

Techniques Audio

- ◆ DEFINITIONS GENERALES
- ◆ LA PRISE DE SON
- ◆ LES EFFETS SONORES CLASSIQUES
- ◆ EGALISEURS ANALOGIQUES & NUMERIQUES
- ◆ LES LECTEURS DE Compact Disc
- ◆ LES TUNERS
- ◆ LES AMPLIFICATEURS DE PUISSANCE
- ◆ LES HAUT PARLEURS ET ENCEINTES

TECHNIQUES AUDIO

8. HAUT PARLEURS ET ENCEINTES

1. Haut parleurs
2. Enceintes
3. Séparation des voies
4. Fabricant d'enceintes
5. Configuration de salle

TECHNIQUES AUDIO

8.1 Haut parleurs, Introduction

- ◆ 1925 : Premier haut-parleur. (Graham Bell)
- ◆ Graves et médium : depuis 1925, améliorations des matériaux (membranes, supports de bobine) et des caractéristiques électriques et sonores (linéarité, rendement...)
- ◆ Tweeters : non réalisables à l'époque, (matériaux disponibles pas assez légers pour suivre les variations rapides). Plusieurs technologies : tweeter à dôme, à ruban, à chambre de compression, tweeter piezo.

TECHNIQUES AUDIO

8.1 Haut parleurs, Introduction

◆ Le haut parleur est :

un système triple
électrique-mécanique-acoustique

(on peut le considérer comme un moteur)

TECHNIQUES AUDIO

8.1 Haut parleurs, Introduction

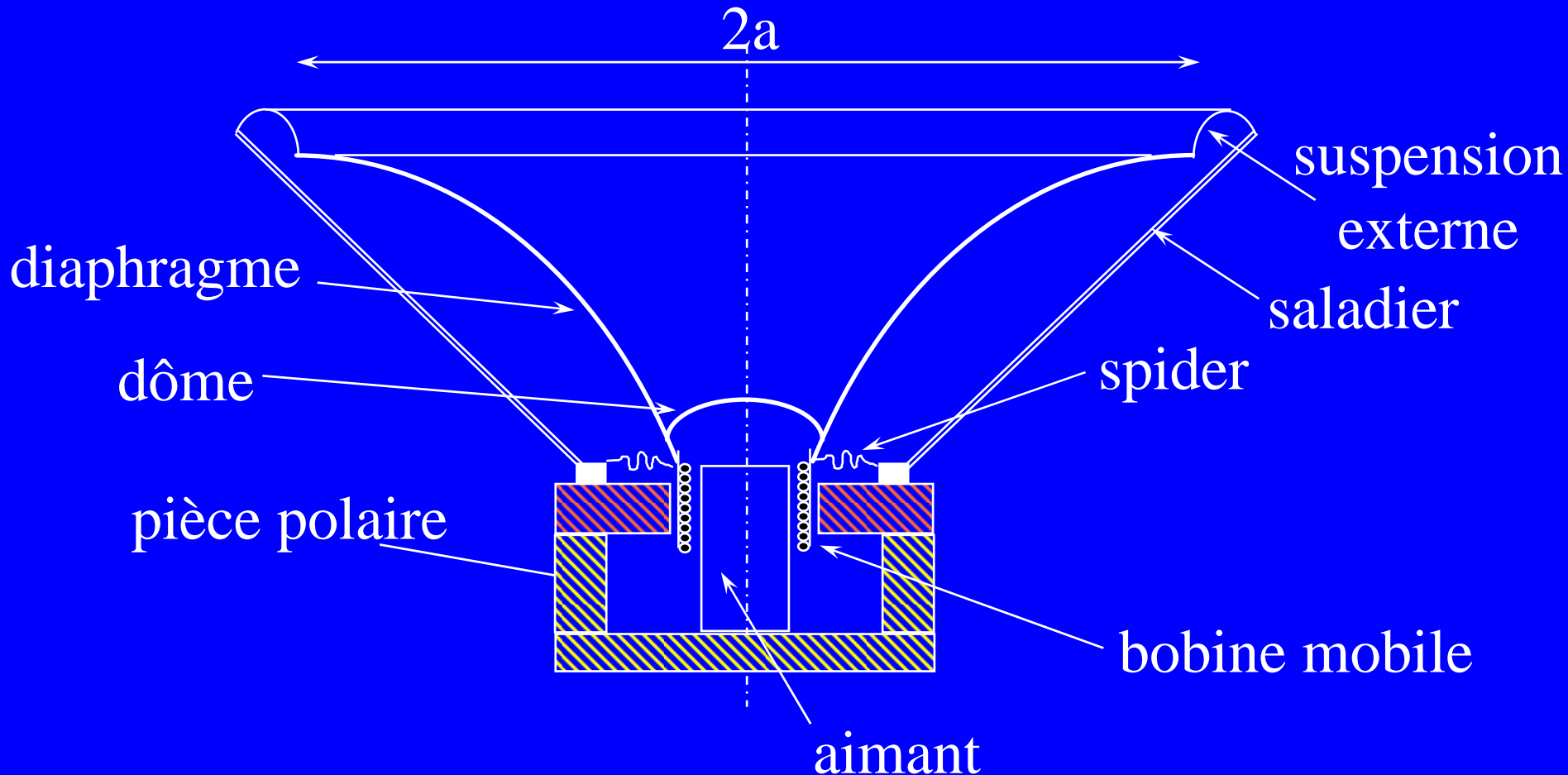
- ◆ Il existe plusieurs types de H.P mais le plus connu est :

le Haut parleur
électrodynamique

TECHNIQUES AUDIO

8.1 Haut parleurs


◆ Constitution d'un Haut parleur électrodynamique




TECHNIQUES AUDIO

8.1 Haut parleurs, modélisation

- ◆ Sa modélisation se fait en deux étapes :

électrique  mécanique

mécanique  acoustique

TECHNIQUES AUDIO

8.1 Haut parleurs, rappels

◆ Rappel : analogie électricité-mécanique



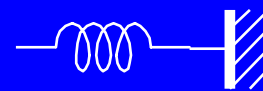
inductance $L \Leftrightarrow$



masse m



capacité $C \Leftrightarrow$



compliance C_m



résistance $R \Leftrightarrow$



frottement R

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \cdot C}}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{m \cdot C_m}}$$

TECHNIQUES AUDIO

8.1 Haut parleurs, rappels

◆ Notion d'impédance électrique

$$U = L \frac{di}{dt} + R.i + \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i.dt$$

en régime sinusoïdal :

$$Z = \frac{U}{i} = R + jL.\omega + \frac{1}{jC.\omega} \quad (\text{en V/A})$$

TECHNIQUES AUDIO

8.1 Haut parleurs, rappels

◆ Notion d'impédance mécanique

force \curvearrowright $F_e = m \frac{dv}{dt} + R_m \cdot v + \frac{1}{C_m} \int_{-\infty}^t v \cdot dt$ \curvearrowleft vitesse

en régime sinusoïdal :

$$Z_m = \frac{F_e}{v} = R_m + j\omega \cdot m + \frac{1}{jC_m\omega} \quad (\text{en N/m/s})$$

TECHNIQUES AUDIO

8.1 Haut parleurs, rappels

◆ Rappel : analogie acoustique-mécanique

 $\text{masse acoustique } M_a$ \Leftrightarrow  $\text{masse } m$

 $\text{compliance acoustique } C_a$ \Leftrightarrow  $\text{compliance } C_m$

 $\text{résistance acoustique } R_a$ \Leftrightarrow  $\text{frottement } R$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{M_a \cdot C_a}}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{m \cdot C_m}}$$

TECHNIQUES AUDIO

8.1 Haut parleurs, rappels

◆ Notion d'impédance acoustique

pression \curvearrowright $P_e = Ma \frac{dq}{dt} + Ra \cdot q + \frac{1}{Ca} \int_{-\infty}^t q \cdot dt$ \curvearrowleft débit

en régime sinusoïdal :

$$Z_a = \frac{P_e}{q} = Ra + j\omega \cdot Ma + \frac{1}{jCa\omega}$$

TECHNIQUES AUDIO

8.1 Haut parleurs, rappels

- ◆ Rappel : analogie directe (d) & inverse (i)
électricité-mécanique-acoustique

	électrique	mécanique	acoustique
d	tension (V)	force (N)	pression (Pa)
	courant (A)	vitesse (m/s)	débit (m ³ /s)
i	tension (V)	vitesse (m/s)	débit (m ³ /s)
	courant (A)	force (N)	pression (Pa)

