

## M19 Effets capacitifs

### Introduction :

Expérience de l'électroscope avec une barre de verre chargée par une peau de chat.

La plaque de l'électroscope se charge par influence.

Effet capa=résultat d'une accumulation de charges au niveau de deux zones de l'espace en influence totale.

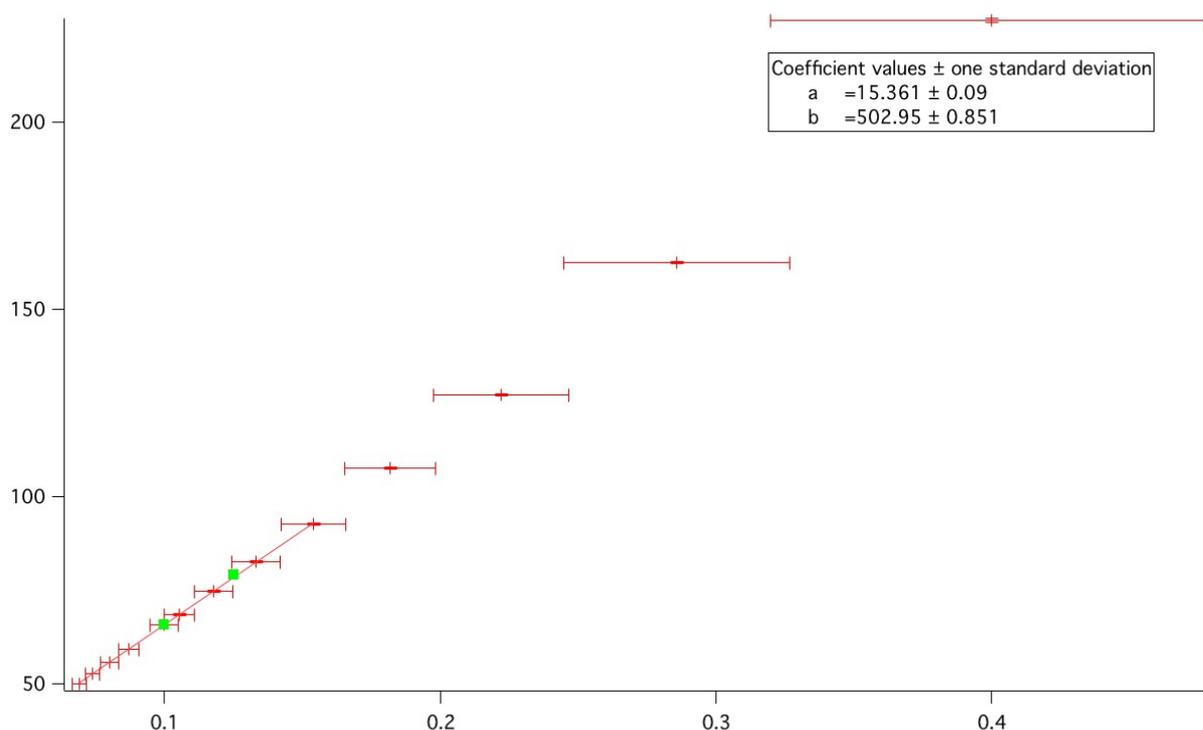
### I/ Condensateur modèle : Le condensateur d'Aepinus.



