



OPTO-ELECTRONIQUE

Travaux Pratiques

Caractériser un dipôle

Bloc 1

Année universitaire 2024-2025

Caractérisation d'un dipôle

A l'issue des séances de TP et de TD concernant le bloc 1, les étudiant·es seront capables de **caractériser un dipôle** (linéaire ou non-linéaire) statiquement et en **déduire ses zones de fonctionnement**.

Les sujets de TD ne sont pas inclus dans ce document.

Pour cela, ils-elles devront être capable de :

- Lister les paramètres importants du composant à partir d'une documentation technique fournie
 - Choisir les paramètres des instruments de mesures et des composants de protection
 - Tracer la caractéristique statique à l'aide :
 - d'un multimètre
 - d'un oscilloscope en mode XY
 - Décrire le fonctionnement d'un montage à diodes
-

Liste des missions

Mission 1.1 Tracer la caractéristique $i = f(u)$ d'une photodiode

Mission 1.2 Mesurer le courant généré par une photodiode en mode capteur

Mission 1.3 Tracer la caractéristique $i = f(u)$ d'un dipôle de manière automatisée

Mission 1.4 Tracer la caractéristique $i = f(u)$ d'une LED

Liste des autres ressources

- Caractériser un dipôle
- Fiche : Diode / LED / Photodiode
- Fiche : Photodétection

Un **feuillet annexe**, présentant succinctement l'**ensemble des instruments**, est disponible sur chacune des paillasses.

Mission 1.1 / Tracer la caractéristique $i = f(u)$ d'une photodiode

Durée conseillée : 60 min / Séance 1

Objectif de la mission

On se propose de **caractériser une photodiode** (dans le domaine du visible), c'est à dire de **tracer la loi mathématique** qui lie le courant traversant le dipôle et la différence de potentiel à ses bornes.

Ressources

Vous pouvez utiliser les fiches résumées suivantes :

- **Fiche : Diode / LED / Photodiode**
- **Fiche : Photodétection**

Photodiode SFH206K

On utilisera une photodiode de type **SFH206K** (une partie de la **documentation** est fournie en annexe).

→ **Q** Rechercher et relever dans la documentation technique du constructeur de la photodiode *SFH206K* les valeurs intéressantes pour la mise en oeuvre pratique (électrique et optique) d'un tel composant.

Méthode conventionnelle

Vous utiliserez une méthode classique de l'instrumentation pour relever les points de la courbe $i = f(u)$. Vous pourrez vous inspirer de la partie **Caractéristique manuelle** du tutoriel **Caractériser un dipôle**.

Choix des appareils et des composants

Dans le schéma proposé dans le tutoriel **Caractéristique manuelle** du tutoriel **Caractériser un dipôle**, une résistance R_P est proposée comme protection en courant.

- **Q** Comment choisir cette résistance et comment régler les différents appareils de mesure ?
- **M** Relever alors la caractéristique $i=f(u)$ de cette photodiode.

Livrables

Une **fiche de manipulation** en ligne (partagée dans le cahier de laboratoire) rappelant :

- les protocoles de mesure et de réglage (schémas de mesure, de câblage)
- les tableaux de mesures et les courbes obtenues

Une **analyse** du résultat obtenu.

Mission 1.2 / Mesurer le courant généré par une photodiode en mode capteur

Durée conseillée : 30 min / Séance 1

Objectif de la mission

On souhaite **mesurer le courant généré par une photodiode** (dans le domaine du visible) à l'aide d'un ampèremètre pour différentes valeurs d'éclairement.

Ressources

Vous pouvez utiliser les fiches résumées suivantes :

- **Fiche : Diode / LED / Photodiode**
- **Fiche : Photodétection**

Utilisation d'un luxmètre

Afin d'avoir une donnée de comparaison d'éclairement ambiant de la salle de travaux pratiques, un luxmètre est mis à votre disposition.

Vous pourrez ainsi comparer certaines données du constructeur avec vos résultats...

- **M** Relever la valeur de l'éclairement ambiant à l'aide du luxmètre.
- **M** Relever les valeurs du courant obtenu en sortie de la photodiode lorsqu'elle est plongée dans le flux ambiant et dans le noir.

Livrables

Une **fiche de manipulation** en ligne (partagée dans le cahier de laboratoire) rappelant :

- les protocoles de mesure et de réglage (schémas de mesure, de câblage)
- les tableaux de mesures obtenues

Une **analyse** du résultat obtenu.

Mission 1.3 / Tracer la caractéristique $i = f(u)$ d'un dipôle de manière automatisée

Durée conseillée : 60 min / Séance 2

Objectif de la mission

On souhaite **caractériser une photodiode** (dans le domaine du visible), c'est à dire de **tracer la loi mathématique** qui lie le courant traversant le dipôle et la différence de potentiel à ses bornes de manière plus automatisée que lors de la mission 1.1.

On souhaite voir également l'évolution de cette caractéristique en fonction de l'éclairement de la photodiode.

Ressources

Vous pouvez utiliser les fiches résumées suivantes :

- **Fiche : Diode / LED / Photodiode**
- **Fiche : Photodétection**

Méthode automatisée

Vous utiliserez cette fois-ci une méthode plus rapide pour relever une allure de la courbe $i = f(u)$. Vous pourrez vous inspirer de la partie **Caractéristique automatique** du tutoriel **Caractériser un dipôle**.

- **M** Relever la caractéristique statique de la photodiode.

Livrables

Une **fiche de manipulation** en ligne (partagée dans le cahier de laboratoire) rappelant :

- les protocoles de mesure et de réglage (schémas de mesure, de câblage)
- les tableaux de mesures et les courbes obtenues

Une **analyse** du résultat obtenu.