TECHNIQUES AUDIO

8.1 Haut parleurs, modélisation

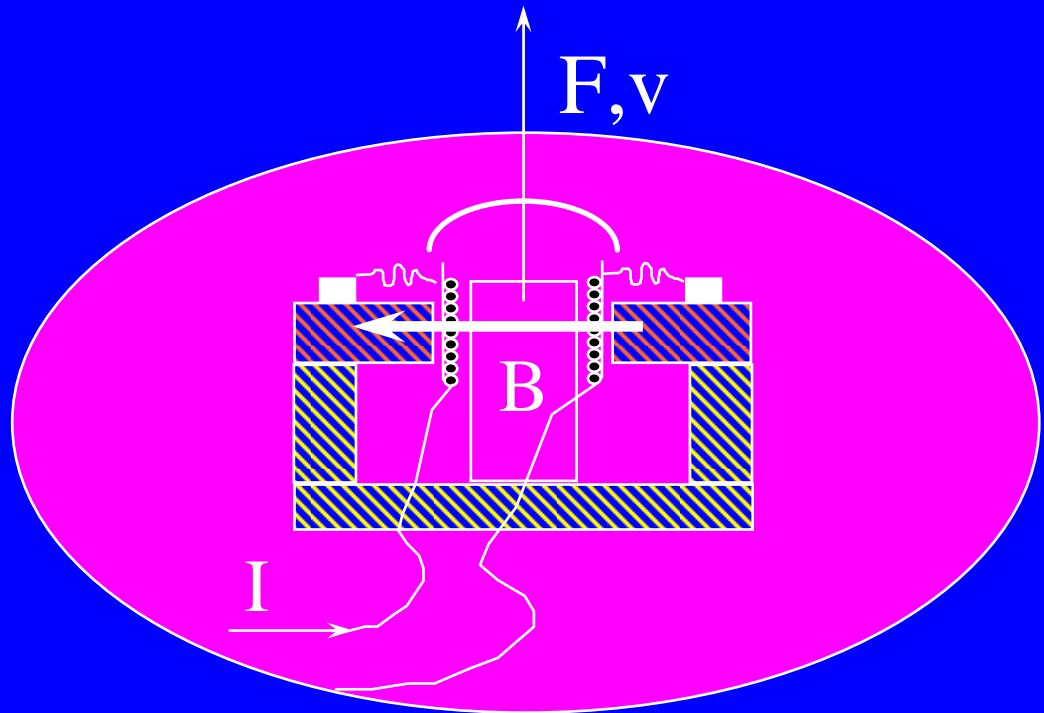
◆ Conversion électrique mécanique

La conversion d'énergie est régit par 2 équations (en sinusoidal) :

$$\downarrow U = (B.l).v$$

$$\downarrow F = (B.l).I$$

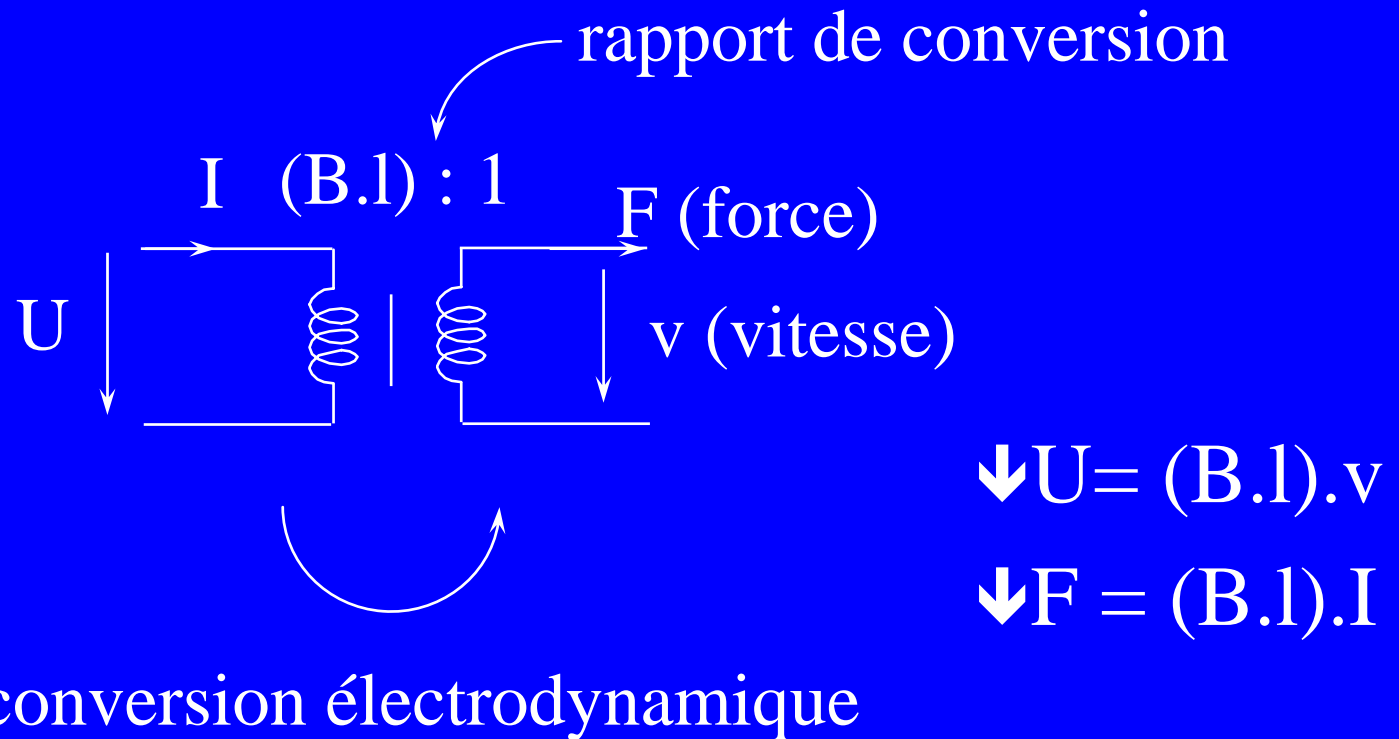
(loi de Lentz)



