

## TP d'Optoélectronique (4h)

### Caractérisation et conditionnement d'un système optoélectronique

#### Objectifs :

- Réaliser l'étalonnage et la caractérisation d'une source lumineuse (diode électroluminescente, LED).
- Réaliser l'étalonnage d'un capteur optique résistif (photorésistance, LDR).
- Mettre en œuvre un système optoélectronique de mesure (conditionnement de capteur optique).

**Préparation :** Obligatoire.

**Compte rendu :** À remettre à la fin de séance de TP.

#### 1. Avant propos : Rappels de cours

L'**optoélectronique** est la technologie qui allie l'optique et l'électronique. Ce domaine comprend de nombreux composants utilisant la jonction PN. Les diodes électroluminescentes (DEL ou **LED**), photodiodes et photorésistances (Light Dependant Resistor, **LDR**) sont des exemples.

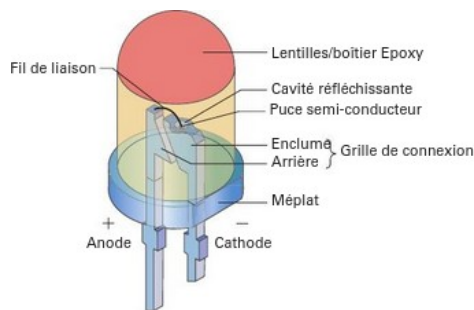


Figure 1. Les parties d'une LED (d'après MALVINO).



Figure 2. Circuit fondamental de polarisation d'une LED (d'après MALVINO).

Les **LED** ont remplacé les lampes incandescentes dans beaucoup d'applications car elles ont une consommation énergétique plus basse, une plus petite taille, une commutation plus rapide et une plus longue durée de vie. La figure 1 présente les différentes parties d'une LED faible puissance standard. Comme une diode ordinaire, la LED a une anode et une cathode à polariser correctement. L'extérieur de l'emballage plastique a typiquement un méplat d'un côté qui indique le côté cathode de la LED. Le matériau utilisé pour la puce semi-conducteur va déterminer les caractéristiques des LED.

La figure 2 montre une source connectée à une résistance et une LED. Les flèches vers l'extérieur symbolisent la lumière irradiée. Dans une LED polarisée en direct, les électrons libres traversent la jonction PN et tombent dans des trous. Comme ces électrons chutent d'une énergie élevée à une plus basse, ils rayonnent de l'énergie sous forme de photons. Dans les diodes ordinaires, cette énergie rayonne sous forme de chaleur. Mais dans une LED, l'énergie rayonne sous forme de lumière. Cet effet est appelé l'**électroluminescence**.

Les caractéristiques de la LED qui sera utilisée dans ce TP sont données en annexe 1.

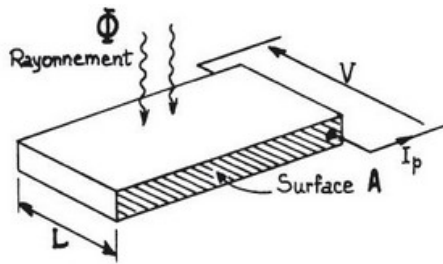


Figure 3. Schéma de principe d'une photorésistance (d'après G. ASCH).

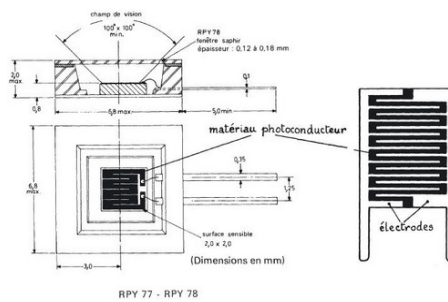


Figure 4. Exemples de réalisation de photorésistances (d'après G. ASCH).

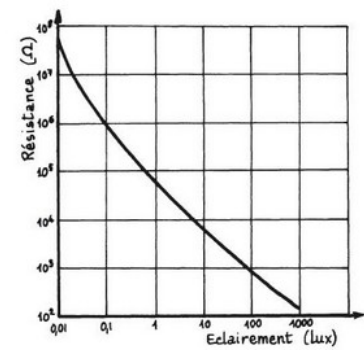


Figure 5. Exemple de caractéristique d'une LDR (d'après G. ASCH).

