

# MP 12 - PHOTORÉCEPTEURS.

Cécile CLAUD et Emmanuel LOMBARD - Version du 18 avril 2014

## Références

- [Bellier] J.-P. Bellier, C. Bouloy et D. Guéant, *Montages de physique : Électricité, électromagnétisme, électronique, acoustique*. Dunod, 2<sup>me</sup> édition, 2004.
- [Sextant] Sextant, *Optique expérimentale*. Hermann, 1997.
- [DufOpt] R. Duffait, *Expériences d'optique*. Bréal, 1997.

## Introduction

Exemple simple de photorécepteur : récepteur du signal de la télécommande [Bellier] p. 233. Il existe deux types de photorécepteurs : les récepteurs photoniques et les récepteurs thermiques [Sextant] p. 57. Dans ce montage, nous nous limiterons à l'étude de deux photorécepteurs photoniques, la photodiode et la photorésistance, mais nous nous servirons des propriétés spectrales d'une thermopile, qui est un photorécepteur thermique. Un photorécepteur est caractérisé par ses différentes propriétés comme [DufOpt] p. 191 :

- sa sensibilité,
- la linéarité de sa réponse avec l'éclairement,
- sa sensibilité spectrale,
- sa réponse temporelle.

Nous allons chercher à trouver le bon récepteur pour recevoir le signal de la télécommande, qui émet des signaux sous forme d'impulsions dans l'infrarouge.

**Objectif.** Caractériser les photorécepteurs choisis : étudier leurs caractéristiques courant-tension, leur linéarité, leurs réponses spectrales et leurs temps de réponse.

## 1 Caractéristiques et linéarité

### 1.1 Photodiode

**Expérience 1.** *Qualitative. Tracer la caractéristique à l'oscilloscope [Sextant] p. 63. Utiliser la fonction persist pour montrer les différentes caractéristiques en fonction de la luminosité.*

Plus il y a de lumière, plus le courant inverse est grand (en valeur absolue). En effet, l'absorption d'un photon crée une paire électron-trou, et les deux porteurs sont séparés par le champ électrique qui règne dans la zone de charge d'espace au niveau de la jonction  $p-n$ . La conduction est assurée par le mouvement de ces porteurs de charges créés par les photons, donc plus il y a de photons, plus le courant inverse augmente (toujours en valeur absolue) [Sextant] pp. 59 – 60.

**Expérience 2.** *Quantitative. Tracer la réponse (courant inverse) en fonction de l'intensité lumineuse [DufOpt] p. 197. On utilise la loi de Malus et deux polariseurs. Dans ce cas, l'intensité lumineuse est proportionnelle à  $\cos^2(\theta)$ , où  $\theta$  est l'angle entre les deux polariseurs. Il faut prendre les points pour  $\theta$  et pour  $-\theta$  et faire une moyenne, pour éviter d'introduire un biais. On trace ensuite  $I_{\text{inverse, moyen}}$  en fonction de  $\cos^2(\theta)$ .*

