

P2: Perception auditive



Daniel Pressnitzer

Laboratoire des Systèmes Perceptifs, CNRS
& Département d'études cognitives, Ecole normale supérieure
29 rue d'Ulm, 75230 Paris cedex 05

daniel.pressnitzer@ens.fr

Plan du cours

I. Bases, méthodes et concepts

acoustique, psychophysique, physiologie

II. Caractéristiques élémentaires et applications

champ audible, masquage, bande critique, non-linéarités, MP3, implants

III. Attributs perceptifs

sonie, (hauteur), localisation, timbre

IV. Analyse des scènes auditives

organisation auditive, musique

V. Etudes en cours

mémoire auditive, effets de contexte

Plan du cours

I. Bases, méthodes et concepts

acoustique, psychophysique, physiologie

II. Caractéristiques élémentaires et applications

champ audible, masquage, bande critique, non-linéarités, MP3, implants

III. Attributs perceptifs

sonie, hauteur, localisation, timbre

IV. Analyse des scènes auditives

organisation auditive, musique

V. Etudes en cours

mémoire auditive, effets de contexte

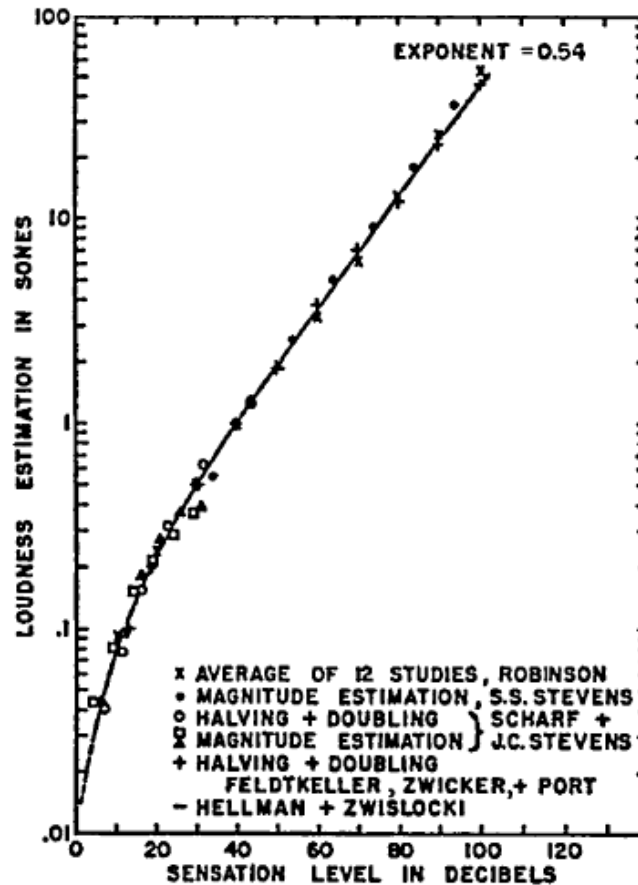
III.1 Sonie

- “Dimension” perceptive
- Liée à l’intensité acoustique
- Mais pas seulement

II.1 Sonie

Sonie et SPL

- Échelle des “Sones”, son pur à 1KHz

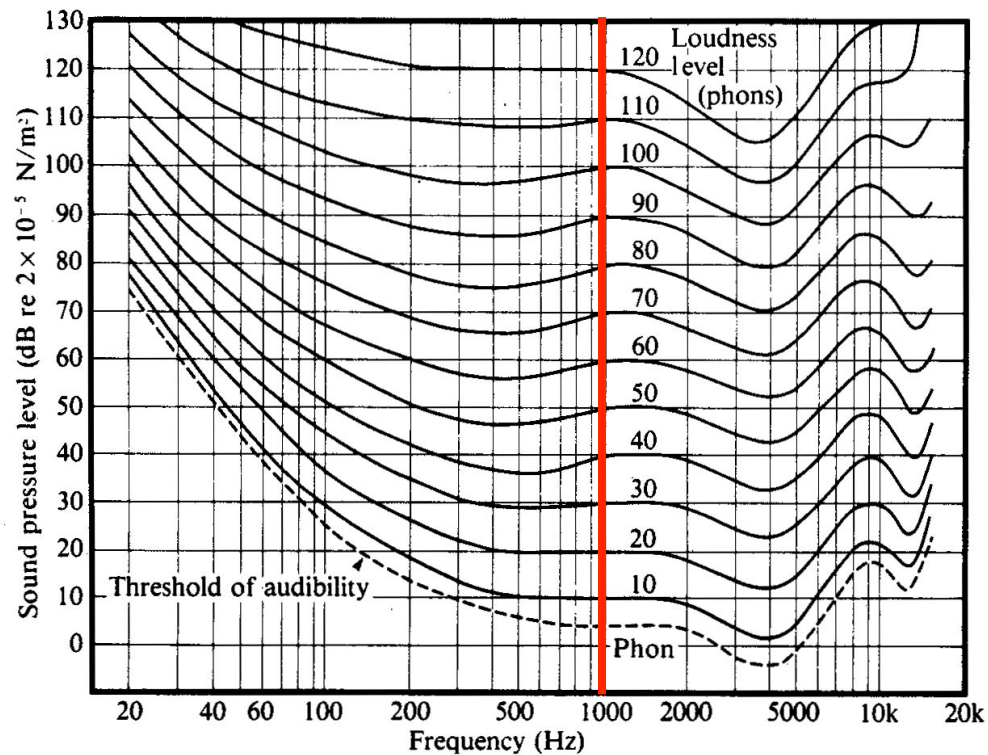


S.S. Stevens

III.1 Sonie

Sonie et fréquence

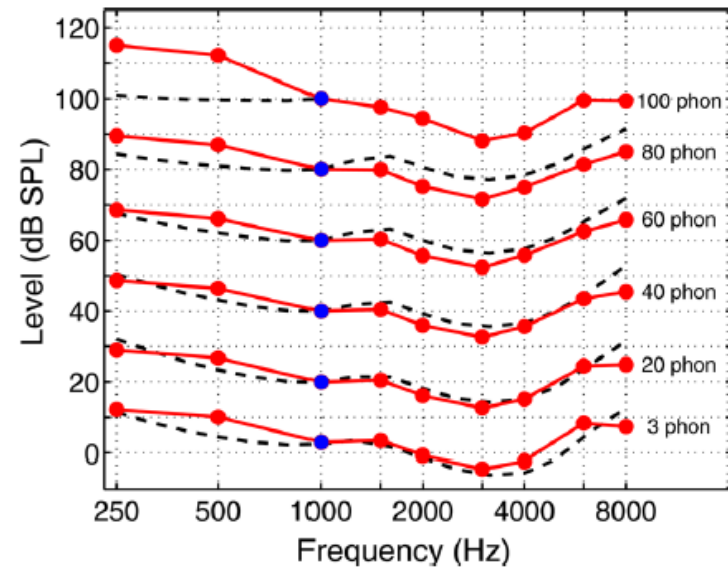
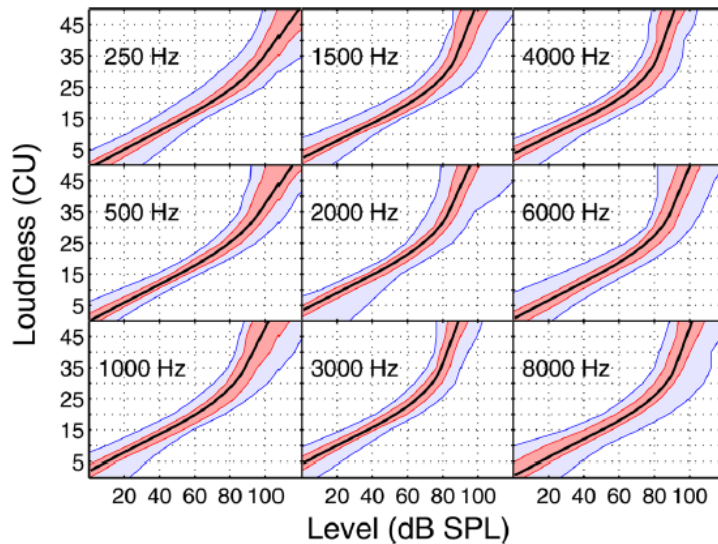
- Échelle des “Phones”, méthode comparaison



II.1 Sonie

Sonie et fréquence

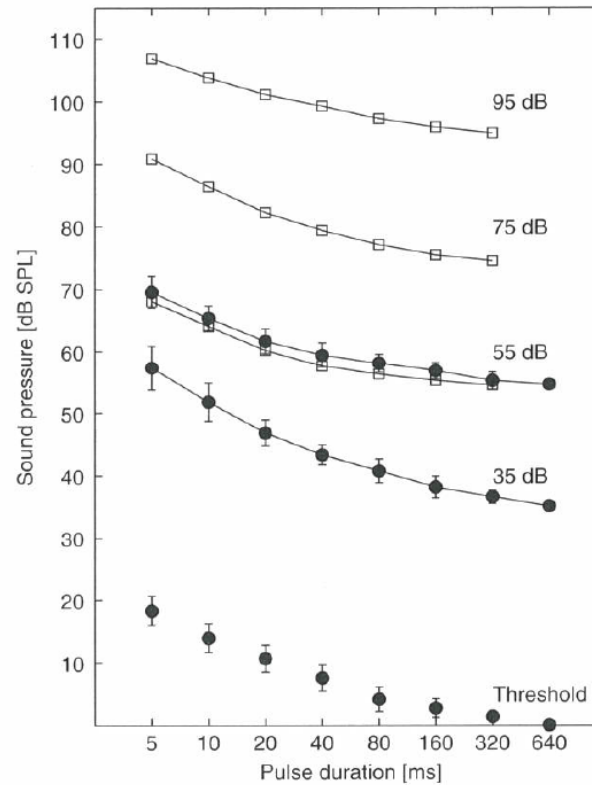
- Lien entre les échelles, variabilité
- Mesure catégorielle, 62 oreilles



III.1 Sonie

Sonie et durée

- Intégration temporelle



III.1 Sonie

Sonie et spectre

- Échelle des sones: lois d'exposant différentes

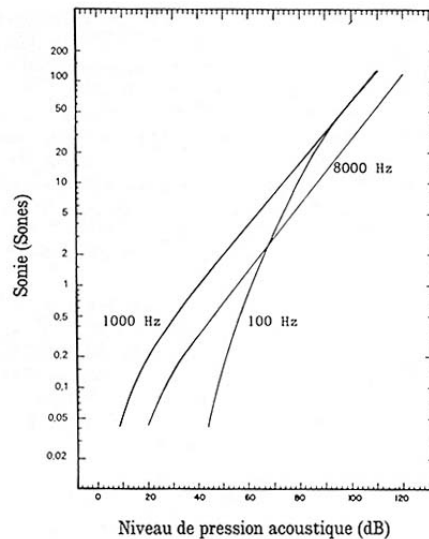


Fig. 1-11 Fonctions de sonie de sons purs de différentes fréquences : 100, 1 000 et 8 000 Hz. (D'après SCHARF, 1978)

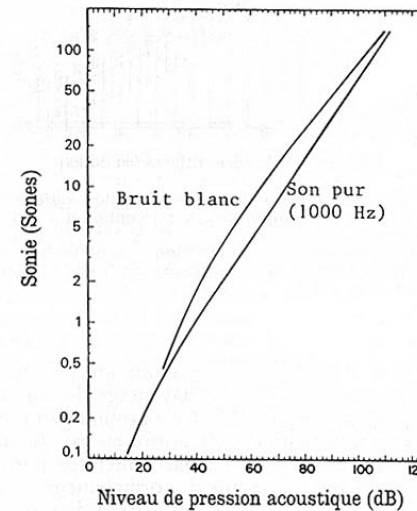


Fig. 1-12 Fonctions de sonie d'un son pur de 1 000 Hz et d'un bruit blanc. (D'après SCHARF, 1978)

III.1 Sonie

Sonie et spectre

- Bruit: effet de la bande critique

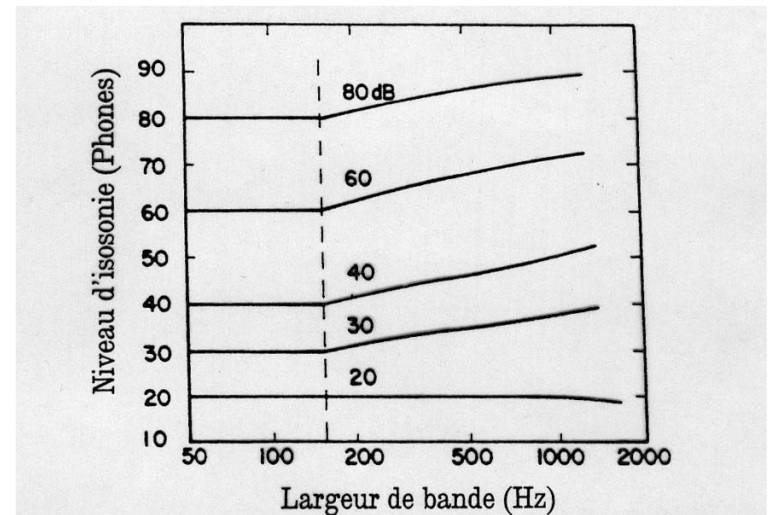
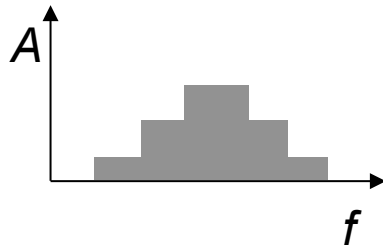
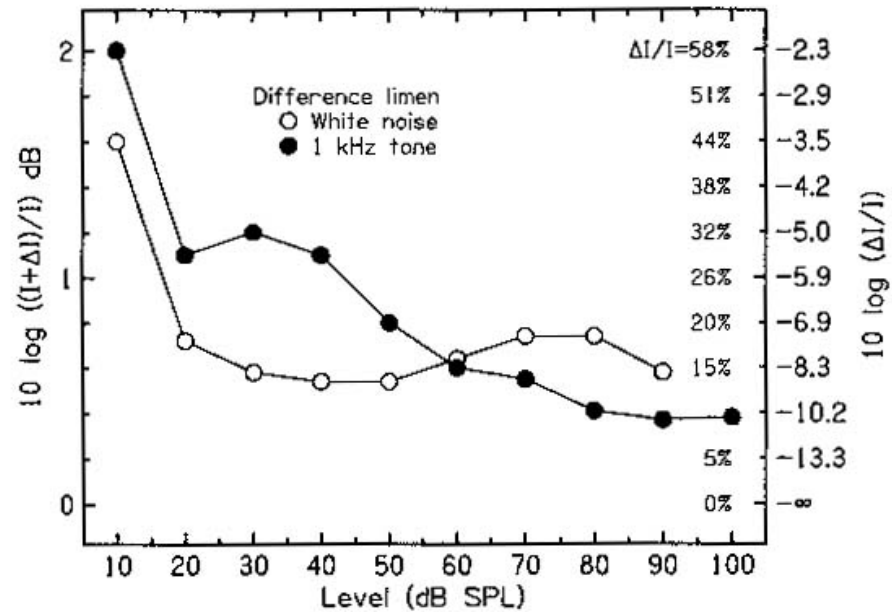


Fig. 1-14 Niveau d'isophonie en phones d'une bande de bruit ayant une fréquence centrale de 1 000 Hz à différents niveaux de pression acoustique en fonction de sa largeur. Au-dessus de 20 dB, la sonie commence à augmenter lorsque la largeur de la bande de bruit dépasse 160 Hz — largeur de la bande critique à 1 000 Hz. (D'après SCHARF, 1978)

III.1 Sonie

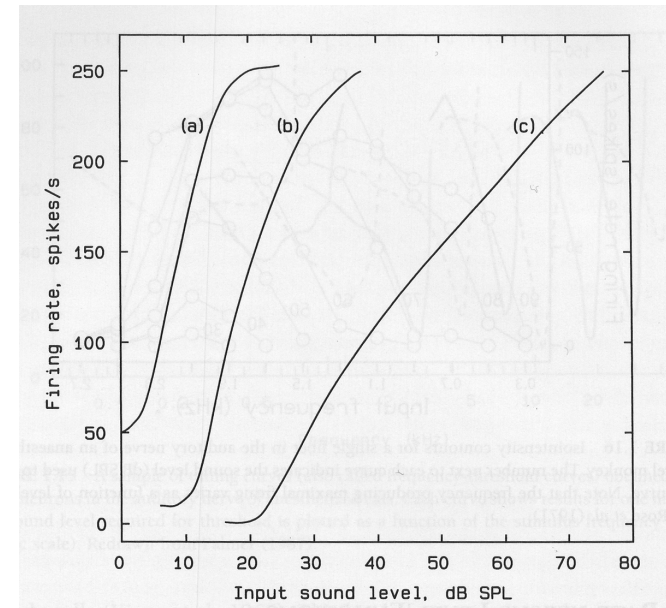
Seuils différentiels



III.1 Sonie

Mécanismes

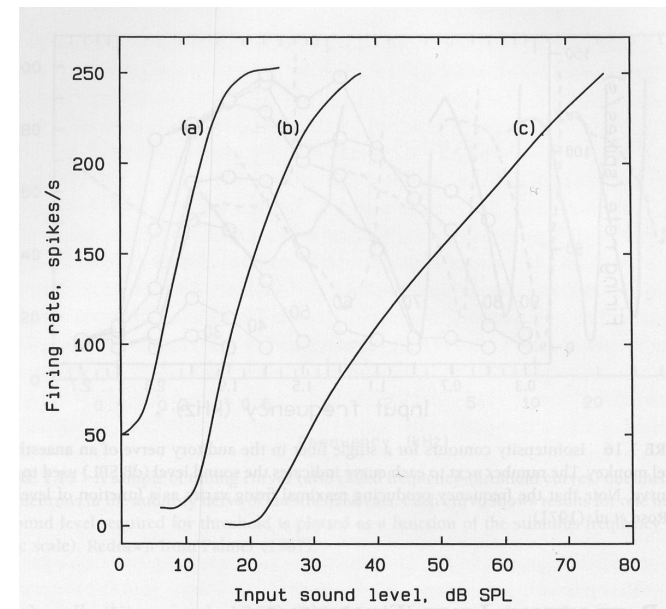
- Candidat intuitif: taux de décharge dans le nerf auditif?
- Bonne sensibilité (JND \sim 1dB)
- Grande étendue (140 dB)
- Effets de bande critique



