

# Synthèse Thème 1 - Transmission d'un signal audio analogique par la lumière

Nous attestons que ce travail est original, que nous citons en référence toutes les sources utilisées et qu'il ne comporte pas de plagiat.

Transmettre des informations grâce à des sources lumineuses nécessite de connaître les caractéristiques de la source lumineuse mais aussi du circuit de détection. Dans cette synthèse, nous expliquerons comment on peut obtenir ces caractérisations sur une photodiode de type BPX65 puis ajuster ces caractéristiques pour pouvoir transmettre le signal voulu.

*NB : Les manipulations présentées ici ont été réalisées avec une photodiode SFH206 et une LED rouge, mais sont réalisable avec d'autres diodes.*

## 1. Caractérisation de la photodiode

### a) Caractérisation de la LED d'émission

Avant de caractériser la photodiode qui va recevoir le signal, il faut d'abord connaître la LED qui va émettre le signal et de déterminer ses conditions de fonctionnement. Pour cela, on trace la caractéristique  $i=f(u)$  de la LED à l'aide du montage suivant (Fig 1.1) :

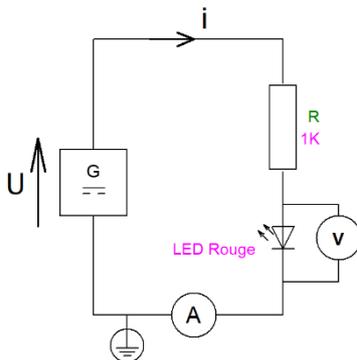


Fig 1.1 : Montage de caractérisation de la LED.

Le générateur G fournit une tension continue U que l'on fait varier pour mesurer la caractéristique de la LED. La résistance de protection R doit avoir une valeur telle que [1] :

$$R \geq \frac{U_{max} - V_F}{i_{Fmax}}$$

Où  $V_F$  est la tension directe de la LED. Avec  $U \leq 50V$ , une résistance  $R = 1k\Omega$  suffit.

On obtient alors une courbe de ce type (Fig 1.2) :

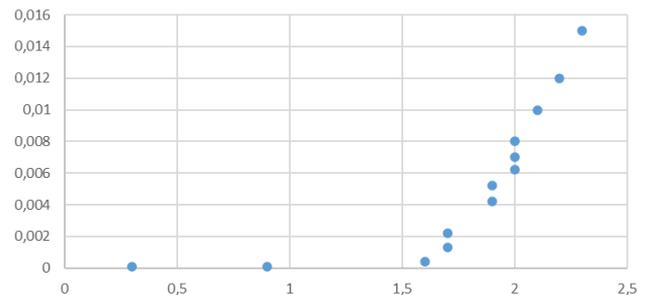


Fig 1.2 : Caractérisation  $i=f(U)$  de la LED avec U en V et i en A

Avec cette courbe on peut déterminer la zone de fonctionnement de la diode. On veut transmettre des informations sous la forme d'un signal périodique sinusoïdal, l'intensité lumineuse de la LED doit suivre le même motif. Il faut donc que la caractéristique  $i=f(U)$  soit approximativement linéaire, et que la LED ne s'éteigne pas. Pour la courbe de la Fig 1.2, on pourrait par exemple prendre  $U \in [1,8; 2,5]V$ .

### b) Caractérisation de la photodiode de réception

Pour caractériser la photodiode, on peut utiliser le mode XY d'un oscilloscope pour visualiser l'allure de la courbe  $i=f(U)$  avec le montage suivant [2] (Fig 1.3) :

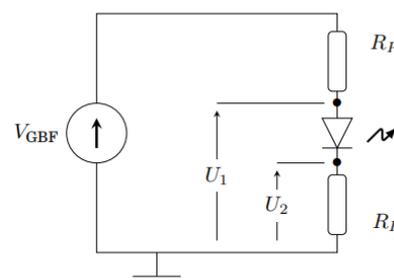
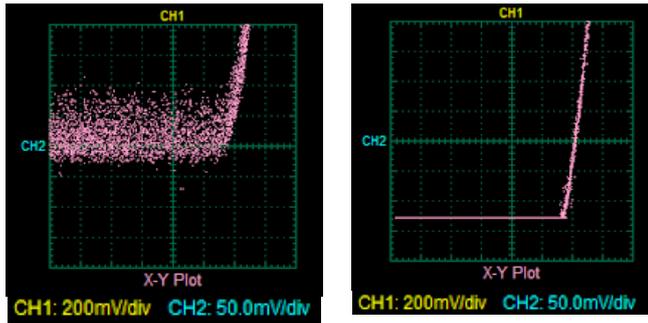


Fig 1.3 : Montage de caractérisation de la photodiode.