Mission 1.4 / Tracer la caractéristique $i = f(u)$ d'une LED

Durée conseillée : 30 min / Séance 3 ou 4

Objectif de la mission

On souhaite **caractériser une LED rouge**, c'est à dire de **tracer la loi mathématique** qui lie le courant traversant le dipôle et la différence de potentiel à ses bornes, afin de déterminer un point de fonctionnement idéal pour transmettre un signal sinusoïdal.

Ressources

Vous pouvez utiliser la fiche résumée suivante :

— **Fiche : Diode / LED / Photodiode**

LED Rouge

On utilisera une LED rouge de type **Kingbrighth L-1503ID** (une partie de la **documentation** est fournie en annexe).

→ **Q** Rechercher et relever dans la documentation technique du constructeur de la LED les valeurs intéressantes pour la mise en oeuvre pratique (électrique et optique) d'un tel composant.

Méthode automatisée

Vous utiliserez cette fois-ci une méthode plus rapide pour relever une allure de la courbe $i = f(u)$. Vous pourrez vous inspirer de la partie **Caractéristique automatique** du tutoriel **Caractériser un dipôle**.

→ **Q** Comment choisir la résistance de protection de la LED ? Comment régler les différents appareils de mesure pour éviter de dégrader la LED ?

→ **M** Relever la caractéristique statique de la LED.

Livrables

Une **fiche de manipulation** en ligne (partagée dans le cahier de laboratoire) rappelant :

- les protocoles de mesure et de réglage (schémas de mesure, de câblage)
- les tableaux de mesures et les courbes obtenues

Une **analyse** du résultat obtenu.

Quelques lignes expliquant :

- dans quelle zone la LED peut-être utilisée pour moduler la lumière émise,
- les précautions à prendre pour obtenir une modulation sinusoïdale du flux lumineux.

Autres Ressources

Caractéristique statique d'un dipôle

En électronique, la caractéristique statique d'un dipôle correspond à la relation mathématique $i = f(u)$ qu'il existe entre la différence de potentiel u à ses bornes et le courant i le traversant, dans des conditions statiques, c'est-à-dire lorsque ces deux grandeurs ne sont pas dépendant du temps.

Il existe deux méthodes principales pour caractériser statiquement un dipôle :

- une méthode manuelle, qui permet de tracer point à point cette courbe, en faisant varier u aux bornes du dipôle et en mesurant u et i pour un certain nombre de points,
- une méthode automatique, qui permet d'obtenir de manière plus rapide une allure de la caractéristique statique sur un oscilloscope.

Caractéristique Manuelle

Une première méthode pour pouvoir **tracer la caractéristique statique** $i = f(u)$ d'un dipôle est de faire varier la différence de potentiel à ses bornes de manière statique (i.e. très lente) et de mesurer la différence de potentiel u aux bornes du dipôle, à l'aide d'un voltmètre, et le courant i le traversant, à l'aide d'un ampèremètre, point par point.

Pour faire varier la différence de potentiel aux bornes du dipôle, on pourra prendre une alimentation stabilisée réglable.

Pour mesurer la différence de potentiel aux bornes du dipôle, on pourra utiliser un multimètre en mode voltmètre câblé en parallèle du dipôle.

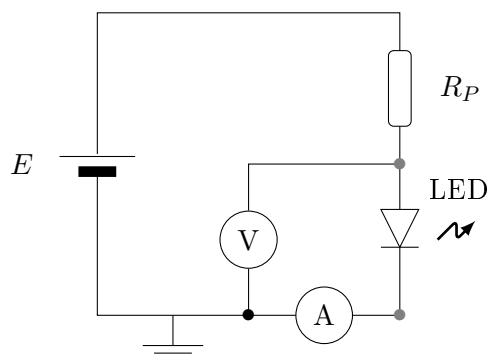
Pour mesurer le courant traversant le dipôle, on pourra utiliser un multimètre en mode ampèremètre câblé en série avec le dipôle.

Circuit de mesure

On donne le schéma suivant pour mesurer à la fois le courant et la différence de potentiel aux bornes d'un dipôle (ici une diode).

Méthode de mesure

On mesure à la fois le courant, à l'aide de l'ampèremètre branché en série, et la différence de potentiel aux bornes de la LED, à l'aide d'un voltmètre branché en parallèle.



On fait alors varier le potentiel de la source de tension E , pour relever, pour plusieurs points, les valeurs du courant (A) et de la différence de potentiel (V).

La plupart des multimètres permettent d'afficher simultanément la tension et le courant continu.

Les points peuvent ensuite être enregistrés dans un fichier de tableur (type Excel ou Calc). Cet outil logiciel permettra par la suite de tracer la courbe $i = f(u)$.

Caractéristique Automatisée

Une seconde méthode permettant d'**obtenir une allure de la caractéristique statique** $i = f(u)$ d'un dipôle est de faire varier la différence de potentiel à ses bornes en appliquant un signal dont l'amplitude varie lentement dans le temps. On peut alors mesurer la différence de potentiel u aux bornes du dipôle et le courant i le traversant à l'aide d'un oscilloscope en mode XY.

Cette méthode va nécessiter de **transformer le courant en différence de potentiel**, seule grandeur mesurable à l'aide d'un oscilloscope.

Pour faire varier la différence de potentiel aux bornes du dipôle, on utilisera une générateur basse fréquence (ou GBF).

Pour mesurer la différence de potentiel aux bornes du dipôle, on pourra utiliser une des voies de l'oscilloscope câblée en parallèle du dipôle.

