# LES RÉCEPTEURS PHOTOSENSIBLES

1 L'EFFET PHOTOÉLECTRIQUE.

2 LES RÉCEPTEURS PHOTOÉLECTRIQUES.

3 RÉCEPTEURS UTILISANT LA PHOTOCONDUCTION (EFFET PHOTOÉLECTRIQUE INTERNE)

# INTRODUCTION

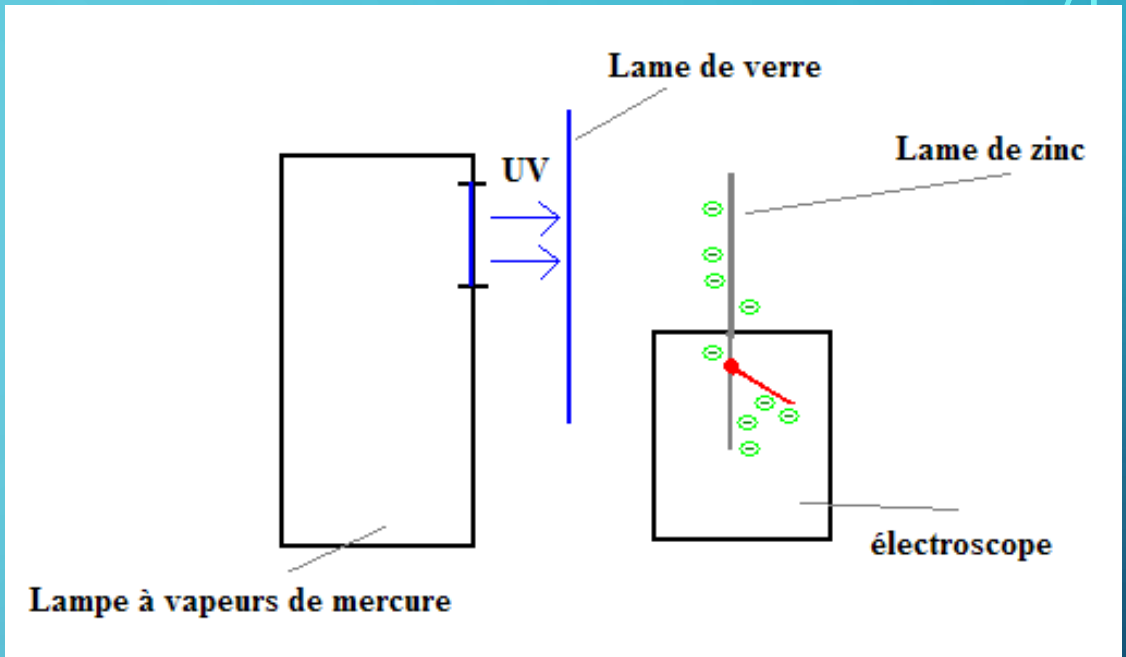
HTTPS://VIMEO.COM/82269359

HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=BWRF__4-IEE

# 1 L'EFFET PHOTOÉLECTRIQUE

## 1.1 MISE EN ÉVIDENCE

Partie expérimentale :



