



# SYNTHÈSE

## Photodétection

Comment caractériser une source lumineuse pour une société souhaitant développer le Li-Fi?

## Pour caractériser une source lumineuse ; la photodiode

Le Li-Fi, (pour Light Fidelity), désigne une technologie de communication sans fil basée sur la lumière, il fonctionne grâce à des LED dont on peut faire varier l'intensité lumineuse émise pour transmettre des informations. C'est pourquoi il faut être capable de connaître avec précision le flux lumineux émit par la source.

Pour cela, les photodiodes sont la solution car elles vont pouvoir mesurer directement le flux lumineux  $\Phi$  émit par les LED grâce à des capteurs. Celle-ci vont en effet pouvoir « compter » combien de photons émet la source pendant une seconde et émettre un courant d'intensité  $I$ , proportionnel à ce flux.

$$I = k \cdot \Phi$$

Dès lors, en mesurant ce courant  $I$  avec un système de mesure adapté, on peut connaître parfaitement la caractéristique dynamique de la source de lumière. Cet ensemble photodiode et système de mesure est appelé le système de photodétection.

Néanmoins, les photodiodes ne sont pas des systèmes parfaits qui peuvent toujours émettre un courant parfaitement proportionnel au flux reçu pour toute fréquence de la source lumineuse. C'est pourquoi il est important de comprendre le principe de fonctionnement d'une photodiode et comment faire en sorte qu'elle puisse mesurer le flux de sources avec des fréquences dans les domaines qui nous intéresse. (40 kHz ici pour le Li-Fi)

## Caractérisation expérimentale d'une photodiode

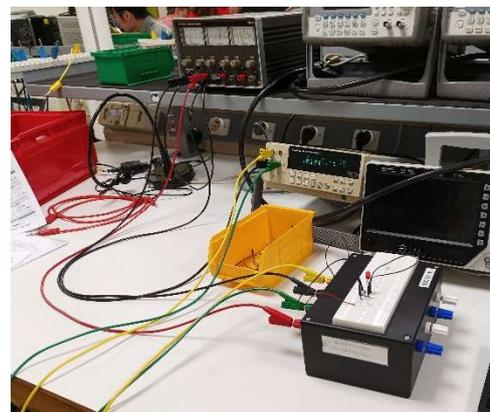
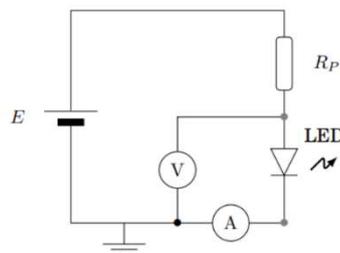
Une photodiode est avant tout une diode. Sa caractéristique est donc en partie la même. Il peut donc être intéressant de chercher à caractériser une diode pour connaître celle de la photodiode. Il s'agit de mesurer la valeur de  $I$  pour différentes valeurs de tension  $U$  imposées à la diode.

$$I = f(U)$$

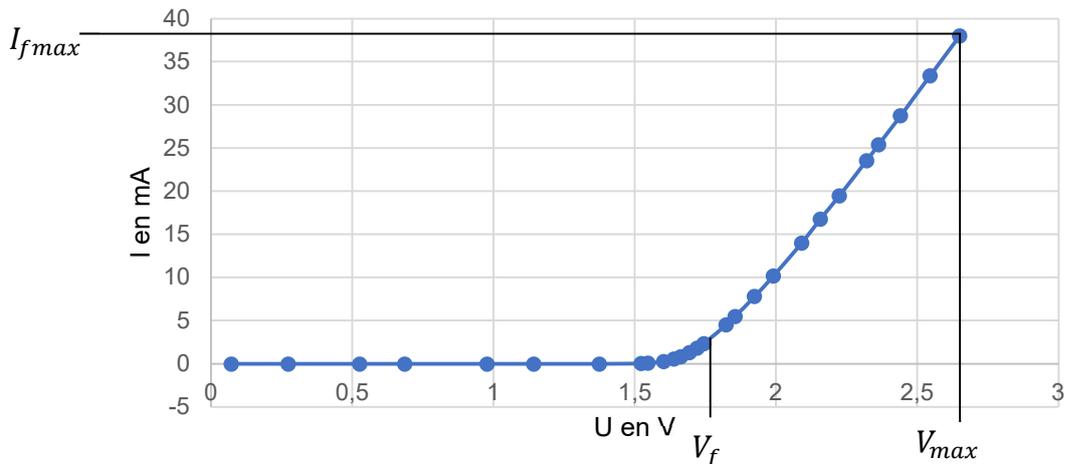
Pour ce faire on réalise un montage comme la figure 1 et on relève les valeurs données par l'appareil de mesure sur un tableau par exemple et on obtient alors la caractéristique de la diode, ici une LED rouge comme sur la figure 2.

**Figure 1 :**  
Montage théorique et pratique afin de mesurer la caractéristique de la LED. On place une

résistance de protection  $R_p$  afin de ne pas endommager la LED, choisie de telle sorte que  $R_p = (V_{max} - V_f)/I_{fmax}$



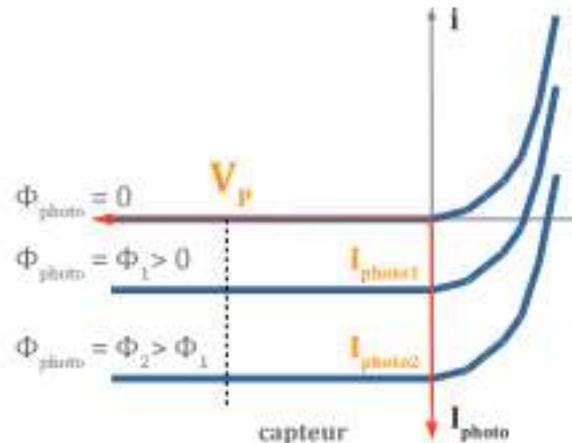
**Figure 2 : Caractéristique de la LED rouge**



La caractéristique théorique de la photodiode est similaire. Cependant, celle-ci peut faire translater la caractéristique vers les intensités négatives lorsqu'elle est exposée à des photons, avec le même rapport de proportionnalité que celui défini précédemment. C'est alors que dans la zone où  $I$  est négative et constante, la photodiode peut être utilisée comme capteur de lumière.