III.1 Sonie

Mécanismes possibles

- Fibres à seuils étagés



III.1 Sonie

Mécanismes possibles

- Étalement du pattern d'excitation

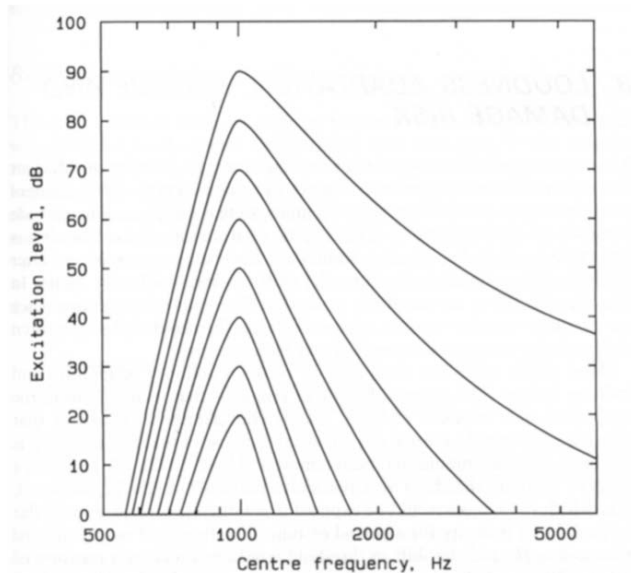
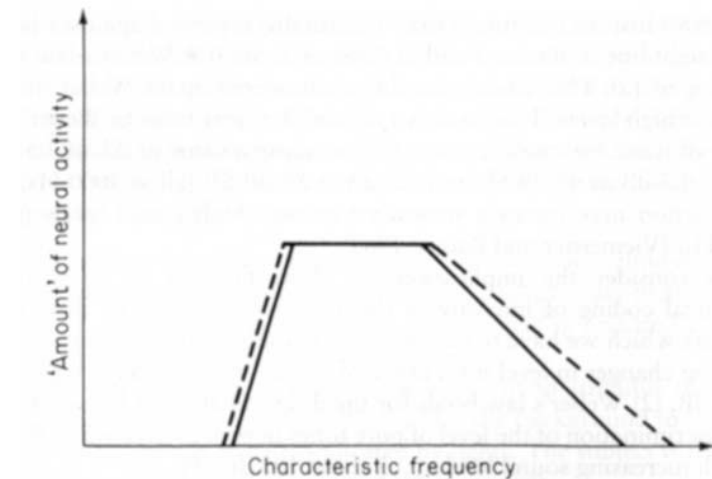


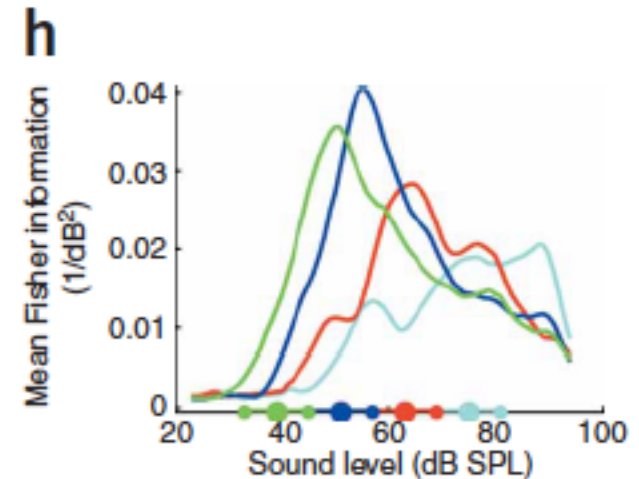
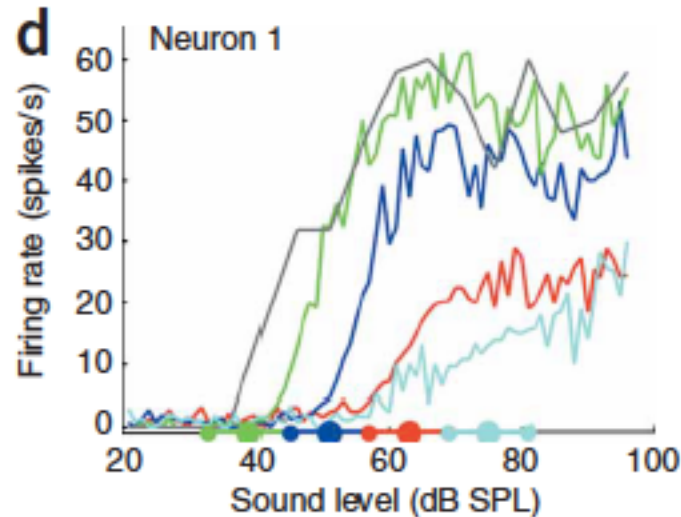
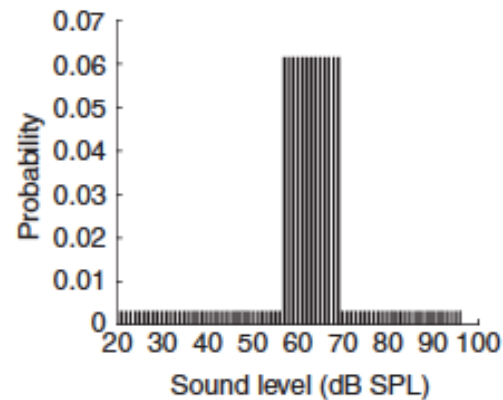
FIG. 2.9 Psychoacoustical excitation patterns for a 1-kHz sinusoid at levels ranging from 20 to 90 dB SPL in 10 dB steps. The patterns were calculated on the basis of psychoacoustic data as described in Chapter 3.



II.1 Sonie

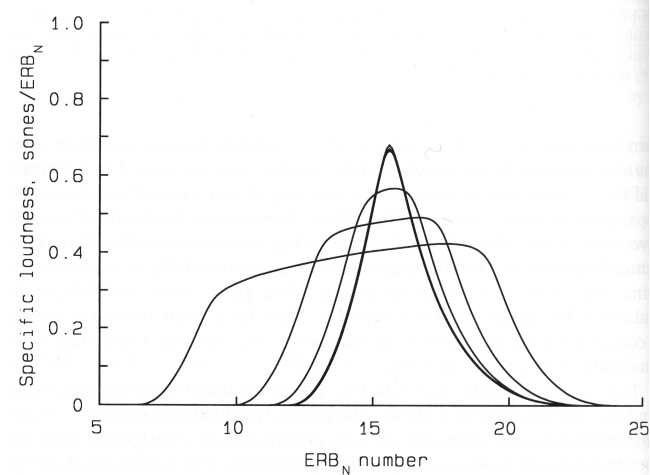
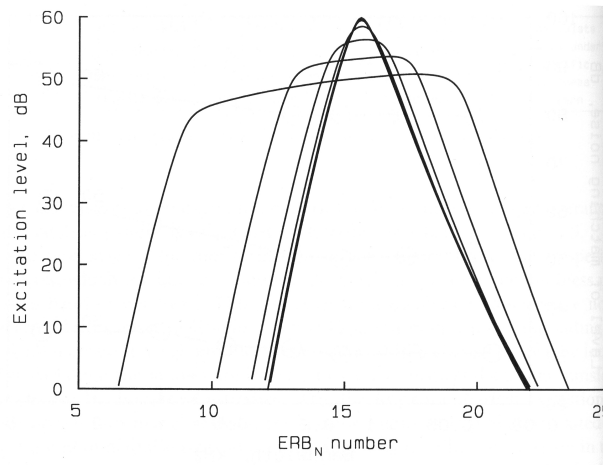
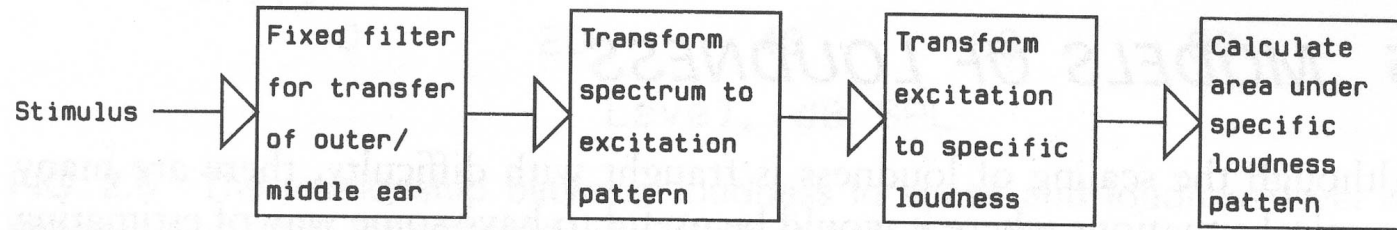
Mécanismes possibles

- Codage adaptatif
- Colliculus inférieur, ou nerf auditif?



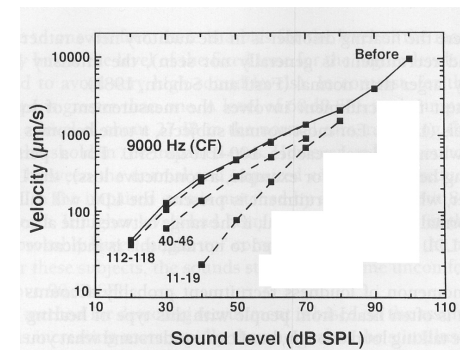
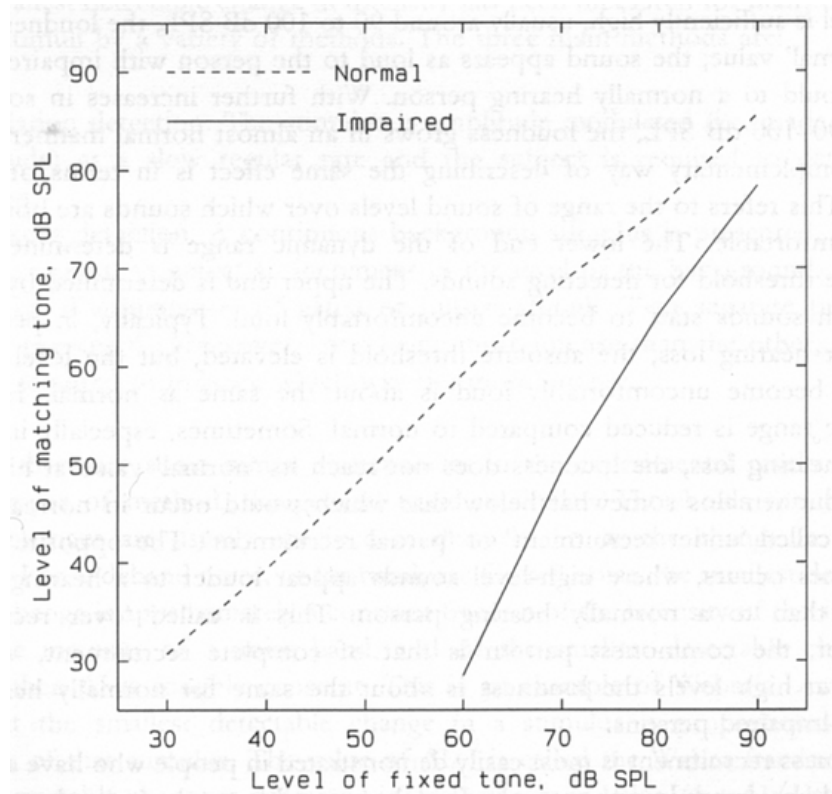
II.1 Sonie

