

Stroboscopie et persistance rétinienne

par Jean-Louis DELACOURT
Collège Desrousseaux - 59280 Armentières

Le nouveau programme d'optique de quatrième accorde une large place aux effets perceptifs et fait intervenir l'œil comme détecteur de lumière. Afin d'illustrer cette notion, je propose la construction d'un stroboscope simple à partir de composants peu onéreux. Un boîtier en polystyrène choc protège le montage.

1. LA PERSISTANCE RÉTINIENNE

Le cinéma, la télévision ou la stroboscopie utilisent la persistance rétinienne. L'œil ne peut distinguer deux images successives si elles apparaissent à plus de 16 à 18 par seconde. Il suffit d'observer une tache noire sur un disque blanc qui tourne. Si on éclaire ce disque à intervalles de temps réguliers, la tache semblera immobile ou tourner dans le sens réel ou inverse du mouvement. Lorsque la fréquence des éclairs augmente, l'œil aura l'illusion de voir plusieurs taches immobiles. Nous sommes passés d'un mouvement continu à une sensation visuelle de mouvement discontinu.

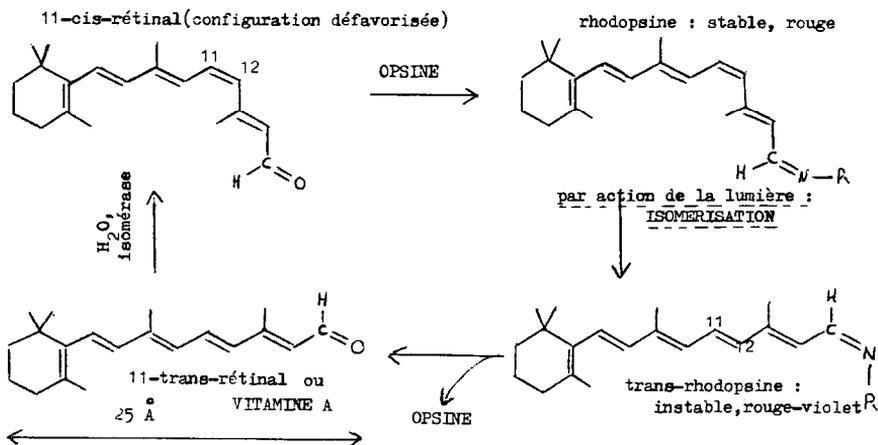
Dans le cas du cinéma, c'est la succession de 24 images par seconde qui donne l'illusion d'un mouvement continu. On obtient une sensation de mouvement continu à partir d'un phénomène discontinu. Autrefois, le cinéma muet se faisait à 16 images par seconde.

L'impression de mouvement ne s'explique pas uniquement par la persistance rétinienne. Le cerveau joue un rôle primordial dans la perception visuelle. Les illusions d'optique le mettent en évidence et une visite à la Cité des Sciences et de l'Industrie est à ce sujet instructive.

Quel est le mécanisme simplifié de l'impression rétinienne ?

Au niveau de la rétine, il y a excitation du pourpre rétinien sensible à la lumière : la RHODOPSINE. Celle-ci subit une isomérisation de

type cis-trans lorsqu'elle reçoit de la lumière. La rhodopsine, qui est l'un des trois «pigments» présents dans l'œil humain, est produite par action du 11-cis-rétinal sur une protéine de masse molaire très élevée, l'opsine ($40\ 000$ à $60\ 000\text{ g.mol}^{-1}$) dans les cellules en bâtonnets. Cette isomérisation, qui est un changement de configuration se produit en 10^{-12} s. Elle entraîne la rupture de liaison entre le rétinol et l'opsine. Une cascade de transformations enzymatiques se produit alors en 10^{-4} s environ. Ce phénomène est à l'origine de l'influx nerveux transmis au cerveau par le nerf optique. Les cellules en bâtonnets ne permettent qu'une vision en noir et blanc mais ont une très grande sensibilité.