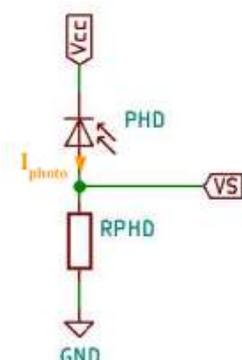
### Montage de photodétection

Comme vu précédemment, la photodiode fonctionne comme capteur de lumière uniquement dans une certaine zone de sa caractéristique. On va donc chercher à polariser la source en forçant une tension  $V_P$  ou  $V_{CC}$  pour la diode qui permettra à celle-ci de rester un capteur de lumière, même si la tension et l'intensité  $I$  générée par la photodiode augmentait.

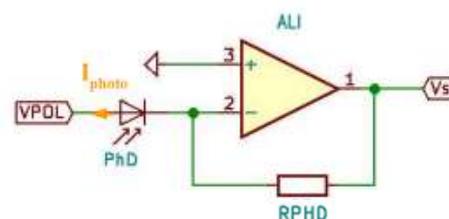


On peut alors réaliser plusieurs types de montage afin de calculer  $I$  qui ont chacun des avantages et inconvénient. On mesure à chaque fois la tension  $V_S$  aux bornes d'une résistance  $R_{PhD}$  qui nous permet de retrouver  $I$  généré par la photodiode avec la relation  $R_{PhD} = V_S \cdot I$

#### Montage simple :



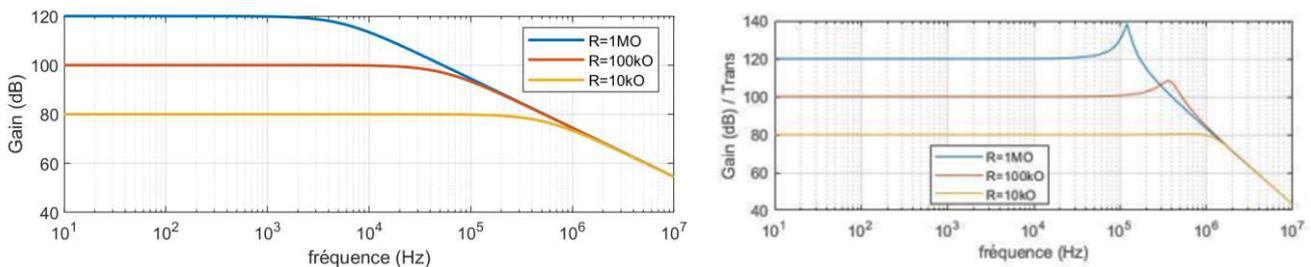
#### Montage transimpédance :



## Caractérisation fréquentielle du système de photodétection

On peut alors, pour connaître la réponse de la photodiode à un signal lumineux, alimenter une LED avec un signal sinusoïdal et en faire varier la fréquence afin de tracer le diagramme de Bode en fréquence de la photodiode. On obtient alors des diagrammes de type passe-bas pour les différentes valeurs de  $R_{phD}$ , où on peut mesurer la bande passante et la fréquence maximale de fonctionnement pour laquelle le signal lumineux capté par la photodiode ne sera pas, ou très peu atténué.

On voit que la photodiode fonctionne comme un filtre passe bas ; les faibles fréquences sont faiblement réduites en tension alors que les hautes fréquences sont atténuées après une fréquence  $f_c$  (environ). Cela est dû au temps de réponse de la photodiode. En effet quand la fréquence est faible, le système a le temps de réagir à la tension d'entrée, on n'a donc pas d'atténuation. Alors que quand la fréquence se rapproche de  $f_c$ , le système n'a plus le temps de réagir et le système n'aura pas le temps d'aller jusqu'à la tension demandée et on va observer une tension plus faible, atténuée.



	Montage simple	Montage transimpédance
$R_{phD} = 10 \text{ k}\Omega$	1	70
$R_{phD} = 100 \text{ k}\Omega$	4	280
$R_{phD} = 1 \text{ M}\Omega$	110	900

**Tableau 1 :** On obtient par exemple pour une photodiode de référence SFH206 des valeurs de fréquence de coupure  $f_c$  en kHz définissant la bande passante du système de photodétection de 0 Hz à  $f_c$ .

Le montage transimpédance permet d'augmenter drastiquement la bande passante du système en réalisant une moyenne géométrique entre  $f_c$  et GBP (gain bande passante) de l'ali. On a alors une photodiode qui peut traiter les fréquences de signal liés au Li-Fi.

Par contre, on a l'apparition d'une résonance à la fréquence  $f_c$  qui peut causer des problèmes pour analyser les données par ordinateur en binaire car celui-ci ne saurait pas quelle valeur prendre entre 0 et 1 à cette fréquence. Néanmoins on peut contrebalancer ce problème en ajoutant une capacité antirésonance en parallèle de  $R_{phD}$  que l'on connaît parfaitement.