Modèles



II.1 Sonie

Application: recruitment

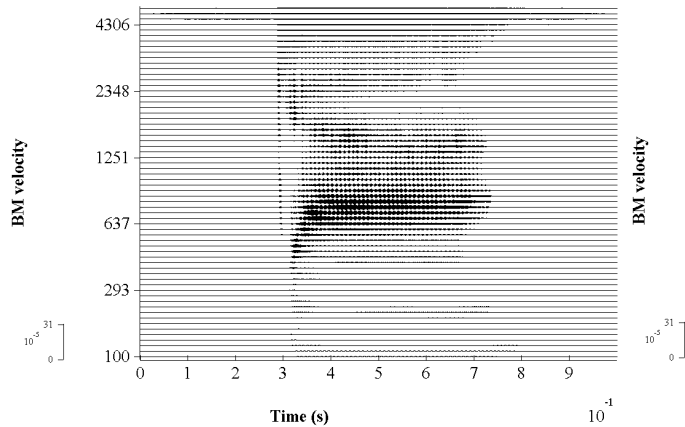


III.1 Sonie

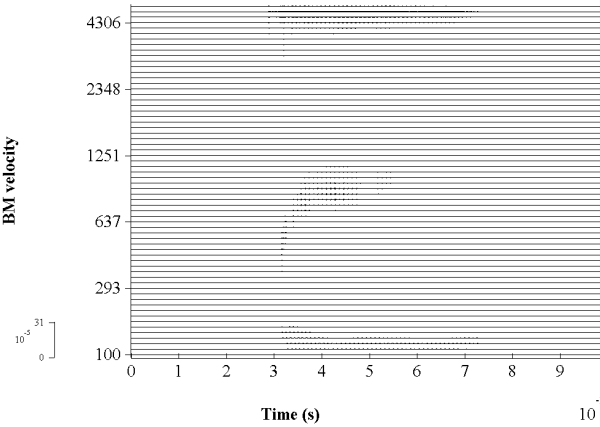
Application: recrutement

- Illustration par modèle périphérique

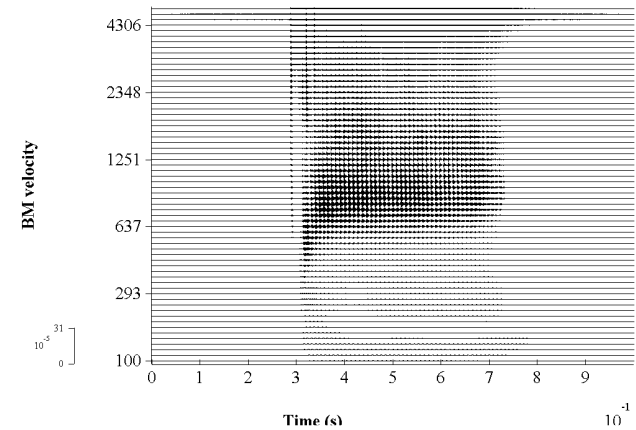
Non-linéaire



Linéaire

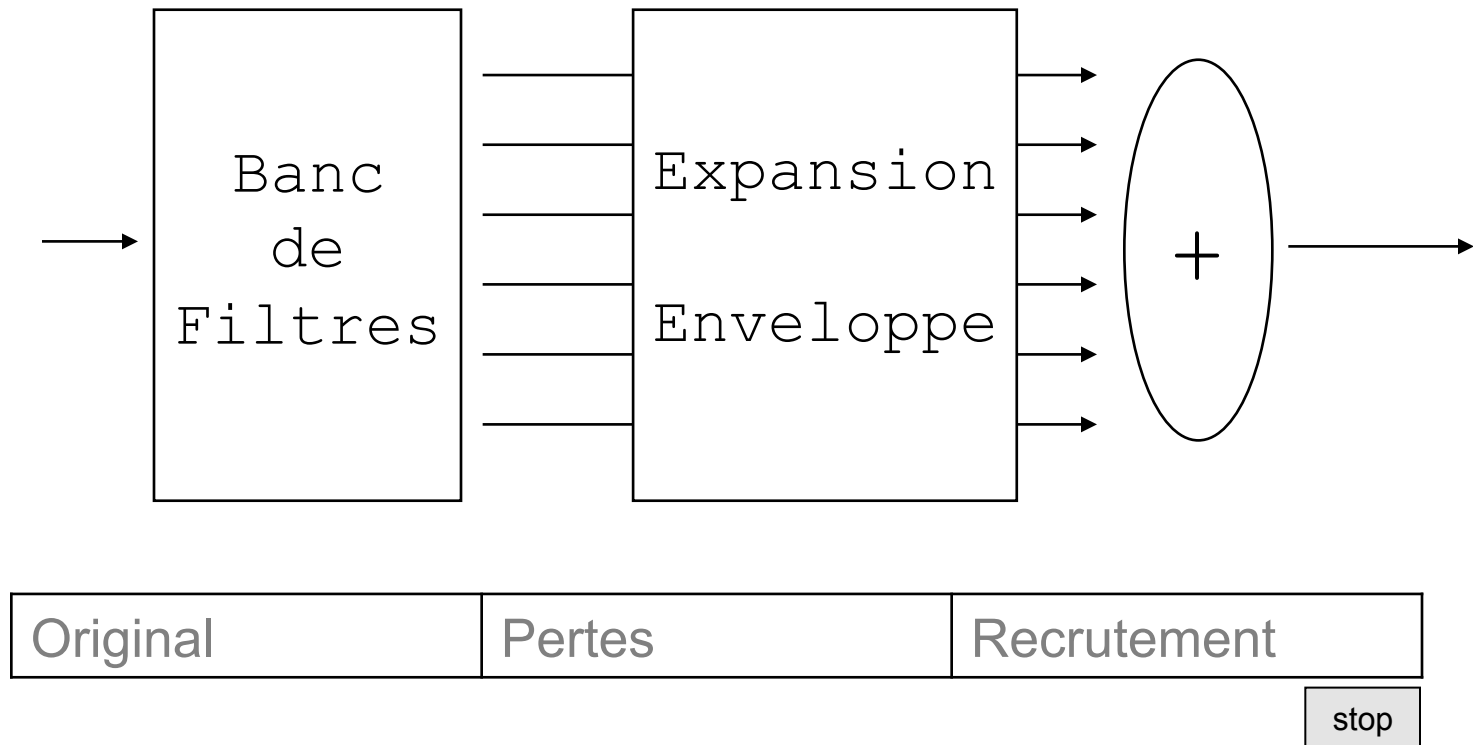


Linéaire + amplification HL



III.1 Sonie

Application: recrutement



III.1 Sonie

Ressources

<https://www.phon.ucl.ac.uk/cgi-bin/wtutor?tutorial=loudness>

Plan du cours

I. Bases, méthodes et concepts

acoustique, psychophysique, physiologie

II. Caractéristiques élémentaires et applications

champ audible, masquage, bande critique, non-linéarités, MP3, implants

III. Attributs perceptifs

sonie, hauteur, localisation, timbre

IV. Analyse des scènes auditives

organisation auditive, musique

V. Etudes en cours

mémoire auditive, effets de contexte

III.2 Hauteur

- Cours de Alain?
- ou -> workshop

Plan du cours

I. Bases, méthodes et concepts

acoustique, psychophysique, physiologie

II. Caractéristiques élémentaires et applications

champ audible, masquage, bande critique, non-linéarités, MP3, implants

III. Attributs perceptifs

sonie, hauteur, localisation, timbre

IV. Analyse des scènes auditives

organisation auditive, musique

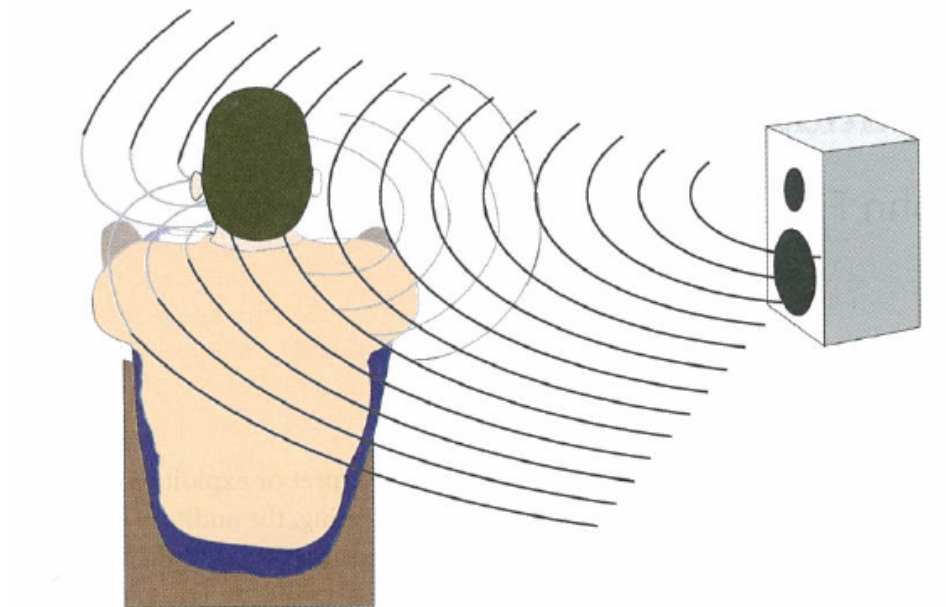
V. Etudes en cours

mémoire auditive, effets de contexte

III.3 Localisation

Le problème à résoudre

- Position spatiale non représentée en périphérie



III.3 Localisation

Indices

- Différences inter-aurales de temps (ITD)

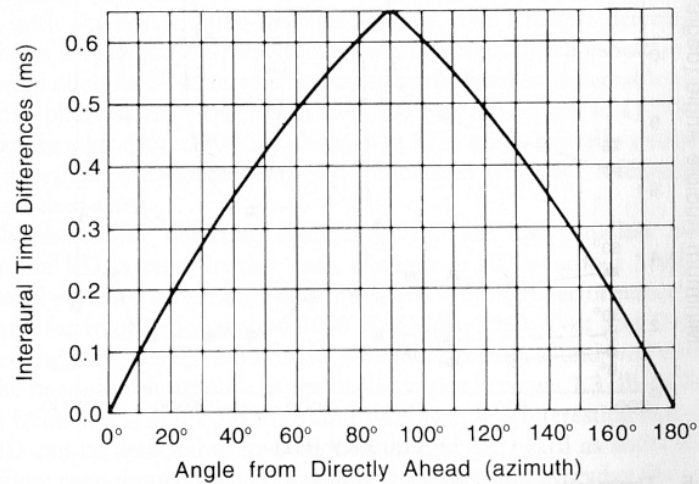


FIG. 6.4 Interaural time differences (ITDs) plotted as a function of azimuth. Adapted from Feddersen *et al.* (1957).

III.3 Localisation

Indices

- Différences inter-aurales de temps (ITD)
- Limité aux fréquences graves pour sons purs

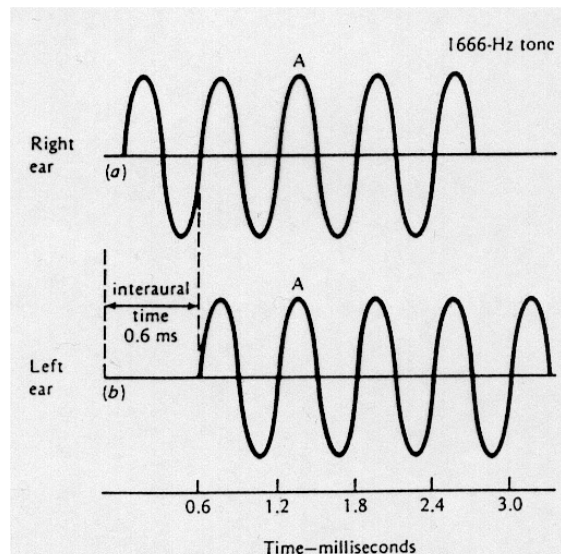


Figure 12.5 1666-Hz tone presented from the right side of the observer. 12.5a: sinusoid arriving at the right ear; 12.5b: sinusoid arriving at the left ear. There is a 0.6-ms interaural temporal difference which equals the period of the 1666-Hz tone. At point A the waveforms are in phase.

III.3 Localisation

Indices

- Différences inter-aurales d'intensité (ILD)
- Limité aux fréquences aiguës pour sons purs

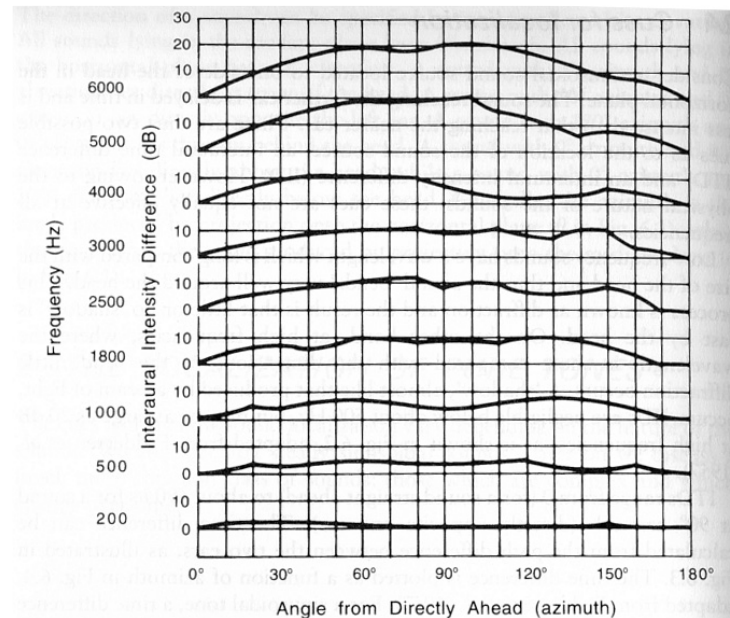
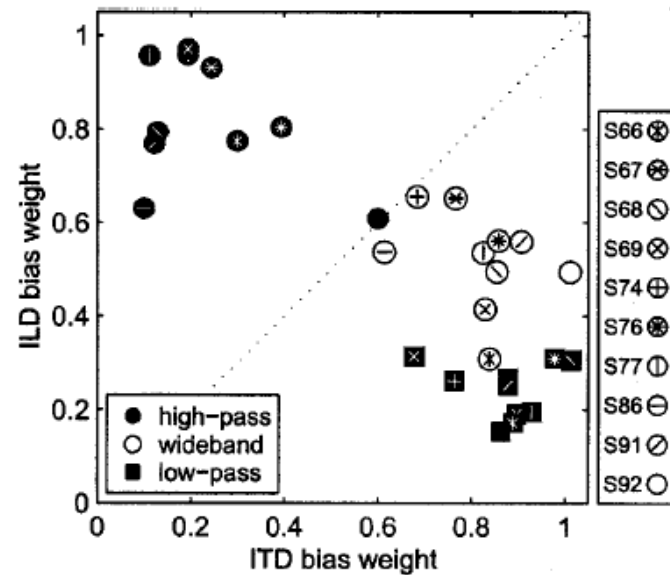


FIG. 6.2 Interaural intensity differences (IIDs) for sinusoidal stimuli plotted as a function of azimuth; each curve is for a different frequency. Adapted from Feddersen *et al.* (1957).

III.3 Localisation

Latéralisation

- Théorie “duplex”



Lord Rayleigh

III.3 Localisation

Localisation

- Cône de confusion

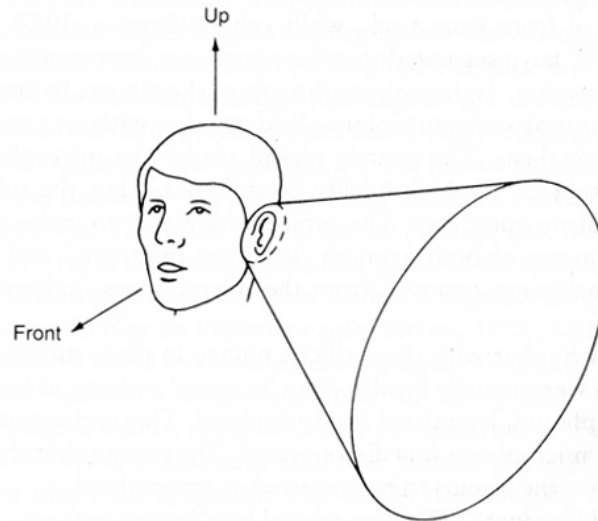
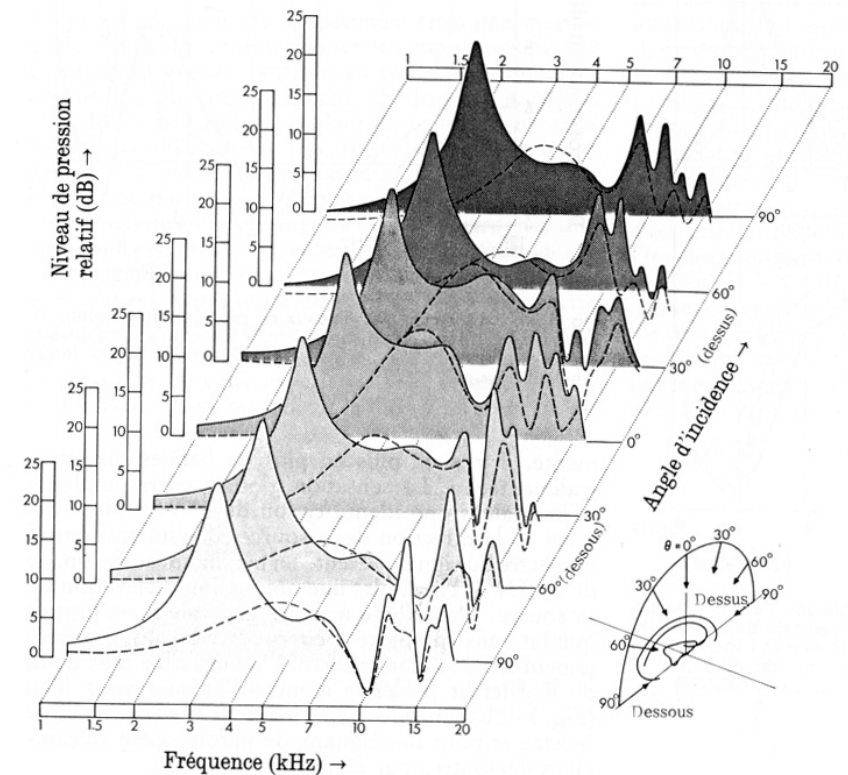
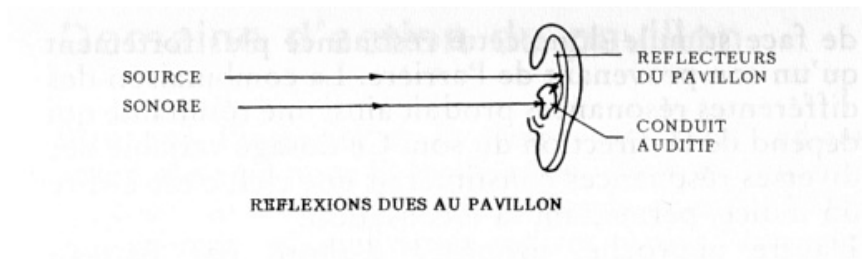


FIG. 6.7 A cone of confusion for a spherical head and a particular ITD. All sound sources on the surface of the cone would produce that interaural time delay. For details of how to calculate the cone of confusion see Mills (1972).

III.3 Localisation

Localisation

- Indice monaural: filtrage position-dépendant
- Head-related transfer function (HRTF)



III.3 Localisation

Localisation

- Indice monaural: filtrage position-dépendant
- Head-related transfer function (HRTF)
- Combinée avec la source

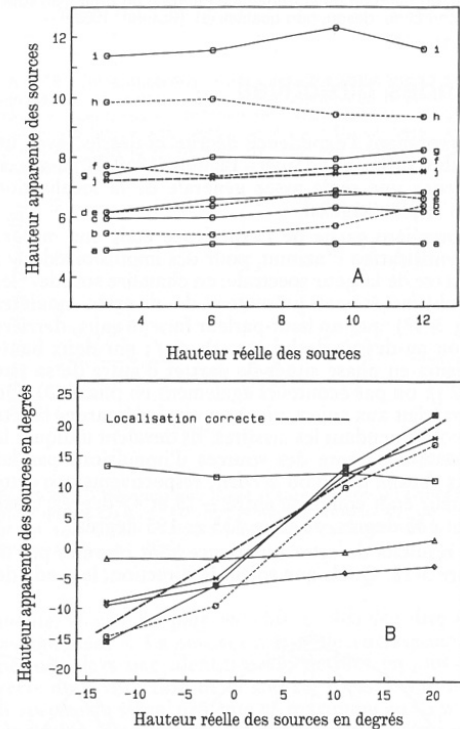
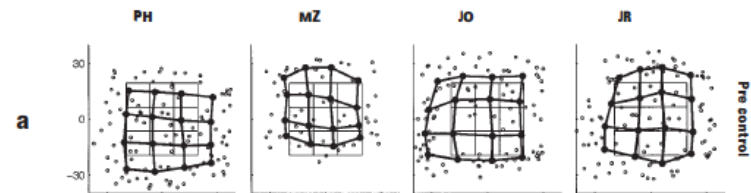
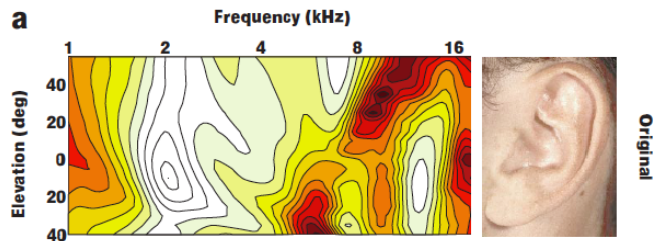


Fig. 3-15 Hauteur apparente de haut-parleurs en fonction de leurs positions réelles dans le plan vertical, suivant le type de signaux qu'ils émettent. (ROFFLER et BUTLER, 1968 a, b)
A : sons purs. a, 250 Hz ; b, 400 Hz ; c, 600 Hz ; d, 900 Hz ; e, 1 400 Hz ; f, 2 000 Hz ; g, 3 200 Hz ; h, 4 800 Hz ; i, 7 200 Hz ; j, toutes fréquences confondues.
B : sons purs et sons complexes. Δ , 600 Hz ; \square , 4 800 Hz ; \diamond , bande de bruit < 2 000 Hz ; \circ , bande de bruit > 8 000 Hz ; $*$, bande de bruit > 2 000 Hz ; \boxtimes , bruit à large spectre.

