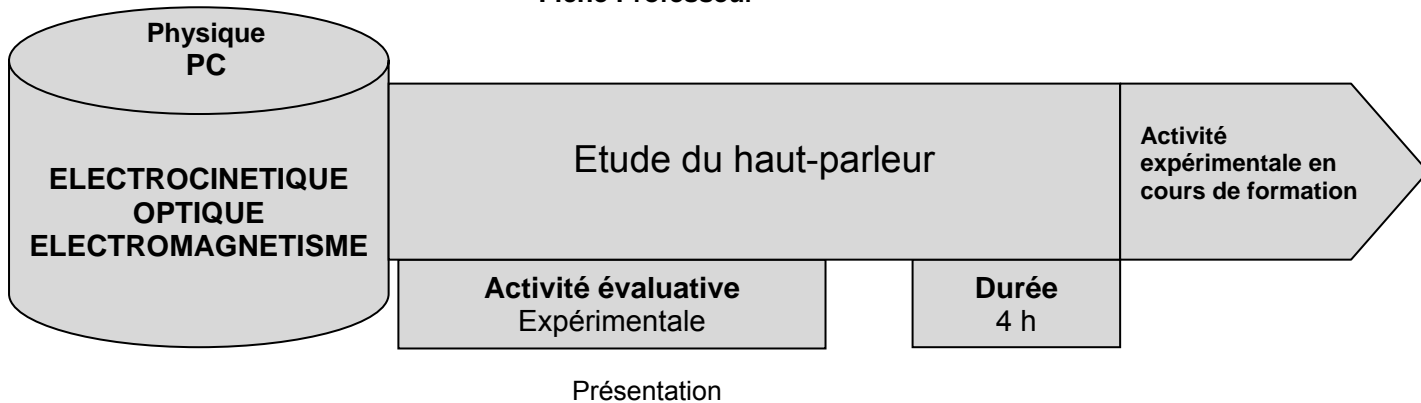


Fiche Professeur



Cette activité expérimentale a été conduite au cours du second trimestre en 2009/2010 et 2010/2011 avec l'ensemble des élèves d'une classe de PC*.

Elle consiste en une étude de l'impédance électrique du haut-parleur et du déplacement de sa membrane selon la progression suivante:

- étude de la réponse harmonique du haut-parleur; modélisation de son impédance électrique.
- réalisation d'un interféromètre de Michelson en ondes centimétriques.
- utilisation de l'interféromètre pour la mesure du déplacement de la membrane du haut-parleur.

Cette séance a été conçue de façon à encourager la prise d'initiative des étudiants, qui sont invités à proposer eux-mêmes les protocoles expérimentaux utiles à la mesure des différentes grandeurs recherchées. Ils sont encouragés à évaluer les incertitudes expérimentales et à utiliser le logiciel Régressi, déjà découvert lors des activités expérimentales précédentes, pour la modélisation des mesures.

Les étudiants sont amenés à mettre en œuvre les compétences théoriques et expérimentales acquises en électronique sur des systèmes modèles afin de caractériser la réponse d'un objet de la vie courante, en optique afin de réaliser eux-mêmes un interféromètre, de l'amener à un état de fonctionnement optimal. et de l'utiliser pour mesurer de petits déplacements.

La séance est découpée en étapes, à l'issue desquelles les étudiants sont invités à appeler le professeur afin de présenter les protocoles proposés. Le dialogue qui s'engage a pour but de valider les choix proposés par les élèves; le professeur est souvent amené à orienter la réflexion des étudiants ou même à suggérer des modifications aux solutions proposées. De fait, l'appel au professeur doit être renouvelé jusqu'à ce que les étudiants soient en mesure de franchir l'étape. Ces dialogues donnent l'occasion au professeur de mener à bien, en cours de séance, l'évaluation de certaines compétences des étudiants à l'aide d'une grille d'évaluation (un exemple de grille d'évaluation opératoire est donnée ci-après). Une évaluation complémentaire est effectuée à la correction des comptes-rendus rédigés par les étudiants.