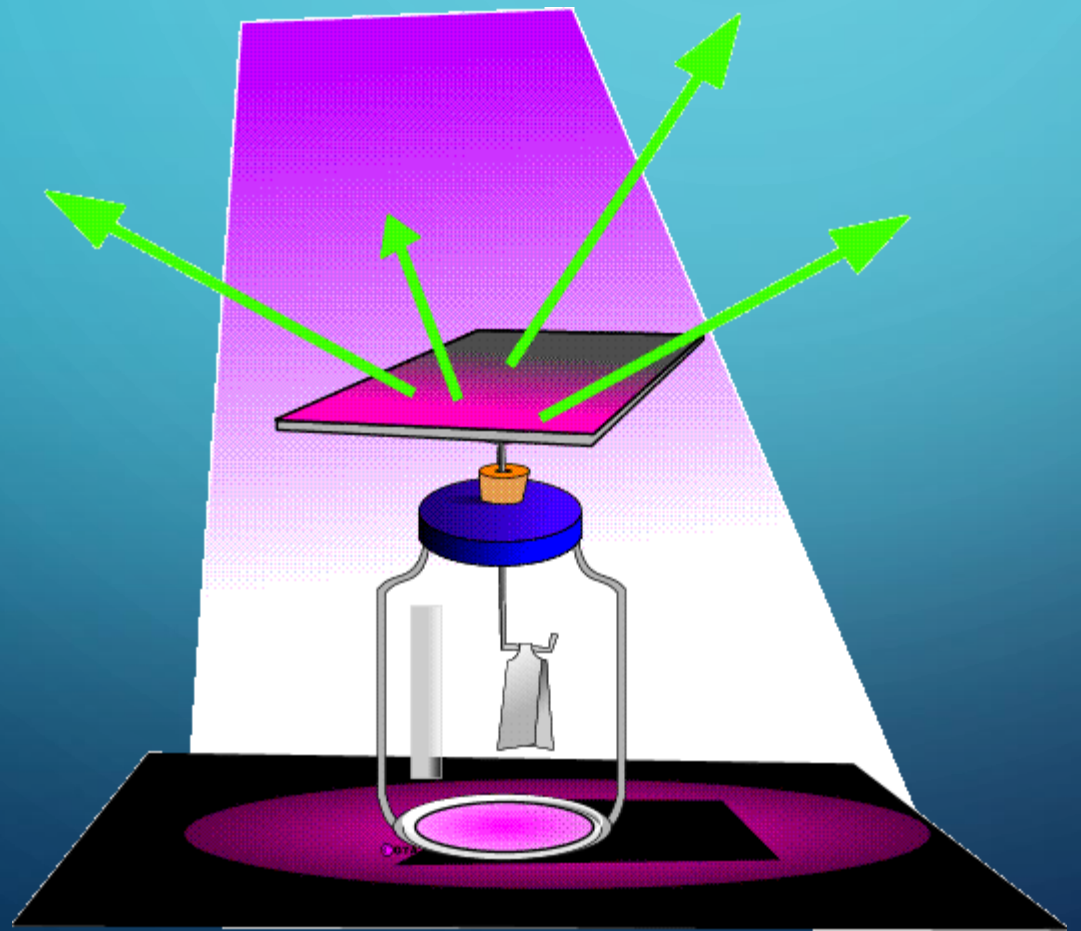

Lorsqu'on éclaire la plaque de Zinc à travers la plaque de verre, il ne se passe rien.

Si on enlève la plaque de verre, **l'électroscope se décharge**.

La même expérience effectuée avec une plaque de zinc **chargée positivement** montre que l'électroscope **ne** peut **pas** être déchargé quelles que soient les circonstances.

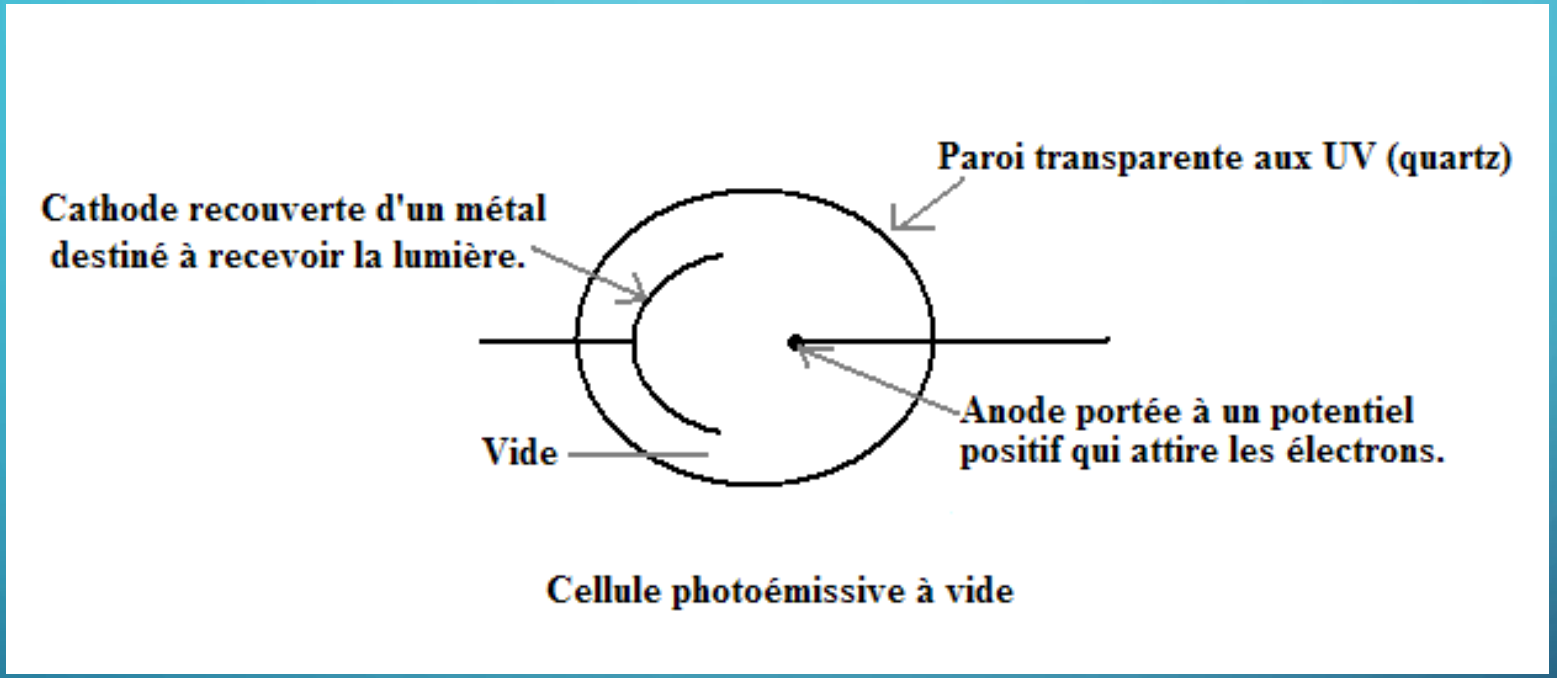
Conclusion :

L'effet photoélectrique consiste en l'extraction d'électrons d'un métal convenablement ( condition sur la fréquence) éclairé.



