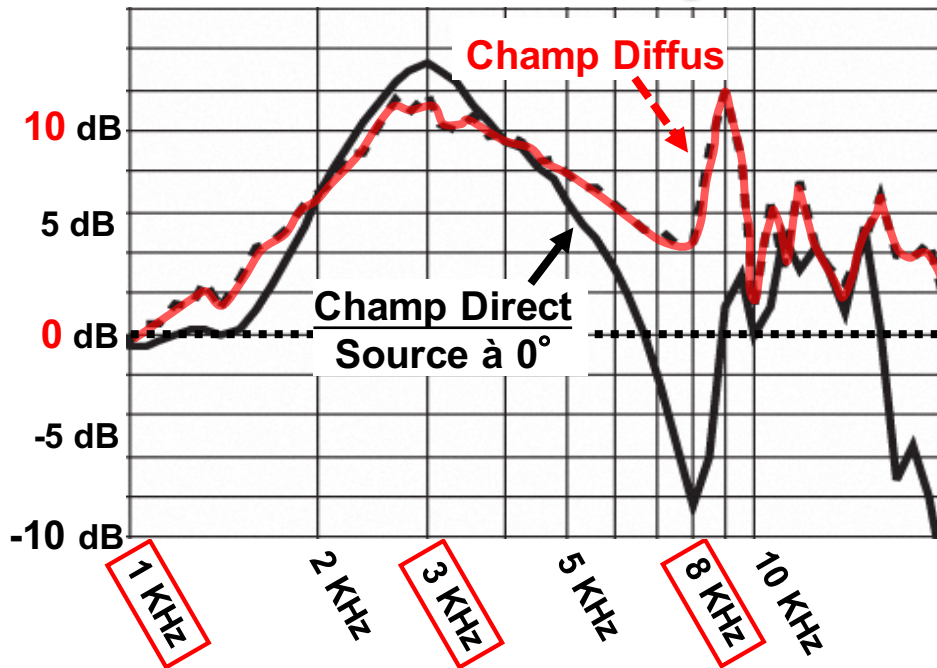
Par Georges Canévet

Brüel & Kjær

Tête et torse Type 4128 c



Documents et Photos Brüel & Kjær



— Différence en niveau entre le champ diffus et le champ direct à incidence frontale, pour la tête et torse B&K type 4128c...

- - - Différence en niveau entre le champ diffus et le champ direct à incidence frontale, pour les résultats polynomiaux...

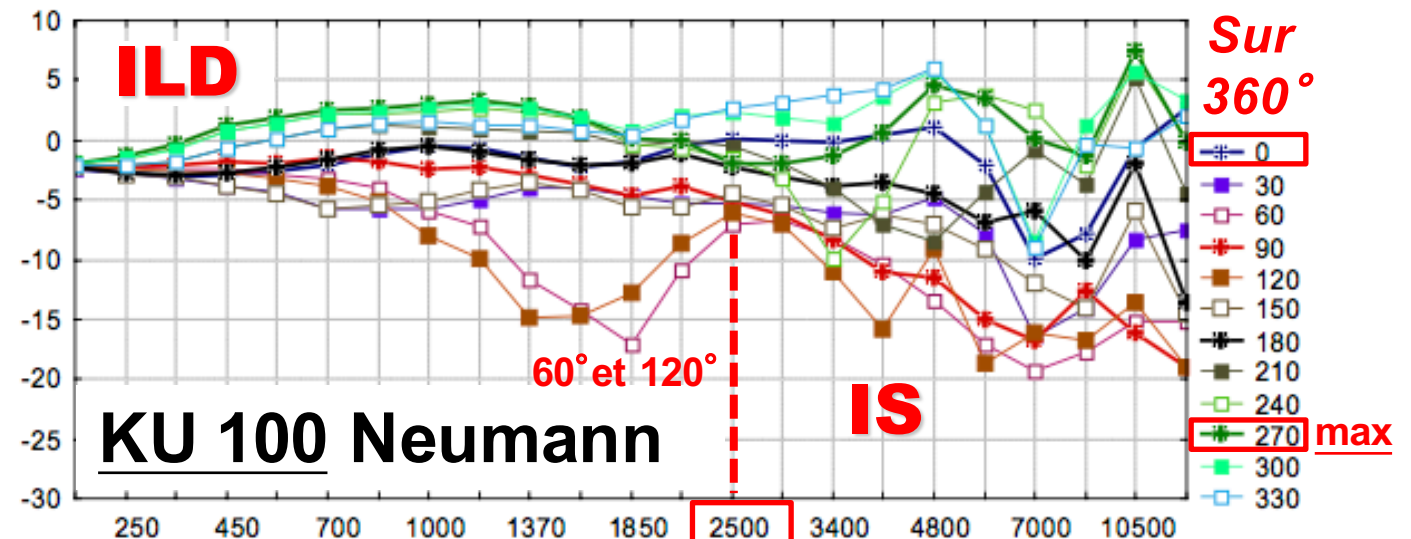
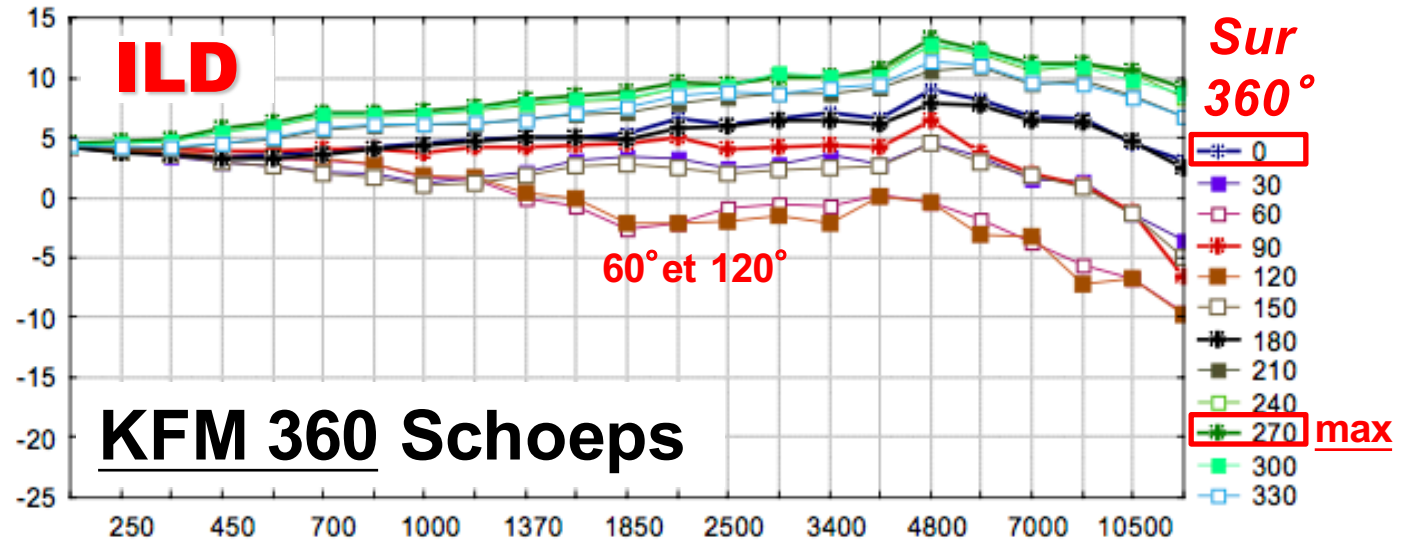
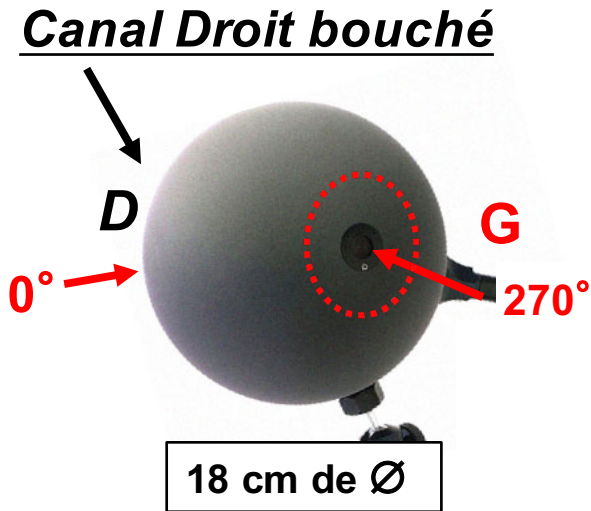
— Norme ISO 454 de 1975 « Relation entre les niveaux de pression acoustique de bandes étroites de bruit en champ diffus et en champ libre à incidence frontale pour des sonies égales. »

