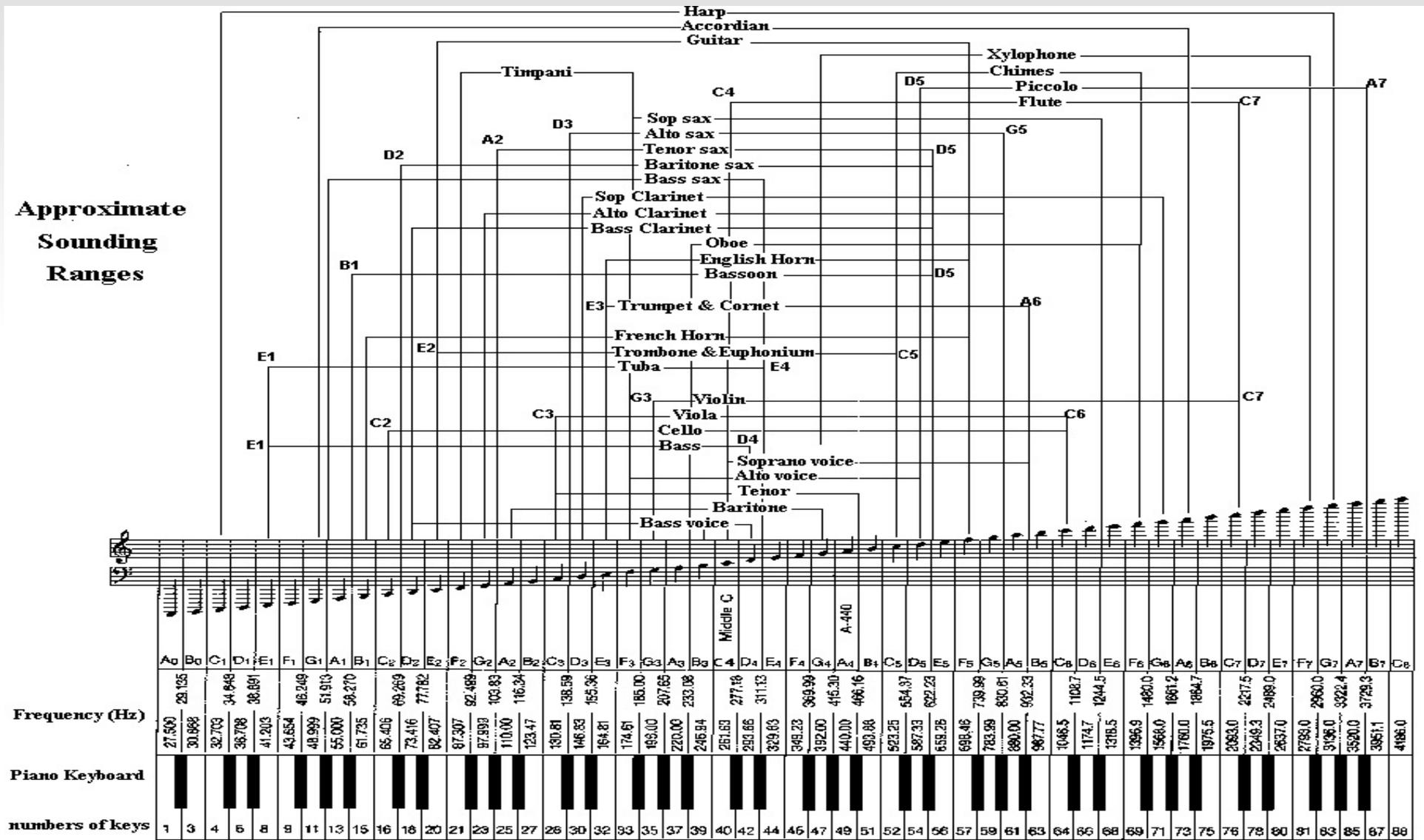


Rayonnement acoustique des enceintes

Bruno Gazengel

Tessiture des instruments de musique



Tessiture des instruments de musique

- Fréquences fondamentales
 - Minimales : environ 25-40 Hz
 - Maximales : environ 1500 – 2000 Hz pour les instruments les plus communs
- Étendue spectrale
 - Dépend du timbre de l'instrument.
 - Timbre :
 - Transitoires d'attaque et d'extinction
 - Spectre la partie stationnaire

Puissance acoustique des instruments de musique

Instrument	Puissance moyenne (W)	Puissance min. et max. μW et W	Rapport dynamique dB
Flûte	0,003	0,006 à 0,06	70
Piccolo	0,0005	0,005 à 0,06	70
Piano	0,0007	0,02 à 2,0	80
Cor	0,002	0,005 à 0,05	70
Trompette	0,007	0,3 à 0,31	60
Cymbale de 38 cm	0,03	9,5 à 9,6	60
Contrebasse	0,002	0,016 à 0,16	70
Triangle	0,0005	0,005 à 0,051	60
Grosse caisse	0,1	0,13 à 13	80
Orchestre de 15 musiciens	0,006	9 à 9,01	60
Orchestre de 75 musiciens	0,04	6,6 à 66	70

