

# Enceintes électroacoustiques

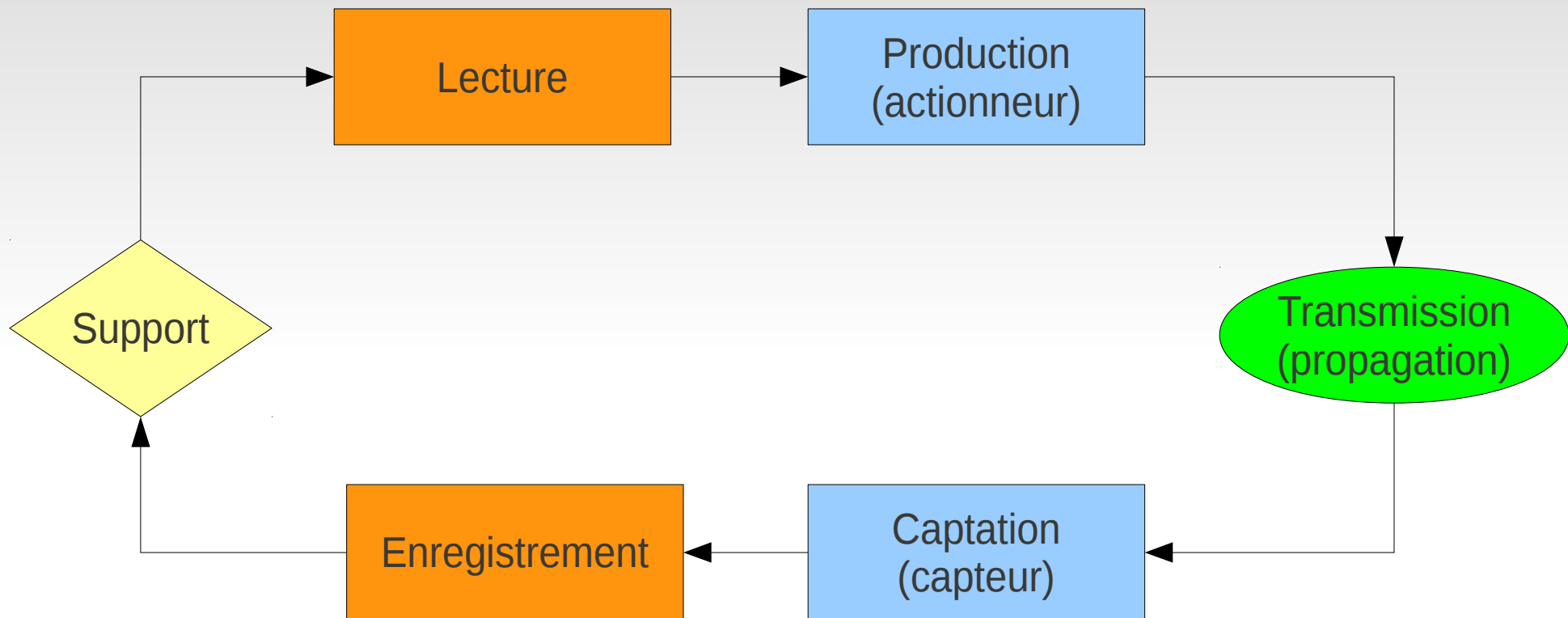
## Généralités

Bruno GAZENGEL

# Electroacoustique : définition

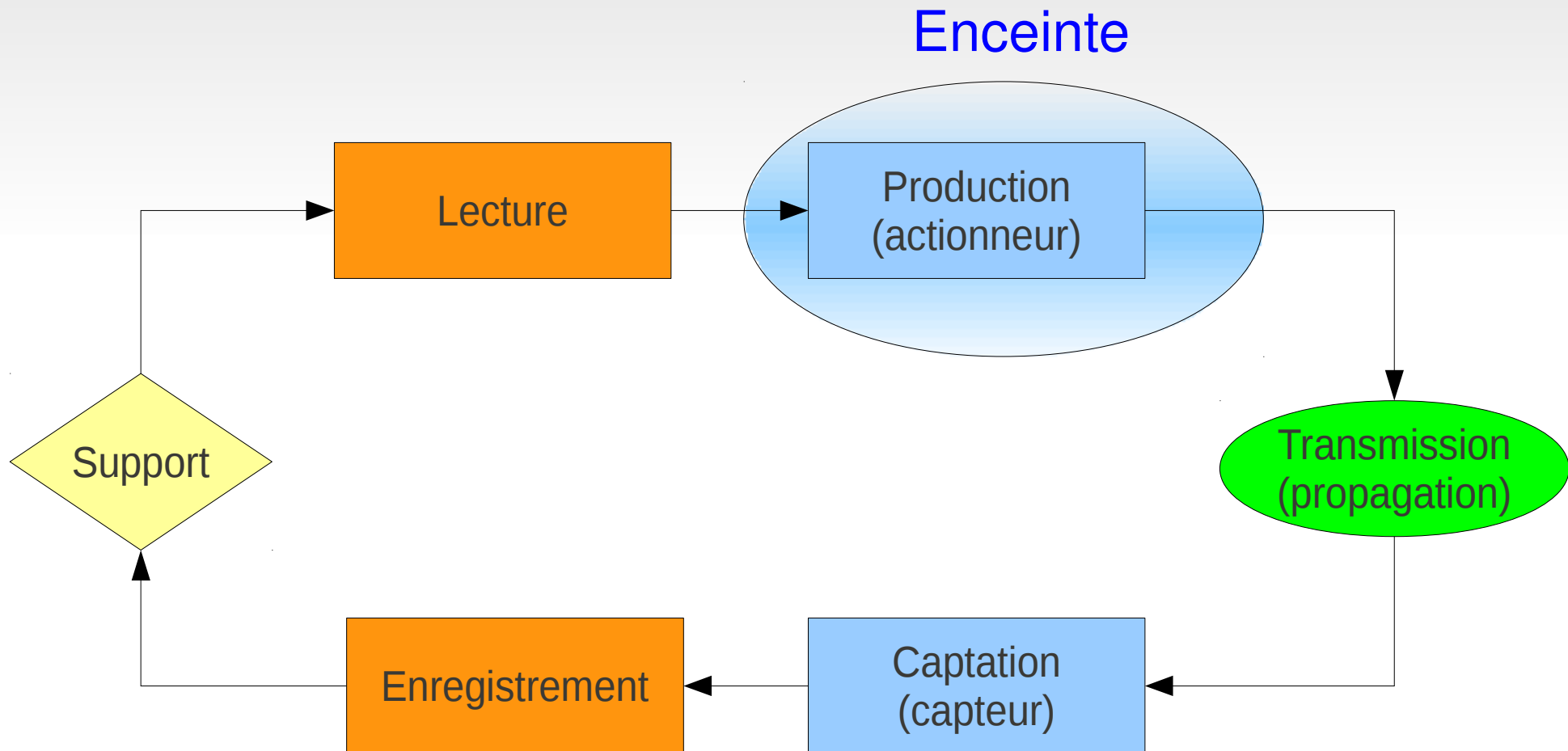
- L'électroacoustique est la branche de l'acoustique se rapportant aux techniques de production, de transmission et d'enregistrement de signaux électriques porteurs d'informations relatives à des signaux acoustiques, ainsi qu'aux techniques de reproduction des signaux acoustiques par des moyens électriques.

# Electroacoustique



# Electroacoustique

- L'enceinte est un actionneur d'un point de vue de l'électroacoustique



# Enceinte : définition

- Une enceinte ou baffle[1] (écran en Français) est une caisse souvent en bois dans laquelle sont fixés des haut-parleurs, permettant la reproduction acoustique du son à partir d'un signal électrique produit par un amplificateur audio.



# A quoi sert l'enceinte

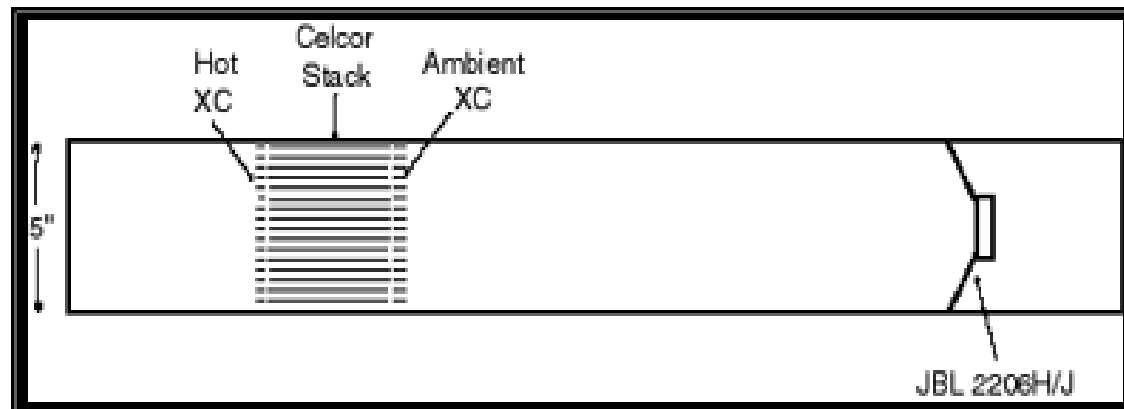
- Haut-parleur seul
  - Membrane vibrante générant deux ondes en opposition de phase sur les faces avant et arrière.
  - Ne génère pas bien les basses fréquences
  - Ne génère de l'énergie sonore que dans certaines directions de l'espace (rayonnement bi-directionnel)
- Illustrations
  - Vidéo du haut-parleur avec ou sans enceinte
  - Écoute du son produit par une source omnidirectionnelle et bi-directionnelle (simulation)

# Applications : industrie

- Systèmes de mesure
  - Sources de bruit pour bancs de mesure
    - Objectif : générer un bruit de niveau élevé dans une bande de fréquences imposée
    - Systèmes utilisés : haut-parleurs électrodynamiques en général
    - Exemple :
      - sources pour banc à écoulement,
      - sources pour cabine d'essai de satellite,
      - sources basses fréquences fort niveau