Corrections Champ Diffus (réponse linéaire) = Technique « EQ Matching »

The microphone and artificial head sound pressure measurement

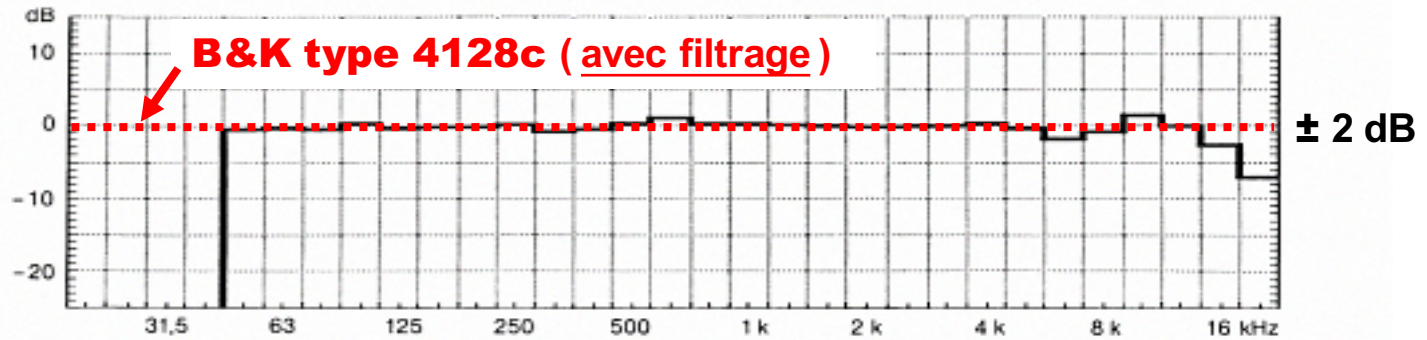
Zdenek Otcenasek **2004**

*Sound Studio of the Faculty of Music, Academy of Performing Arts Prague,
Malostranske nam. 13, 118 00 Praha 1, Czech Republic, Email: otcenasek@hamu.cz*



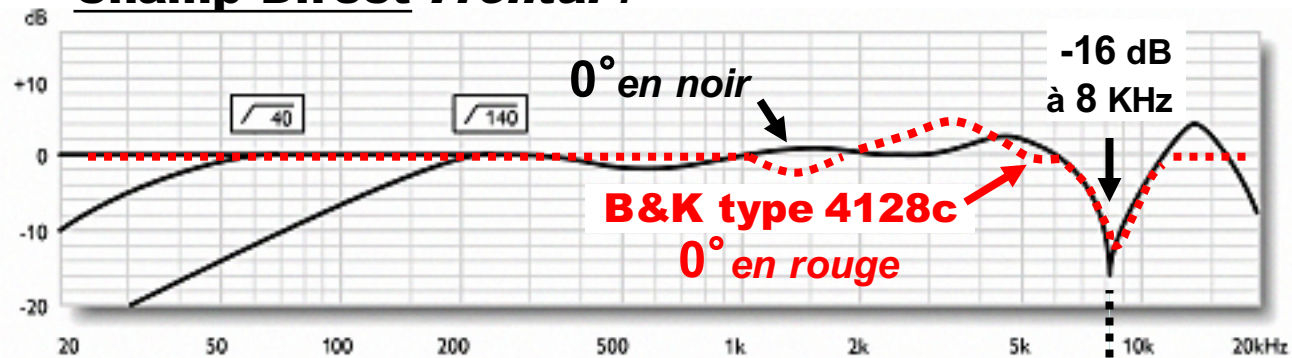
NEUMANN KU100

Champ Diffus :



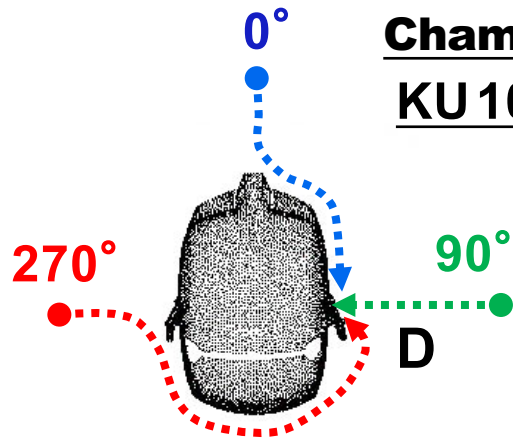
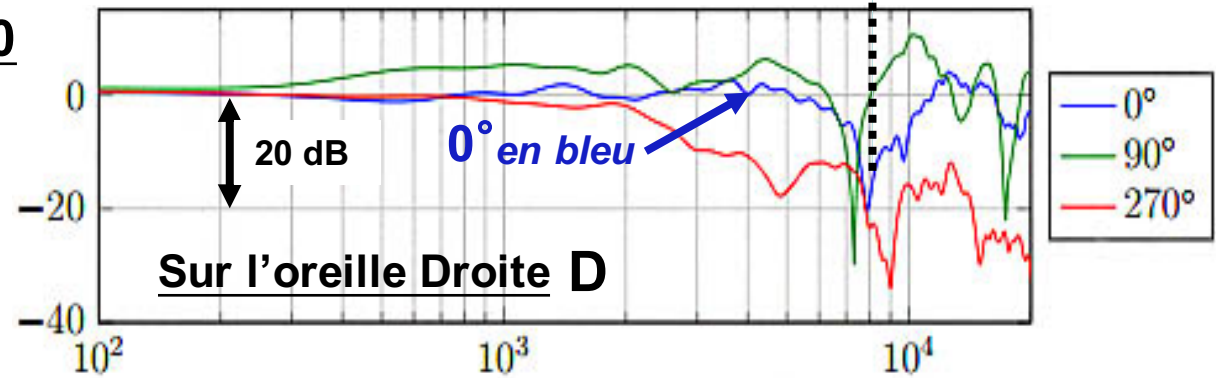
Documents Neumann
Documents B&K

