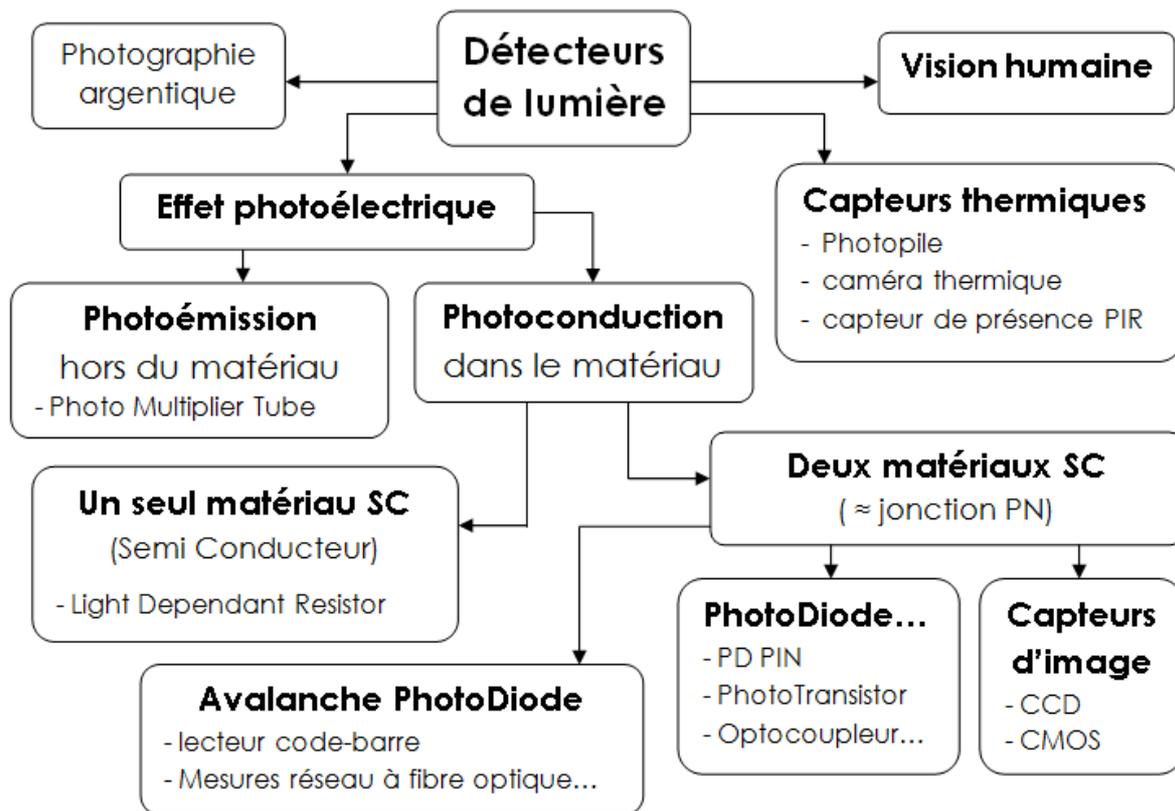


DETECTEURS DE LUMIERE

Quelques exemples significatifs

1- DIVERSITE DES DETECTEURS DE LUMIERE



- L'œil et le processus de vision colorée : très sensible, incapable de mesurer et d'enregistrer l'information photométrique (exprimées en unités spécifiques lumen, candela, lux etc.), spécialisé dans la bande « visible » (par définition !) du fait de sa réponse spectrale spécifique (cf. $V(\lambda)$ pour l'œil CIE).

- Photographie argentique : les premiers enregistrements quantitatifs (noircissement \leftrightarrow quantité de lumière reçue), utilisé de 1850 (Niepce) à nos jours...

- Détecteurs générant un signal électrique **du fait d'un échauffement** dû à la lumière reçue : thermopile, pyroélectricité, etc.

- Détecteurs générant un signal électrique **du fait d'un effet « photoélectrique »** modifiant la distribution ou la circulation des « porteurs de charges » dans ou autour du matériau constituant le détecteur : photomultiplicateur, photorésistor, photodiode (de différentes conceptions), capteurs d'image CCD ou CMOS (plan ou en barrette), etc.

2- PERFORMANCES DES DETECTEURS DE LUMIERE

2.1- Caractéristiques spécifiques d'un détecteur

La documentation des détecteurs indique les valeurs (ou courbes) caractéristiques permettant d'en évaluer par comparaison la compétence et la pertinence.

Sensibilité S_λ (en $A.W^{-1}$, $V.W^{-1}$, $A.lm^{-1}$, $V.lm^{-1}$ selon les grandeurs d'entrée / sortie utilisées)

Taux de variation $S_\lambda = \frac{R(F) - R_D(F_D=0)}{F - 0}$ où R est la réponse du détecteur (en I

ou U selon) à un flux reçu F (énergétique en W ou lumineux en lm).

R_D est la réponse à l'obscurité (D pour *dark*), soit $F_D = 0$.

Domaine de linéarité

Plage éventuelle de valeurs du flux où la sensibilité est constante.

Il est fréquent de constater une perte de linéarité pour les flux possibles les plus grands.

Temps de réponse, fréquence de coupure du détecteur

La grande majorité des détecteurs se comporte comme des systèmes du 1^{er} ordre.

- τ constante de temps avec $t_f = t_r = 2,2 \tau$ et $t_{95\%} = 3 \tau$;

- t_f « temps » de descente de 90% à 10% de l'échelon (f : *fall*) ;

- t_r « temps » de montée 10% à 90% de l'échelon (r : *rise*) ;

- sensibilité variant comme pour un 1^{er} ordre : $S_\lambda = S_0 / (1 + (f/f_c))^{1/2}$ donc une **modulation d'éclairement** incident sur le détecteur doit rester **plus lente que la fréquence de coupure** $f_c = 1 / 2\pi \tau$

d'où une bande passante de type « passe-bas » $\Delta f = f_c - 0$.

Puissance et signal de bruit P_B , I_B ou U_B selon (*noise*)

Le signal de bruit est un signal électrique (I_B ou U_B selon) systématiquement superposé au signal physique « utile » et du aux conditions de fonctionnement du détecteur. Il peut être dû au fonctionnement du capteur ou sa température.