# Applications : industrie

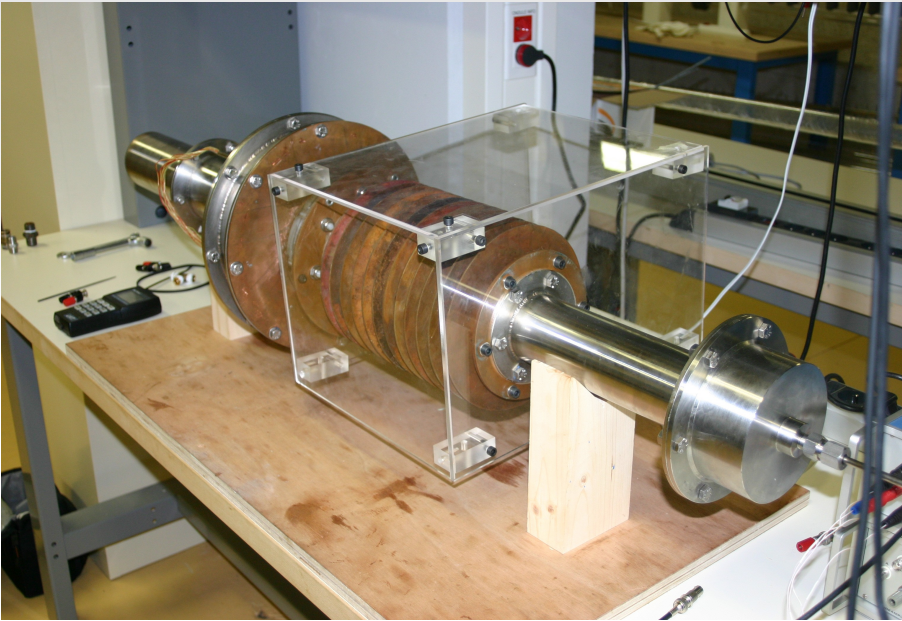
- Systèmes thermo-acoustiques
  - Objectif
    - Réfrigérateur : réaliser un transfert de chaleur
    - Moteur : générer un signal électrique à l'aide d'une source de chaleur. Intérêt : récupération de l'énergie perdue sous forme de chaleur.
  - Principe



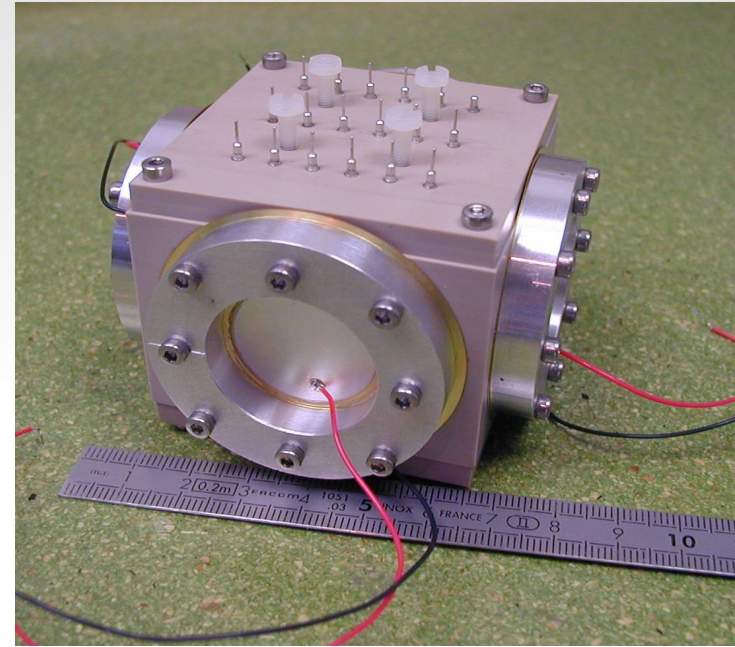


# Applications : industrie

- Systèmes thermo-acoustiques
  - Exemples



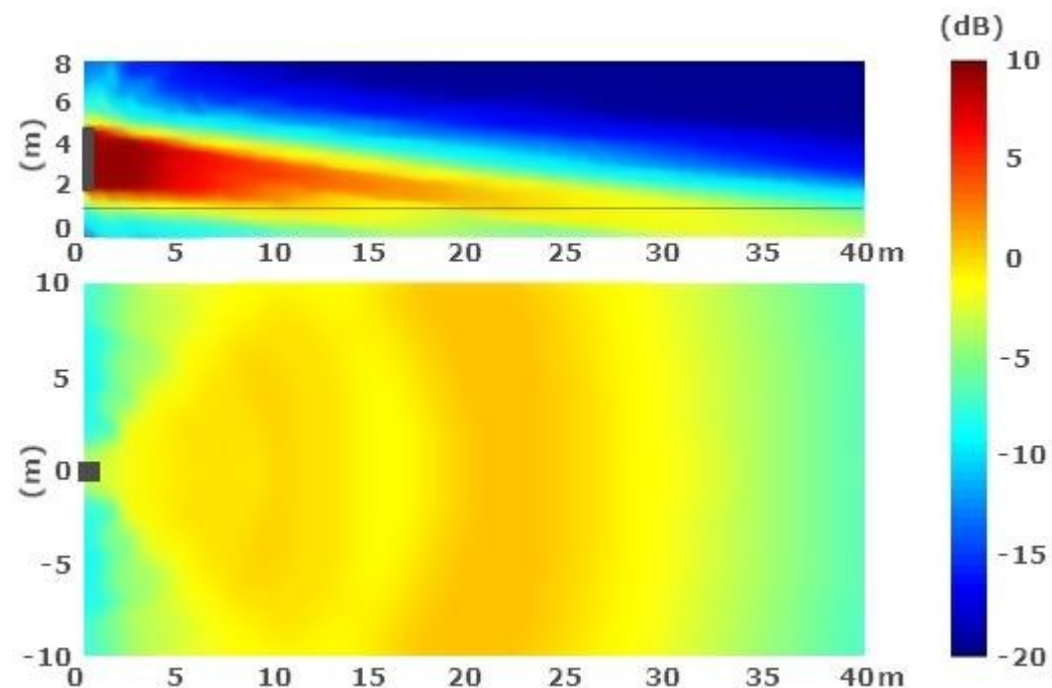
Réfrigérateur de démonstration  
(LAUM)



Réfrigérateurs  
compacts (Brevet LAUM)

# Applications : bâtiment

- Sonorisation de la parole en ERP
  - Objectif : diffuser des messages intelligibles dans des établissements recevant du public (ERP)
  - Principe : utilisation de systèmes de diffusion très directifs => les auditeurs entendent le champ direct essentiellement.



# Applications : bâtiment

- Sonorisation de la parole en ERP
  - Systèmes utilisés : colonnes de haut-parleur à directivité contrôlée
  - Exemples :

8 enceintes colonne « Step array »



# Applications : société

- Sonorisation pour muséographie
  - Objectif : diffuser des informations entendues uniquement devant une oeuvre ou une animation
  - Principe : utilisation de systèmes de diffusion très directifs très localisés.
  - Systèmes utilisés : antennes paramétriques.

# Applications : société

- Sonorisation pour muséographie
  - Exemples :
    - Antenne de pastilles piézo-céramiques
    - Antenne à film PVDF



# Applications : société

- Haute Fidélité
  - Objectif : diffuser de la musique avec une très grande qualité de reproduction.
  - Principe :
    - Connaître les indicateurs pertinents de qualité (études psycho-acoustique).
    - Concevoir et réaliser des enceintes respectant ces critères (équilibre grave-médium-aigus, pas de coloration due aux non linéarités, phase linéaire, directivité, ...)
  - Systèmes utilisés : diffusion stéréophonique ou 5 + 1 par enceintes.

# Applications : société

- Téléphonie
  - Objectif : transmettre des messages de parole intelligibles par téléphones
  - Principe :
    - Captation de la parole. Eventuellement nécessité de limiter le bruit ambiant.
    - Restitution du son dans l'oreille ou en situation « mains libres »
  - Systèmes utilisés : haut-parleurs de petites dimensions. Systèmes à coût réduit.

