Introduction à l'électroacoustique

A. Arciniegas

IUT Cergy-Pontoise, Dep GEII, site de Neuville

Plan du cours

Avant propos

Avant propos

Pré-requis

- Utiliser les concepts du traitement du signal pour l'étude des grandeurs électriques ;
- Utiliser les concepts fondamentaux de physique (mécanique et électricité).

Avant propos

Pré-requis

- Utiliser les concepts du traitement du signal pour l'étude des grandeurs électriques ;
- Utiliser les concepts fondamentaux de physique (mécanique et électricité).

Contenu et objectifs

- Connaître les grandeurs associées aux systèmes électroacoustiques ;
- Étudier la transduction mécano-électrique dans le cas d'un microphone ;
- Étudier la transduction électro-mécanique dans le cas d'un haut-parleur.

Avant propos

Pré-requis

- Utiliser les concepts du traitement du signal pour l'étude des grandeurs électriques ;
- Utiliser les concepts fondamentaux de physique (mécanique et électricité).

Contenu et objectifs

- Connaître les grandeurs associées aux systèmes électroacoustiques ;
- Étudier la transduction mécano-électrique dans le cas d'un microphone ;
- Étudier la transduction électro-mécanique dans le cas d'un haut-parleur.

Déroulement

- 3 séances de TD en lien avec la SAÉ ESE du S3.
- Évaluation en fin du semestre (comprise dans l'examen de physique spécialisée).

Définitions

Transducteur

Système qui transforme l'énergie reçue sous une forme donnée (par exemple : mécanique, thermique, lumineuse) en énergie utilisable sous une forme différente (par exemple : acoustique, électrique).

Définitions

Transducteur électroacoustique

Système qui transforme une énergie acoustique (onde sonore) en énergie électrique (signal).

Transducteur linéaire

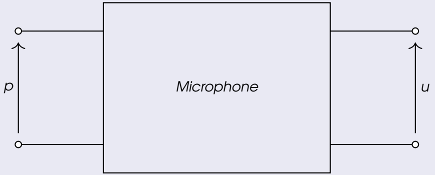
Système qui pour une fréquence donnée, la grandeur de sortie est proportionnelle à celle d'entrée.

Définitions

Transducteur linéaire

Système qui pour une fréquence donnée, la grandeur de sortie est proportionnelle à celle d'entrée.

Exemples :



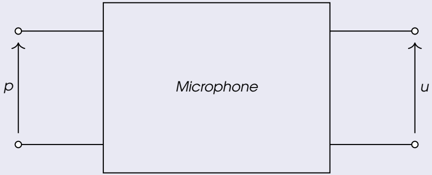
p : pression acoustique en (Pa)
u : tension électrique en (V)

Définitions

Transducteur linéaire

Système qui pour une fréquence donnée, la grandeur de sortie est proportionnelle à celle d'entrée.

Exemples :



p : pression acoustique en (Pa)
u : tension électrique en (V)

Définitions

Transducteur réversible

Système que, si alimenté par une source électrique, il est capable de fournir une énergie acoustique.

Définitions

Transducteur réciproque

Système que si, lors de son fonctionnement réversible, il constitue une source de débit D ($m^3.s^{-1}$) proportionnelle au courant d'excitation i (A) tel que :

Transducteur réciproque

Système que si, lors de son fonctionnement réversible, il constitue une source de débit D ($m^3.s^{-1}$) proportionnelle au courant d'excitation i (A) tel que :

$$\frac{D}{i} = \frac{u}{p}$$

Premier exemple de capteur électroacoustique : l'oreille

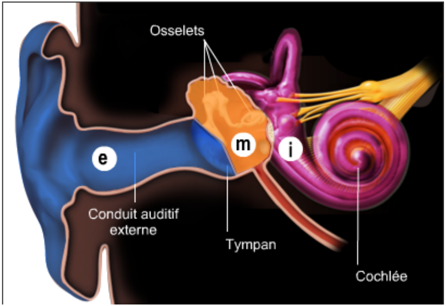


Schéma général de l'oreille (Crédit : Cochlea.eu).

- L'oreille est le siège d'une captation de la pression acoustique (stimulus), transformée en influx nerveux au cerveau (perception).

L'oreille

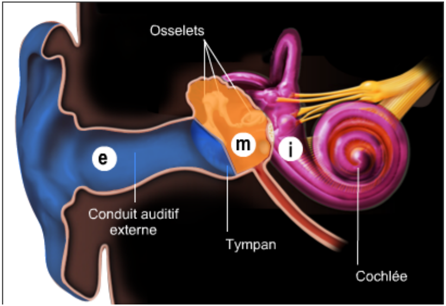


Schéma général de l'oreille (Crédit : Cochlea.eu).

- L'oreille est le siège d'une captation de la pression acoustique (stimulus), transformée en influx nerveux au cerveau (perception).
- Le stimulus résulte de la transmission d'une perturbation acoustique vers le tympan,
  $\rightarrow$ transduction acousto-mécanique.