2.2- Influence de la sensibilité spectrale d'un détecteur

Réponse brute issue du capteur : $R(\lambda)$

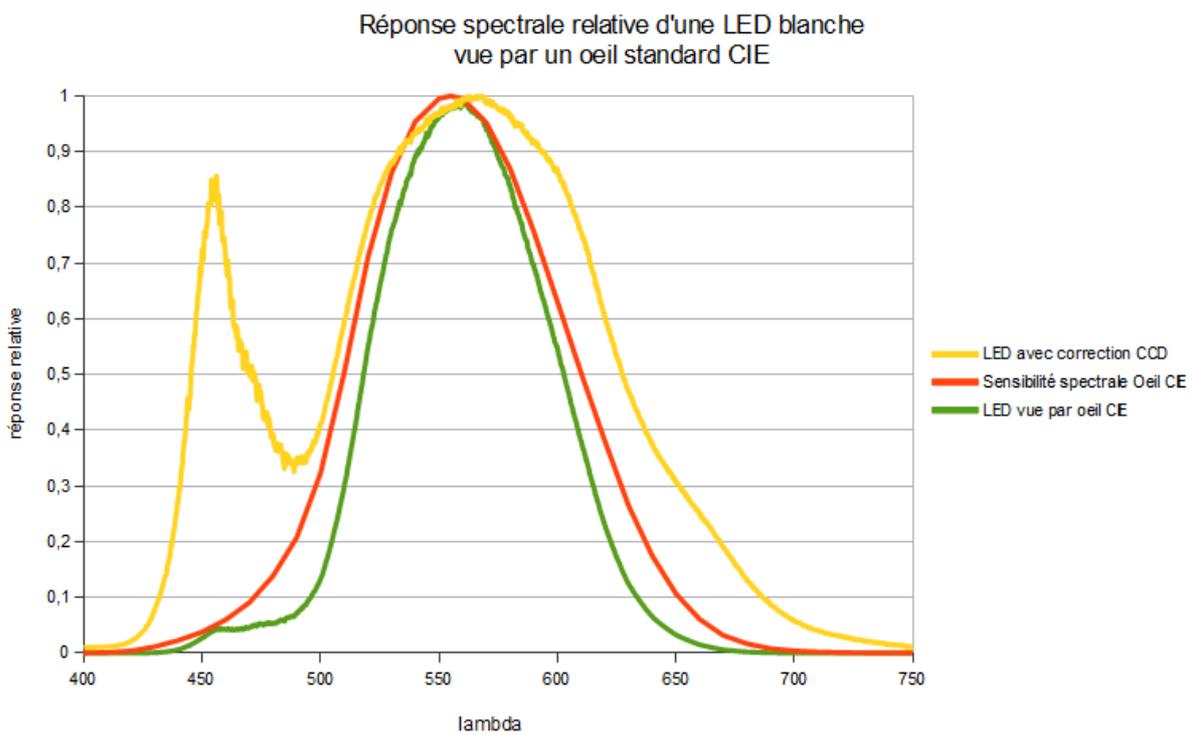
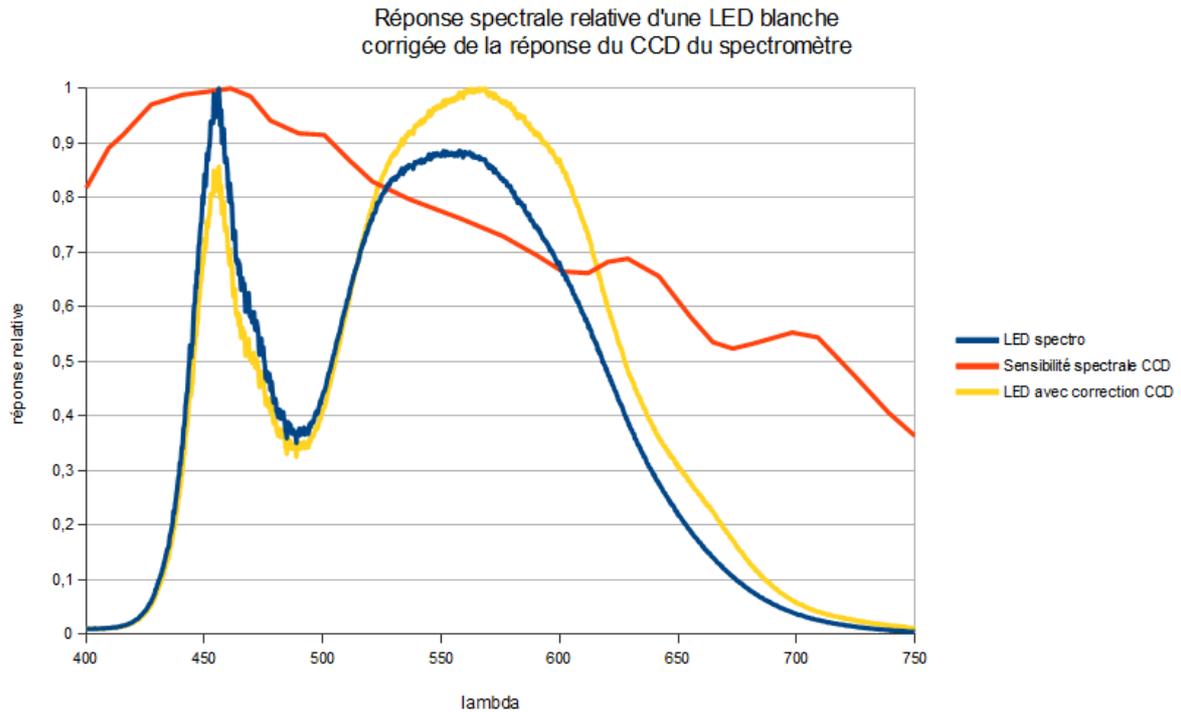
Sensibilité spectrale du capteur $V(\lambda)$

→ **Réponse corrigée** : $R_{\text{corrigée}} = R(\lambda) / V(\lambda)$

Exemples :

- Utilisation du spectromètre CCD de TP pour visualiser le spectre d'une LED blanche d'éclairage

- Le même spectre de LED blanche d'éclairage vu par l'œil CIE



Remarque : calculs fait sous CALC d'après données expérimentales de TP

2.3- Performances comparées des différents types de capteurs de lumière

Type de détecteur	Principe physique	Plage λ	Sensibilité	Rapidité	Linéarité	Prix	Applications
Photo multiplicateur	Photo-émission	UV, Vis	****	*	oui	€€ €€	Mesures au laboratoire
Photopiles	Echauffement et thermocouples	IR	*	* à **	oui	€€	Présence Mesures (pollution, Laser industriel...)
Caméra thermique	Idem photopile ou photodiode	IR	**	**	oui	€€ €€	Imagerie thermique
Détecteur PIR	pyroélectricité	IR	**	**	oui	€€	Présence ou mouvement
Photorésistance LDR	Photo-conductivité	Vis IR	**	**	non	€	Présence
Photodiode	Jonction PN	Vis IR	***	****	oui	€€	Mesures transmission
Phototransistor	Jonctions PN	Vis	**	**	oui	€	Détection
Optocoupleur, optotriac	Jonctions PN (LED+ PD)	IR	**	**	oui	€	Sécurité industrielle
Avalanche Photodiode APD	Jonction PN - en avalanche	vis	****	**	non	€€€	Détection de faibles flux (code barre, fibre optique...)
Capteurs d'image	Jonction PN ou « puit de charge »	vis	**	***	oui	€€	APN, webcam, mesure de spectres

3- DÉTECTEURS THERMIQUES

3.1- Généralités

- Les détecteurs thermiques absorbent le flux de lumière mesuré, s'échauffent jusqu'à leur température d'équilibre T ce qui entraîne la variation associée d'un paramètre électrique. Exemple : tension de thermocouples.
- Photodétecteurs **non sélectifs : détection visible et infrarouges IR (<10 μ m)**
- Sensibilité $S \downarrow$ et $\text{Flux}_{\text{max}} \uparrow$ si diamètre du détecteur \uparrow
- Détecteurs plutôt lents $10^{-3} < \tau < 10 \text{ s}$, $\tau \downarrow$ si masse $m \downarrow$ et épaisseur $e \downarrow$

3.2- Thermopile

[Retour](#)

Principe

- Signal de mesure : faible tension \approx continue, directement générée par des thermocouples montés en série.
- Soudures « chaudes » au contact d'une plaque noircie absorbant le flux de lumière mesuré.
- Soudures « froides » à température \approx constante, au contact du corps du capteur à forte inertie thermique.

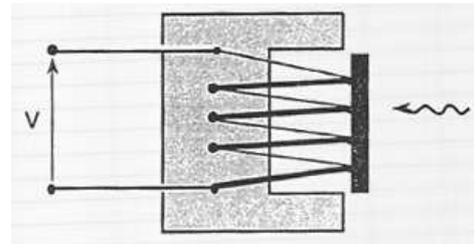


Schéma de principe (coupe)

Applications

- Thermopiles « **lentes** » à forte capacité calorifique (\approx taille d'une pièce de monnaie) $\tau > 1 \text{ s}$ $S : 1 \text{ à } 10 \text{ V.W}^{-1}$ typ.
surface $A : 10 \text{ à } 500 \text{ mm}^2$ typ.

→ Mesures de flux continu puissant (laser ...)

