

BTS CIM 2
Ch 15 : LES CAPTEURS.

1. Propriétés générales des capteurs:

1.1. Définitions :

Un **capteur** est un dispositif chargé de *mesurer une grandeur physique* : température, pression, déplacement, position, vitesse etc.. et qui présente des caractéristiques de nature électrique : charge, tension courant ou impédance .

La grandeur physique est désignée comme le *mesurande* : m .

La *grandeur électrique de sortie ou réponse* du capteur est désignée par la lettre s .

La relation $s = F(m)$ résulte des lois physiques qui régissent le fonctionnement du capteur.

1.2 Capteur actif :

Un capteur actif est un capteur qui fonctionne en générateur . En général son principe est fondé sur la conversion en énergie électrique de la forme d'énergie propre au mesurande : énergie thermique, mécanique ou de rayonnement.

Ex 1 : Effet thermoélectrique : Un circuit formé de deux conducteurs de nature chimique différente dont les jonctions sont à des températures différentes est le siège d'une force-électromotrice . Cette propriété permet la mesure de la température d'une soudure si celle de l'autre soudure est connue.

Ex 2 : Effet piézo-électrique : L'effet d'une force et plus généralement d'une contrainte mécanique à certains matériaux dits piézo-électriques , comme le *quartz* , entraîne une déformation qui entraîne l'apparition de charges électriques égales et de signe contraire sur les faces opposées. Cette propriété permet la mesure de forces ou de grandeurs mécaniques associées (pression, accélération) à partir de la tension que provoquent aux bornes d'un condensateur associé à l'élément piézo-électrique les variations de sa charge.

Ex 3 : Effet d'induction électromagnétique : Le déplacement d'un conducteur dans un champ magnétique provoque l'apparition d'une f.e.m. d'induction électromagnétique .

Cette propriété permet de mesurer par exemple la vitesse d'une machine lorsque celle-ci est accouplée à une dynamo tachymétrique qui délivre une tension proportionnelle à la fréquence de rotation de la machine.

Le tableau ci - dessous résume les principes physiques mis en oeuvre dans quelques capteurs actifs :

Mesurande	Effet utilisé	Grandeur de sortie
Température	Thermoelectricité	Tension
Flux de rayonnement optique	Pyroélectricité Photoémission Effet Photovoltaïque Effet photoélectromagnétique	Charge Courant tension tension
Force Pression accélération	piézoélectricité	charge
Vitesse	Induction électromagnétique	tension
Position (aimant)	Effet Hall	tension

1.3 Capteur passif :

Il s'agit d'impédances dont les caractéristiques électriques sont sensibles aux effets du mesurande .
Le tableau ci-dessous donne un aperçu des mesurandes susceptibles de modifier les propriétés électriques de divers matériaux . On remarque l'importance des capteurs résistifs.

Mesurande	Caractéristique électrique sensible	Types de matériaux utilisés
température	Résistivité	Métaux : platine, nickel, cuivre, Semi-conducteurs
Flux de rayonnement optique	Résistivité	Semi-conducteurs
Déformation	Résistivité Perméabilité magnétique	Alliages de Nickel, Silicium dopé Alliages ferromagnétiques
Position (aimant)	Résistivité	Matériaux magnéto-résistants: bismuth, antimoine d'Indium.
Humidité	Résistivité Constante diélectrique	Chlorure de Lithium. Alumine ; polymères.
Niveau	Constante diélectrique	Liquides isolants

L'impédance d'un capteur passif et ses variations ne sont mesurables qu'en intégrant le capteur dans un circuit électrique, par ailleurs alimenté et qui est son *conditionneur*.

Les types de conditionneurs le plus généralement utilisés sont :

- le montage potentiométrique : association en série d'une source, du capteur et d'une impédance qui peut être ou non du même type.
- le pont d'impédances dont l'équilibre permet la détermination de l'impédance du capteur ou dont le déséquilibre permet la mesure de la variation de cette impédance.
- le circuit oscillant qui contient l'impédance du capteur et qui est partie d'un oscillateur dont il fixe la fréquence.
- le montage amplificateur à amplificateur opérationnel dont l'impédance du capteur est l'un des éléments déterminants de son gain .

