

## Réalisation d'un luxmètre simple

### EXEMPLES D'UTILISATION D'UN LUXMETRE

Le circuit intégré TFA 1001 W, fabriqué par SIEMENS, permet de réaliser un luxmètre, pour la mesure des éclairagements, avec un prix de revient fort intéressant. Très simple à réaliser, ce luxmètre se trouve étalonné par construction ; il délivre, à sa sortie, un courant proportionnel à l'éclairement qu'il reçoit. Pour son fonctionnement, ce luxmètre demande une pile et un milliampère-mètre ou un contrôleur universel.

Un luxmètre peut rendre de grands services dans un laboratoire de physique et dans un laboratoire photo d'un lycée ou d'un collège.

Avant de décrire la réalisation du luxmètre, il est utile de rappeler quelques notions de photométrie.

#### I. ECLAIREMENT D'UNE SURFACE.

##### 1. Flux énergétique et éclairage énergétique.

Soit une surface (S) exposée à un rayonnement électromagnétique. Un rayonnement transporte de l'énergie. Un élément de surface  $dS$ , pris autour d'un point M de la surface (S) reçoit, sous forme de rayonnement une puissance appelée *flux énergétique*, notée  $dP_e$ , exprimée en watts.

L'éclairement énergétique de (S), autour du point M est :

$$E_e(M) = \frac{dP_e}{dS};$$

$E_e$  s'exprime en watt  $\times$  mètre<sup>-2</sup> (W.m<sup>-2</sup>).

##### 2. Flux lumineux.

Des puissances égales de rayonnement, infrarouge, jaune ou ultraviolet ne produisent pas les mêmes effets sur l'œil. On peut être amené à comparer les effets visuels produits par des rayonnements de compositions spectrales différentes. La courbe de sensibilité spectrale relative de l'œil (fig. 1) montre que la sensibilité de l'œil est maximale pour  $\lambda = 0,555 \mu.m$  en vision diurne.

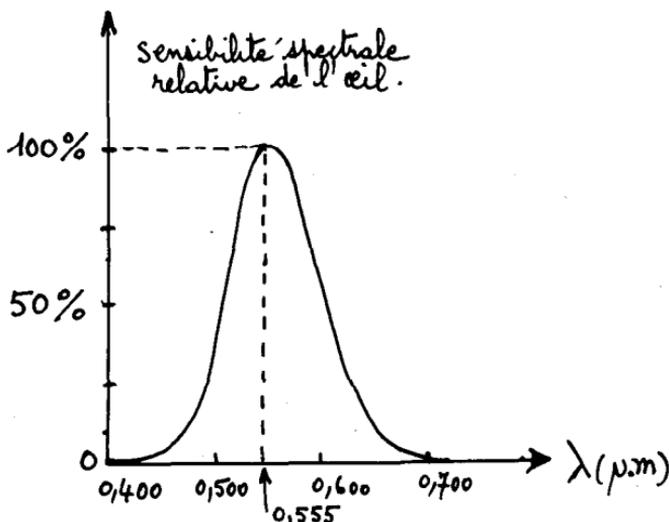


Fig. 1

Si on considère les radiations visibles d'un rayonnement, la puissance qu'elles transportent est appelée puissance lumineuse ou flux lumineux — noté  $P_v$  — ; celui-ci s'exprime en lumens (lm).

Les mesures de photométrie ont permis d'établir la relation entre l'unité de puissance énergétique et l'unité de flux lumineux pour chaque radiation du spectre visible. Par exemple, un rayonnement monochromatique,  $\lambda = 0,555 \mu. m$ , correspondant à la sensibilité spectrale maximale de l'œil, de puissance énergétique  $P_e = 1 W$  correspond à un flux lumineux  $P_v = 680 \text{ lm}$  ; on dit que l'efficacité lumineuse de la radiation  $\lambda = 0,555 \mu. m$  est de  $680 \text{ lm.W}^{-1}$  ; cette valeur est valable en vision diurne, c'est-à-dire lorsque la luminance visuelle du faisceau lumineux qui frappe l'œil est  $L > 10 \text{ lm.m}^{-2}$ .

