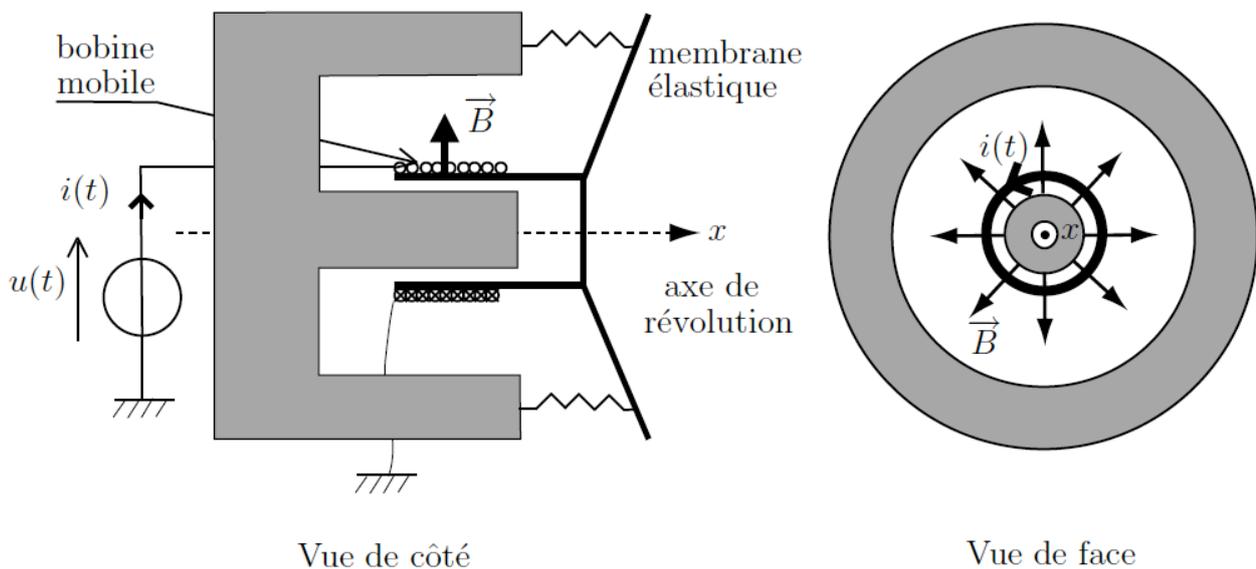
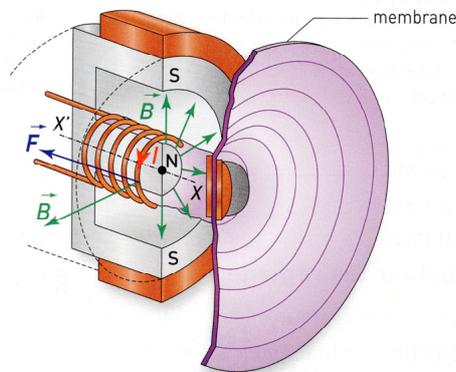


TD / Cours : Le haut – parleur électrodynamique

Le haut-parleur électrodynamique (qui représente environ 99% du marché des haut-parleurs) peut être schématisé de la façon suivante :

Coupe longitudinale d'un haut-parleur



Il est constitué :

- d'un aimant annulaire (cylindrique) d'axe (Ox) créant un champ magnétique radial stationnaire $\vec{B} = B \vec{e}_r$ de norme quasiment uniforme B dans la région utile de l'entrefer
- d'une bobine indéformable de même axe (Ox) comportant N spires de rayon a, placée dans l'entrefer de l'aimant
- d'une membrane M perpendiculaire à l'axe et pouvant effectuer de faibles déplacements axiaux autour de sa position d'équilibre, grâce à un système élastique modélisé par un unique ressort de raideur k.

L'ensemble mobile {bobine + membrane}, de masse m, repéré par l'abscisse $x(t)$, est de plus soumis à une force de frottement visqueux de la part de l'air de la forme $\vec{F} = -f \frac{dx}{dt} \vec{e}_x$, essentiellement due à l'onde sonore rayonnée par le haut-parleur.

La bobine a une résistance électrique R et une inductance propre L.

