

## TD1 Microphone Électrodynamique à Bobine Mobile

### Principe physique

Le fonctionnement des microphones est pour la plupart par principe électrostatique et électrodynamique. Nous pouvons les classer selon leur directivité : omnidirectifs (dont les microphones à bobine mobile), bidirectifs et unidirectifs. Dans ce TD nous allons nous intéresser aux **microphones électrodynamiques à bobine mobile**.

On fabrique un microphone électrodynamique en utilisant un champ magnétique dans une bobine. Pour cela, le son fera vibrer une membrane solidaire d'une bobine mobile dans un champ magnétostatique. Le dispositif est présenté dans la figure suivante :

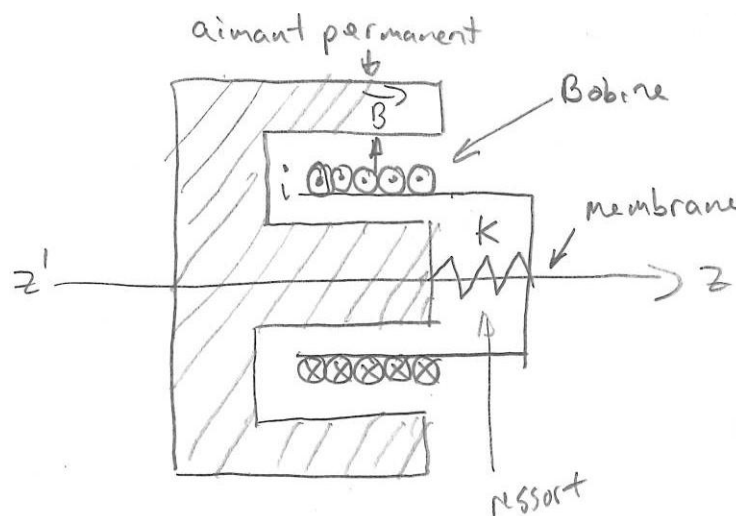


Figure 1 – Vue longitudinale d'un microphone électrodynamique.

Une bobine mobile constituée de  $N$  spires circulaires de longueur  $L$  et de rayon  $a$  (longueur totale  $l = NL = N2\pi a$ ), placée dans un champ d'induction magnétique constant  $\vec{B}$  et soumise à une force  $\vec{F}_p$ , se déplace à la vitesse  $\vec{v}$  en coupant les lignes d'induction. Elle est donc le siège d'une *force électromotrice* (f.e.m) induite  $e$ .

La bobine est solidaire d'une *membrane* (assimilable à un disque de section  $S$ ) pouvant se déplacer suivant  $z'z$ . La membrane est ramenée vers sa position d'équilibre par une force élastique  $\vec{F}_r$  modélisée par un ressort de raideur  $k$  :  $\vec{F}_r = -kz\vec{u}_z$ . L'ensemble bobine-membrane est appelé *équipage mobile*.

Placé dans un champ acoustique, la membrane est donc le siège d'une force de pression proportionnelle à sa section  $S$  :  $\vec{F}_p = pS\vec{u}_z$ . Cette force provoque le déplacement de l'équipage mobile.

La bobine plonge dans l'entrefer et coupe les lignes de flux à la vitesse  $\vec{v}$ . Il en résulte la création d'une f.e.m  $e = l \cdot \vec{v} \wedge \vec{B}$ .

La f.e.m fait circuler un courant  $i$  dans le bobinage. Il en résulte la création d'une force réactive qui s'oppose à la force active (pression) et doit conduire au freinage du conducteur (*loi de Lenz*). Il s'agit d'une *force de Laplace*  $\vec{F}_L = l \cdot \vec{i} \wedge \vec{B}$ .

Enfin, les frottements sont modélisés par une force  $\vec{F}_{fr} = -m\Gamma \frac{dz}{dt} \vec{u}_z$ , avec  $m$  la masse de l'équipage mobile et  $\Gamma$  le facteur d'amortissement par unité de masse ( $s^{-1}$ ).

## Questions

1. Établir les équations différentielles (électrique et mécanique) caractérisant le système.
2. On admet des solutions en régime harmonique  $\mathbf{i}(\mathbf{t}) = I e^{j\omega t}$  et  $\mathbf{z}(\mathbf{t}) = A_z e^{j\omega t}$ . Calculer les dérivées première et seconde de ces solutions puis les insérer dans les équations différentielles décrivant le comportement du système. Donner les expressions sous forme complexe. Préciser les impédances électrique  $\mathbf{Z}_e$  et mécanique  $\mathbf{Z}_m$  du système.
3. En combinant les expressions issues de la question précédente, exprimer la vitesse  $\mathbf{v}$  en fonction de la pression  $\mathbf{p}$ .
4. On définit la fonction de transfert du système  $H(j\omega) = \frac{\mathbf{e}}{\mathbf{p}}$  et la sensibilité  $M_p = |H(j\omega)|$ . Donner les expressions de  $H(j\omega)$  et  $M_p$  en fonction de  $B, l, S, \mathbf{Z}_e$  et  $\mathbf{Z}_m$ .
5. Si on admet que la bobine est faiblement inductive ( $R \gg \omega L$ ) et que la membrane se comporte principalement comme un amortisseur ( $m\Gamma \gg (m\omega - \frac{k}{\omega})$ ), exprimer la sensibilité intrinsèque  $M_{pi}$ .
6. **Application numérique :** La capsule d'un microphone électrodynamique est constituée d'une membrane de ( $S = 1,2 \text{ cm}^2$ ), solidaire d'une bobine ( $a = 3,1 \text{ mm}$ ), placée dans un champ d'induction ( $B = 1 \text{ T}$ ). Les constantes mécaniques de l'équipage mobile sont :
  - masse :  $m = m_{mem} + m_{fil} = 2,9 \text{ mg} + 17,1 \text{ mg} = 20 \text{ mg}$ .
  - coefficient de raideur :  $k = 200 \text{ N.m}^{-1}$ .
  - coefficient de frottement :  $\alpha = m\Gamma = 0,08 \text{ kg.s}^{-1}$ .
  - (a) Calculer la longueur  $l$  du bobinage.
  - (b) Calculer la résistance  $R$  du bobinage en cuivre avec  $\rho_e = 1,6 \times 10^{-8} \Omega.m$  et  $\rho = 8920 \text{ kg.m}^{-3}$ .
  - (c) Calculer la sensibilité  $M_{pi}$  en  $\text{mV.Pa}^{-1}$  et la sensibilité relative  $L_M$  avec  $M_{ref} = 1 \text{ mV.Pa}^{-1}$  de ce système.
  - (d) Calculer la fréquence propre  $f_0$  de ce système.