L'efficacité lumineuse des autres radiations visibles est inférieure à  $680 \text{ lm.W}^{-1}$ , évidemment.

En vision nocturne, c'est-à-dire lorsque la luminance du faisceau est  $L < 10^{-2} \text{ lm.m}^{-2}$ , l'efficacité lumineuse maximale est obtenue avec la radiation  $\lambda = 0,510 \mu. m$ , et a pour valeur  $1700 \text{ lm.W}^{-1}$  environ.

L'efficacité lumineuse du rayonnement solaire varie, mais reste voisine de  $100 \text{ lm.W}^{-1}$ .

Une lampe à filament de tungstène, alimentée sous 220 V, qui reçoit une puissance électrique de 100 W, rayonne une puissance énergétique  $P_e = 70 W$  environ, sous forme d'un rayonne-

ment électromagnétique ; le flux lumineux émis par cette lampe est de 1 400 lm environ. L'efficacité lumineuse globale du rayonnement de cette lampe est :

$$\frac{1\,400}{70} = 20 \text{ lm. W}^{-1}.$$

Un tube fluorescent, de longueur 120 cm, qui reçoit une puissance électrique de 40 W, rayonne un flux lumineux de 2 100 lm environ ; l'efficacité lumineuse du rayonnement émis par les tubes fluorescents est de l'ordre de 60 lm.W<sup>-1</sup>. L'efficacité lumineuse d'un rayonnement dépend de sa répartition énergétique spectrale ; l'efficacité lumineuse du rayonnement d'une lampe à incandescence est assez faible parce qu'une grande partie de l'énergie rayonnée se trouve sous forme de radiations infrarouges. La plupart des radiations émises par un tube fluorescent

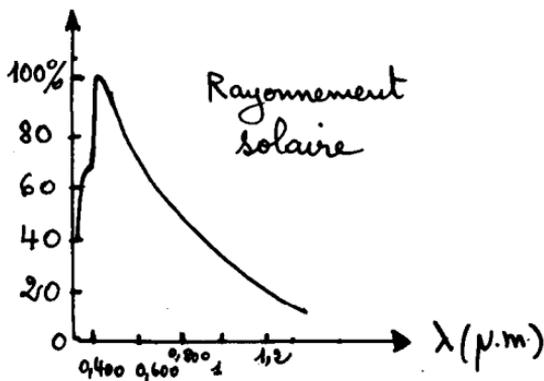


Fig. 2

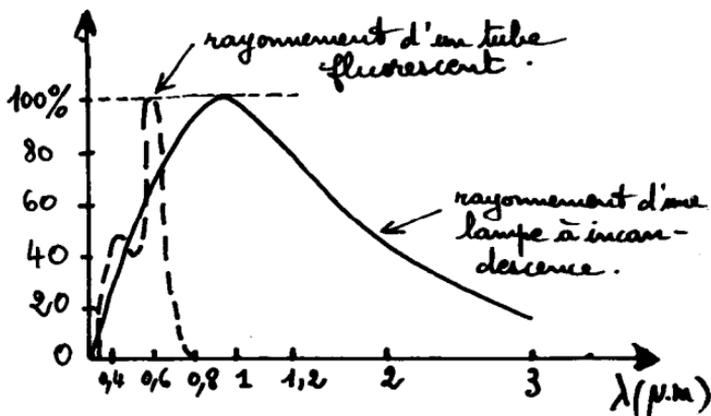


Fig. 3

étant visibles, l'efficacité du rayonnement de cette source est environ 3 fois celle d'une lampe à incandescence ordinaire.

Les figures 2 et 3 montrent les répartitions énergétiques spectrales, relatives, des rayonnements émis par le soleil (hors atmosphère), une lampe à incandescence et un tube fluorescent.

### 3. Eclairage lumineux.

Un élément de surface  $dS$ , pris autour du point  $M$ , reçoit un flux lumineux  $dP_v$ ; l'éclairage lumineux, en  $M$ , est par définition :

$$E_v(M) = \frac{dP_v}{dS};$$

il s'exprime en lux.