La sensibilité des cônes aux couleurs est due à une meilleure sélectivité de l'absorption lumineuse, dont est responsable un environnement protéique différent du rétinol. Mais le processus est pratiquement identique.

2. LE STROBOSCOPE

2.1. Principe (figure 1 et 1 bis)

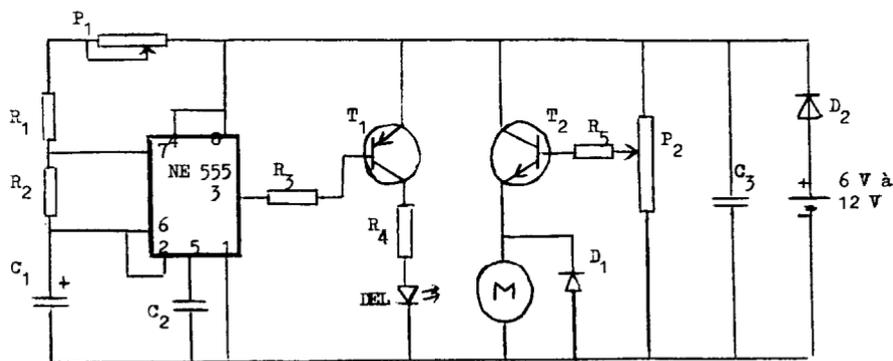


Figure 1

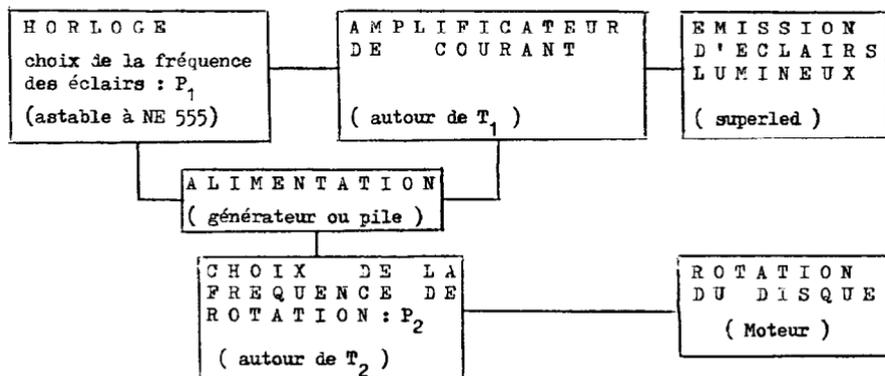


Figure 1 bis

Liste des composants :

- $R_1 = 330 \Omega$ (orange, orange, marron) 1/4 W ;
- $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ (marron, noir, rouge) 1/4 W ;
- $R_3 = 4,7 \text{ k}\Omega$ (jaune, violet, rouge) 1/4 W ;
- $R_4 = 22 \Omega$ (rouge, rouge, noir) 1 W ;
- $R_5 = 1 \text{ k}\Omega$ (marron, noir, rouge) 1/4 W ;
- $C_1 = 1 \mu\text{F}/63 \text{ V}$ radial ;
- $C_2 = 10 \text{ nF}$ (LCC) ;
- $C_3 = 330 \text{ nF}$ (LCC) ;

- $T_1 = 2N\ 2905$;
- $T_2 = 2N\ 1711$;
- CI = NE 555 ;
- $P_1 = 470\ k\Omega$ linéaire ;
- $P_2 = 10\ k\Omega$ linéaire ;
- $D_1 = D_2 = 1N\ 4002$.
- Diode électroluminescente : soit la TLRA130 (fournisseur 2) : 10,20 F TTC.
soit la TLRA180AP (fournisseur 1) : 5,20 F TTC.