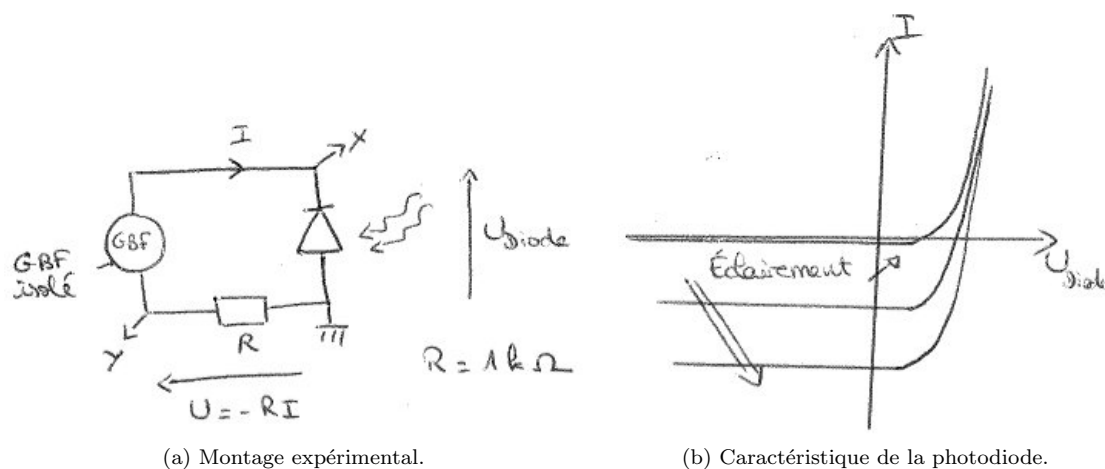


FIGURE 1 – Caractéristique de la photodiode.

*Remarques.* Même avec les polariseurs croisés, la photodiode perçoit a priori un signal, dû au bruit ambiant (faible) et à la non-perfection des polariseurs (même à l'oeil, on peut voir qu'il reste de la lumière après passage par les deux polariseurs). Cependant, dans le cas de la photodiode, le courant inverse qu'on peut mesurer avec l'oscilloscope est nul malgré ce bruit, on n'a donc pas à s'en préoccuper.

Par contre, pour s'affranchir des conditions expérimentales, on divise l'ordonnée par la valeur obtenue pour l'éclairement maximal (dans ce cas l'ordonnée est nécessairement  $< 1$ , et les mesures sont reproductibles).

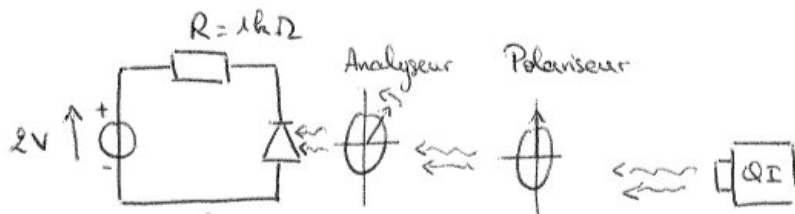


FIGURE 2 – Montage expérimental pour linéarité.

On constate que la photodiode a une réponse linéaire en fonction de la luminosité. En réalité, c'est parce qu'on a polarisé la photodiode de façon à se placer dans la partie plate de la caractéristique.

## 1.2 Photorésistance

**Expérience 3.** *Qualitative.* Tracer la caractéristique à l'oscilloscope [DufOpt] p. 195. Utiliser la fonction persist pour montrer les différentes caractéristiques en fonction de la luminosité. Schéma : cf 1a mais avec une photorésistance à la place de la photodiode.

Plus il y a de lumière, plus la résistance est faible. En effet, l'énergie apportée par la lumière fait passer des électrons de la bande de valence à la bande de conduction : la conductivité augmente, donc la résistance diminue.

**Expérience 4.** *Quantitative.* Tracer la réponse (résistance) en fonction de l'intensité lumineuse. On utilise de nouveau la loi de Malus et deux polariseurs. On trace  $\frac{1}{R_{moyen} - R_0}$  en fonction de  $\cos^2(\theta)$ ,

