

## 5- Capteurs optiques

Les capteurs optiques permettent la traduction en signaux électriques de l'information portée par de la lumière visible ou des rayonnements (ondes électromagnétiques) de longueurs d'onde voisines: infrarouge et ultraviolet.

### 5-1- Unités photométriques principaux

	Unités visuelles	Unités énergétiques
Flux	lumen (lm)	watt (W)
Intensité	candela (cd)	watt/sr (W/sr)
Luminance	candela/m <sup>2</sup> (cd/m <sup>2</sup> )	watt/sr.m <sup>2</sup> (W/sr.m <sup>2</sup> )
Éclairement	lumen/m <sup>2</sup> ou lux (lx)	watt/m <sup>2</sup> (W/m <sup>2</sup> )
Énergie	lumen.s (lm.s)	joule (J)

**Énergie rayonnante(Q):** énergie émise, propagée ou reçue sous forme de rayonnement, mesurée en joules. L'énergie du rayonnement dépend de l'énergie de ses photons. Cette dernière se calcule selon la formule suivante :

$E_{\text{photon}} = \frac{hc}{\lambda}$  où  $\lambda$  est la longueur d'onde,  $c$  la vitesse de la lumière et  $h$  la constante de Planck.

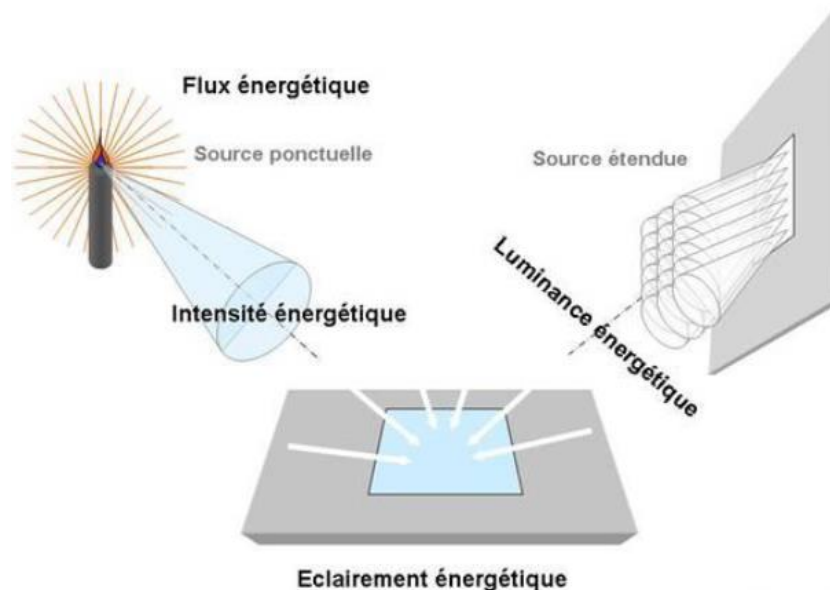
**Flux énergétique ( $\Phi$ ):** puissance émise, propagée ou reçue sous forme de rayonnement, mesurée en watts :

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}$$

**Intensité énergétique (I) :** flux énergétique émis dans une direction donnée, sous l'angle solide unité, mesuré en watts/stéradian :  $I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$

**Luminance énergétique (L) :** quotient de l'intensité émise par un élément de surface  $dA$  dans une direction donnée, par l'aire de la projection orthogonale  $dA_n$  de cet élément sur un plan perpendiculaire à cette direction ;  $L$  est exprimé en watts/sr.m<sup>2</sup> :  $L = dI/dA_n$ .

**Éclairement énergétique (E) :** quotient du flux énergétique reçu par un élément de surface par l'aire de cet élément,  $E$  est mesuré en watts/ m<sup>2</sup> :  $E = d\Phi/dA$ .



### 5-2- Caractéristiques métrologiques propres aux capteurs optiques

#### Courant d'obscurité

C'est le courant permanent délivré par le dispositif photosensible placé dans l'obscurité et polarisé dans des conditions définies.