Accessoires

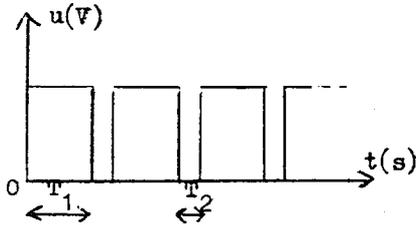
- 2 douilles châssis isolées $\varnothing 4\ mm$ (1 rouge et 1 noire) ;
- 2 douilles non isolées $\varnothing 4\ mm$;
- 1 support de CI 8 broches, éventuellement 2 supports de transistors ;
- 1 enjoliveur de DEL 5 mm chromé + clip ;
- 6 cosses poignard à souder - 4 cosses rondes $\varnothing 6,1\ mm$;
- 4 vis à bois $\varnothing 2$ ou $3\ mm$;
- Fils électriques, 2 boutons pour axes de 6 mm des potentiomètres.

Adresses fournisseurs

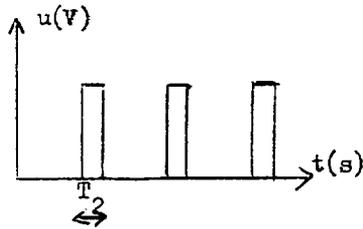
- Fournisseur 1 :
Électronique diffusion
15, rue de Rome - 59100 ROUBAIX - Tél. : 20.70.23.42.
234, rue des Postes - 59000 LILLE - Tél. : 20.30.97.96.
- Fournisseur 2 :
Selectronic - B.P. 513 - 59022 LILLE Cedex - Tél. : 20.52.98.52.

Les éclairs de durée brève sont produits par une diode électroluminescente de haute luminosité : référence TLRA180AP chez le fournisseur 1 et TLRA130 chez le fournisseur 2. La diode TLRA130 (super-led) est capable de délivrer une intensité lumineuse de 1 000 mcd en étant traversée par un courant d'intensité 20 mA. La lueur rouge apparaît à partir de 1,5 V. Si l'intensité est de 20 mA, la tension aux bornes de la diode est de 1,9 V environ. La diode TLRA180AP est un peu moins lumineuse mais son prix est plus abordable (4,38 F H.T.).

Le circuit intégré NE 555 est utilisé en générateur de signaux rectangulaires disponibles sur la broche 3. Ce composant très fiable est de plus bon marché (1,35 F H.T.). Il est présent dans de nombreux montages de temporisations, d'oscillateurs. La fréquence obtenue ici dépend des résistances R_1 et R_2 , du potentiomètre P_1 et du condensateur C_1 .

Diagramme des tensions

Tension à la sortie du NE 555

Tension au collecteur de T_1

Théoriquement

$$\begin{cases} T_1 = 0,7 \cdot (R_1 + P_1 + R_2) \cdot C_1 \\ T_2 = 0,7 \cdot R_2 \cdot C_1 \end{cases}$$

Les éclairs sont actifs pendant la durée T_2 . T_2 doit être très petite par rapport à T_1 .

Avec les valeurs adoptées, la durée des éclairs est de $7 \cdot 10^{-4}$ s.

En raison de la persistance rétinienne, cette durée semble plus longue.

Le circuit destiné à faire varier la vitesse du moteur est un classique suiveur de tension à transistor.

Les petits moteurs utilisés provoquent des déclenchements parasites du NE 555. Les condensateurs C_2 et C_3 les atténuent fortement. La diode D_1 apporte une dernière amélioration. Il est possible d'adjoindre un condensateur de $47 \mu\text{F}$ par exemple, en parallèle sur le générateur afin de pallier aux appels de courant.

Si on utilise une source d'alimentation séparée pour le moteur, les perturbations parasites cessent. Le choix d'une alimentation commune est fait par simplicité.