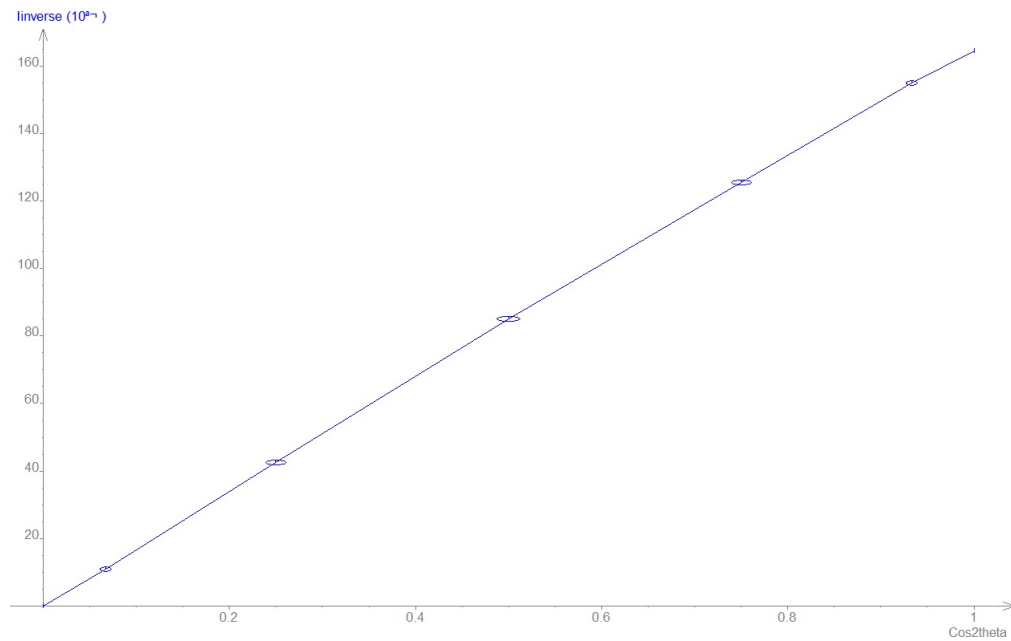


FIGURE 3 – Linéarité de la photodiode.

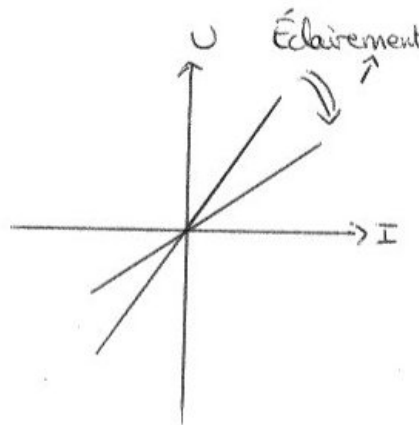


FIGURE 4 – Caractéristique photorésistance.

où  $R_0$  est la résistance mesurée dans l'obscurité (bruit de fond). Schéma : cf 2 mais avec une photorésistance à la place de la photodiode.

*Remarques.* Pour la photorésistance, le bruit ambiant est non négligeable. Ceci est dû au fait que les photorésistances sont des photorécepteurs beaucoup plus sensibles que les photodiodes (on n'étudiera pas la sensibilité dans ce montage, par manque de temps) : une photorésistance réagit significativement même à de très petites variations de la luminosité.

Ici aussi, on divise l'ordonnée par sa plus grande valeur, pour des questions de reproductibilité de la manip.

On constate que la réponse de la photorésistance n'est pas du tout linéaire en fonction de la luminosité. La photorésistance est donc plutôt un capteur de type tout-ou-rien, qui détectera bien des faibles variations d'intensité mais qui ne permettra pas, par exemple, de remonter à la valeur de l'intensité perçue.