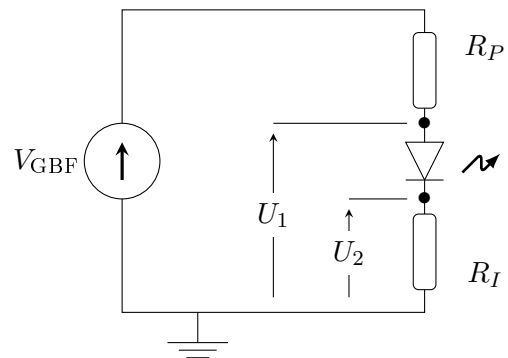
Pour mesurer le courant traversant le dipôle, on insérera une résistance de faible valeur (afin de ne pas perturber le reste du montage par l'ajout d'un système de mesure) en série avec le dipôle que l'on cherche à caractériser. On pourra alors utiliser la seconde voie de l'oscilloscope pour mesurer la différence de potentiel aux bornes de cette résistance. Par la loi d'Ohms, on retrouvera alors la valeur du courant.

Circuit de mesure

On donne le circuit suivant pour tracer de manière automatisée l'allure de la caractéristique statique.

La résistance R_P est la résistance de protection de la LED (dipôle à caractériser ici).

La résistance R_I permet de convertir le courant traversant la branche en différence de potentiel mesurable par l'oscilloscope.



Méthode de mesure

On applique un signal dont l'amplitude varie dans le temps à l'aide du GBF : un signal triangulaire par exemple à une fréquence de quelques Hertz. *On s'assurera que l'amplitude du signal fourni par le GBF est inférieure aux limitations des composants du montage.*

En mesurant à l'oscilloscope les tensions U_1 sur une voie et U_2 sur l'autre voie, on accède à une image de la tension aux bornes du dipôle ($U_1 \sim U_2$, assimilable à U_1 si U_2 est faible pour toutes les valeurs de i) et à une image du courant traversant R_I (U_2).

En traçant alors U_2 en fonction de U_1 (mode XY de l'oscilloscope), l'allure de la caractéristique statique du dipôle s'affiche alors.

Maximum Ratings

$T_A = 25\text{ °C}$

Parameter	Symbol	Values	
Operating Temperature	T_{op}	min. max.	-40 °C 100 °C
Storage temperature	T_{stg}	min. max.	-40 °C 100 °C
Reverse voltage	V_R	max.	32 V
Total power dissipation	P_{tot}	max.	150 mW
ESD withstand voltage acc. to ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 (HBM, Class 2)	V_{ESD}	max.	2 kV

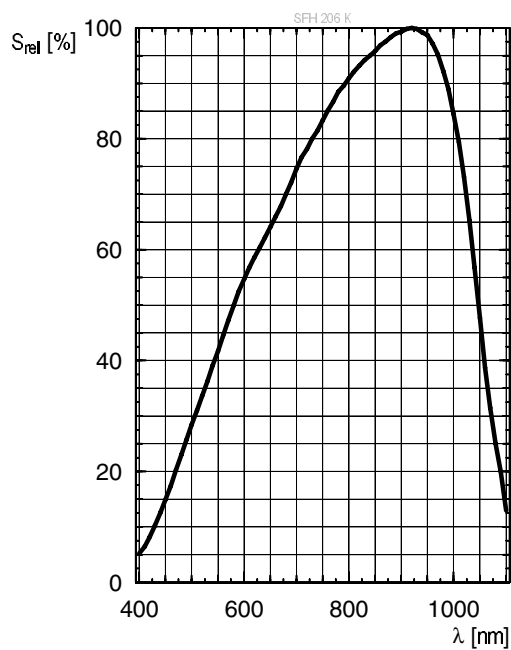
Characteristics

$T_A = 25\text{ °C}$

Parameter	Symbol		Values
Spectral sensitivity $V_R = 5\text{ V}$; Std. Light A; $T = 2856\text{ K}$	S	min. typ.	50 nA/lx 80 nA/lx
Wavelength of max sensitivity	$\lambda_{S\text{ max}}$	typ.	920 nm
Spectral range of sensitivity	$\lambda_{10\%}$	typ.	420 ... 1120 nm
Radiant sensitive area	A	typ.	7.02 mm ²
Dimensions of active chip area	L x W	typ.	2.65 x 2.65 mm x mm
Half angle	φ	typ.	60 °
Dark current $V_R = 10\text{ V}$	I_R	typ. max.	2 nA 30 nA
Spectral sensitivity of the chip $\lambda = 850\text{ nm}$	S_λ	typ.	0.62 A / W
Quantum yield of the chip $\lambda = 850\text{ nm}$	η	typ.	0.90 Electrons / Photon
Open-circuit voltage $E_v = 1000\text{ lx}$; Std. Light A; $V_R = 0\text{ V}$	V_O	min. typ.	310 mV 365 mV
Short-circuit current $E_v = 1000\text{ lx}$; Std. Light A; $V_R = 0\text{ V}$	I_{SC}	typ.	80 μ A
Rise time $V_R = 5\text{ V}$; $R_L = 50\text{ }\Omega$; $\lambda = 850\text{ nm}$; $I_p = 800\text{ }\mu$ A	t_r	typ.	0.02 μ s
Fall time $V_R = 5\text{ V}$; $R_L = 50\text{ }\Omega$; $\lambda = 850\text{ nm}$; $I_p = 800\text{ }\mu$ A	t_f	typ.	0.02 μ s
Forward voltage $I_F = 100\text{ mA}$; $E = 0$	V_F	typ.	1.3 V
Capacitance $V_R = 0\text{ V}$; $f = 1\text{ MHz}$; $E = 0$	C_0	typ.	72 pF
Temperature coefficient of voltage	TC_V	typ.	-2.6 mV / K
Temperature coefficient of short-circuit current Std. Light A	TC_I	typ.	0.18 % / K
Noise equivalent power $V_R = 10\text{ V}$; $\lambda = 850\text{ nm}$	NEP	typ.	0.041 pW / Hz ^{1/2}
Detection limit $V_R = 10\text{ V}$; $\lambda = 850\text{ nm}$	D^*	typ.	6.5e12 cm x Hz ^{1/2} / W