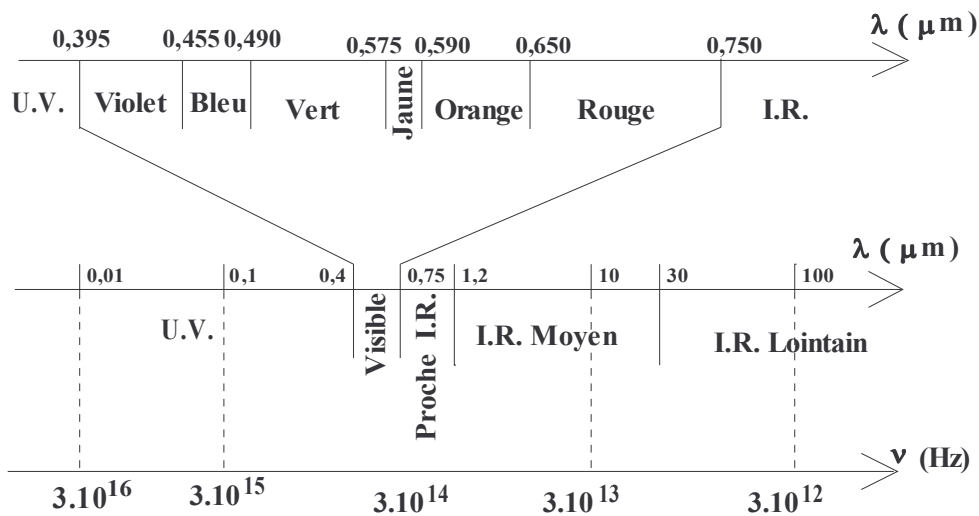
2. Capteurs optiques :

2.1 La lumière; propriétés fondamentales :

Les capteurs optiques permettent la traduction en signaux électriques de l'information portée par de la lumière visible ou des rayonnements de longueurs d'onde voisines : infrarouge ou ultra-violet.

La lumière présente à la fois un aspect ondulatoire et un aspect corpusculaire.

La lumière est constituée d'ondes électromagnétiques émises lors de transitions électroniques entre niveaux d'énergie des atomes de la source. Ces ondes se propagent dans le vide à la vitesse de $c = 299972 \text{ km/s}$ et dans la matière à une vitesse $v = c/n$ où n est l'indice de réfraction du milieu transparent.



Rayonnements optiques : désignations et répartition spectrale.

Une onde lumineuse monochromatique est formée d'un champ électrique et d'un champ magnétique orthogonaux, perpendiculaires à la direction de propagation et variant sinusoïdalement en phase.

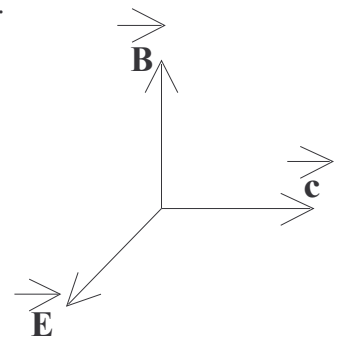
L'aspect corpusculaire de la lumière ressort lors de son interaction avec la matière.

La lumière apparaît dans ce cas comme constituée de particules, ou de grains d'énergie, les *photons*, dont chacun est le support d'une énergie rayonnante élémentaire, déterminée uniquement par la fréquence ν du rayonnement, par la relation :

$w = h \cdot \nu$. h étant une constante physique fondamentale, la *constante de Planck*. : $h = 6,6256 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$.

Dans la matière, d'autre part, les électrons qui sont liés aux atomes exigent pour devenir libres la fourniture d'une énergie w_1 qui est leur énergie de liaison. L'absorption d'un photon provoquera la libération d'un électron à condition que l'énergie du photon w soit supérieure à w_1 .

soit : $h \cdot \nu > w_1$, ou $h \cdot c / \lambda > w_1$, ou $\lambda < h \cdot c / w_1$.



