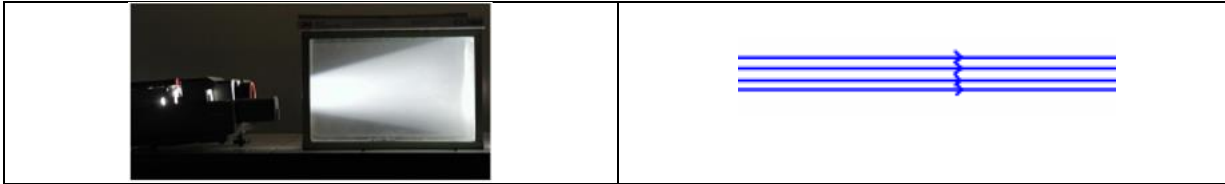


Interférences lumineuses

I. Modèle du rayon lumineux

1. OPTIQUE GEOMETRIQUE

Dans un milieu transparent, homogène et isotrope, la lumière se propage en ligne droite. Le rayon lumineux est un modèle qui représente le trajet suivi par la lumière.

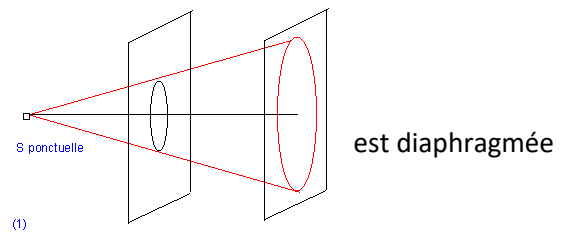


2. LIMITE DE L'OPTIQUE GEOMETRIQUE

Dirigeons un faisceau lumineux sur un écran portant une ouverture.

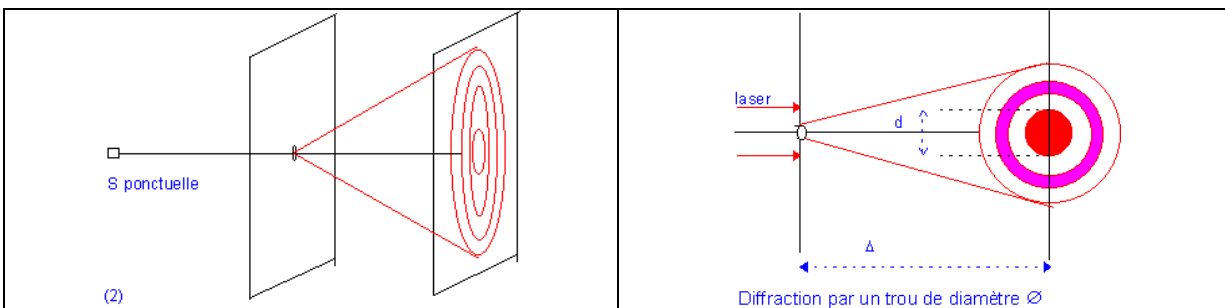
○ OUVERTURE DE GRANDE DIMENSION : PHENOMENE DE DIAPHRAGME

La lumière épouse la forme de la fente à sa traversée : on dit qu'elle par la fente.



○ OUVERTURE DE QUELQUE MILLIMETRE : PHENOMENE DE DIFFRACTION

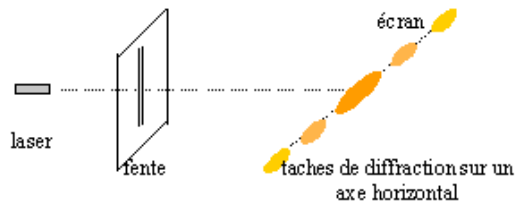
Pour isoler un rayon lumineux on peut réduire la fente ou le diamètre de l'ouverture circulaire. Réalisons l'expérience suivante:



On observe sur l'écran une figure de diffraction. Ce phénomène se produit lorsque l'ouverture par laquelle passe la lumière est de petite taille. On dit que l'ouverture a diffraqué (émet dans toutes les directions) la lumière du laser.

Remarque:

- Plus l'ouverture est petite, plus le phénomène de diffraction est marqué.
- Le phénomène de diffraction met en défaut le principe de propagation rectiligne de la lumière dans un milieu homogène. Le concept de rayon lumineux apparaît comme une approximation consistant à négliger le phénomène de diffraction.
- Si l'ouverture est une fente, on observe la figure ci-contre.