Puissance acoustique des instruments de musique

Orchestral Instrument	Sound Intensity Level (<i>dB</i>)
Violin (at its quietest)	34.8
Clarinet	76.0
Trumpet	83.9
Cymbals	98.8
Bass drum (at its loudest)	103

Table 1.3: Sound intensity levels (measured at 10 m away) for various musical instruments

THE PHYSICS OF MUSIC AND MUSICAL INSTRUMENTS
DAVID R. LAPP, FELLOW
WRIGHT CENTER FOR INNOVATIVE SCIENCE EDUCATION
TUFTS UNIVERSITY
MEDFORD, MASSACHUSETTS

Puissances, rendement

- Puissance acoustique (Watt)

- Définition :
$$W = \iint_S \vec{I} \cdot \vec{dS} = \iint_S I_n dS$$

- Pour une onde plane
$$W = \iint_S I dS$$

- Niveau de puissance
$$L_W = 10 \log_{10} \frac{W}{W_0}$$

- Puissance de référence

- $$W_0 = 10^{-12} \text{ W}$$

- => (intensité de référence dans un surface de 1 m²)

Calcul du niveau sonore

- Pour une source basses fréquences
 - Longueur d'onde \gg dimensions source
 - Ondes sphériques
 - Niveau de pression dans un espace infini
 - L_w : niveau de puissance acoustique de la source
 - r : distance source-récepteur
 - Q : facteur de directivité de la source
 - Source au sol $Q = 2$
 - Source le long de 2 murs : $Q = 4$
 - Source dans un coin : $Q = 8$

$$L_p(r) = L_w + 10 \log_{10} \frac{Q}{4\pi r^2} = L_w - 11 + 10 \log Q - 20 \log_{10} r$$

Calcul du niveau sonore

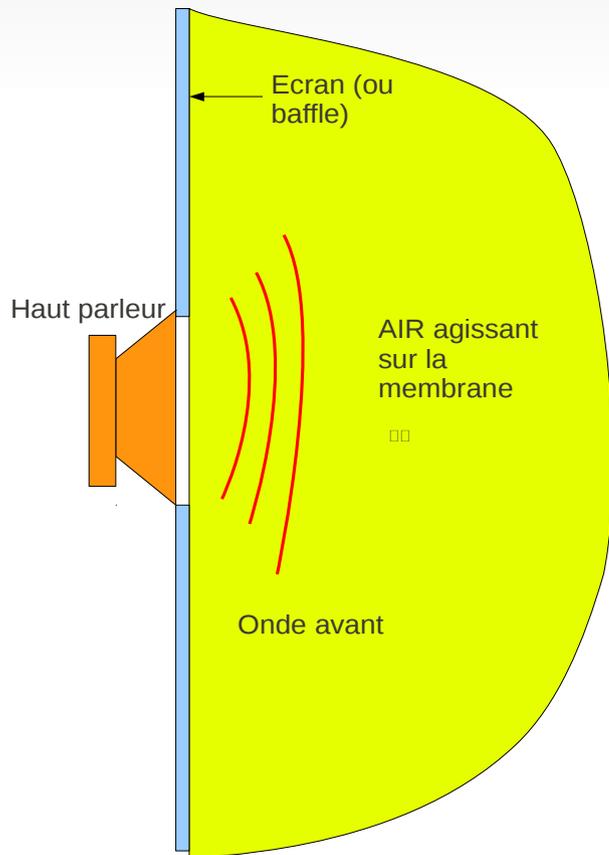
- Applications aux instruments de musique
 - Exercice : calculer le niveau sonore à 10 m produit par les instruments suivants : flûte , cymbale 38 cm, orchestre de 75 musiciens en faisant l'hypothèse d'un rayonnement omnidirectionnel

Rayonnement des enceintes acoustiques

- Puissance acoustique rayonnée par l'enceinte
 - Analogie avec la puissance électrique
 - Puissance électrique active $P_e^a = \Re(Z_e) I_{eff}^2$
 - Z_e : impédance électrique
 - I_{eff} : valeur efficace du courant
 - Puissance acoustique $P_a = \Re(Z_a) D_{eff}^2$
 - Z_a : impédance de rayonnement de l'enceinte
 - D_{eff} : valeur efficace du débit de l'enceinte