Champ Direct Frontal :



Champ Direct Frontal :

KU100



COMPARAISON ENTRE L'AUDITION ET LA VISION:


⇔ 4 KHz

Rétine Centrale :

- Présence de cônes
- Faible sensibilité
- Forte acuité
- Traite les informations relatives à la forme et à la couleur
- Rôle : Reconnaissance de l'information...

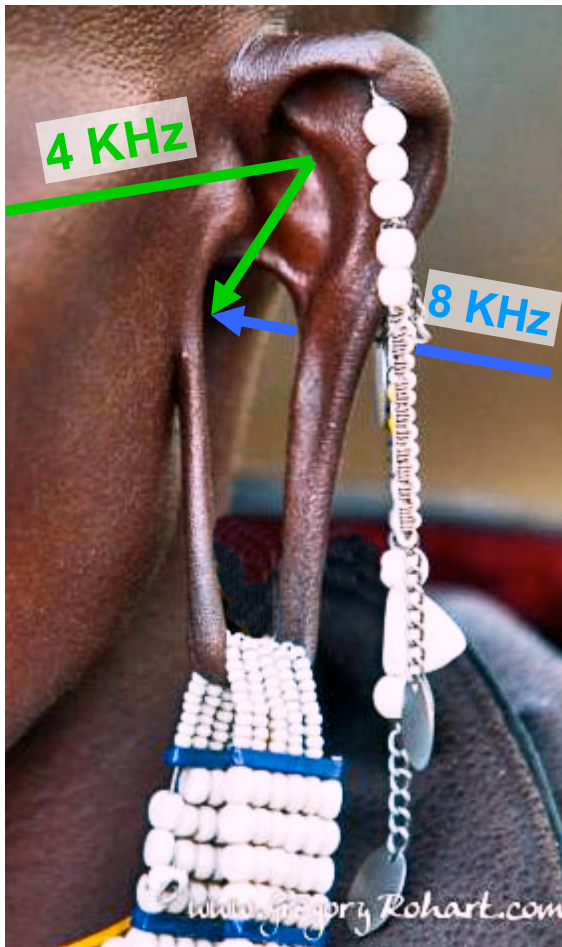
⇔ 8 KHz

Rétine Périphérique :

- Présence de bâtonnets
- Forte sensibilité
- Faible pouvoir de discrimination
- Traite les informations relatives au mouvement
- Rôle : Détection de l'information et du 

Modifications des **HRTF**.

Head Related Transfert Function = iS + Résonances + Diffractions...



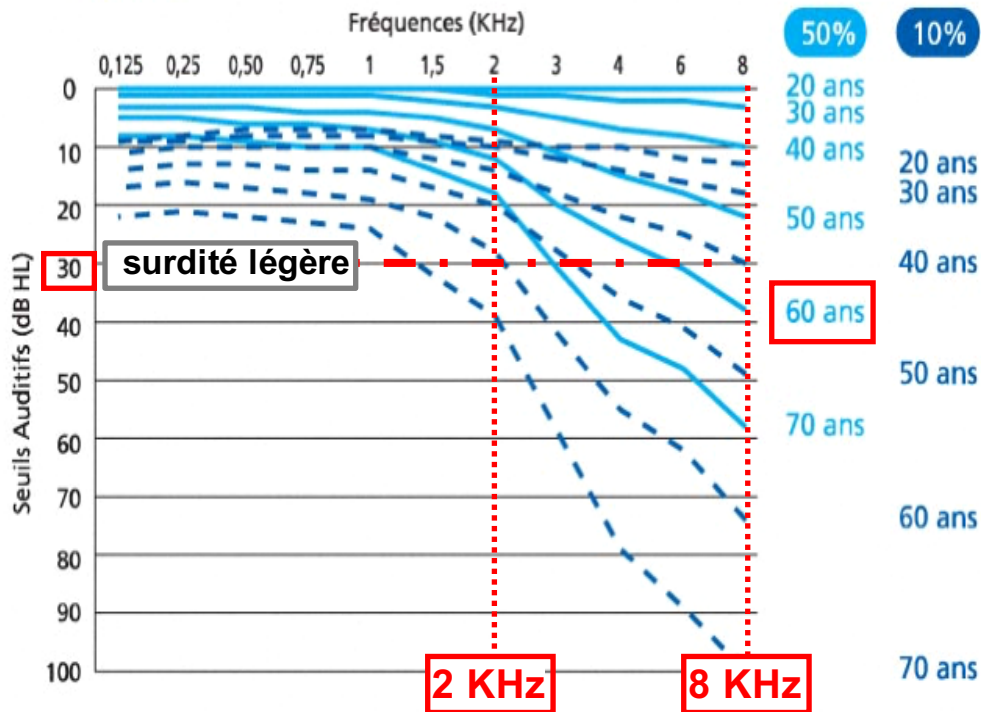
Oreille de guerrier Maasäi.
(Optimisée dans le plan azimutal...)