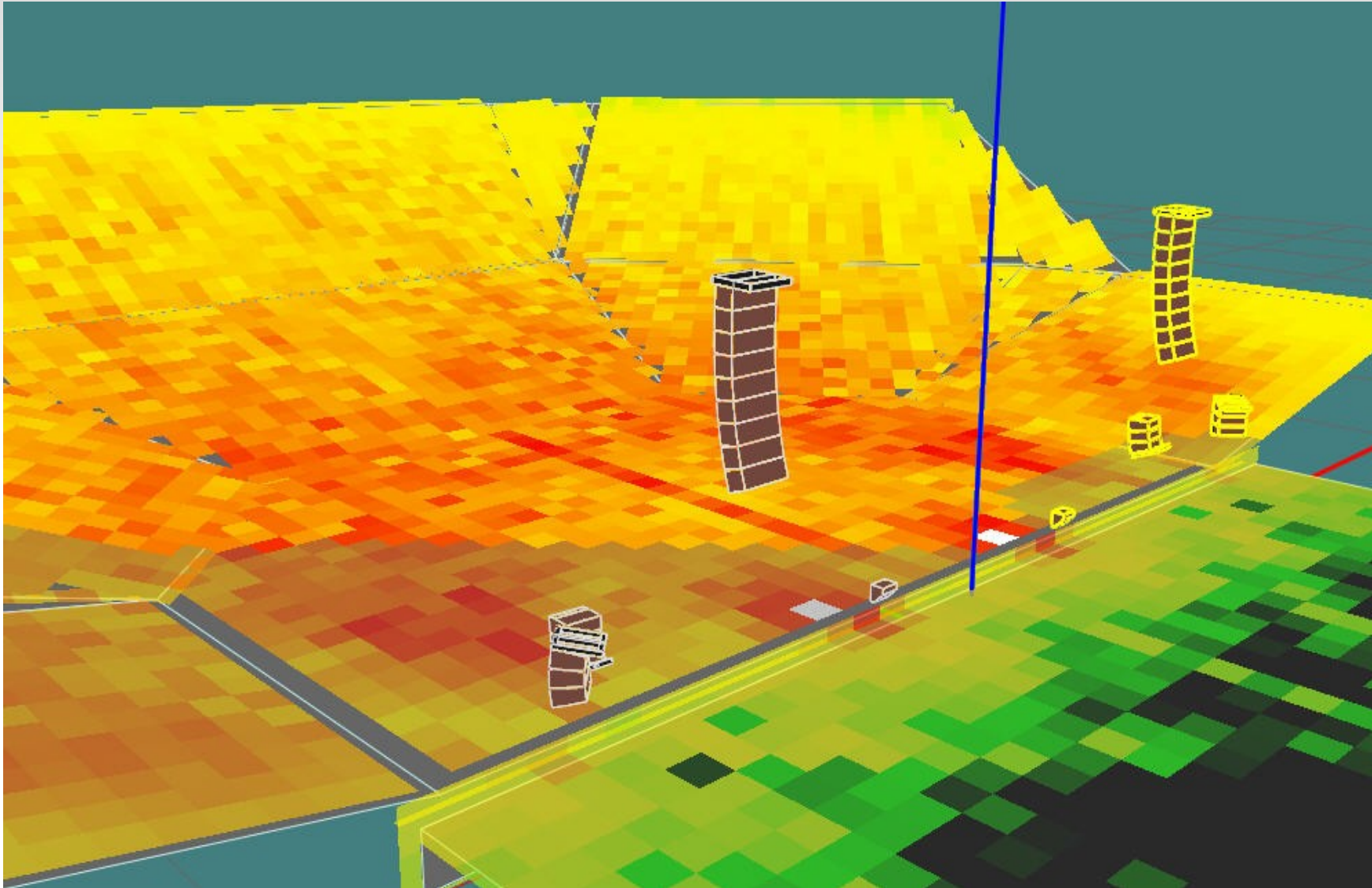
# Applications : société

- Sonorisation
  - Objectif : enregistrer et diffuser de la musique avec la plus grande qualité possible.
  - Principe :
    - Restitution du son par des systèmes de diffusion permettant d'obtenir un niveau sonore homogène sur l'ensemble du public.



# Applications : société

- Prise de son, sonorisation

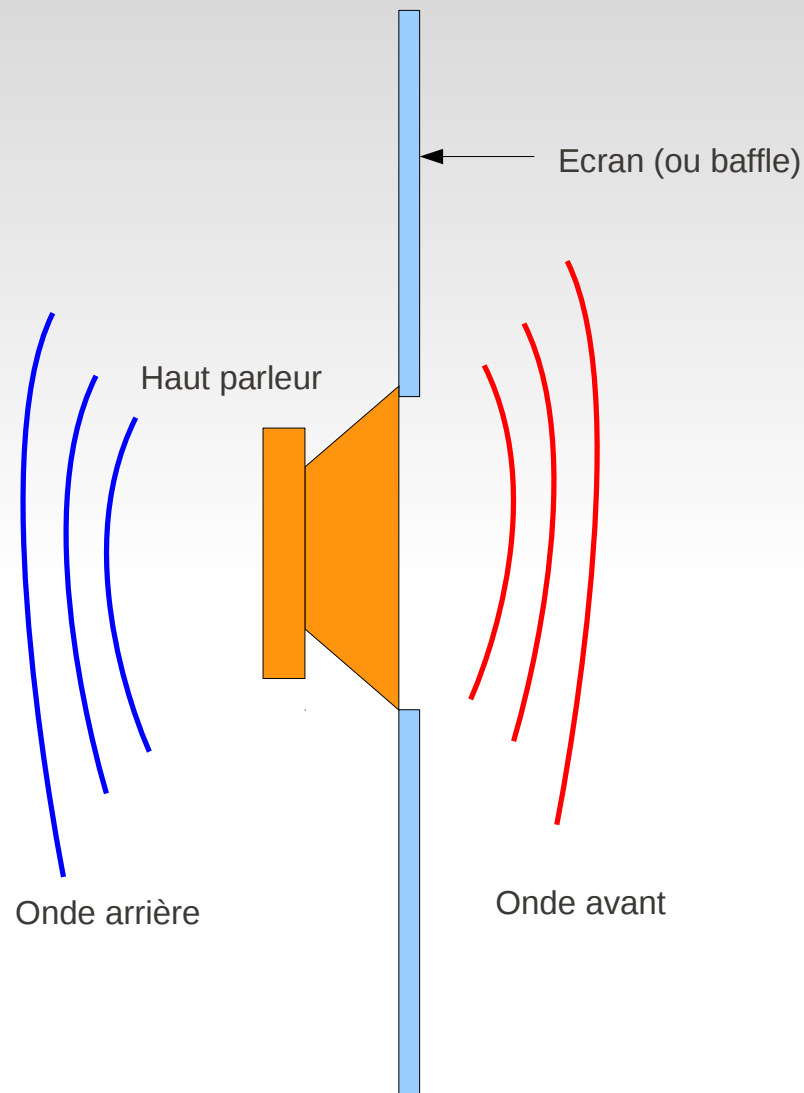


# Applications : société

- Sonorisation
  - Systèmes utilisés :
    - Réseaux de haut-parleurs permettant une décroissance lente du niveau sonore.

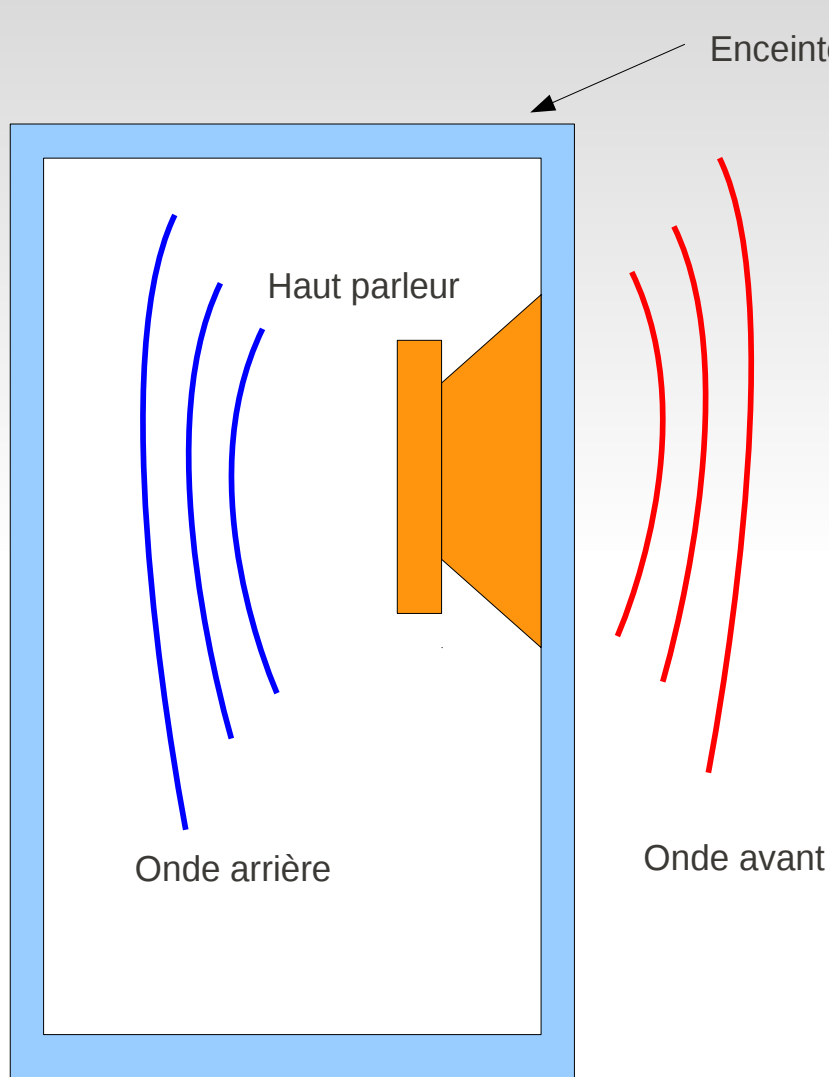


# Types d'enceintes



- Ecran (ou baffle)
  - Permet le découplage des ondes avant et arrière pour une fréquence supérieure à une fréquence liée à la taille de l'écran
  - Permet d'augmenter le niveau des basses fréquences