# 1.2 ETUDE DE L'EFFET PHOTOÉLECTRIQUE

On utilise une cellule photoémissive à vide :

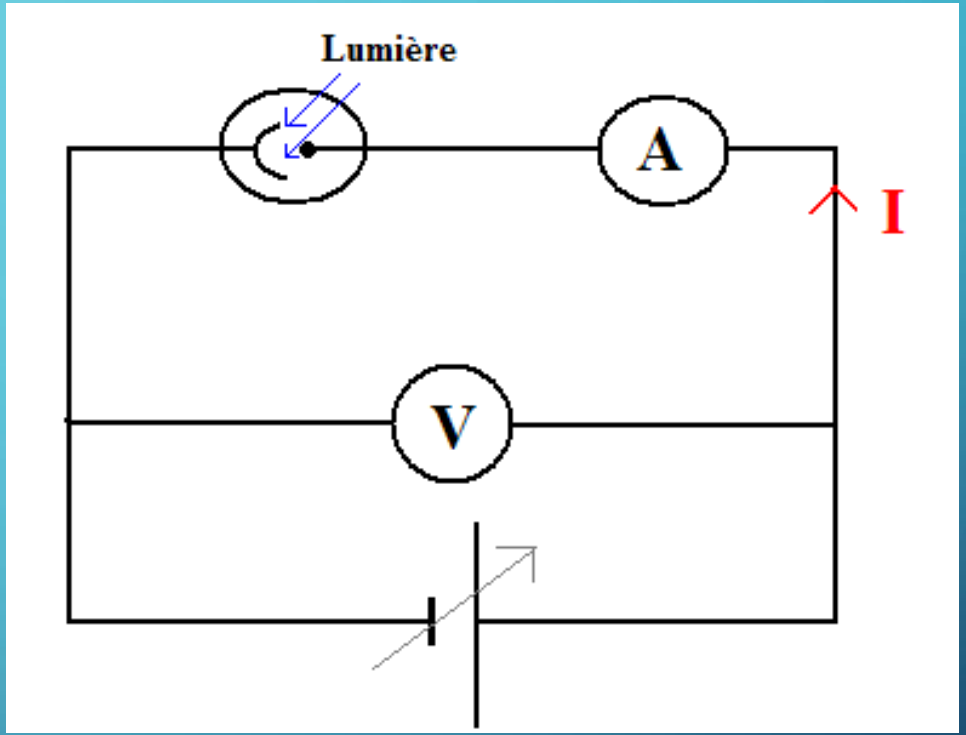



Cellule photoémissive à vide

# MONTAGE EXPÉRIMENTAL :

On peut étudier :

- $I = f(U_{AC})$
- $I = f(P_{lumineuse})$
- $I = f(v)$



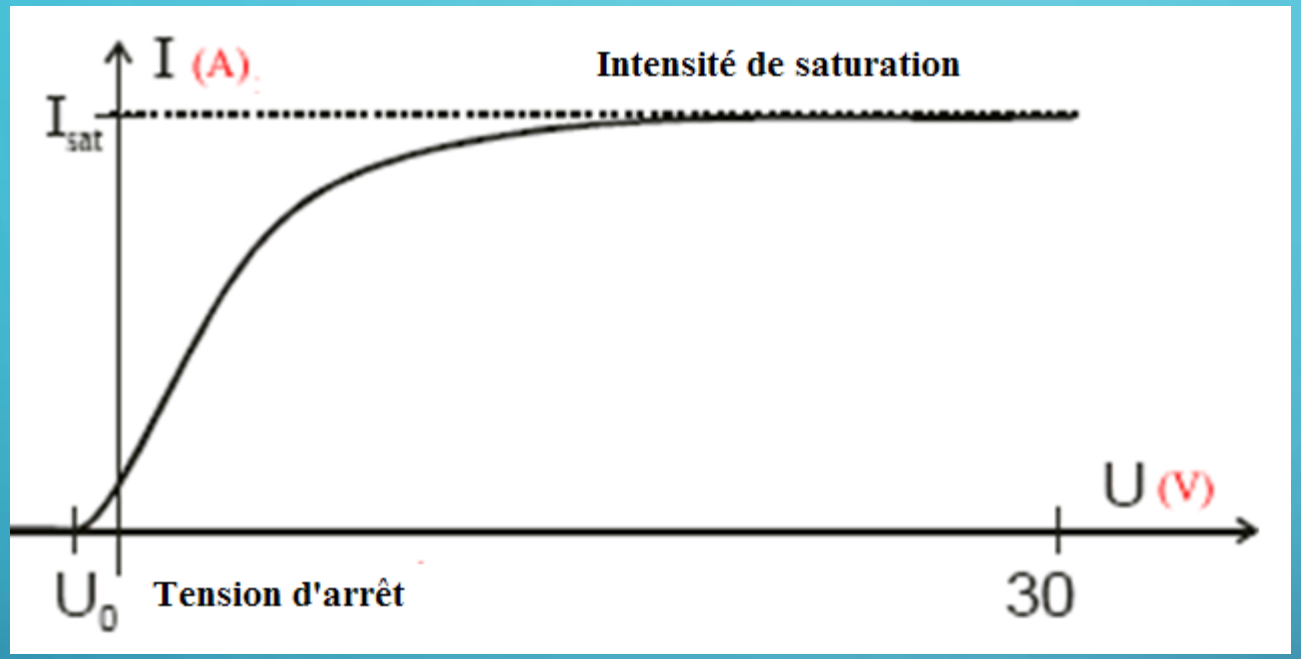
# RÉSULTATS OBTENUS : $I = F(\nu)$

- L'effet photoélectrique n'a lieu que si la fréquence de la lumière monochromatique est supérieure à une valeur seuil $\nu_0$ .
- Si $\nu < \nu_0$ , $I = 0$. Si $\nu > \nu_0$ , $I > 0$
- $\nu_0$ dépend du métal employé :