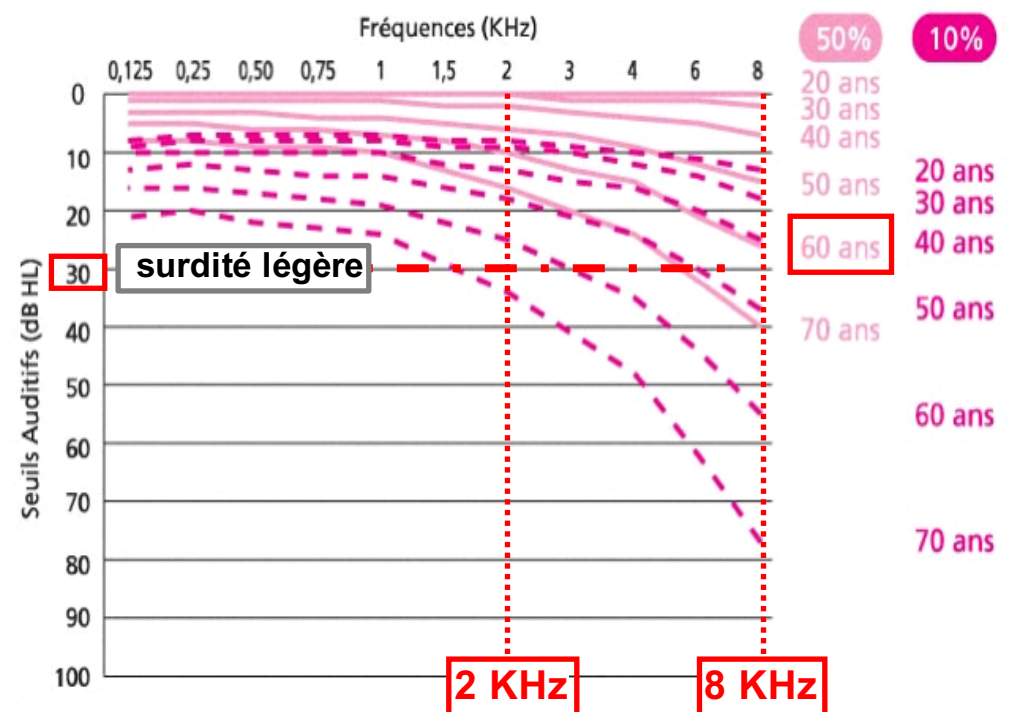
PRESBYACOUSIE norme ISO 7029

Audiogrammes :

Hommes

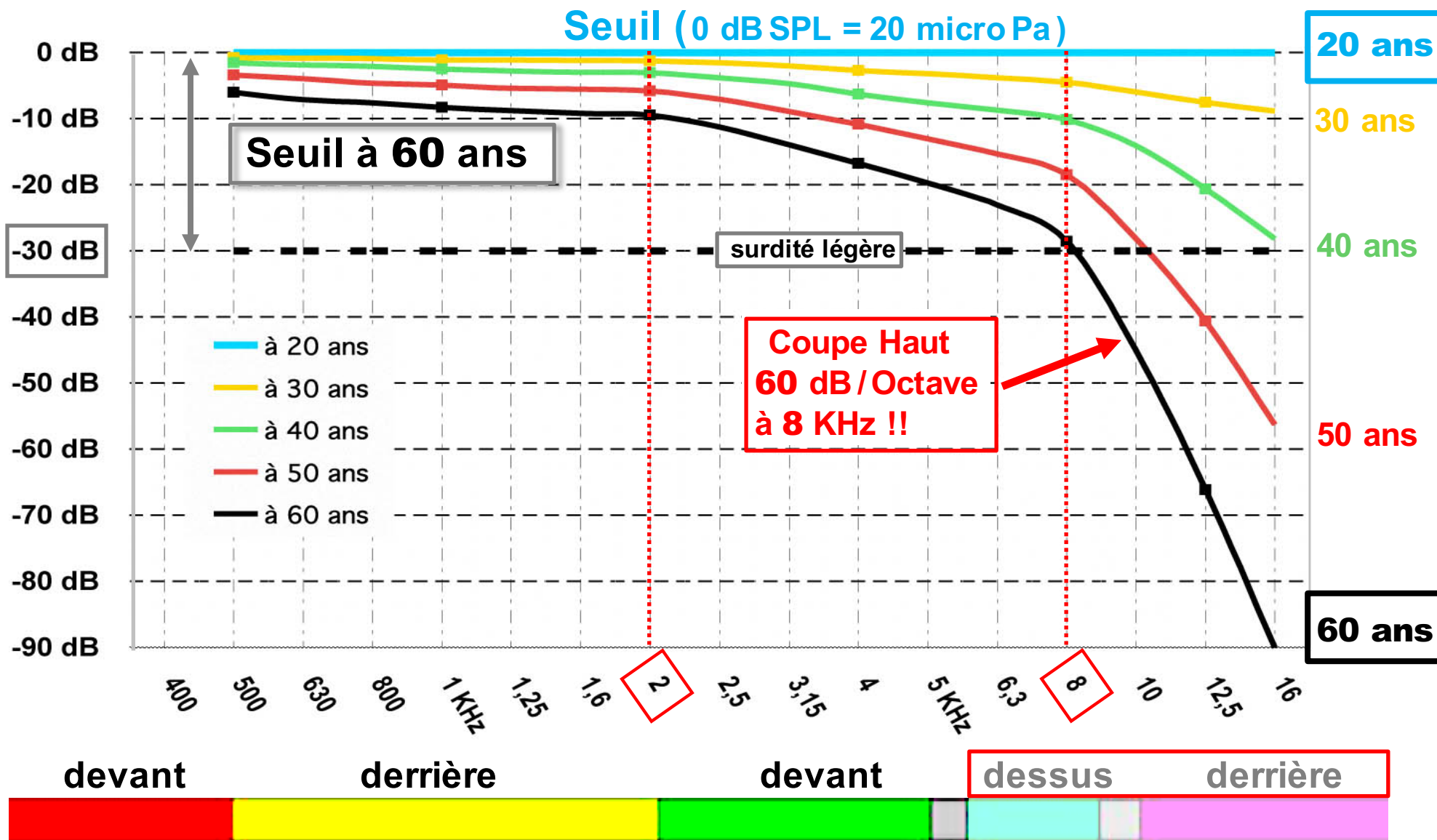


Femmes



Ces données confirment les observations que chacun a pu faire ; l'effet de la **presbyacousie** est beaucoup plus marqu e pour **les fréquences supérieures à 2 KHz**, avec une **différence homme / femme** notable.