2.2. Réalisation (figure 2)

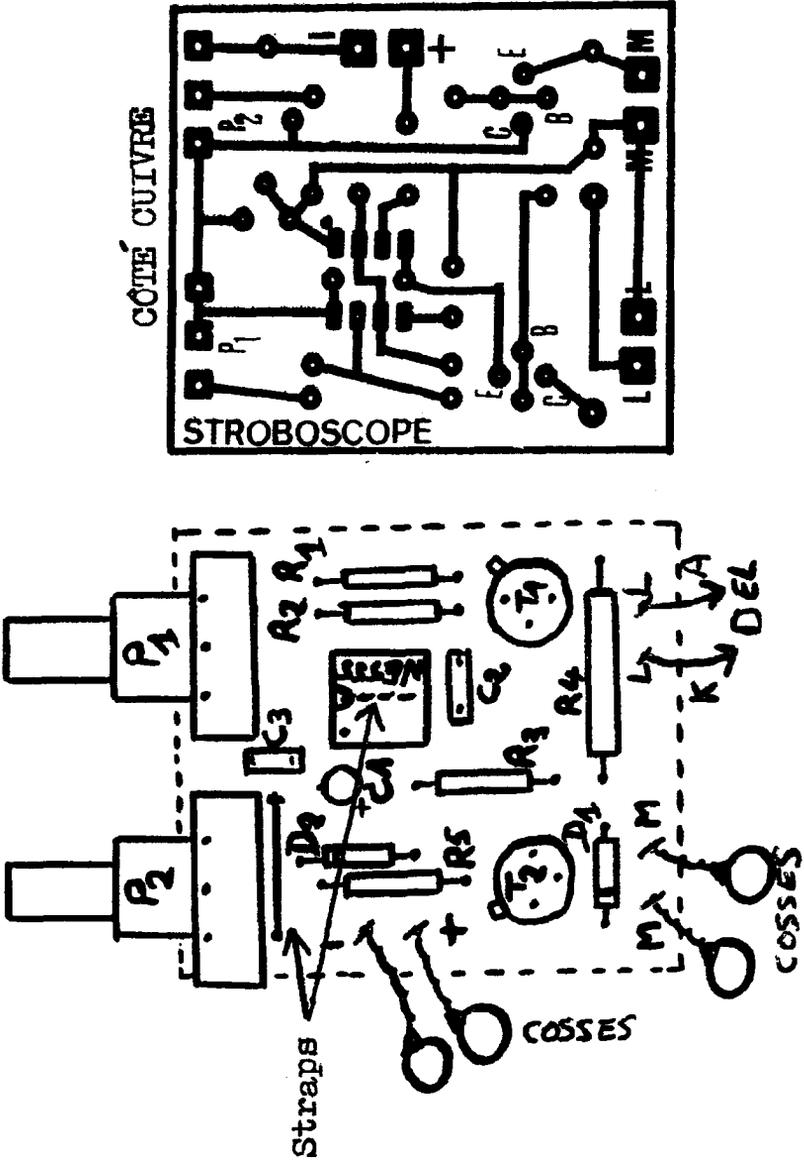


Figure 2

Toute réalisation est susceptible d'amélioration.

- Ajouter deux bornes sur le boîtier pour visualiser le signal à l'oscilloscope, donné par le NE 555 sur la broche 3 : coller en conséquence une pastille supplémentaire sur le typon pour la relier à la broche 3.
- Rendre plus indépendante la DEL en la plaçant à l'extrémité d'un «stylo».
- Agir sur la broche 4 du NE 555 pour commander l'oscillateur.