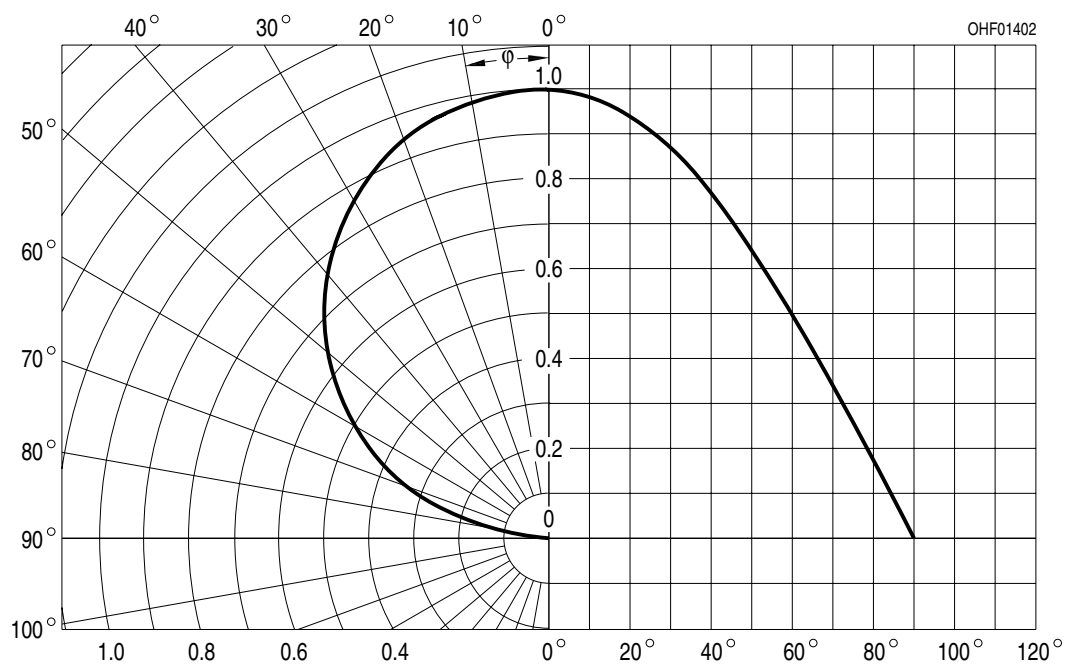
Relative Spectral Sensitivity ²⁾, ³⁾

$$S_{\text{rel}} = f(\lambda)$$



Directional Characteristics ²⁾, ³⁾

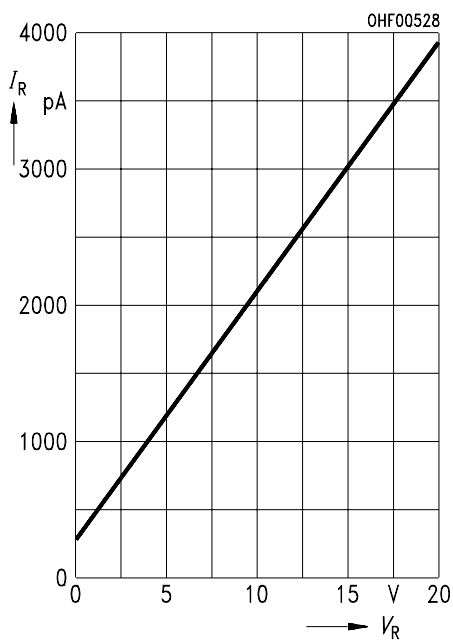
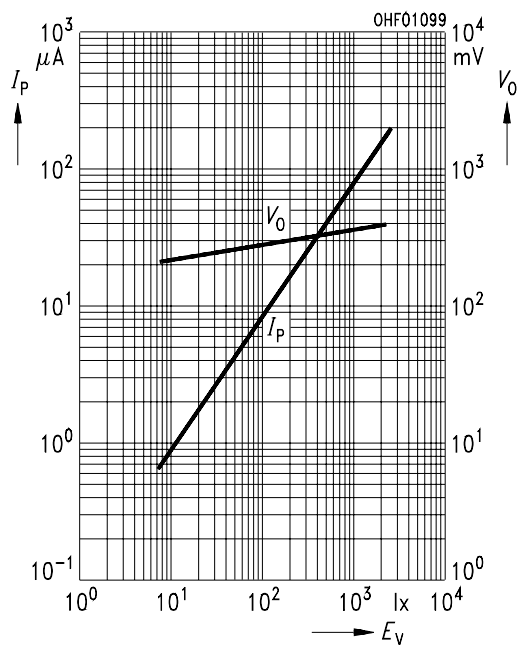
$$S_{\text{rel}} = f(\varphi)$$



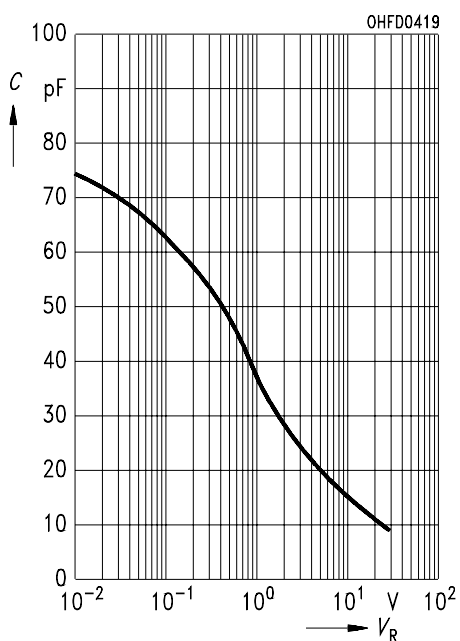
Photocurrent/Open-Circuit Voltage 2), 3) **Dark Current** 2), 3)