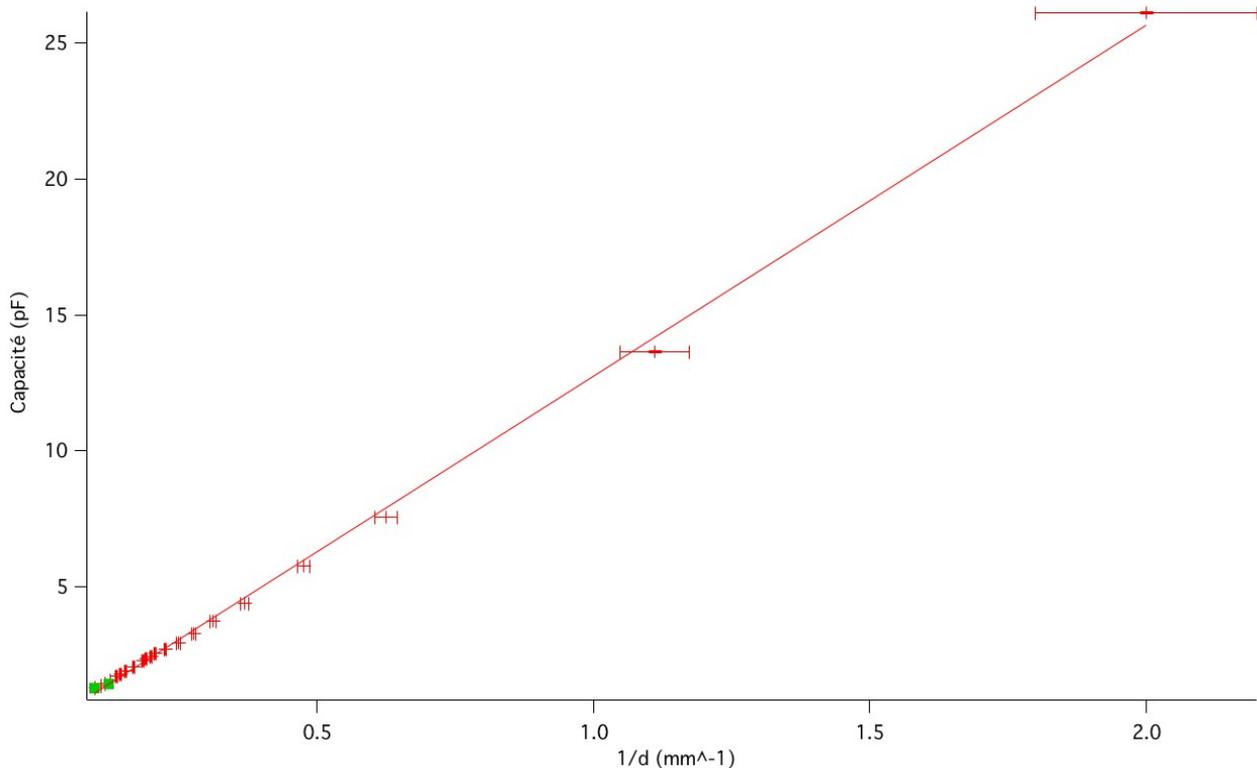
On branche un LC-mètre sur les plaques du condensateur et on mesure la capacité pour différentes distances entre les deux plaques.

$C = \epsilon S/d$ , où  $e$  est la distance entre les deux plaques. En traçant  $C$  en fonction de  $1/d$ , on obtient :

-dans le cas d'un condensateur sans garde (avec beaucoup de capacités parasites...).



-dans le cas d'un condensateur avec garde (très peu de capacités parasites grâce à l'électrode de garde).



Connaissant  $\epsilon$ , on déduit des pentes la surface des plaques métalliques.

On mesure les capacités parasites en  $1/d=0$ .

Le condensateur d'Aepinus peut servir de détecteur de distance, détecteur de mouvement.

Les écrans de téléphones tactiles marchent à l'aide de capacité et des capacités parasites dues aux doigts.

Attention : -Les plaques ne sont pas parfaitement parallèles. La première fois, on règle la distance entre les plaques à l'aide d'une bille de précision placée au centre.

-Lorsqu'on rapproche les deux plaques on augmente les effets parasites !

-On peut rajouter des diélectriques entre les plaques.

## II/ Mesure de capacités : Le câble coaxial.

On branche un LC-mètre sur le câble coaxial.

Pour 1 mètre, la capacité moyenne est 100 pF (on utilisera cette mesure pour l'expérience suivante).

## III/ Capacités parasites : Jonction PN de la photodiode.

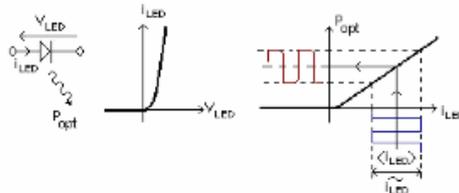
Tout est expliqué dans le TP de JBD.

## I. Principe de l'expérience.

L'expérience comporte un circuit émetteur de flux lumineux et un circuit récepteur. Les deux circuits sont disponibles sur une même maquette (ENSC349). La diode électroluminescente employée est une diode rouge. La photodiode caractérisée est de type PIN10. Elle présente une surface sensible de 1 cm<sup>2</sup> environ et comporte une capacité de jonction importante, de l'ordre de la centaine de pF. Elle fonctionne dans le visible.

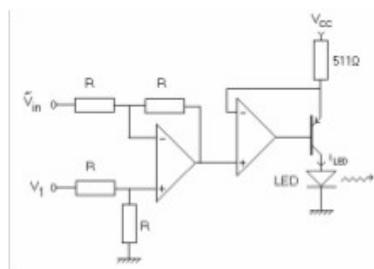
### • Le circuit chargé de créer le flux lumineux de test.

