

## MP19 : Effets capacitifs

Damien RIOU

15 mai 2015

### Objectifs

- Etudier les effets capacitifs et les paramètres les influençant
- Mesurer deux capacités sur des outils utilisés régulièrement par les physiciens

### Plan

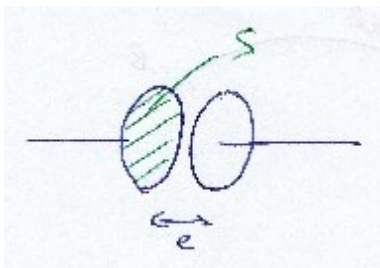
### Introduction

En tant que physiciens, les effets capacitifs nous entourent. Ils surviennent lorsque deux conducteurs soumis à des potentiels différents sont en regard au travers d'un diélectrique ; c'est la formation d'un condensateur. La majeure partie de ces effets sont indésirables et viennent perturber les mesures si on travaille à haute fréquence du fait du caractère passe-bas des filtres RC, mais ils peuvent aussi être utiles en permettant de réaliser des mesures. Il est donc important de montrer comment ce phénomène apparaît pour pouvoir bien le contrôler.

Dans un premier temps nous allons étudier quelques facteurs qui influencent la capacité, et ensuite, nous nous intéresserons à quelques applications.

### A Paramètres influençant les effets capacitifs

Pour étudier les paramètres influençant les effets capacitifs, nous allons utiliser le condensateur d'Aepinus. Ce condensateur possède deux armatures métalliques qui stockent des charges électriques qui génèrent un champ électrique. Il est formé de deux armatures métalliques en regard qui forment un condensateur, la distance entre-elles étant réglable.



La capacité d'un tel système est donnée par la formule suivante :

$$C = \epsilon S/e, \text{ avec } \epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$$

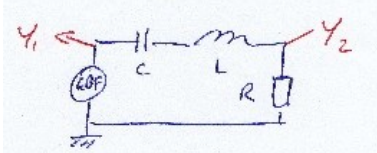
La superficie des armatures étant fixée, nous allons étudier l'influence de la distance entre les armatures et celle du diélectrique sur la capacité du condensateur.

## A.1 Influence de la distance entre les armatures

La capacité d'un tel dispositif est limitée, elle est de l'ordre de quelques dizaines de picofarad. Nous allons ainsi utiliser un résonateur RLC pour déterminer avec précision la capacité du condensateur pour différentes valeurs de distance entre les armatures, toutes choses étant égales par ailleurs. Les valeurs de résistance et d'inductances sont fixées de manière à avoir un bon facteur de qualité, de l'ordre de la centaine. Ceci permet d'avoir une résonance bien aiguë, ce qui nous permettra de faire une mesure précise de la fréquence de résonance.

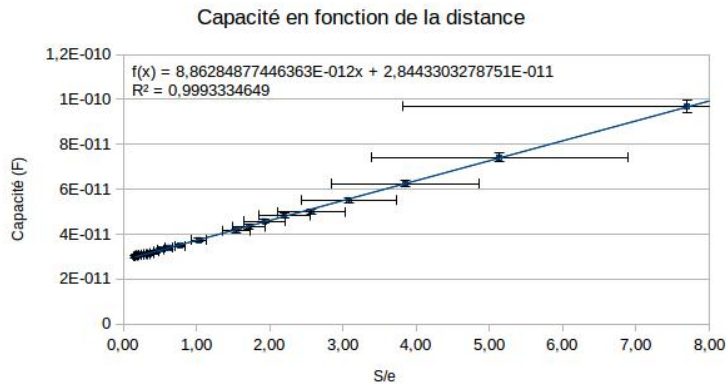
$$\begin{cases} R = 500\Omega \\ L = 44mH \end{cases}$$

Nous cherchons ici la résonance en courant, nous observerons sur l'oscilloscope la tension aux bornes de la résistance.



La fréquence de résonance peut-être recherchée grâce à l'oscilloscope mis en mode XY. Ce type de résonateur nous donne à la résonance une droite. Renouvelée pour différentes valeurs de distance entre les armatures, nous traçons :

$$C = f(S/e), \text{ en sachant que } C = 1/L\omega^2$$



Nous constatons comme attendu que plus la distance entre les armatures augmente, plus la capacité de condensateur diminue. Nous devons aussi signaler que plus la distance augmente, plus les effets de bords deviennent importants du fait de la distorsion des lignes de champ électrique. Nous devons alors garder à l'esprit que pour de grandes valeurs de distance, la mesure faite n'aura plus de sens physique.