$$I_P (V_R = 5 \text{ V}) / V_O = f(E_V)$$

$$I_R = f(V_R); E = 0$$

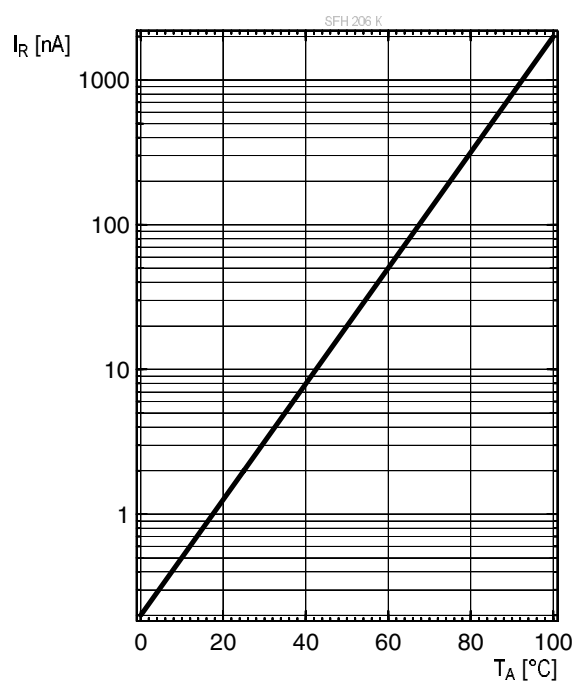
**Capacitance** 2), 3)

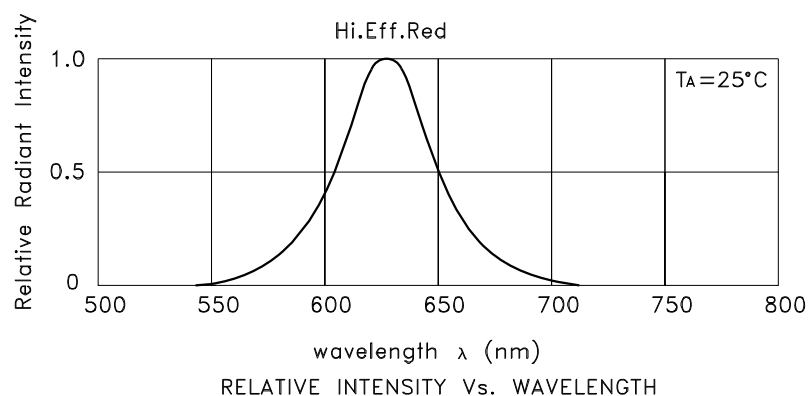
$$C = f(V_R); f = 1\text{MHz}; E = 0; T_A = 25^\circ\text{C}$$



Dark Current ²⁾

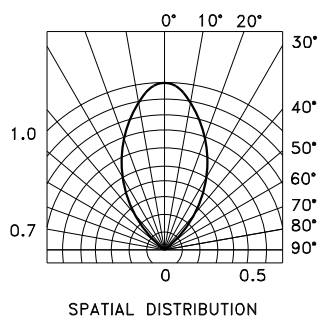
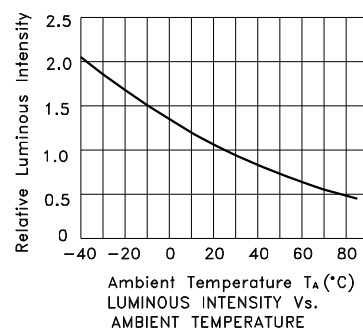
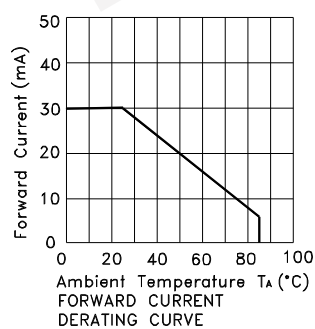
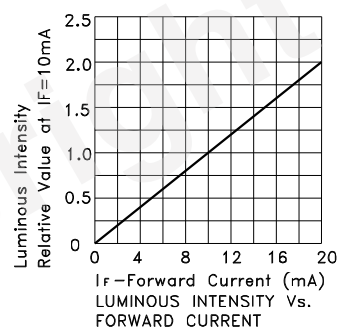
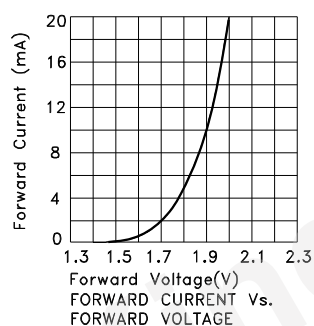
$$I_R = f(T_A); E = 0; V_R = 10 \text{ V}$$





High Efficiency Red

L-1503ID



Selection Guide

Part No.	Dice	Lens Type	Iv (mcd) [2] @ 10mA		Viewing Angle [1]
			Min.	Typ.	2θ1/2
L-1503ID	High Efficiency Red (GaAsP/GaP)	Red Diffused	25	50	60°
			*12	*40	

Notes:

1. $\theta_{1/2}$ is the angle from optical centerline where the luminous intensity is 1/2 of the optical peak value.

2. Luminous intensity/ luminous Flux: +/-15%.

* Luminous intensity value is traceable to the CIE127-2007 compliant national standards.