III.3 Localisation

Localisation

- HRTF unique à chaque personne

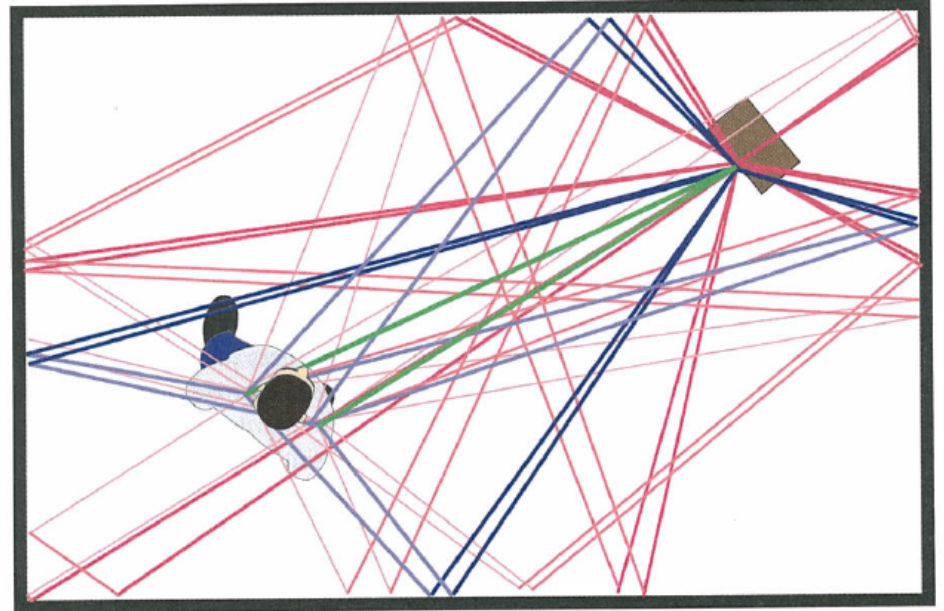
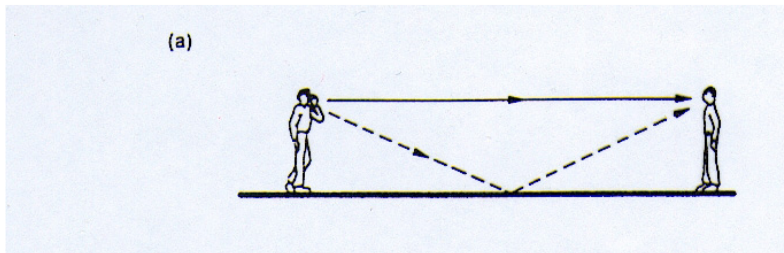


Response azimuth (deg)

III.3 Localisation

Localisation et réverbération

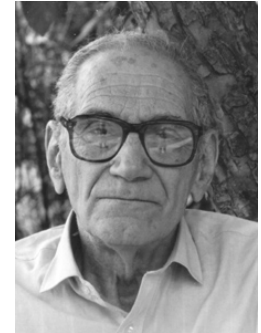
- Réflexions multiples



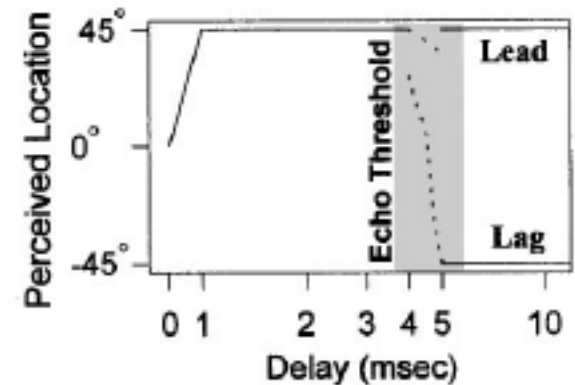
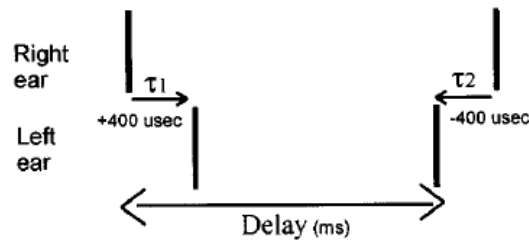
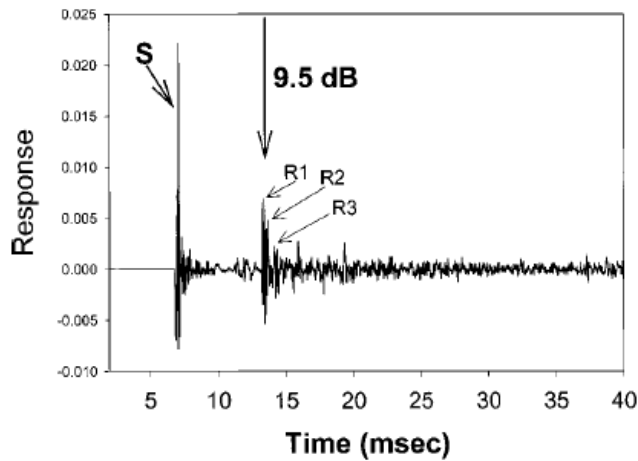
III.3 Localisation

Localisation et réverbération

- Réflexions multiples
- Effet de précédence



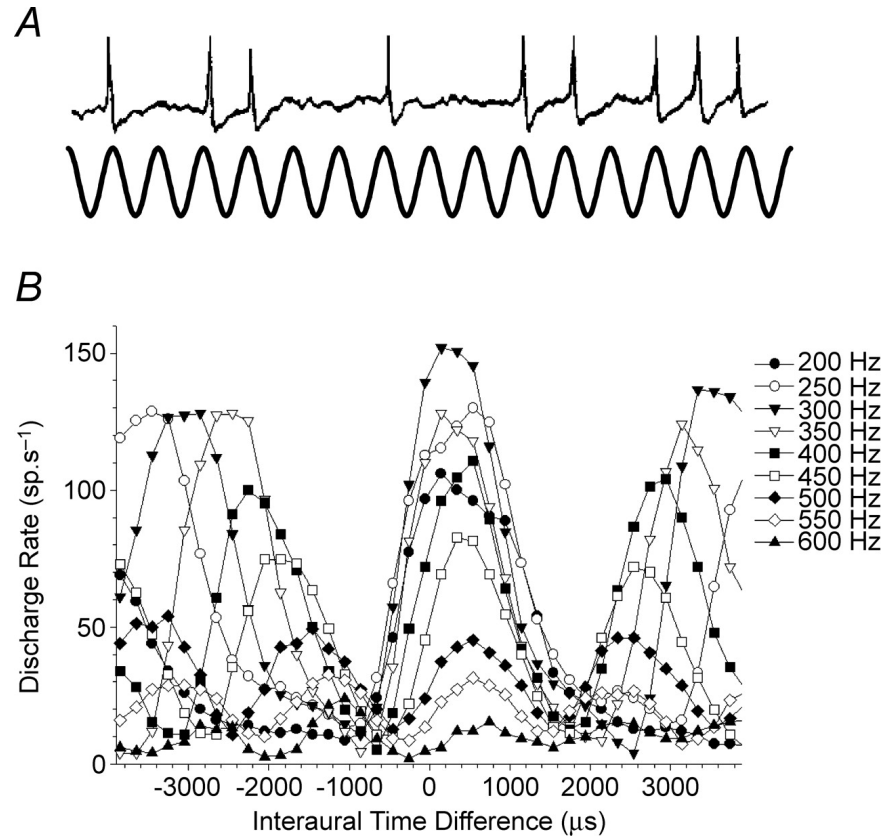
Hans Wallach



III.3 Localisation

Mécanismes

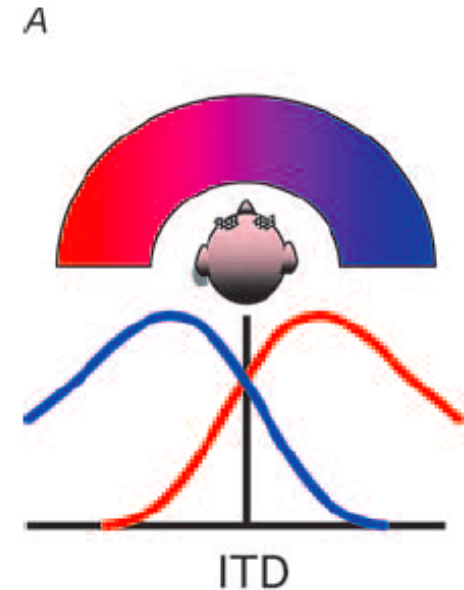
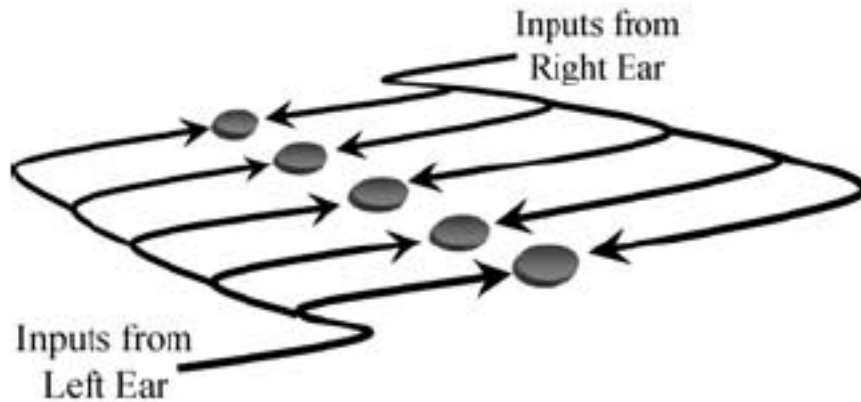
- Sélectivité à ITD



III.3 Localisation

Modèles

- **Corrélation inter-aurale** (Jeffress, 1948)
- **Canaux hémisphériques** (Harper & McAlpine, 2004)



Plan du cours

I. Bases, méthodes et concepts

acoustique, psychophysique, physiologie

II. Caractéristiques élémentaires et applications

champ audible, masquage, bande critique, non-linéarités, MP3, implants

III. Attributs perceptifs

sonie, hauteur, localisation, timbre

IV. Analyse des scènes auditives

organisation auditive, musique

V. Etudes en cours

mémoire auditive, effets de contexte

III.4 Timbre

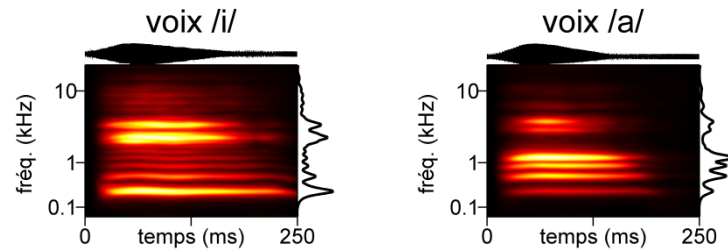
- Son contient des informations sur l'objet vibrant
- Décoder ces informations pour reconnaître source
- Ou suivre son comportement (e.g. parole)



III.4 Timbre

Définition

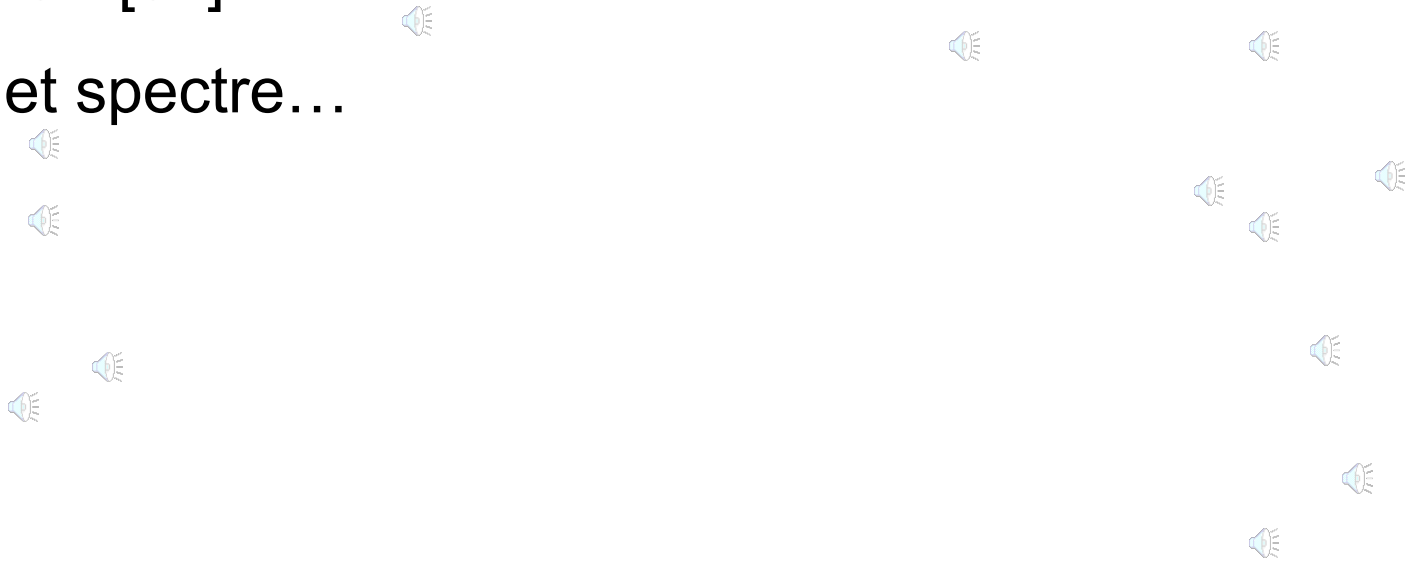
- “Ce qui distingue deux sons de même hauteur, sonie, durée”
- Spectre ?



III.4 Timbre

Demo ASA [54]

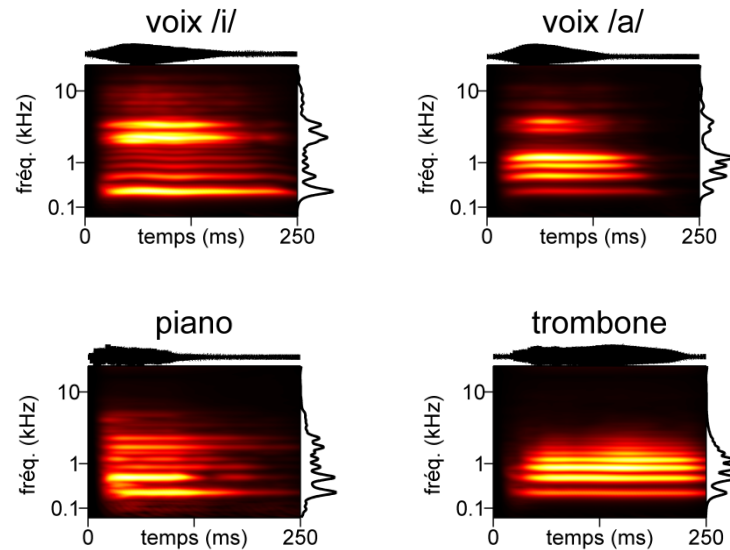
Timbre et spectre...



III.4 Timbre

Définition

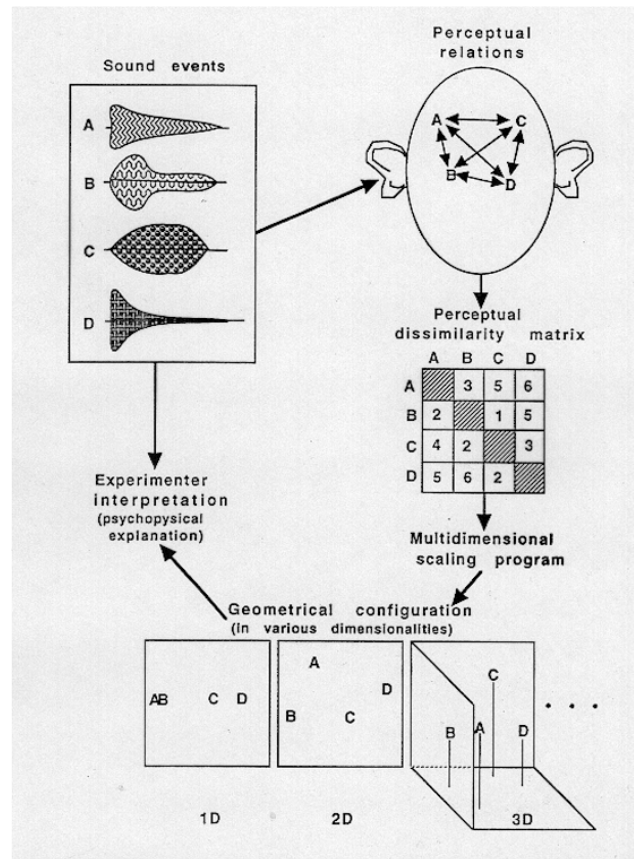
- “Ce qui distingue deux sons de même hauteur, sonie, durée”
- Nombreux indices possibles