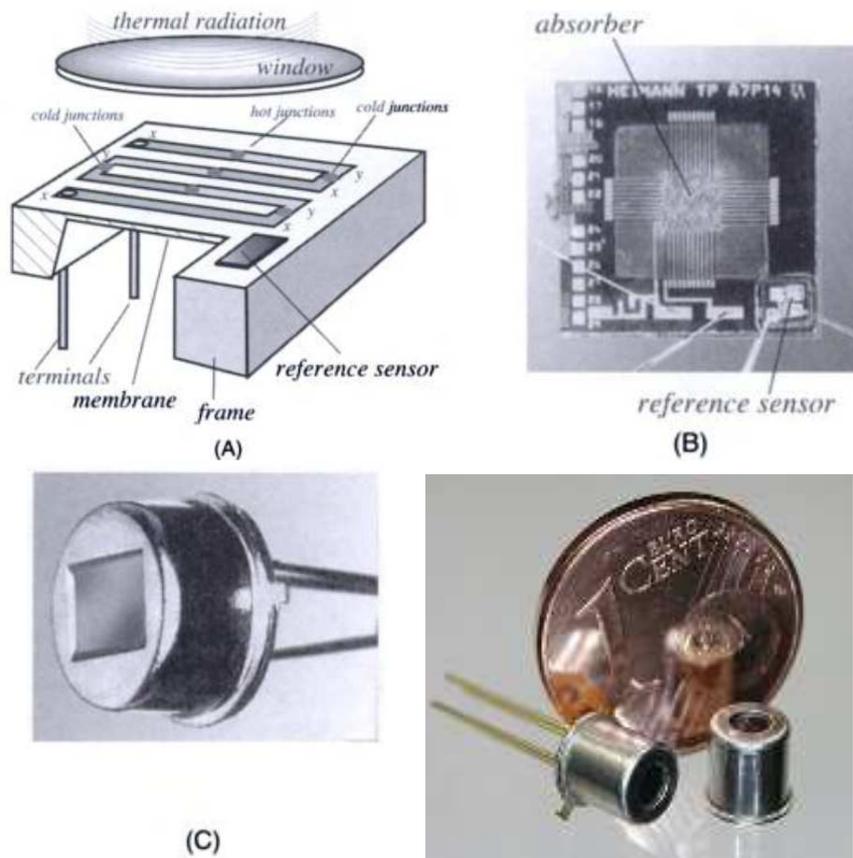
- Thermopiles « **rapides** » à très faible capacité calorifique (partie active : $\approx \text{mm}^3$ au + ... en tout !)
 $\tau \approx 4 \text{ à } 10 \text{ ms}$ $S \approx 40 \text{ à } 50 \text{ V.W}^{-1}$ typ.
surface $A : 0.05 \text{ à } 1 \text{ mm}^2$ typ.

→ Suivi de présence humaine, mesure de polluant gazeux

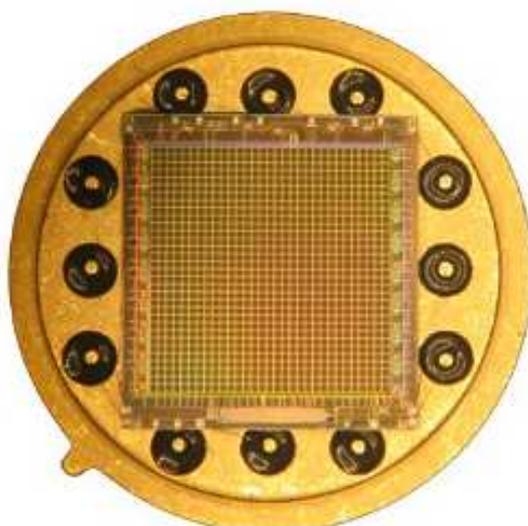
→ Capteur de caméra thermique



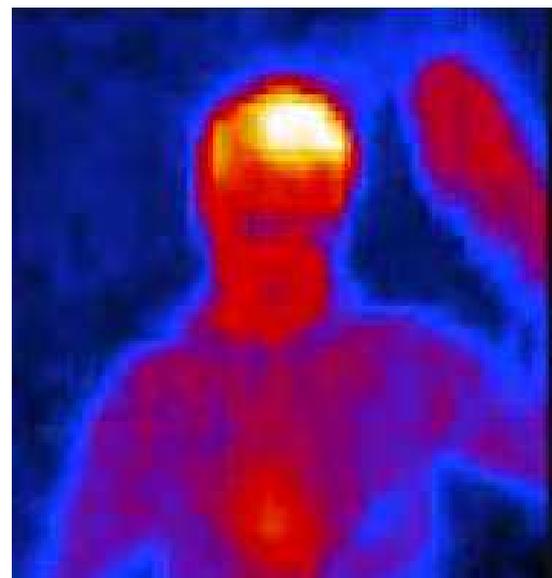
Mesureur de puissance continue pour laser industriel 40 mW-150 W sur bande IR 0.19-20 μ m (modèle : Ophyr 50A-BB-26)



(A) Schéma d'une thermopile dédiée à la détection thermique humaine, avec mesure de température de référence du bâti (\approx température des soudures froides). (B) Vue au microscope des détails de cette thermopile en réalisation MEMS. (C) Capteur dans son boîtier (Heimann HMS-M21).



capteur d'image IR Heimann
à 32x31 éléments
($220 \times 220 \mu\text{m}^2 = 0.05 \text{ mm}^2$ chaque)

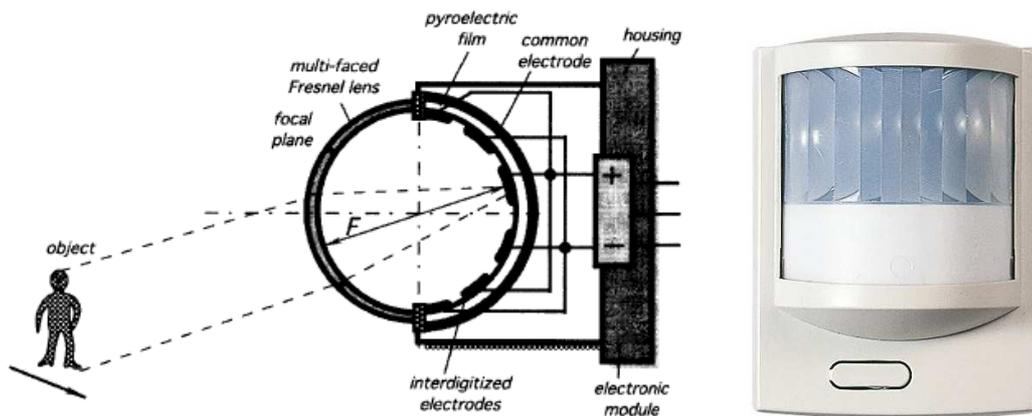


Ex : personne se séchant les cheveux...

Vidéo en ligne sur : http://www.heimansensor.com/products_imaging.php

[RETOUR](#)

3.3- Capteur de présence ou de déplacement PIR (PIR : « Pyroelectric Infra-Red »)



[Retour](#)

La **source IR** (une personne...) dont on teste la présence et/ou le déplacement éventuel a une température T_b (distincte de la température ambiante T_a) telle qu'elle **rayonne dans l'infrarouge** selon la loi de Stéphan. **Ce flux varie $\approx 1/L^2$ avec l'éloignement** (loi de Bouguer) de sorte que le flux projeté par la lentille de Fresnel sur les éléments du détecteur est :

$$\Phi_s \approx A \frac{T_b^4 - T_a^4}{L^2} \approx AT_a^3 \frac{T_b - T_a}{L^2} \approx AT_a^3 \frac{\Delta T}{L^2}$$

car T_a et T_b exprimées en K sont numériquement proches.

Pour une position donnée de la source, un des éléments du détecteur reçoit ce flux IR et s'échauffe de $\Delta\theta = \frac{\Phi_s}{C_p} \Delta t$ pendant la courte durée Δt nécessaire à cet

échauffement (C_p capacité calorifique globale de l'élément, avec $C_p = c s e$ où c est la chaleur spécifique du matériau, s la surface de l'élément détecteur et e son épaisseur).

L'effet pyroélectrique correspond à la création d'une charge stockée dans l'élément proportionnelle à l'échauffement, soit $\Delta Q = P s \Delta\theta$ où P est le coefficient pyroélectrique du matériau et s la surface de l'élément détecteur.

Le principal matériau utilisé pour ces applications est un **polymère : PVDF** (pour « PolyVinyliDene Fluoride »). C'est un matériau un peu moins sensible que ses homologues cristallins ou céramiques mais qui a l'avantage de se présenter sous la forme d'un film souple et peu coûteux.

Ainsi l'élément du détecteur éclairé stocke la charge

$$\Delta Q = P s \frac{\Phi_s \Delta t}{C_p} = \frac{P \Delta t A T_a^3}{c e} \frac{\Delta T}{L^2}$$

Fonctionnement en capteur de présence :

Lorsqu'on conditionne un tel capteur avec un amplificateur de charge, le signal de sortie est essentiellement proportionnel à $\frac{\Delta T}{L^2}$.