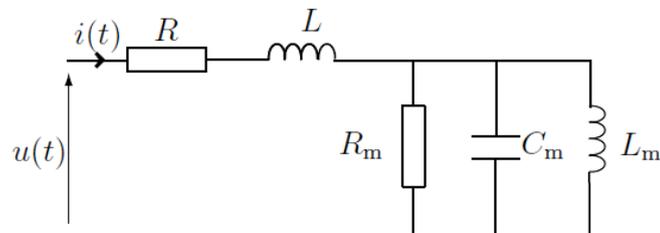
A – Equations du mouvement :

- 1) Expliquer qualitativement le fonctionnement du haut-parleur.
- 2) Etablir l'équation mécanique du système en choisissant l'origine de l'axe (Ox) au niveau de la position d'équilibre lorsque la bobine n'est parcourue par aucun courant.
- 3) Equation électrique :
 - a) Pourquoi ne peut-on pas ici utiliser directement la loi de Faraday pour déterminer la f.é.m. induite e_{ind} ?
 - b) Déterminer la fém induite en utilisant le résultat classique que la somme de la puissance des forces de Laplace et de la puissance de la fém est nulle : $P_{fém} + P_{Laplace} = 0$ (on parle de « couplage électromécanique parfait »).
 - c) Etablir l'équation électrique du système lorsque le HP est connecté à une source de tension idéale délivrant une tension $u(t)$.

B – Impédance du haut-parleur :

La tension $u(t)$ est sinusoïdale : $u(t) = U_0 \cos(\omega t)$.

- 1) Ecrire l'équation électrique et l'équation mécanique en notation complexe. En déduire que le schéma électrique équivalent du haut-parleur est :



et établir les expressions de R_m , C_m et L_m en fonction de N , a , B , f , k et m .

Calculer les valeurs numériques de R_m , C_m et L_m pour un haut-parleur tel que :

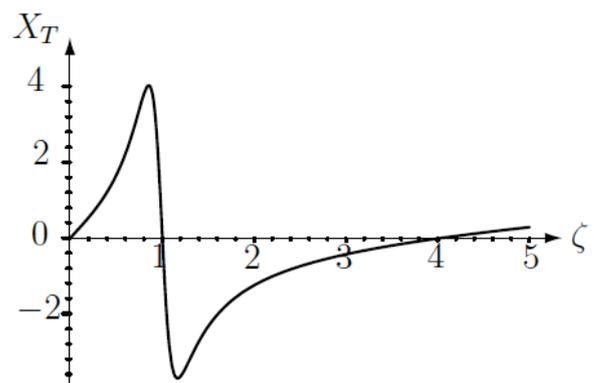
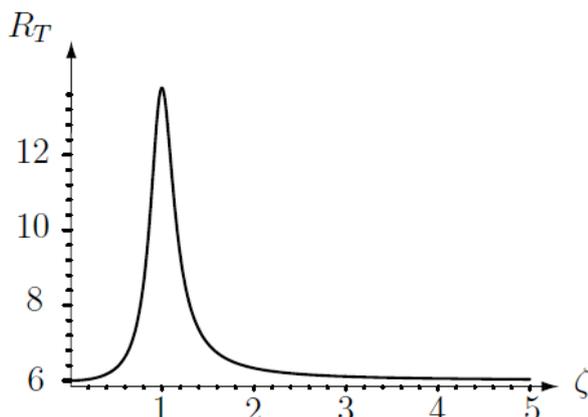
$$m = 3,85 \text{ g}, \quad k = 1200 \text{ N.m}^{-1}, \quad 2\pi N a B = 2,3 \text{ T.m}, \quad f = 0,68 \text{ kg.s}^{-1}$$

- 2) Proposer un montage permettant d'étudier expérimentalement l'impédance \underline{Z} du haut-parleur en fonction de la fréquence délivrée par le générateur.
- 3) On pose $\underline{Z} = R_T + jX_T$ où $j^2 = -1$ (rem : X_T , qui est la partie imaginaire de l'impédance, s'appelle la « réactance »).

a) Donner l'expression de $R_T(\omega)$ et $X_T(\omega)$ en fonction de R , R_m , C_m , L_m et ω .

b) On pose $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ et $\zeta = \frac{\omega}{\omega_0}$. Les courbes $R_T(\zeta)$ et $X_T(\zeta)$ pour le haut parleur précédent ont

l'allure suivante :



Il s'agit d'une simulation numérique pour laquelle, outre les valeurs numériques précédentes, on a pris : $R = 6 \Omega$ et $L = 0,285 \text{ mH}$.