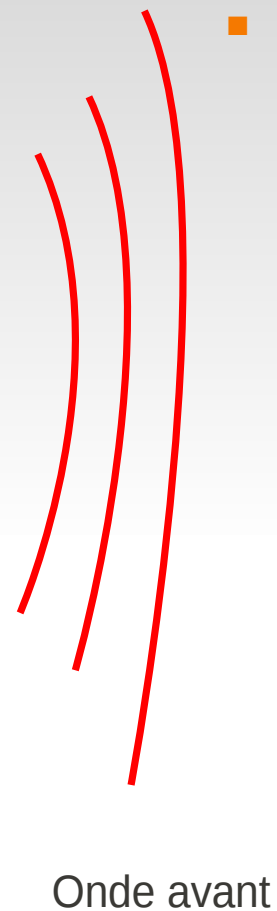
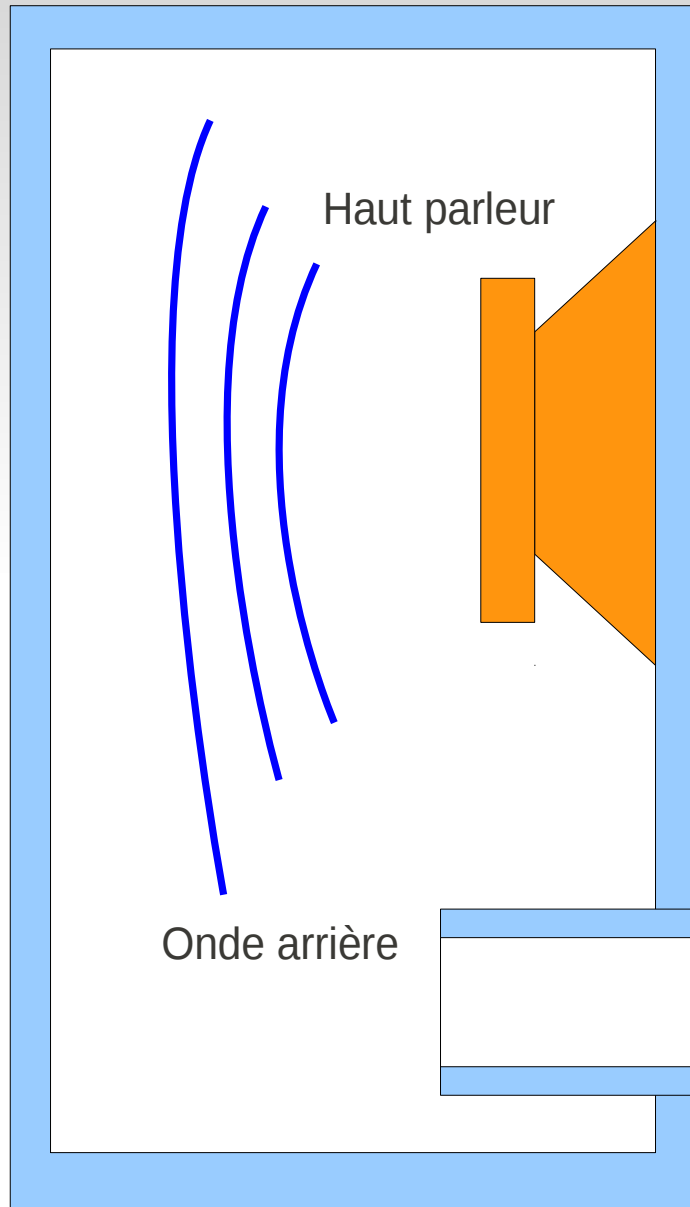
# Types d'enceintes



## Enceinte close

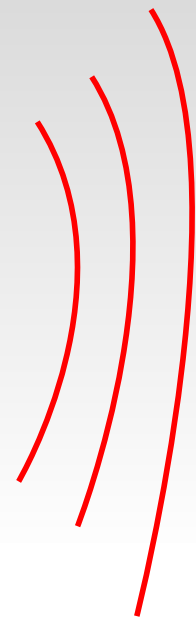
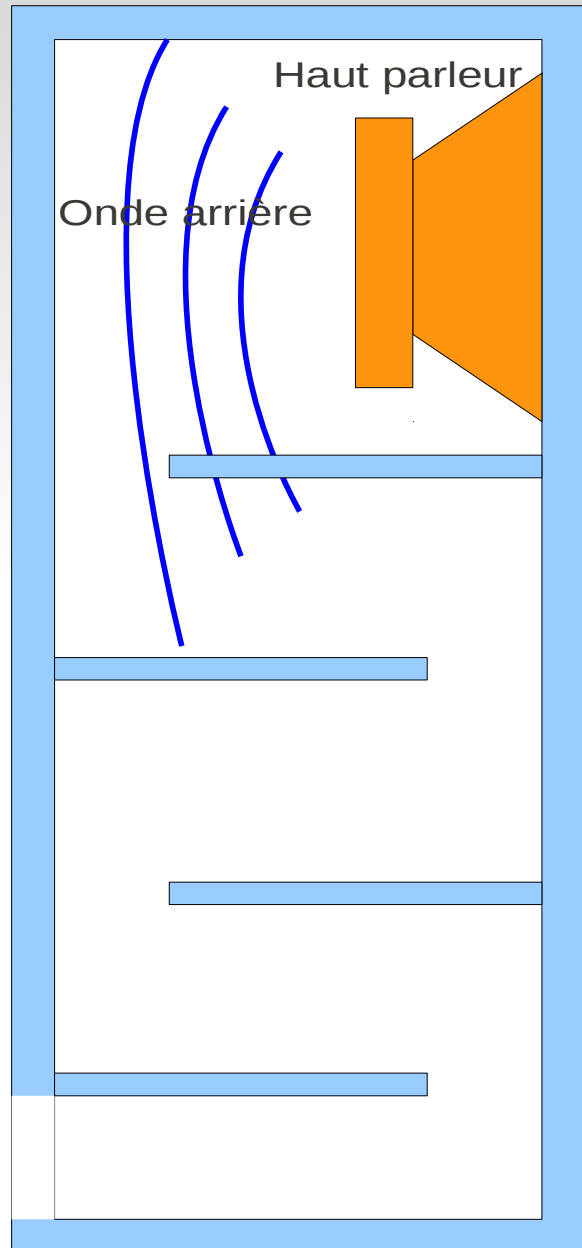
- Permet de séparer l'onde avant de l'onde arrière
- Rayonnement omnidirectionnel aux basses fréquences
- Restitue les basses fréquences (supérieures à une fréquence liée au haut-parleur et à l'enceinte)

# Types d'enceintes



- Enceinte à évent
  - Permet de séparer l'onde avant de l'onde arrière
  - Permet de réaliser des enceintes de petite taille restituant les basses fréquences

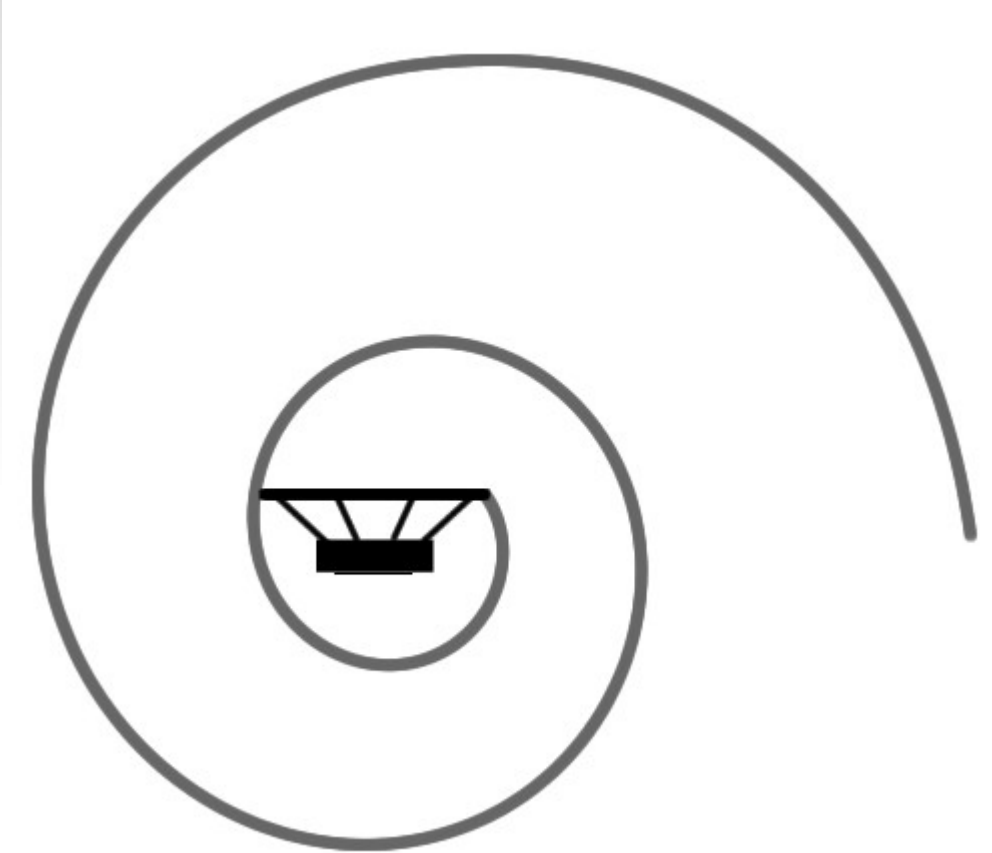
# Types d'enceintes



Onde avant

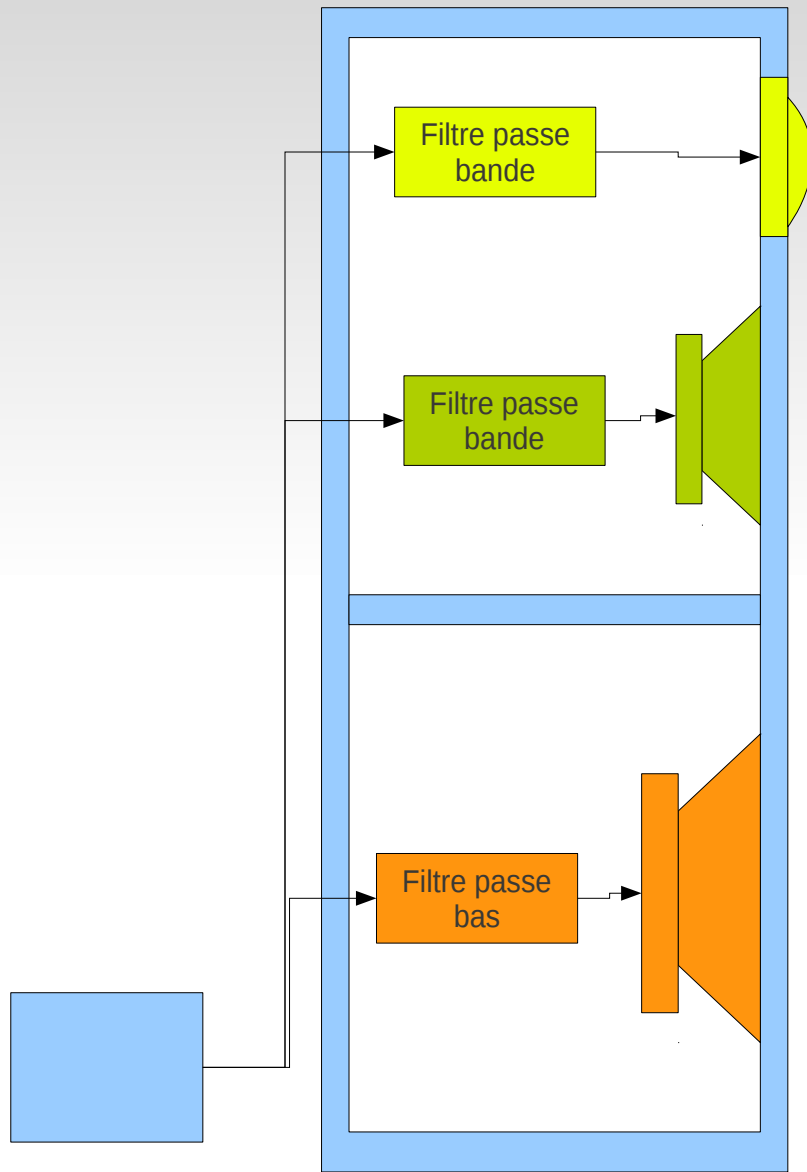
- Enceinte à labyrinthe
  - Permet de renforcer l'onde avant par l'onde arrière pour certaines fréquences
  - Permet de réaliser des enceintes de petite taille restituant les basses fréquences