Une comparaison de ce signal avec une tension seuil permet alors d'élaborer une variable logique décrivant la présence ou l'absence d'une telle source IR dans la zone surveillée.

Fonctionnement en capteur de déplacement :

Les détecteurs de déplacement servant comme éléments de sécurité ou comme commande d'éclairage sont usuellement conditionnés comme des générateurs de courant.

En effet, lors de la mise en éclairage de l'élément concerné, celui-ci délivre temporairement une intensité $i = \frac{dQ}{dt} \approx K T_a^3 \frac{\Delta T}{L^2}$ (typiquement en pA). Cette

intensité i est convertie en tension, soit $v_0 = R i$ (m) puis comparée à une tension de référence.

Lorsque la personne se déplace, son image se déplace sur le détecteur et **l'élément chauffé change** ce qui génère des impulsions de signal qui sont **détectées** par la logique de contrôle de l'ensemble des éléments.

[Retour](#)

4- DETECTEURS A EFFET PHOTOELECTRIQUES

4.1- Généralités

Si l'énergie d'un photon absorbée par un matériau photosensible est suffisante ($hc/\lambda > E_g$), il y a changement d'état d'un électron :

- si l'électron est éjecté, c'est un effet externe : **photoémission** (ex : Tube **PhotoMultiplificateur** PMT) ;

- si l'électron reste dans le matériau, c'est un effet interne : **photoconduction**

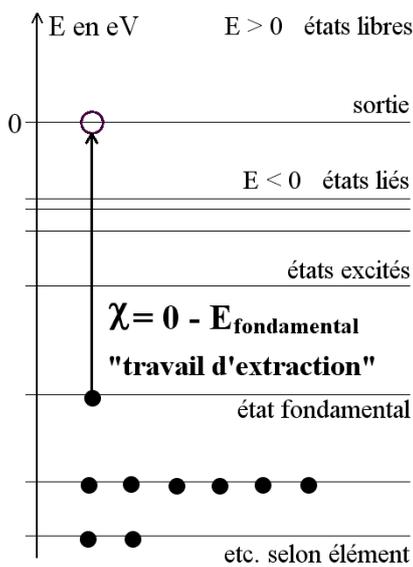
* matériau semi-conducteur homogène : **photorésistance** ;

* matériau semi-conducteur hétérogène (avec jonction PN) : cellule photovoltaïque, **photodiode**, phototransistor, photodiode à avalanche capteur d'image etc.

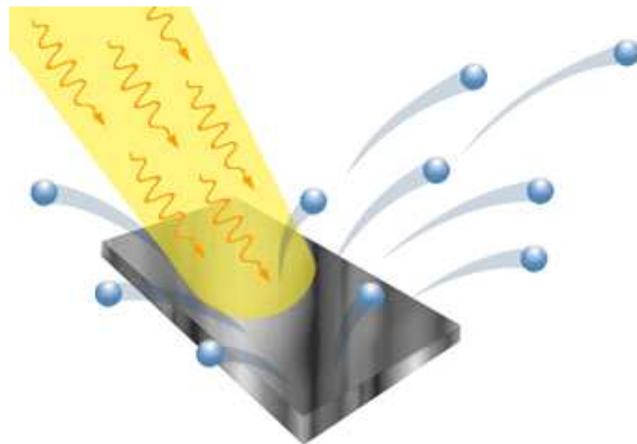
Rendement quantique d'un détecteur : nombre d'électrons émis par seconde (en interne ou en externe) / nombre de photons reçus par seconde (flux photonique).

4.2- Effet photoélectrique

- Pour qu'un électron soit éjecté hors du matériau de la photocellule, le photon incident doit avoir une énergie supérieure à un seuil $E_{\text{seuil}} = \chi$ (**travail d'extraction**), d'où $\lambda < \lambda_{\text{seuil}}$.
- Détecteur à **effet de surface** (couche mince) : seul les électrons proches de la surface de la photocathode peuvent en sortir. Une tension électrique entre photocathode et anode(s) facilite l'obtention d'un **microcourant de mesure**.
- Matériaux typiques : composés semi-conducteurs associant un ou plusieurs alcalins (type Césium) à un ou plusieurs éléments de valence III ou V (type Ga, As, Sb...).



Niveaux d'énergie du matériau de la photocathode

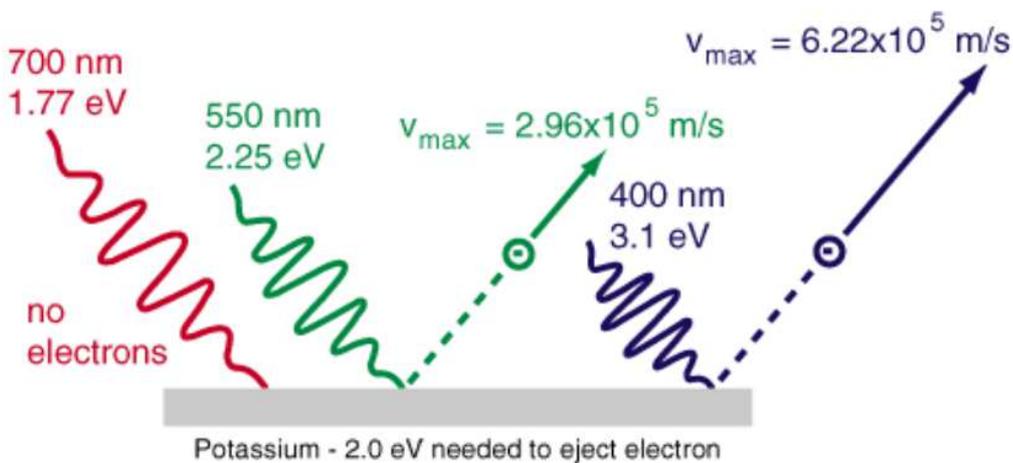


bilan de l'extraction d'un électron :

$$E_{\text{photon}} = E_{\text{seuil}} + E_c \rightarrow hc/\lambda = \chi + \frac{1}{2} m_e v^2$$

Condition d'extraction $\lambda < \lambda_{\text{seuil}}$

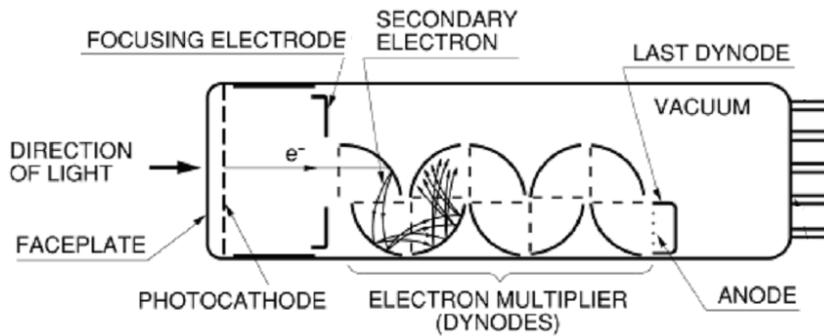
avec $\lambda_{\text{seuil}} = hc/\chi$ (le cas limite où $E_c = 0$)



[Retour](#)

4.3- Photomultiplicateur (photomultiplier)

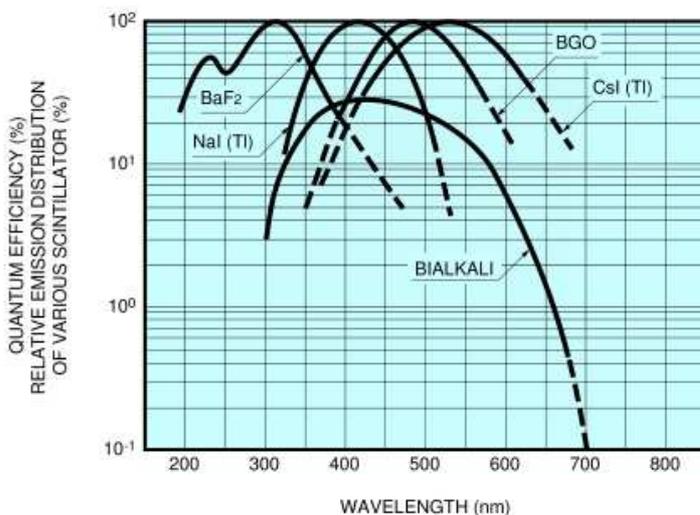
[Retour](#)