On a l'équivalence : 1 lux = 1 lm.m<sup>-2</sup>.

Un éclairage lumineux se mesure avec un luxmètre.

Ordre de grandeur de quelques éclairagements :

- surface orientée perpendiculairement aux rayons solaires :  $E_v$  peut atteindre 10<sup>5</sup> lux en été (ciel bleu);
- à l'intérieur d'une pièce d'habitation ou de travail :  $E_v$  varie de 50 à 400 lux;
- surface éclairée par la pleine Lune :  $E_v \approx 0,2$  lux.

## II. LE LUXMETRE : SCHEMA DE PRINCIPE ET CARACTERISTIQUES.

Réalisé avec le C.I. TFA 1001 W, la construction du luxmètre ne pose aucun problème parce que ce C.I. est étalonné par le fabricant. Le TFA 1001 W mesure l'éclairage reçu par sa surface sensible dont l'aire est de l'ordre du mm<sup>2</sup>.

Les éclairagements mesurables sont compris entre 0,5 lux et 5 000 lux.

La figure 4 indique le brochage du TFA 1001 W;

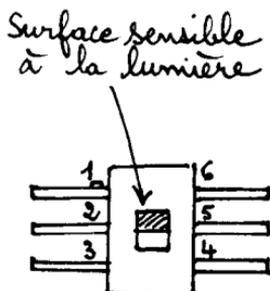


Fig. 4

dimensions du boîtier :  $4 \times 4$  mm environ,  
 masse du C.I. : 0,1 g,  
 longueur des broches : 6,5 mm environ.

La figure 5 donne la structure interne du TFA 1001 W :

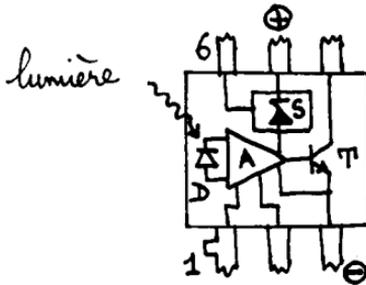


Fig. 5

D : photodiode,  
 S : source de tension stabilisée,  
 T : transistor de sortie,  
 A : amplificateur opérationnel.

Le capteur du C.I. est une photodiode D qui transforme l'intensité de l'éclairement qu'elle reçoit en une tension selon une relation exponentielle. L'amplificateur A amplifie cette tension et la rend proportionnelle à l'éclairement.

La consommation du C.I. est de 1 mA lorsqu'il reçoit un éclairement nul, et de 25 mA environ pour un éclairement de 5 000 lux.

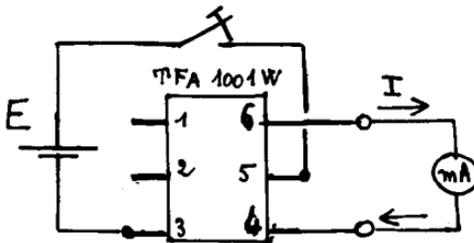


Fig. 6

Le schéma du circuit électrique du luxmètre est représenté sur la figure 6. Le courant sort par la borne 6 du C.I., traverse le milliampèremètre et rentre par la borne 4.

La tension d'alimentation  $E$  du circuit doit être comprise entre 2,5 V et 15 V ; elle est appliquée entre les bornes 3 et 5 du C.I.

La courbe de sensibilité spectrale relative du C.I. (fig. 7) montre que cette sensibilité se prolonge un peu dans le domaine infrarouge.