#### Sensibilité

Le flux du signal optique reçu par le capteur crée un courant d'origine photoélectrique  $I_P$  qui, s'ajoutant au courant d'obscurité  $I_0$ , détermine le courant  $I$  traversant le capteur :  $I = I_0 + I_P$ .

La sensibilité du capteur qui est par définition le rapport de la variation de la grandeur de sortie,  $\Delta I$ , à la variation du mesurande,  $\Delta \Phi$ , qui lui a donné naissance, a pour expression dans ce cas :

$$S = \frac{\Delta I}{\Delta \Phi} = \frac{\Delta I_P}{\Delta \Phi}$$

La sensibilité spectrale : C'est la sensibilité du capteur lorsque le rayonnement reçu est monochromatique

$$S(\lambda) = \frac{\Delta I_P}{\Delta \Phi(\lambda)}$$

### Défectivité

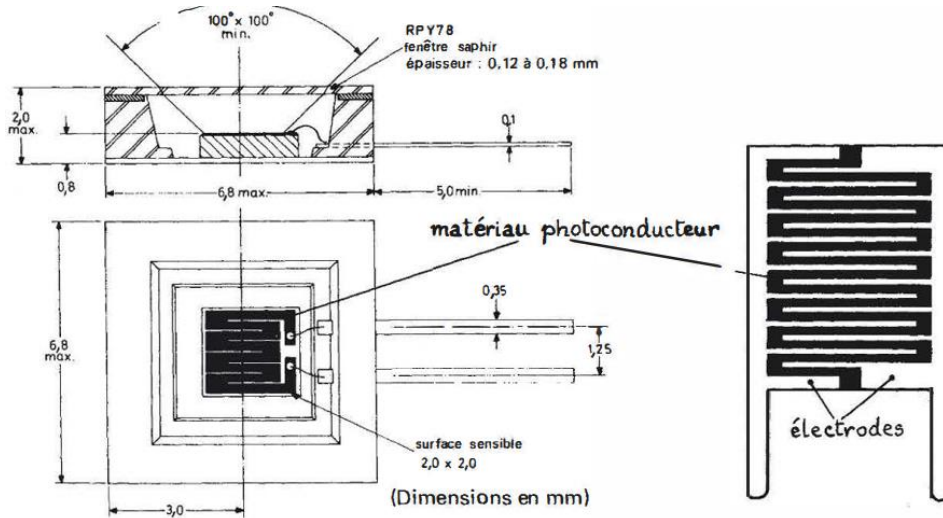
Il s'agit de caractériser le capteur par rapport à son bruit de fond (bruit d'agitation thermique, bruit de grenaille ou bruit de Schottky, bruit de génération-recombinaison) et de qualifier son aptitude à détecter des signaux faibles. Par définition, la puissance équivalente de bruit (P.E.B.) a pour valeur la puissance  $P_s$  du signal optique qui produit en sortie du capteur, pour  $B = 1$  Hz.

La déflectivité est l'inverse de la PEB.

### 5-3- Cellule photoconductrice

Capteur résistif: une cellule photoconductrice est caractérisée par l'influence que le flux du rayonnement reçu et sa répartition spectrale exercent sur la valeur de sa résistance.

Les cellules sont réalisées à l'aide de matériaux semi-conducteurs.

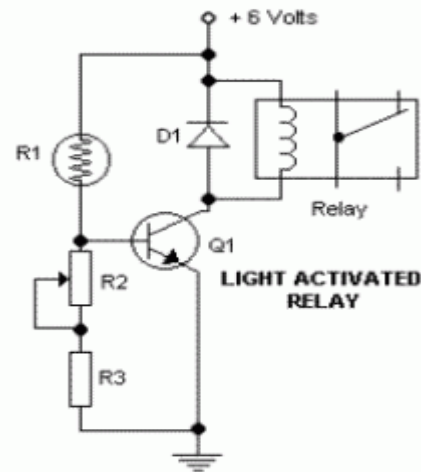


Les propriétés de la cellule peuvent être convenablement traduites par un schéma électrique équivalent où la résistance d'obscurité  $R_{co}$  est placée en parallèle sur une résistance  $R_{cp}$  qui est déterminée par l'effet photoélectrique du flux incident et qui est de la forme :  $R_{CP} = a\phi^{-\gamma}$ .