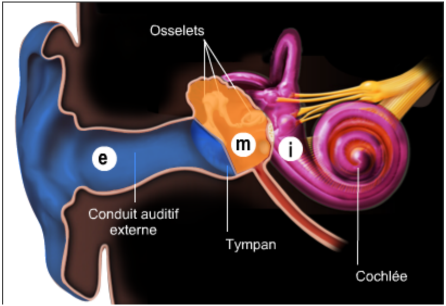


Schéma général de l'oreille (Crédit : Cochlea.eu).

- L'oreille est le siège d'une captation de la pression acoustique (stimulus), transformée en influx nerveux au cerveau (perception).
- Le stimulus résulte de la transmission d'une perturbation acoustique vers le tympan,
  $\rightarrow$ transduction acousto-mécanique.
- L'information est transmise via les osselets de l'oreille moyenne à l'oreille interne.

L'oreille

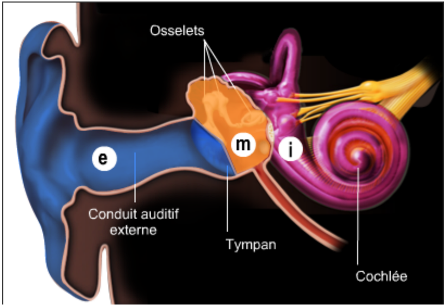


Schéma général de l'oreille (Crédit : Cochlea.eu).

- L'oreille est le siège d'une captation de la pression acoustique (stimulus), transformée en influx nerveux au cerveau (perception).
- Le stimulus résulte de la transmission d'une perturbation acoustique vers le tympan,
  → <u>transduction acousto-mécanique</u>.
- L'information est transmise via les osselets de l'oreille moyenne à l'oreille interne.
- Il s'en suit une mise en vibration des organes de l'oreille interne, et en particulier de cellules spécialisées qui transmettent l'information au cerveau,
  → <u>transduction mécano-éléctrique</u> (siège à la cochlée).

L'oreille

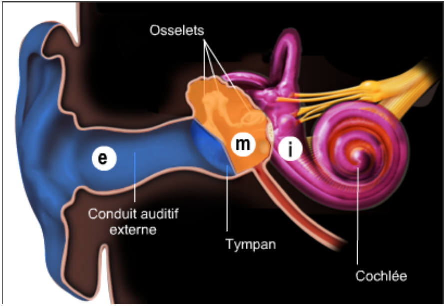


Schéma général de l'oreille (Crédit : Cochlea.eu).

Fonctionnement général

- **Oreille externe :** captation de l'éxterieur (pavillon, conque, conduit) et canalisation vers l'oreille moyenne.

L'oreille

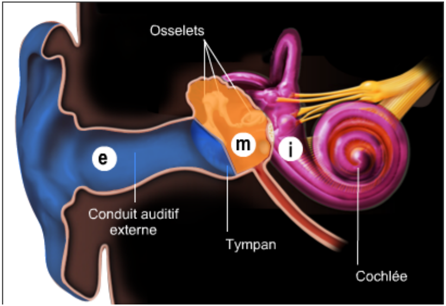


Schéma général de l'oreille (Crédit : Cochlea.eu).

Fonctionnement général

- **Oreille externe :** captation de l'éxterieur (pavillon, conque, conduit) et canalisation vers l'oreille moyenne.
- **Oreille moyenne :** utilisation en tant que membrane (tympan) et système d'adaptation (osselets).

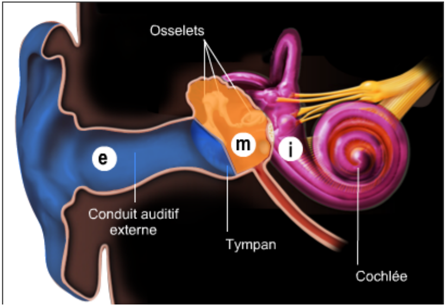


Schéma général de l’oreille (Crédit : Cochlea.eu).

Fonctionnement général

- **Oreille externe :** captation de l’éxterieur (pavillon, conque, conduit) et canalisation vers l’oreille moyenne.
- **Oreille moyenne :** utilisation en tant que membrane (tympan) et système d’adaptation (osselets).
- **Oreille interne :** transformation en information électrique (cochlée).

L'oreille

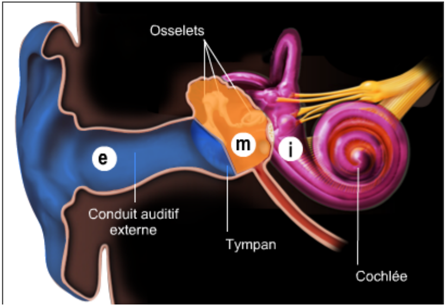


Schéma général de l'oreille (Crédit : Cochlea.eu).