Une **photorésistance** (LDR) est une résistance dont la valeur varie en fonction du flux lumineux (figure 3). Cette variation résulte d'une fonction de puissance dont les paramètres dépendent du dopage et des dimensions du serpentín (figure 4). La courbe d'étalonnage typique est donnée dans la figure 5.

La valeur de la résistance d'obscurité  $R_{\text{dark}}$  dépend de la forme géométrique, des dimensions, de la température et de la nature physico-chimique du dépôt photoconducteur :

- elle est très élevée ( $10^4$  à  $10^9 \Omega$  à  $25^\circ\text{C}$ ) pour PbS, CdS, CdSe ;
- elle est relativement faible ( $10$  à  $10^3 \Omega$  à  $25^\circ\text{C}$ ) pour SbIn, SbAs, CdHgTe.

La résistance  $R_c$  de la cellule soumise à un rayonnement diminue très rapidement à **éclairement**<sup>1</sup> croissant (figure 5). Les caractéristiques de la LDR qui sera utilisée dans ce TP sont données en annexe 2.

## 2. Préparation (2 points)

### 2.1. Circuit de polarisation de la diode

On s'intéresse à un montage similaire à celui vu en cours d'électronique (S1, S5) pour étudier la polarisation d'une diode. Pour ce montage on dispose d'une source de tension et d'une résistance variable. Rappeler l'expression du courant de polarisation  $I_F$  en fonction des autres paramètres du circuit.

### 2.2. Circuit de conditionnement du capteur

On s'intéresse à un montage potentiométrique similaire à celui vu en cours de physique (S2) pour le conditionnement d'un capteur passif.

- Rappeler l'expression de la tension de mesure  $V_m$  en fonction des autres résistances du circuit de conditionnement.
- Rappeler le développement limité en 0 d'une fonction  $f(x) = (1+x)(2+x)^{-1}$ .

<sup>1</sup>L'unité de l'éclairement est le lux (Lx),  $E [\text{Lx}] = \text{Intensité lumineuse} [\text{cd}] * \text{Angle solide} [\text{sr}] / \text{Surface} [\text{m}^2]$

### 3. Manipulations (24 points)

#### 3.1. Matériel à disposition :

- Alimentation stabilisée
- Multimètre numérique
- Platine d'essai avec bornes d'alimentation
- Luxmètre numérique<sup>2</sup>
- LED Blanche
- Capteur LDR

#### 3.2. Étude du circuit de commande

Pour établir la courbe d'étalonnage, nous allons utiliser un circuit de commande simple. Il est constitué d'une LED blanche en série avec une résistance  $R$ . La branche est alimentée par un générateur de tension contrôlé, comme illustré sur la figure suivante. À ce stade, on négligera l'éclairement ambiant.

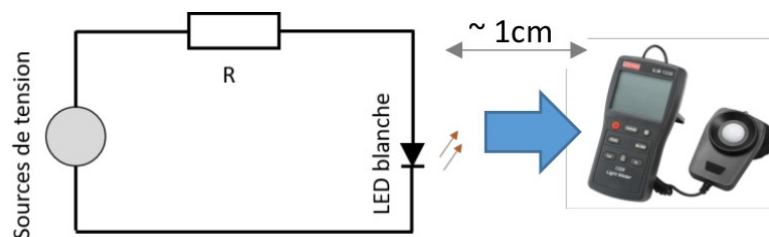


Figure 6. Circuit de commande la LED.

- 3.2.1. Étudier la fiche technique de la LED et en déduire les caractéristiques essentielles.
- 3.2.2. Quelles sont les valeurs limites de l'Intensité lumineuse  $I_v$  [mcd] pour un courant  $I_f = 20$  mA ?
- 3.2.3. Quelle valeur de résistance doit-on choisir pour une alimentation entre 2,8 et 5 volts ?
- 3.2.4. Varier la tension avec un pas  $\Delta v = 0,2$  volts et mesurer l'éclairement  $E$  [Lx] à la sortie du cône.
- 3.2.5. Tracer la courbe caractéristique de la LED. Commenter.

#### 3.3. Étalonnage du capteur

Maintenant que notre source lumineuse est caractérisée, nous pouvons procéder à l'étalonnage de notre capteur. On note qu'il a un temps de réponse d'environ 10 secondes.