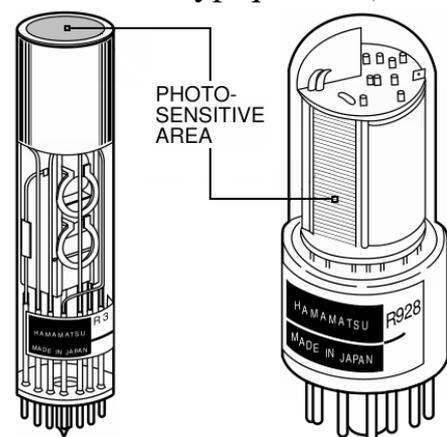
détails des dynodes

Schéma d'un tube photomultiplicateur PMT type « Head on »

- Les photons détectés extraient les électrons primaires de la photocathode qui sont projetés sur la première dynode par une force électrique (due à la tension cathode/électrode de focalisation).
- L'énergie cinétique acquise d'un électron « primaire » permet d'extraire $\delta = K U$ électrons secondaires de la dynode, avec $K \approx 0.02$ à 0.05 V^{-1} typ (selon matériau et température) et $U \approx 100 \text{ V}$ tension entre paires de plaques.
- Bilan d'énergie $E_c \text{ incident} = \delta \times \chi_{\text{dynode}} + E_c \text{ secondaire}$ avec δ extraction à chaque dynode.
- L'ensemble des plaques est un « multiplicateur d'électrons » de gain $m = \delta^n$ soit $m = (K U)^n$ pour n accélérations successives entre plaques
- Valeurs typiques : **Sensibilité $S \approx 10^3$ à 10^7 A.W^{-1}**
- PMT détecteur très sensible, à large bande passante et faible bruit, rapide
- Utilisation délicate car fragile.
- Nécessité d'une haute tension stabilisée (pour un tube : 1 kV typiquement).



Réponse spectrale selon le matériau de la photocathode du PMT



Surfaces photosensibles des PMT :

type « Head on » type « Side on »

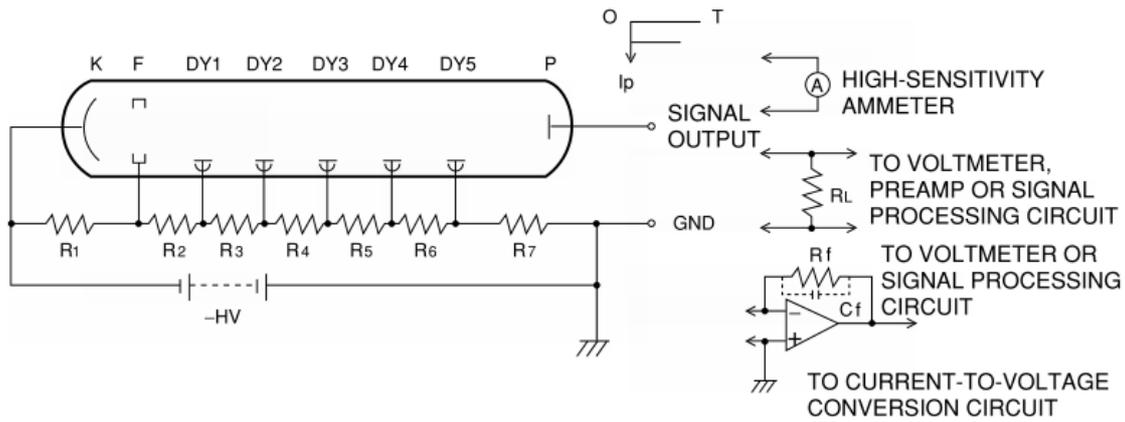
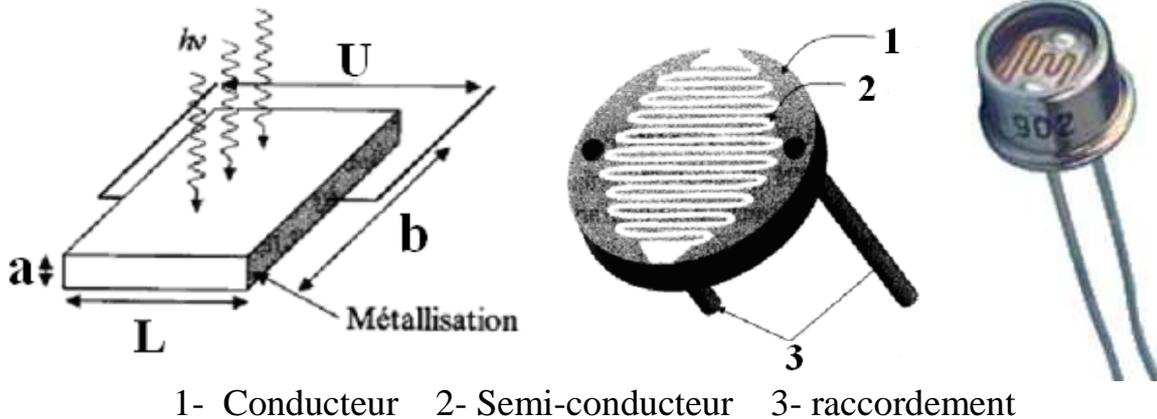


Schéma de branchement typique :
 mise sous tension continue des paires de plaques ($U_t = nU$ et $U \approx 100$ V)
 et mesure de l'intensité du courant de sortie ($I_{PM} \approx \mu A$)

[Retour](#)

4.4- Photorésistance (LDR Light Dependant Resistor)

Une photorésistance est usuellement constituée d'une couche mince d'un matériau semi-conducteur homogène dont la conductivité électrique σ augmente lorsqu'un rayonnement est détecté.



1- Conducteur 2- Semi-conducteur 3- raccordement

Résumé :

- Photocourant supplémentaire du à l'éclairement :

$$I_{ph} = K E U \times \frac{b}{L} (1 - \exp(-\alpha a)) \quad I_{ph} \uparrow \text{ si } a \text{ et } b \uparrow \text{ et } L \downarrow$$

- Sensibilité en courant de la LDR

$$S_I = K U \times \frac{1 - \exp(-\alpha a)}{L^2} \quad S_I \uparrow \text{ si } a \uparrow \text{ et } L \downarrow$$

Besoin :

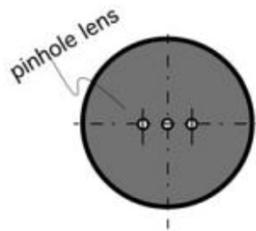
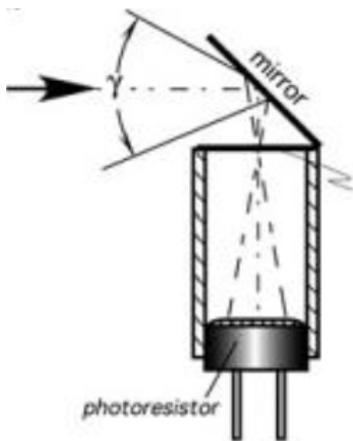
- forte section
- faible longueur
- : structure en peigne

- Résistance de la LDR $\rightarrow R \approx C^{te} \times E^{-1}$ non linéaire

$$\text{Car } R = \frac{U}{I} = \frac{U}{I_{ph} + I_0} = \frac{1}{\frac{KEb}{L} (1 - \exp(-\alpha a)) + \frac{1}{R_0}} \ll \frac{L}{Kb \times (1 - \exp(-\alpha a))} \times E^{-1}$$

Puisque $R_0 > 10 \text{ M}\Omega$ lorsque R varie entre 1 et 1000 k Ω

Paramter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units
Resistance @ 10 Lux, 2850 K	RL	48		118	kΩ
Dark Resistance (10 sec. after removal of 10 Lux)	RD	10			MΩ
Sensitivity (log (R10/R100))/(log(100/10))	γ		0.9		
Peak Spectral Response	λP		550		nm



Les « yeux » de cette peluche sont munis d'un dispositif à sténopé (« pinhole » : un « trou d'épingle » agissant comme une simple lentille) permettant de détecter un mouvement de l'enfant afin de déclencher un « aboiement » du jouet.

- Quel est la nature du matériau utilisé pour cette LDR ?