III.4 Timbre

Dimensions perceptives

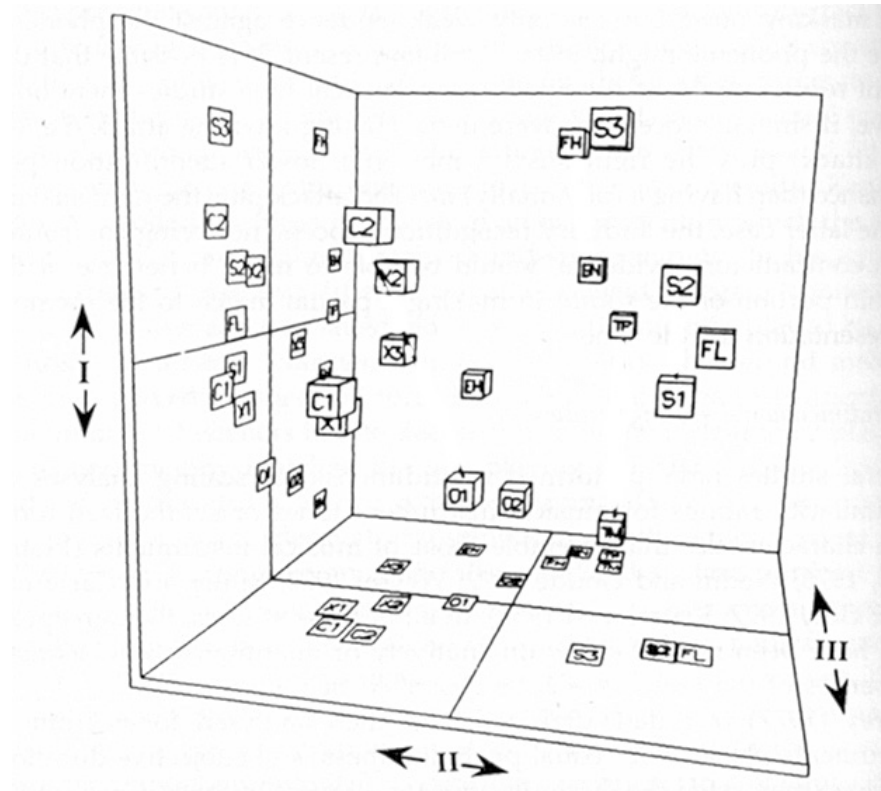
- Analyse multidimensionnelle



III.4 Timbre

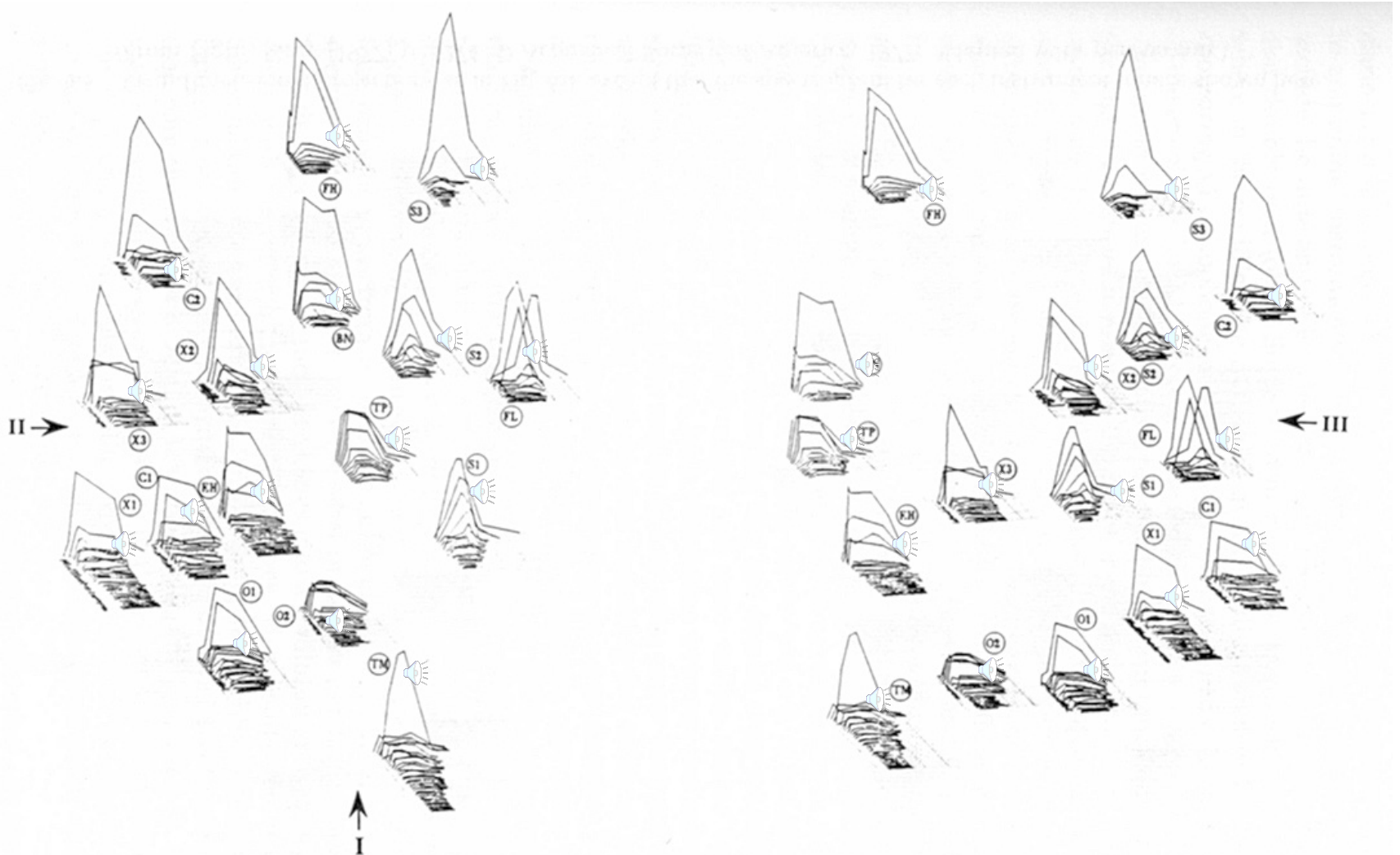
Dimensions perceptives

- Espace de timbre pour instruments de musique



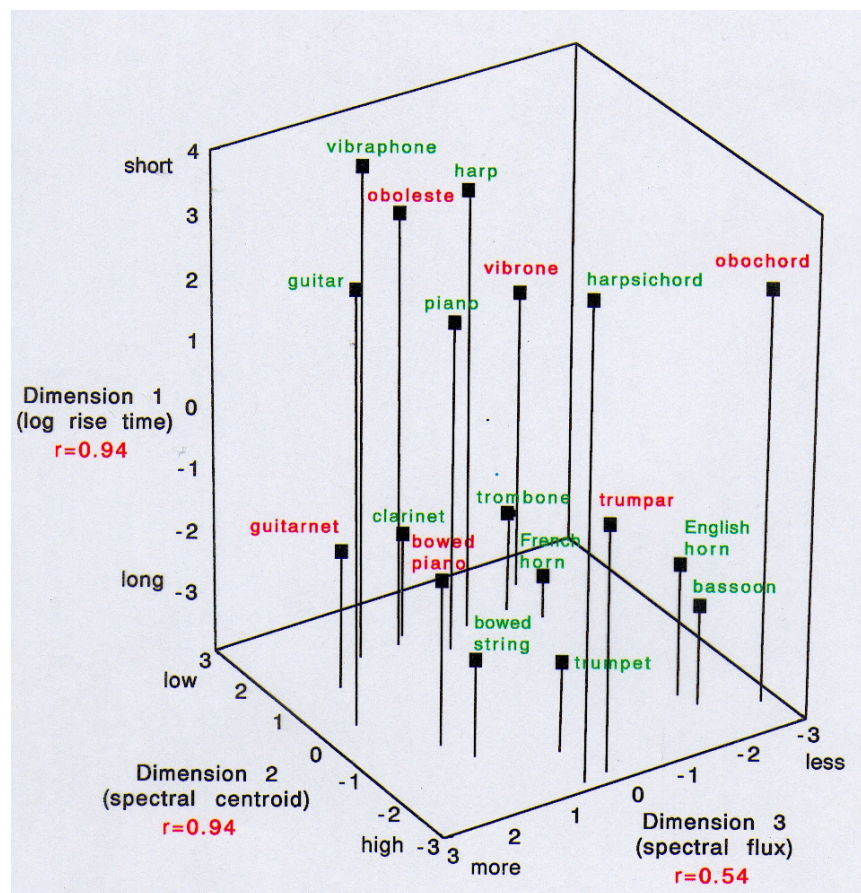
III.4 Timbre

Dimensions perceptives



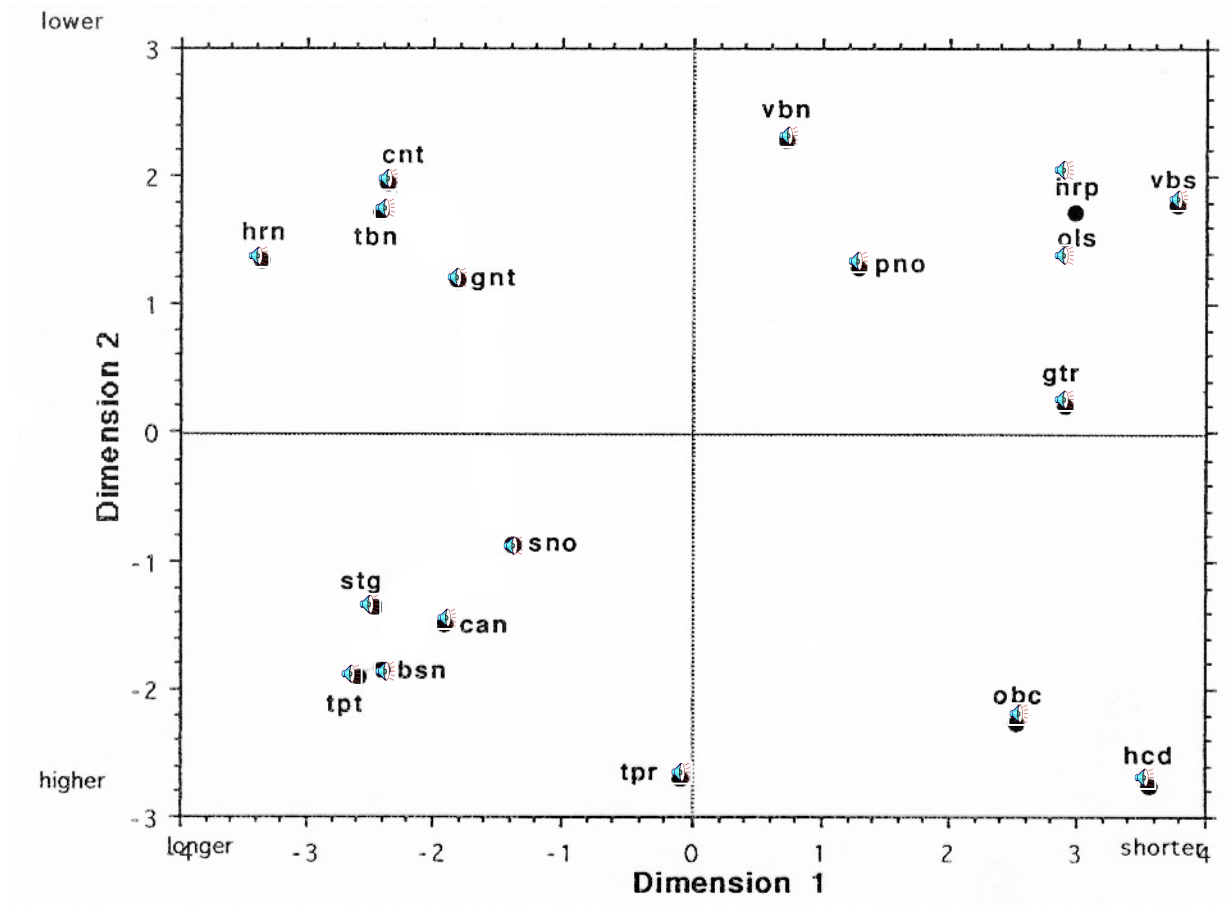
III.4 Timbre

Dimensions perceptive



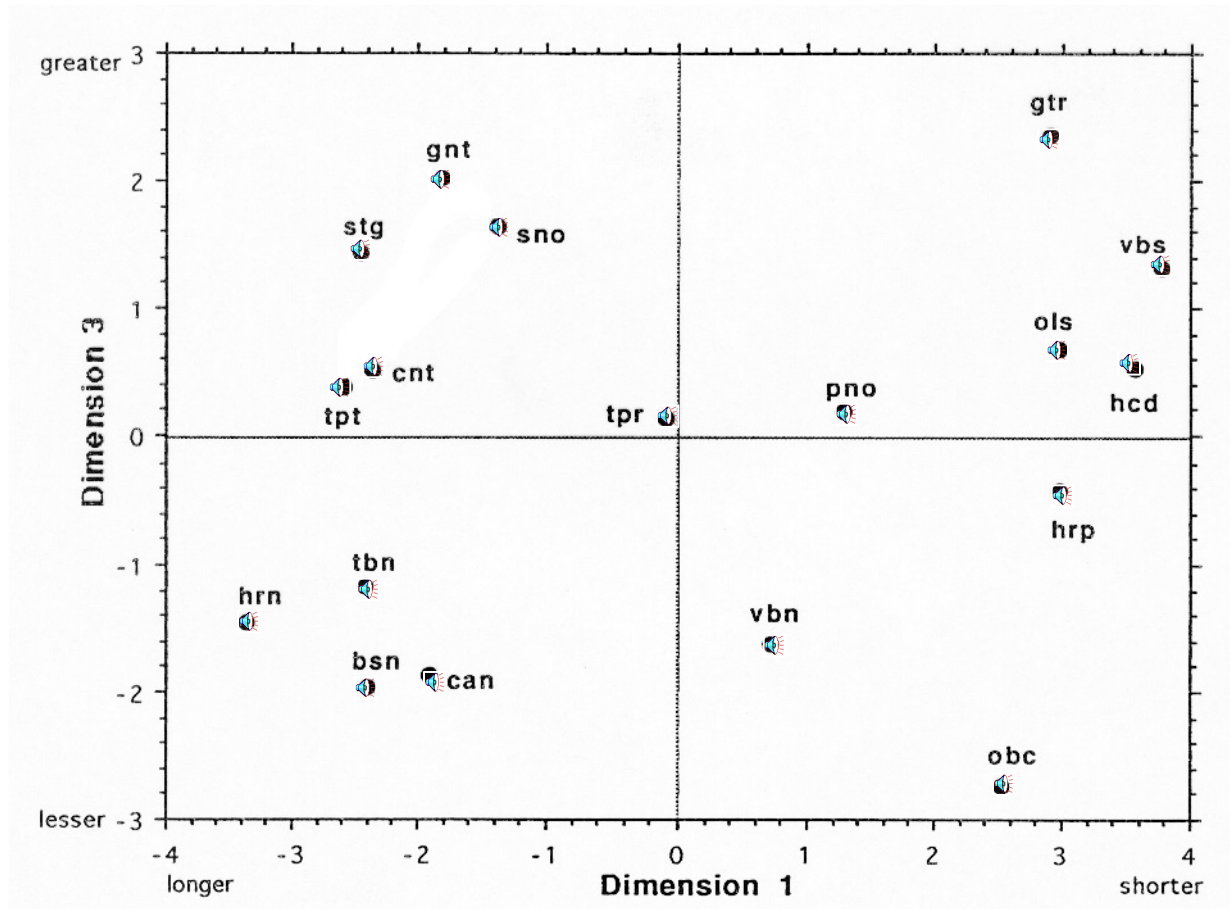
III.4 Timbre

Dimensions perceptives



III.4 Timbre

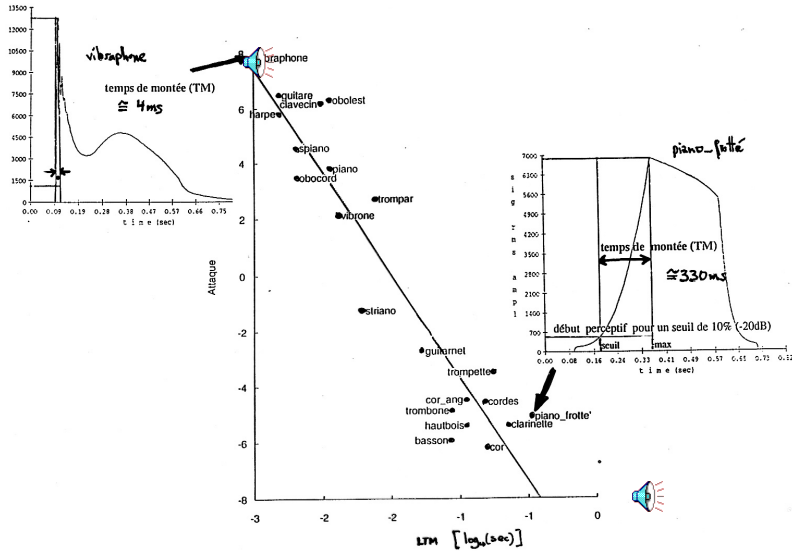
Dimensions perceptives



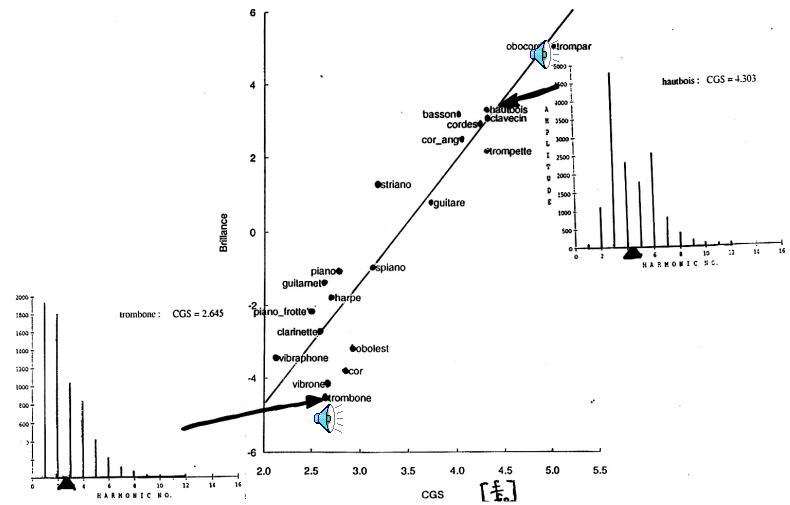
III.4 Timbre

Dimensions perceptives

Temps d'attaque



Brillance



III.4 Timbre

Dimensions et reconnaissance

Demo [ASA 57]: gamme jouée sur 3 octaves par un basson, puis transposition sur 3 octaves d'une note de basson



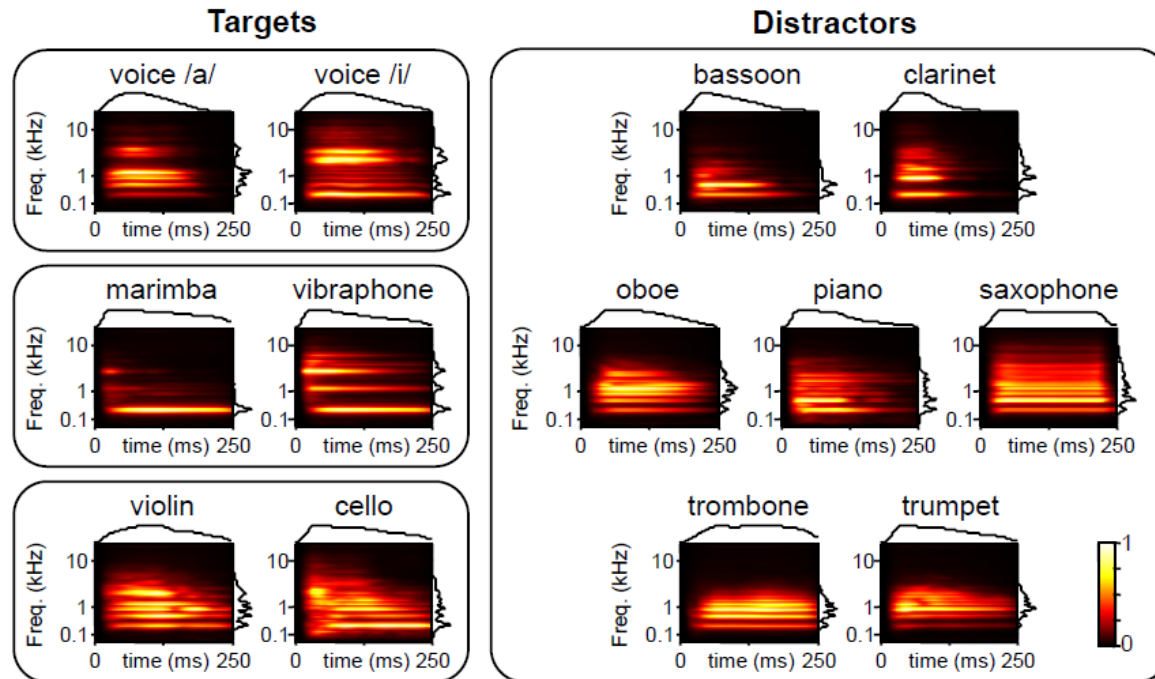
III.4 Timbre

Reconnaissance de sources

- Auditeurs humains excellents pour reconnaître les sources ?
- Mesures comportementales de performance
 - Avec quelle rapidité reconnaît-on un son ?
 - Quelle durée minimale est nécessaire pour la reconnaissance ?