- 3.3.1. Étudier la fiche technique de la LDR et en déduire ses caractéristiques essentielles. Donner le type du dépôt photoconducteur pour cette LDR.
- 3.3.2. Mettre la LED et la LDR face à face à l'aide des dispositifs d'adaptation. Pour  $v = 0$ , mesurer la résistance dite d'éclairement sombre du capteur. On note cette valeur  $R_{max}$ .
- 3.3.3. Varier la tension avec  $\Delta v = 0,2$  volts et mesurer la résistance du capteur en utilisant le multimètre numérique. On note la valeur obtenue à l'éclairement maximal par  $R_{min}$ .
- 3.3.4. Tracer la caractéristique de la LDR. En déduire l'expression de  $R_c = f(E)$ . Commenter.

<sup>2</sup>En cas d'indisponibilité d'un luxmètre numérique, vous pouvez utiliser vos téléphones portables et l'application de phyphox pour effectuer des mesures physiques. Voici un lien de téléchargement :

[https://play.google.com/store/apps/details?id=de.rwth\\_aachen.phyphox&hl=fr&gl=US&pli=1](https://play.google.com/store/apps/details?id=de.rwth_aachen.phyphox&hl=fr&gl=US&pli=1)

### 3.4. Conditionnement du capteur par un montage potentiométrique

En effet, nous souhaitons concevoir un dispositif pour la commande d'éclairage intérieur automatisé. Pour cela, il faut mesurer l'éclairement intérieur, c-à-d  $E \in [100, 500]$  Lx à 2 mètres de distance de mesure. Le capteur LDR est représenté par une résistance  $R_c(E) = R_0 + \Delta R(E)$ , où  $R_0$  est la résistance du capteur au repos et  $\Delta R$  les variations de la résistance du capteur pour un éclairement donné. La résistance  $R_0$  est obtenue pour un éclairement  $E_0$  mesuré à  $\sim 4$  cm, de façon à que dans la salle  $E \approx 400$  Lx à  $\sim 2$  m, avec éclairage éteint. La variation de la résistance en fonction du flux incident n'est pas linéaire ; elle peut cependant être linéarisée dans une plage de flux limitée et ainsi on admettra que :

$$\frac{\Delta R}{R_0} = K \frac{\Delta E}{E_0}, \text{ avec } R \text{ en } \Omega, E \text{ en Lx (lux) et } K \text{ une constante.}$$

Le capteur de résistance  $R_c$  est mis en série avec une résistance  $R_1$ . L'ensemble est alimenté par une source de tension de résistance interne  $R_g$ . La tension  $V_m$  est mesurée aux bornes du capteur par un appareil de mesure de résistance d'entrée  $R_d$ . Cet appareil fait alors office de système de traitement de l'information.

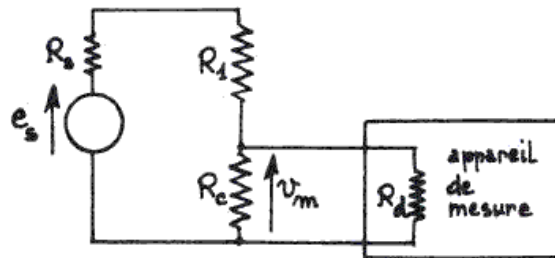


Figure 7. Principe du montage potentiométrique (d'après G. ASCH).

#### Étude théorique du montage

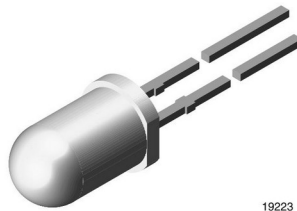
- 3.4.1. Exprimer la tension de mesure  $V_m$  en fonction de  $R_g$ ,  $R_1$ ,  $R_c$ ,  $R_d$  et  $e_g$ .
- 3.4.2. Si la résistance de générateur est faible devant  $R_1$  et  $R_c$ , donner l'expression de la tension de mesure  $V_m$ .
- 3.4.3. La tension aux bornes du capteur est indépendante de l'appareil de mesure à quelle condition pour  $R_d$  ?
- 3.4.4. Donner l'expression de la variation  $\Delta E$  de l'éclairement en fonction de  $E$  et de  $E_0$ .
- 3.4.5. Donner l'expression de la variation  $\Delta R$  de la photorésistance en fonction de  $E$  et de  $R_0$ .
- 3.4.6. Exprimer la tension de mesure  $V_m$  en fonction de  $R_0$ ,  $\Delta R$ ,  $R_1$  et  $e_g$ .
- 3.4.7. On définit  $\Delta V_m = V_m(E) - V_m(E = E_0)$ . Développer cette expression en termes des grandeurs électriques et conclure sur sa linéarité par rapport à  $\Delta R$ . Commenter.
- 3.4.8. Que devient  $\Delta V_m$  si on suppose que  $\Delta R \ll R_1 + R_0$  ? On travaillera par la suite avec ce résultat.
- 3.4.9. On admet  $R_1 = R_0$  de façon à linéariser la mesure autour de  $E_0$ . Que devient  $\Delta V_m$  ?
- 3.4.10. La sensibilité globale  $S$  de l'association capteur + conditionneur est alors donnée par :  $S = \Delta V_m / \Delta E$ . En déduire la sensibilité de mesure  $S$ .

