

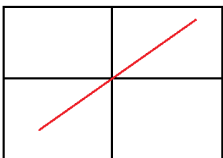
Un capteur est un dispositif qui transforme une grandeur physique extérieure en une grandeur électrique mesurable. Ce sont donc des dipôles électriques. On les classe en deux types :

- Les capteurs actifs : soumis à une excitation extérieure, ils fournissent une f.é.m. dont la valeur dépend de l'excitation.
- Les capteurs passifs : la valeur de leur impédance va dépendre de l'excitation extérieure.

Au cours de ce montage, nous étudierons plusieurs capteurs passifs permettant de détecter un flux lumineux ou de mesurer une température. Nous aborderons aussi la possibilité d'utiliser un capteur actif pour produire un courant électrique.

Bibliographie : *Montages de physique : électricité, électromagnétisme, électronique, acoustique* – J-P. Bellier

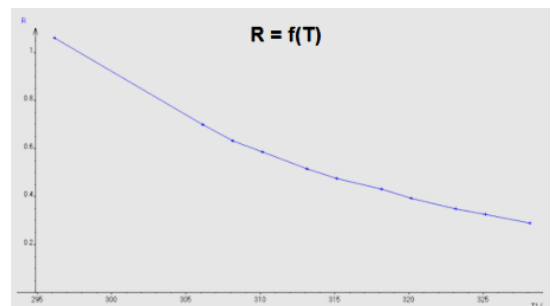
## 1. Un capteur de température : la thermistance



Faisant partie des capteurs passifs, la thermistance est en fait une résistance de valeur variant avec la température. On peut le mettre en évidence en affichant la caractéristique du dipôle. Pour cela on utilise la fonction testeur d'un oscilloscope analogique. Celui-ci trace alors qualitativement  $I=f(U)$ . On constate que la caractéristique est une droite. Ceci est cohérent avec une résistance. La pente est alors de  $1/R$ .

La thermistance est constituée de poudres d'oxydes métalliques semi-conducteurs. Lorsque la température augmente, il y a création de paires électron-trou. Ces paires facilitent la conduction et la résistance diminue. On peut mettre en évidence cette propriété en serrant la thermistance dans la main. Avec la chaleur apportée, la pente de la caractéristique augmente montrant la diminution de la résistance.

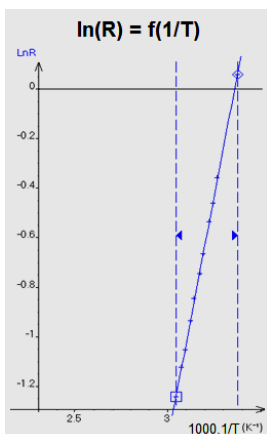
Pour utiliser la thermistance comme moyen de mesure de la température, on doit au préalable tracer une courbe d'étalonnage pour savoir comment se comporte la résistance. Pour se faire on place le capteur dans un bain marie équipé d'un thermomètre. Alors que la température augmente, on prend régulièrement la valeur de la résistance à l'aide d'un ohmmètre (on peut éventuellement augmenter



progressivement la température du bain et attendre à chaque fois que celui-ci se stabilise). On peut alors tracer  $R = f(T)$  (T étant en Kelvin) et éventuellement s'en servir comme étalonnage.

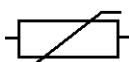
Cependant, la relation qui lie la résistance du semi-conducteur à la température est en fait du type  $R = R_0 e^{A/T}$ . Il sera donc plus intéressant tracer  $\ln(R) = f(1/T)$ . Les points sont alors parfaitement alignés. On obtient ainsi par régression linéaire :

- la pente nous donne  $A = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ K}$
- l'ordonnée à l'origine est  $\ln(R_0) = -13,2$  ce qui nous donne  $R_0 = 1,85 \cdot 10^{-6} \Omega$



## 2. Quelques capteurs de lumières

### 2.1. La photorésistance

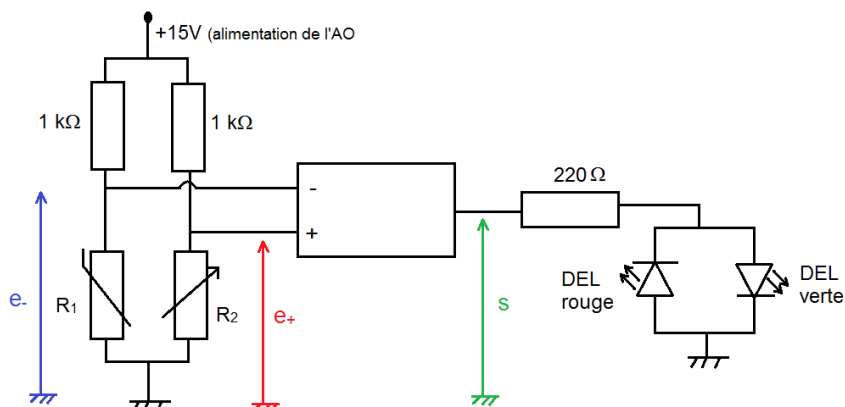


Si on affiche à l'oscilloscope (en fonction testeur) la caractéristique de la photorésistance, on retrouve la droite d'une résistance. Le principe est similaire à celui de la thermistance. La résistance du composant varie, non plus avec la température, mais avec le flux lumineux qu'il reçoit. Sous l'action de photons, il y a création dans le semi-conducteur de paires électron-trou qui permettent de diminuer la résistance du matériau. On peut le mettre en évidence en cachant avec un doigt le capteur. On constate que la pente de la droite diminue indiquant une augmentation de la résistance en l'absence de lumière.