# Types d'enceintes



- Enceinte à pavillon
  - Permet de renforcer le transfert d'énergie du haut-parleur vers l'air
  - La pavillon ne restitue pas les basses fréquences et apporte une coloration

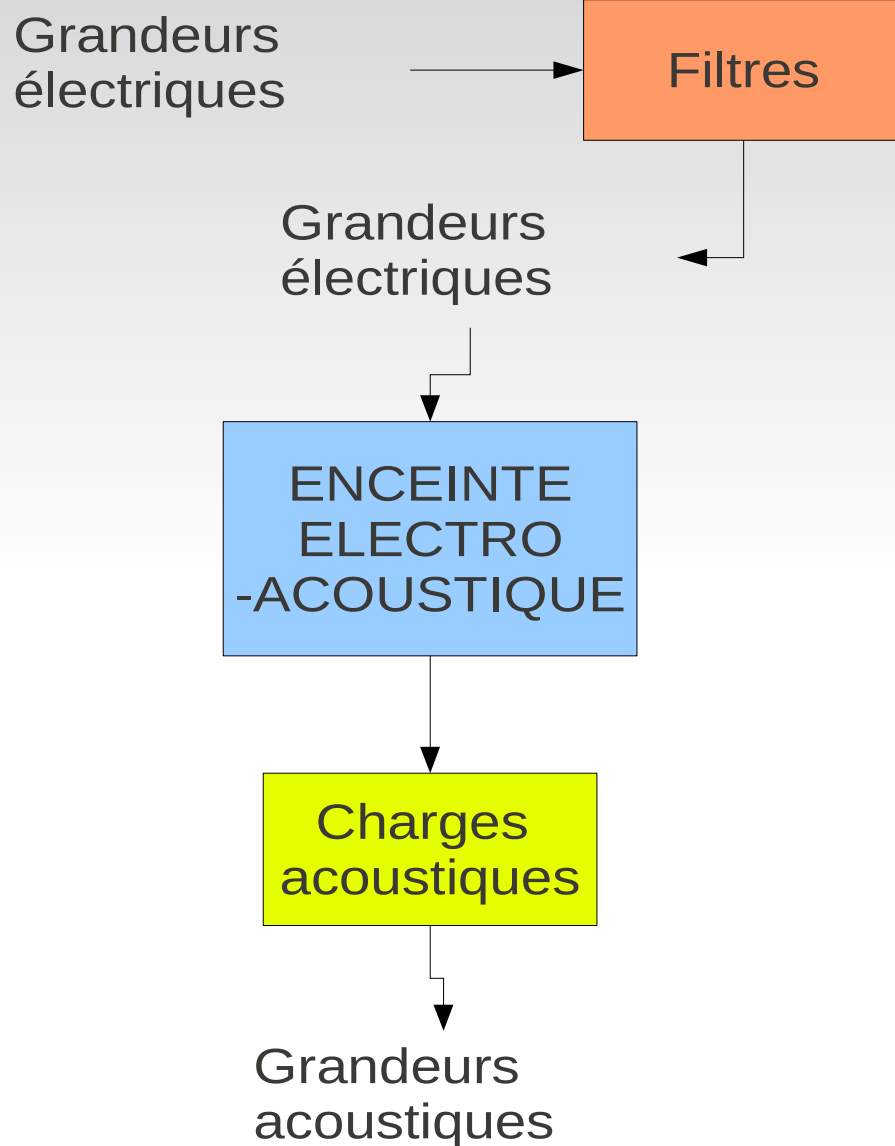
# Constitution des enceintes



- Utilisation de plusieurs haut-parleurs pour couvrir toute la bande audible (40 Hz – 20000 Hz)
- Nécessité d'utiliser des filtres électriques pour répartir l'énergie aux différents haut-parleurs



# Formalisation

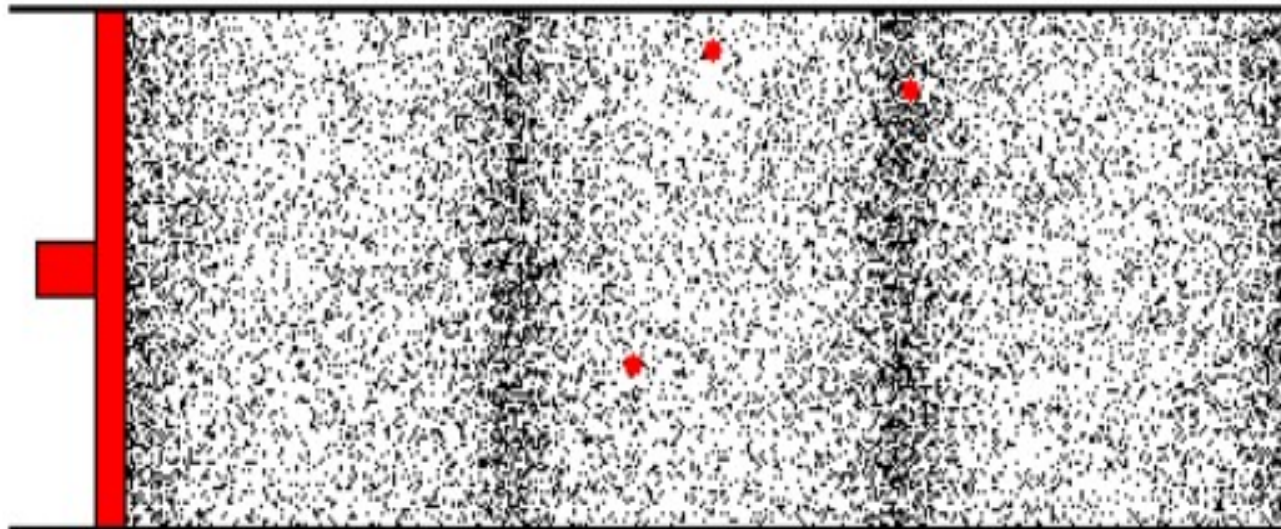


- Grandeurs électriques
  - Tension (V)
  - Intensité (A)
- Grandeurs acoustiques
  - Pression acoustique (Pa) ou dB
  - Vitesse acoustique (m/s)

# Formalisation

- Pression acoustique
  - Ecart instantané de la pression autour de la pression atmosphérique
- Vitesse acoustique
  - Ecart instantané de la vitesse d'une particule autour de la vitesse moyenne (écoulement)