- Réaliser le circuit imprimé sur de l'époxy grâce au typon (le réaliser en s'aidant d'une grille au pas de 2,54 mm pour faciliter l'implantation des pastilles).
- Percer les pastilles du circuit à l'aide d'un foret de 0,8 mm de diamètre. Agrandir à 1 mm ou 1,5 mm certains trous destinés aux cosses, à la résistance de 1 W, etc...
- Souder d'abord les deux straps (petits fils conducteurs), les supports, les cosses poignard, les diodes, les résistances, les condensateurs.
- Scier avec précaution les axes des potentiomètres pour n'en laisser qu'une longueur de 1,5 cm. Souder les potentiomètres sur le circuit.
- Préparer 4 petits fils de 12 cm. Souder à l'une de leurs extrémités une cosse ronde de 6,1 mm de diamètre. Souder l'autre sur les cosses poignard (+ et -, M et M). Souder deux fils de 10 cm sur les cosses L et L du circuit.
- Une fois le boîtier en polystyrène fabriqué (voir la suite de l'article), mettre en place le circuit dans le boîtier, fixer les deux potentiomètres à l'aide de leurs écrous. Fixer les deux fils (+ et -) sur les douilles R et N à l'aide d'écrous, les deux fils (M et M) sur les douilles non isolées, souder les deux derniers fils sur les pattes de la diode électroluminescente qui auront été préalablement légèrement écartées.
- Refermer le boîtier. Avec une perceuse miniature, faire quatre petits trous de 2 ou 3 mm selon les vis à bois utilisées, aux emplacements marqués d'une croix sur la figure 3.

2.3. Le moteur

Il est facile de maintenir les petits moteurs dans des clips destinés aux tubes de câblage en électricité. On peut aussi pour le plus gros les fixer avec des serre-câbles en matière plastique. L'écartement choisi pour les douilles moteur est de 19 mm.