III.4 Timbre

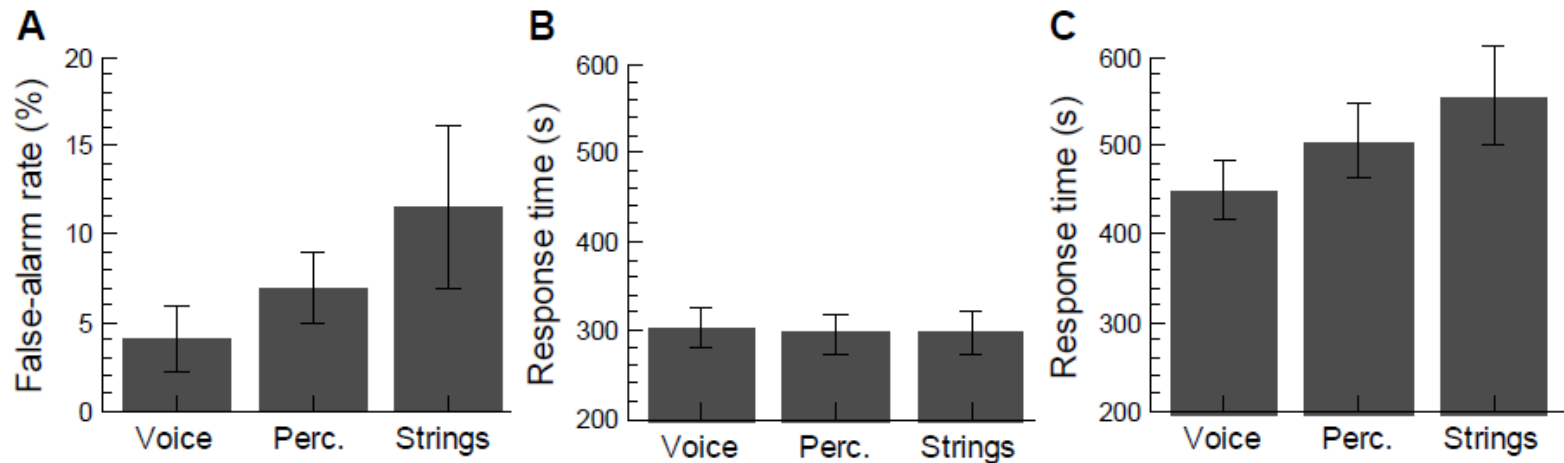
Corpus



- Instruments de musique et voix
- Nombreux exemplaires par catégorie, même registre hauteur

III.4 Timbre

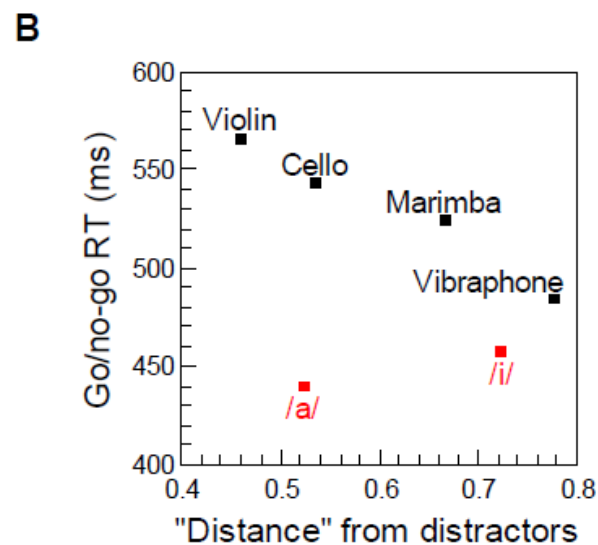
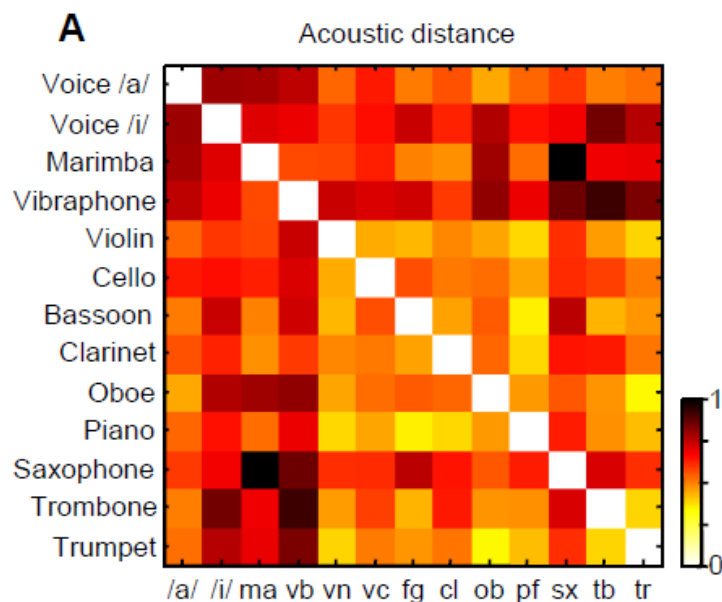
Temps de réaction



- Reconnaissance rapide et précise
- Spécialement pour la voix

III.4 Timbre

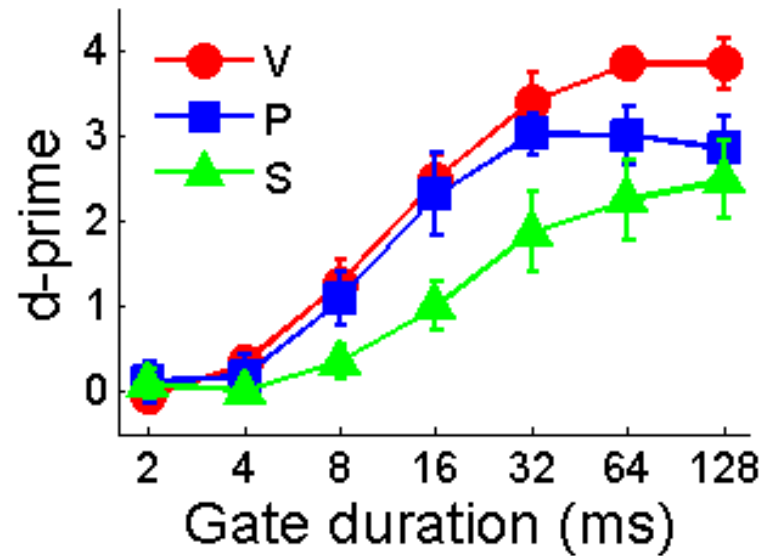
Modèle auditif



- Avantage de la voix non prédit par modèle

III.4 Timbre

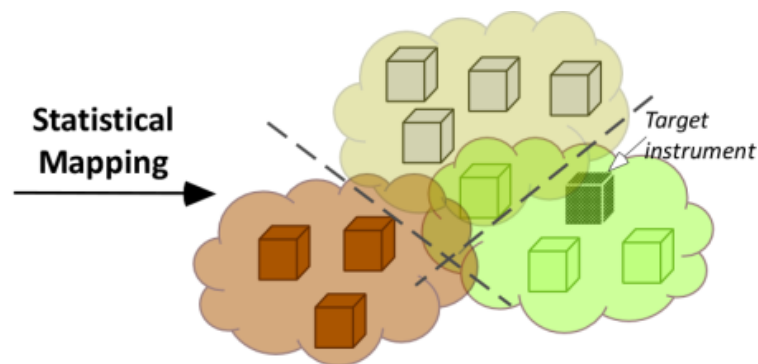
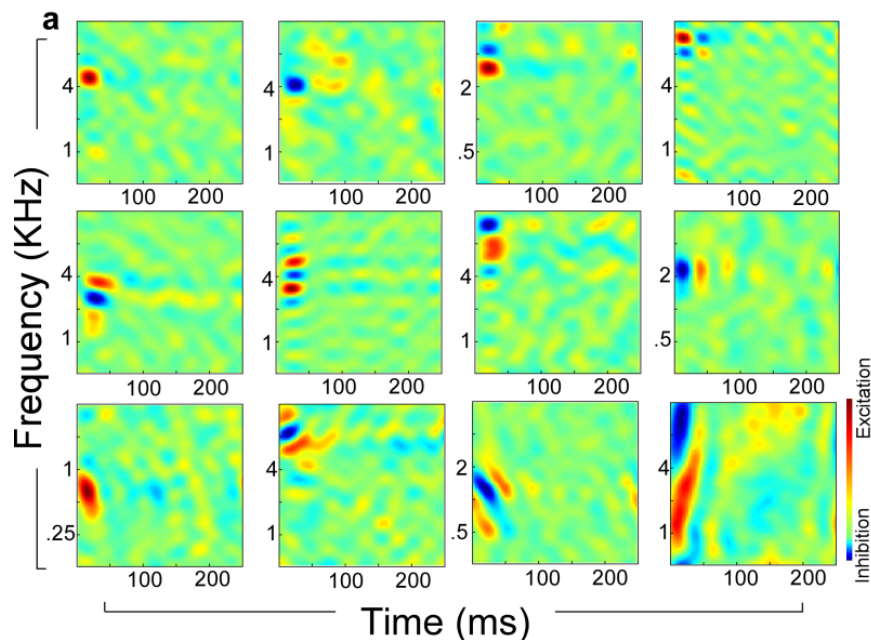
Gating



- Reconnaissance pour sons extrêmement courts

III.4 Timbre

Quels indices ?

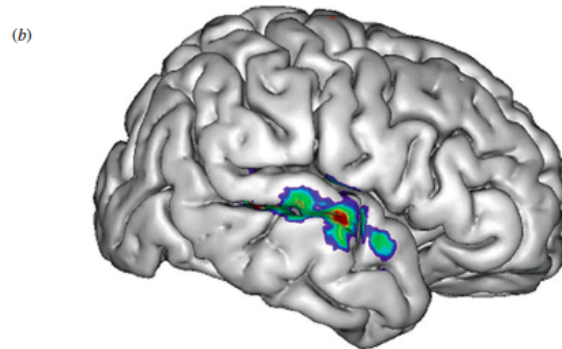
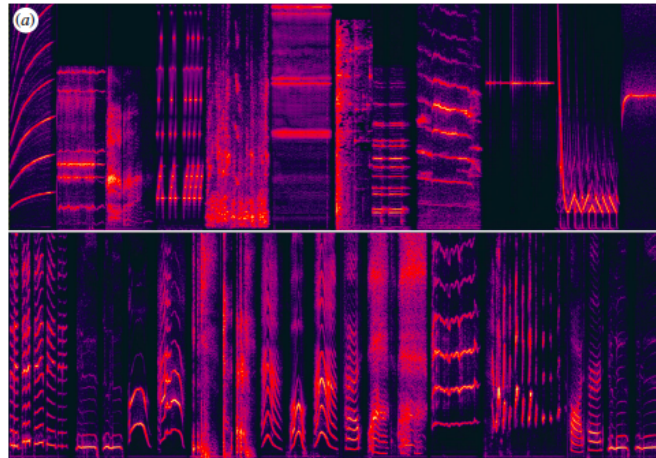


- Indices spectro-temporels inspirés de physio puis SVM
- Classification précise (98.7%) & corrélat avec psychophysique

III.4 Timbre

Neuroimagerie

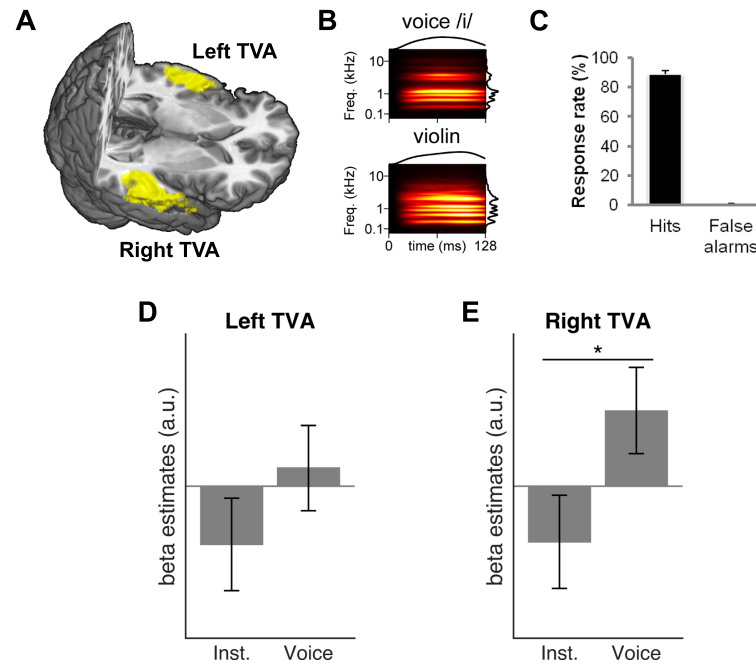
- Sélectivité à catégories de sons, e.g. la voix



III.4 Timbre

Neuroimagerie

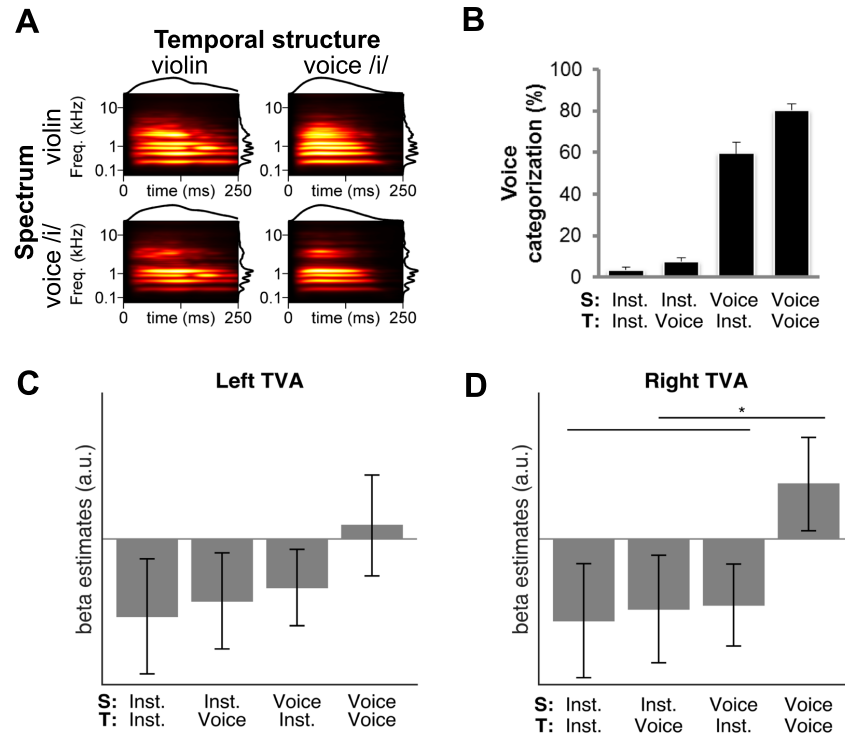
- Sélectivité à catégories de sons, e.g. la voix vs instruments