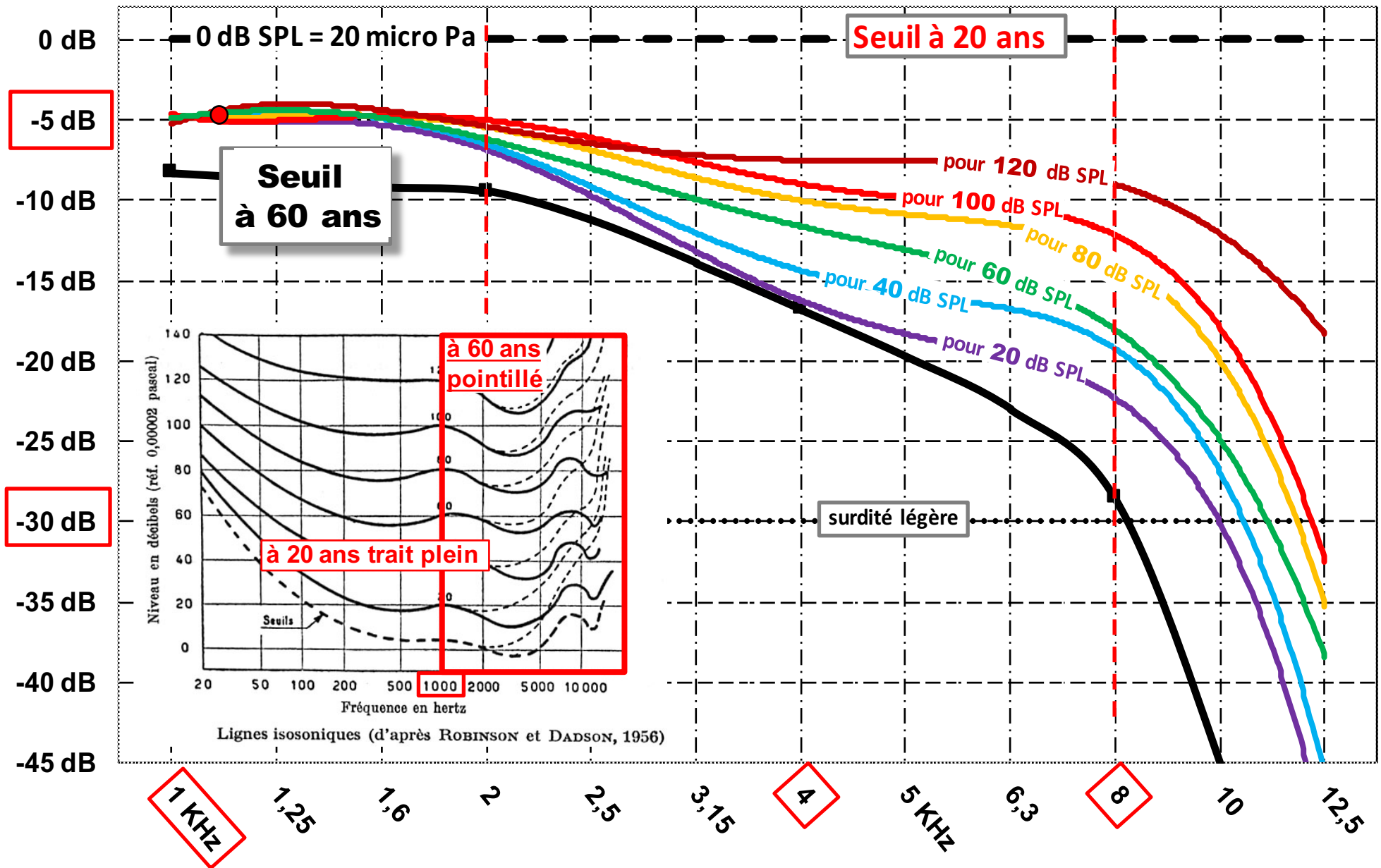
Technical Référence: *Presbyacousie* (Peter Mapp 1985)



Bandes directionnelles d'après Blauert 1969
 (dans le *plan médian*)

Et le Son 3D ?

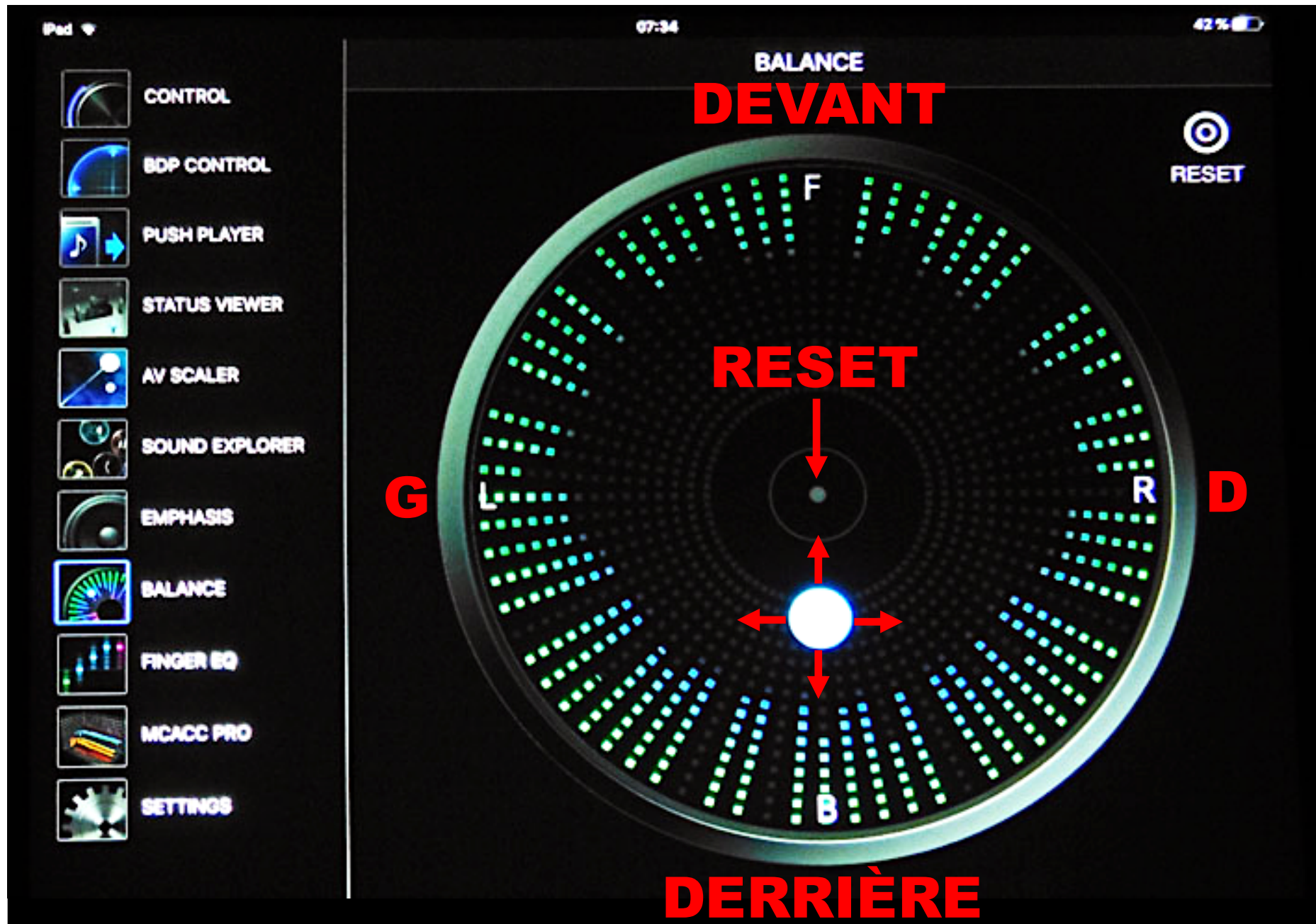
Presbycousie à 60 ans en fonction du niveau acoustique



Robinson et Dadson 1956

Application pour **IPAD**: **Pioneer** iControlAV5

Down Mix du 5.1 au Binaural ?



Cher Ami

Merci de m'avoir adressé pour *acouphènes aigus sifflants, intermittents, quelques secondes, bilan auditif.*

Les tympans sont normaux.

