

**POLYTECHNIQUE  
MONTREAL**

LE GÉNIE  
EN PREMIÈRE CLASSE



## **RAPPORT – LABORATOIRE 1**

**HOUDE ALEXANDRE  
M.T. HESSOU AUREL**

**DÉPARTEMENT DE GÉNIE PHYSIQUE**

**DANS LE CADRE DU COURS  
PHS1102 – CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES**

**MERCREDI 19 FÉVRIER 2014**

# 1 TABLE DES MATIERES

---

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 2   | Introduction .....  | 3  |
| 3   | Méthodologie expérimentale .....                              | 3  |
| 3.1 | Appareils utilisés .....                                      | 3  |
| 3.2 | Mesure .....  | 4  |
| 3.3 | Formules général .....  | 5  |
| 4   | Présentation des résultats .....                              | 6  |
| 5   | Discussion des résultats .....                                | 7  |
| 6   | Conclusion.....   | 9  |
| 7   | Annexe : calculs d'incertitudes .....                         | 10 |
|     |   |    |
|     | Figure 1. Méthode directe .....                               | 4  |
|     | Figure 2. Méthode comparative .....                           | 4  |
|     | Figure 3. Permittivité relative de différents matériaux ..... | 8  |
|     |   |    |
|     | Tableau 1. Méthode directe .....                              | 6  |
|     | Tableau 2. Méthode comparative.....                           | 6  |
|     | Tableau 3. Capacité théorique .....                           | 6  |
|     | Tableau 4. Mesure de permittivité relative .....              | 7  |

## 2 INTRODUCTION

---

Dans ce laboratoire, nous étudierons la permittivité de différents matériaux. Ces derniers ont une très grande importance dans le domaine de la physique électrique puisqu'un matériau diélectrique entre les armatures d'un condensateur permet d'augmenter la capacité de ce condensateur, ou pour la même capacité, de diminuer la taille du condensateur. Ainsi la permittivité du matériau est directement reliée à la propriété de ce dernier à emmagasiner l'énergie sous forme de champ électrostatique. Nous déterminerons dans ce laboratoire de façon expérimentale la permittivité diélectrique en mesurant la capacité d'un condensateur circulaire lorsqu'il est rempli du matériau diélectrique.

## 3 MÉTHODOLOGIE EXPÉRIMENTALE

---

### 3.1 APPAREILS UTILISÉS

Les appareils que nous utiliserons dans ce laboratoire sont les suivants :

- Voltmètre DM-351 (voir manuel page 51)
- Ampèremètre DM-8034 (voir manuel page 54)
- Générateur de fonction FG2A (voir manuel page 59)
- Oscilloscope GDS-1102A-U (voir manuel page 61)
- Condensateur à écartement variable
- Plaquette avec la résistance  $R = 100 \pm 2 \text{ k}\Omega$
- 3 matériaux diélectriques (A, B, C)
- Micromètre et mètre à mesurer

### 3.2 MESURE

Dans ce premier laboratoire, les appareils étaient déjà pré ajusté à la valeur désirée. Le générateur AC produit une onde sinusoïdale,  $f \approx 800\text{Hz}$  @  $20\text{V}$  crête à crête. Nous vérifions cette mesure avec l'oscilloscope. D'une part, suivant une méthode directe nous avons mesuré le courant et voltage aux bornes du condensateur pour trois différents matériaux et l'air.