- Une LDR VT935G-D conviendrait-elle ?

Matériaux

CdS - CdSe 400 nm/850 nm

PbS - PbSe 1 μm / 3 μm

InSb - InAs 3 μm / 10 μm
et +

Calcul détaillés de I_{ph} et S_I pour les curieux :

Intensité du photocourant en fonction de la variation de conductivité

- La photorésistance est utilisée avec une tension de polarisation continue U

- Conducteur de résistivité électrique $\rho = 1 / \sigma$, longueur L et section $s = a \times b$

- Dans le noir, il circule le courant $I_0 = \frac{U}{R_0}$ avec $R_0 = \rho_0 \frac{L}{ab}$ et $\frac{1}{R_0} = \sigma_0 \frac{ab}{L}$

- Sous éclairage, il circule $I = I_0 + I_{ph}$

avec $I = \frac{U}{R}$ et $\frac{1}{R} = \sigma \frac{ab}{L} = (\sigma_0 + \Delta\sigma) \frac{ab}{L}$

$$\text{donc } I_{ph} = I - I_0 = \frac{U}{R} - \frac{U}{R_0} = U \left\{ \left(\sigma_0 + \Delta\sigma \right) \frac{ab}{L} - \sigma_0 \frac{ab}{L} \right\} \rightarrow I_{ph} = U \frac{ab}{L} \Delta\sigma$$

Variation de conductivité en fonction de l'éclairement E

- Le flux énergétique reçu sur la face supérieure $F_e = E \times Ld$

- Le flux photonique équivalent (hypothèse : $\lambda = \text{cte}$)

$$F_p = \frac{F_e}{u} = \frac{E \times Lb}{hc/\lambda} = \frac{\lambda}{hc} \times E \times Lb$$

- Les photons qui vont générer les photocharges sont ceux qui sont absorbés dans l'épaisseur a du matériau selon la loi de décroissance

$$F_{pabs} = F_p \times (1 - \exp(-\alpha a)) = \frac{\lambda}{hc} \times E \times Lb \times (1 - \exp(-\alpha a))$$

- Le taux de génération par unité de volume des photoporteurs dans le matériau éclairé est

$$g = F_{pabs} \times \eta \times \frac{1}{aLb} = \frac{\eta\lambda}{hc} \times E \times \frac{Lb}{aLb} \times (1 - \exp(-\alpha a)) = \frac{\eta\lambda}{hc} \times E \times \frac{1 - \exp(-\alpha a)}{a}$$

avec le rendement quantique η (nombre d'électrons générés par photon).

- La variation de conductivité est proportionnelle à ce taux g . Il vient en mettant en évidence la proportionnalité à l'éclairement et au facteur géométrique :

$$\Delta\sigma = K \times E \times \frac{1 - \exp(-\alpha a)}{a} \quad (\text{avec } K \text{ incluant les autres paramètres}).$$

Intensité du photocourant en fonction de la géométrie

$$I_{ph} = U \frac{ab}{L} \Delta\sigma = U \frac{ab}{L} \times K \times E \times \frac{1 - \exp(-\alpha a)}{a} \rightarrow \boxed{I_{ph} = K E U \times \frac{b}{L} (1 - \exp(-\alpha a))}$$

Sensibilité en courant de la photorésistance

- La sensibilité en courant à λ donné, est le rapport de la variation de I (situation « éclairée » - situation de « noir ») par celle du flux reçu :

$$S_{I\lambda} = \frac{\Delta I}{\Delta F_e} = \frac{I - I_0}{F_e - 0} = \frac{I_{ph}}{F_e}$$

$$S_I = \frac{I_{ph}}{E L b} = \frac{K E U}{E} \times \frac{b}{L \times L b} (1 - \exp(-\alpha a)) \rightarrow \boxed{S_I = K U \times \frac{1 - \exp(-\alpha a)}{L^2}}$$

Optimisation des dimensions de la photorésistance

$$I_{ph} = K E U \times \frac{b}{L} (1 - \exp(-\alpha a)) \quad I_{ph} \uparrow \text{ si } a \text{ et } b \uparrow \text{ et } L \downarrow$$

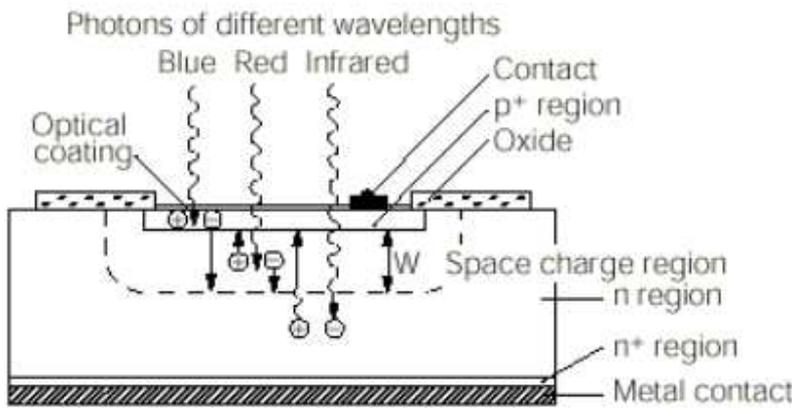
$$S_I = K U \times \frac{1 - \exp(-\alpha a)}{L^2} \quad S_I \uparrow \text{ si } a \uparrow \text{ et } L \downarrow$$

Besoin de fort section et faible longueur : structure en peigne

[Retour](#)

4.5- Photodiode utilisée en détecteur (photodiode as a sensor)

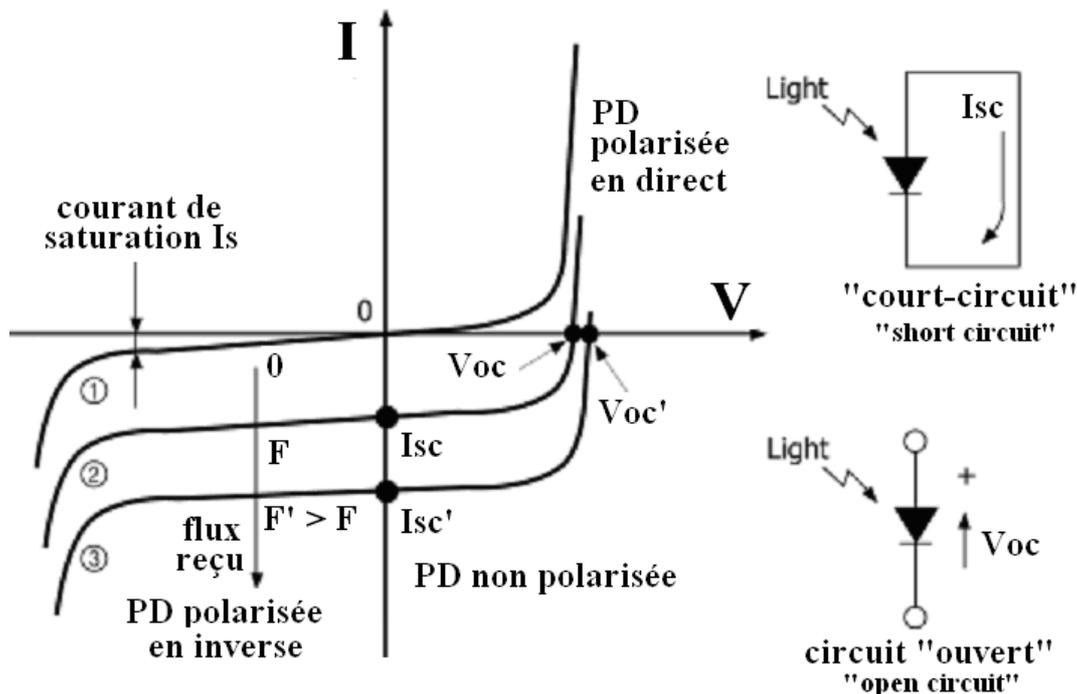
[Retour](#)