Conclusion : audition humaine = phénomène acoustique→mécanique→électrique

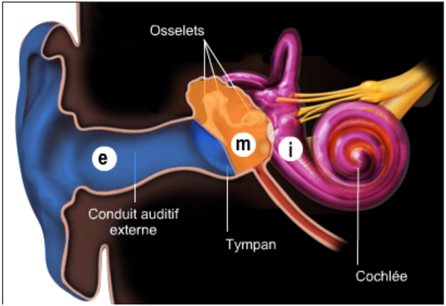


Schéma général de l'oreille (Crédit : Cochlea.eu).

Conclusion : audition humaine = phénomène acoustique→mécanique→électrique

Attention : la sensibilité de l'audition dépend de la fréquence...(de l'âge)

Outils mathématiques

Définition

L'expression analytique d'un signal sinusoïdal est donnée par :

$$s(t) = Acos(\omega t + \varphi)$$

Définition

L'expression analytique d'un signal sinusoïdal est donnée par :

$$s(t) = Acos(\omega t + \varphi)$$

avec :

- A : amplitude maximale ou valeur crête ;

Définition

L'expression analytique d'un signal sinusoïdal est donnée par :

$$s(t) = A cos(\omega t + \varphi)$$

avec :

- A : amplitude maximale ou valeur crête ;
- ω : pulsation (rad.s^{-1}), $\omega = 2\pi f$;

Signal sinusoïdal

Définition

L'expression analytique d'un signal sinusoïdal est donnée par :

$$s(t) = A\cos(\omega t + \varphi)$$

avec :

- A : amplitude maximale ou valeur crête ;
- ω : pulsation (rad.s^{-1}), $\omega = 2\pi f$;
- f : fréquence (Hz) ;

Définition

L'expression analytique d'un signal sinusoïdal est donnée par :

$$s(t) = A cos(\omega t + \varphi)$$

avec :

- A : amplitude maximale ou valeur crête ;
- ω : pulsation (rad.s^{-1}), $\omega = 2\pi f$;
- f : fréquence (Hz) ;
- φ : phase (rad) par rapport à l'origine des temps.

Définition

Signaux contenant un grand nombre de fréquences, pouvant être décomposés en une somme pondérée de signaux sinusoïdaux (*analyse de Fourier*).

Définition

Signaux contenant un grand nombre de fréquences, pouvant être décomposés en une somme pondérée de signaux sinusoïdaux (*analyse de Fourier*).

signal complexe = superposition de signaux sinusoïdaux

Définitions

- Un nombre complexe écrit dans sa forme cartésienne a pour expression :

$$z = a + jb \tag{1}$$

Avec a la partie réelle et b la partie imaginaire, et j le nombre complexe vérifiant $j^2 = 1$;

Notation complexe

Définitions

- Un nombre complexe écrit dans sa forme cartésienne a pour expression :

$$z = a + jb \tag{1}$$

  Avec a la partie réelle et b la partie imaginaire, et j le nombre complexe vérifiant $j^2 = 1$;
- Le module de z noté $|z|$ a pour expression : $|z| = \sqrt{a^2 + b^2}$;

Notation complexe

Définitions

- Un nombre complexe écrit dans sa forme cartésienne a pour expression :
$$z = a + jb \tag{1}$$
Avec a la partie réelle et b la partie imaginaire, et j le nombre complexe vérifiant $j^2 = 1$;
- Le module de z noté $|z|$ a pour expression : $|z| = \sqrt{a^2 + b^2}$;
- Son argument θ est défini par : $\cos\theta = \frac{a}{|z|}$ et $\sin\theta = \frac{b}{|z|}$;

Définitions

- Un nombre complexe écrit dans sa forme cartésienne a pour expression :

$$z = a + jb \tag{1}$$

  Avec a la partie réelle et b la partie imaginaire, et j le nombre complexe vérifiant $j^2 = 1$;
- Le module de z noté $|z|$ a pour expression : $|z| = \sqrt{a^2 + b^2}$;
- Son argument θ est défini par : $\cos\theta = \frac{a}{|z|}$ et $\sin\theta = \frac{b}{|z|}$;
- Un nombre complexe écrit sous sa forme polaire a pour expression : $z = r(cos\theta + jsin\theta) = re^{j\theta}$, avec $r = |z| = \sqrt{a^2 + b^2}$ son module et θ son argument.