#### Étude expérimentale du montage

- 3.4.11. Calculer la constante  $K$  à partir du coefficient directeur de la courbe  $R_c(E)$  autour de  $E_0$ .
- 3.4.12. Réaliser le montage en choisissant une résistance  $R_1$  adaptée. Expliquer votre choix.
- 3.4.13. Mesurer les tensions limite de  $V_m$ . La source de tension  $e_g$  est imposée à 5 V.
- 3.4.14. Mesurer la caractéristique  $V_m = g(E)$  de la LDR en sachant que la luminosité est contrôlée par la LED.
- 3.4.15. Calculer la sensibilité à partir des données expérimentales et comparez à la théorie.

Annexes : extraits des notices**Annexe 1 : LED Blanche VLH5100**
[www.vishay.com](http://www.vishay.com)
**VLHW5100**

Vishay Semiconductors

**Ultrabright White LED, Ø 5 mm Untinted Non-Diffused Package**

19223

**DESCRIPTION**

The VLHW5100 is a clear, non-diffused 5 mm LED for high end applications where supreme luminous intensity required.

These lamps with clear untinted plastic case utilize the highly developed ultrabright InGaN technologies.

The lens and the viewing angle is optimized to achieve best performance of light output and visibility.

**PRODUCT GROUP AND PACKAGE DATA**

- Product group: LED
- Package: 5 mm
- Product series: standard
- Angle of half intensity:  $\pm 10^\circ$

**FEATURES**

- Untinted non-diffused lens
- Utilizing ultrabright InGaN technology
- High luminous intensity
- Luminous intensity and color categorized for each packing unit
- ESD-withstand voltage: up to 4 kV according to JESD22-A114-B
- Circuit protection by Zener diode
- Material categorization: for definitions of compliance please see [www.vishay.com/doc?99912](http://www.vishay.com/doc?99912)



**RoHS**  
COMPLIANT  
HALOGEN  
**FREE**  
**GREEN**  
(5-2008)

**APPLICATIONS**

- Interior and exterior lighting
- Outdoor LED panels
- Instrumentation and front panel indicators
- Replaces incandescent lamps
- Light guide compatible

**PARTS TABLE**

| PART     | COLOR | LUMINOUS INTENSITY (mcd) |      |        | at I <sub>F</sub> (mA) | COORDINATE (x, y) |            |      | at I <sub>F</sub> (mA) | FORWARD VOLTAGE (V) |      |      | at I <sub>F</sub> (mA) | TECHNOLOGY          |
|----------|-------|--------------------------|------|--------|------------------------|-------------------|------------|------|------------------------|---------------------|------|------|------------------------|---------------------|
|          |       | MIN.                     | TYP. | MAX.   |                        | MIN.              | TYP.       | MAX. |                        | MIN.                | TYP. | MAX. |                        |                     |
| VLHW5100 | White | 5600                     | -    | 11 200 | 20                     | -                 | 0.33, 0.33 | -    | 20                     | 2.8                 | -    | 3.6  | 20                     | InGaN and converter |