Photodiode BPW34

Coupe d'une photodiode

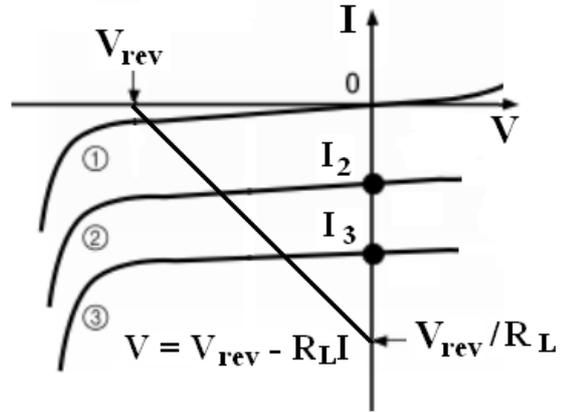
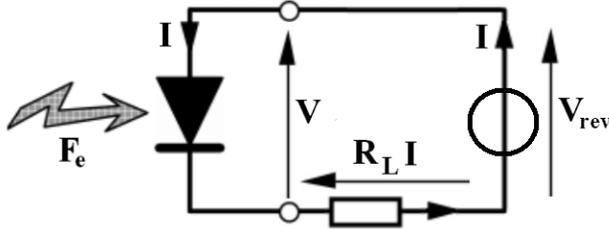
- Nécessité de matériaux hétérogènes : jonction réalisée avec deux semi-conducteurs dopés N et P. La zone de jonction, au contact des deux matériaux stocke des charges : effet capacitif C_d .
- Les photons d'énergie supérieure à l'énergie de « gap » du matériau donne naissance à une paire d'électron/trou $\rightarrow E_{gap} \approx e V_o$. où V_o est la tension de seuil de la photodiode.



- La caractéristique de la photodiode éclairée est : $I = I_s \left(\exp\left(\frac{eV}{\mu kT}\right) - 1 \right) - I_{ph}$

(ce modèle ne décrit pas la zone de saturation) avec $1 < \mu < 2$ selon nature de la jonction, $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ C, $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$ J.K⁻¹ et T en K

**Utilisation en capteur d'éclairement :
PD exclusivement polarisée en inverse**



- L'équation de maille donne $V = V_{rev} - R_L I$ « droite de charge ».

- Pour $V_{rev} < 0$, on a $\exp\left(\frac{eV}{\mu kT}\right) \ll 1$ et donc $I \approx -I_S - I_{ph} \approx -I_{ph}$

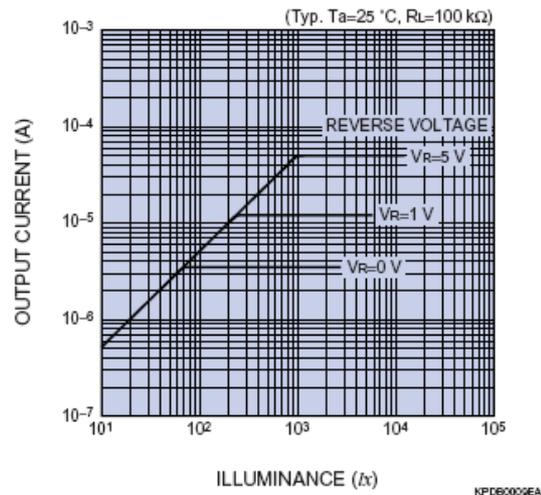
- Sensibilité en courant \approx constante

$$S_I = \frac{I - I_D}{F - 0} \approx \frac{I}{F} \quad \text{car le courant de noir } I_D \ll I$$

Exemple :

éclairement $E \rightarrow 10E \Rightarrow I \rightarrow 10I$
à même surface sensible A.

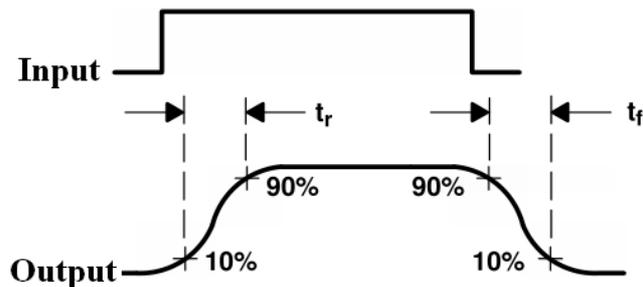
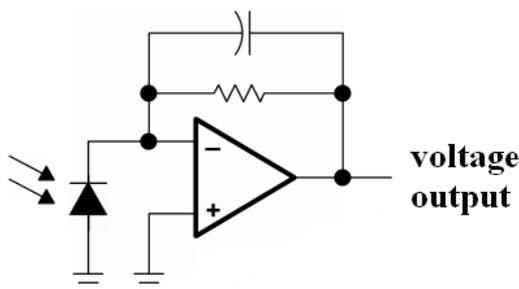
→ En polarisation inverse
 I_{ph} est proportionnel au flux détecté



.Temps de réponse et fréquence de coupure

- La tension de sortie est approximativement $V_{out} \approx -R I_{ph}$ (avec une capacité de compensation correctement choisie).

- Dans ces conditions on optimise les temps de montée t_r (r pour *risetime*) et de descente t_f (f pour *falltime*) : $t_r \approx t_f \approx 2.2 R C_d$



- La fréquence maximale d'une modulation d'éclairage de la photodiode est, dans l'hypothèse d'une réponse du 1^{er} ordre :

$$f_c \approx 1 / 2\pi R C_d$$

- La sensibilité varie alors en fonction de la fréquence f comme la réponse d'un filtre passe-bas du 1^{er} ordre :

$$S_I(f) = \frac{S_I(0)}{\sqrt{1 + (f/f_c)^2}}$$

Rendement quantique

- Le flux photonique pénétrant dans la photodiode est $F_{p\ in} = (1 - R) F_p$ où F_p est le flux incident. $R \approx$ quelques % grâce à une couche anti-reflet (indiquée : « optical coating »).

- Le flux photonique absorbé est $F_{p\ abs} = F_{p\ in} (1 - \exp(-\alpha a)) \approx F_{p\ in}$ si l'épaisseur a est suffisante (cf. schéma 3.5-).

- Si on admet que chaque photon absorbé génère un couple électron/trou, le rendement quantique de la photodiode est : $\eta_q = (1 - R)(1 - \exp(-\alpha a))$

Sensibilité en courant en fonction de λ

- Le flux énergétique incident est $F_e = F_p \times (hc/\lambda)$

- Le nombre de photoélectrons produits par seconde est $N_e = \eta_q F_p$

- Le photocourant a une intensité $I_{ph} = N_e \times e$

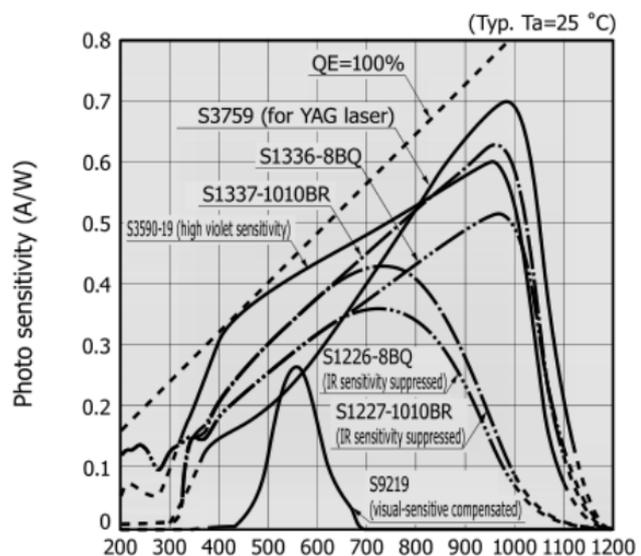
- la sensibilité spectrale (simplifiée) pour un rayonnement monochromatique est

$$S_{I\lambda} = \frac{I_{ph}}{F_e} = \frac{N_e \times e}{F_e} = \frac{\eta_q F_p \times e}{F_p hc/\lambda} \rightarrow$$

$$S_{I\lambda} = \frac{\eta_q e \lambda}{hc}$$

Ce modèle basique correspond à la courbe théorique en pointillée tracée pour $\eta_q = 1$ (soit QE = 100% Quantum Efficiency)

Comme l'effet photo-électrique à une valeur seuil en longueur d'onde selon le matériau, il est donc normal de constater qu'au delà de λ_{seuil} la sensibilité décroît rapidement.