La résistance  $R_P$  est la résistance de protection comme précédemment. La résistance  $R_I$  permet de convertir le courant  $i$  en une tension  $U_2 = i \cdot R_I$  lisible à l'oscilloscope. En générant une tension  $V_{GBF}$  triangulaire de fréquence de l'ordre du Hz avec le GBF, puis en mesurant  $U_1$  sur la voie 1 (jaune) et  $U_2$  sur la voie 2 (bleue) de l'oscilloscope, et en utilisant le mode XY, on obtient la caractéristique de la photodiode (**Fig 1.4**) :



**Fig 1.3** : Caractérisation de la photodiode. A gauche, la photodiode est plus éclairée qu'à droite.

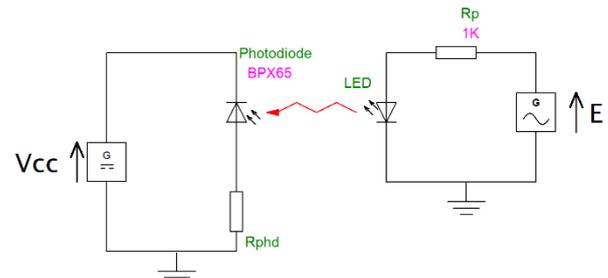
L'intérêt de ce montage est de pouvoir tracer rapidement l'allure de la courbe caractéristique de la photodiode et d'observer les variations du résultat en fonction du flux lumineux reçu par la diode : plus la diode est éclairée, plus les courants la traversant diminuent. [1]

On cherche à utiliser la diode comme détecteur de flux lumineux. Pour cela, il faut donc soumettre la diode à une tension  $U$  négative et mesurer l'intensité  $i$  qui la traverse et qui va varier avec la lumière reçue par la diode.

## 2. Caractérisation du circuit de photodétection

### a) Montage « simple »

Le montage « simple » suivant permet de transmettre un signal à l'aide d'une LED et d'une photodiode (**Fig 2.1**) :

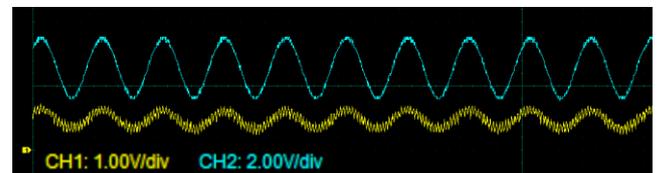


**Fig 2.1** : Montage « simple » de photodétection. La partie de gauche correspond à la réception et celle de droite à l'émission du signal.

Pour que ce montage transmette efficacement le signal sinusoïdal  $E$ , il faut respecter les conditions suivantes :

- Isoler la LED et la photodiode de la lumière ambiante pour éliminer bruit et signaux parasites.
- Placer la LED dans sa zone de fonctionnement déterminée précédemment, en réglant l'Offset et l'amplitude du GBF.

Pour tester le bon fonctionnement du système on peut visualiser la tension aux bornes de la LED et de  $R_{phd}$  à l'oscilloscope (**Fig 2.2**) :



**Fig 2.2** : Affichage des signaux. En bleu, le signal émis par la LED. En jaune, le signal reçu par la photodiode. Les deux signaux ont bien la même fréquence.