Le flux lumineux en créneau sera obtenu à partir d'une diode électroluminescente dans laquelle on injectera un courant en forme de créneau. En effet, en statique, le comportement d'une diode électroluminescente peut être représenté par les caractéristiques suivantes :



Dès que le courant injecté dans le composant dépasse une valeur donnée, la puissance optique émise va évoluer de façon affine par rapport au courant. Pour obtenir un flux lumineux évoluant temporellement en forme de créneau, il va falloir que le courant présente une composante continue afin d'être polarisé dans la zone affine. Sa partie variable donnera l'allure de la variation de puissance optique.

Le circuit électronique utilisé pour créer le flux lumineux d'allure voulue présente la structure suivante :



Il permet d'obtenir un courant dans la diode électroluminescente vérifiant :

$$i_{LED} = \frac{V_{cc} - (V_1 - \bar{V}_{be})}{R_o} = \bar{i}_{LED} + \tilde{i}_{LED}$$

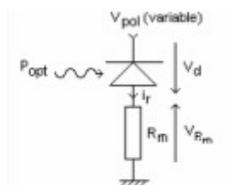
La tension  $V_1$  est continue et réglable avec un potentiomètre situé sur la maquette. La tension  $V_{in}$  est une tension variable en créneau, sans composante continue, appliquée par un GBF.  $R_o$  est une résistance de 511  $\Omega$ .

Sur le plan dynamique, on fera en sorte de rendre le temps de réponse de la photodiode le plus long possible, afin que le temps de réponse de la diode électroluminescente soit négligeable devant ce dernier et que l'on puisse considérer les créneaux de flux lumineux obtenus comme parfaits, vis-à-vis de la photodiode.

### • Le circuit chargé de détecter le flux lumineux : photodiode et conversion tension/courant.

La photodiode va convertir la puissance optique reçue en un courant pratiquement proportionnel à cette puissance. Ce courant sera ensuite converti en tension pour être directement visualisable sur un oscilloscope.

Le circuit employé se présente sous la forme suivante :



La tension de polarisation  $V_{pol}$  est une tension positive réglable, qui permet d'assurer une polarisation en inverse de la photodiode. La résistance  $R_m$  est une résistance de précision destinée à convertir le courant de sortie de la photodiode en une tension observable.

Sous l'action d'un flux lumineux variable autour d'une valeur moyenne, le courant émis par la photodiode présentera également une valeur moyenne et une variation. Il en sera donc de même pour la tension aux bornes de la résistance de mesure. Sachant que nous allons chercher à étudier l'évolution du temps de réponse de la photodiode en fonction de la

tension aux bornes de cette dernière, il va falloir faire en sorte que cette tension soit à pratiquement continue. La tension  $V_d$  aux bornes de la photodiode est donnée par

$$V_d = V_{pol} + V_{R_m}$$

Pour limiter l'ondulation sur  $V_d$ , il faudra limiter l'ondulation sur  $V_{R_m}$ . Pour ça, on fera en sorte que la valeur moyenne du flux lumineux soit grande devant sa variation. Ainsi, l'ondulation sur  $V_d$  sera négligeable et  $V_d$  pourra être assimilée à sa valeur moyenne.

Par ailleurs, la diode est reliée à la maquette par un câble BNC. Pour tenir compte de ce câble sur le comportement du circuit, il faudra penser à ajouter, en parallèle sur la photodiode, une capacité de 100 pF par mètre de câble.

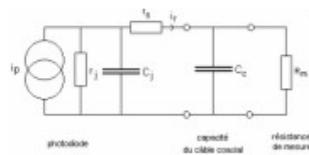
Pour comprendre le temps de réponse de ce circuit, on va le modéliser en régime de petits signaux.  $\sim$

$$\langle V_d \rangle + \tilde{V}_d = \langle V_{pol} \rangle + \langle V_{R_m} \rangle + \tilde{V}_{R_m}$$

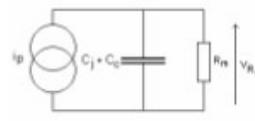
Si on ne conserve que les variations, on arrive à

$$\tilde{V}_d = \tilde{V}_{R_m}$$

Ce qui signifie qu'on se ramène au schéma équivalent suivant :



