

# De la puce à l'oreille

- Jean-Claude BODOT -

## Annexe:A

## La loi des 400 000

Elle est empirique. Ce sont les téléphonistes qui l'ont trouvée, dès le début du 20<sup>e</sup> siècle. Elle a très vite été confirmée par les acousticiens, électroacousticiens et ingénieurs du son qui la considère comme un outil incontournable.

### ♦ Définition :

Un système d'écoute est équilibré lorsque le produit de ses fréquences extrêmes est égal à 400 000. Autrement dit lorsque le produit de la fréquence de coupure basse  $F_{\min}$ , par la fréquence de coupure haute  $F_{\max}$ , est égal à 400 000.

### Remarques

- Relation étrange lorsque l'on sait qu'une écoute moyenne, chez un jeune adulte est limitée à 16Hz pour la fréquence la plus basse et 16kHz pour la fréquence la plus haute.
- Les techniciens nous proposent une bande de fréquences audibles comprise entre 20 et 20kHz. Quoique fausse, elle est homogène à la loi des 400k. Nous la prendrons comme bande de référence d'équilibre.
- Un exemple type, d'efficacité, de l'application de cette loi, est la modification qu'ont opérée les P&T (ou PTT) dans les années 70. Avant la modification, la bande téléphonique était comprise entre 300Hz et 3kHz, soit une largeur de bande de 2,7kHz. Il était difficile de se reconnaître, les conversations étaient laborieuses. L'effet téléphone est toujours calqué sur les caractéristiques des lignes téléphoniques de cette époque. La modification a consisté à adopter une bande de fréquences retransmises comprise entre 200Hz et 2kHz, choix correspondant à la loi des 400 000. Il est depuis facile de se reconnaître, et de converser.

### ♦ Conséquence

A l'écoute d'un son, un musicien ne saura dire que s'il perçoit un son grave ou un son aigu.

Il est normal d'envisager, que la fréquence de transition musicale entre la perception des graves et des aigues, soit située, au centre de la bande de référence.

La loi de Fechner, nous montre que pour ressentir une sensation fréquentielle (la Tonie), continue, la progression réelle des fréquences répond à une suite géométrique. La fréquence de transition ( $F_t$ ) recherchée est donc telle que

$$F_t / F_{\min} = F_{\max} / F_t \Leftrightarrow F_t^2 = F_{\min} \cdot F_{\max} .$$

or, par définition le produit :

$$F_{\min} \cdot F_{\max} = 4 \cdot 10^5$$

Et ainsi :

$$F_t = [ 4 \cdot 10^5 ]^{\frac{1}{2}} = 632\text{Hz}$$

En prenant pour fréquence de référence le La3 =440Hz, cette fréquence de transition est musicalement située entre le Mi<sub>b</sub>4 (622,22Hz) et le Mi 4 (659.25Hz).

Dans la pratique, si la fondamentale domine ne serait-ce que faiblement sur les harmoniques, le Ré 4 (587.32Hz) est perçu grave, le Fa 4 (698,25Hz) aigu. Un doute existe sur Mi<sub>b</sub> 4 et Mi 4.

### Exemple d'application

Imaginons qu'une écoute soit limitée dans le grave à 50Hz et, que en deçà de cette fréquence, sa croissance ait une pente de 12dB/Octave. Pour que sa perception, soit équilibrée, sa fréquence de coupure haute, doit être limitée à 8kHz et la pente de décroissance, au delà de cette fréquence, identique, et de signe inverse à celle qui précédait la coupure basse, soit -12B/Octave.