De cette expérience, nous pouvons en tirer la valeur de la permittivité du vide, la permittivité relative de l'air étant très proche de 1. Nous obtenons alors :

$$\epsilon_0 = 8,86 \pm 0,05 \cdot 10^{12} F.m^{-1}$$

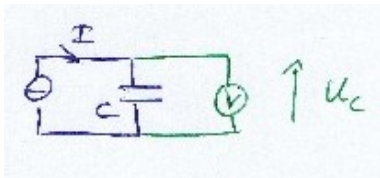
Cette valeur est à comparer à la valeur tabulée qui est très proche :

$$\epsilon_0 = 8,84 \cdot 10^{12} F.m^{-1}$$

## A.2 Influence du diélectrique

La formule de la capacité fait apparaître la permittivité relative du milieu. En comparant ainsi les valeurs de capacité du condensateur avec de l'eau ou de l'air entre les armatures, nous allons pouvoir remonter à cette valeur. Pour ceci, nous allons employer le condensateur d'Aepinus avec un écartement de 3 mm entre les armatures.

La capacité est mesurée avec un capacimètre. Plusieurs types de ces outils existent, mais nous pouvons supposer que celui-ci charge le condensateur à courant constant.



Nous avons ainsi la relation suivante, en fonction du temps :

$$u_c = I/ct$$

La droite ainsi obtenue fait apparaître la capacité du condensateur dans son coefficient directeur.

L'eau est placée dans un sac étanche entre les armatures du condensateur, de manière à minimiser au maximum l'espace entre le liquide et le métal. Le capacimètre nous indique une valeur de capacité plus grande lorsque l'eau est utilisée comme diélectrique que quand l'air remplit cet office. Nous pouvons donc remonter à la permittivité relative de l'eau par :

$$\epsilon_r(\text{eau}) = C(\text{eau})/C(\text{air}) = 82 \pm 19$$

Nous pouvons remarquer que l'incertitude est particulièrement importante, elle montre que cette mesure est assez aléatoire compte-tenu du fait qu'il est impossible d'être certain que l'eau est effectivement bien en contact en tout point avec le métal. Nous comparons alors cette valeur avec la grandeur tabulée :

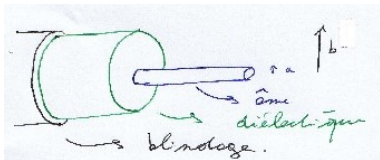
$$\epsilon_r^{\text{tab}}(\text{eau}) = 80$$

Dans cette partie, nous avons pu voir quelques paramètres qui ont une influence sur la capacité d'un dispositif. Intéressons nous à des capacités qui peuvent venir jouer un rôle dans nos mesures au laboratoire.

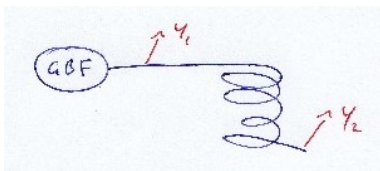
## B Applications

### B.1 Mesure de la capacité d'un câble coaxial

Le câble coaxial est un câble très utilisé pour la transmission d'information à haute fréquence ; c'est ce type de câble qui est par exemple utilisé pour les liaisons filaires transatlantiques. Il a pour grand avantage de ne pas perturber ni être perturbé par les activités électromagnétiques extérieures. Du centre vers l'extérieur, il est composé d'une âme transportant le signal, d'un diélectrique, d'un blindage relié à la masse et d'une gaine extérieure.



Sur une section de câble  $dx$ , nous pouvons modéliser le câble coaxial par une association d'une bobine et d'une capacité. Nous allons donc chercher à calculer cette capacité linéique puis la capacité totale du câble que nous avons pour l'expérience.



Avant toute chose, nous devons nous pencher sur la fréquence maximale du signal sinusoïdal que nous allons pouvoir envoyer dans le câble pour faire les mesures. En effet, nous allons par le biais d'un GBF émettre un signal sinusoïdal qui sera capté par la voie 1 de l'oscilloscope. Ce signal sera aussi envoyé dans la grande longueur du câble coaxial, puis intercepté par la voie 2 de l'oscilloscope, avant d'être dissipé dans une résistance choisie de manière à éviter toute réflexion par adaptation d'impédance. Voulant mesurer la vitesse de l'onde dans le câble, nous devons nous assurer que nous avons au maximum un déphasage de  $90^\circ$  de manière à avoir sur une même période le signal envoyé dans le câble et celui reçu à travers celui-ci. La vitesse de l'onde étant au maximum celle de la lumière dans le vide, nous obtenons que la fréquence sera au maximum de 1,35 MHz. Nous choisissons arbitrairement une fréquence de travail de 1 MHz.