$\nu_{0Zn} = 8.1\ 10^{14}$ Hz et $\nu_{0Cu} = 1.03\ 10^{15}$ Hz

# RÉSULTATS OBTENUS : I = F ($U_{AC}$ )

- Caractéristique de la cellule photoémissive :




L'intensité atteint la saturation $I_{sat}$ lorsque l'anode capte tous les électrons émis.

- Lorsque $U_{AC} = 0$, I >0. Les électrons arrachés permettent au courant de circuler en l'absence de tension. Ils ont une énergie cinétique suffisante.
- Lorsqu'on applique une tension négative, dite « potentiel d'arrêt", $U_0$ on a I = 0. Les électrons arrachés ont alors une énergie cinétique nulle et ne se déplacent plus.

# RÉSULTATS OBTENUS : I = F (P )

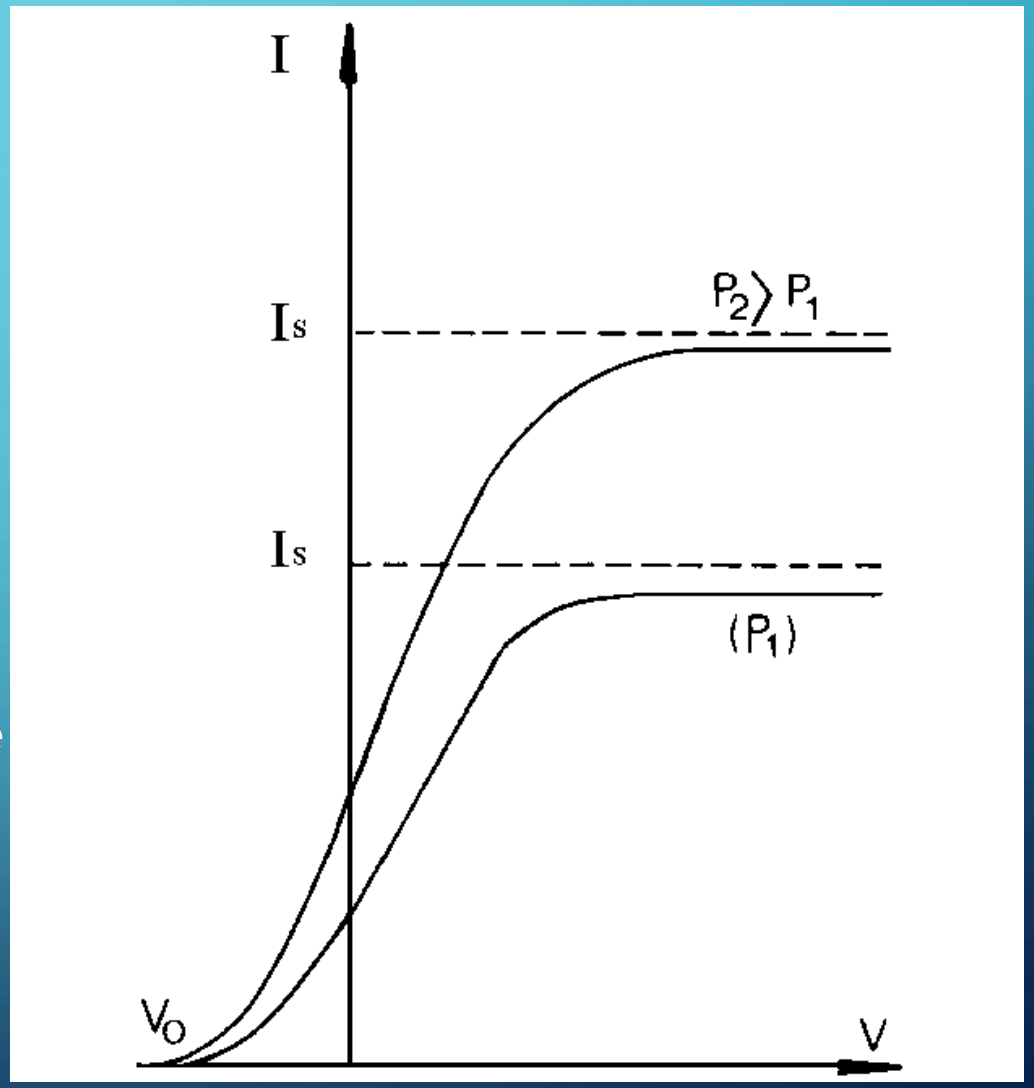
- Influence de la puissance lumineuse :
- Si P augmente alors

$I_{sat}$ augmente.

On a: $$I_{sat} = \sigma P$$

σ est un coefficient de proportionnalité : la sensibilité de la cellule.