TECHNIQUES AUDIO

8.1 Haut parleurs, modélisation

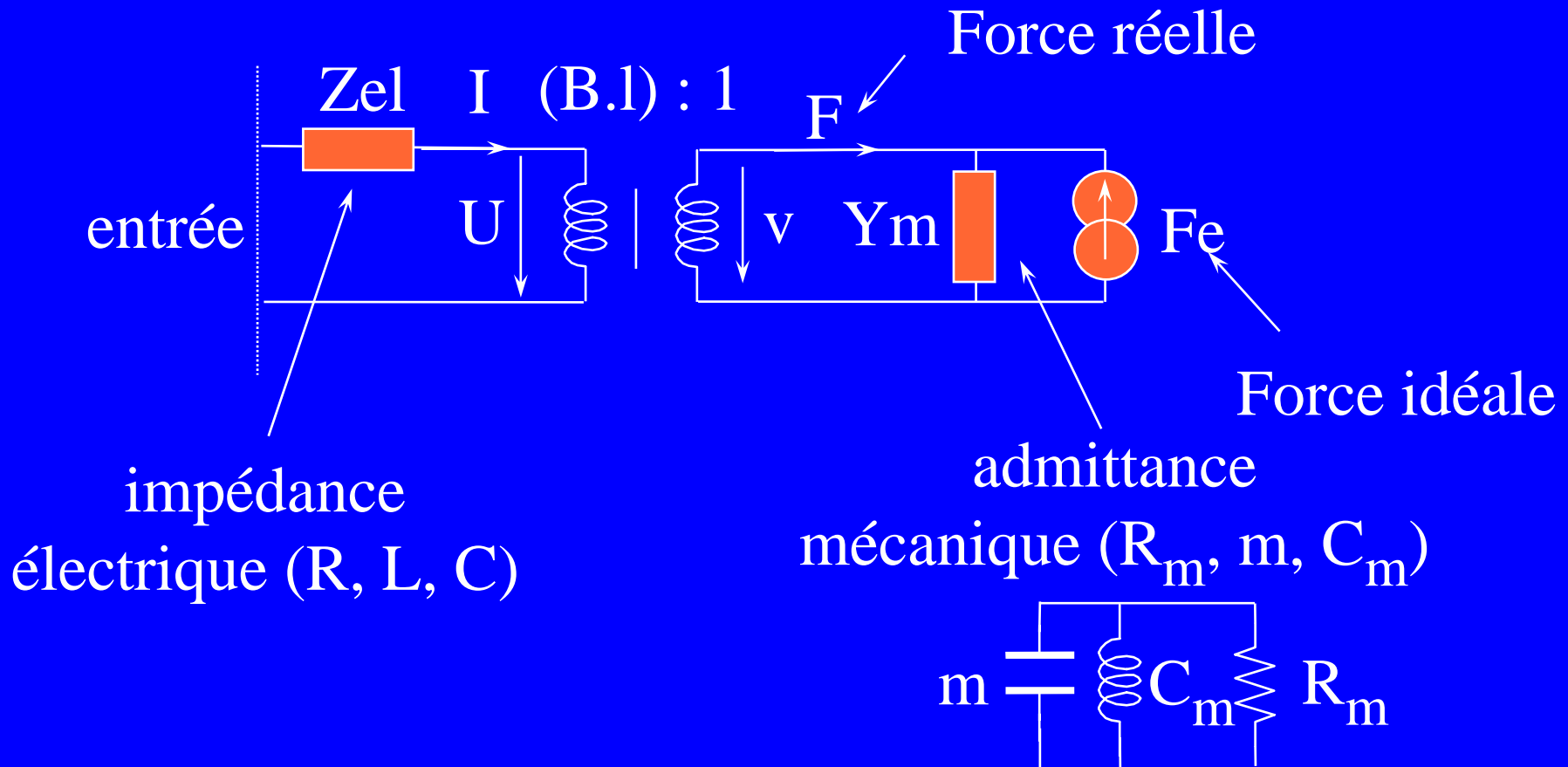
- ◆ D'où le modèle de conversion équivalent :
(avec les conventions de signe)



TECHNIQUES AUDIO

8.1 Haut parleurs, modélisation

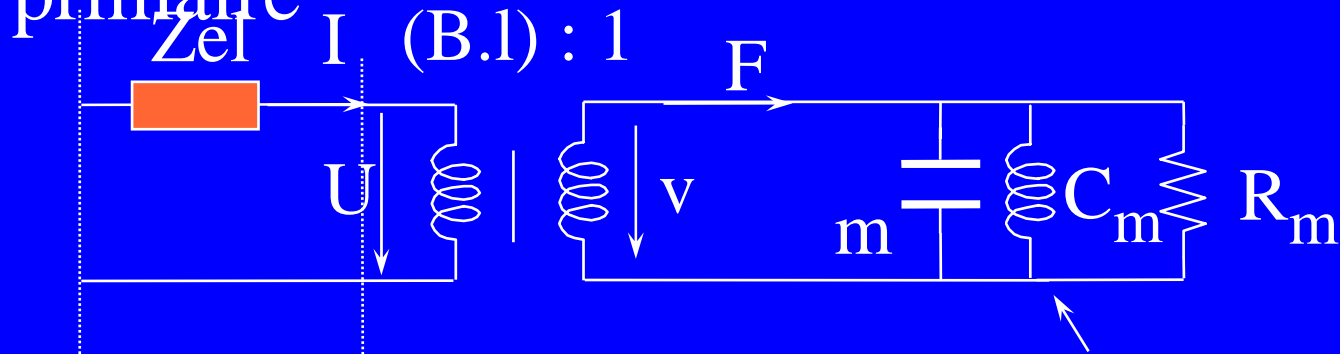
◆ Modèle complet électromécanique



TECHNIQUES AUDIO

8.1 Haut parleurs, modélisation

- ◆ Impédance équivalente ramenée au primaire



Y_m : admittance mécanique

attention ! inversion

$$Z_e = U/I = (B.l)^2 \cdot v/F$$

Soit :

$$Z_e = (B.l)^2 \cdot Y_m$$

TECHNIQUES AUDIO

8.1 Haut parleurs, modélisation

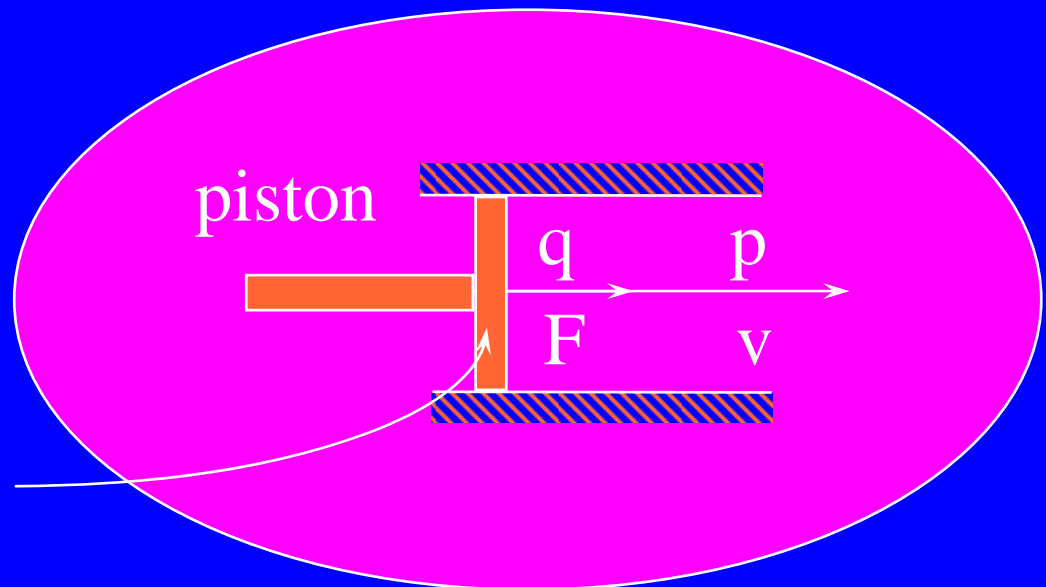
◆ Conversion mécanique acoustique

La conversion d'énergie est régit par 2 équations (en sinusoidal) :

