

## Quantité de lumière entrant dans un appareil photographique

par René ALLARD  
Lycée H. Bergson, 49000 Angers

Les expériences décrites permettent de déterminer la valeur de l'éclairement du film dans un appareil photographique et de la quantité de lumière qui traverse l'objectif.

Le but de la manipulation est de vérifier si les valeurs expérimentales de l'éclairement et de la quantité de lumière forment bien deux progressions géométriques comme les valeurs des nombres d'ouverture et des temps de pose gravées sur l'objectif.

Les connaissances en électronique acquises par les élèves de Terminale C leur permettent d'analyser le fonctionnement des montages simples réalisés autour d'un amplificateur opérationnel et d'une photodiode. En classe de Première A et B les expériences peuvent être faites lors de l'étude du thème sur la photographie.

### 1. LE MONTAGE

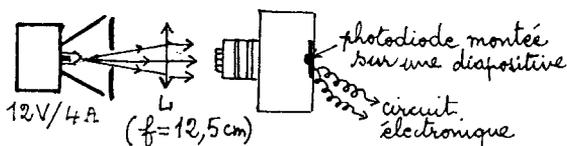


Figure 1

L'appareil photo. reçoit un faisceau de lumière émis par le filament d'une ampoule à halogène (12 V / 50 W) placé au foyer d'une lentille convergente (L). Le capteur de lumière est une photodiode (BP 104), montée au centre d'une diapositive noire que l'on fixe - avec un ruban adhésif double face - dans l'appareil photo, à la place du film.

L'objectif étant mis au point sur l'infini, l'image du filament se forme sur la photodiode.

L'ensemble, ampoule, lentille, appareil photo. est fixé sur un support en bois.

Appareil photo : PRAKTICA Objectif DOMIPLAN 2,8/50.

## 2. VÉRIFICATION DE L'ÉCHELLE DES TEMPS DE POSE.

Il s'agit de mesurer les quantités de lumière qui entrent dans l'appareil photo. pendant des durées variables  $\tau$  (temps de pose), l'ouverture du diaphragme étant maintenue constante.

### 2.1. Montage intégrateur de lumière

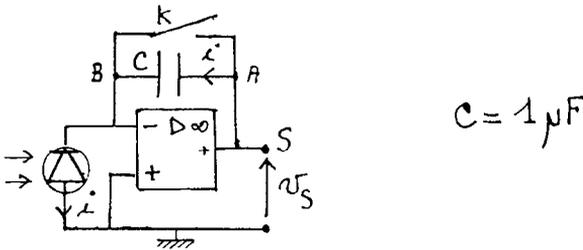


Figure 2

Dans ce montage, la tension aux bornes de la photodiode étant pratiquement nulle, celle-ci débite un courant d'intensité  $i$  proportionnelle à la puissance lumineuse  $P$  reçue ;  $i = \sigma P$ ,  $\sigma$  étant une constante caractéristique de la photodiode. Ce courant  $i$  charge le condensateur

(C) ; la tension finale de charge sera  $U_{AB} = \frac{1}{C} \int_0^{\tau} i dt$ ,  $\tau$  étant le temps

de pose. La quantité de lumière, ou énergie lumineuse, qui pénètre dans l'appareil est  $W = \int_0^{\tau} P dt$ . La tension à la sortie de l'intégrateur est

donc :  $v_s = \frac{\sigma}{C} W$ . Posons  $\alpha = \frac{\sigma}{C}$ . Alors on a  $v_s = \alpha W$ .

A la sortie de l'intégrateur la tension est donc proportionnelle à la

quantité de lumière qui entre dans l'appareil photo. La remise à zéro de l'intégrateur se fait à l'aide de l'interrupteur K.

## 2.2. Les résultats

Tout d'abord répétons plusieurs fois la mesure de la quantité de lumière  $W$  en conservant le même temps de pose et la même ouverture.

Tension d'alimentation de l'ampoule : 4V.

$N = 5,6$		$\tau = \frac{1}{60} \text{ s}$	
$v_s$	0,770 - 0,752 - 0,732 - 0,772 - 0,835	$(v)$	0,769 - 0,813 - 0,863 - 0,762 - 0,795
$v_s \text{ moyen} : 0,786 \text{ V}$			

Figure 3

Cette série de valeurs de  $v_s$  montre que la quantité de lumière qui impressionne le film lorsqu'on prend plusieurs photos du même sujet avec le même temps de pose et la même ouverture n'est pas rigoureusement constante ; ses variations sont dues à l'obturateur dont la vitesse n'est pas tout à fait constante pour un même réglage.

La série de mesures suivantes (Figure 4) indique, comment varie la quantité de lumière lorsque le temps de pose  $\tau$  varie. Le rapport de 2 valeurs successives de  $v_s$  a été calculé. Tension d'alimentation de l'ampoule : 4V.

Nombre d'ouverture :  $N = 5,6$ .

$\tau (\text{s})$	$\frac{1}{500}$	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{125}$	$\frac{1}{60}$	$\frac{1}{30}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{8}$
$v_s (\text{V})$	0,10	0,154	0,435	0,787	1,43	3,09	6,12
rapport de deux valeurs successives de $v_s$	0,65	0,354	0,553	0,550	0,463	0,505	

Figure 4

On remarque que les valeurs normalisées des temps de pose

diminuant de moitié d'une valeur à la valeur juste inférieure, la quantité de lumière ne diminue pas exactement de moitié. Les valeurs réelles des temps de pose sont différentes de celles gravées sur l'objectif. Ces résultats doivent cependant être considérés comme normaux ; en effet, la tolérance de fabrication pour les meilleures marques d'obturateurs était de l'ordre de  $\pm 20\%$  il y a une quinzaine d'années.