Pré-requis	<ul style="list-style-type: none"> - Compétences expérimentales acquises en électrocinétique en PCSI : caractérisation d'un dipôle (mesure de l'impédance d'entrée) ; fonction de transfert d'un système linéaire. - Compétences acquises lors du TP-cours sur l'interféromètre de Michelson. - Connaissance du phénomène d'induction, et en particulier du fonctionnement du haut-parleur électrodynamique. - Maîtrise d'un logiciel permettant l'ajustement de données expérimentales.
Conditions de mise en œuvre	<p><u>Effectif</u> : 12 élèves évalués par binôme dans une séance du type « TP tournants»</p> <p><u>Liste du matériel par binôme</u> :</p> <p>Haut-parleur électrodynamique Emetteur et récepteur d'ondes centimétriques (avec leurs supports) 1 alimentation stabilisée 12 V 2 plaques métalliques avec leurs supports 1 plaque en bois jouant le rôle de séparatrice avec ses supports 1 régllet d'un mètre et du ruban adhésif 1 générateur basse fréquence 1 boîte de résistances variables (x 10 Ω, x 100 Ω) 1 oscilloscope 1 multimètre 1 ordinateur avec le logiciel Regressi Des fils de connexion électrique</p>
Déroulement de l'activité	<p>L'initiative est laissée aux élèves dans l'élaboration des montages et sur les mesures effectuées.</p> <p>Cinq appels professeurs sont prévus pour des points d'évaluation et de situation.</p>

Activité expérimentale: le haut-parleur électrodynamique

Grille d'évaluation (à remplir avec les symboles +, o ou -)

		Noms	Noms	Noms	Noms
Compétence	Première étape: étude de l'impédance électrique				
<i>Analyser</i>	Proposition d'un protocole de mesure				
	Réalisation expérimentale:				
<i>S'approprier</i>	- identification des grandeurs à mesurer				
<i>Réaliser</i>	- réalisation du montage, réglage de l'oscilloscope				
<i>Valider</i>	Modélisation avec Régressi				
	Prise en compte des incertitudes				
	Deuxième étape: réalisation de l'interféromètre				
	Réalisation de l'interféromètre:				
<i>Réaliser</i>	- disposition correcte des éléments				
<i>Analyser</i>	- pertinence du choix des distances relatives				
<i>Réaliser</i>	- amélioration du réglage pour obtenir un signal optimal				
	Troisième étape: mesure de la longueur d'onde				
<i>Analyser</i>	Proposition d'un protocole de mesure				
<i>Valider</i>	Prise en compte des incertitudes				
	Quatrième étape: mesure du déplacement de la membrane				
<i>Réaliser</i>	Mise en oeuvre:				
	- choix de l'appareil de mesure (multimètre en mode AC)				
	- réglage de la sensibilité du dispositif				
<i>Communiquer</i>	Communication orale pendant la séance				
	Communication écrite:				
<i>Communiquer</i>	- compte-rendu structuré en paragraphes				
	- graphes légendés et gradués				
	- présence d'un tableau de mesure				
	- protocoles explicités				
	- schémas illustratifs				
<i>Valider</i>	- confrontation des résultats expérimentaux avec la théorie				

Énoncé distribué aux élèves

Objectif de l'activité expérimentale

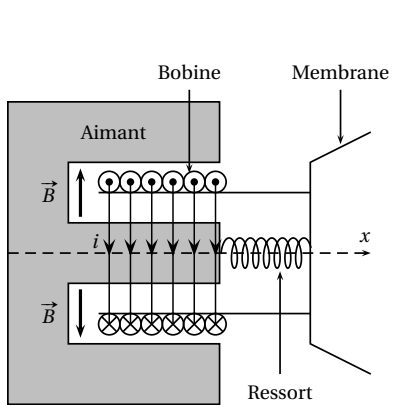
Le but de cette activité est de valider expérimentalement le modèle théorique du haut-parleur, développé dans le cours d'électromagnétisme. On propose de mesurer les paramètres physiques utilisés dans ce modèle. La démarche originale, proposée dans cette activité, consiste à mesurer le déplacement de l'équipage mobile du haut-parleur par une méthode interférométrique, mettant en œuvre un interféromètre de Michelson éclairé par une onde centimétrique.

1) Étude de l'impédance électrique d'un haut-parleur

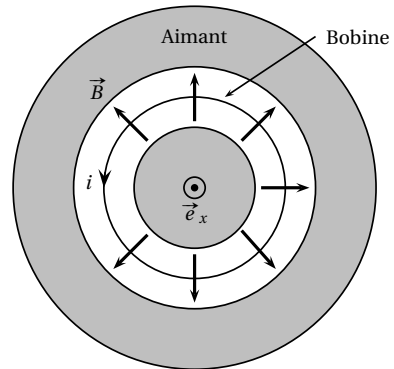
1.1) Modèle électromagnétique du haut-parleur

Un haut-parleur électrodynamique est constitué d'un aimant permanent annulaire fixe, d'axe horizontal $x'x$ qui crée un champ magnétique \vec{B} radial et de norme constante B dans la région utile de l'entrefer; d'une bobine mobile indéformable, de même axe $x'x$, comportant N spires circulaires de rayon a , placée dans l'entrefer de l'aimant; d'une membrane solidaire de la bobine et pouvant effectuer des déplacements axiaux de faible amplitude. La membrane est ramenée vers sa position d'équilibre par une force élastique modélisée par un ressort de raideur k , solidaire de l'aimant à une extrémité et solidaire de la membrane à l'autre extrémité.