L'audiogramme montre une surdité de perception prédominant sur les aigus avec une perte vocale minimale sur chaque oreille de moins de 5 dB.

Il s'agit d'acouphènes liés à la **presbyacousie** .

Le seul traitement actif est l'appareillage auditif, mais la perte est trop faible pour le justifier.

J'explique à notre malade que les acouphènes concernent 20 à 40 % de la population, dans sa classe d'âge, qu'ils sont physiologiques , et que le traitement repose sur l'habituation.

Au début on peut s'aider d'un masquage de l'acouphène par un discret fond sonore musical pour s'habituer à l'oublier.

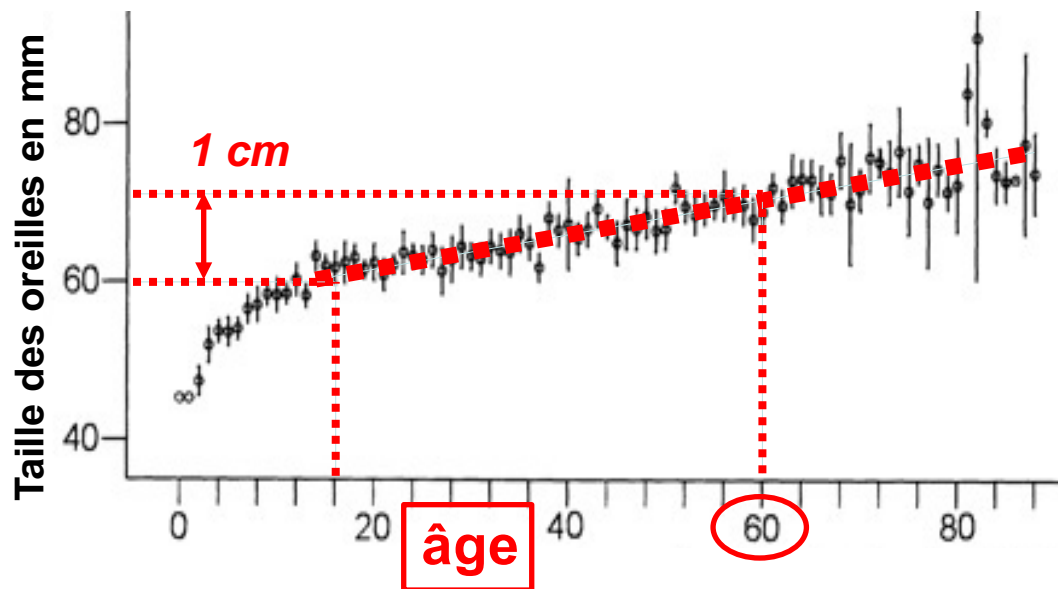
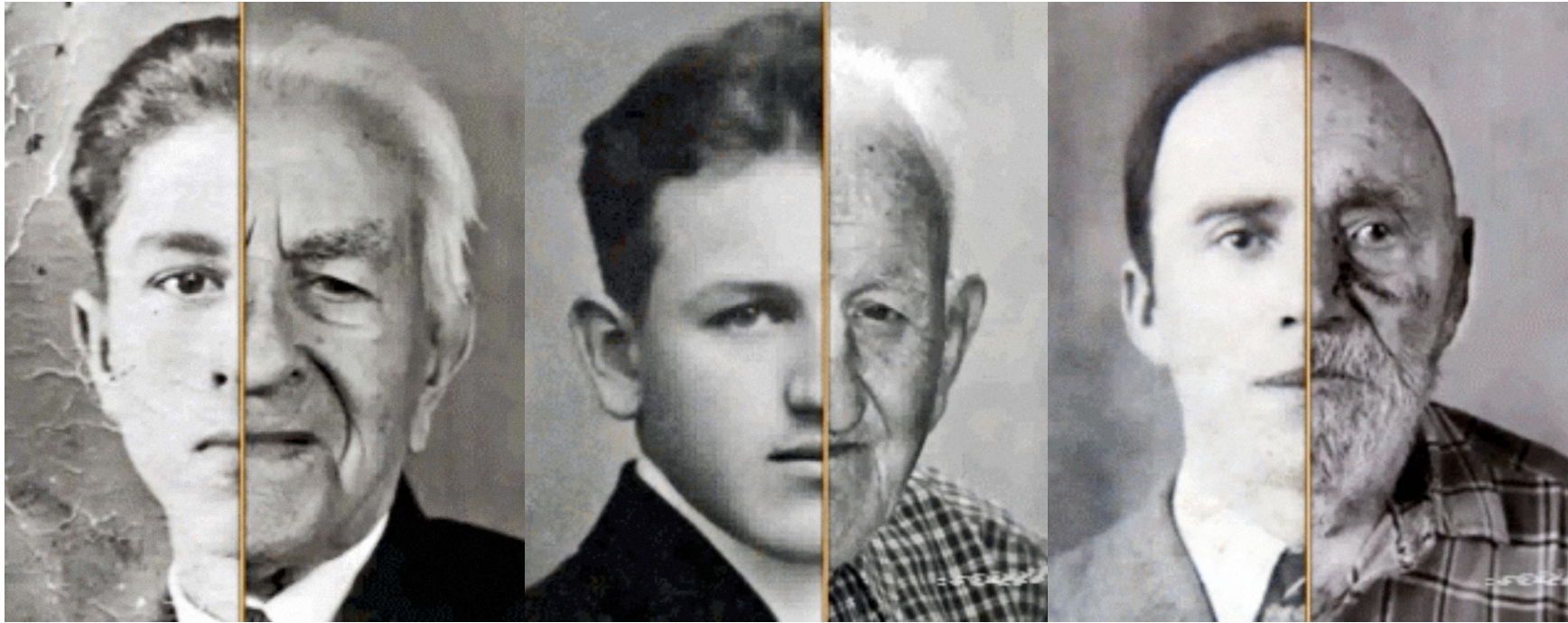
Le point essentiel est de rassurer le patient pour favoriser la mise en place du filtre cérébral.

Amicalement

L'oreille ne cesse de grandir...