3. CONSTRUCTION DU BOÎTIER (figures 3 et 4)

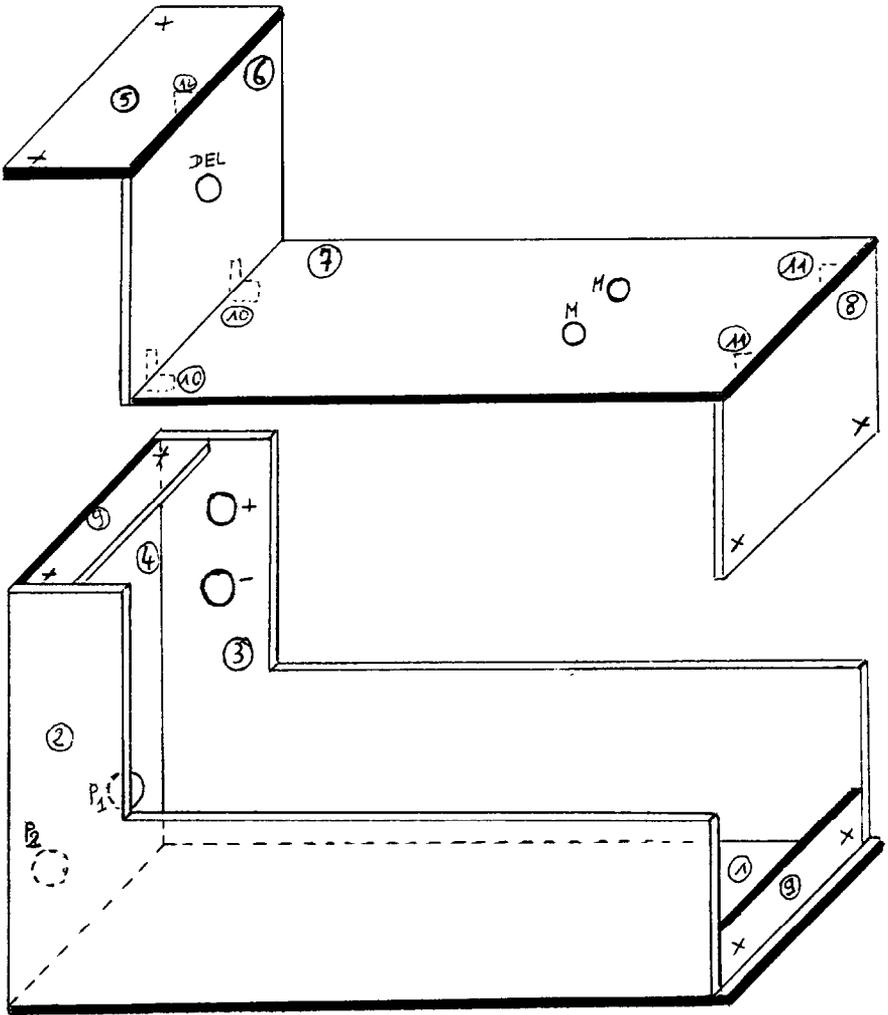


Figure 3

3.2. Perçage des pièces

Le polystyrène se perce à vitesse lente. Pour une meilleure précision, faire un trou initial de 2 mm. Avec un vilebrequin et des mèches à bois, on obtient d'excellents résultats. Enfin, il est possible de tenir un foret à la main et de tourner lentement en appuyant.

- Percer les pièces 3 et 7 avec un foret de 6 mm de diamètre ;
- Percer la pièce 2 avec un foret de 10 mm de diamètre ;
- Percer la pièce 6 pour le passage de l'enjoliveur de la DEL (souvent 8 mm).

Avant le collage des pièces, vérifier qu'elles s'assemblent correctement.

Dans le montage proposé, mettre en place les bornes rouge et noire, les deux bornes M non isolées et l'enjoliveur de la DEL. Cela évitera des torsions du boîtier lorsqu'on serrera les écrous de fixation.

3.3. Collage des pièces

Humecter à l'aide d'un flacon compte-gouttes les chants des pièces à coller avec du trichloréthylène. Travailler près d'une fenêtre légèrement entrouverte. Afin de ne pas avoir à décoller des pièces de la table qui aurait reçu quelques gouttes, mettre sur celle-ci avant de commencer un papier filtre ou un chiffon propre qui absorbera les gouttes.

- Assembler les pièces 5 et 6. Consolider avec la pièce 12 ;
- Assembler les pièces 7 et 8. Consolider avec les pièces 11 ;
- Assembler les pièces 5-6 et 7-8. Consolider avec les pièces 10 ;
- Sur la pièce 1 coller les pièces 2, 3 et 4. Coller les deux pièces 9 entre les pièces 2 et 3.

Le circuit positionné dans le boîtier et fixé par les potentiomètres, relier les fils aux bornes + et -, M et M à l'aide des cosses rondes. Souder les deux derniers fils aux broches de la DEL ;

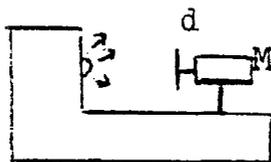
- Fermer le boîtier et fixer à l'aide de quatre petites vis à bois.

4. MISE AU POINT

Alimenter le dispositif avec un générateur de tension continue 6 V à 12 V. Vérifier en tournant l'axe du potentiomètre P_1 que la fréquence des éclairs varie (se placer dans une salle obscure). Avec un voltmètre observer la variation continue de la tension aux bornes M.

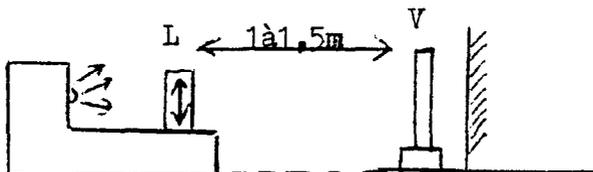
5. EXPÉRIENCES RÉALISABLES

Expérience 1 : fixer à l'aide d'un point de colle un disque d de papier canson noir comportant un secteur blanc sur l'axe du moteur M . Le moteur tournant à quelques tours par seconde, éclairer le disque et observer la présence de plusieurs secteurs colorés. Diminuer la fréquence des éclairs pour n'apercevoir qu'un seul secteur coloré «immobile». La fréquence de rotation du moteur correspond à la plus grande fréquence des éclairs pour laquelle on observe un secteur «immobile». Si la fréquence des éclairs est légèrement supérieure à la précédente, on observe un mouvement ralenti en sens inverse du mouvement réel.