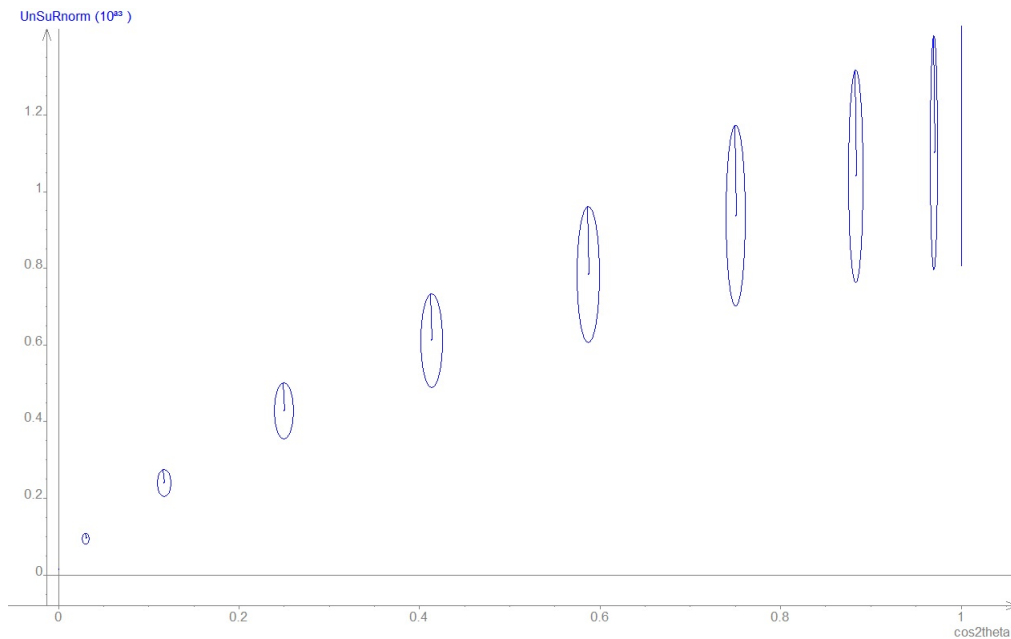


FIGURE 5 – Non linéarité photorésistance.

## 2 Réponse spectrale

### 2.1 Photodiode

**Expérience 5.** *Quantitative. Tracer la courbe de sensibilité spectrale [DufOpt] pp. 197 – 198. Comparer à une thermopile, dont on sait qu'elle a une réponse plate : on trace la réponse de la photodiode divisée par la réponse de la thermopile, soit  $I_{\text{inverse}}/U_{\text{thermopile}}$ , ceci afin d'éviter un biais dû à l'absorption de la lumière par les filtres en fonction de leur longueur d'onde. Attention, il faut a priori calorifuger la thermopile, sinon elle chauffe et sa référence de température dérive. Nous n'avons pas eu le temps de tester cette option. On peut aussi utiliser le puissancemètre Thorlabs, ce qui a été fait ici, pour avoir des mesures plus cohérentes.*

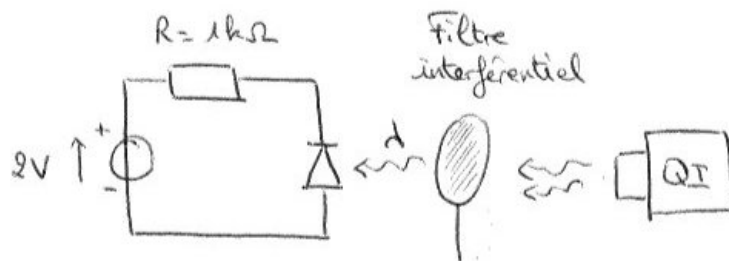


FIGURE 6 – Réponses spectrales (normalisées par Thorlabs).

On constate que la photodiode est sensible dans le rouge et l'infrarouge. Le signal envoyé par la télécommande se situant dans l'infrarouge, on voit que la photodiode peut convenir à la réception du signal.