Définitions

A chaque signal sinusoïdal, on associe une écriture complexe qui précise son amplitude et sa phase.

$$\underline{s}(t) = Ae^{j(\omega t+\varphi)} = Ae^{j\omega t}e^{j\varphi} \tag{1}$$

Notation complexe

Définitions

A chaque signal sinusoïdal, on associe une écriture complexe qui précise son amplitude et sa phase.

$$\underline{s}(t) = Ae^{j(\omega t+\varphi)} = Ae^{j\omega t}e^{j\varphi} \tag{1}$$

On pourra également définir une amplitude complexe :

$$\underline{A} = Ae^{j\varphi} \text{ donc } \underline{s}(t) = \underline{A}e^{j\omega t} \tag{2}$$

Définitions

A chaque signal sinusoïdal, on associe une écriture complexe qui précise son amplitude et sa phase.

$$\underline{s}(t) = Ae^{j(\omega t+\varphi)} = Ae^{j\omega t}e^{j\varphi} \tag{1}$$

On pourra également définir une amplitude complexe :

$$\underline{A} = Ae^{j\varphi} \text{ donc } \underline{s}(t) = \underline{A}e^{j\omega t} \tag{2}$$

On travaillera donc en notation complexe mais il sera facile de revenir au signal réel :

Définitions

A chaque signal sinusoïdal, on associe une écriture complexe qui précise son amplitude et sa phase.

$$\underline{s}(t) = Ae^{j(\omega t+\varphi)} = Ae^{j\omega t}e^{j\varphi} \tag{1}$$

On pourra également définir une amplitude complexe :

$$\underline{A} = Ae^{j\varphi} \text{ donc } \underline{s}(t) = \underline{A}e^{j\omega t} \tag{2}$$

On travaillera donc en notation complexe mais il sera facile de revenir au signal réel :

- Retour au signal réel complet grâce à la partie réelle du complexe :

$$s(t) = Re\left\{\underline{s}(t)\right\} \tag{3}$$

Définitions

A chaque signal sinusoïdal, on associe une écriture complexe qui précise son amplitude et sa phase.

$$\underline{s}(t) = Ae^{j(\omega t+\varphi)} = Ae^{j\omega t}e^{j\varphi} \tag{1}$$

On pourra également définir une amplitude complexe :

$$\underline{A} = Ae^{j\varphi} \text{ donc } \underline{s}(t) = \underline{A}e^{j\omega t} \tag{2}$$

On travaillera donc en notation complexe mais il sera facile de revenir au signal réel :

- Retour au signal réel complet grâce à la partie réelle du complexe :

$$s(t) = Re\left\{\underline{s}(t)\right\} \tag{3}$$

- Retour à l'amplitude du signal réel grâce au module de l'amplitude complexe ou du signal complexe :

$$A = |\underline{A}| = |\underline{s}(t)| \tag{4}$$

Notation complexe

Définitions

A chaque signal sinusoïdal, on associe une écriture complexe qui précise son amplitude et sa phase.

$$\underline{s}(t) = Ae^{j(\omega t+\varphi)} = Ae^{j\omega t}e^{j\varphi} \tag{1}$$

On pourra également définir une amplitude complexe :

$$\underline{A} = Ae^{j\varphi} \text{ donc } \underline{s}(t) = \underline{A}e^{j\omega t} \tag{2}$$

On travaillera donc en notation complexe mais il sera facile de revenir au signal réel :

- Retour au signal réel complet grâce à la partie réelle du complexe :
$$s(t) = Re\left\{\underline{s}(t)\right\} \tag{3}$$
- Retour à l'amplitude du signal réel grâce au module de l'amplitude complexe ou du signal complexe :
$$A = |\underline{A}| = |\underline{s}(t)| \tag{4}$$
- Retour à la phase initiale grâce à l'argument de l'amplitude complexe :
$$\varphi = arg(|\underline{A}|) \tag{5}$$

Définitions

A chaque signal sinusoïdal, on associe une écriture complexe qui précise son amplitude et sa phase.

$$\underline{s}(t) = Ae^{j(\omega t+\varphi)} = Ae^{j\omega t}e^{j\varphi} \tag{1}$$

On pourra également définir une amplitude complexe :

$$\underline{A} = Ae^{j\varphi} \text{ donc } \underline{s}(t) = \underline{A}e^{j\omega t} \tag{2}$$

On travaillera donc en notation complexe mais il sera facile de revenir au signal réel :

- Retour au signal réel complet grâce à la partie réelle du complexe :

$$s(t) = Re\left\{\underline{s}(t)\right\} \tag{3}$$

- Retour à l'amplitude du signal réel grâce au module de l'amplitude complexe ou du signal complexe :

$$A = |\underline{A}| = |\underline{s}(t)| \tag{4}$$

- Retour à la phase initiale grâce à l'argument de l'amplitude complexe :

$$\varphi = arg(|\underline{A}|) \tag{5}$$

Ainsi, toutes les informations dont nous avons besoin pour reconstituer le signal réel sont contenues dans l'amplitude complexe.