La résistance  $r_j$  est une résistance de fuite que l'on considérera comme infinie. La résistance  $r_s$  est une résistance de connectique que nous supposons très faible devant la résistance de mesure  $R_m$  qui vaut 100 k $\Omega$ . La capacité  $C_j$  est la capacité de jonction que nous voulons étudier. Compte tenu des simplifications faites, le système étudié se présente, en régime de petits signaux, sous la forme suivante :



On a donc

$$\tilde{i}_p = (C_j + C_c) \cdot \frac{d\tilde{V}_{R_m}}{dt} + \frac{\tilde{V}_{R_m}}{R_m}$$

Sachant que  $i_p$ , le photocourant est pratiquement proportionnel à la puissance optique reçue, la relation entre la puissance optique d'entrée et la tension de sortie est de la forme

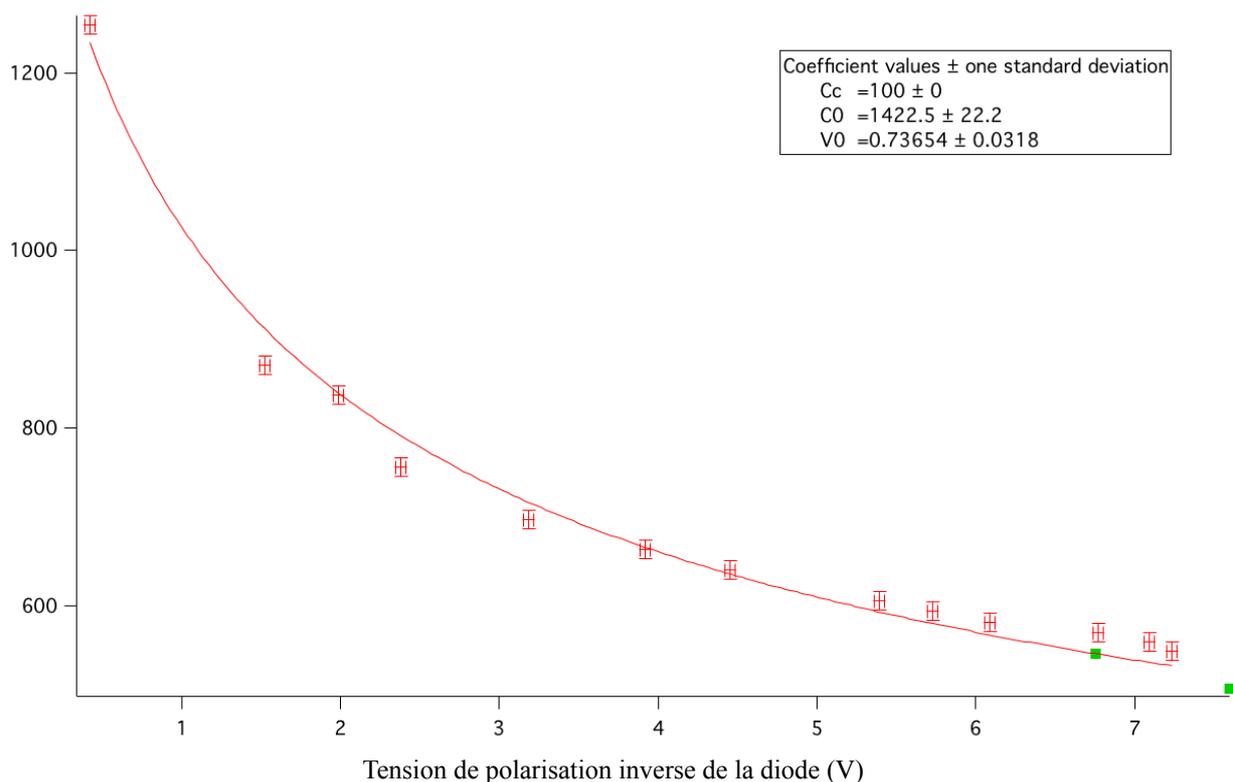
$$\frac{\tilde{V}_{R_m}(p)}{\tilde{P}_{opt}} = \frac{K}{1 + R_m \cdot (C_j + C_c) \cdot p}$$

En mesurant le temps réponse à 63% du système, connaissant  $R_m$ , on en déduit une capacité qui est la somme de la capacité de jonction et de la capacité rapportée par le câble coaxial.

Remarque : pour réaliser la conversion courant/tension, on aurait pu employer un circuit transconductance à amplificateur opérationnel, mais il s'agit en fait d'une fausse bonne idée. En effet, dans ce cas, on ne peut plus déduire la capacité de jonction du temps de réponse, car ce n'est plus la résistance  $R_m$  qui intervient dans le temps de réponse à 63% mais la résistance de connectique  $r_s$  que nous ne connaissons pas.