On remarque que $U_0$ ( ou $V_0$) ne dépend pas de P.



# RÉSULTATS OBTENUS : INFLUENCE DE $\nu$ SUR $U_{AC}$

- On remarque que plus la fréquence augmente, plus la tension d'arrêt nécessaire pour annuler l'intensité doit être importante.
- $|U_0|$ augmente avec $\nu$.

# 1.3 INTERPRÉTATION DE L'EFFET PHOTOÉLECTRIQUE

La **théorie ondulatoire** de la lumière ne peut expliquer ce phénomène. D'après cette théorie, il suffirait d'apporter suffisamment d'énergie au métal pour arracher des électrons. On aurait une condition sur la puissance lumineuse, voire sur la durée d'exposition à la lumière, mais pas sur la fréquence lumineuse.

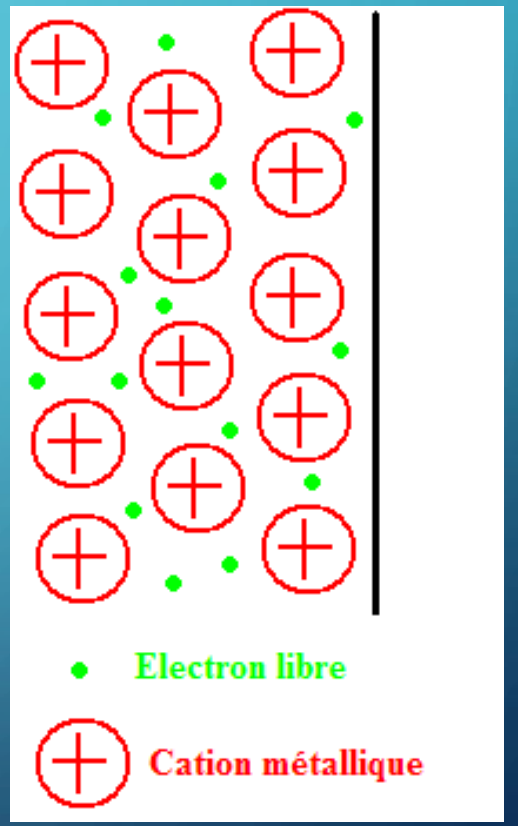
La **théorie corpusculaire** de la lumière permet d'interpréter l'effet photoélectrique.

- Chaque photon agit individuellement et doit avoir l'énergie nécessaire pour arracher un électron.

( $E_{ph} = h\nu$)

- Pour arracher un électron au métal, il faut vaincre les forces électrostatiques qui le lient aux cations métalliques. Il faut apporter un travail $w_0$, qui dépend de la nature du métal.
- Si $h\nu < w_0$ il ne se passe rien.
- Si $h\nu > w_0$ un électron est arraché.

Métal :



- On a donc une fréquence seuil tel que : $W_0 = h\,\nu_0$.

- Un électron arraché a une énergie cinétique :

$$Ec = h\,\nu - W_0$$

$$Ec = \tfrac{1}{2}\,m\,v^2$$

- Lorsqu'on applique une tension négative, c'est pour contrebalancer cette énergie cinétique. Si $U_0$ est appliquée on a I=0 : le travail électrique associé à la tension d'arrêt, $W_{el} = eU_0$, annule exactement l'énergie cinétique des électrons émis, ils sont arrachés mais ils sont ralentis jusqu'à une vitesse nulle (donc $Ec_2 = 0$).

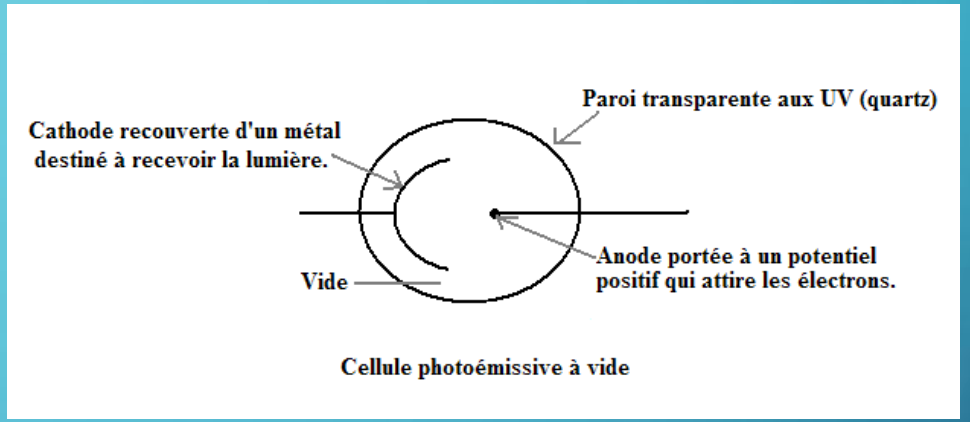
Le théorème de l'énergie cinétique s'écrit :

$Ec_2 - Ec_1 = W_{el}$ avec $Ec_2 = 0$ et $Ec_1 = Ec$ on en déduit: $Ec = -e.U_0$

# 2 LES RÉCEPTEURS PHOTOÉLECTRIQUES
## 2.1 LA CELLULE PHOTOÉMISSIVE À VIDE

- Schéma :
- On a

$$I_{sat} = \sigma P$$



Cellule photoémissive à vide

Soit r le rendement quantique.

r = n/N où n est le nombre de photons efficaces (ceux qui arrachent des électrons) et N le nombre total de photons reçus par la cathode.