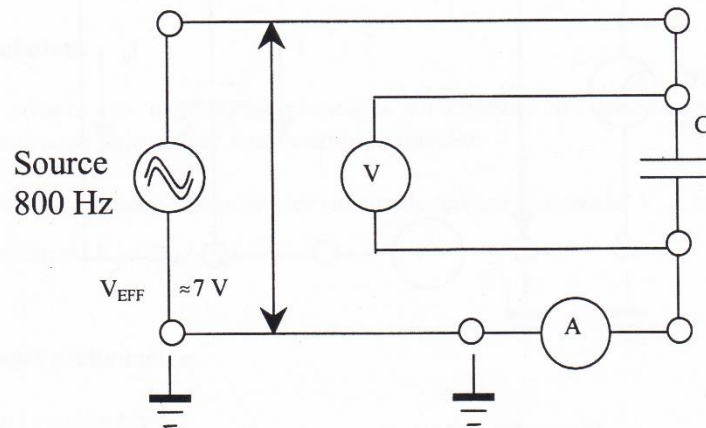


Figure 1. Méthode directe

D'autre part, suivant une méthode comparative, nous avons mesuré le courant et le courant lorsque le condensateur est court-circuité pour les mêmes matériaux et l'air.

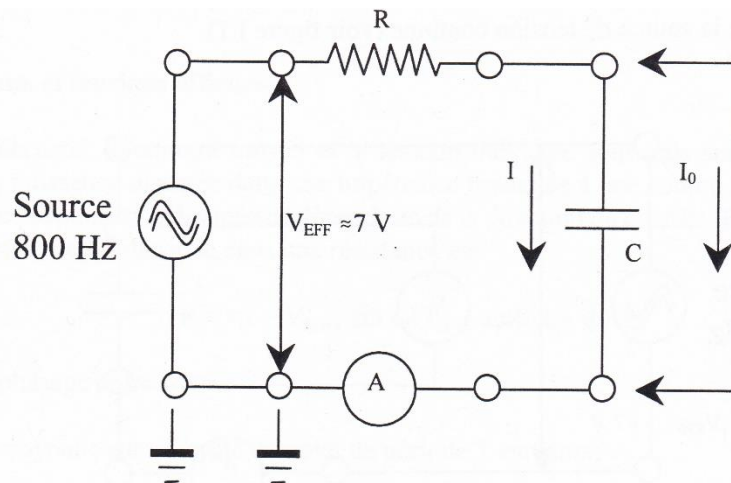


Figure 2. Méthode comparative

Il est à noter que ce sont les valeurs efficaces que nous mesurons. À la suite de ces mesures, nous avons calculé la capacité du condensateur et la permittivité relative du matériau.

### 3.3 FORMULES GENERALES

Méthode directe :  $C = \frac{I}{\omega V}$  [F]

$$\omega = 2\pi f$$

En ce qui concerne l'incertitude de la fréquence, soit  $\Delta T = 2x$  moitié de la plus petite division (où T est la période du signal en secondes).

Méthode comparative :  $C = \frac{1}{R\omega\sqrt{\left(\frac{I_0}{I}\right)^2 - 1}}$  [F]

Capacité théorique :  $C = \varepsilon_r \varepsilon_0 A/d$

Pour calculer C et  $\Delta C$  nous utilisons la méthode des extrêmes (voir annexe).

## 4 PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

---

Le premier tableau présente les mesures de courant et tension pour les différents matériaux ainsi que le calcul de la capacité suivant la méthode directe.

| Matériaux | $I \pm \Delta I$<br>( $\mu A$ ) | $V \pm \Delta V$<br>(V) | C<br>(nF) | $\Delta C$<br>(nF) |
|-----------|---------------------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
| A         | $121.7 \pm 1.6$                 | $6.9 \pm 0.1$           | 3.50      | 0.100              |
| B         | $152 \pm 1.9$                   | $6.9 \pm 0.1$           | 4.40      | 0.100              |
| C         | $14.2 \pm 0.5$                  | $6.9 \pm 0.1$           | 0.40      | 0.025              |
| Air       | $15.2 \pm 0.6$                  | $6.9 \pm 0.1$           | 0.42      | 0.025              |

*Tableau 1. Méthode directe*

Le second tableau présente les mesures de courant pour les différents matériaux ainsi que le calcul de la capacité suivant la méthode comparative.