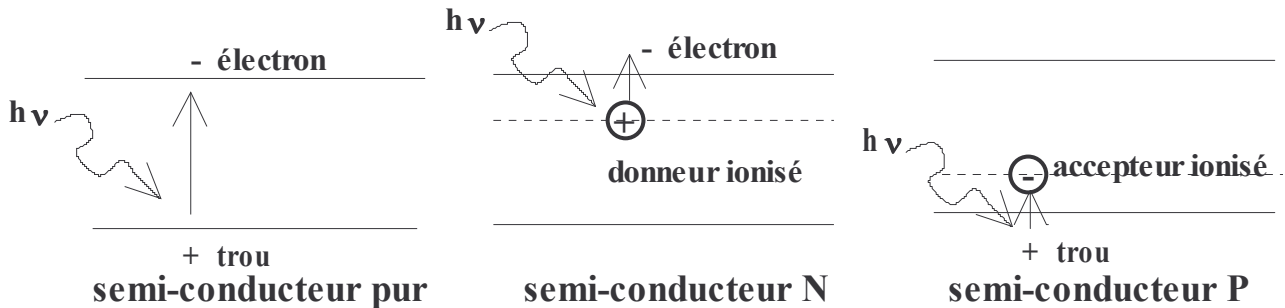
La longueur d'onde maximale susceptible de provoquer la libération d'un électron dans un matériau est la longueur d'onde de seuil,

$$\lambda_1 = h \cdot c / w_1$$

La libération de porteurs sous l'influence d'un rayonnement lumineux constitue l'*effet photo-électrique*.

Le type de charges libérées par le rayonnement lumineux dépend de la nature du matériau éclairé :

- paires électrons-trou dans les isolants et les semi-conducteurs très purs,
- électrons dans les semi-conducteurs dopés par des atomes donneurs (type N),

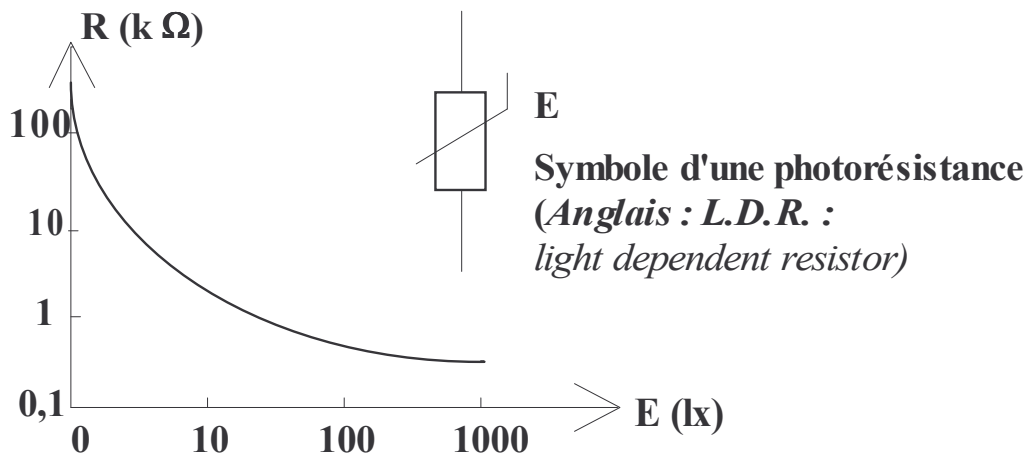


La libération de porteurs sous l'influence d'un rayonnement lumineux constitue l'effet photoélectrique : il se traduit par une modification des propriétés électriques du matériau et est le principe de base des capteurs optiques.

2.2 Composants Optoélectroniques :

2.2.1 : Photorésistance (ou cellule photoconductrice) :

Un photorésistance est réalisée à l'aide de matériaux semi-conducteurs (Sulfure de Cadmium, de Thallium ...) . L'éclairement de ce composant fait diminuer sa résistance. Exemple de caractéristique :



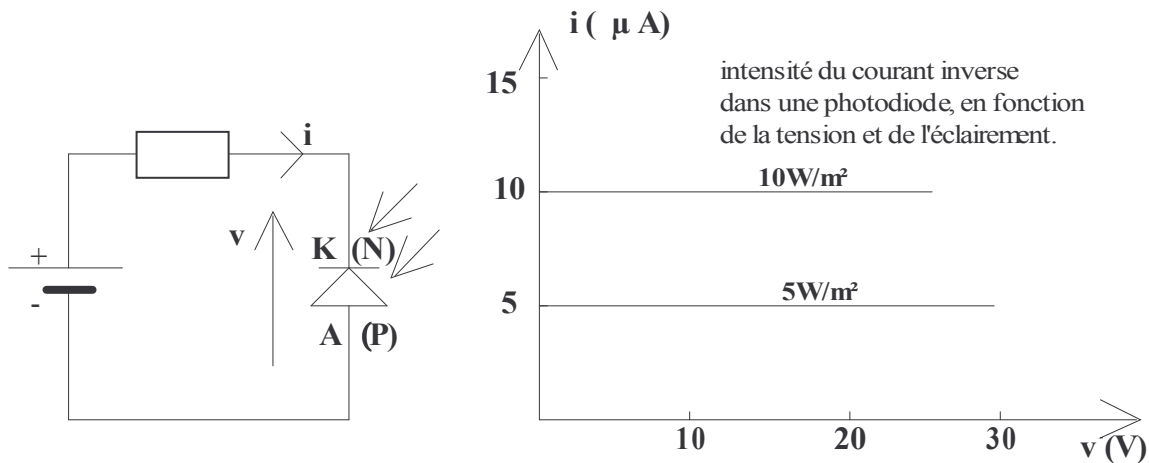
2.2.2 Photodiode :