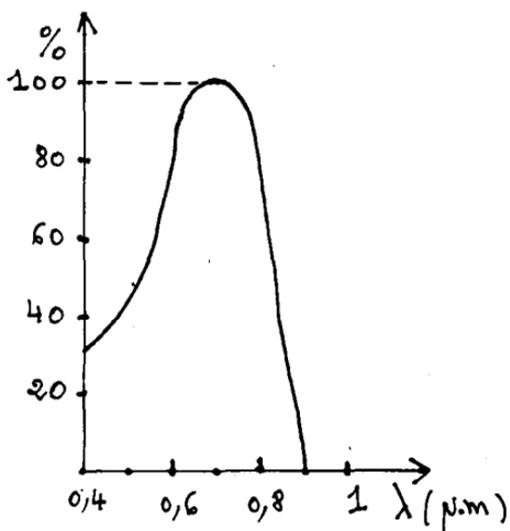


Fig. 7

La figure 8 est une reproduction de la courbe d'étalonnage du C.I. donnée par le fabricant (échelles logarithmiques).

On remarque la parfaite linéarité de la réponse en courant du luxmètre pour des éclairagements lumineux compris entre 0,5 lux et 5 000 lux.

Dans cette plage des éclairagements, la sensibilité du luxmètre est de  $5 \mu\text{A} \cdot \text{lux}^{-1}$ . Par conséquent, la formule qui permet d'obtenir la valeur de l'éclairage mesuré par le luxmètre, à partir de l'intensité du courant indiquée par le milliampèremètre est :

$$E_v (\text{lux}) = 200 \times I (\text{mA}) \quad \text{avec} \quad 0,5 \text{ lux} < E_v < 5\,000 \text{ lux}.$$

Pour des éclairagements supérieurs à 5 000 lux, il peut y avoir destruction du TFA 1001 W.

#### Mesure des éclairagements supérieurs à 5 000 lux.

Il faut placer devant la surface sensible du TFA 1001 W un filtre neutre (exemple Kodak Wratten n° 96) dont le facteur de

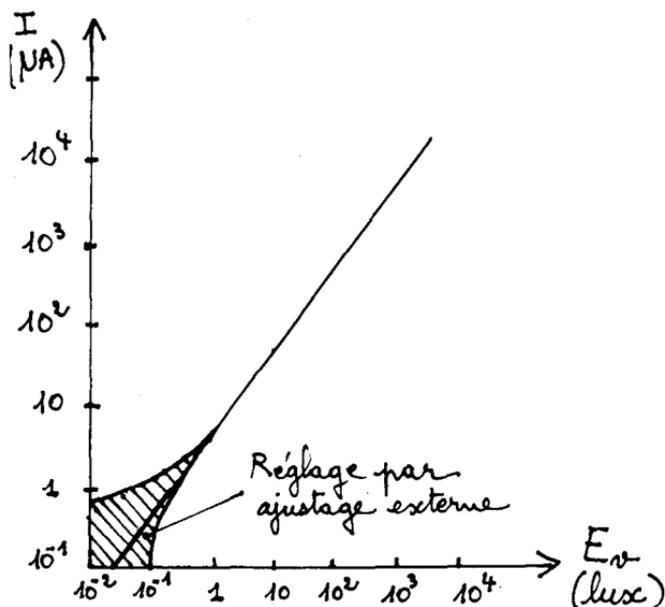


Fig. 8

transmission  $T$  est le même pour toutes les radiations ; il ne modifie donc pas la courbe de sensibilité spectrale relative du C.I. Avec un filtre neutre dont le facteur de transmission est  $T = 10\%$ , on peut mesurer des éclaircissements de valeur maximale 50 000 lux. Avec un filtre tel que  $T = 1\%$ , des éclaircissements de  $5 \times 10^5$  lux sont mesurables avec ce luxmètre. Lorsque ces filtres sont employés, il faut vérifier que c'est bien la partie rectiligne de la courbe d'étalonnage qui est utilisée ; l'éclaircissement que reçoit effectivement le C.I. doit être supérieur à 0,5 lux, ce qui correspond à  $I > 2,5 \mu\text{A}$ .

A l'extérieur, par temps ensoleillé, un filtre neutre est souvent nécessaire pour atténuer la lumière.