L'ensemble {membrane+bobine} de masse m et repéré par son abscisse $x(t)$ lorsqu'il est en mouvement, est soumis aux actions suivantes : son poids et la réaction du support, verticale et opposée au poids; la force de rappel du ressort de raideur k ; la résultante des forces de Laplace exercées par l'aimant sur la bobine lorsqu'elle est parcourue par un courant d'intensité $i(t)$; une force de frottement fluide opposée à la vitesse de la membrane $\vec{F} = -\mu \frac{dx}{dt} \vec{e}_x$, et dont la puissance est égale à la puissance sonore émise par le haut-parleur. La position $x = 0$ correspond à la position de repos du système quand $i = 0$. On posera $\ell = 2\pi Na$.



Coupe transversale de l'aimant



Vue de face de l'aimant

Les équations fondamentales de fonctionnement du haut-parleur mettent en évidence un couplage entre les phénomènes mécanique et électromagnétique :

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -Bi\ell - kx - \mu \dot{x},$$

$$u(t) = -B\ell \dot{x} + Ri + L \frac{di}{dt}.$$

En découplant ces équations, on arrive à calculer l'impédance d'entrée \underline{Z} du haut-parleur :

$$\underline{Z}(j\omega) = R + jL\omega + \frac{1}{\frac{1}{R_m} + jC_m\omega + \frac{1}{jL_m\omega}},$$

$$= R + jL\omega + \frac{R_m}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)},$$

avec $R_m = \frac{B^2 \ell^2}{\mu}$, $L_m = \frac{B^2 \ell^2}{k}$ et $C_m = \frac{m}{B^2 \ell^2}$. On a aussi $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ et $Q = \frac{\sqrt{mk}}{\mu}$.
On montre aussi :

$$\begin{aligned} \underline{H}(j\omega) &= \frac{x}{i} = \frac{-B\ell}{k - m\omega^2 + j\mu\omega}, \\ &= \frac{-B\ell}{m} \frac{1}{\omega_0^2 - \omega^2 + j\frac{\omega\omega_0}{Q}}. \end{aligned}$$

Il s'agit de la fonction de transfert d'un filtre passe-bas du second ordre.

1.2) Première étape : mesure du module de l'impédance électrique du haut-parleur

1) Sachant que l'impédance d'entrée du haut-parleur est au maximum de l'ordre de quelques dizaines d'ohms, proposer un montage expérimental permettant de mesurer le module de l'impédance électrique du haut-parleur. Tout le matériel usuel d'électronique est à votre disposition.

VALIDATION DE L'ÉTAPE N° 1

Appeler le professeur pour qu'il valide votre protocole de mesure.

2) La gamme de fréquence intéressante s'étend jusqu'à quelques centaines de hertz. Procéder à la mesure du module de l'impédance électrique du haut-parleur en fonction de la fréquence. Il vous est demandé d'évaluer les incertitudes associées à vos mesures et de valider, le cas échéant, les hypothèses sur lesquelles repose le protocole que vous avez proposé.

2) Mesure interférométrique du déplacement de la membrane

On vous propose maintenant de mesurer le déplacement de la membrane par une méthode interférométrique. La membrane mobile du haut-parleur sera utilisée comme un des deux miroirs d'un interféromètre de Michelson, éclairé par des ondes centimétriques.

2.1) Les ondes centimétriques

Les ondes centimétriques, ou micro-ondes, sont des ondes électromagnétiques, dont la longueur d'onde, comme leur nom l'indique, est de l'ordre du centimètre. Elles font partie des hyperfréquences, dont les longueurs d'onde s'échelonnent du millimètre au mètre. Les hyperfréquences sont utilisées dans la communication avec les satellites. D'autres usages courants sont la cuisson des éléments, car l'eau absorbe fortement les hyperfréquences, les radars et la téléphonie mobile (900 MHz pour le GSM et 1800 MHz pour le réseau DCS).

Dans cette activité, on utilisera un émetteur (alimenté en continu) et un récepteur d'ondes centimétriques.