Généralement :  $R_{cp} \ll R_{co}$ .

### Montages d'une cellule photoconductrice

D1: diode roue libre. Lorsque  $\Phi$  augmente, la résistance de la LDR diminue et par conséquent la tension base-émetteur augmente ce qui traduit par la saturation de transistor. Alors le relais change son état selon qu'il est en position NO ou NC. Le potentiomètre  $R_2$  permet de fixer le seuil de la lumière à partir de lequel le transistor commute.



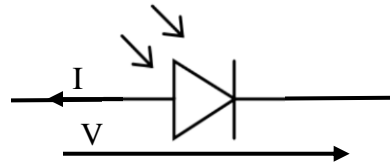
### 5-4- Photodiode

Une photodiode est un composant semi-conducteur (jonction p-n ou p-i-n) ayant la capacité de détecter un rayonnement du domaine optique et de le transformer en signal électrique.

La caractéristique  $I(V)$  de la photodiode :

$$I = -I_s \left( e^{\frac{V}{nV_T}} - 1 \right) + I_{Ph}$$

$I_{Ph}$  est le photocourant,  $I_s$  est le courant de saturation,  $n$  est le facteur de qualité et  $V_T$  et la tension thermique



La photodiode est soit :

- Polarisée en inverse (mode photoconducteur),
- Soit non polarisée (mode photovoltaïque).

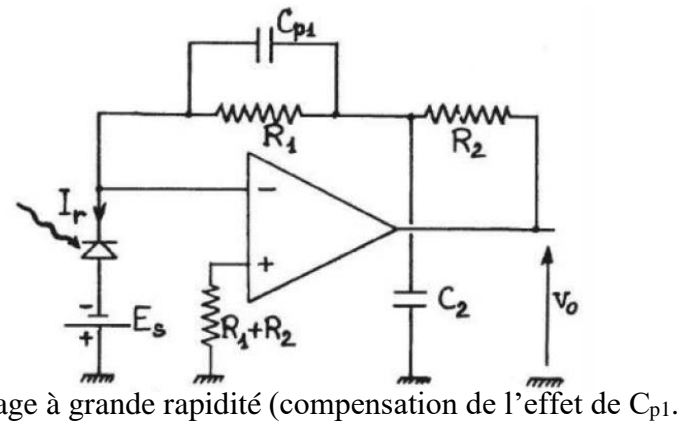
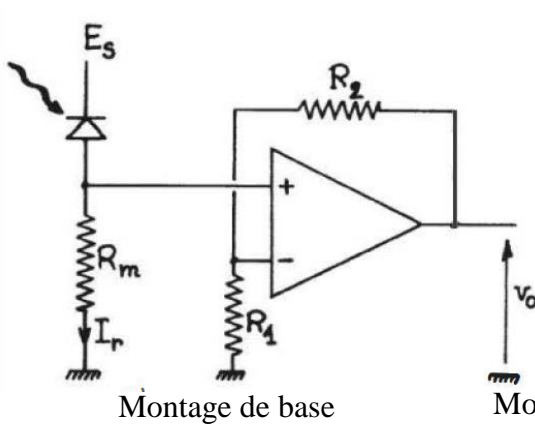
#### 5-4-1- Mode photoconducteur :

Dans ce mode, la photodiode est polarisée en inverse :  $V \gg V_T \Rightarrow I = I_s + I_{Ph} \approx I_{Ph}$ .

Le photocourant est proportionnel au flux  $\Phi$ .