#### Mesure des éclaircissements très faibles, jusqu'à 0,01 lux.

La réponse du C.I. n'est plus linéaire. Pour rendre la caractéristique linéaire, il faut réaliser le circuit du luxmètre comme l'indique la figure 9. Il y a un réglage à faire : agir sur le potentiomètre  $R_1$  pour donner au courant d'obscurité la valeur de 5 nA environ :

$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega \quad R_2 = 10 \text{ M}\Omega.$$

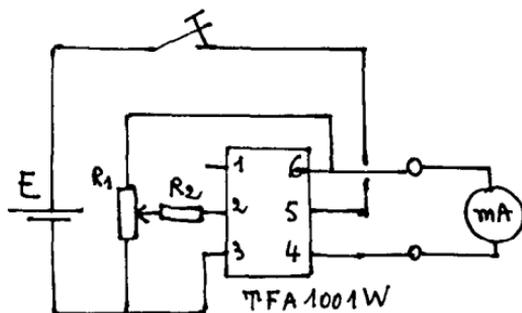


Fig. 9

### III. REALISATION PRATIQUE.

Les broches du C.I. peuvent être soudées sur une plaquette avec bandes cuivrées au pas de 2,54 mm, type Veroboard par exemple. La plaquette portant le C.I. peut être fixée à l'intérieur d'un boîtier, en plastique ou aluminium, pouvant accepter une pile 9 V miniature, un interrupteur miniature et 2 bornes pour branchement du milliampèremètre. Le boîtier comportera une fenêtre d'environ  $2 \times 2$  cm, au centre de laquelle se trouvera la surface sensible du C.I. La fenêtre sera fermée avec une lame de verre (ou de plexiglas) dont le facteur de transmission doit être connu et voisin de 100 % ; sans lame de verre, des poussières peuvent se déposer sur la surface sensible du C.I., dont l'aire est de l'ordre du  $\text{mm}^2$ , et entraîner des erreurs de mesure.

### IV. EXPERIENCES AVEC UTILISATION D'UN LUXMETRE.

Seule, la comparaison des éclairagements lumineux produits par deux rayonnements de même répartition énergétique spectrale (et relative) est possible, en toute rigueur.

#### 1. Expérience avec 2 lampes à incandescence.

Soit 2 lampes à filaments de tungstène, de mêmes caractéristiques géométriques, alimentées sous 220 V. Leurs filaments sont à peu près à la même température et émettent, par conséquent, des rayonnements de même répartition énergétique spectrale. Ces lampes éclairent successivement une même surface, placée à une distance constante ;  $I_1$  et  $I_2$  étant les courants émis par le luxmètre, le rapport des éclairagements  $E_{v1}$  et  $E_{v2}$  dus aux 2 lampes

$$\text{est : } \frac{E_{v1}}{E_{v2}} = \frac{I_1}{I_2}.$$

Comme les lampes ont la même « géométrie », on peut déterminer le rapport des flux lumineux qu'elles rayonnent :

$$\frac{P_{v1}}{P_{v2}} = \frac{E_{v1}}{E_{v2}} = \frac{I_1}{I_2}.$$

Les deux rayonnements ayant la même composition spectrale relative, le rapport des flux énergétiques est :

$$\frac{P_{e1}}{P_{e2}} = \frac{P_{v1}}{P_{v2}} = \frac{I_1}{I_2}.$$

Ensuite, on peut comparer le rapport  $\frac{P_1}{P_2}$  des puissances électriques, reçues par les 2 lampes, au rapport  $\frac{P_{e1}}{P_{e2}}$ .

2. **Etude de la variation de l'éclairage** produit sur un écran par une source lumineuse lorsqu'on fait varier la distance  $d$

entre la source et l'écran. La loi de variation est en  $\frac{1}{d^2}$ . Cette

expérience est décrite dans le B.U.P. n° 565, p. 931 par V. ORSINI et M. CARON dans l'article intitulé « Utilisation des diodes en photométrie ».

### 3. Détermination des caractéristiques d'un filtre neutre.

Ce sont :

— le facteur de transmission :  $T = \frac{\text{flux lumineux transmis}}{\text{flux lumineux reçu}}$ ,

— le coefficient du filtre :  $\frac{1}{T}$ ,

— la densité du filtre :  $D = -\log_{10} T$ .