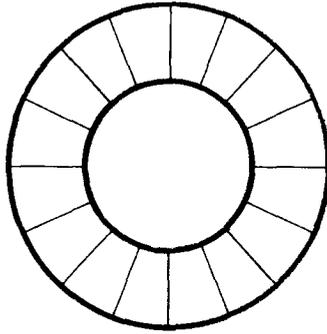
Expérience 1

Expérience 2 : obtenir l'immobilité visuelle des pales d'un ventilateur 12 V continu (80 mm \times 80 mm, 7 pales en matière plastique, forme carrée). Placer une lentille de 20 dioptries entre 5 et 6 cm de la DEL sur le polystyrène. Éclairer les pales du ventilateur derrière lequel on placera une feuille de papier blanc ou un écran. L'œil observe sur ces écrans des pales immobiles. Une expérience identique consiste à éclairer une cassette de magnétophone pendant le rembobinage.



Expérience 2

Expérience 3 : coller sur un disque de polystyrène de 12 cm de diamètre par exemple, un disque de papier blanc sur lequel on aura dessiné les 16 figures successives simples d'un mouvement (petit personnage qui tourne sur lui-même). Fixer à l'aide d'un boulon le disque sur une perceuse munie d'un variateur électronique. Éclairer à l'aide de la DEL et d'une lentille de 20 dioptries le disque. Pour une rotation de quelques tours par seconde, on observe un mouvement continu.



Figures sur disque.

Expérience 4 : illustration d'un phare marin. Les phares possèdent selon les cas des feux fixes, des feux à éclats, des feux à occultation, des feux isophases ou des feux scintillants.

Choisir une lentille de 20 dioptries et une fréquence élevée des éclairs. Faire l'image de la DEL sur un écran. On illustre ainsi le phare à feux fixes et la concentration de la lumière par une lentille.

Si l'on diminue la fréquence des éclairs, on obtient le phare à éclats.

6. MONTAGE COMPLÉMENTAIRE (figure 5)

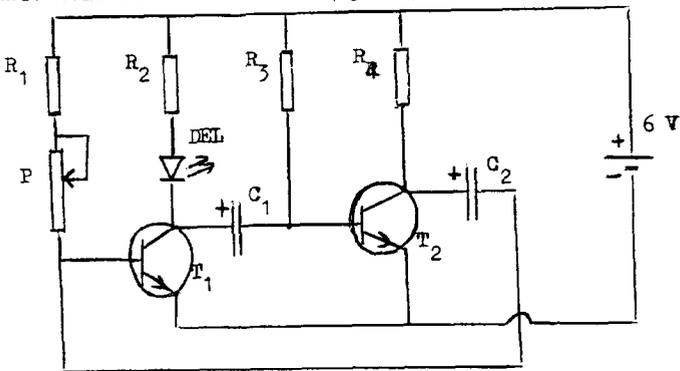


Figure 5

$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$	$R_2 = 47 \text{ }\Omega \text{ 1 W}$	$R_3 = 3,3 \text{ k}\Omega$	$R_4 = 47 \text{ }\Omega \text{ 1 W}$
$P = 47 \text{ k}\Omega \text{ linéaire}$	$C_1 = 1 \text{ }\mu\text{F}$	$C_2 = 22 \text{ }\mu\text{F}$	
$\text{DEL} = \text{TLRA 130 ou TLRA 180AP}$		$T_1 = T_2 = 2\text{N } 1711$	

Pour produire des éclairs vifs sans utiliser de circuit intégré, il est possible d'utiliser un multivibrateur astable à transistors (cependant si l'on veut ajuster la fréquence, le montage est plus délicat).

BIBLIOGRAPHIE

- ALLINGER-CAVA-JOHNSON : Tome 3 - Chimie organique.
- HART-CONIA : Introduction à la chimie organique.
- MOUSSERON-CANET-MANI : Photochimie.
- SCHREIBER : 75 montages à LED.
- M. CAPON, V. COURILLEAU et C. VALETTE : Cultures et Techniques ; IUFM de Nantes.
- La perception visuelle aux éditions Belin.