### b) Montage transimpédance

La photodiode est caractérisée par une petite capacité parasite [1]. Le montage « simple » peut donc se voir comme un filtre RC, qui a l'inconvénient de se comporter comme un filtre passe-bas du premier ordre, et donc de capter beaucoup de signaux parasites basse fréquence (ex : le clignotement de l'éclairage), et d'être assez peu sélectif à hautes fréquences. En outre, pour que la tension aux bornes de  $R_{phd}$  soit une image raisonnablement linéaire de  $I_{phd}$ , Il faut que l'impédance d'entrée du système de mesure soit très grande devant  $R_{phd}$ , ce qui peut être contraignant. Pour éviter ces inconvénients, on

peut utiliser à la place un montage transimpédance [3]. (Fig 2.3) :

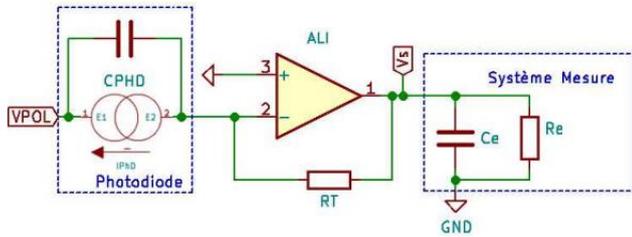


Fig 2.3 : Montage transimpédance de photodétection

Ce montage a certes le défaut d'être plus complexe et d'être actif (donc de nécessiter une alimentation externe), mais il a l'avantage de réaliser un filtre passe-bas du second ordre avec une résonance, ce qui permet d'isoler le signal utile en choisissant bien les valeurs des composants, en particulier  $R_T$ .

### c) Caractérisation des montages

Pour caractériser ces montages, on peut tracer l'allure rapide du diagramme de Bode en utilisant le mode Balayage du GBF synchronisé avec l'oscilloscope [4] (Fig 2.4) :

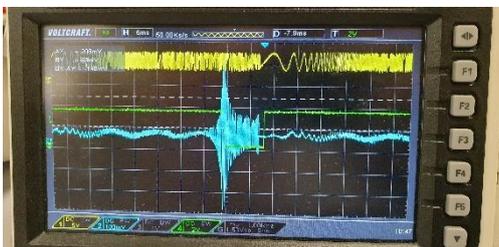


Fig 2.4 : Balayage effectué pour le montage transimpédance. En jaune, la tension aux bornes de la diode (5V/div). En bleu, le signal reçu par la diode avec une résonance à une fréquence  $f_r$  (100mV/div).

Il est alors possible de trouver la fréquence de coupure à -3dB de ces systèmes de transmission, en mesurant la fréquence  $f$  avec le mode « Marqueur » du GBF et en trouvant celle pour laquelle on a :  $V_{sortie} = \frac{V_{entrée}}{\sqrt{2}}$ . Cette fréquence de coupure  $f_c$  sera la fréquence maximale de fonctionnement. Au-delà, le gain du système risque d'être trop faible pour recevoir un signal interprétable.

Expérimentalement, on obtient en mesurant la fréquence de coupure en fonction de la valeur de  $R_T$  (Fig 2.5) :

### Montage "simple"

| $R_{PHD}$ (k $\Omega$ ) | $f_c$ (kHz) |
|-------------------------|-------------|
| 10                      | 100         |
| 100                     | 20          |
| 1000                    | 3           |

### Montage Transimpédance

| $R_T$ (k $\Omega$ ) | $f_r$ (kHz) | $f_c$ (kHz) |
|---------------------|-------------|-------------|
| 10                  | 1000        | nc          |
| 100                 | 300         | 600         |
| 1000                | 100         | 150         |

Fig 2.5 : Résultats de la caractérisation des différents montages selon la valeur de résistance utilisée.

On constate une tendance : plus  $R_T$  augmente, plus la fréquence de coupure  $f_c$  diminue, ce qui permet d'ajuster le montage en fonction des performances voulues.

### d) Effet passe-bas

Quel que soit le montage de détection, on observe un effet passe-bas, que l'on peut quantifier par un temps caractéristique :

$$\tau = \frac{1}{RC}$$

où  $R$  et  $C$  sont des résistances et capacités caractéristiques du circuit, dont l'expression dépend du montage. Cet effet est inévitable, car il est dû à la physique de la photodiode. En effet, le courant dans la photodiode  $I_{phd}$  n'est pas à strictement parler l'image du flux lumineux  $\Phi(t)$ , mais plutôt :

$$I_{phd} \propto \frac{1}{\tau} \cdot \int_{t-\tau}^t \phi(t) dt$$

On voit que lorsque la demi-période de  $\Phi$  dépasse  $\tau$ , la fonction que l'on intègre comporte une partie

positive et une partie négative, qui se compensent. Cela explique, du point de vue de la physique, pourquoi  $I_{phd}$  est proportionnelle à  $\Phi$  jusqu'à une fréquence de coupure, puis pourquoi le gain décroît.