Pendant une durée $\Delta t$ on a :

$n = \frac{I_{sat}\,\Delta t}{e}$ et $N = \frac{P\Delta t}{h\nu}$ .

Donc $r = \frac{I_{sat}\,\Delta t\,h\nu}{P\Delta t e}$ soit

$$r = \frac{I_{sat}.h.\nu}{P.e}$$

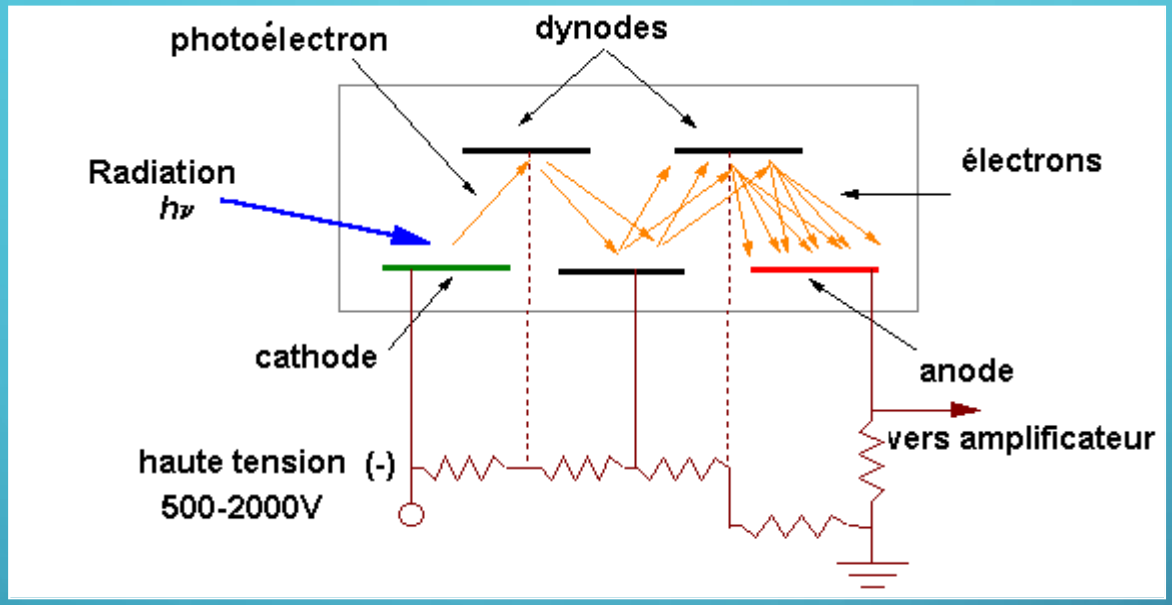
- Pour ces cellules l'intensité électrique suit les variations de flux lumineux mais elle est très faible. Elle doit être amplifiée.
- Ces cellules sont employées en photométrie, ou pour des détections de signaux lumineux.

# 2.2 CELLULE À GAZ

- Cette cellule est identique à une cellule photoémissive à vide, mais elle contient un gaz inerte sous faible pression à la place du vide.
- Lorsqu'un électron quitte la cathode, il peut ioniser le gaz et ainsi amplifier la conduction, donc le courant électrique.
- Cependant le facteur d'amplification (de l'ordre de x 10) est instable.
- Une telle cellule ne permet donc pas de réaliser un instrument de mesure du flux lumineux.

# 2.3 TUBES PHOTOMULTIPLICATEURS

- Cet appareil permet d'amplifier fortement l'intensité tout en conservant la fidélité de réponse d'une cellule photoémissive à vide.




- Un électron émis par effet photoélectrique depuis la photocathode est accéléré vers la première dynode. Il provoque l'émission de plusieurs électrons secondaires qui sont à leur tour accélérés et ainsi de suite.
- Le nombre d'électrons secondaires arrachés est fonction de la tension entre chaque dynode ainsi que de la nature des dynodes.
- Si chaque électron arrache n électrons secondaires et qu'il y a k dynodes, on obtient un coefficient d'amplification de $n^k$.

On a donc :

- Si la tension à laquelle est soumise la photocathode lui permet d'émettre l'intensité de saturation :

$$I = n^k I_{sat}$$

Où I est l'intensité électrique à la sortie du photomultiplicateur.

- Ou de manière plus générale : $I = n^k I_{cathode}$.

# 3. RÉCEPTEURS UTILISANT LA PHOTOCONDUCTION

La photoconduction correspond à un effet photoélectrique interne. Sous l'effet de rayonnement des électrons du réseau de cations deviennent des électrons libres.

La photoconduction augmente donc la conductivité d'un matériau.

Il s'agit d'un effet qui concerne les semi-conducteurs. La conductivité de ces derniers peut fortement varier en présence de lumière.