$S_{I\lambda}$ en fonction de λ pour des diodes au silicium (doc Hamamatsu)

[Retour](#)

BP104

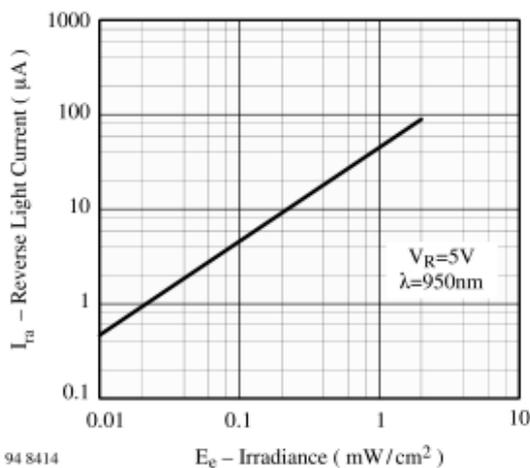
Vishay Semiconductors



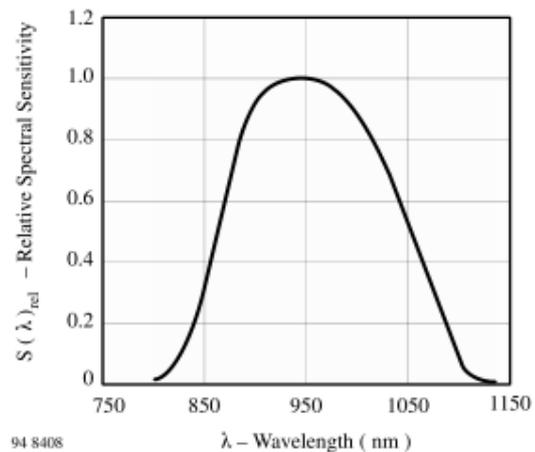
Basic Characteristics

T_{amb} = 25°C

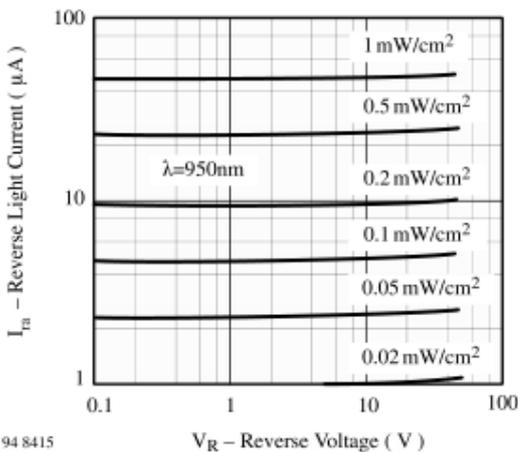
Parameter	Test Conditions	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Breakdown Voltage	I _R = 100 μA, E = 0	V _(BR)	60			V
Reverse Dark Current	V _R = 10 V, E = 0	I _{ro}		2	30	nA
Diode Capacitance	V _R = 0 V, f = 1 MHz, E = 0	C _D		70		pF
	V _R = 3 V, f = 1 MHz, E = 0	C _D		25	40	pF
Open Circuit Voltage	E _e = 1 mW/cm ² , λ = 950 nm	V _o		350		mV
Short Circuit Current	E _e = 1 mW/cm ² , λ = 950 nm	I _k		38		μA
Reverse Light Current	E _e = 1 mW/cm ² , λ = 950 nm, V _R = 5 V	I _{ra}	40	45		μA
Angle of Half Sensitivity		φ		±65		deg
Wavelength of Peak Sensitivity		λ _p		950		nm
Range of Spectral Bandwidth		λ _{0.5}		870...1050		nm
Noise Equivalent Power	V _R =10V, λ=950 nm	NEP		4x10 ⁻¹⁴		W/√ Hz
Rise Time	V _R =10V, R _L =1kΩ, λ=820 nm	t _r		100		ns
Fall Time	V _R =10V, R _L =1kΩ, λ=820 nm	t _f		100		ns



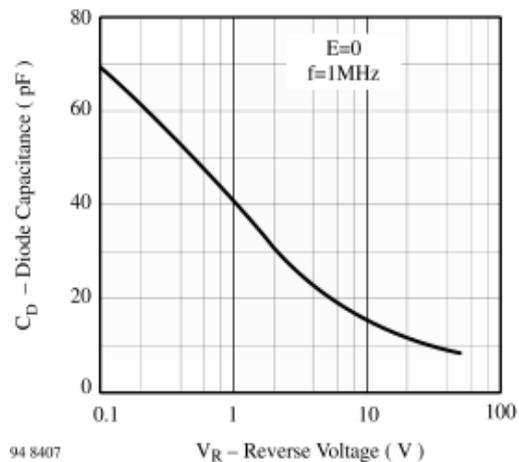
94 8414
Figure 3. Reverse Light Current vs. Irradiance



94 8408
Figure 6. Relative Spectral Sensitivity vs. Wavelength



94 8415
Figure 4. Reverse Light Current vs. Reverse Voltage



94 8407
Figure 5. Diode Capacitance vs. Reverse Voltage

Autres détecteurs apparentés

- Phototransistor (signal important, lent),
- Photodiode à avalanche (très sensible \approx usage des photomultiplicateurs),
- Optocoupleur (isolation électrique entre circuits de commande et d'application), optotriac...

Retour

Bibliographie et netographie

Sources complémentaires des illustrations et des données

3.2

<http://lucasdidier.perso.sfr.fr/optique/Capteurs/capteurs3.php>
<http://www.edmundoptics.com/products/displayproduct.cfm?productID=3213>
<http://www.kippzonen.com/?productgroup/15112/Laboratory+Thermopile.aspx>
<http://www.ophiropt.com/laser-measurement-instruments/laser-power-energy-meters>
Handbook of modern sensor J. Fraden Springer 4^{ième} ed 2010 p 484
http://www.heimanssensor.com/products_singles.php
http://www.heimanssensor.com/products_imaging.php

3.3

Handbook of modern sensors J. Fraden AIP Press/Springer 3^{ième} ed 2004 p 248
<http://i4.cdscdn.com/pdt/4/4/0/1/f/2400440/rw/somfy-detecteur-de-mouvement.jpg>

4.2

<http://www.sfer.org/?DEFINITION-PHOTOVOLTAIQUE>
<http://wdict.net/fr/gallery/effet+photo%C3%A9lectrique/>
 simulation : http://phet.colorado.edu/sims/photoelectric/photoelectric_fr.jar

4.3

http://sales.hamamatsu.com/assets/pdf/catsandguides/PMT_handbook_v3aE.pdf
<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Dynodes.jpg>
http://sales.hamamatsu.com/assets/pdf/parts_R/R928_R955_TPMS1001E07.pdf
 simulations : <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/flash/photomultiplier/> génération d'électrons secondaires et
http://www.vias.org/simulations/simsoft_emultiplier.html effet de la tension (basé sur $\delta = KU$ et $m = \delta^n$
 avec $n=9$ et $K=0.02$ à utiliser avec $U > 60V$ typ)

4.4

http://triyot.com/en/index.php?lang=en&page_id=light-dependent-resistor-LDR
<http://www.datasheets.org.uk/VT935G-datasheet.html>

Handbook of modern sensors J. Fraden AIP Press/Springer 4^{ième} ed 2010 p 266

4.5

http://www.conrad.fr/wcsstore/ConradImages/PRODUITS/1143325_p_g.jpg
<https://dossier.univ-st-etienne.fr/destoucn/www/Enseignements/CM-TD-CaptOpt.pdf> p103
 d'après Hamamatsu handbook ch2 photodiode Si <http://sales.hamamatsu.com/assets/html/ssd/si-photodiode/index.htm>
 d'après http://www5.epfl.ch/webdav/site/polymaths/users/107044/public/PM_08/H7-Energie_solaire.pdf
http://www.conrad.fr/convertisseur_de_lumiere_tension_p_48674_49767_603959_124260
http://www.datasheetcatalog.net/datasheets_pdf/B/P/1/0/BP104.shtml
<http://img-europe.electrocomponents.com/largeimages/R6548570-01.jpg>

DETECTEURS DE LUMIERE	1
1- Diversité des détecteurs de lumière	1
2- Performances des détecteurs de lumière	2
3- Détecteurs thermiques.....	5
4- Détecteurs a effet photoélectriques.....	8