$$\downarrow v = -(1/S).q$$

$$\downarrow F = S.p$$

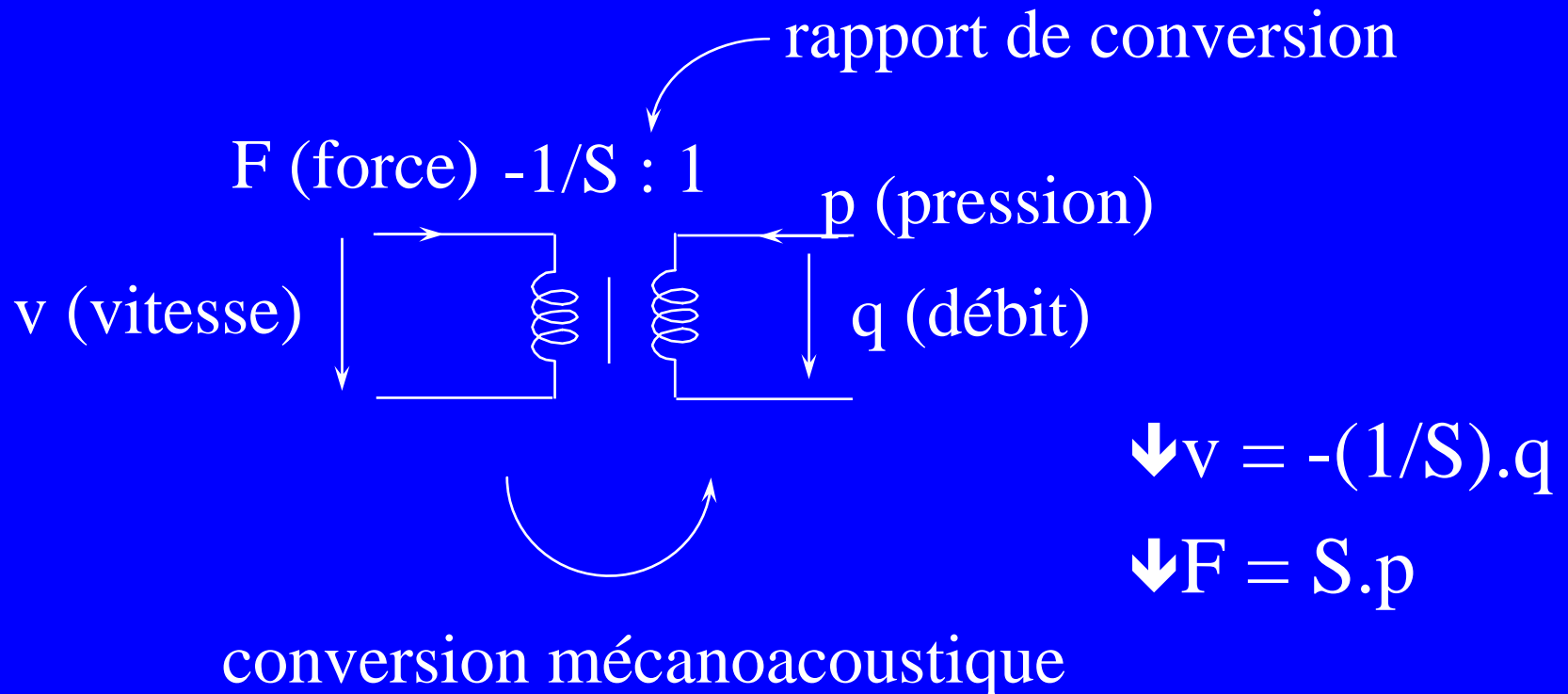
surface S



TECHNIQUES AUDIO

8.1 Haut parleurs, modélisation

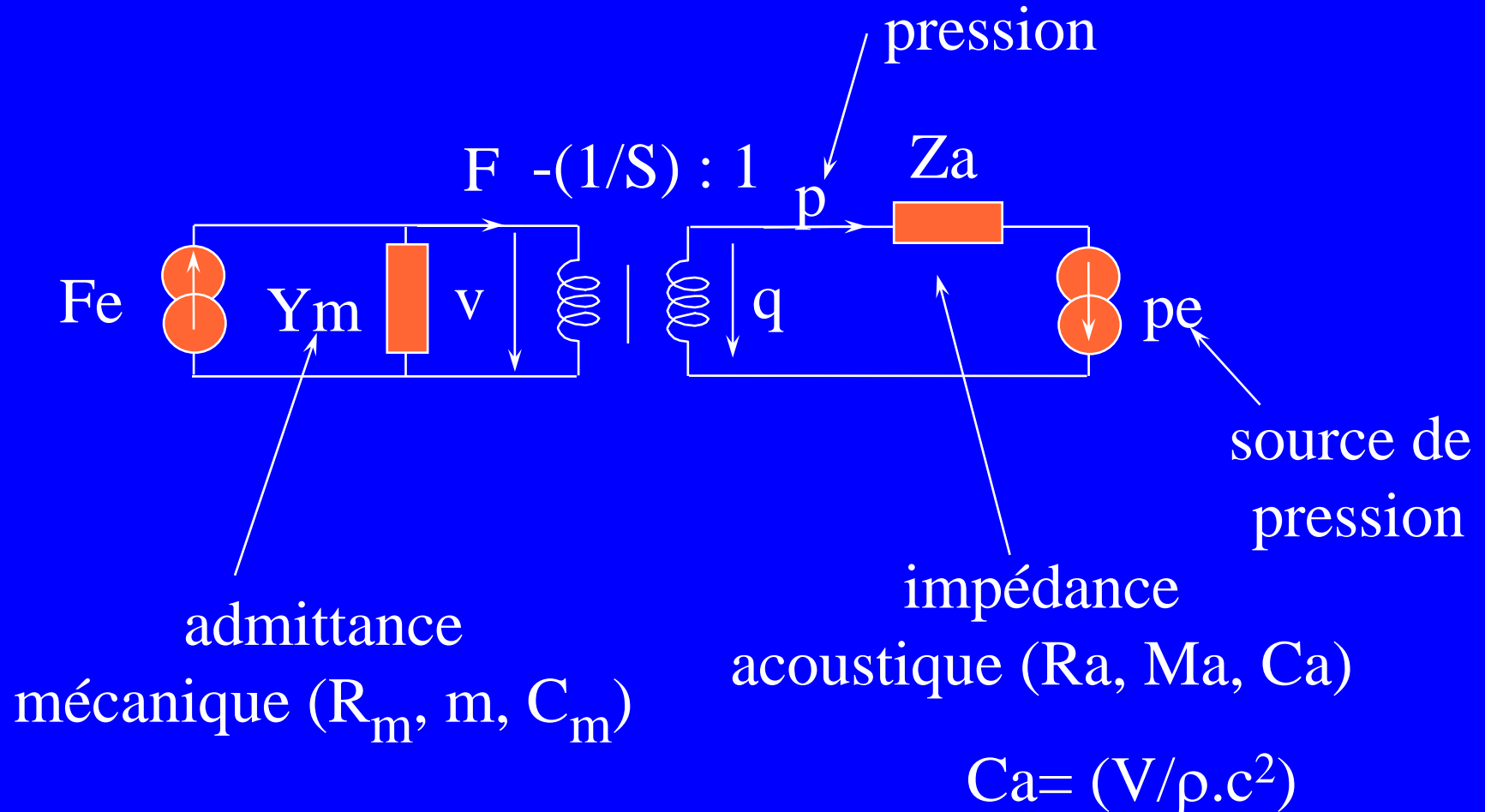
- ◆ D'où le modèle de conversion équivalent :
(avec les conventions de signe)



TECHNIQUES AUDIO

8.1 Haut parleurs, modélisation

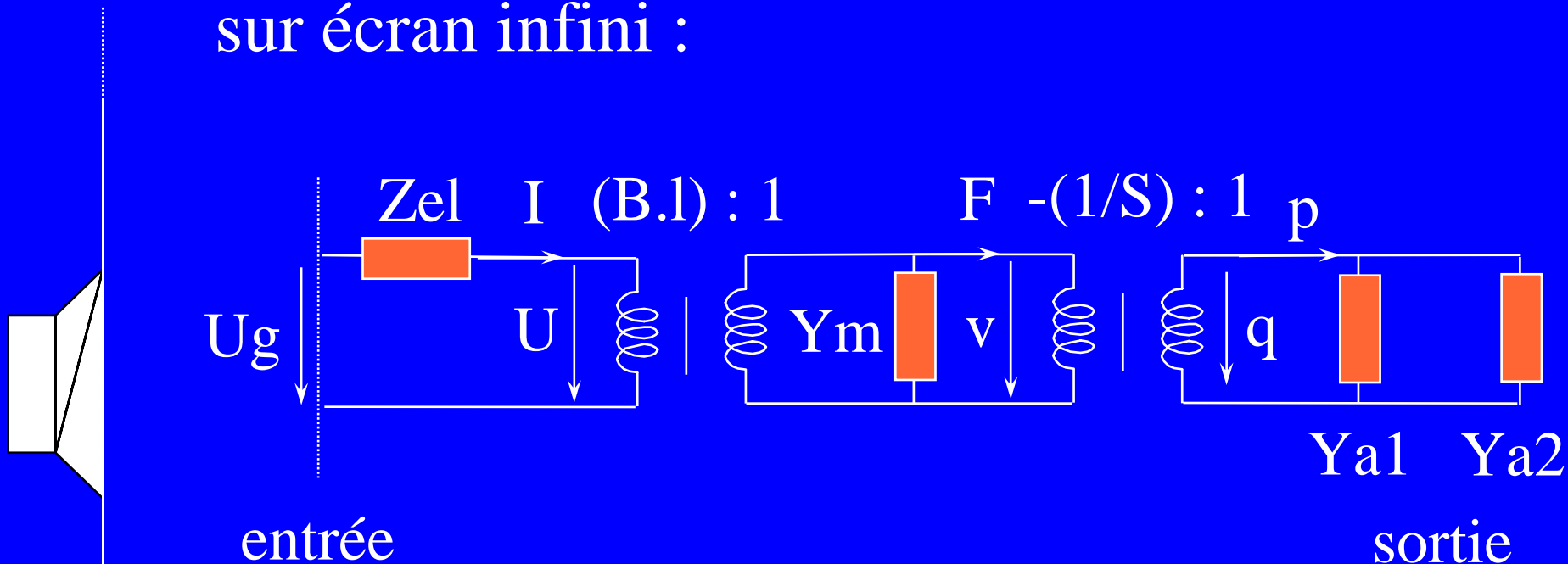
◆ Modèle complet mécanoacoustique



TECHNIQUES AUDIO

8.1 Haut parleurs, modélisation

- ◆ en associant les modèles pour un HP monté sur écran infini :