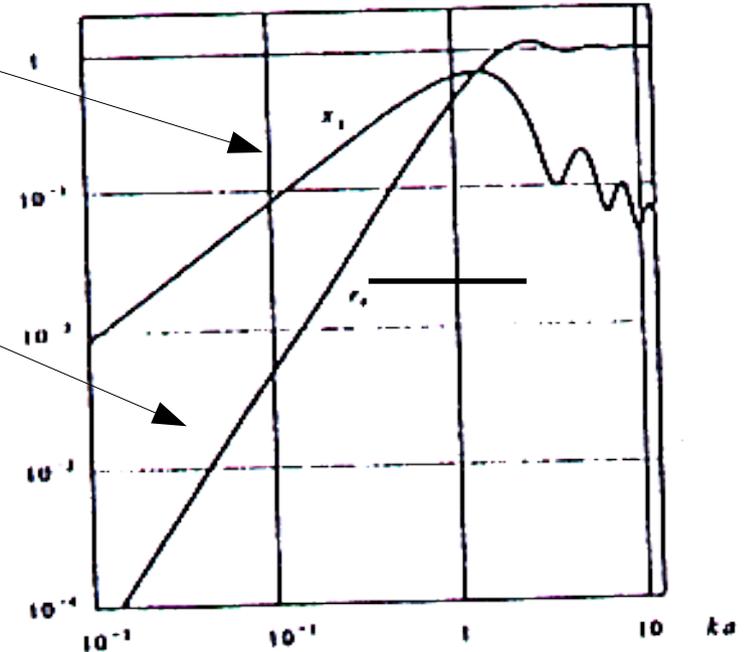
Rayonnement des enceintes acoustiques

- Impédance de rayonnement (sur écran infini) pour $kr_d < 1$
 - Traduit l'action mécanique de l'air sur la membrane du haut-parleur
 - Dans le cas d'un rayonnement en $\frac{1}{2}$ espace infini



$$M_{av} = \frac{8}{3\pi} \frac{\rho r_d}{S_d}$$

$$R_{av} = \frac{\rho c}{S_d} \frac{1}{4} \left(\frac{\omega r_d}{c} \right)^2$$



$$Z_{av} = R_{av} + j\omega M_{av}$$

Rayonnement des enceintes acoustiques

- Puissance acoustique rayonnée

- $W = \frac{\rho c}{S_d} \frac{1}{4} \left(\frac{\omega r_d}{c} \right)^2 D_{eff}^2$ soit $W = \frac{\rho c}{4\pi} \frac{\omega^2}{c^2} D_{eff}^2$

- La puissance est proportionnelle au débit au carré et à la fréquence au carré

- Pression acoustique rayonnée

- Hypothèse de rayonnement omnidirectionnel

- x_d : déplacement de la membrane

- S_d : surface effective de la membrane

$$p(r) = j \frac{\omega}{c} \rho c D \frac{e^{-jkr}}{4\pi r} \quad |p(r)| = \rho \frac{\omega^2 S_d x_d}{4\pi r}$$

Rayonnement des enceintes acoustiques

- Exercice 1
 - Calculer le déplacement d'une membrane de haut-parleur pour obtenir le même niveau à sonore à différentes fréquences
 - Application numérique
 - Diamètre de la membrane : 10 cm
 - Niveau sonore à 1 m : 84 dB SPL
 - Fréquences de calcul : 100, 1000, 10000 Hz

Rayonnement des enceintes acoustiques

- Exercice 2
 - Calculer le déplacement d'une membrane de deux haut-parleur pour obtenir le même niveau à sonore à différentes fréquences
 - Application numérique
 - Boomer :
 - Diamètre de la membrane : 20 cm
 - Niveau sonore à 1 m : 84 dB SPL
 - Fréquences de calcul : 100, 1000
 - Tweeter
 - Diamètre de la membrane : 8 cm
 - Niveau sonore à 1 m : 84 dB SPL
 - Fréquences de calcul : 2000, 10000

Puissances d'amplificateurs

- Pour un haut-parleur

- Niveau à 1 m pour une puissance électrique P_e

$$L_p(1) = \text{Eff} + 10 \log_{10}(P_e) \quad \rightarrow \text{Efficacité (dB/W/m)}$$

- Niveau à une distance r pour une puissance électrique P_e

$$L_p(r) = \text{Eff} + 10 \log_{10}(P_e) - 20 \log_{10} r$$

- Relation puissance électrique - puissance électrique - efficacité - puissance acoustique

$$L_p(r) = L_w - 11 + 10 \log Q - 20 \log_{10} r = \text{Eff} + 10 \log_{10}(P_e) - 20 \log_{10} r$$

$$L_w - 11 + 10 \log Q = \text{Eff} + 10 \log_{10}(P_e)$$

Exercice

- Calcul de la puissance nécessaire d'un amplificateur
 - Calculer la puissance qu'un amplificateur doit fournir à un haut-parleur d'efficacité 89 dB/W/m pour obtenir un niveau sonore de 85 dB à 1 m.
 - Quel est le déplacement de la membrane si l'enceinte ne possède qu'un haut-parleur dont la membrane a un diamètre de 10 cm pour les fréquences 50, 500, 5000 et 20000 Hz.
 - Pour quelles fréquences ces calculs ont-ils un sens?