| Matériaux | $I \pm \Delta I$<br>( $\mu A$ ) | $I_0 \pm \Delta I_0$<br>( $\mu A$ ) | C<br>(nF) | $\Delta C$<br>(nF) |
|-----------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------|--------------------|
| A         | $61.5 \pm 1.0$                  | $68.9 \pm 1.0$                      | 4.10      | 0.690              |
| B         | $63.5 \pm 1.0$                  | $69.0 \pm 1.0$                      | 5.00      | 1.100              |
| C         | $12.8 \pm 0.5$                  | $68.3 \pm 1.0$                      | 0.38      | 0.029              |
| Air       | $14.4 \pm 0.5$                  | $68.8 \pm 1.0$                      | 0.43      | 0.031              |

*Tableau 2. Méthode comparative*

Le troisième tableau présente la capacité théorique d'un condensateur à air en utilisant les dimensions de ce dernier pour en calculer la capacité.

| Matériaux | $d \pm \Delta d$<br>(mm) | $D \pm \Delta D$<br>(mm) | C<br>(nF) | $\Delta C$<br>(nF) |
|-----------|--------------------------|--------------------------|-----------|--------------------|
| Air       | $1 \pm 0.01$             | $225 \pm 1.0$            | 0.35      | 0.0067             |

*Tableau 3. Capacité théorique*

Le dernier tableau présente les calculs de permittivité relative des différents matériaux suivant les capacités calculées et les dimensions mesurées.

| Matériaux  | $C \pm \Delta C$<br>(nF) | $d \pm \Delta d$<br>(mm) | $D \pm \Delta D$<br>(mm) | $\epsilon_r$ | $\Delta \epsilon_r$ |
|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------|---------------------|
| <b>A</b>   | $3.50 \pm 0.100$         | $0.25 \pm 0.01$          | $68.9 \pm 1.0$           | 2.5          | 0.200               |
| <b>B</b>   | $4.40 \pm 0.100$         | $0.25 \pm 0.01$          | $69.0 \pm 1.0$           | 3.1          | 0.230               |
| <b>C</b>   | $0.40 \pm 0.100$         | $3.00 \pm 0.01$          | $68.3 \pm 1.0$           | 3.4          | 0.250               |
| <b>Air</b> | $0.42 \pm 0.025$         | $1.00 \pm 0.01$          | $68.8 \pm 1.0$           | 1.2          | 0.094               |

*Tableau 4. Mesure de permittivité relative*

## 5 DISCUSSION DES RÉSULTATS

---

Des deux méthodes utilisées pour calculer la capacité chacun offre des avantages et inconvénients. Pour ce qui est de la méthode directe, elle semble plus précise étant donné que nous avons calculé des  $\Delta C$  plus faibles, mais elle nécessite l'utilisation de deux instruments de mesure, soit un voltmètre et un ampèremètre. Quant à la méthode comparative qui permet de pouvoir calculer la capacité seulement à l'aide d'un ampèremètre, offre cependant une moins bonne précision, car les  $\Delta C$  calculés sont plus élevés.

Somme toute, avec les deux méthodes, nous avons calculé des capacités relativement semblables tout comme la valeur de la capacité théorique du condensateur à air.

| Matériau        | Permittivité | Matériau            | Permittivité |
|-----------------|--------------|---------------------|--------------|
| Vide            | 1,0          | Quartz              | 3,75         |
| Air             | 1,0006       | Verre-Corning 0120  | 6,65         |
| Teflon          | 2,04         | Verre-Pyrex 7060    | 4,70         |
| Polyéthylène    | 2,26         | PMMA ("Plexiglas")  | 2,6 - 2,8    |
| Polystyrène     | 2,55         | NaCl                | 4,86         |
| Mylar           | 3,22 - 4,3   | KCl                 | 5,9          |
| Papier imprégné | 4 - 6        | Mica                | 5,0          |
| Mélamine        | 6,0 - 6,9    | Diamant             | 5,66         |
| Eau             | 80           | Dioxyde de titanium | 100          |