$$Z_{el} = R_e + jL_e \cdot \omega$$

$$Y_m = R_m // C_m // m$$

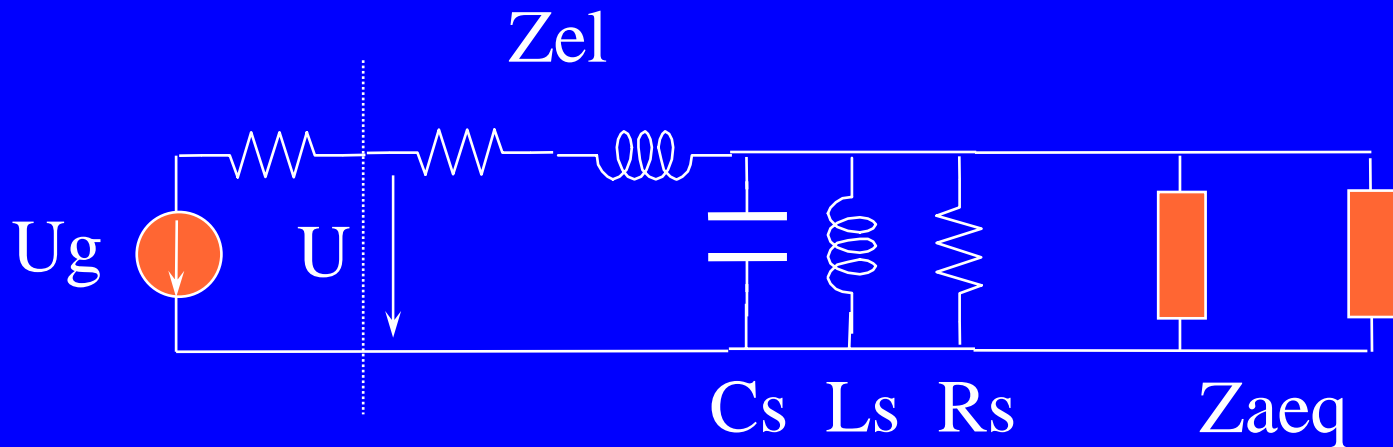
$Y_a =$ admittance acoustique AV/AR

Ya2 Ya1
AR/AV

TECHNIQUES AUDIO

8.1 Haut parleurs, modélisation

- ◆ en ramenant les impédances au primaire, on obtient le schéma électrique équivalent :



avec :

$$L_s = C_m(B.l)^2 \text{ (H)}$$

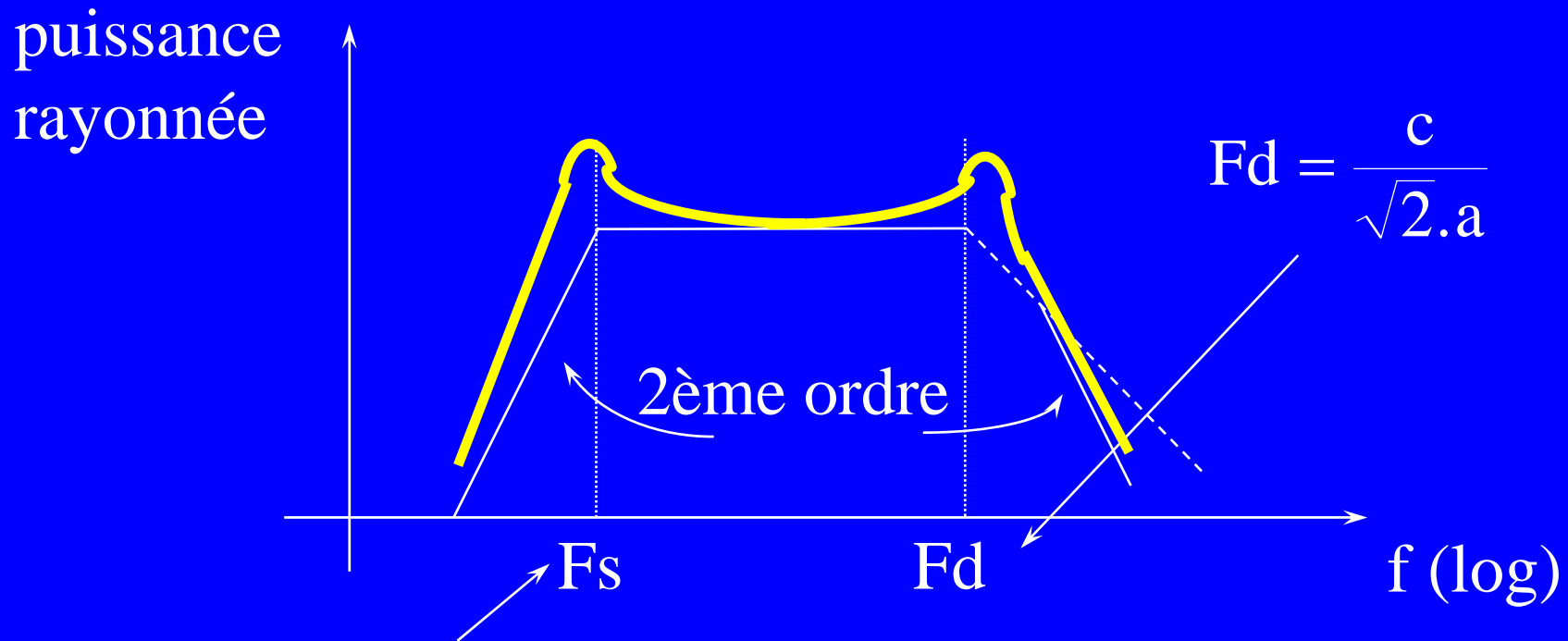
$$C_s = m/(B.l)^2 \text{ (F)}$$

$$R_s = (B.l)^2/R_m \text{ (\Omega)} \quad \text{et} \quad Z_{aeq} = ((B.l)^2/S) Z_a \text{ (\Omega)}$$

TECHNIQUES AUDIO

8.1 Haut parleurs

◆ Comportement fréquentiel



F_s : fréquence de résonance
mécanique du système mobile

c : célérité de l'onde sonore
 a : rayon du cône

TECHNIQUES AUDIO

8.1 Haut parleurs

Haut parleur = système passe bande.



La couverture de la bande audio nécessite
en général 2 ou 3 HP

TECHNIQUES AUDIO

8.1 Haut parleurs

◆ Rendement :

$$\eta = P_{as} / P_e$$

P_{as} = puissance rayonnée acoustique

P_e = puissance électrique à l'entrée

De l'ordre de 0,3% à 3%....

Le reste part en chaleur !