III.4 Timbre

Neuroimagerie

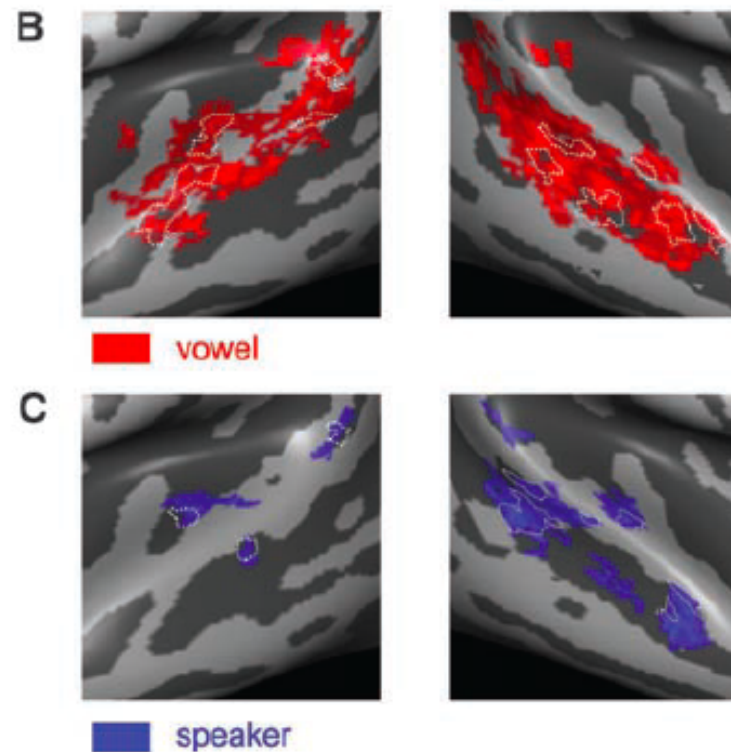
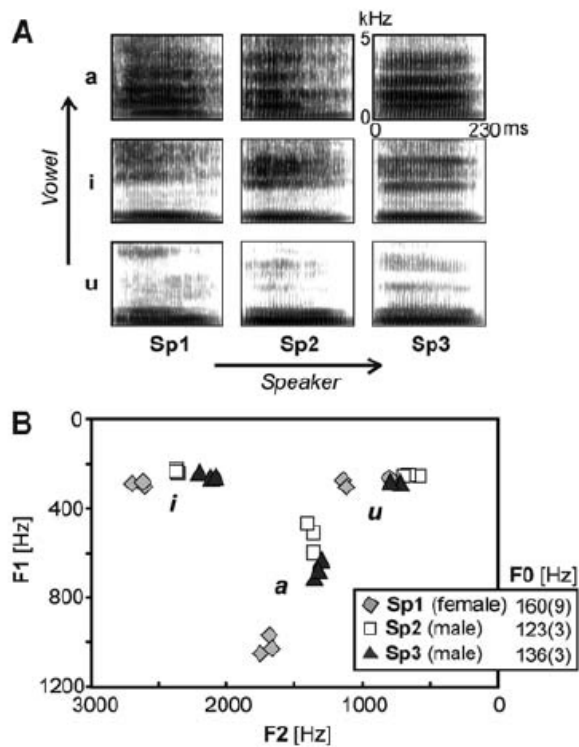
- Sélectivité à catégories de sons, e.g. la voix vs chimères



III.4 Timbre

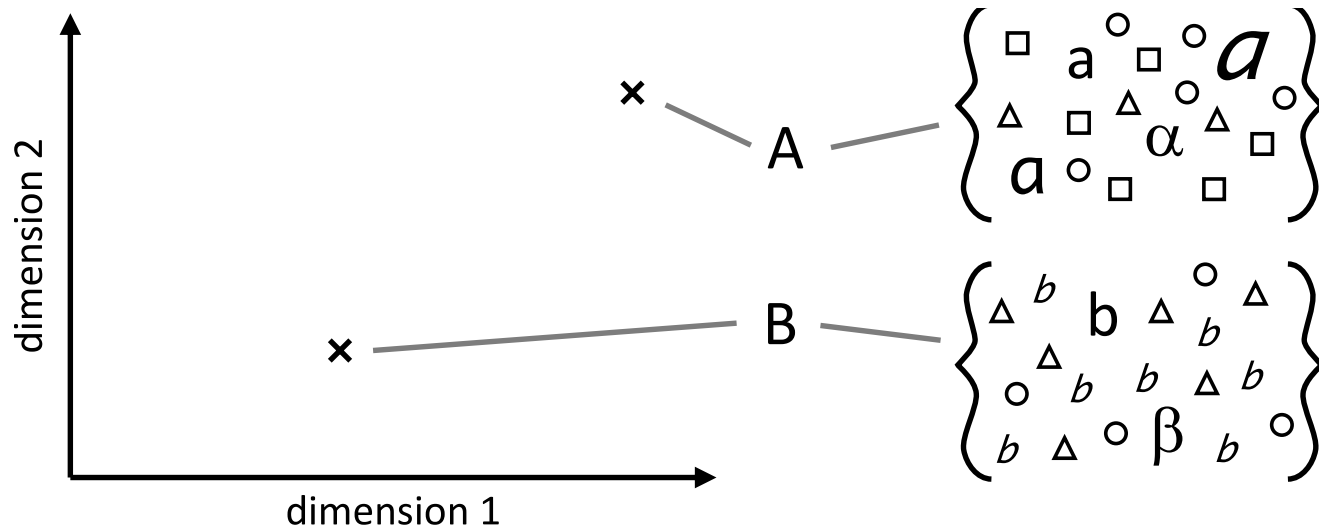
Neuroimagerie

- Sélectivité à catégories de sons, e.g. la voix
- Influence de la tâche



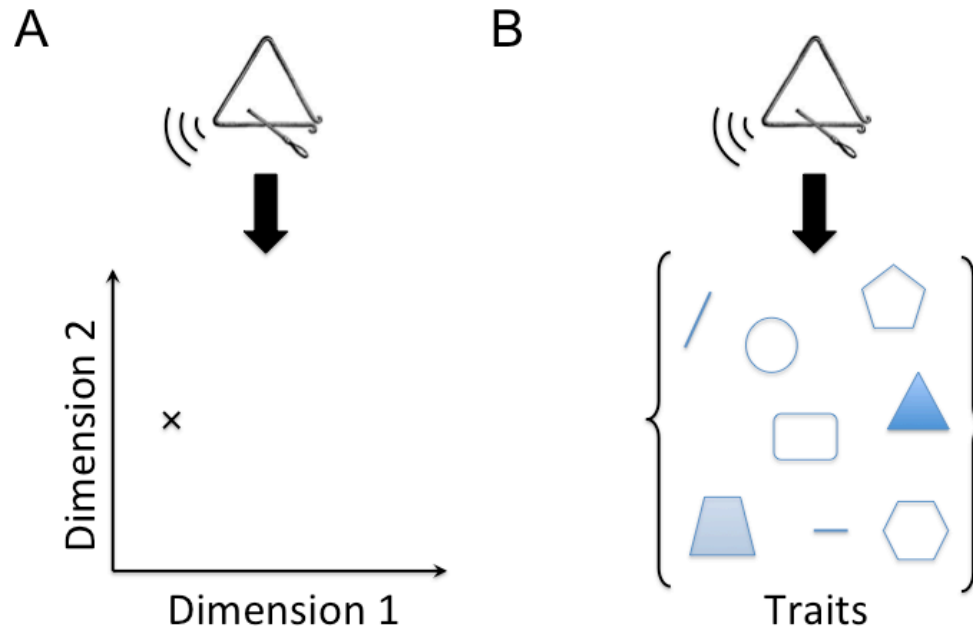
III.4 Timbre

Deux approches ?



III.4 Timbre

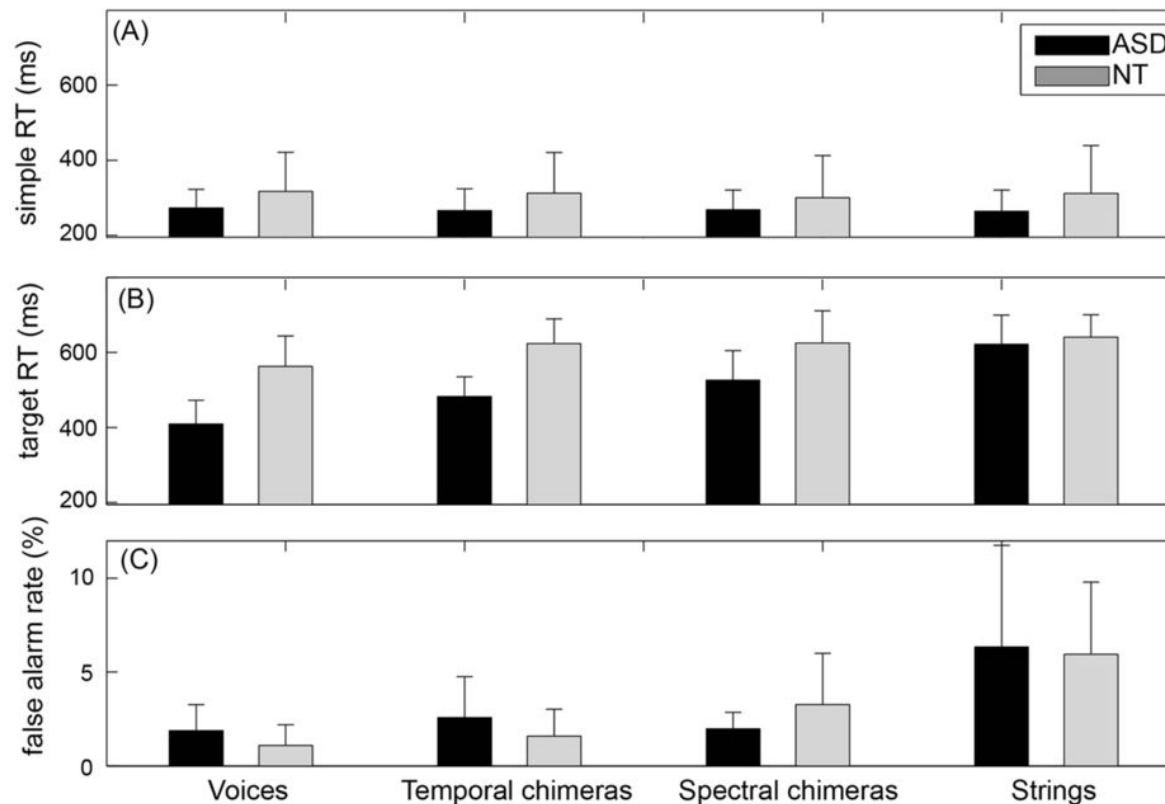
Deux approches ?



III.4 Timbre

Application clinique

- Comparaison normo-typiques (NT) et personnes autistes (ASD)



Plan du cours

I. Bases, méthodes et concepts

acoustique, psychophysique, physiologie

II. Caractéristiques élémentaires et applications

champ audible, masquage, bande critique, non-linéarités, MP3, implants

III. Attributs perceptifs

sonie, hauteur, localisation, timbre, rugosité

IV. Analyse des scènes auditives

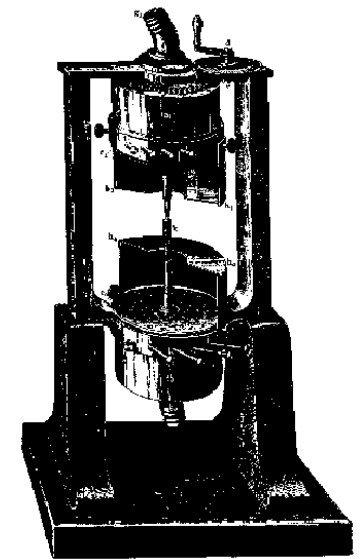
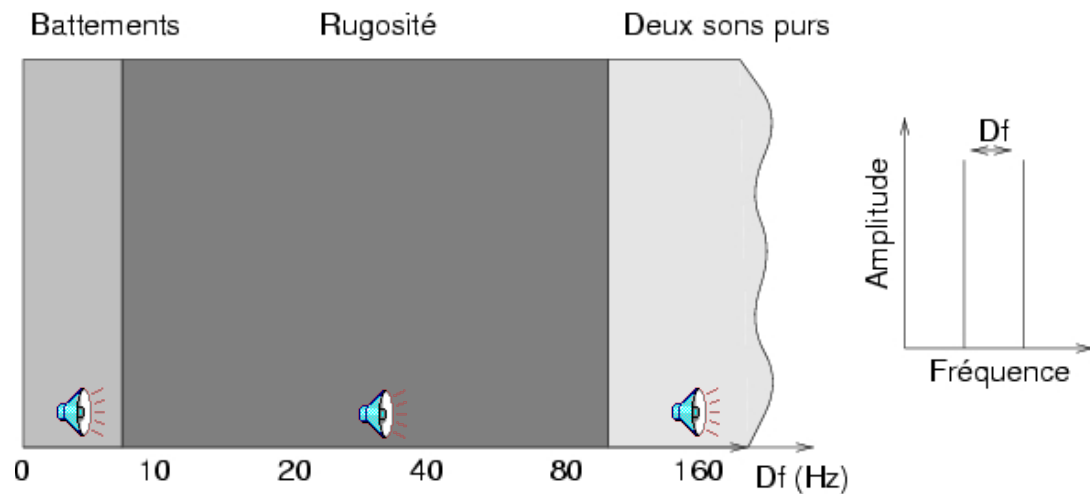
organisation auditive, musique

V. Etudes en cours

mémoire auditive, effets de contexte

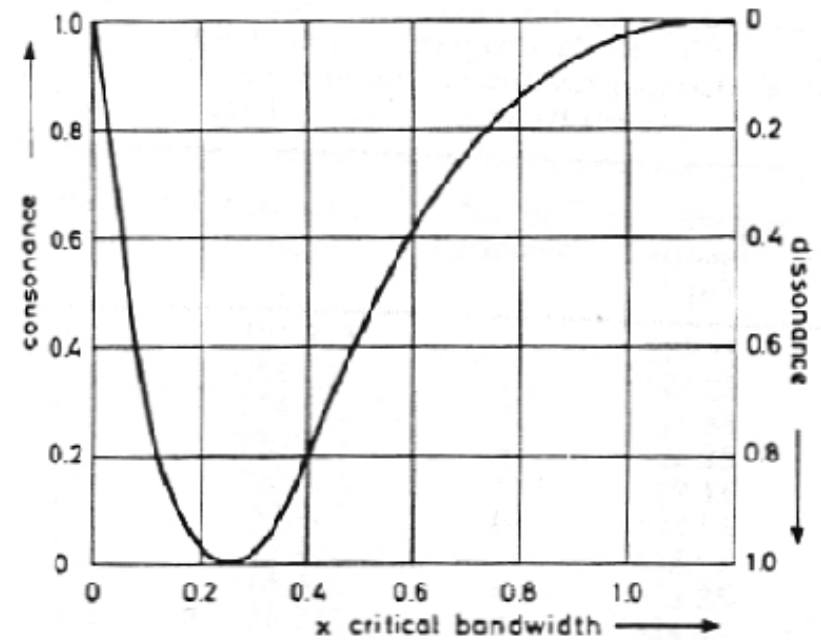
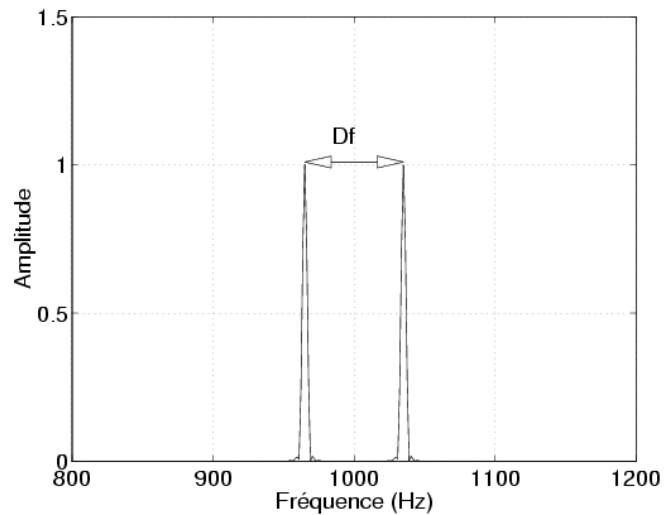
III.5 Rugosité

Définition



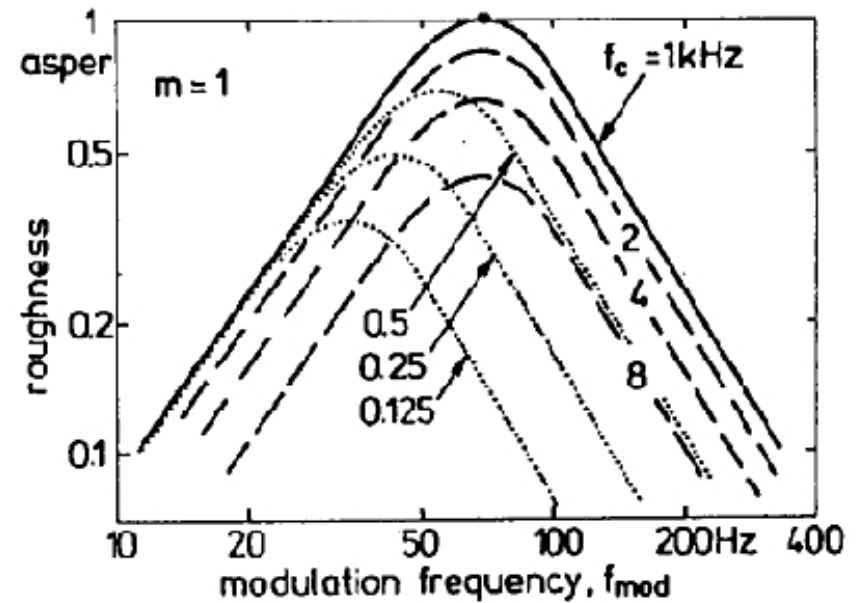
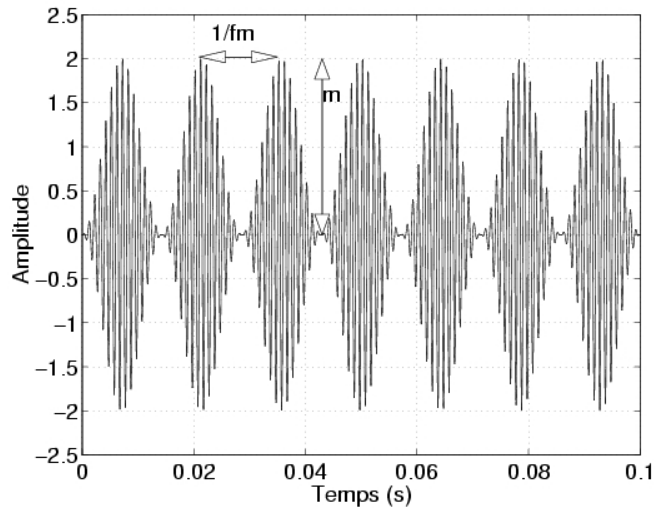
III.5 Rugosité