Electrical / Optical Characteristics at TA=25°C

Symbol	Parameter	Device	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
λ_{peak}	Peak Wavelength	High Efficiency Red	627		nm	I _F =20mA
λ_D [1]	Dominant Wavelength	High Efficiency Red	617		nm	I _F =20mA
$\Delta\lambda_{1/2}$	Spectral Line Half-width	High Efficiency Red	45		nm	I _F =20mA
C	Capacitance	High Efficiency Red	15		pF	V _F =0V; f=1MHz
V _F [2]	Forward Voltage	High Efficiency Red	2	2.5	V	I _F =20mA
I _R	Reverse Current	High Efficiency Red		10	uA	V _R = 5V

Notes:

1. Wavelength: +/-1nm.

2. Forward Voltage: +/-0.1V.

3. Wavelength value is traceable to the CIE127-2007 compliant national standards.

Absolute Maximum Ratings at TA=25°C

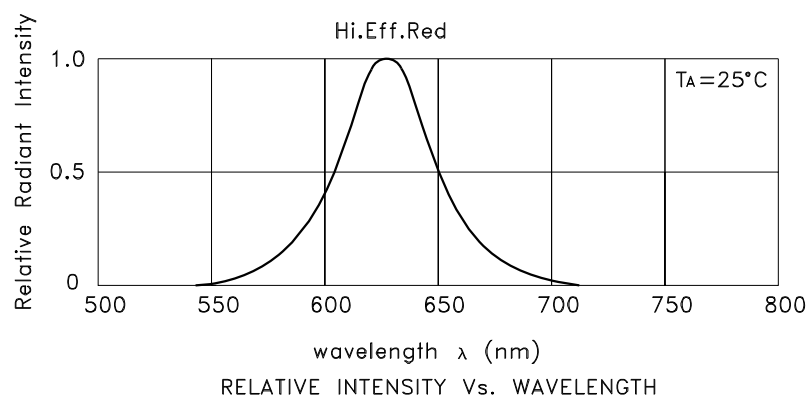
Parameter	High Efficiency Red	Units
Power dissipation	75	mW
DC Forward Current	30	mA
Peak Forward Current [1]	160	mA
Reverse Voltage	5	V
Operating/Storage Temperature	-40°C To +85°C	
Lead Solder Temperature [2]	260°C For 3 Seconds	
Lead Solder Temperature [3]	260°C For 5 Seconds	

Notes:

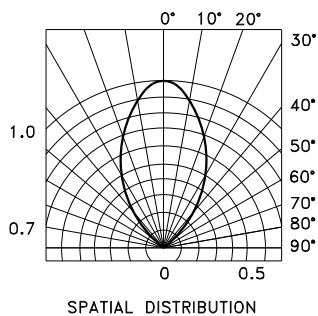
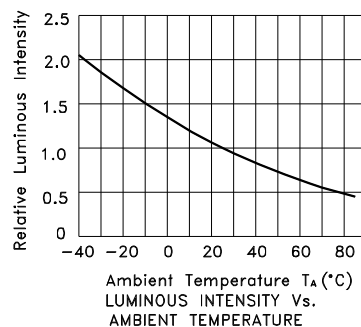
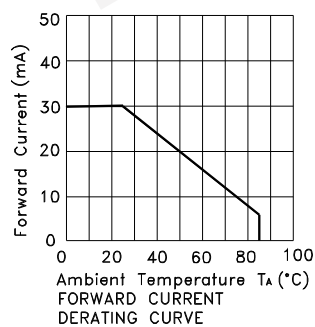
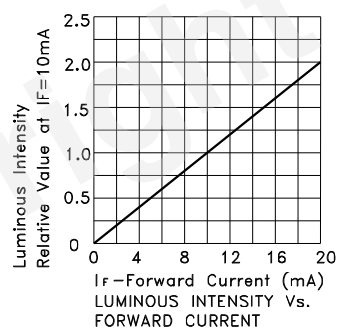
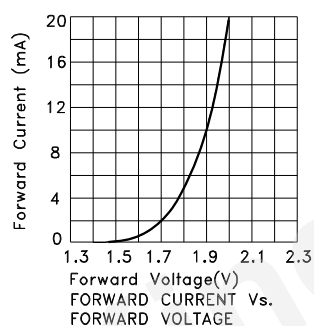
1. 1/10 Duty Cycle, 0.1ms Pulse Width.

2. 2mm below package base.

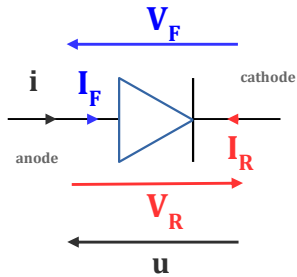
3. 5mm below package base.



High Efficiency Red L-1503ID



DIODE



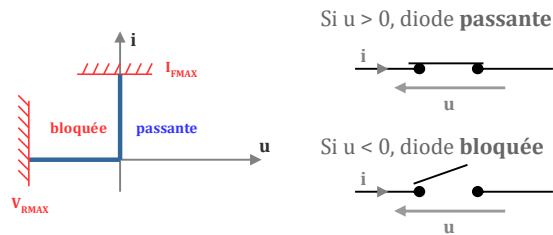
I_F : **courant direct**
souvent $I_F < I_{FMAX}$

V_F : **tension directe**
aussi appelée seuil

I_R : **courant inverse**

V_R : **tension inverse**
souvent $V_R < V_{RMAX}$

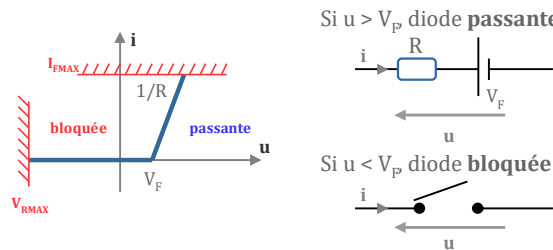
MODÈLE IDÉAL



Si $u > 0$, diode **passante**

Si $u < 0$, diode **bloquée**

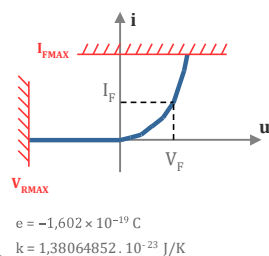
MODÈLE SIMPLE



Si $u > V_F$, diode **passante**

Si $u < V_F$, diode **bloquée**

MODÈLE COMPLET



Si $u > 0$, diode **passante**

$$i = I_0 \left[\exp(u / n V_0) - 1 \right]$$

loi exponentielle

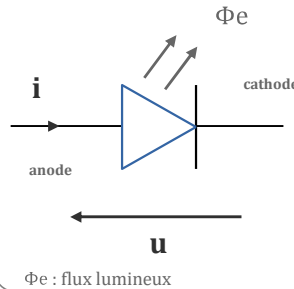
V_0 : tension thermique

$V_0 = k T / e$
T : température (K)
k : Constante de Boltzmann
e : charge d'un électron