Longitudinal Wave



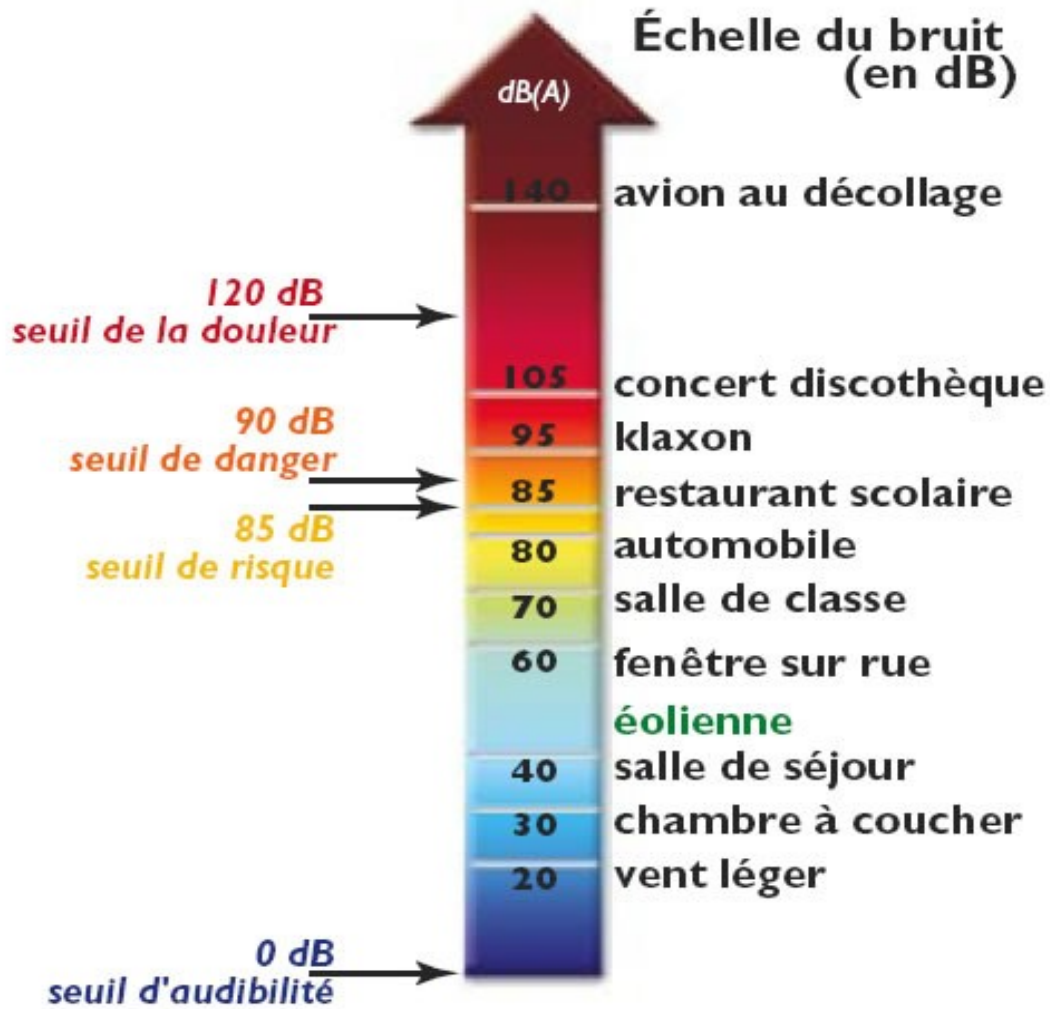
# Formalisation

- Pression acoustique : échelle des décibels
  - Décibel : 1/10 de Bel,  $1 \text{ Bel} = 10 \log_{10} (W_2 / W_1)$  où  $W_1$  et  $W_2$  sont 2 puissances (exprimées en Watt)
  - Définition du dB SPL (Sound Pressure Level)

Niveau en dB SPL :  $L_{\text{dB}} = 20 \log_{10} (P / P_0)$  où  $P$  est la pression acoustique (en Pa) et  $P_0$  est la pression de référence ( $P_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ )
- Vitesse acoustique en champ libre
  - La vitesse est liée à la pression en champ libre par l'impédance caractéristique de l'air  $\rho c$  ( $\sim 400 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}$ )
  - $$v = \frac{p}{\rho c}$$

# Formalisation

- Ordres de grandeur



Niveau en dB SPL	Pression acoustique en Pa	Vitesse acoustique en mm/s
120	20	50
100	2	5
80	0,2	0,5
60	0,02	0,05
40	0,002	0,005

# Caractérisation des enceintes

- Sensibilité, efficacité
- Rendement
- Bande passante
- Directivité

# Caractérisation des systèmes

- Efficacité
  - Pour un haut-parleur ou une enceinte
    - Efficacité = Pression (Pa)/Tension (V). Elle doit être définie à une position précise par rapport à un repère lié à la source
    - En général, l'efficacité est définie en dB/W/m



$$\text{Efficacité} = \text{Grandeur mécanique ou acoustique} / \text{Grandeur électrique}$$