TECHNIQUES AUDIO

8.1 Haut parleurs, réalisation

◆ Les matériaux

circuit magnétique :

- alliage Fe, Co, Ni, Al
- céramique Ba, $\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ frittées

assemblage par vis ou collage résine époxy

ajustage minutieux à cause des dilatations thermiques

TECHNIQUES AUDIO

8.1 Haut parleurs, réalisation

◆ Les matériaux

diaphragme :

- carton feutré (pulpe cellulosique)
- aluminium, titane, (pour les aigus)
- polymère composite (pour les graves)
- «nid d'abeilles» (pour les graves)

suspension :

- fibres naturelles, néoprène, PVC

TECHNIQUES AUDIO

8.1 Haut parleurs

◆ Vocabulaire :

↓ Sub woofer (20-30 Hz)

↓ Woofer (<1kHz)

↓ Tweeter (>3kHz)

TECHNIQUES AUDIO

8.1 Haut parleurs, Lexique

◆ Lexique :

↓ $B.l$: produit du champ magnétique par la longueur de la bobine

↓ Compliance mécanique : rapport déplacement/force exprimé en m/N (inverse de la raideur)

↓ Compliance acoustique : $(V/\rho.c^2)$ en m^3/Pa

↓ S_d : surface active du cône du HP

TECHNIQUES AUDIO

8.1 Haut parleurs, Lexique

◆ Lexique :

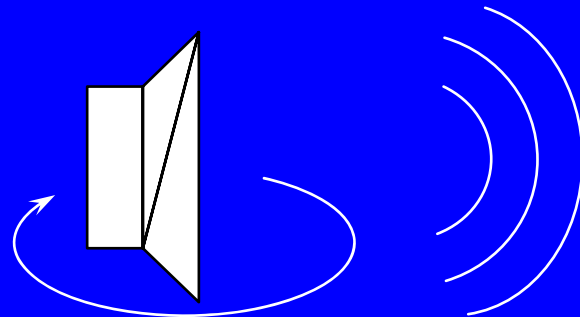
- ↓ F_s ou F_o : Fréquence de résonance naturelle du HP à l'air libre monté sur écran
- ↓ Q_{ms} : facteur de qualité mécanique d'un HP sur écran
- ↓ Q_{es} : facteur de qualité électrique d'un HP sur écran
- ↓ Q_{ts} : facteur de qualité total d'un HP sur écran
- ↓ V_{as} : volume d'air équivalent

TECHNIQUES AUDIO

8.2 Enceintes

◆ Nécessité des enceintes :

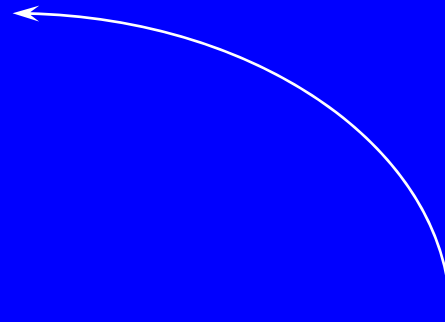
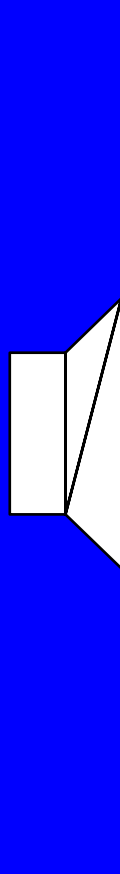
Lorsque la membrane du HP avance, l'air est comprimé devant et déprimé derrière. Si un chemin existe entre l'avant et l'arrière, l'air comble la dépression et atténue, voire annule, les ondes sonores.(interférences)



TECHNIQUES AUDIO

8.2 Enceintes

- ◆ Enceinte idéale = plan infini



Séparation de
l'espace en 2

TECHNIQUES AUDIO

8.2 Enceintes

◆ Plusieurs types d'enceintes :

↓ enceintes closes

↓ enceintes à événements

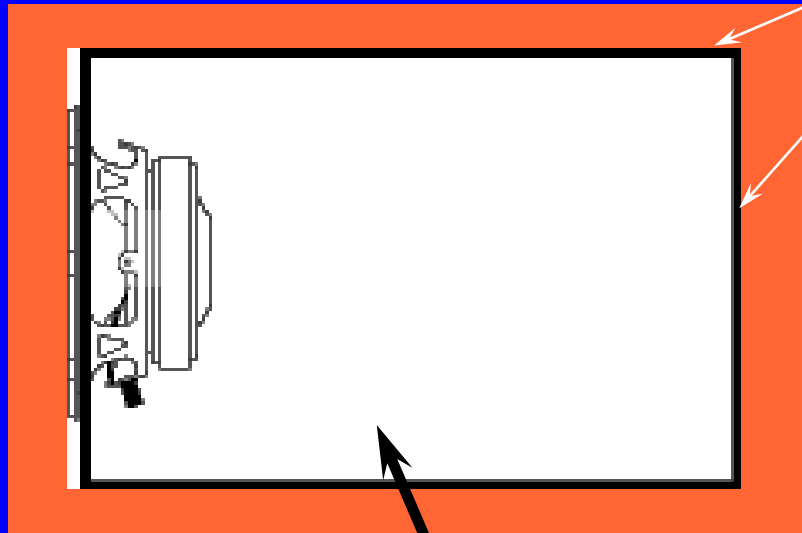
↓ enceintes à radiateur passif

↓ systèmes asservis

TECHNIQUES AUDIO

8.2 Enceintes

◆ Enceinte close



absorbant laine de verre,
feutre, mousse synthétique...

En BF (dimensions $\ll \lambda$)
l'enceinte est un système
acoustique R_{ab} , C_{ab} , m_{ab}

volume d'air sans absorbant : V_{ab}

volume d'air avec absorbant : $V_b = V_{ab}/\beta$

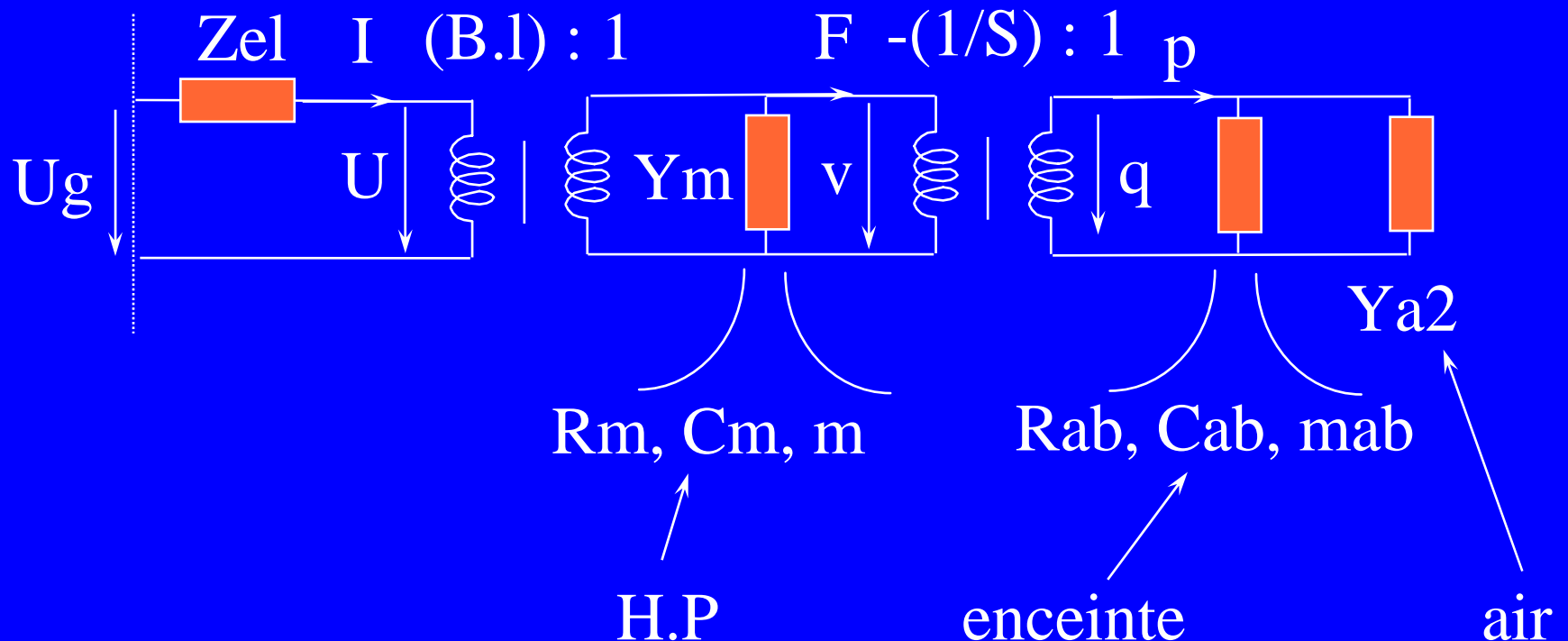
$C_{ab} = \beta \cdot (V_b/\rho \cdot c^2)$ avec $\beta \geq 1$

TECHNIQUES AUDIO

8.2 Enceintes

◆ Enceinte close

remplacer l'impédance arrière par (R_{ab} , C_{ab} , m_{ab})



TECHNIQUES AUDIO

8.2 Enceintes

◆ Enceinte close

on se ramène au schéma équivalent au primaire comme précédemment,

TECHNIQUES AUDIO

8.2 Enceintes

◆ Enceinte close

on pose :

$\alpha = C_m/C_{ab} = V_{as}/V_{ab} (>1)$ facteur de compliance

volume équivalent HP + écran
volume enceinte vide

Fréquence de résonance F_c du système :

$$F_c = F_s \cdot (\sqrt{1 + \alpha}) (> F_s)$$

fréquence de coupure basse plus élevée que celle du HP sur écran infini.