### 3. Adaptation de la méthode

Les manipulations présentées ci-dessus ont été réalisées avec une LED rouge et une photodiode SPH206. Pour utiliser une autre photodiode comme la BPX65, il faut s'assurer que la photodiode puisse bien recevoir la lumière de la LED.

Pour la photodiode BPX65, la documentation technique donne la réponse spectrale de la photodiode [5] (Fig 3.1) :

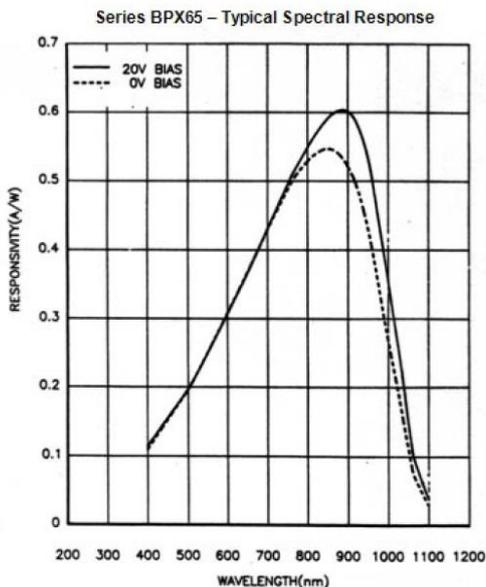


Fig 3.1 : Courbe de réponse spectrale de la BPX

La BPX65 présente une responsivité maximale pour des longueurs d'onde de 870 à 900 nm environ. Pour construire le meilleur montage de photodétection possible avec cette photodiode, il faudra donc aussi utiliser une LED émettant dans cette plage de longueurs d'onde. Une LED TSHF5210, émettant autour de 890 nm, pourrait être envisagée pour ce montage [6].

Pour transmettre des signaux de fréquence de l'ordre de 40kHz avec le montage « simple », une résistance  $R_{PHD}$  de 10k $\Omega$  devrait permettre de transmettre tous les signaux. Pour le montage transimpédance, une résistance  $R_T$  de 100k $\Omega$  ou 1M $\Omega$  permettraient de transmettre le signal sans

avoir de perturbations dues à la résonance qui à lieu pour des signaux de fréquence de l'ordre de 100kHz (voir Fig 2.5).

### 4. Sources et documentation

[1] Fiche résumé du LEnsE :

[http://lense.institutoptique.fr/ressources/PremiereAnne/e/ElecInfo/Ceti/Fiches/2021\\_Fiches\\_Resume.pdf](http://lense.institutoptique.fr/ressources/PremiereAnne/e/ElecInfo/Ceti/Fiches/2021_Fiches_Resume.pdf)

[2] Fiche « Méthode et schéma de caractérisation d'un dipôle récepteur » du LEnsE :

<http://lense.institutoptique.fr/mine/caracteriser-statement-un-dipole-recepteur/>

[3] Fiche « Photodétection » du LEnsE :

[http://lense.institutoptique.fr/ressources/PremiereAnne/e/ElecInfo/Ceti/Fiches/2021\\_FR\\_Photodetection.pdf](http://lense.institutoptique.fr/ressources/PremiereAnne/e/ElecInfo/Ceti/Fiches/2021_FR_Photodetection.pdf)

[4] Fiche « Diagramme de Bode » du LEnsE :

<http://lense.institutoptique.fr/mine/tracer-le-diagramme-de-bode-de-la-reponse-en-frequence-dun-circuit/>

[5] Documentation technique de la photodiode BPX65 :

<https://fr.rs-online.com/web/p/photodiodes/0304346>

[6] Documentation technique de la LED infrarouge TSHF5210 :

<https://fr.rs-online.com/web/p/leds-infrarouges/6997663>