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS** (T<sub>amb</sub> = 25 °C, unless otherwise specified)**VLHW5100**

| PARAMETER                              | TEST CONDITION                    | SYMBOL            | VALUE       | UNIT |
|----------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|-------------|------|
| Reverse voltage                        |                                   | V <sub>R</sub>    | 5           | V    |
| DC forward current                     |                                   | I <sub>F</sub>    | 30          | mA   |
| Peak forward current                   | at 1 kHz, t <sub>p</sub> /T = 0.1 | I <sub>FSM</sub>  | 0.1         | A    |
| Power dissipation                      |                                   | P <sub>V</sub>    | 100         | mW   |
| Zener reverse current                  |                                   | I <sub>Z</sub>    | 100         | mA   |
| Junction temperature                   |                                   | T <sub>j</sub>    | 100         | °C   |
| Operating temperature range            |                                   | T <sub>amb</sub>  | -40 to +100 | °C   |
| Storage temperature range              |                                   | T <sub>stg</sub>  | -40 to +100 | °C   |
| Soldering temperature                  | t ≤ 5 s                           | T <sub>sd</sub>   | 260         | °C   |
| Thermal resistance junction-to-ambient |                                   | R <sub>thJA</sub> | 400         | K/W  |


[www.vishay.com](http://www.vishay.com)
**VLHW5100**

Vishay Semiconductors

**OPTICAL AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , unless otherwise specified)  
**WHITE VLHW5100**

| PARAMETER                                  | TEST CONDITION       | PART     | SYMBOL    | MIN. | TYP.     | MAX.   | UNIT          |
|--------------------------------------------|----------------------|----------|-----------|------|----------|--------|---------------|
| Luminous intensity                         | $I_F = 20\text{ mA}$ | VLHW5100 | $I_V$     | 5600 | -        | 11 200 | mcd           |
| Chromaticity coordinate x acc. to CIE 1931 | $I_F = 20\text{ mA}$ |          | x         | -    | 0.33     | -      |               |
| Chromaticity coordinate y acc. to CIE 1931 | $I_F = 20\text{ mA}$ |          | y         | -    | 0.33     | -      |               |
| Angle of half intensity                    | $I_F = 20\text{ mA}$ |          | $\phi$    | -    | $\pm 10$ | -      | $^{\circ}$    |
| Forward voltage                            | $I_F = 20\text{ mA}$ |          | $V_F$     | 2.8  | -        | 3.6    | V             |
| Reverse current                            | $V_R = 5\text{ V}$   |          | $I_R$     | -    | -        | 50     | $\mu\text{A}$ |
| Temperature coefficient of $V_F$           | $I_F = 20\text{ mA}$ |          | $TC_{VF}$ | -    | -4       | -      | mV/K          |
| Temperature coefficient of $I_V$           | $I_F = 20\text{ mA}$ |          | $TC_{IV}$ | -    | -0.5     | -      | % / K         |

**CHROMATICITY COORDINATED CLASSIFICATION**

| GROUP | X      |        | Y                  |                    |
|-------|--------|--------|--------------------|--------------------|
|       | MIN.   | MAX.   | MIN.               | MAX.               |
| 3A    | 0.2900 | 0.3025 | $y = 1.4x - 0.121$ | $y = 1.4x - 0.071$ |
| 3B    | 0.3025 | 0.3150 | $y = 1.4x - 0.121$ | $y = 1.4x - 0.071$ |
| 3C    | 0.2900 | 0.3025 | $y = 1.4x - 0.171$ | $y = 1.4x - 0.121$ |
| 3D    | 0.3025 | 0.3150 | $y = 1.4x - 0.171$ | $y = 1.4x - 0.121$ |
| 4A    | 0.3150 | 0.3275 | $y = 1.4x - 0.121$ | $y = 1.4x - 0.071$ |
| 4B    | 0.3275 | 0.3400 | $y = 1.4x - 0.121$ | $y = 1.4x - 0.071$ |
| 4C    | 0.3150 | 0.3275 | $y = 1.4x - 0.171$ | $y = 1.4x - 0.121$ |
| 4D    | 0.3275 | 0.3400 | $y = 1.4x - 0.171$ | $y = 1.4x - 0.121$ |
| 5A    | 0.3400 | 0.3525 | $y = 1.4x - 0.121$ | $y = 1.4x - 0.071$ |
| 5B    | 0.3525 | 0.3650 | $y = 1.4x - 0.121$ | $y = 1.4x - 0.071$ |
| 5C    | 0.3400 | 0.3525 | $y = 1.4x - 0.171$ | $y = 1.4x - 0.121$ |
| 5D    | 0.3525 | 0.3650 | $y = 1.4x - 0.171$ | $y = 1.4x - 0.121$ |