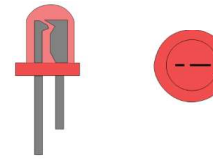
n : facteur de qualité

I_0 : constante spécifique à un type

LED

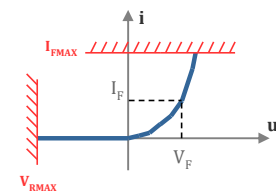


LED : *Light-Emitting Diode*
DEL : Diode électroluminescente



Φ_e : flux lumineux

CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES



Si $u > V_F$ diode **passante**
émission de photons

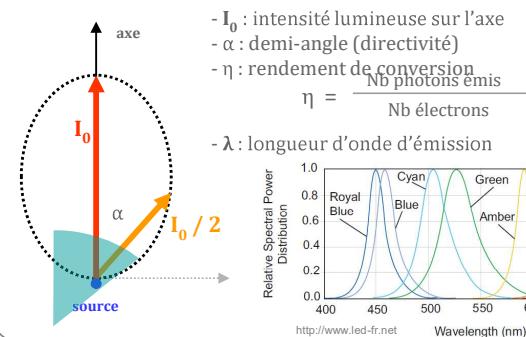
$$\Phi_e = k \cdot i$$

V_F dépendant de la longueur d'onde

PARAMÈTRES IMPORTANTS :

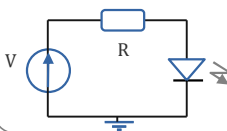
- V_F ; I_{FMAX} ; V_{RMAX}
- P_T : puissance totale dissipable
- Bande-passante / temps de réponse
- Capacité (souvent parasite)

CARACTÉRISTIQUES OPTIQUES



- I_0 : intensité lumineuse sur l'axe
- α : demi-angle (directivité)
- η : rendement de conversion
$$\eta = \frac{\text{Nb photons émis}}{\text{Nb électrons}}$$
- λ : longueur d'onde d'émission

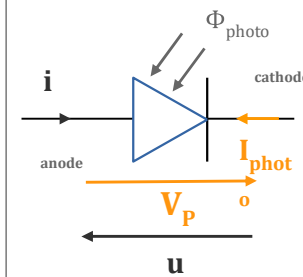
EN PRATIQUE



R : résistance de protection en courant

$$R_{MIN} = \frac{V_{MAX} - V_F}{I_{FMAX}}$$

PHOTODIODE

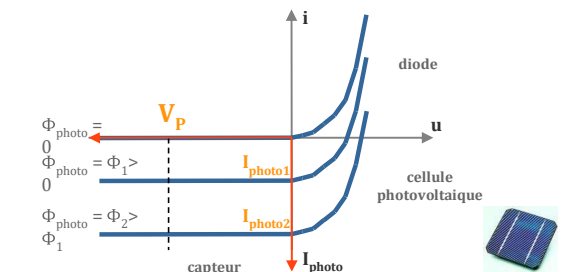


V_P : tension de polarisation
 I_{PhD} : courant proportionnel au flux lumineux

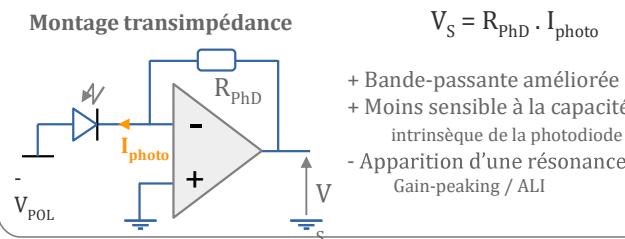
$$I_{photo} = S_{\lambda} \cdot \eta \cdot \Phi_{photo}$$