2.2) Deuxième étape : réalisation de l'interféromètre

Vous disposez du matériel suivant pour réaliser un interféromètre de Michelson :

- deux plaques métalliques, jouant le rôle de miroirs, et leurs pieds ;
- une lame séparatrice ;
- l'émetteur, le récepteur d'ondes centimétriques et leurs supports ;
- un régleur métallique, du ruban adhésif.

➤ Disposer le matériel sur la paillasse de façon à réaliser un interféromètre de Michelson.

➤ Fixer (à l'aide de ruban adhésif) le régleur sur la paillasse, de façon à pouvoir repérer la position d'un des deux miroirs, que l'on désigne comme le miroir mobile.

➤ Alimenter l'émetteur et observer le signal délivré par le détecteur à l'écran de l'oscilloscope.

VALIDATION DE L'ÉTAPE N°2

Appeler le professeur pour qu'il contrôle votre réalisation expérimentale de l'interféromètre.

2.3) Troisième étape : mesure de la longueur d'onde

- 1) Déplacer le miroir mobile afin d'obtenir un signal de sortie minimum. Retoucher alors l'orientation de la lame séparatrice et du miroir mobile afin d'obtenir un signal de sortie le plus faible possible. Que dire alors du contraste ?
- 2) Élaborer et mettre en œuvre une méthode permettant, en déplaçant le miroir mobile, de déterminer la longueur d'onde et évaluer l'incertitude associée à cette détermination.

VALIDATION DE L'ÉTAPE N°3

Appeler le professeur pour qu'il valide votre protocole de mesure de la longueur d'onde.

2.4) Quatrième étape : mesure du déplacement de la membrane

Le haut-parleur vient remplacer un des « miroirs » de l'interféromètre que vous avez réalisé. On note δ_0 , la différence de marche existant dans l'interféromètre lorsque le haut-parleur est au repos. La longueur d'onde dans le vide du signal délivré par l'émetteur est notée λ_0 .

Du point de vue électrique, le haut-parleur est associé en série à une résistance R ; le dipôle ainsi constitué doit être alimenté par le générateur BF en régime sinusoïdal.

- 1) Exprimer la différence de marche $\delta(t)$ si l'amplitude de vibration de la membrane du haut parleur est notée $a(t) = a_0 \cos(2\pi f t + \varphi_0)$. On suppose que $|a(t)| \ll \lambda_0$. Montrer que l'amplitude du signal délivré par le récepteur d'ondes centimétriques peut s'écrire sous la forme :

$$I(t) = \frac{I_0}{2} \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi\delta_0}{\lambda_0}\right) \right] - \frac{2\pi I_0}{\lambda_0} a(t) \sin\left(\frac{2\pi\delta_0}{\lambda_0}\right).$$

Comment a-t-on intérêt à choisir δ_0 pour faciliter la mesure de $a(t)$? Comment faut-il ajuster en conséquence la position du haut-parleur ?

- 2) Comment faut-il choisir la résistance R pour que le courant qui traverse le haut-parleur puisse être considéré d'amplitude constante ?
- 3) Le signal délivré par le récepteur d'ondes centimétriques peut être mesuré grâce à un multimètre. Quel mode (AC ou DC) faut-il choisir pour obtenir un signal lié à l'amplitude du déplacement de la membrane ?

VALIDATION DE L'ÉTAPE N°4

Appeler le professeur pour qu'il contrôle vos réponses aux questions précédentes.

- 4) Relever le signal délivré par le multimètre en fonction de la fréquence f . Enregistrer vos mesures dans le logiciel Régressi. Évaluer aussi les incertitudes liées à vos mesures.

2.5) Cinquième étape : exploitation des mesures

- 1) À l'aide de Régressi, représenter le module Z de l'impédance d'entrée du haut-parleur en fonction de la fréquence. Dans l'écran *Modélisation*, réaliser l'ajustement de $Z(f)$ par la relation :

Noter les valeurs de R , R_m , Q et f_0 fournies par Régressi. Pourquoi ne tient-on pas compte du coefficient d'auto-inductance L dans cette modélisation ?

2) Représenter ensuite le signal délivré par le multimètre en fonction de la fréquence. Il varie comme H , module de \underline{H} , puisque l'amplitude du courant dans le haut-parleur est maintenue constante.

À l'aide de Régressi, procéder à une nouvelle détermination de Q et f_0 . Commenter les résultats obtenus.

VALIDATION DE L'ÉTAPE N°5

Appeler le professeur pour lui présenter les modélisations de vos mesures.