# TP DS 1/2

Les rhéostats sont des éléments fréquemment utilisés dans les expériences d'électricité, notamment lorsque des courants voisins de l'Ampère sont mis en jeux. Pour des fréquences inférieures au kHz, on peut se contenter des les considérer comme de simples résistances. Dès que la fréquence dépasse le kHz, on constate qu'ils deviennent de plus en plus inductifs, ce qui est prévisible, compte tenu de leur forme en solénoïde. Par ailleurs, avec l'effet de peau, on constate que la partie réelle de leur impédance a elle aussi tendance à augmenter. Ce sont ces deux effets que nous allons chercher à caractériser par la suite sur un rhéostat $50\,\Omega/5\,\mathrm{A}$ tel que ceux présentés sur la photographie suivante :

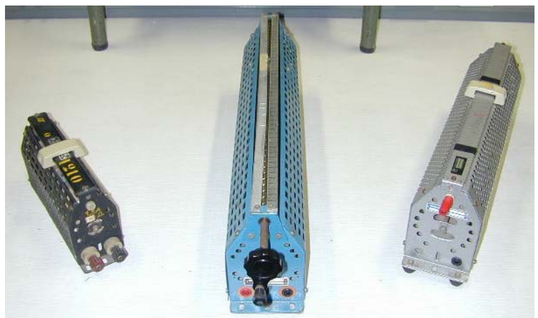

**FIGURE 1**

## 1 Étude de l'impédance du rhéostat en fonction de la fréquence

✘ Mettre en œuvre un protocole permettant d'obtenir $R(f)$, $u_{R(f)}$, $X(f)$ et $u_{X(f)}$ en fonction de $f$ pour $f$ variant de 1 kHz à 3 MHz sous Latis-Pro
Quelques conseils :

- Adapter vos prises de mesure à la plage de fréquences étudiées.
- Adapter la résistance permettant de mesurer l'intensité aux valeurs de $R(f)$ et $X(f)$.
- Restez critique vis à vis de la mesure automatique de phase (signe ? valeur ?). Vérifier que les valeurs données restent cohérentes.
- Pensez à utiliser le moyennage afin de stabiliser la phase.
- Pensez à vérifier la linéarité du système en visualisant la forme des signaux à l'oscilloscope.
- Pour chaque fréquence, déterminer instantanément les valeurs de $R$ et $X$ afin de vérifier la cohérence de vos mesures.
- Lorsque vous constater l'apparition d'un pic de résonance (pour $R$ ou pour $X$), réduisez l'intervalle des fréquences pour obtenir un pic de qualité.

***Appeler pour contrôle avant de commencer vos mesures***

✘ Récapituler vos résultats dans une tableau à joindre à votre compte-rendu.

# 2 Modélisation BF

On modélise l'impédance du rhéostat par l'association en série d'une résistance et d'une bobine.

## 2.1 Modélisation de l'évolution de la résistance du fil avec la fréquence

Pour un conducteur métallique parcouru par un courant variable, on peut supposer que la conductivité diminue quand on s'éloigne de la surface, et que cette diminution est d'autant plus rapide que la fréquence des courants est élevée.

Ainsi, pour un conducteur cylindrique, de rayon $r_0$, de conductivité en surface $\sigma_0$ parcouru par un courant à fréquence $f$, on pourra écrire que la conductivité vaut :

$$\sigma(r) = \sigma_0 \exp\left(\frac{r - r_0}{\delta}\right)$$

Où : $\delta = \sqrt{\dfrac{1}{\pi\mu_0\sigma_0 f}}$ est la profondeur de peau dans le conducteur.