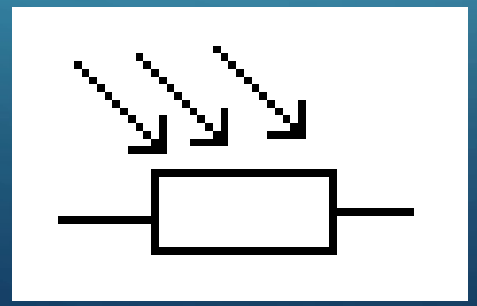
# 3.1 LES PHOTORÉSISTANCES

Elles sont constituées par une mince couche de semi-conducteur sur un support isolant.

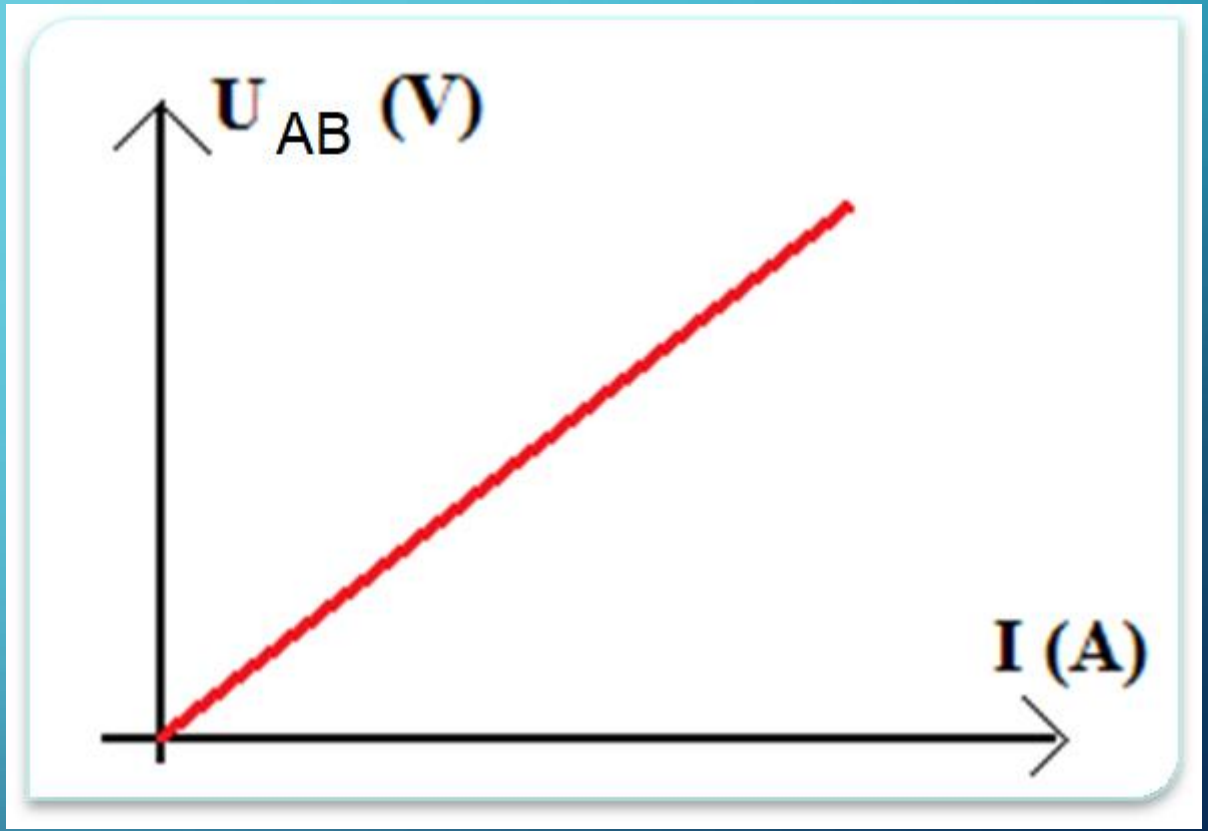
Le rayonnement, s'il est de fréquence suffisante, permet le passage d'électrons de la bande de valence vers la bande de conduction (création d'électrons libres), la conductivité de cette résistance augmente donc avec l'intensité lumineuse.

Si les photons ont une trop grande énergie, ils arrachent les électrons et ne remplissent pas la bande de conduction. Le rendement d'un tel dipôle passe par un maximum pour une valeur particulière de λ.