On peut utiliser ce capteur dans un montage électrique illustrant le principe de déclenchement d'un lampadaire. On réalise le montage ci-dessous et on place à proximité de la photorésistance une lampe dont

on peut faire varier la tension aux bornes et donc la luminosité.

L'amplificateur opérationnel est ici utilisé en régime non linéaire. La tension de sortie  $s$  sera donc de +15V ou -15V en fonction du signe de la différence de potentiel  $\epsilon = e_+ - e_-$ . Des valeurs de  $R_1$  et  $R_2$  va dépendre le signe de  $\epsilon$  :



- si  $R_1 < R_2$ , alors  $\epsilon > 0$  et  $s = +15V$  allumant la diode verte.
- si  $R_1 > R_2$ , alors  $\epsilon < 0$  et  $s = -15V$  allumant la diode rouge.

Ainsi le passage par  $R_1 = R_2$  entraîne le basculement de l'interrupteur du lampadaire. On commence donc par choisir l'éclairage pour lequel on veut que l'interrupteur du lampadaire bascule et on règle la résistance  $R_2$  pour qu'elle soit égale à  $R_1$  sous cette lumière. Il suffit de prendre la valeur pour laquelle le basculement se fait pour une faible variation d'intensité lumineuse.

Le réglage étant effectué, on constate que si la lumière est plus importante, la résistance de la photorésistance diminue et  $R_1 < R_2$ . La diode verte s'allume symbolisant le lampadaire en fonction. Par contre, si la lumière baisse,  $R_1 > R_2$  et la diode rouge s'allume indiquant le lampadaire éteint.

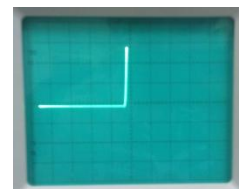
*NB : La résistance en sortie est là pour assurer le passage d'un courant au travers des diodes.*

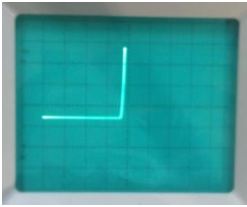
### 2.2. La photodiode



On place la photodiode à proximité de la lampe précédente dont on peut régler la tension. On commence l'étude sans allumer la lampe. On affiche une fois encore la caractéristique de la photodiode sur l'oscilloscope analogique. Cette fois-ci il ne s'agit pas d'une résistance.

On constate qu'à partir d'une certaine tension, l'intensité augmente fortement. Cette tension est nécessaire pour polariser la jonction P-N de la diode. Elle laisse alors librement circuler le courant. En dessous de ce seuil, la diode est polarisée en inverse et le courant la traversant est nul.





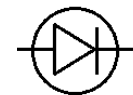
On allume cette fois la lampe. La tension de seuil n'est presque pas influencée mais on voit l'apparition d'un courant inverse lorsque la diode est polarisée en inverse. L'apport énergétique dû à l'éclairage crée des paires électron-trou dans la zone de déplétion de la jonction qui laisse passer un courant inverse. Plus l'intensité lumineuse est importante est plus le courant inverse l'est aussi.

*NB : On remarquera que l'éclairage ambiant n'était pas suffisant pour donner un courant inverse notable. Ceci est dû en partie au fait que la diode est plus sensible dans le domaine des infra-rouge. Ceci explique qu'utiliser une lampe à incandescence donne un très bon résultat.*

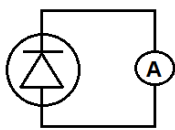
L'affichage que l'on a de la caractéristique de la photodiode est très qualitatif. Il est ainsi difficile de juger de la valeur de la tension de seuil. Avec un tracé plus précis, on s'aperçoit que cette tension est  $U_0 > 0$ . Ceci se traduit donc par l'apparition d'un courant inverse même lorsqu'aucune tension n'est imposée à la diode ou même si elle n'est pas polarisée en inverse. Dans ce domaine, la jonction P-N se comporte comme un générateur. C'est cette propriété qui est utilisée dans les cellules photovoltaïques que l'on va étudier par la suite.



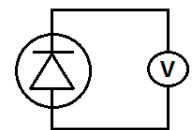
### 3. Capteur et générateur : la cellule photovoltaïque



Une cellule photovoltaïque est un assemblage de photodiodes disposées pour favoriser une exposition maximale à la lumière. Un tel dispositif permet de générer une tension et un courant électrique. On la qualifie ainsi aussi de photopile.