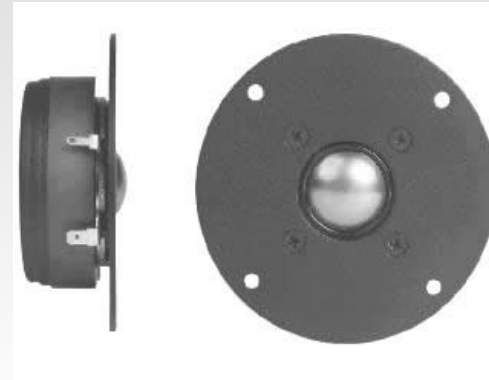
# Caractérisation des enceintes

- Haut parleurs de sonorisation



Efficacité =  
103 dB/W/m

- Haut parleur de Hi Fi



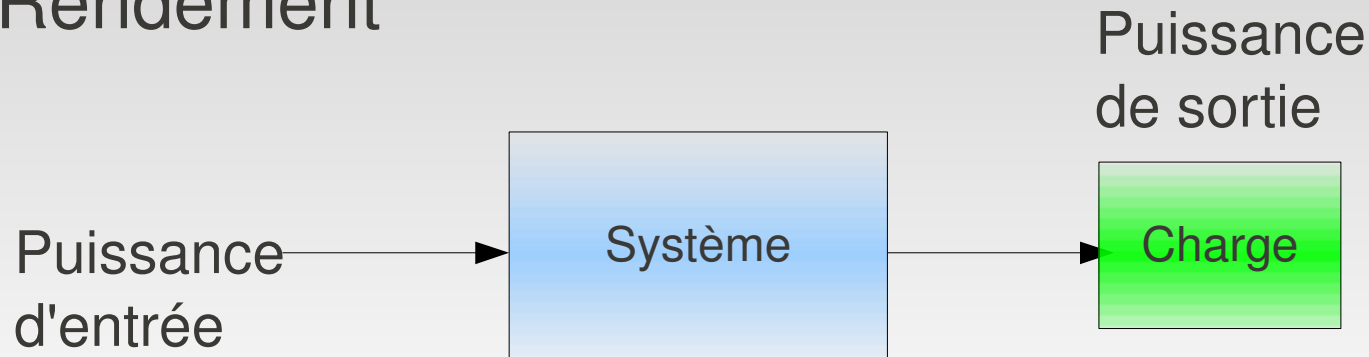
Efficacité =  
91 dB/W/m



Efficacité =  
89 dB/W/m

# Caractérisation des enceintes

- Rendement



$$\text{Rendement} = \text{Puissance de sortie} / \text{puissance d'entrée}$$

- Exemples



Rendement = 2 %

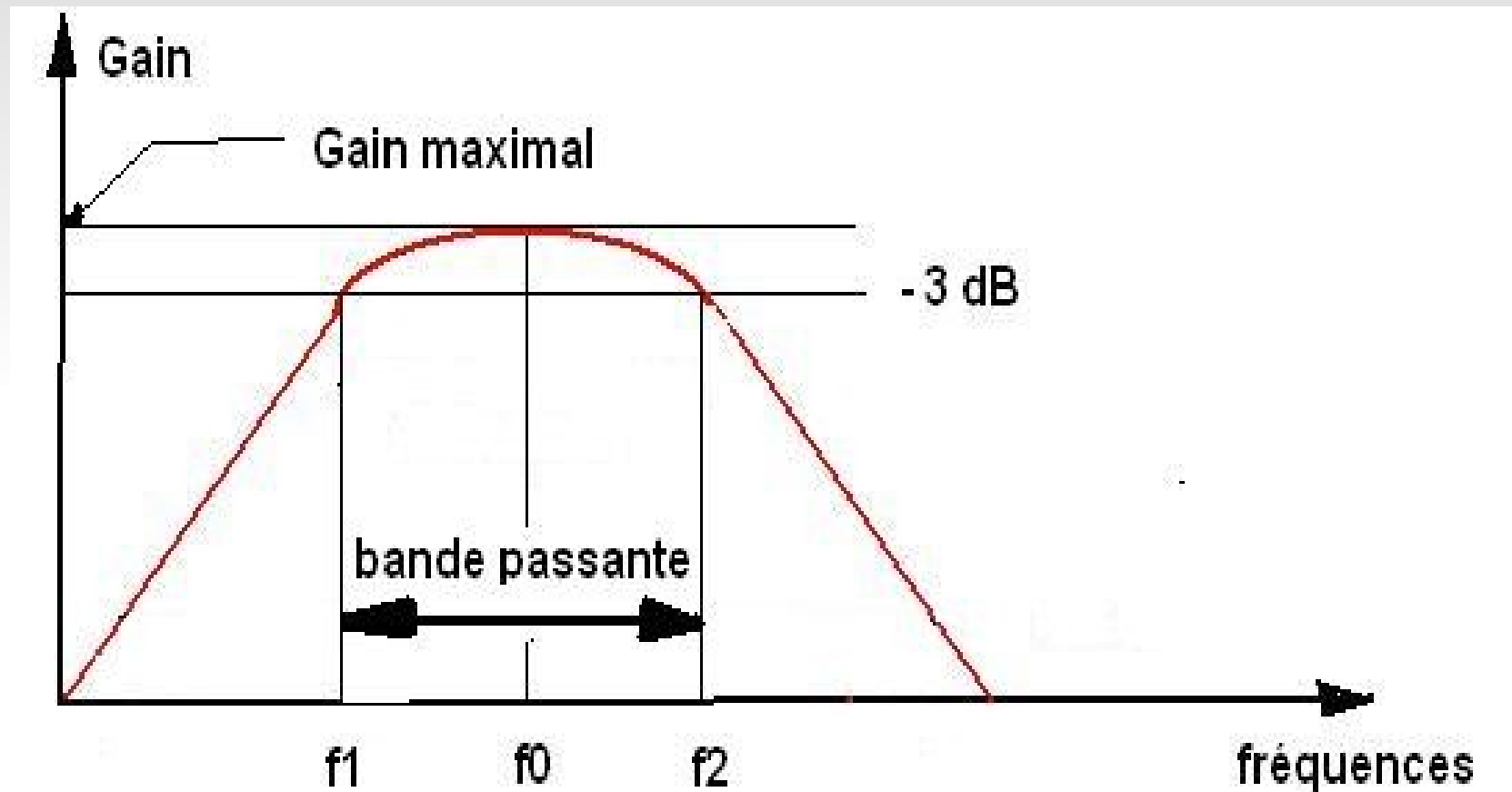


Rendement = 80 %



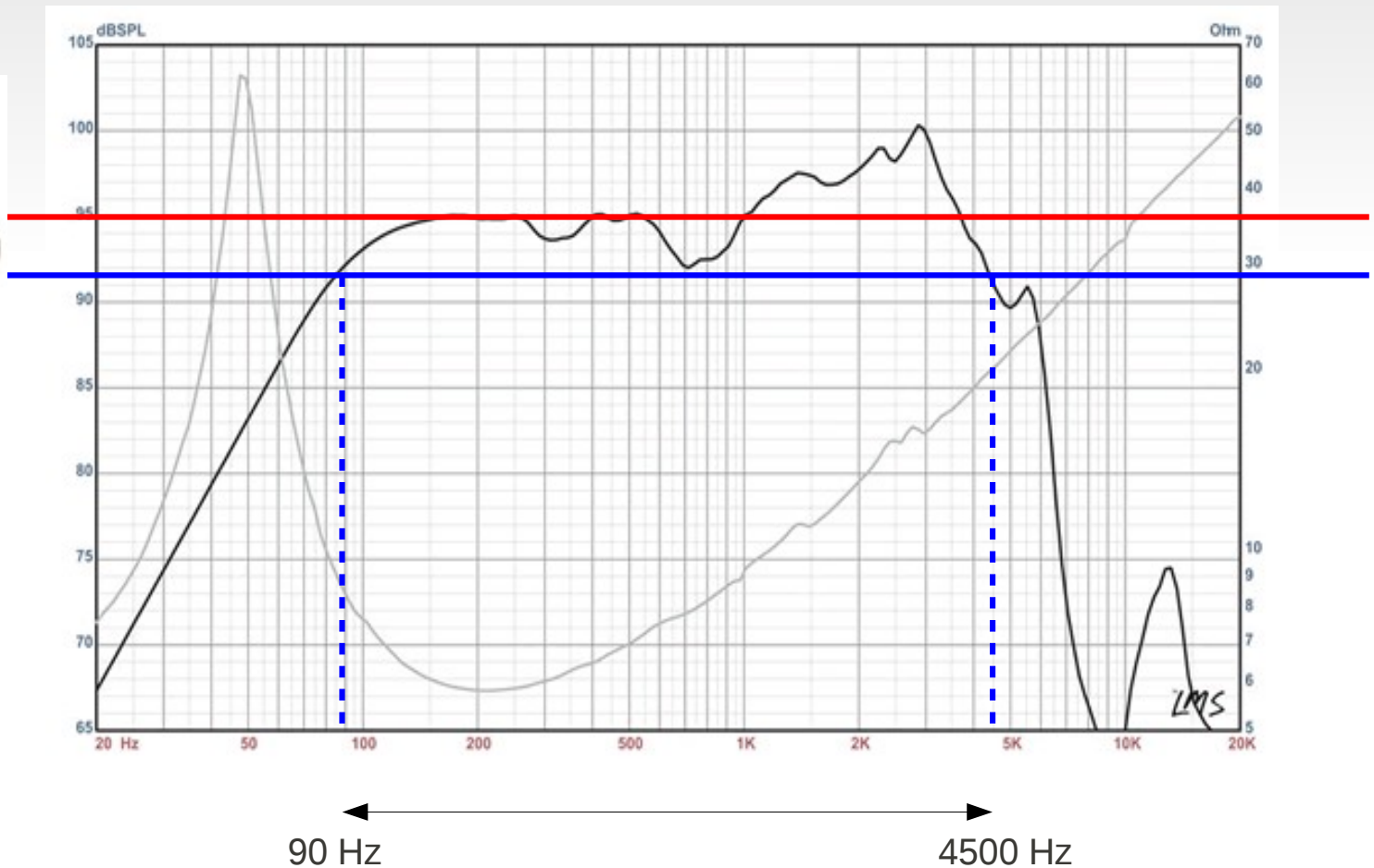
# Caractérisation des enceintes

- Bande passante



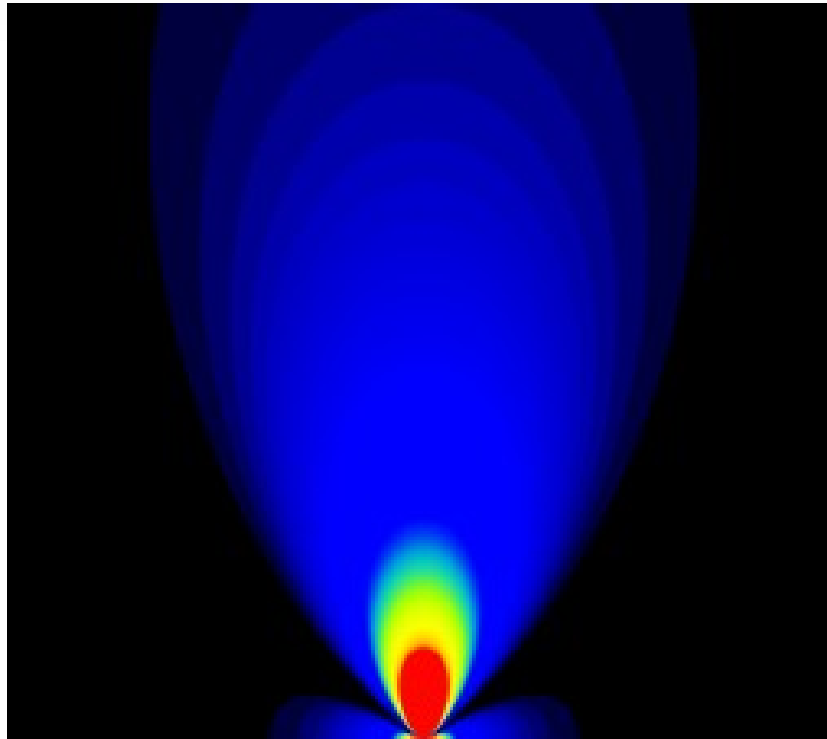
# Caractérisation des systèmes

- Bande passante
  - Exemple



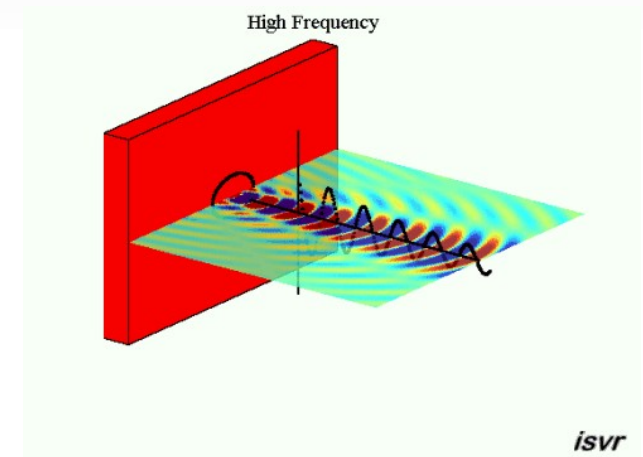
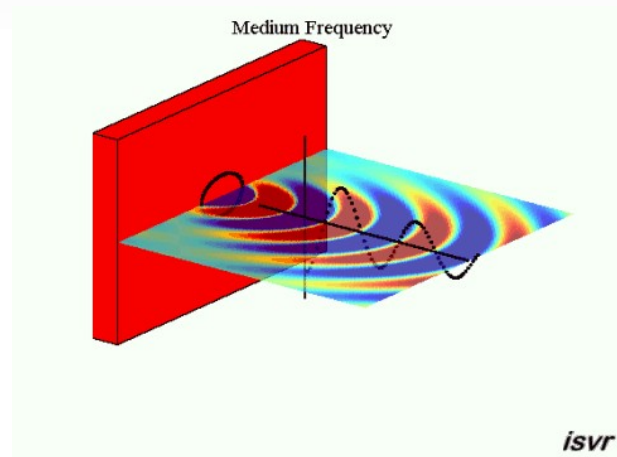
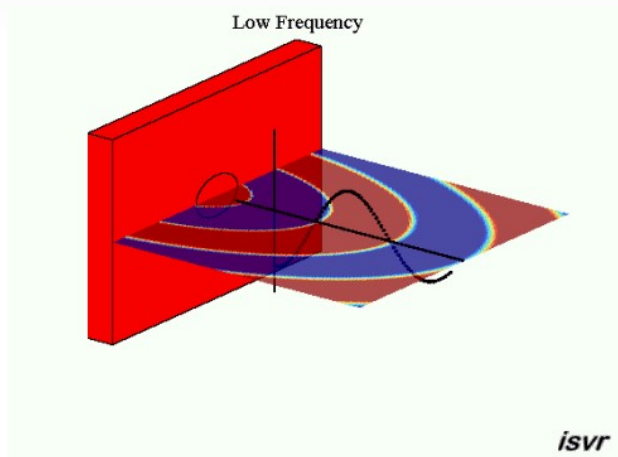
# Caractérisation des systèmes

- Directivité
  - Variation de la valeur de l'efficacité en fonction de l'angle d'observation : traduit l'aptitude d'un système électroacoustique à capter ou à générer de l'énergie dans une direction privilégiée de l'espace