Avantage de cette notation

La présence d'une exponentielle en notation complexe facilite la dérivation du signal :

Notation complexe

Avantage de cette notation

La présence d'une exponentielle en notation complexe facilite la dérivation du signal :

$$\frac{d\underline{s}(t)}{dt} = \frac{d}{dt}\left(Ae^{j(\omega t+\varphi)}\right) = j\omega Ae^{j(\omega t+\varphi)} = j\omega\underline{s}(t) \tag{1}$$

Avantage de cette notation

La présence d'une exponentielle en notation complexe facilite la dérivation du signal :

$$\frac{d\underline{s}(t)}{dt} = \frac{d}{dt}\left(Ae^{j(\omega t+\varphi)}\right) = j\omega Ae^{j(\omega t+\varphi)} = j\omega\underline{s}(t) \quad (1)$$

$$\frac{d\underline{s}(t)}{dt} = j\omega\underline{s}(t) \quad (2)$$

Avantage de cette notation

La présence d'une exponentielle en notation complexe facilite la dérivation du signal :

$$\frac{d\underline{s}(t)}{dt} = \frac{d}{dt}\left(Ae^{j(\omega t+\varphi)}\right) = j\omega Ae^{j(\omega t+\varphi)} = j\omega\underline{s}(t) \tag{1}$$

$$\frac{d\underline{s}(t)}{dt} = j\omega\underline{s}(t) \tag{2}$$

Sur le même principe, la primitive d'un signal complexe est obtenue en multipliant celui-ci par $\frac{1}{j\omega}$:

$$\int \underline{s}(t)dt = \frac{\underline{s}(t)}{j\omega} \tag{3}$$

Valeur maximale

La **valeur maximale** ou *amplitude* du signal est donnée par :

$$A = \max(|s(t)|)$$

Valeur maximale

La **valeur maximale** ou *amplitude* du signal est donnée par :

$$A = \max(|s(t)|)$$

Valeur moyenne

La **valeur moyenne** ou *composante continue* du signal de période T est donnée par:

$$\bar{s} = \langle s(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_T s(t)\ dt$$

Valeurs maximales, moyennes et efficaces

Valeur maximale

La **valeur maximale** ou *amplitude* du signal est donnée par :

$$A = \max(|s(t)|)$$

Valeur moyenne

La **valeur moyenne** ou *composante continue* du signal de période T est donnée par:

$$\bar{s} = \langle s(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_T s(t)\ dt$$

Valeur efficace

En électricité, la **valeur efficace** d'un courant alternatif correspond à la valeur d'un courant continu produisant la même puissance thermique dans une résistance identique.

Valeurs maximales, moyennes et efficaces

Valeur maximale

La **valeur maximale** ou *amplitude* du signal est donnée par :

$$A = \max(|s(t)|)$$

Valeur moyenne

La **valeur moyenne** ou *composante continue* du signal de période T est donnée par:

$$\bar{s} = \langle s(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_T s(t)\ dt$$

Valeur efficace

En électricité, la **valeur efficace** d'un courant alternatif correspond à la valeur d'un courant continu produisant la même puissance thermique dans une résistance identique.

$$I_{eff} = \sqrt{\langle i^2(t) \rangle} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_T i^2(t)\ dt}$$

« La racine carrée de la valeur moyenne du carré du signal »

Grandeurs électriques

- tension électrique u (V)
- courant électrique i (A)
- puissance instantanée P (W) ; $p(t) = u(t) \cdot i(t)$

Grandeurs physiques

Grandeurs électriques

- tension électrique u (V)
- courant électrique i (A)
- puissance instantanée P (W) ; $p(t) = u(t) \cdot i(t)$

Grandeurs mécaniques

- déplacement u (m)
- vitesse instantanée v (m.s^{-1}) ; $v(t) = \frac{du}{dt} = \dot{u}$
- accélération instantanée a (m.s^{-2}) ; $a(t) = \frac{dv}{dt} = \dot{v} = \ddot{u}$
- force F (N)
- puissance instantanée P (W) ; $P(t) = F(t) \cdot v(t)$

Grandeurs physiques

Grandeurs électriques

- tension électrique u (V)
- courant électrique i (A)
- puissance instantanée P (W) ; $p(t) = u(t) \cdot i(t)$

Grandeurs mécaniques

- déplacement u (m)
- vitesse instantanée v (m.s^{-1}) ; $v(t) = \frac{du}{dt} = \dot{u}$
- accélération instantanée a (m.s^{-2}) ; $a(t) = \frac{dv}{dt} = \dot{v} = \ddot{u}$
- force F (N)
- puissance instantanée P (W) ; $P(t) = F(t) \cdot v(t)$

Grandeurs mécaniques

- pression acoustique p (m)
- vitesse v (m.s^{-1})
- débit D (m^3.s^{-1})

Puissance

La **puissance** caractérise le débit d'énergie fourni à chaque instant.

$$P(t) = \frac{dE}{dt}$$

Puissance

La **puissance** caractérise le débit d'énergie fourni à chaque instant.

$$P(t) = \frac{dE}{dt}$$

On définit également la **puissance moyenne sur une durée** T comme la valeur moyenne pendant la durée T de la puissance instantanée :

$$\bar{P} = \langle P(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} P(t) dt \tag{4}$$

Définition

Il définit le gain en puissance :

$$G_{dB} = 10log_{10}\left(\frac{P_s}{P_e}\right)$$

avec :

- P_e : puissance d'entrée (W)
- P_s : puissance d sortie (W)