## II/ Résultats expérimentaux et discussion.

Expérimentalement, on mesure la tension aux bornes de la diode avec un voltmètre afin d'éviter les problèmes de masse. Le temps de réponse est mesuré à partir de la tension aux bornes de  $R_m$ , récupérée avec une sonde de tension d'oscilloscope afin d'éviter d'introduire une capacité de mesure trop importante en parallèle avec  $R_m$ . Compte tenu de la faiblesse de la variation de flux lumineux, le signal récupéré en sortie de la photodiode sera fortement perturbé, essentiellement par un signal à 50 Hz. Nous travaillerons à une fréquence voisine du kHz et nous moyennerons les traces sur lesquelles nous ferons nos mesures de temps de montée. Il faut noter que la prise de mesures est assez lente à cause du moyennage.



On fait un ajustement avec une fonction de la forme

$$C = C_c + \frac{C_0}{\sqrt{1 + |V_d|/V_0}}$$

Dans l'ajustement, on force  $C_c$  à 100 pF afin de prendre en compte la capacité du câble coaxial qui relie la photodiode au circuit. L'autre terme correspond à la capacité d'une jonction abrupte polarisée en inverse.

Pour la photodiode, le constructeur donne une valeur de capacité de jonction comprise entre 300 et 400 pF sous 10V pour la photodiode PIN10.

### **Conclusion.**

Le fait que la capacité de jonction d'une photodiode diminue avec la valeur absolue de la tension inverse de polarisation explique que l'on polarise les photodiodes le plus fortement possible en inverse quand cherche à diminuer leur temps de réponse. C'est indispensable quand on cherche à observer des fluctuations rapides de puissance optique (télécom, ...). Il faut cependant veiller à ne pas dépasser la tension de claquage.

### **Références.**

TP Phytem sur l'étude d'un photorécepteur en statique et en dynamique, conçu et écrit par Bernard Journet.

### **Liste de matériel.**

Maquette sur l'étude d'un photorécepteur (ENSC349) avec la photodiode PIN10 et une LED rouge associée au kit ENSC349.

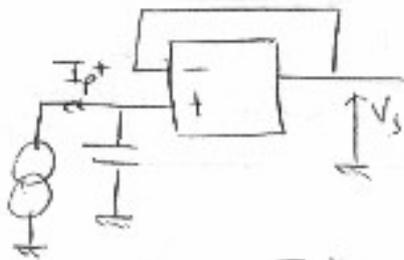
Deux pieds d'optique permettant de maintenir l'émetteur et le récepteur accolés. Une alimentation stabilisée +15V/-15V. Un GBF. Un multimètre et deux pinces crocodiles.

Un oscilloscope Agilent ou HP (avec curseur en X et en Y simultanément) avec deux sondes de tension.

#### IV/ Applications : Mesures de pico-courant :

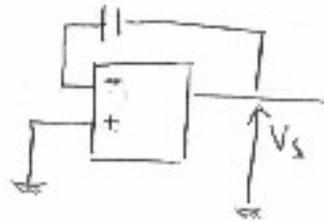
Mesure du courant de polarisation d'un AO.

R. DUFFAIT – Expériences d'électronique, chapitres IV.



$$V_s = -\frac{I_p^+}{C} t + v_{te}$$

ou



$$V_s = \frac{I_p^-}{C} t + v_{te}$$

Matériel : -AO O81

- Capa 10 nF (à choisir pour que la pente ne soit pas trop faible)
- Alim +/- 15 V
- Oscilloscope

Expérience : -On va observer la charge du condensateur sous  $I_{p+}$  et  $I_{p-}$ .

- On court-circuite C avec un fil.
- On observe la tension  $V_s$  lorsqu'on enlève le fil : oscilloscope en mode monocoup.
- De la pente, on déduit  $I_{p+}$  et  $I_{p-}$  (de l'ordre de la dizaine de picoampères).
- On en déduit le courant de décalage de l'AO :  $I_{p+} - I_{p-}$  (de l'ordre de 2 pA).

Attention : L'expérience de mesure de hauteur d'eau, ou de mesure de  $\epsilon_0$  en mettant un condensateur d'Aepinus dans de l'eau, donne des résultats complètement faux.....

Questions : Comment reconnaître une capacité chimique ?

Mesure de capacité avec un circuit RLC ?

Principe de l'électrode de garde ?

Différents types de condensateur ?