Ces caractéristiques peuvent être utiles au photographe. Elles permettent, en outre, de vérifier ou d'identifier un filtre neutre.

Considérons le filtre neutre Vivitar ND6 destiné à atténuer la lumière qui pénètre dans l'objectif d'un appareil photo. Les résultats des mesures permettront de comprendre la signification du nombre 6 marqué sur la monture métallique de ce filtre. La mesure de  $T$  se fait en 2 temps ; le luxmètre est d'abord orienté vers une source de lumière ; l'aiguille du milliampèremètre indique :  $I_1 = 1,2$  mA. Le filtre est ensuite placé devant la fenêtre du luxmètre ; on lit :  $I_2 = 0,20$  mA.

On a :

$$T = \frac{E_{v2}}{E_{v1}} = \frac{I_2}{I_1} = 0,167 = 16,7 \%$$

Coefficient du filtre :

$$\frac{1}{T} \simeq 0,599 \simeq 6.$$

Par conséquent, le nombre 6 marqué sur la monture correspond au coefficient du filtre.

La densité est :  $D = -\log_{10} 0,167 \simeq 0,778$ .

La détermination de T et D est faite avec une excellente précision ; la méthode de mesure est équivalente à une double pesée.

#### 4. Vérification de la courbe d'étalonnage du luxmètre.

Elle est possible si on dispose d'un ensemble de filtres neutres de densités connues. Il suffit d'employer la méthode précédente ;  $I_0$  étant l'intensité du courant fourni par le luxmètre lorsqu'il est soumis à un éclairage  $E_0$  et I l'intensité lorsqu'on place

un filtre de densité D devant le luxmètre :  $T = \frac{I}{I_0}$ ,

$$D = -\log T = -\log \frac{I}{I_0} = \log I_0 - \log I.$$

La vérification de la courbe d'étalonnage revient à vérifier que la densité D est une fonction affine de  $\log I$ . Cette manipulation donne d'excellents résultats lorsqu'on utilise les filtres neutres de la « charte de tirage noir et blanc Kodak » ; elle se présente sous la forme d'un disque divisé en 10 secteurs dont les densités sont respectivement :

0,10 — 0,28 — 0,40 — 0,57 — 0,70 — 0,89 — 1,00 — 1,15 — 1,30 et 1,52, la plus grande densité correspondant au secteur le plus foncé.

#### 5. Etude de la caractéristique d'une cellule solaire (photopile).

Le courant émis par une cellule solaire dépend de l'éclairage reçu par cette cellule. Pour tracer le réseau de caractéristiques d'une cellule solaire, correspondant à différents éclairages, un luxmètre est indispensable. Il est intéressant de faire déterminer, par les élèves, le point de fonctionnement d'une cellule solaire, pour un éclairage donné, qui correspond à la puissance électrique maximale émise par la cellule.

6. **Expériences en lumière monochromatique** avec des filtres appropriés placés devant le luxmètre. Par exemple, étude de l'absorption d'une radiation monochromatique par une substance transparente (solution de  $\text{CuSO}_4$  par exemple); détermination de la densité optique.  $D = -\log T$  de cette substance pour différentes radiations.

## V. CONCLUSION.

L'utilisation des C.I. dans les circuits électroniques permet de réduire à la fois l'encombrement et la complexité des montages sans renoncer pour autant aux performances. Le prix de revient de ce luxmètre est inférieur à 100 F.

On peut acheter les composants SIEMENS chez EREL, 66-68, rue de la Folie-Regnault, 75011 Paris (vente par correspondance). Le TFA 1001 W coûte environ 47 F T.T.C.

René ALLARD,  
(Lycée David-d'Angers - Angers).

---

## BIBLIOGRAPHIE

Jean TERRIEN et François DESVIGNES. — *La photométrie* (P.U.F. « Que sais-je ? »).

DOCUMENTATION SIEMENS. — *Le C.I. TFA 1001 W*.

LA BROCHURE. — *Filtres Kodak pour usages scientifiques et techniques*.

LA REVUE. — « *Radio-Plans* » - août 1980.

---