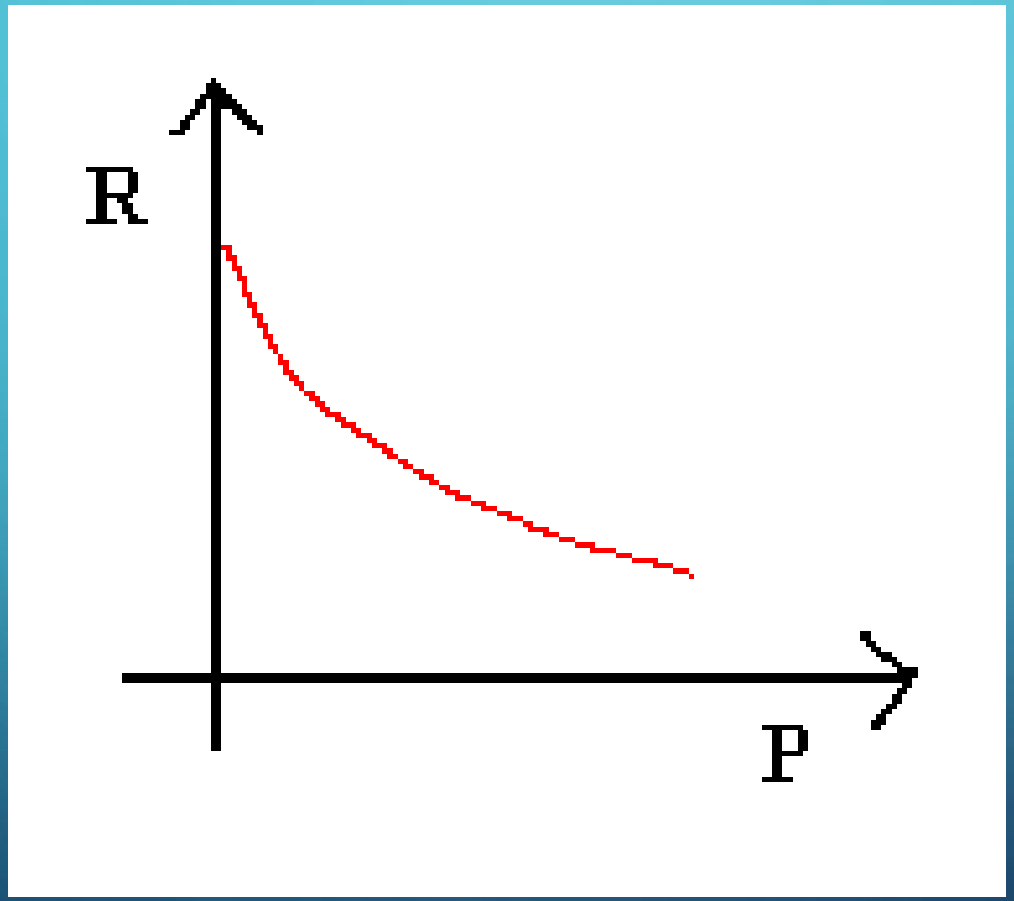
Symbole :



Caractéristique : identique à celle d'un conducteur ohmique ( $U_{AB} = R.I$) pour une puissance lumineuse donnée.



On peut aussi représenter R en fonction de P à λ donnée :

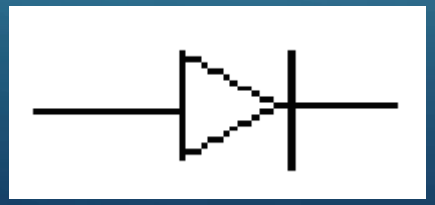


# 3.2 LES PHOTODIODES

**Une diode** est un dipôle qui ne laisse passer le courant, de manière notable, que dans un seul sens (voir schéma au tableau). Cette conductivité est due aux porteurs majoritaires.

Lorsqu'une diode est polarisée en sens inverse (voir schéma au tableau), elle ne laisse passer qu'un courant très faible (de l'ordre du nanoampère). On considère en général qu'elle ne laisse pas passer le courant. Cette conductivité est due aux porteurs minoritaires.

Symbole :

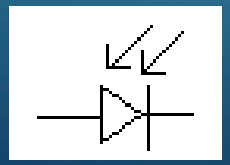


**Une photodiode** est une diode qui, sous l'effet, de la lumière voit son nombre de porteurs minoritaires augmenter.

L'intensité de ce courant inverse, $I_D$, dépend du nombre de porteurs minoritaires crées et donc directement de la puissance lumineuse reçue par la diode : $I_D = I_0 + \sigma P$. Où $I_0$ représente l'intensité du courant inverse due aux porteurs minoritaires dans l'obscurité (quelques nanoampères), $\sigma$ un coefficient de proportionnalité dépendant de la longueur d'onde (elle ne doit pas être trop élevée, comme pour la photo résistance), la sensibilité de la photodiode et P la puissance lumineuse.

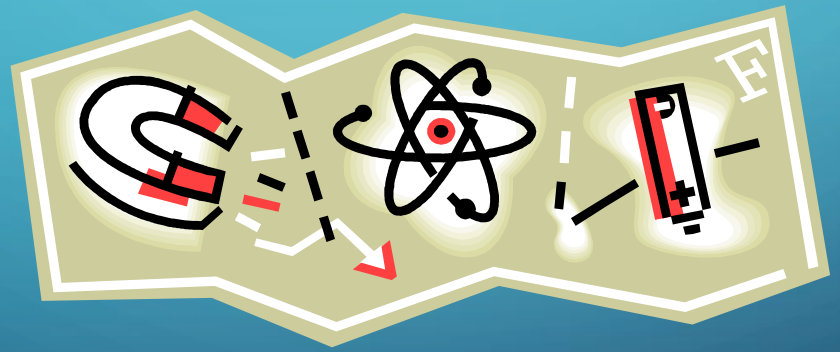
Comme $I_0$ est quasi nul, on peut admettre : $\boxed{I_D = \sigma.P}$

Symbole :



Une photodiode se comporte comme une diode si elle est polarisée dans le sens direct : elle laisse passer le courant électrique.

Une photodiode laisse passer une intensité électrique proportionnelle à la puissance lumineuse qu'elle reçoit lorsqu'elle est polarisée en sens inverse.

Polarisée en sens inverse, une photodiode est donc un instrument fiable permettant de mesurer la puissance lumineuse.

# *FIN*