Nous allons donc pouvoir mesurer le déphasage en terme de période temporelle de déphasage  $T$  entre les signaux des voies 1 et 2, ceci nous permettra d'avoir la vitesse de l'onde dans le câble connaissant la longueur  $d$  du câble :

$$v = d/T$$

Nous pouvons ainsi obtenir l'indice optique du milieu isolant, si on considère que l'onde électromagnétique se propage dans celui-ci :

$$n = \sqrt{\epsilon_r} = v/c, \epsilon_r = (v/c)^2$$

Le matériau diélectrique est, selon la fiche constructeur, du polyéthylène. Nous pouvons ainsi mettre en regard la valeur que nous calculons ici et celle tabulée :

$$\epsilon_r(PE) = 2,79 \pm 0,04$$

$$\epsilon_r^{tab}(PE) = 2,5$$

Nous pouvons ainsi calculer les capacités linéiques et totales du câble, connaissant les paramètres a et b, fonction de la géométrie du câble étudié :

$$\Gamma = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r}{\ln(b/a)}$$

$$C = \Gamma l$$

Nous obtenons :

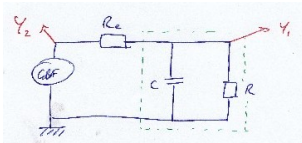
$$\Gamma = 1,30 \pm 0,06 \cdot 10^{-10} F.m^{-1}$$

$$C = 1,45 \pm 0,07 \cdot 10^{-8} F$$

Cette valeur pourrait être comparée à la valeur obtenue en mesurant la capacité du câble avec un capacimètre. Nous comprenons donc que lors du transport d'un signal, le câble agit comme un petit condensateur. Ce phénomène capacitif n'est pas seulement observé dans les câble coaxiaux, il survient aussi dans le transport de puissance électrique dans le réseau électrique à haute tension.

## B.2 Mesure de la capacité d'entrée d'un oscilloscope en mode DC

Une capacité cachée dans un de nos appareil de mesure est située dans l'oscilloscope lorsqu'il est utilisé en mode DC. Considérons le montage suivant, avec en pointillé le schéma équivalent de l'entrée DC de l'oscilloscope. Nous prendrons dans ce montage les câbles les plus courts possibles de manière à limiter au maximum les effets capacitifs qu'ils génèrent.



La résistance  $R_e$  a été définie à basse fréquence de manière à être égale à la résistance d'entrée  $R$  de l'oscilloscope. Ainsi, la fonction de transfert devient :

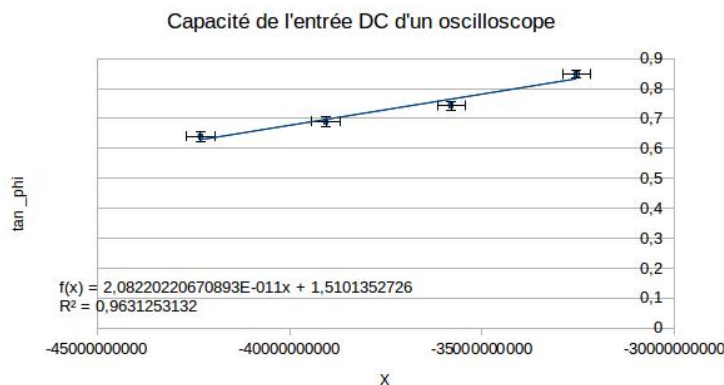
$$\frac{s(t)}{e(t)} = \frac{1/1+jRC\omega}{R+R/1+jRC\omega} = \frac{1}{2+jRC\omega}$$

Ainsi, on a :

$$\tan\varphi = -\frac{R\omega}{2}C$$

En mesurant le déphasage entre les signaux passant par l'entrée DC (voie 1) et celle AC (voie 2) de l'oscilloscope pour différentes fréquences de l'ordre de 10 kHz pour mettre en évidence le caractère passe-bas du filtre RC ainsi construit, nous traçons :

$$\tan\varphi = f\left(-\frac{R\omega}{2}\right)$$



La capacité ainsi obtenue par régression linéaire nous donne :

$$C = 20,8 \pm 2,9 pF$$

Cette capacité obtenue est plus élevée que celle étant reportée sur la façade de l'oscilloscope, ce qui peut être expliqué par les probables capacités parasites dues aux câbles et à la boîte à décade. Nous pouvons donc constater que l'appareil de mesure que constitue l'oscilloscope peut influencer sur sa propre mesure si le calibre choisi n'est pas approprié.

## Conclusion

Dans ce montage, nous avons pu en premier lieu étudier les effets capacitifs et les facteurs capables d'influer sur leur force. Nous avons en particulier décrit les effets néfastes de ces effets sur la mesure via l'oscilloscope, mais nous devons garder à l'esprit qu'il peuvent être utilisés de manière analogue au condensateur d'Aepinus pour mesurer de très courtes distances.

## Bibliographie

- [1] Dictionnaire de physique expérimentale, tome 4, L. Quaranta
- [2] Physique expérimentale pour les concours de l'enseignement, JP. Bellier, Dunod
- [3] Hprépa, Ondes : 2e année, Brébec, Hachette