1. Déterminer la résistance $R_0$ du conducteur en régime continu.
2. Montrer que la résistance du conducteur cylindrique en régime variable de fréquence $f$ vaut [1] :

$$R(f) = \frac{R_0}{2} \cdot \frac{1}{\dfrac{1}{a\sqrt{f}} + \dfrac{1}{a^2 f}\left(\exp\left(-a\sqrt{f}\right) - 1\right)}$$

Où :

$$a = r_0\sqrt{\pi\sigma_0\mu_0}$$

*Il faut noter que pour des fréquences plus élevées, l'ajustement fonctionne moins bien. Le modèle large bande, vu par la suite, permet de modéliser les variations des parties réelles et imaginaires de l'impédance : les effets capacitifs appaissant avec les hautes fréquences sont modélisés.*

### 2.1.1 Exploitation des résultats concernant $R(f)$

On utilisera le tableau de valeur pour $f < 10\,\text{kHz}$

- ✘ Sous Latis-Pro, modéliser $R(f)$ à l'aide de l'approche théorique précédente.
- ✘ En déduire les valeurs de $a$ et de $R0$ ainsi que leurs incertitudes.
- ✘ Comparer la valeur trouvée pour $R0$ à la valeur mesurée à l'aide d'un ohmètre. Conclure.
- ✘ Quelle(s) donnée(s) constructeur faudrait-il avoir pour valider la valeur numérique trouvée pour $a$ ?

1. Calcul à faire une fois toutes les mesures expérimentales faites

### 2.1.2 Exploitation des résultats concernant $X(f)$

On utilisera le tableau de valeur pour $f < 10\,\text{kHz}$

- ✘ Sous Latis-Pro, modéliser $X(f)$ à l'aide de l'approche théorique précédente.
- ✘ En déduire la valeur de $L$ ainsi que son incertitude.
- ✘ Comparer la valeur trouvée à la valeur mesurée à l'aide d'un pont de mesure (en choisissant une fréquence de l'ordre du kHz). Conclure.

# 3 Modélisation large bande du rhéostat

On modélise l'impédance du rhéostat par le schéma représenté figure 2 .

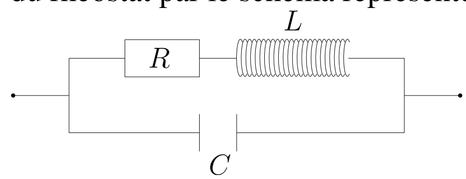


**Figure 2 –** Modélisation large bande du rhéostat

- ✘ Calculer l'impédance équivalente du rhéostat en fonction de $R$, $L$ et $C$. En déduire les expressions théoriques des parties réelles et imaginaires :

$$R_{th}(\omega) = \frac{R}{(1 - LC\omega^2)^2 + (RC\omega)^2}$$

$$X_{th}(\omega) = L\omega \frac{1 - LC\omega^2 - \dfrac{R^2C}{L}}{(1 - LC\omega^2)^2 + (RC\omega)^2}$$

- ✘ On note $f_{res}$ la fréquence pour laquelle $R(f)$ est maximale. Montrer que $C$ vérifie :

$$C = \frac{2L}{R^2 + 2L^2(2\pi f_{res})^2}$$

- ✘ A partir de vos résultats expérimentaux, déterminer $f_{res}$. En utilisant les valeurs de $R(f_{res})$ et $L$ trouvées précedemment, déterminer la valeur numérique de $C$.
- ✘ Ecrire le code Python suivant :
  - — Créer un tableau donnant les valeurs de $f$ utilisées lors des mesures
  - — Créer deux tableaux donnant les valeurs de $R(f)$ et $X(f)$ obtenues expérimentalement
  - — Créer deux tableaux donnant les valeurs des incertitudes types pour chaques mesures de $R(f)$ et $X(f)$

*On pourra importer les valeurs depuis Latis-Pro*

  - — Créer deux tableaux donnant les valeurs de $R_{th}(f)$ et $X_{th}$
  - — Créer deux tableaux donnant les valeurs de Z-scores pour chaque mesure de $R(f)$ et $X(f)$.

— Tracer sur une même figure $R(f)$ et $R_{th}(f)$
— Tracer sur une même figure $X(f)$ et $X_{th}(f)$
— Tracer les deux Z-scores en fonction de $f$.
— Conclure quand à la pertinence du modèle utilisé.