**Note**

- Chromaticity coordinate groups are tested with a tolerance of  $\pm 0.01$

**LUMINOUS INTENSITY CLASSIFICATION**

| GROUP | LIGHT INTENSITY (mcd) |        |
|-------|-----------------------|--------|
|       | MIN.                  | MAX.   |
| DB    | 5600                  | 7100   |
| EA    | 7100                  | 9000   |
| EB    | 9000                  | 11 200 |

**Note**

- Luminous intensity is tested with an accuracy of  $\pm 11\%$ .  
The above type numbers represent the order groups which include only a few brightness groups. Only one group will be shipped on each reel (there will be no mixing of two groups on each reel). In order to ensure availability, single brightness groups will not be orderable.  
In a similar manner for colors where color groups are measured and binned, single color groups will be shipped on any one reel. In order to ensure availability, single color groups will not be orderable

**FORWARD VOLTAGE CLASSIFICATION**

| GROUP | FORWARD VOLTAGE (V) |      |
|-------|---------------------|------|
|       | MIN.                | MAX. |
| 0     | 2.8                 | 3.0  |
| 1     | 3.0                 | 3.2  |
| 2     | 3.2                 | 3.4  |
| 3     | 3.4                 | 3.6  |

**Note**

- Forward voltage is tested with an accuracy of  $\pm 0.1\text{ V}$

**TYPICAL CHARACTERISTICS** ( $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , unless otherwise specified)

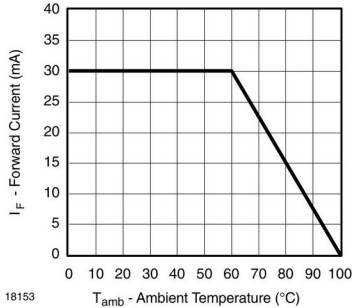


Fig. 1 - Forward Current vs. Ambient Temperature

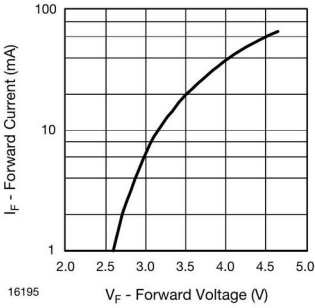


Fig. 4 - Forward Current vs. Forward Voltage

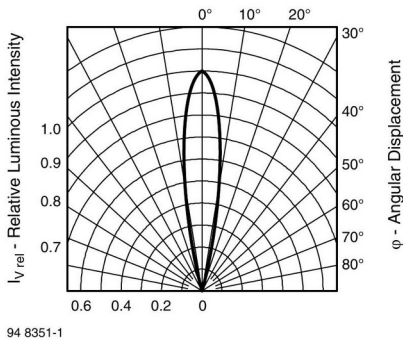


Fig. 2 - Relative Luminous Intensity vs. Angular Displacement

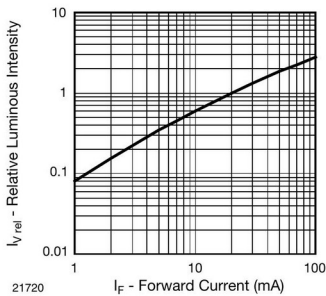


Fig. 5 - Relative Luminous Flux vs. Forward Current

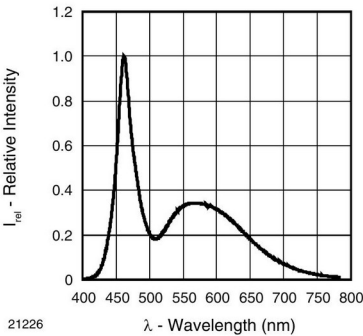


Fig. 3 - Relative Intensity vs. Wavelength

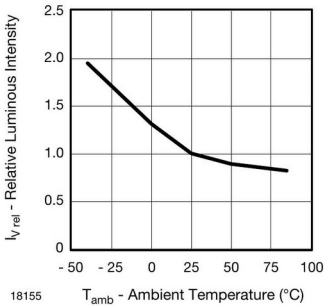
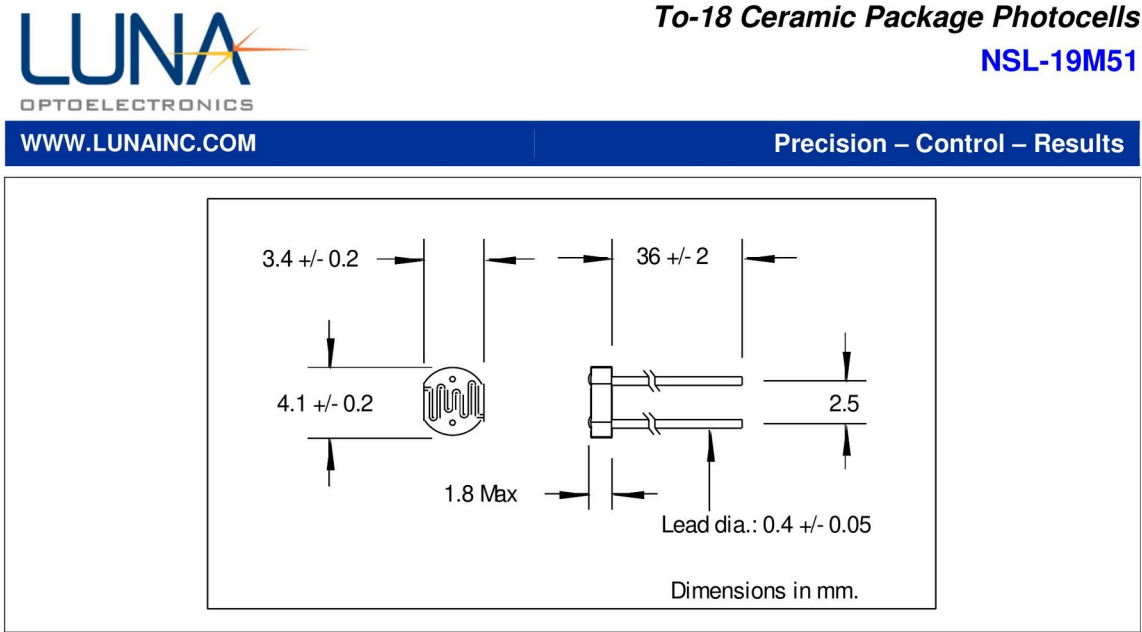


Fig. 6 - Relative Luminous Intensity vs. Ambient Temperature

Annexe 2 : Capteur LDR NSL-19M51



DESCRIPTION