Le décibel

Définition

Il définit le gain en puissance :

$$G_{dB} = 10log_{10}\left(\frac{P_s}{P_e}\right)$$

avec :

- P_e : puissance d'entrée (W)
- P_s : puissance d sortie (W)

Le gain en tension en dB, à l'aide d'une résistance virtuelle de mesure :

$$G_{dB} = 10log_{10}\left(\frac{\frac{u_s^2}{R}}{\frac{u_e^2}{R}}\right) = 10log_{10}\left(\frac{u_s^2}{u_e^2}\right) = 20log_{10}\left(\frac{u_s}{u_e}\right)$$

Le décibel

Définition

Il définit le gain en puissance :

$$G_{dB} = 10log_{10}\left(\frac{P_s}{P_e}\right)$$

avec :

- P_e : puissance d'entrée (W)
- P_s : puissance d sortie (W)

Le gain en tension en dB, à l'aide d'une résistance virtuelle de mesure :

$$G_{dB} = 10log_{10}\left(\frac{\frac{u_s^2}{R}}{\frac{u_e^2}{R}}\right) = 10log_{10}\left(\frac{u_s^2}{u_e^2}\right) = 20log_{10}\left(\frac{u_s}{u_e}\right)$$

Autres utilisations

Électronique :

- dBW, unité de puissance en dB, référencée à 1 W
- dBm, unité de puissance en dB, référencée à 1 mW

Le décibel

Définition

Il définit le gain en puissance :

$$G_{dB} = 10log_{10}\left(\frac{P_s}{P_e}\right)$$

avec :

- P_e : puissance d'entrée (W)
- P_s : puissance d sortie (W)

Le gain en tension en dB, à l'aide d'une résistance virtuelle de mesure :

$$G_{dB} = 10log_{10}\left(\frac{\frac{u_s^2}{R}}{\frac{u_e^2}{R}}\right) = 10log_{10}\left(\frac{u_s^2}{u_e^2}\right) = 20log_{10}\left(\frac{u_s}{u_e}\right)$$

Autres utilisations

Électronique :

- dBW, unité de puissance en dB, référencée à 1 W
- dBm, unité de puissance en dB, référencée à 1 mW

Acoustique :

- dBA, unité de puissance en dB, référencée à la sensibilité de l'oreille (pondération physiologique)

Le décibel

Définition

Il définit le gain en puissance :

$$G_{dB} = 10log_{10}\left(\frac{P_s}{P_e}\right)$$

avec :

- P_e : puissance d'entrée (W)
- P_s : puissance d sortie (W)

Le gain en tension en dB, à l'aide d'une résistance virtuelle de mesure :

$$G_{dB} = 10log_{10}\left(\frac{\frac{u_s^2}{R}}{\frac{u_e^2}{R}}\right) = 10log_{10}\left(\frac{u_s^2}{u_e^2}\right) = 20log_{10}\left(\frac{u_s}{u_e}\right)$$

Niveau de pression acoustique

$$L_p = 10log_{10}\left(\frac{p_{eff}^2}{p_{ref}^2}\right) = 20log_{10}\left(\frac{p_{eff}}{p_{ref}}\right)$$

Le décibel

Définition

Il définit le gain en puissance :

$$G_{dB} = 10log_{10}\left(\frac{P_s}{P_e}\right)$$

avec :

- P_e : puissance d'entrée (W)
- P_s : puissance d sortie (W)

Le gain en tension en dB, à l'aide d'une résistance virtuelle de mesure :

$$G_{dB} = 10log_{10}\left(\frac{\frac{u_s^2}{R}}{\frac{u_e^2}{R}}\right) = 10log_{10}\left(\frac{u_s^2}{u_e^2}\right) = 20log_{10}\left(\frac{u_s}{u_e}\right)$$

Niveau de pression acoustique

$$L_p = 10log_{10}\left(\frac{p_{eff}^2}{p_{ref}^2}\right) = 20log_{10}\left(\frac{p_{eff}}{p_{ref}}\right)$$

Pression (Pa) $\rightarrow$ Niveau de pression (dB SPL) ; avec $p_{ref} = 20\ \mu$Pa (seuil d'audibilité moyen à 1000 Hz)

Caractéristiques de la chaîne électroacoustique

- **Capteurs :** microphone (acoustique $\rightarrow$ électrique), accéléromètre (mécanique $\rightarrow$ électrique)

Transducteurs

- **Capteurs :** microphone (acoustique $\rightarrow$ électrique), accéléromètre (mécanique $\rightarrow$ électrique)
- **Sources :** haut-parleurs, écouteurs, pot-vibrants...