TECHNIQUES AUDIO

8.2 Enceintes

- ◆ Enceinte close

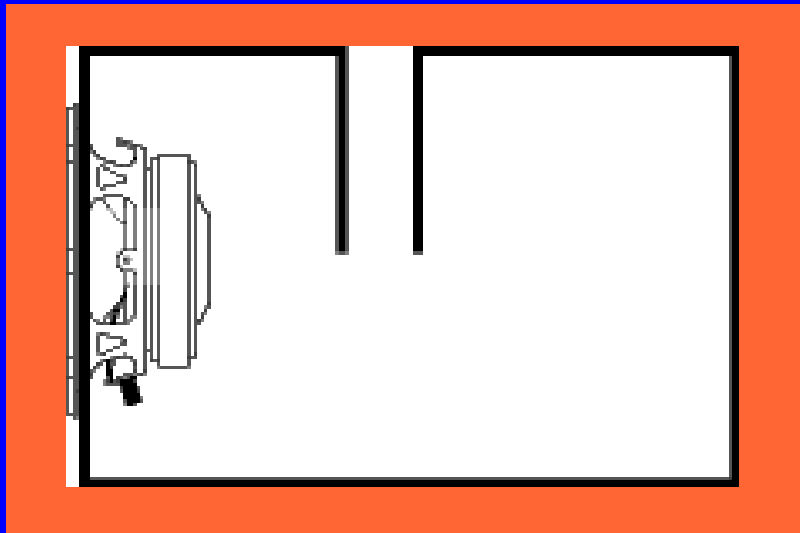
- ◆ avantages :

- conception assez simple
- réponse en fréquence plate

TECHNIQUES AUDIO

8.2 Enceintes

◆ Enceinte à événement (bass reflex)



En jouant sur les dimensions de l'ouverture, on dose l'interaction onde avant, onde arrière. On ajuste ainsi la fréquence d'accord F_b .

Avantage :

- meilleur rendement que les enceintes closes
- encombrement moindre

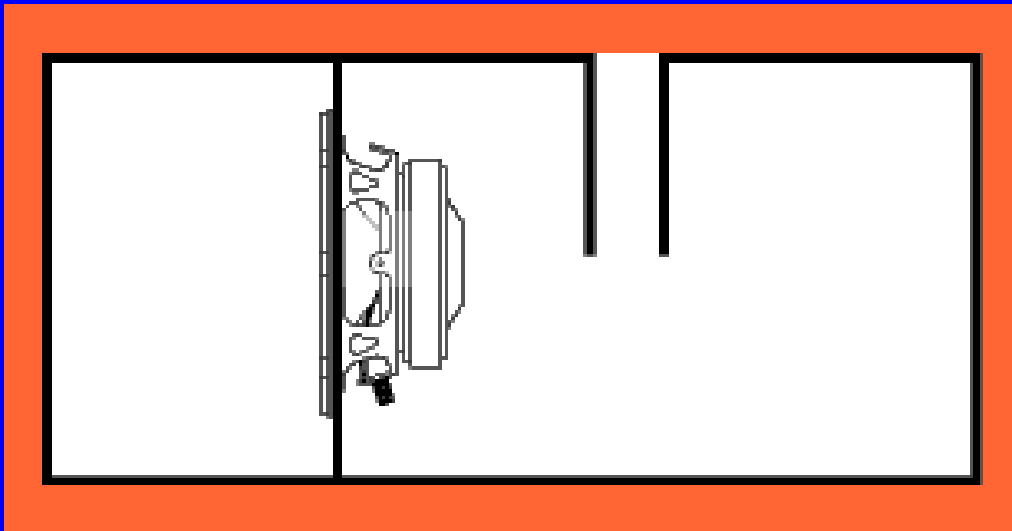
Inconvénient :

- en dessous de F_b , le HP travaille comme à l'air libre

TECHNIQUES AUDIO

8.2 Enceintes

◆ Enceinte passe bande



Combinaison enceinte fermée devant et ouverte derrière. La réponse en fréquence est contrôlée par les dimensions et F_b .

Avantage :

- contrôle de l'excursion de la membrane aux B.F

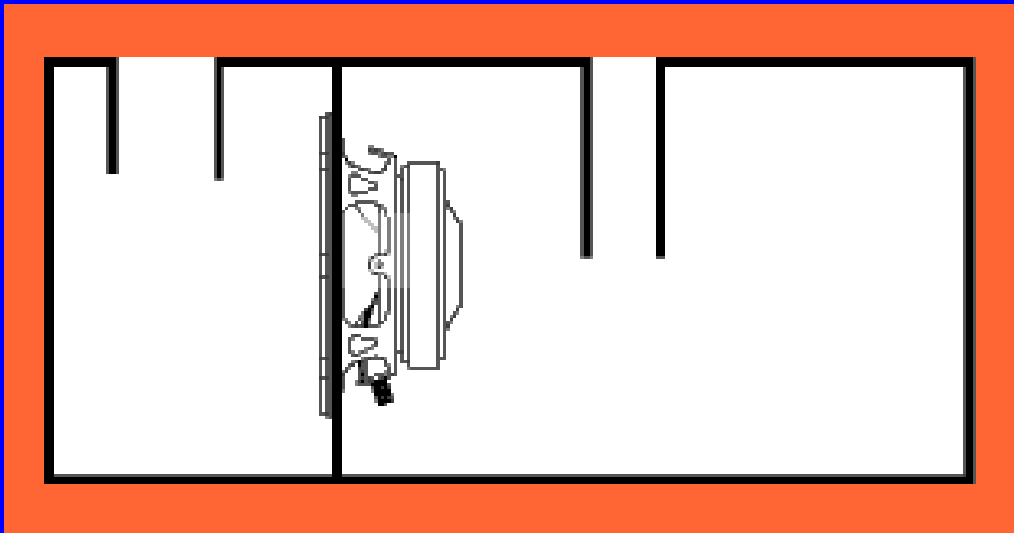
Inconvénient :

- son produit intégralement par l'évent (moins bon que pour une enceinte close)

TECHNIQUES AUDIO

8.2 Enceintes

◆ Enceinte dual reflex passe bande



Avantage :

- utilise l'onde sonore avant et arrière => rendement ↗

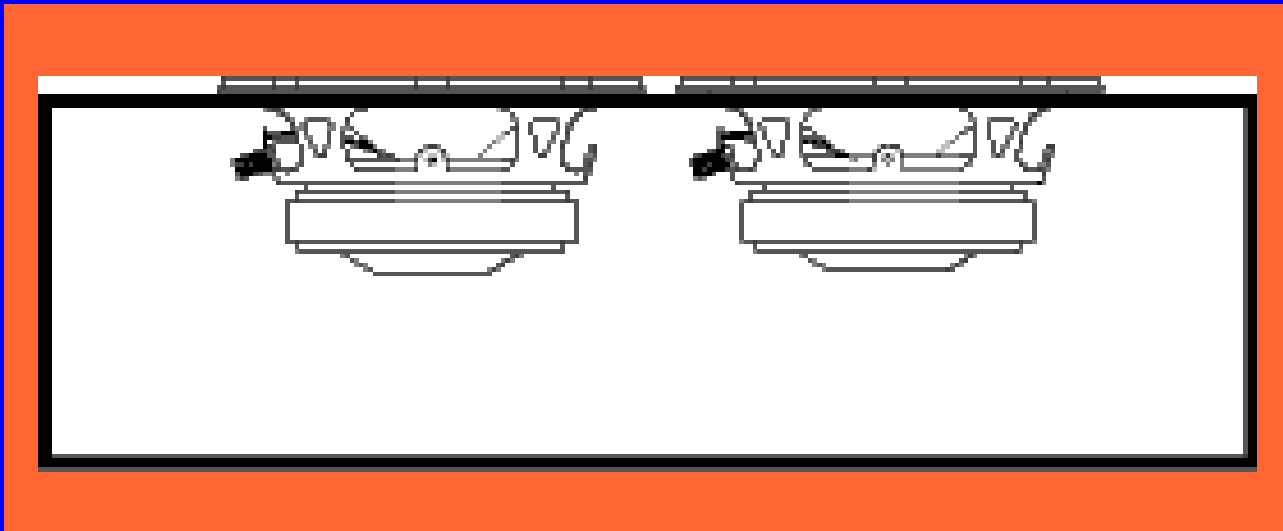
Inconvénient :