The NSL-19M51 is a light dependent resistor with sensitivity in the visible light region. The CdS photoconductive cell is on a TO-18 ceramic and the photocell surface is plastic encapsulated for moisture resistance.

FEATURES

- Passive resistance output
- Ceramic package

RELIABILITY

Contact Luna for recommendations on specific test conditions and procedures.

APPLICATIONS

- Industrial

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

| SYMBOL                                | MIN |    | MAX  | UNITS | (TA)= 23°C UNLESS OTHERWISE NOTED |
|---------------------------------------|-----|----|------|-------|-----------------------------------|
| Voltage (peak AC or DC)               | -   | -  | 100  | V     | -                                 |
| Power Dissipation @ 25°C <sup>1</sup> | -   | -  | 50   | mW    | -                                 |
| Operation Temperature                 | -60 | to | +75  | °C    | -                                 |
| Storage Temperature                   | -60 | to | +75  | °C    | -                                 |
| Soldering Temperature <sup>2</sup>    | -   | -  | +260 | °C    | -                                 |

NOTES:

1. Derate linearly to 0 at 75°C
2. >0.05" from case for <10 sec.

**To-18 Ceramic Package Photocells****NSL-19M51****WWW.LUNAINC.COM****Precision – Control – Results****OPTO-ELECTRICAL PARAMETERS** $T_a = 23^\circ\text{C}$  unless noted otherwise

| PARAMETER        | TEST CONDITIONS                     | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|------------------|-------------------------------------|-----|-----|-----|-------|
| Light Resistance | 10 lux., 2854°K <sup>3</sup>        | 20  | -   | 100 | KΩ    |
|                  | 100 lux., 2854°K <sup>3</sup>       | -   | 5   | -   |       |
| Dark Resistance  | 10 sec after removal of test light. | 20  | -   | -   | MΩ    |
| Spectral Peak    | -                                   | -   | 550 | -   | nm    |
| Gamma            | 1-10 Lux                            | -   | 0.7 | -   | -     |
| Gamma            | 10-100 Lux                          | -   | 0.7 | -   | -     |

**NOTE:**

3. Cells light adapted at 30 to 50 Ftc for 16 hrs minimum prior to electrical tests.