Approche spectrale



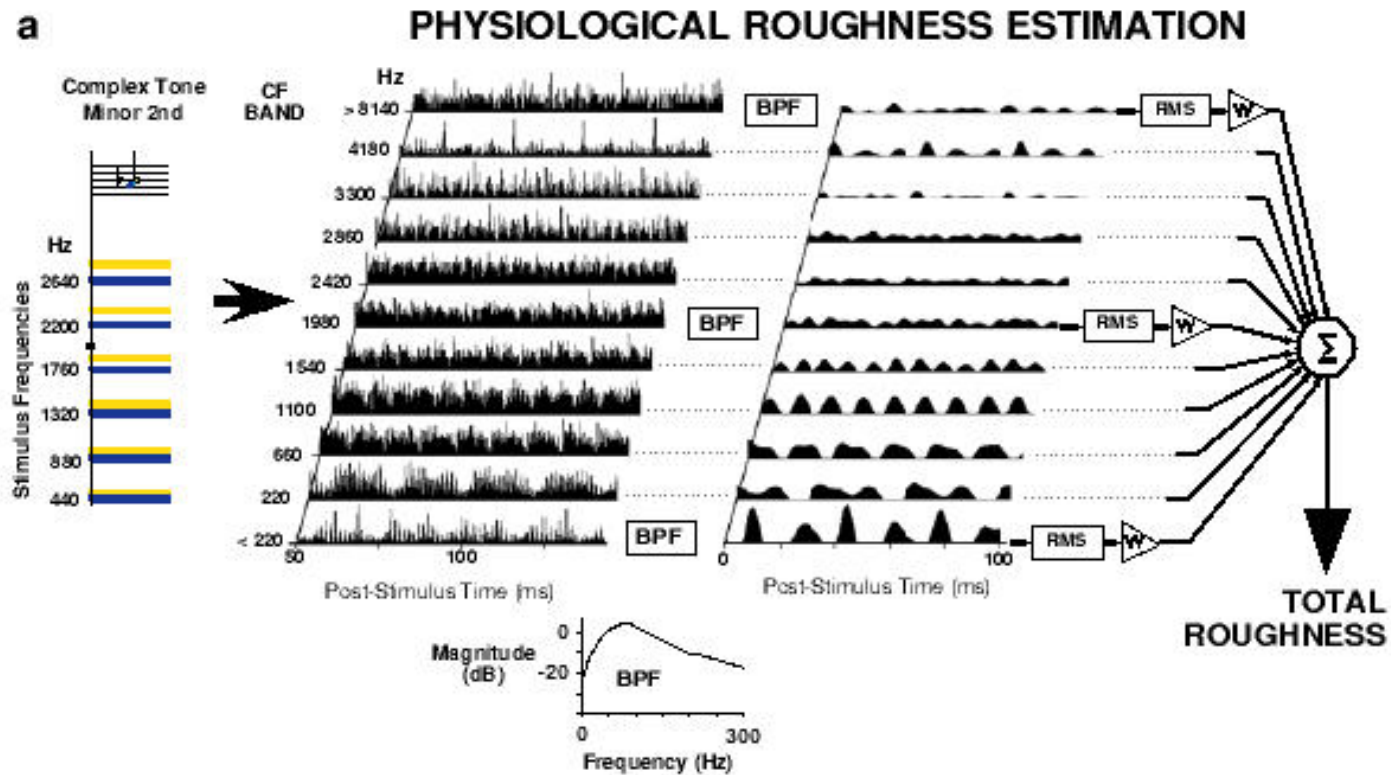
III.5 Rugosité

Approche temporelle



III.5 Rugosité

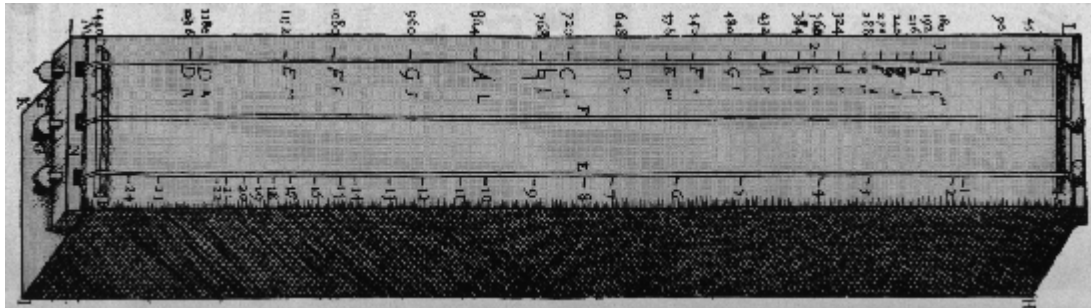
Modèle



III.5 Rugosité

Consonance et dissonance

- Pythagore: parmi l'infinité d'intervalles possibles entre deux sons, certains sont 'consonants'



III.5 Rugosité

Consonance et dissonance

- Les consonances sont des rapports simples (1:1, 2:1, 3:2, 4:3)

Consonances	octave, quinte, quarte
Dissonances	autres intervalles

TAB. 4.1 – Les consonances pythagoriciennes, VI^{ème} siècle av. J.C.

III.5 Rugosité

Consonance et dissonance

- Harmonie tonale occidentale

Consonances parfaites	unisson, octave
médianes	quinte, quarte
imparfaites	tierce majeure et mineure
Dissonances imparfaites	sixte majeure et septième mineure
médianes	seconde majeure et sixte mineure
parfaites	seconde mineure, triton, septième majeure

TAB. 4.2 – La classification des consonances selon Jean de Garlande, (“De mensurabilis musica”, env. 1250).

Consonances parfaites	unisson, octave, quinte
imparfaites	tierce majeure et mineure, sixte majeure et mineure
Dissonances	(quarte), seconde majeure et mineure, septième majeure et mineure, triton

TAB. 4.3 – La classification des consonances selon Jean de Murs (“Ars Contrapuncti”) ou Philippe de Vitry (“Ars contrapunctus”), fin du XIV^{ème} siècle. D’après Tenney (1988).

III.5 Rugosité

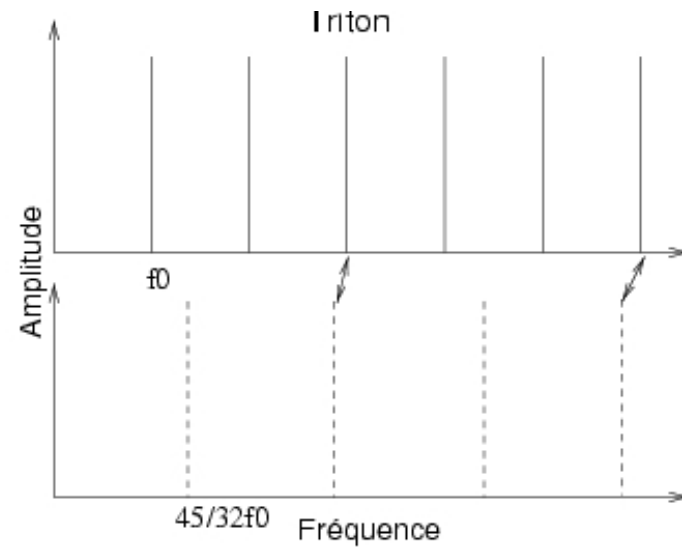
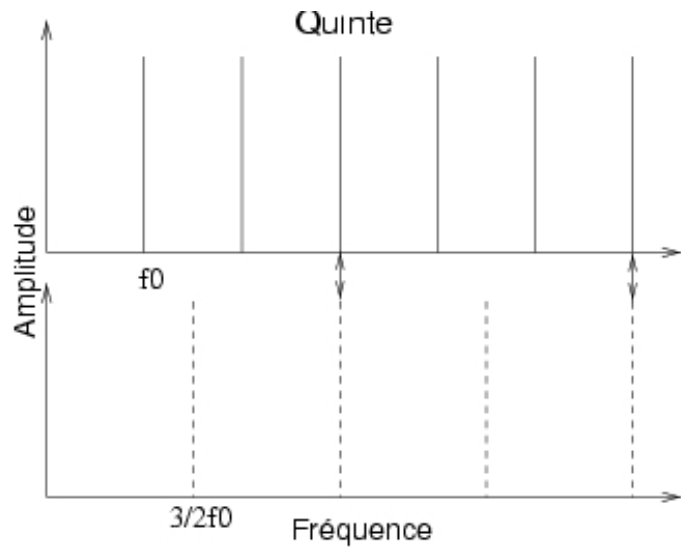
Consonance et dissonance

- La première expérience scientifique connue
- Kepler, Galileo Galilei, Newton, Leibniz, Euler, Rameau...
- Approche perceptive de Helmholtz



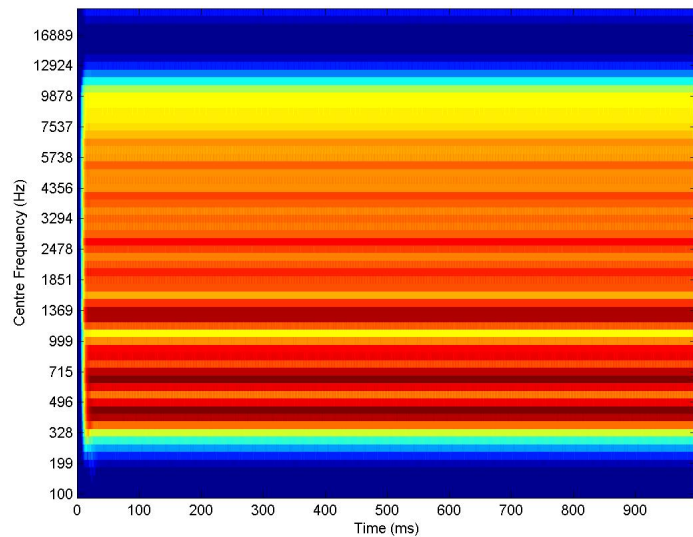
III.5 Rugosité

Intervalles consonants et dissonants

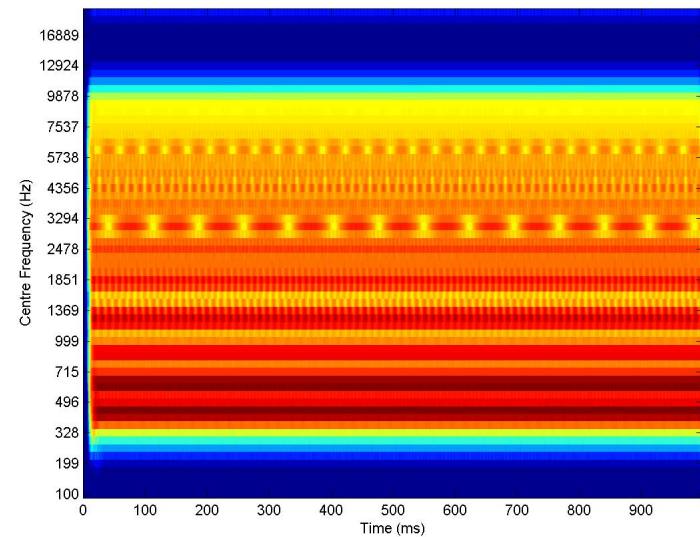


III.5 Rugosité

Intervalles consonants et dissonants



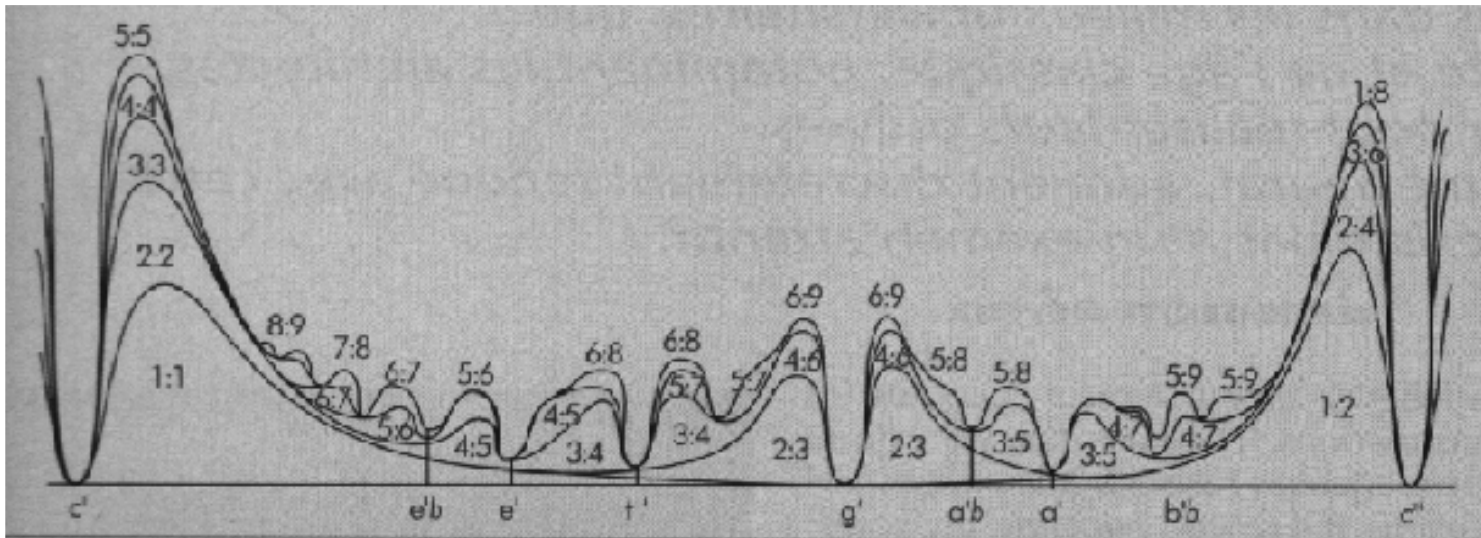
Quinte ($3/2$)



Triton ($45/32$)

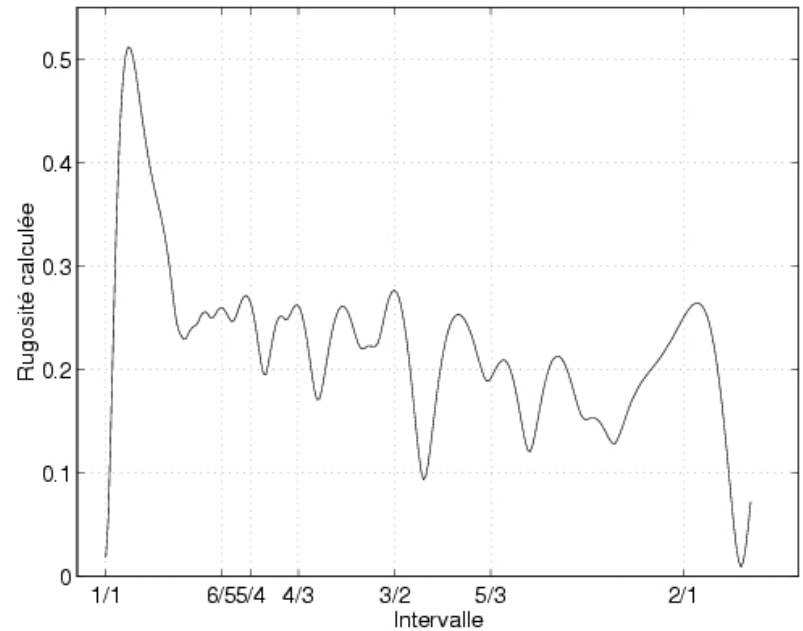
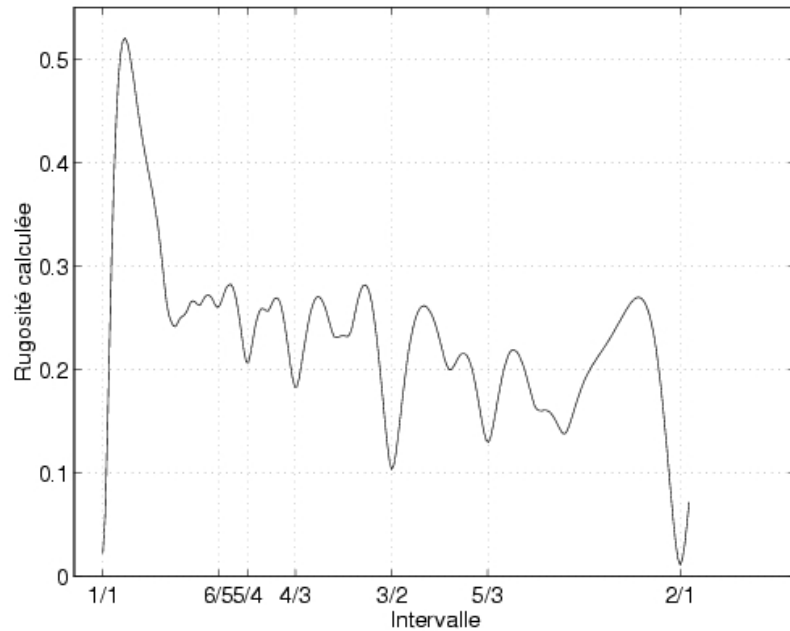
III.5 Rugosité

Modèle



III.5 Rugosité

Modèle: composition spectrale



III.5 Rugosité

Demo [ASA 58]: un choral de Bach est joué:

- A) gamme diatonique, sons harmoniques
- B) gamme étirée, sons étirés
- C) gamme étirée, sons harmoniques
- D) gamme diatonique, sons étirés



III.5 Rugosité

“Universaux” en musique ?