Sensibilité spectrale
Flux lumineux
Rendement quantique

CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES

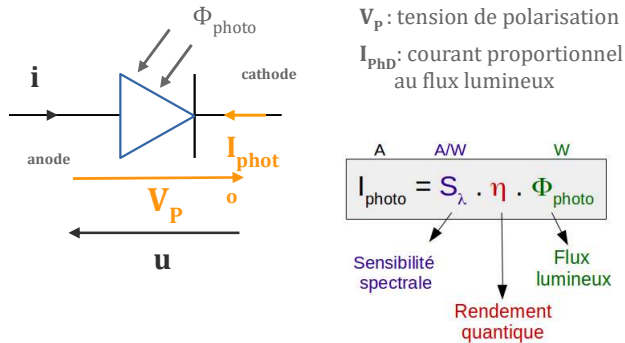


EN PRATIQUE

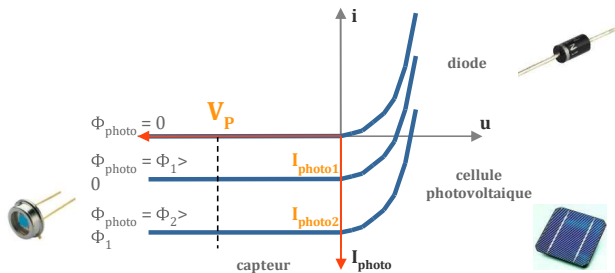


Photodétection

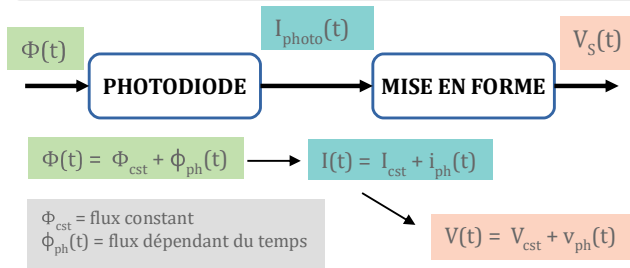
PHOTODIODE = CAPTEUR



CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES



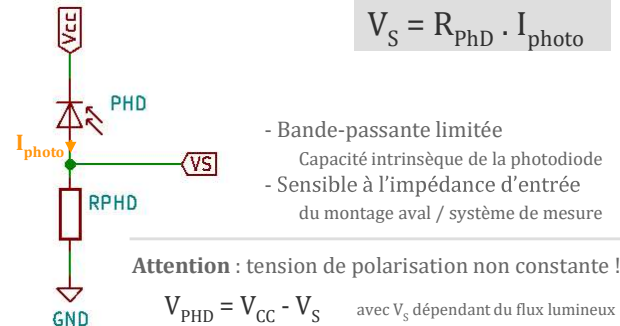
SYSTÈME DE PHOTODÉTECTION



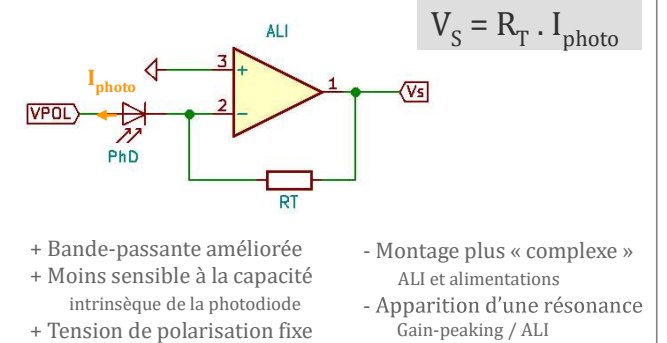
Photodiode: capteur permettant de mesurer un flux lumineux et de le convertir en courant

Mise en forme: étage de conversion d'une grandeur électrique vers une autre grandeur électrique plus facilement mesurable (amplification, filtrage...)

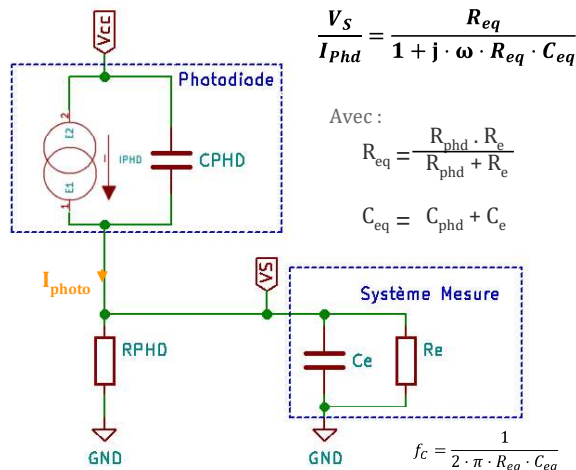
MONTAGE « SIMPLE »



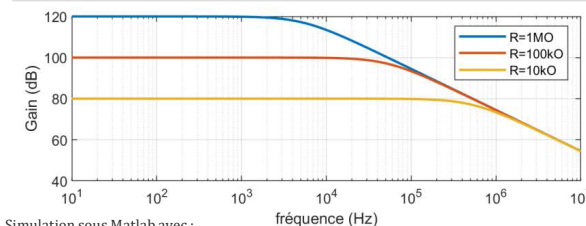
MONTAGE TRANSIMPÉDANCE



MODÈLE DU SYSTÈME DE MESURE

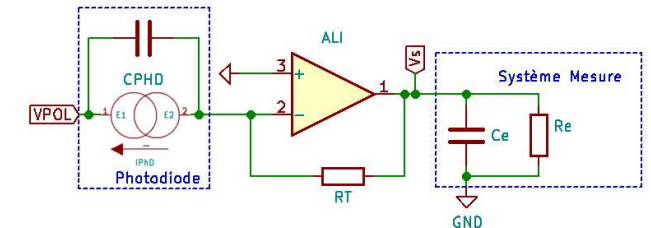


R_e : résistance d'entrée du système de mesure (oscilloscope, multimètre...)
 C_e : capacité d'entrée du système de mesure (câble coaxial, oscilloscope...)



Simulation sous Matlab avec :
 $R_e = 100M / C_{phd} = 70pF / C_e = 120pF$

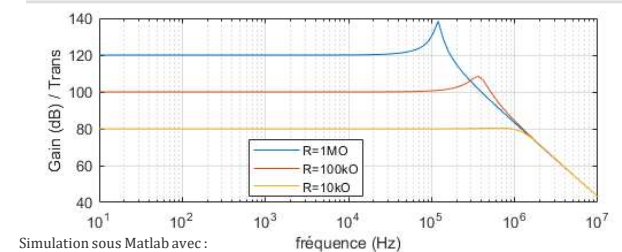
MODÈLE DU SYSTÈME DE MESURE



$$\frac{V_S}{I_{phd}} = \frac{R_T \cdot A_0}{\left(1 + \frac{j \cdot \omega}{\omega_0}\right) \cdot \left(1 + \frac{j \cdot \omega}{\omega_c}\right) + A_0}$$

En utilisant le modèle du premier ordre pour l'amplificateur intégré (A_0, ω_0)

Gain-peaking: $f_T = \sqrt{f_c \cdot GBP}$ avec $f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_{phd} \cdot C_{phd}}$



Simulation sous Matlab avec :
 $R_e = 100M / C_{phd} = 70pF / C_e = 120pF$