Commenter ces courbes en précisant en particulier le comportement en très basse fréquence et en très haute fréquence et en étudiant les éventuelles résonances.

C – Rendement énergétique :

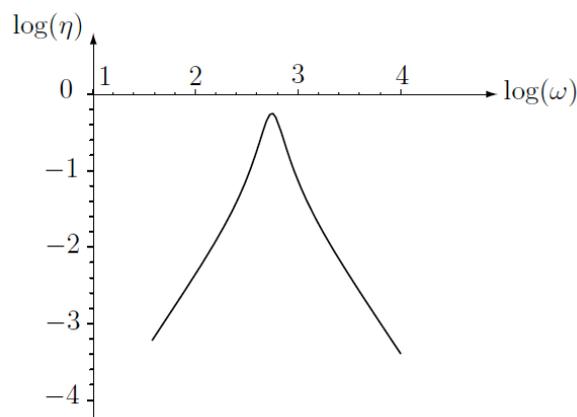
1) Ecrire l'énergie mécanique E_m du haut parleur et l'énergie E_L de la bobine puis effectuer un bilan énergétique détaillé du dispositif.

2) Expliquer le rôle du champ magnétique dans le transfert de puissance.

3) a) En régime sinusoïdal, comment se répartit en moyenne la puissance fournie par le générateur ?

b) Définir alors le rendement η du haut-parleur et l'exprimer en fonction de R et R_T uniquement.

c) Pour le haut-parleur étudié ci-dessus (partie B), on donne la courbe $\eta(\omega)$ en échelle logarithmique :



Commenter. Pour quelle fréquence le rendement est-il maximal ? Est-ce en accord avec les valeurs numériques précédentes ?

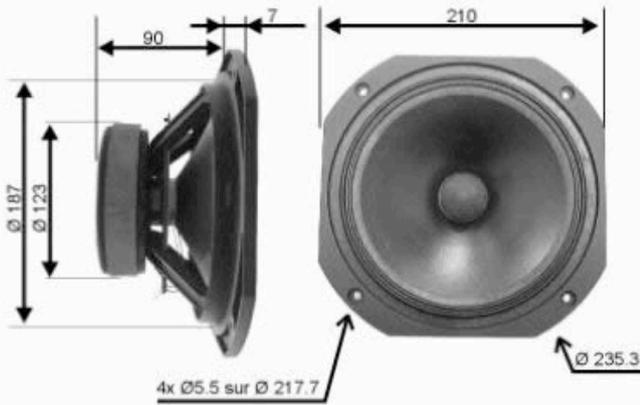
Dans quelle gamme de fréquence l'utilisation du haut-parleur est-elle intéressante ? Expliquer pourquoi les enceintes acoustiques comportent plusieurs haut-parleurs.

D – Microphone :

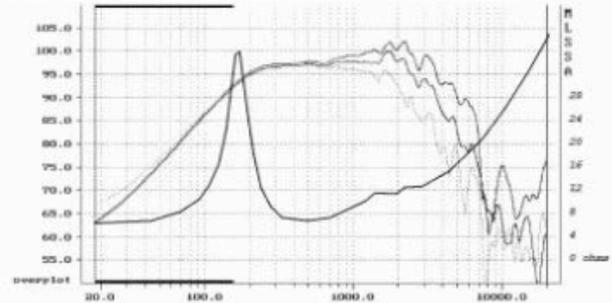
Expliquer qualitativement comment peut fonctionner un microphone.

E – Notices commerciales :

On donne à la page suivante les notices de deux haut-parleurs commerciaux. Pouvez-vous identifier les différents paramètres ainsi que la signification des courbes fournies.



La technologie aérogel associée au châssis moulé ultra-rigide permettent d'obtenir une reproduction très puissante de médiums d'une grande clarté.



Impédance 8 ohms	Diamètre bobine 40 mm
Résonance 174.41 Hz	Hauteur bobine 8.7 mm
Puissance nominale* (IEC) 100 W	Support kapton
Sensibilité (2.83v/1m) 97.5 dB	Nb. couches 1
* - 800 à 300 Hz	Type de fil plat
Résistance (DC) 5.94 ohms	Champ 11.31 NA
Inductance 0.94 mH	Masse mobile 13.88 gr
Xmax ± 1.35 mm	Membrane aérogel
Qms 3.80	Suspension textile imprégné
Qes 0.71	Saladier zamack
Qts 0.60	Poids 2.20 kg
Vas 4.88 l	