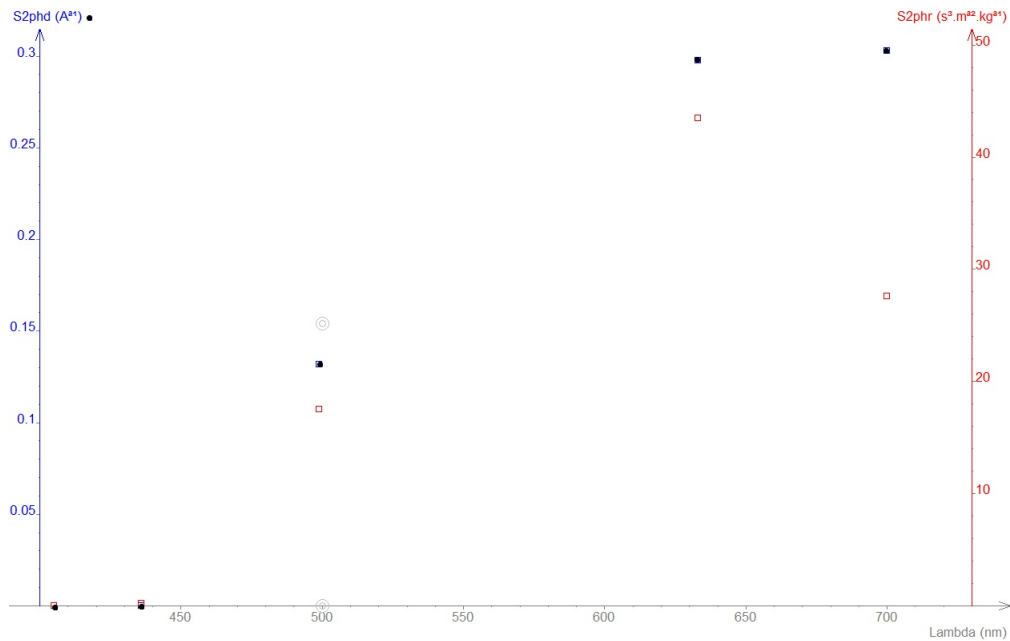


FIGURE 7 – Les points remplis représentent la réponse de la photodiode, les points vides la réponse de la photorésistance.

## 2.2 Photorésistance

**Expérience 6.** *Quantitative. Tracer la courbe de sensibilité spectrale [DufOpt] pp. 197 – 198. Comparer à une thermopile, ou ) Thorlabs, ce qui a été fait ici.*

On constate que la sensibilité de la photorésistance diminue dans l'infrarouge, son maximum de sensibilité se situe dans le rouge visible. La photorésistance n'est a priori pas très adaptée à recevoir le signal de la télécommande.

## 3 Temps de réponse

### 3.1 Photorésistance

**Expérience 7.** *Semi-quantitative (car OdG). Mesurer le temps de réponse [DufOpt] pp. 198 – 199. On envoie des bursts avec une diode laser d'intensité réglable dans laquelle on envoie un créneau. En montage, ce sera présenté avec un stroboscope car la photodiode donne des résultats étranges avec la diode laser. Schéma cf celui de la photodiode.*

Avec la mesure au stroboscope, on constate que la photorésistance a un temps de montée de l'ordre de  $4\mu s$  et un temps de retour à l'équilibre de l'ordre de  $55ms$  (on le mesure comme un temps de décroissance exponentielle). Pour recevoir des impulsions brèves, la lente relaxation paraît peu appropriée.

### 3.2 Photodiode

**Expérience 8.** *Semi-quantitative (car OdG). Mesurer le temps de réponse, de la même façon.*

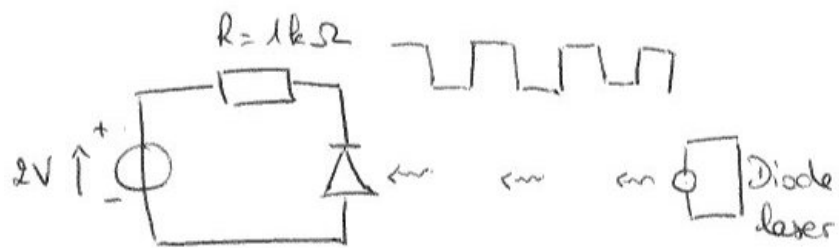


FIGURE 8 – Montage expérimental pour la mesure du temps de réponse.

Avec la mesure au stroboscope, on constate que la photodiode a un temps de montée de l'ordre de  $3\mu s$  (similaire à celui de la photorésistance) et un temps de retour à l'équilibre de l'ordre de  $4\mu s$ . Cela paraît plus encourageant que la photorésistance. A priori, la photodiode paraît plus adaptée en tant que récepteur du signal de la télécommande.

**Transition.** Testons donc la photodiode avec la télécommande pour voir !

## Conclusion

**Expérience 9.** Qualitative. On envoie le signal de la télécommande sur la photodiode et on visualise la réponse à l'oscillo [Bellier] p. 233.

Résumer les propriétés des deux photorécepteurs qu'on a étudié ici. Il en existe plein d'autres, mais on ne peut pas tout faire en 40 minutes. On peut mettre d'autres photorécepteurs sur un transparent de conclusion.