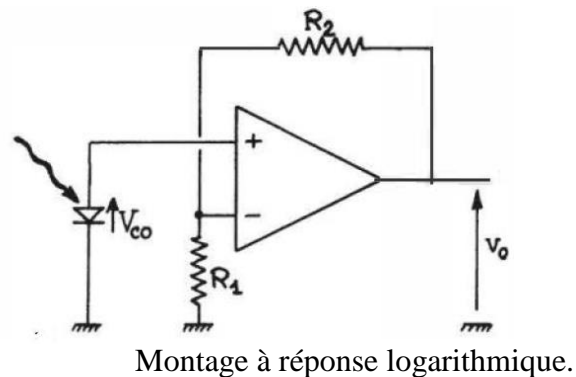
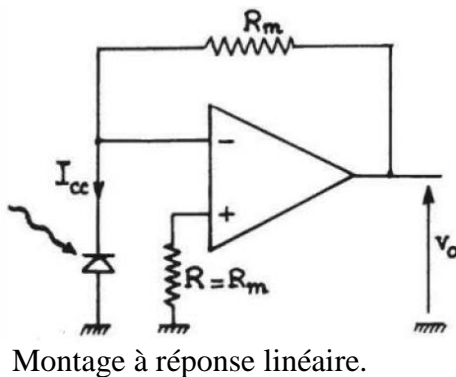
Les caractéristiques du mode photoconducteur sont la linéarité, un temps de réponse court, et une bande passante étendue.

Montages de mesure :



#### 5-4-2- Mode photovoltaïque (sans polarisation)

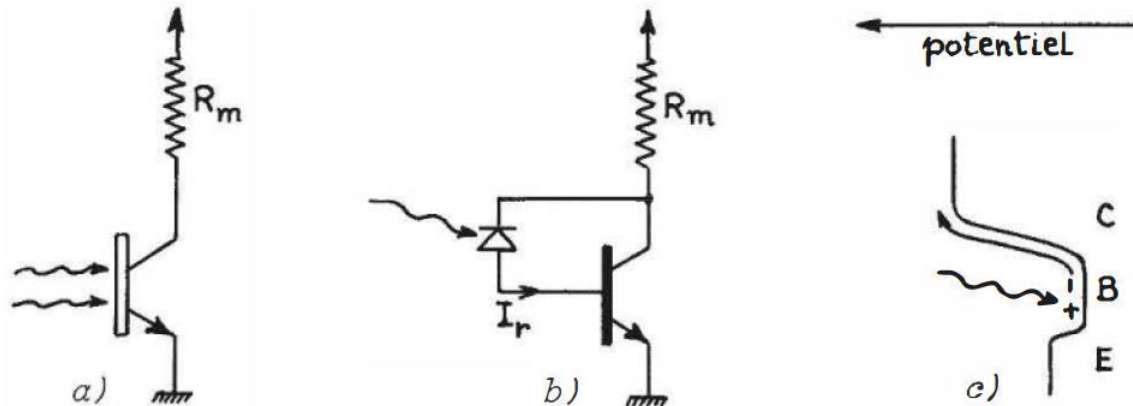
Ses caractéristiques sont : un fonctionnement linéaire ou logarithmique selon la charge, un bruit de fond minimal, un temps de réponse important et une bande passante réduite, une sensibilité thermique importante en fonctionnement logarithmique.



## 5-5- Phototransistor

### 5-5-1- Principe de fonctionnement

Il s'agit d'un transistor, en général au silicium et de type NPN, dont l'élément semi-conducteur constituant la base peut être éclairé; celle-ci n'étant en général pas électriquement accessible, aucune polarisation externe ne lui est appliquée alors qu'entre collecteur et émetteur la polarisation est normale



Phototransistor : a) montage électrique ; b) représentation équivalente ; c) séparation des charges libérées par l'éclairement de la base.