L'oreille grandit pour compenser la presbycousie ?

bigbrowser.blog.lemonde.fr

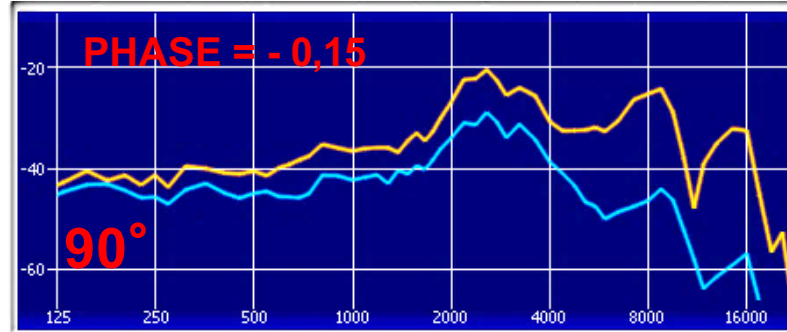
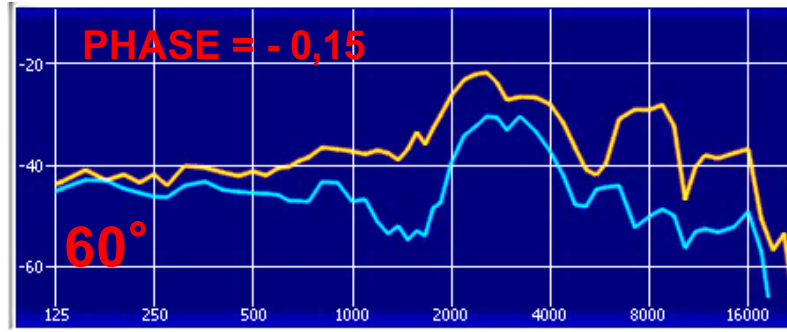
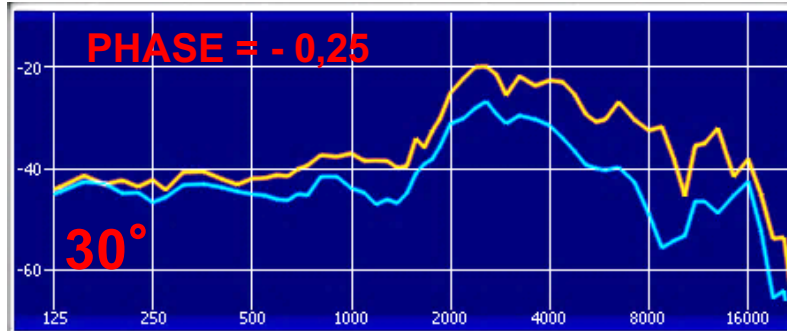
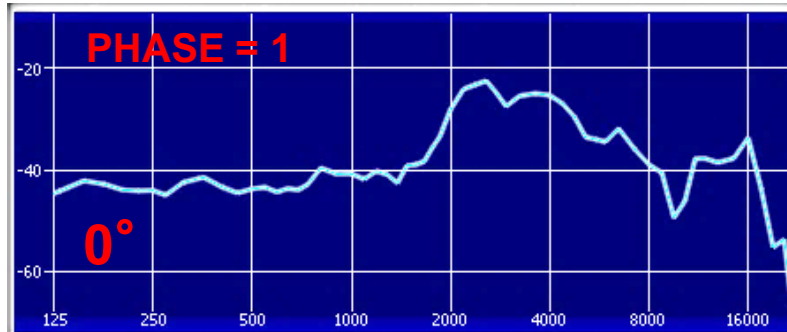


Une équation linéaire de régression fut tirée des données recueillies :

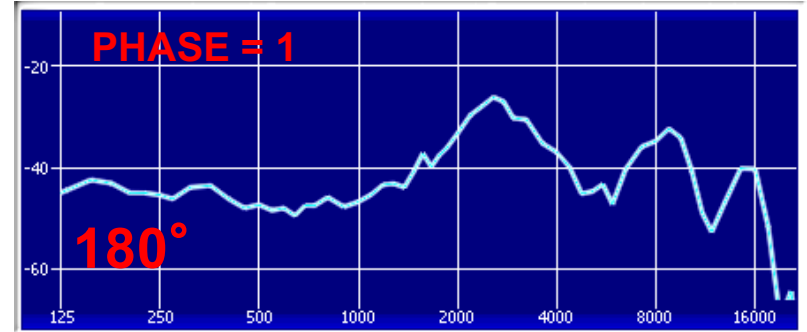
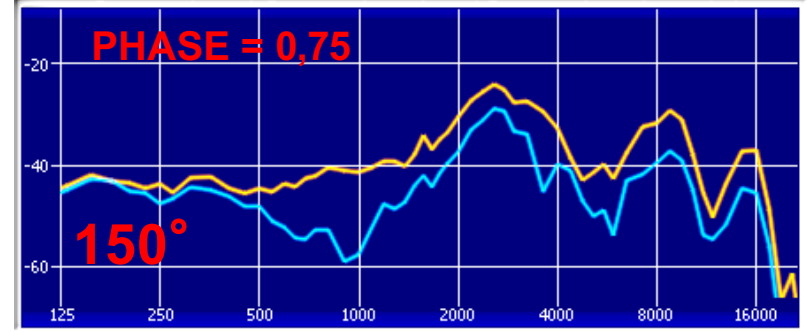
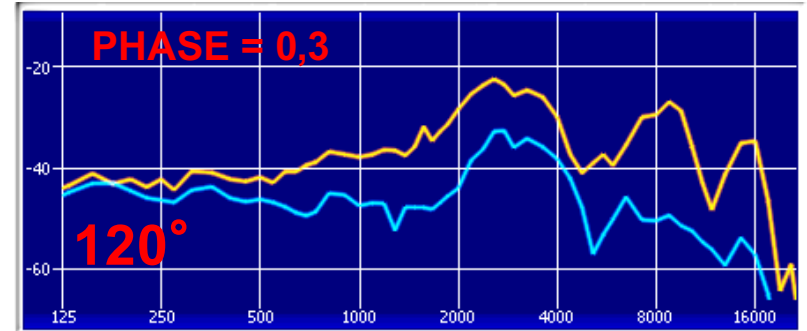
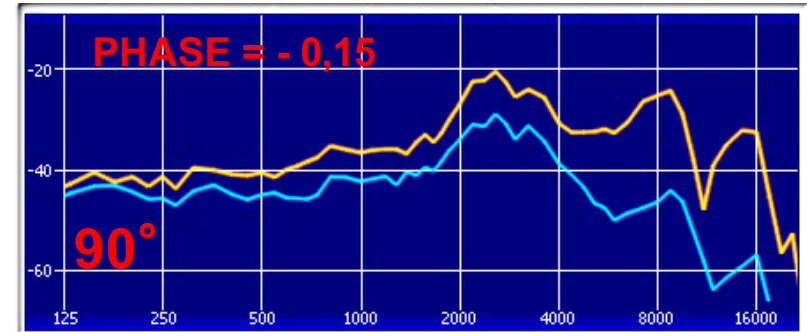
$$\text{Taille des oreilles} = 55.9 + (0.72 \times \text{âge})$$