Sensibilité et efficacité

- **Sensibilité :** $s = Sm$ (physique des capteurs)

Sensibilité et efficacité

- **Sensibilité :** $s = Sm$ (physique des capteurs)
- **Sensibilité d'un microphone :** $u = Mp$; M (V.Pa^{-1})

Sensibilité et efficacité

- **Sensibilité :** $s = Sm$ (physique des capteurs)
- **Sensibilité d'un microphone :** $u = Mp$; M (V.Pa^{-1})
- **Sensibilité relative :** $L_M = 20log_{10}\left(\frac{M}{M_{ref}}\right)$ (dB)

Sensibilité et efficacité

- **Sensibilité :** $s = Sm$ (physique des capteurs)
- **Sensibilité d'un microphone :** $u = Mp$; M (V.Pa^{-1})
- **Sensibilité relative :** $L_M = 20 log_{10} \left(\frac{M}{M_{ref}} \right)$ (dB)
- **Efficacité d'une source :** $p = Eu$; E (Pa.V^{-1}) ;
  $\rightarrow$ pour un HP, mesure de L_p dans l'axe à 1 m, alimenté par un bruit rose (1 W)

Définition

Informations d'amplitude et de phase relative au signal d'entrée.

Fonction de Transfert

Définition

$$H(j\omega) = \frac{\underline{s_s}}{\underline{s_e}}$$

Fonction de transfert = fonction complexe

En électronique, on considère le module et l'argument de la fonction de transfert, mis sous la forme :

Fonction de transfert = fonction complexe

En électronique, on considère le module et l'argument de la fonction de transfert, mis sous la forme :

- **Gain :** exprimé en décibels (dB), c'est le module en échelle logarithmique,

$$G_{dB} = 20log_{10}(|H(j\omega)|)$$

Fonction de transfert = fonction complexe

En électronique, on considère le module et l'argument de la fonction de transfert, mis sous la forme :

- **Gain :** exprimé en décibels (dB), c'est le module en échelle logarithmique,

$$G_{dB} = 20log_{10}(|H(j\omega)|)$$

- **Phase :** en degrés ou radians,

$$\varphi = arg(H(j\omega))$$

Définition

$$BP = f_h - f_b$$

avec f_b et f_h les fréquences de coupure à -3 dB par rapport à un niveau de référence correspondant au fonctionnement normal du système.

Définition

$$BP = f_h - f_b$$

avec f_b et f_h les fréquences de coupure à -3 dB par rapport à un niveau de référence correspondant au fonctionnement normal du système.

Exemples :

- **Oreille :** 20 Hz à 20 kHz

Définition

$$BP = f_h - f_b$$

avec f_b et f_h les fréquences de coupure à -3 dB par rapport à un niveau de référence correspondant au fonctionnement normal du système.

Exemples :

- **Oreille :** 20 Hz à 20 kHz
- **Voix :** 400 Hz à 4 kHz

Bande passante

Définition

$$BP = f_h - f_b$$

avec f_b et f_h les fréquences de coupure à -3 dB par rapport à un niveau de référence correspondant au fonctionnement normal du système.

Exemples :

- **Oreille :** 20 Hz à 20 kHz
- **Voix :** 400 Hz à 4 kHz
- **Téléphonie standard :** 300 Hz à 3,4 kHz

Bande passante

Définition

$$BP = f_h - f_b$$

avec f_b et f_h les fréquences de coupure à -3 dB par rapport à un niveau de référence correspondant au fonctionnement normal du système.

Exemples :

- **Oreille :** 20 Hz à 20 kHz
- **Voix :** 400 Hz à 4 kHz
- **Téléphonie standard :** 300 Hz à 3,4 kHz
- **Téléphonie Haute Définition :** 50 Hz à 7 kHz

Dynamique d'un transducteur

- Plage de fonctionnement linéaire

Dynamique d'un transducteur

- Plage de fonctionnement linéaire
- Bruit de fond = signaux parasites (intrinsèques et extrinsèques)

Dynamique d'un transducteur

- Plage de fonctionnement linéaire
- Bruit de fond = signaux parasites (intrinsèques et extrinsèques)
- Niveau max = limite de fonctionnement linéaire

Dynamique d'un transducteur

- Plage de fonctionnement linéaire
- Bruit de fond = signaux parasites (intrinsèques et extrinsèques)
- Niveau max = limite de fonctionnement linéaire
- Distorsion harmonique = apparition d'harmoniques dans s_s pour un s_e de f donnée

Dynamique d'un transducteur

- Plage de fonctionnement linéaire
- Bruit de fond = signaux parasites (intrinsèques et extrinsèques)
- Niveau max = limite de fonctionnement linéaire
- Distorsion harmonique = apparition d'harmoniques dans s_s pour un s_e de f donnée
- Dynamique utile = Dynamique - Marge = Niveau max - Bruit de fond - Marge

Directivité

Définition

Représente la variation de la réponse d’un transducteur en fonction de la direction spatiale (angle θ).
Elle peut être :

Directivité

Définition

Représente la variation de la réponse d'un transducteur en fonction de la direction spatiale (angle θ). Elle peut être :

- **Omnidirectionnelle :** réponse identique $\forall\ \theta$; $M(\theta) = A = cte$