Figure 3. Permittivité relative de différents matériaux

En se basant sur le tableau des permittivités relatives de différents matériaux et sur leur apparence physique, voici nos suggestions des noms des différents matériaux

| Matériaux ? | $\epsilon_r \pm \Delta\epsilon_r$ | Nom Matériaux |
|-------------|-----------------------------------|---------------|
| <b>A</b>    | $2.5 \pm 0.20$                    | Polyéthylène  |
| <b>B</b>    | $3.1 \pm 0.23$                    | Mylar         |
| <b>C</b>    | $3.4 \pm 0.25$                    | Plexiglas     |

Cependant, il y a plusieurs causes d'erreur qui entachent nos mesures. D'une part, il se peut que de l'air soit resté emprisonné entre le matériel et les plaques de métal, ce qui aurait pu modifier nos mesures. D'autres parts, l'instrument utilisé pour mesurer l'épaisseur des différents matériaux n'était pas suffisamment précis, alors des risques d'erreur s'en suivent. Comme les capacités calculées sont de l'ordre des nano farad, une faible variation d'une des variables peut provoquer une grande différence quant au résultat.



## 6 CONCLUSION

---

Pour conclure, on peut dire que nous avons atteint le but de notre expérience, qui était de calculer la capacité de trois différents matériaux et de l'air suivant une méthode directe et une méthode comparative. Nous avons ensuite déterminé que la méthode directe était plus précise et nous nous en sommes donc servis pour les calculs de permittivité relative des différents matériaux. Il va alors rester à valider si nous avons identifié les bons matériaux.

### **Bibliographie**

- L. Martinu, D. Simon, J. Cerny. Champs électromagnétiques 4ème édition : Manuel de laboratoire N 6542. Presses Internationales Polytechnique. Montréal. 2012

## 7 ANNEXE : CALCULS D'INCERTITUDES

---

Méthode directe – Matériau A

Formules :

$$C = \frac{I}{\omega V} \quad X = \frac{X_{max} + X_{min}}{2} \quad \Delta X = \frac{X_{max} - X_{min}}{2}$$

Exemple :

$$X_{max} = \frac{I_{max}}{\omega_{min} * V_{min}} = \frac{123.3}{2\pi * 800 * 6.8} = 3.60 \text{ nF}$$

$$X_{min} = \frac{I_{min}}{\omega_{max} * V_{max}} = \frac{120.1}{2\pi * 800 * 7.0} = 3.41 \text{ nF}$$

$$X = \frac{X_{max} + X_{min}}{2} = \frac{3.60 + 3.41}{2} = 3.50 \text{ nF}$$

$$\Delta X = \frac{X_{max} - X_{min}}{2} = \frac{3.60 - 3.41}{2} = 0.10 \text{ nF}$$

Méthode comparative – Matériau A

Formules :

$$C = \frac{1}{R\omega \sqrt{\left(\frac{I_0}{I}\right)^2 - 1}} \quad X = \frac{X_{max} + X_{min}}{2} \quad \Delta X = \frac{X_{max} - X_{min}}{2}$$

Exemple :

$$X_{max} = \frac{1}{R_{min} * \omega \sqrt{\left(\frac{I_{0min}}{I_{max}}\right)^2 - 1}} = \frac{1}{98k * 2\pi * 800 \sqrt{\left(\frac{67.9}{62.5}\right)^2 - 1}} = 4.78 \text{ nF}$$

$$X_{min} = \frac{1}{R_{max} * \omega \sqrt{\left(\frac{I_{0max}}{I_{min}}\right)^2 - 1}} = \frac{1}{102k * 2\pi * 800 \sqrt{\left(\frac{69.9}{60.5}\right)^2 - 1}} = 3.40 \text{ nF}$$

$$X = \frac{X_{max} + X_{min}}{2} = \frac{4.78 + 3.40}{2} = 4.10 \text{ nF}$$

$$\Delta X = \frac{X_{max} - X_{min}}{2} = \frac{4.78 - 3.40}{2} = 0.69 \text{ nF}$$