Une diode à jonction P-N **polarisée en inverse** est parcourue par un courant très faible dû aux porteurs minoritaires (trous de la zone N et électrons de la zone P). Ce courant est de l'ordre du microampère à la température ordinaire, pour une diode au silicium.

Si on fait tomber un rayonnement sur le cristal constituant la diode (par exemple sur la zone N), si ce rayonnement est d'énergie suffisante, les photons pénètrent le cristal et arrachent des électrons aux atomes. Il y a création d'électrons libres et de trous supplémentaires, c'est à dire de porteurs majoritaires et minoritaires (pour la zone N).

Les minoritaires traversent la jonction et participent au courant inverse qui augmente. C'est le principe de fonctionnement des photodiodes.

La sensibilité des photodiodes est de l'ordre du $\mu A / W/m^2$.

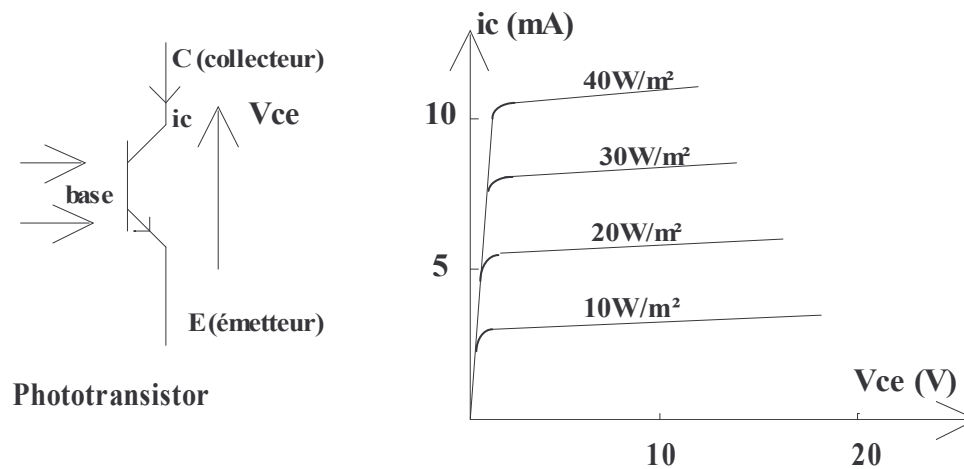


Remarque : Le courant i suit facilement les variations brusques de l'éclairement ce qui permet d'utiliser les photodiodes à des fréquences élevées (de l'ordre du MHz).

2.2.3 : Phototransistor :

Ce composant ressemble à un transistor bipolaire, mais la base, au lieu d'être traversée par un courant de base est éclairée par un rayonnement.

Il en résulte dans la base la création de porteurs minoritaires et par suite de la circulation d'un courant entre le collecteur et l'émetteur. On atteint ainsi des sensibilités de 100 à 200 $\mu A / W/m^2$.



Remarque: Signalons également l'existence de photothyristors et de phototriacs.

2.2.4 : Photocoupleur ou Optocoupleur :

Un photocoupleur est constitué par l'association dans un même boîtier :

- d'une source lumineuse (diode électroluminescente),
- et d'un composant photosensible (phototransistor) .

Le dispositif de liaison optique entre les deux éléments est mis en place une fois pour toutes en cours de fabrication ; ce peut être :

- un faisceau lumineux dans l'air contrôlé par deux petites lentilles placées sur chacun des deux composants , la distance entre les deux restant alors très courte (quelques mm);
- un faisceau lumineux parcourant une *fibre optique* qui guide la lumière, la distance entre la source de lumière et le récepteur pouvant être beaucoup plus grande .