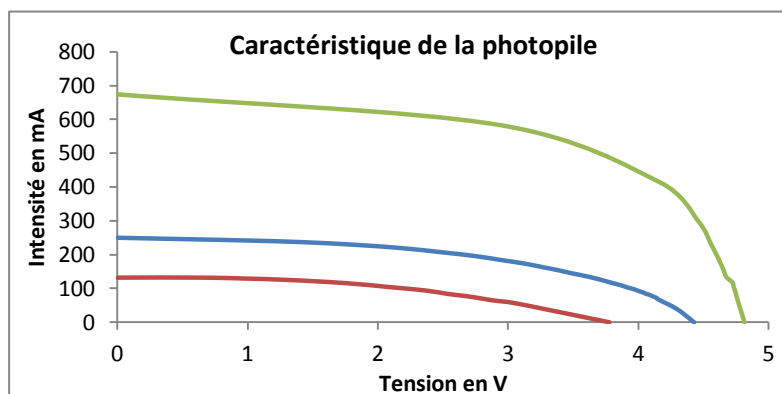
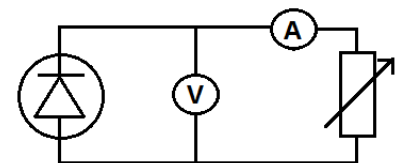


On place la cellule à proximité de la lampe et on commence par étudier sa tension à vide et son courant de court-circuit. En faisant varier la tension aux bornes de la lampe, on constate que tous deux dépendent de la puissance émise par la lampe. Cependant, on remarque que la variation en



courant est nettement supérieure à celle en tension.

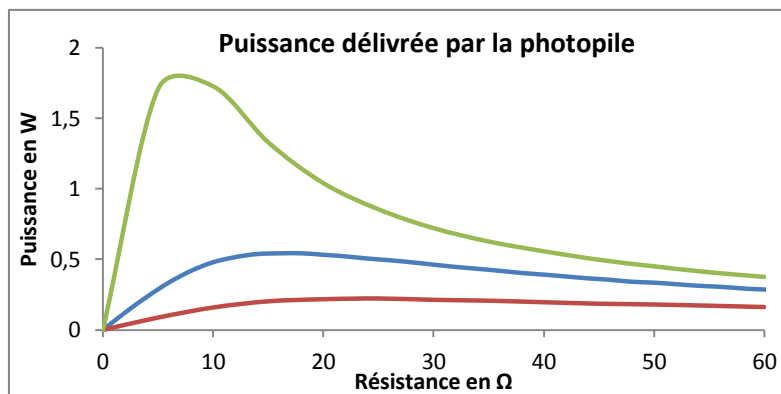
On étudie l'influence de l'intensité lumineuse en traçant la caractéristique de la photopile pour différentes tensions aux bornes de la lampe. Pour ce faire on réalise le circuit ci-contre. En faisant varier la valeur de la résistance, on peut relever plusieurs couples  $(U, I)$ . On constate que l'intensité varie peu en dessous d'une certaine tension. La photopile se



comporte alors dans cette plage comme un générateur de courant parfait. Le courant dépend cependant du flux lumineux parvenant au capteur.

On peut aussi étudier la puissance délivrée par la photopile en fonction de la charge qui lui est imposée. On trace dans chacun des cas précédents la puissance en fonction de la valeur de la résistance.

Pour les deux premières courbes, la puissance délivrée est relativement faible. Pour la troisième par contre (quand la photopile est soumise à une lumière intense), on s'aperçoit qu'il existe un domaine pour lequel la puissance est maximale. Ce domaine est très étroit. Cela rend la photopile peu pratique à utiliser dans la mesure où elle doit être



précisément adaptée à la lumière qui lui est fournie et à la charge qu'elle alimente.

## Conclusion

Au cours de ce montage nous avons pu étudier différents types de capteurs. Nous nous sommes limités à la mesure de lumière ou de température mais il faut savoir qu'il en existe de nombreux autres. On pourrait par exemple aborder les capteurs piézo-électriques. Ces derniers ne reposent pas sur des semi-conducteurs mais sur des cristaux dont la structure, en se comprimant génère un champ électrique et une différence de potentiel mesurable. Ils permettent donc de mesurer des forces mais aussi la pression de l'air grâce à leur grande précision.

Dans le domaine des capteurs de lumière, il aurait aussi fallu aborder les **capteurs CCD** (charge coupled device). Ces appareils reposent sur l'émission d'électrons par des éléments photosensibles. Ces électrons sont multipliés par la suite à l'aide d'un système et permettent de connaître avec précision l'intensité lumineuse. Leur faible taille permet d'en aligner un grand nombre pour constituer une étude spatiale de l'intensité lumineuse. C'est ce genre de système qui est utilisé sur les appareils photographiques numériques.