$$I_c = (\beta + 1)I_r = (\beta + 1)I_o + (\beta + 1)I_p$$

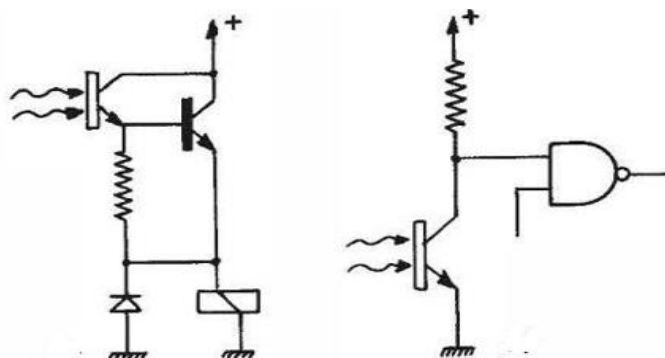
$\beta$  est le gain en courant du transistor en émetteur commun,

$(\beta + 1)I_o = I_{co}$  est le courant d'obscurité du phototransistor,

$(\beta + 1)I_p = I_{cp}$  est le courant collecteur provoqué par le flux incident.

### 5.5.2. Phototransistor en commutation

L'information est dans ce cas binaire : rayonnement présent ou non, ou bien éclairement supérieur ou non à un seuil. Le transistor bloqué ou saturé assure la commande directe ou après amplification d'un relais, de portes logiques, d'un thyristor ou d'un triac

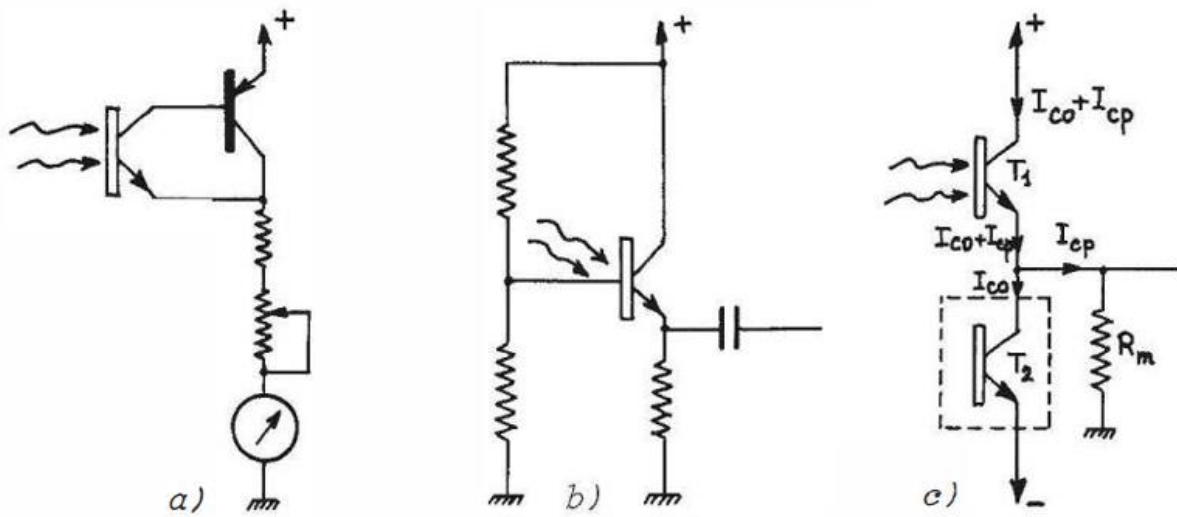


### 5-5-3- Phototransistor en régime linéaire

Il y a deux types d'applications :

- la mesure des éclairissements constants où le phototransistor permet la réalisation de luxmètres simples

- la réception de signaux modulés, de la forme:  $\Phi(t) = \Phi_0 + \Phi_1(t)$



a) schéma d'un luxmètre ; b) choix du point de fonctionnement par polarisation de la base lorsqu'elle est accessible ;  
 c) annulation dans la charge du courant d'obscurité.