- en dessous de F_b , risque de destruction de la membrane HP

TECHNIQUES AUDIO

8.2 Enceintes

◆ Enceinte multiple



Avantage :

- meilleure qualité sonore (plutôt qu'un seul HP + gros)

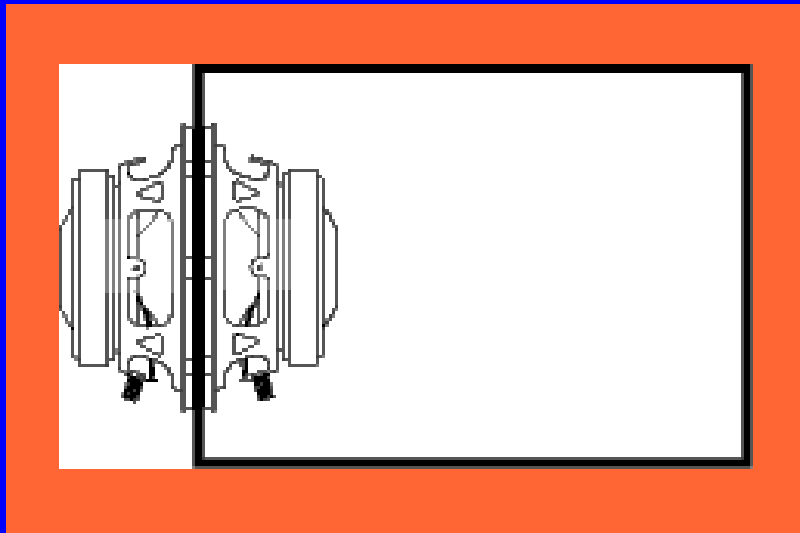
Inconvénient :

- risque d'interaction entre les 2 HP

TECHNIQUES AUDIO

8.2 Enceintes

◆ Enceinte isobar



Combine deux woofers face à face.

Avantage :

- volume de l'enceinte divisé par deux

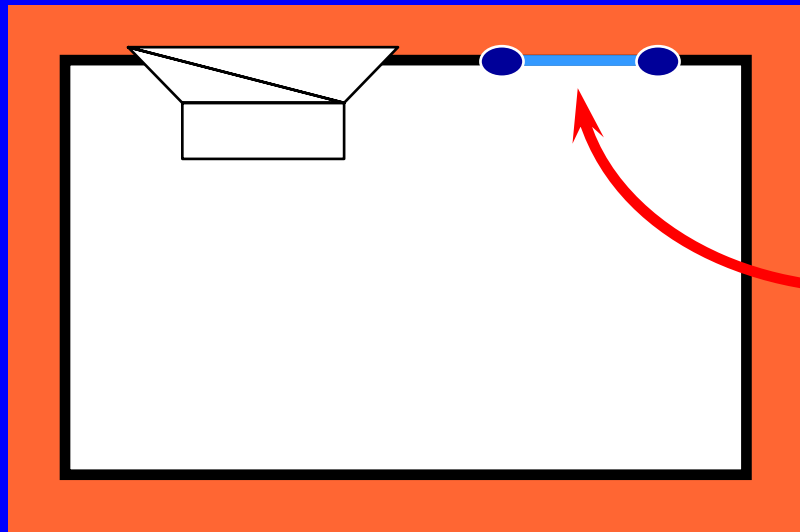
Inconvénient :

- rendement divisé par $\sqrt{2}$

TECHNIQUES AUDIO

8.2 Enceintes

◆ Enceinte à radiateur passif



membrane passive
sur suspensions

résonateur m_p, C_p, R_p

Avantage :

- pour un volume V_b faible, remplace le tube de l'évent dont la longueur serait trop importante.

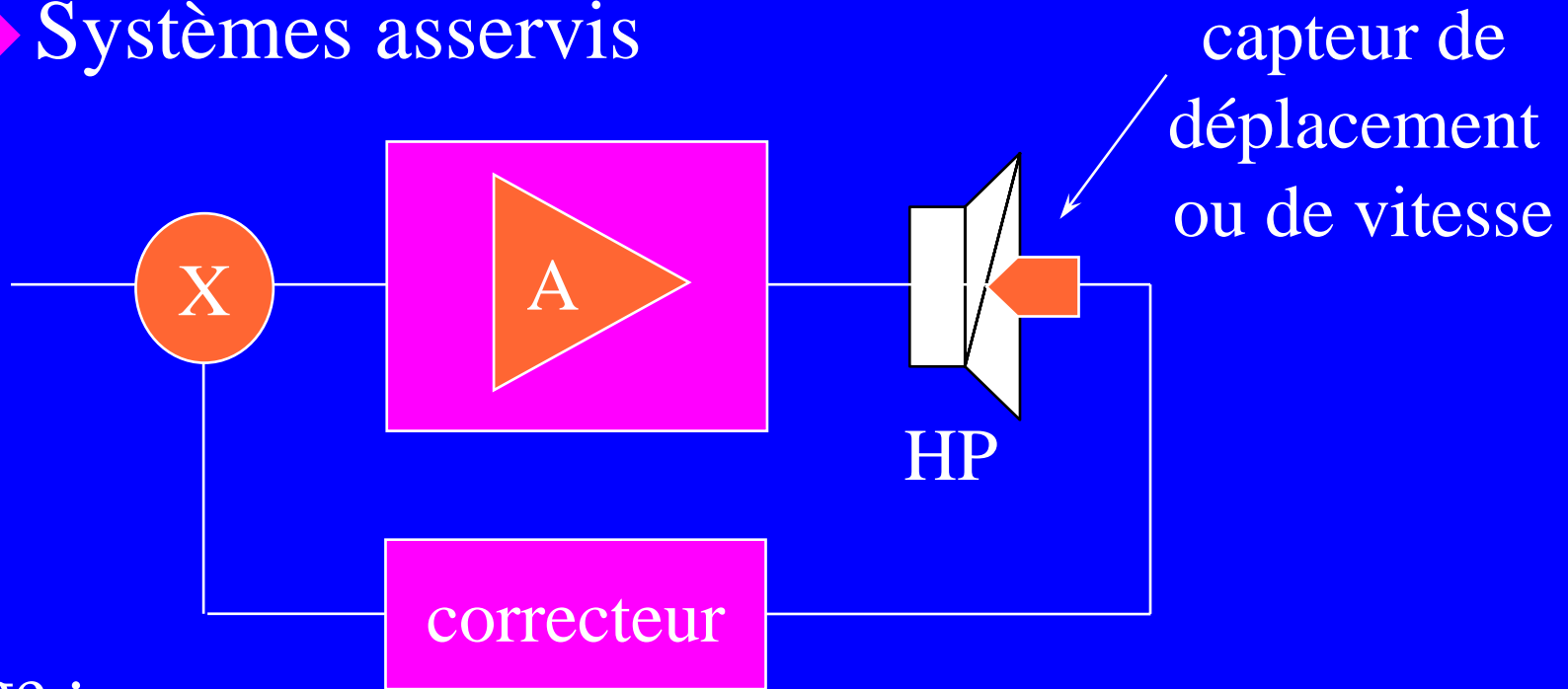
Inconvénient :

- calcul complexe

TECHNIQUES AUDIO

8.2 Enceintes

◆ Systèmes asservis



Avantage :

- bande passante élargie
- réduction des non linéarités

TECHNIQUES AUDIO

8.2 Enceintes

CALCUL EMPIRIQUE D'UNE ENCEINTE