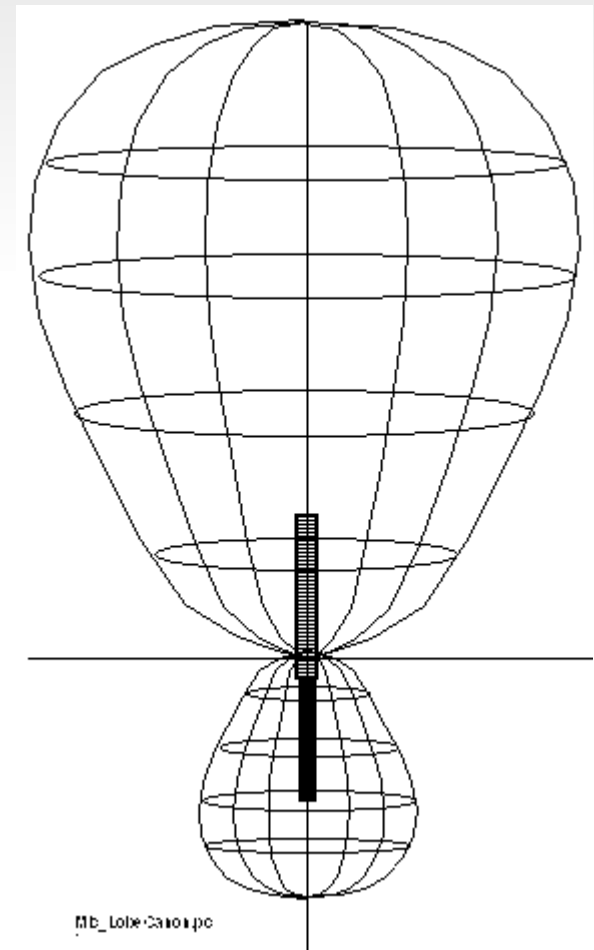
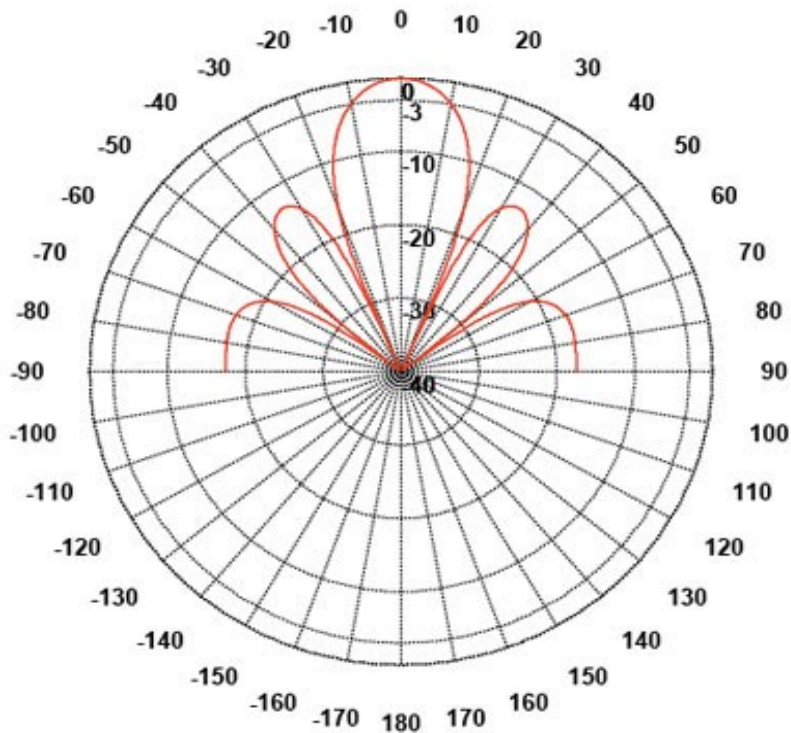
# Caractérisation des systèmes

- Directivité
  - la directivité dépend généralement de la fréquence (notamment pour un haut-parleur)



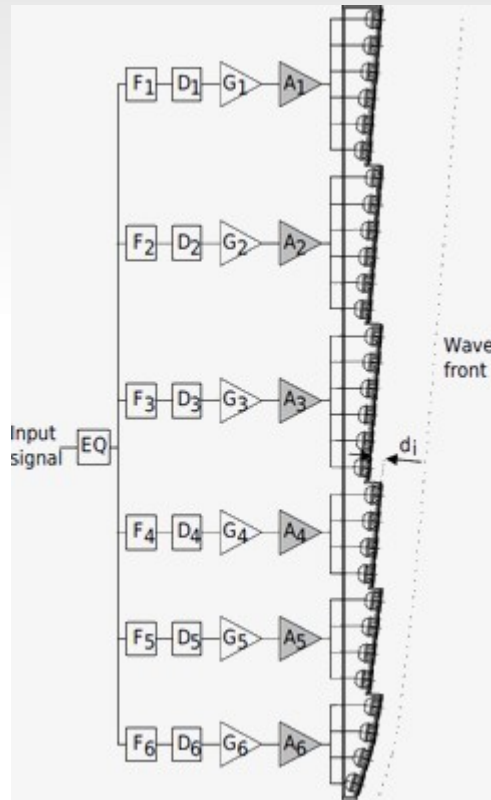
# Caractérisation des enceintes

- Directivité
  - Représentation en diagramme polaire ou en diagramme 3D

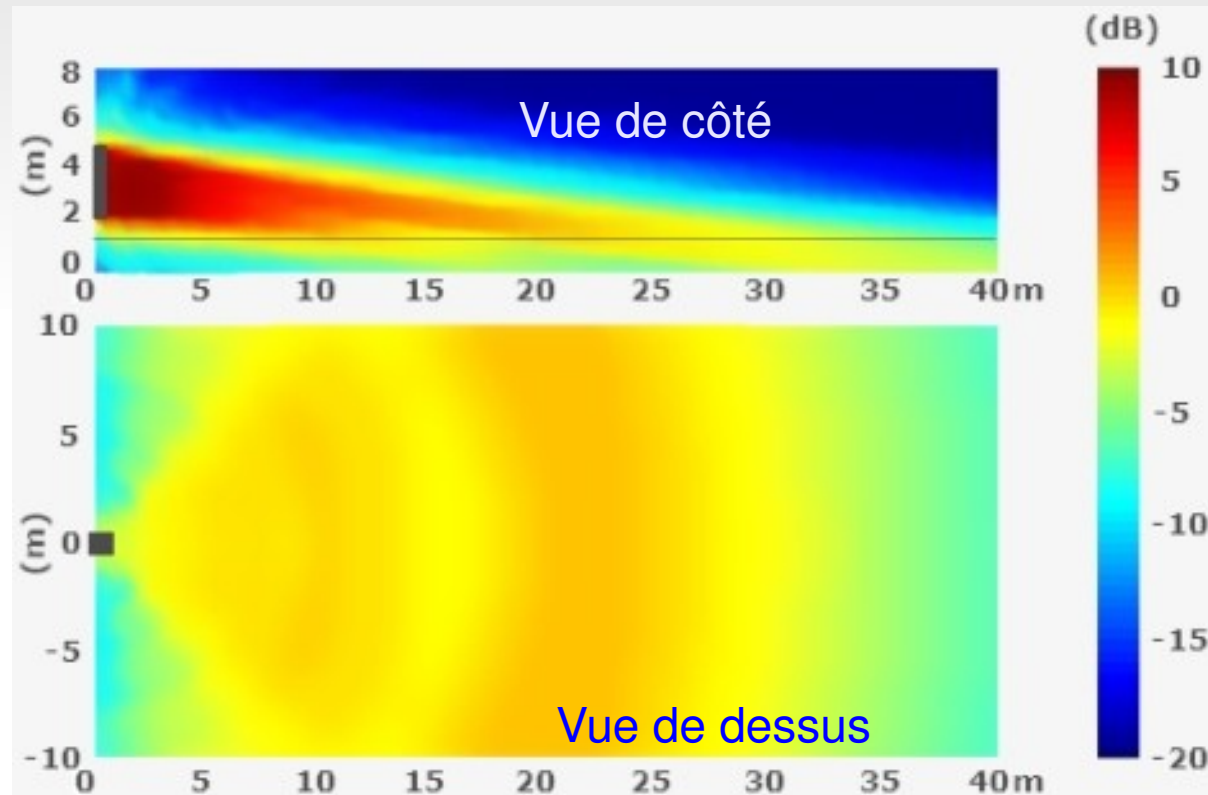


# Caractérisation des systèmes

- Directivité
  - Exemples : haut-parleurs



Vue de côté



Couverture d'un réseau de haut-parleurs

# Outils mathématiques

- Hypothèse
  - Toutes les grandeurs physiques, par exemple  $x$ , dépendent du temps et s'écrivent  $x(t) = X_m \cos(2\pi f t + \phi)$ 
    - $X_m$  est la valeur crête (ou maximale)
    - $f$  est la fréquence
    - $t$  est le temps
    - $\phi$  est la phase (par rapport à une référence)
  - Cela suppose un fonctionnement en régime stationnaire (pas de transitoire) à une fréquence  $f$  pure.

# Outils mathématiques

- Notation complexe
  - Supposant qu'une variable s'écrit  $x(t) = X_m \cos(2\pi f t + \phi)$
  - $x(t)$  est vue comme la partie réelle d'une variable complexe  $X = X_m e^{(j\omega t + \phi)} = X_m e^{j\phi} e^{j\omega t}$
  - Pour les calculs, considérant que les phénomènes dépendent toujours du temps, on ne considère que l'amplitude complexe de  $x$ , qui s'écrit  $\bar{X} = X_m e^{j\phi}$
  - En pratique, les calculs sont réalisés avec  $\bar{X}$
- Exemple
  - La pression acoustique à l'oreille d'un auditeur s'écrit en général  $P e^{j\phi_p}$
  - $P$  représente l'amplitude maximale de la pression et  $\phi_p$  représente la phase par rapport à une grandeur de référence



# Outils mathématiques

- Notion d'amplitude
  - Considérant la notation complexe  $\bar{X} = X_m e^{j\phi}$ ,  $X_m$  est la valeur crête de  $X$ .
  - La valeur crête peut dépendre de la fréquence. Par exemple la pression acoustique rayonnée par une enceinte n'est pas la même à toutes les fréquences. On écrit dans ce cas  $P_m(\omega)$
  - Amplitude efficace : pour un signal sinusoïdal, la valeur efficace de  $X$  est  $X_{eff} = \frac{X_m}{\sqrt{2}}$

# Outils mathématiques

- Notion de phase
  - Considérant la notation complexe  $\bar{X} = X_m e^{j\phi}$  ,  $\phi$  est la phase de  $X$  (exprimée en radians).
  - A une fréquence  $f$  donnée, la phase traduit le retard du signal  $x(t)$  par rapport à UNE REFERENCE.
  - Le retard est donné par  $\tau = \frac{\phi}{2\pi f}$
  - La phase dépend généralement de la fréquence, elle est notée  $\phi(\omega)$
  - Un signal qui est en retard pour toutes les fréquences par rapport à une référence possède une PHASE LINEAIRE.

# Bibliographie

- <http://static.brouchier.com/Le-son/Haut-parleurs%20et%20enceintes%20acoustiques.pdf>