Niemitz, C., et al. 2007

PLUG-IN **KEMAR** de **MIT** Oreilles Larges

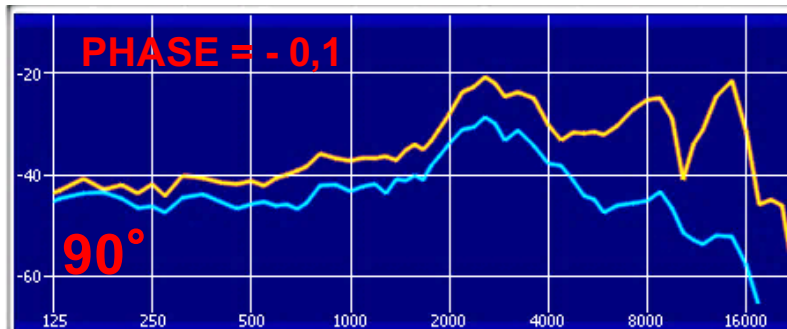
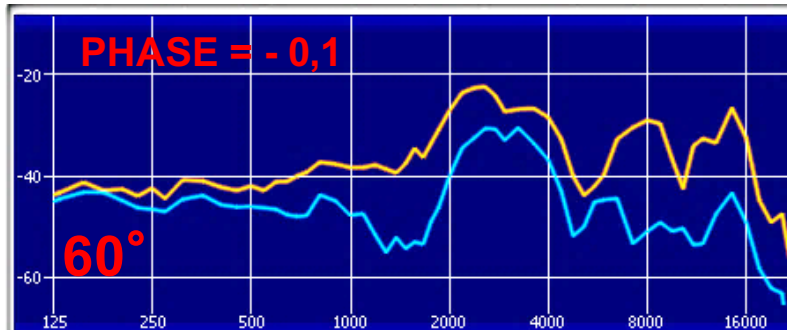
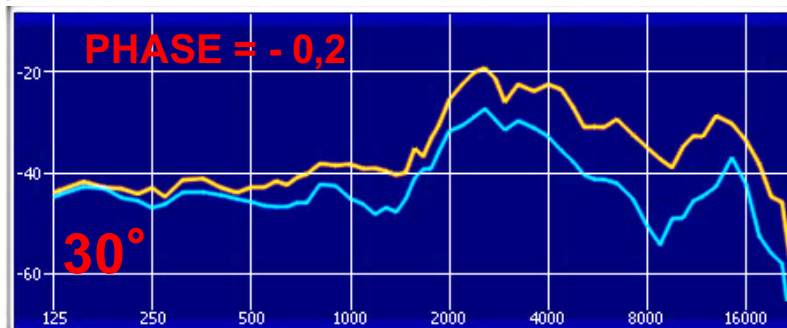
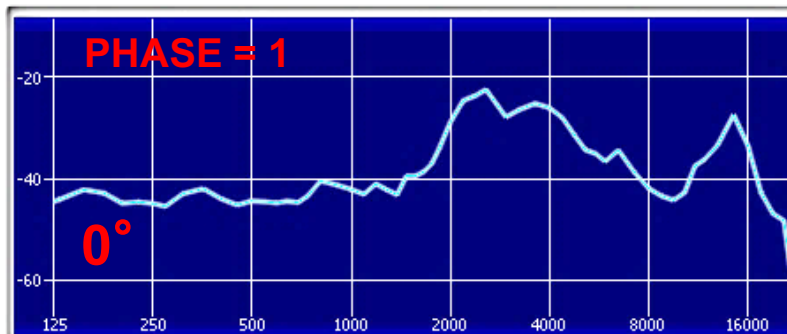


mit_kemar_large_pinna.sofa

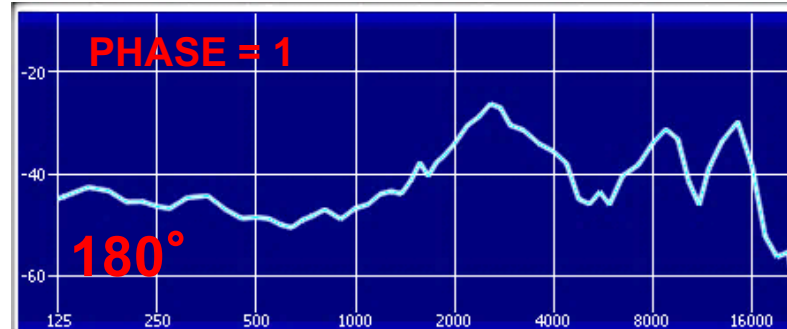
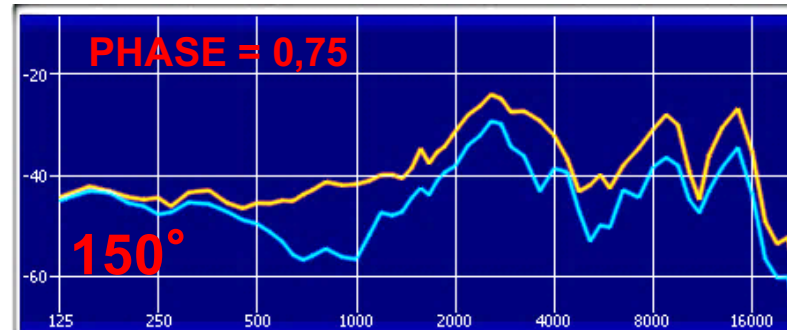
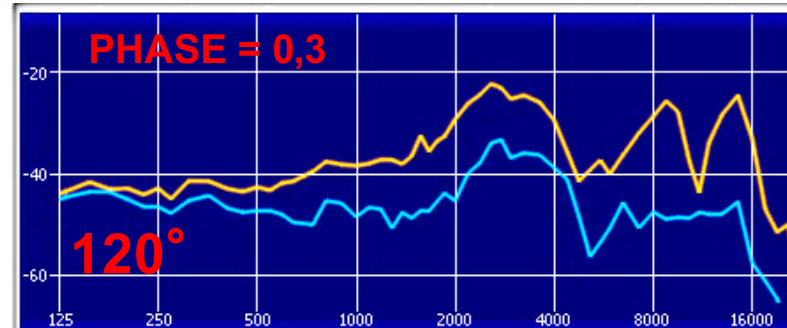
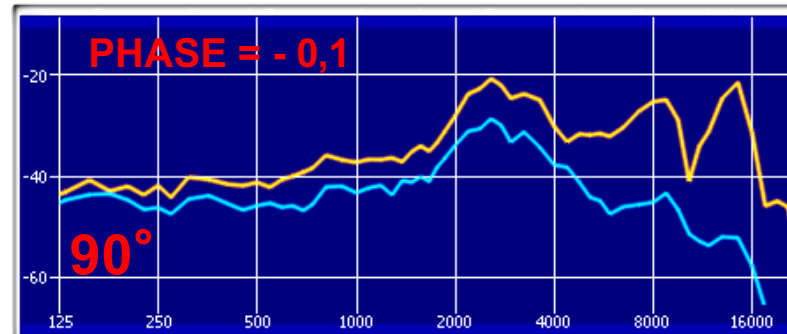


PLUG-IN **KEMAR** de **MIT** Oreilles Normales

- Oreille Ipsilatéral
- Oreille Contralatéral



mit_kemar_normal_pinna.sofa



Merci de votre attention

Site : <https://www.lesonbinaural.fr>

Mail : [**b.lagnel@gmail.com**](mailto:b.lagnel@gmail.com)