### 3. VÉRIFICATION DE L'ÉCHELLE DES NOMBRES D'OUVERTURE

#### 3.1. Éclairement du film sensible

Un élément de surface du film,  $dS$ , de centre  $M$ , reçoit une puissance lumineuse  $dP$ . L'éclairement du film, au point  $M$ , est :

$$E = \frac{dP}{dS}. \text{ N étant le nombre d'ouverture de l'objectif, on démontre que}$$

$$E = \frac{k}{N^2}, \text{ k étant une constante.}$$

Les montages suivants délivrent une tension  $v_s$  proportionnelle à l'éclairement moyen  $E$  de la photodiode.

#### 3.2. Montage n° 1 (Figure 5)

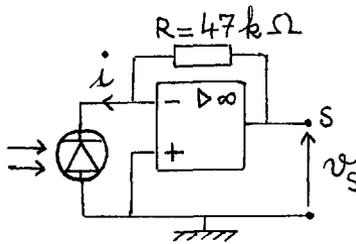


Figure 5

Ce montage est un convertisseur courant-tension qui délivre une tension  $v_s = Ri$  proportionnelle à l'intensité  $i$  débitée par la photodiode ; on peut écrire les relations :  $i = \sigma P$ ,  $P = SE$ , et en déduire l'expression de  $v_s$  ;  $v_s = \sigma RSE$ . Cette dernière relation montre que  $v_s$  est l'image de l'éclairement  $E$ .

Les résultats des mesures ainsi que les valeurs de deux valeurs

successives de  $v_s$  sont présentés dans le tableau de la figure 6 ; la tension d'alimentation de l'ampoule est 4V et l'obturateur est maintenu ouvert (pose B) à l'aide d'un déclencheur muni d'une vis de blocage.

N	2,8	4	5,6	8	11	16	22
$v_s(V)$	9,01	4,86	2,41	1,20	0,625	0,375	0,233
rapport de deux valeurs successives de $v_s$ .	0,539	0,496	0,498	0,521	0,600	0,621	

Figure 6

Selon la formule  $E = \frac{k}{N^2}$ , l'éclairement est multiplié par 0,5 lorsque le nombre d'ouverture N passe d'une valeur normalisée à une autre valeur normalisée immédiatement supérieure.

Les mesures montrent pour cet appareil - et pour d'autres appareils - que les valeurs successives de l'éclairement ne suivent pas exactement une progression géométrique de raison 0,5. La formule  $E = \frac{k}{N^2}$  est moins bien vérifiée pour les grandes valeurs de N, en général.

### 3.3. Montage n° 2 (Figure 7)

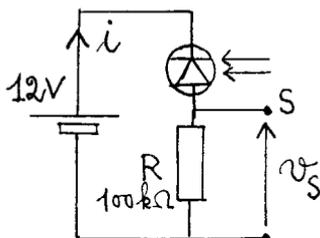


Figure 7

Dans ce montage, la photodiode, polarisée en inverse, permet la circulation d'un courant d'intensité  $i$  lorsqu'elle reçoit un éclairement  $E$ . On peut écrire, comme précédemment, les relations  $i = \sigma P$  et  $P = SE$ , et en déduire  $v_s = \sigma RSE$ . Les valeurs de  $v_s$  rassemblées dans le tableau

de la figure 8 indiquent comment varie l'éclairement en fonction du nombre d'ouverture.

N	2,8	4	5,6	8	11	16	22
$V_S$ (V)	11,0	6,03	3,01	1,50	0,778	0,470	0,290
rapport de deux valeurs successives de $V_S$ .	0,55	0,499	0,500	0,518	0,600	0,617	

Figure 8

Ces résultats montrent que les valeurs réelles de l'éclairement croissent suivant une progression identique à celle mise en évidence avec le montage n° 1.

#### 4. CHOIX DU TEMPS DE POSE ET DU NOMBRE D'OUVERTURE

Les temps de pose les plus utilisés étant  $\frac{1}{60}$  s et  $\frac{1}{125}$  s, considérons les 2 couples de valeurs normalisées ( $\tau = \frac{1}{60}$  s,  $N = 11$ ) et ( $\tau = \frac{1}{125}$  s,  $N = 8$ ) et comparons les quantités de lumière correspondantes, en utilisant le montage intégrateur (Figure 2).

$\tau = \frac{1}{60}$ s $N = 11$	
$V_S$ (V)	0,202 - 0,213 - 0,186 - 0,178 - 0,192 - 0,197
$V_S$ moyen : 0,195 V	
$\tau = \frac{1}{125}$ s $N = 8$	
$V_S$ (V)	0,182 - 0,210 - 0,186 - 0,184 - 0,192 - 0,200
$V_S$ moyen : 0,192 V	

Figure 9

Nous pouvons considérer que les quantités de lumière obtenues avec ces deux couples ( $\tau$ ,  $N$ ) sont pratiquement identiques lorsque l'on compare leurs valeurs moyennes.

## 5. CONCLUSION

Les films peuvent accepter une surexposition ou une sous-exposition assez importante : les tolérances actuelles sont à peu près du simple au double pour les films «couleur» et un peu plus pour les films «noir et blanc». De ce fait, les appareils photos dont les temps de pose et les nombres d'ouverture ne sont pas connus avec précision, permettent néanmoins d'obtenir des photographies exploitables.