Directivité

Définition

Représente la variation de la réponse d'un transducteur en fonction de la direction spatiale (angle θ). Elle peut être :

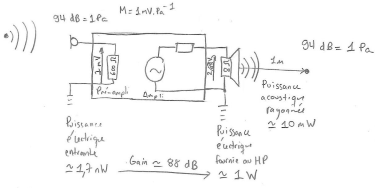
- **Omnidirectionnelle :** réponse identique $\forall\ \theta$; $M(\theta) = A = cte$
- **Bidirectionnelle :** θ et θ+180° privilégiés ; $M(\theta) = Bcos(\theta)$

Directivité

Définition

Représente la variation de la réponse d'un transducteur en fonction de la direction spatiale (angle θ). Elle peut être :

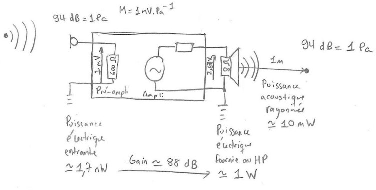
- **Omnidirectionnelle :** réponse identique $\forall\ \theta$; $M(\theta) = A = cte$
- **Bidirectionnelle :** θ et θ+180° privilégiés ; $M(\theta) = Bcos(\theta)$
- **Unidirectionnelle :** θ privilégié ; $M(\theta) = A + Bcos(\theta)$; cardioïde avec $\frac{B}{A} = 1$



Ordres de grandeur.

Rendement

$$\eta = \frac{\text{puissance acoustique rayonnée}}{\text{puissance électrique fournie}}$$



Ordres de grandeur.

Rendement

$$\eta = \frac{\text{puissance acoustique rayonnée}}{\text{puissance électrique fournie}}$$

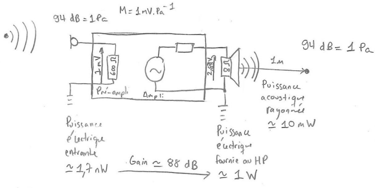
Formule pratique :

$$\eta = 10^{\left(\frac{L_P - 109 - ID}{10}\right)}$$

avec :

- ID : indice de directivité ; $ID = 10 log_{10}(Q)$
- Q : facteur de directivité ; varie de $Q = 1$ (omnidirectionnel) à $Q = 4$ (unidirectionnel, $\frac{B}{A} = 3$)

Ordres de grandeur



Ordres de grandeur.

Rendement

$$\eta = \frac{\text{puissance acoustique rayonnée}}{\text{puissance électrique fournie}}$$

Formule pratique :

$$\eta = 10^{\left(\frac{L_P - 109 - ID}{10}\right)}$$

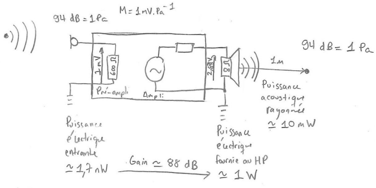
avec :

- ID : indice de directivité ; $ID = 10 log_{10}(Q)$
- Q : facteur de directivité ; varie de $Q = 1$ (omnidirectionnel) à $Q = 4$ (unidirectionnel, $\frac{B}{A} = 3$)

Cas d'une source unidirectionnelle :

- $Q = 2$ et $L_P = 94$ dB

Ordres de grandeur



Ordres de grandeur.

Rendement

$$\eta = \frac{\text{puissance acoustique rayonnée}}{\text{puissance électrique fournie}}$$

Formule pratique :

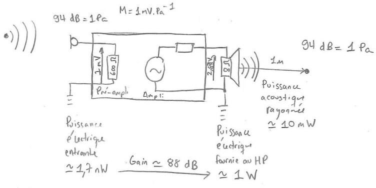
$$\eta = 10^{\left(\frac{L_p - 109 - ID}{10}\right)}$$

avec :

- ID : indice de directivité ; $ID = 10 log_{10}(Q)$
- Q : facteur de directivité ; varie de $Q = 1$ (omnidirectionnel) à $Q = 4$ (unidirectionnel, $\frac{B}{A} = 3$)

Cas d'une source unidirectionnelle :

- $Q = 2$ et $L_p = 94$ dB
- $ID \approx 3$



Ordres de grandeur.

Rendement

$$\eta = \frac{\text{puissance acoustique rayonnée}}{\text{puissance électrique fournie}}$$

Formule pratique :

$$\eta = 10^{\left(\frac{L_p - 109 - ID}{10}\right)}$$

avec :

- ID : indice de directivité ; $ID = 10 log_{10}(Q)$
- Q : facteur de directivité ; varie de $Q = 1$ (omnidirectionnel) à $Q = 4$ (unidirectionnel, $\frac{B}{A} = 3$)

Cas d'une source unidirectionnelle :

- $Q = 2$ et $L_p = 94$ dB
- $ID \approx 3$
- $\eta \approx 0{,}0158$ ou 1,6 % $\rightarrow$ puissance acoustique rayonnée $\approx$ 16 mW avec puissance électrique fournie = 1 W