II. Modèle ondulatoire de la lumière

De façon générale, la lumière peut-être considérée comme une onde électromagnétique. En particulier, la lumière émise par le laser peut-être décrite comme **une onde électromagnétique sinusoïdale de fréquence donnée**.

1. PROPAGATION

La lumière se propage dans le vide, et dans les milieux transparents (air, eau, gaz, verre, etc.). Dans le vide, la célérité de la lumière est $c = 299\,792\,458\text{ m.s}^{-1}$ (on retiendra $c \simeq 3.10^8\text{ m.s}^{-1}$).

Remarque:

- La célérité de la lumière dans le vide ne dépend pas de la fréquence de l'onde.
- La célérité de la lumière dans l'air est pratiquement égale à celle dans le vide ($c_{\text{air}} \simeq c_{\text{vide}}$).
- Dans un milieu matériel transparent, la vitesse v est inférieure à C :

$$\boxed{v = \frac{C}{n}} \text{ avec } n > 1 \text{ (indice de réfraction du milieu).}$$

2. LES PERIODICITES

Une onde lumineuse a une double périodicité

- une périodicité temporelle T
- une périodicité spatiale, de période λ appelé longueur d'onde.

La fréquence notée ν pour une onde lumineuse, caractérise la périodicité temporelle et ne dépend que du milieu :

$$\boxed{\nu = \frac{1}{T}}$$

La longueur d'onde λ_0 dans le vide ou dans l'air et la fréquence ν sont liées par l'expression :

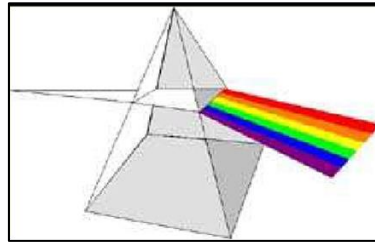
$$\boxed{\lambda_0 = cT = \frac{c}{\nu}}$$

Remarque : la diffraction d'une onde par une ouverture se manifeste lorsque les dimensions de celle-ci sont de l'ordre de la longueur d'onde.

III. Couleur et longueur d'onde

1. LUMIERE POLYCHROMATIQUE

La lumière blanche peut être décomposée à l'aide d'un prisme en plusieurs lumières colorées. La lumière blanche est polychromatique (constituée de plusieurs couleurs).



2. LUMIERE MONOCHROMATIQUE

Définition : On appelle lumière monochromatique une onde électromagnétique progressive sinusoïdale de fréquence donnée. La couleur de cette lumière est liée à la valeur de sa fréquence.

3. LUMIERE VISIBLE

Définition : On appelle lumière une onde électromagnétique visible par l'oeil humain.

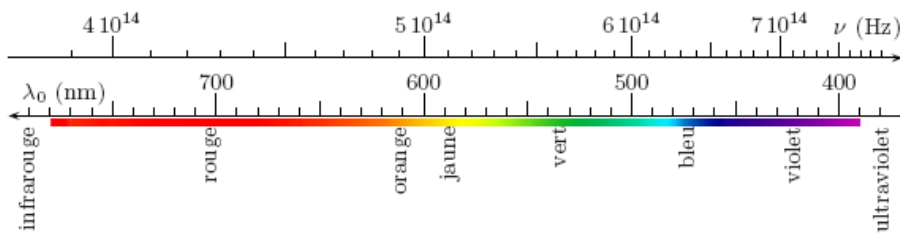
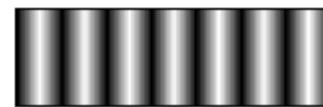
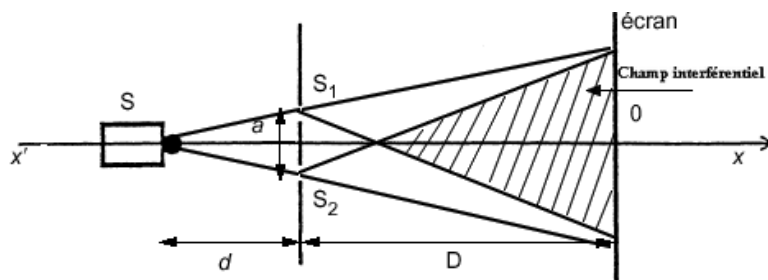


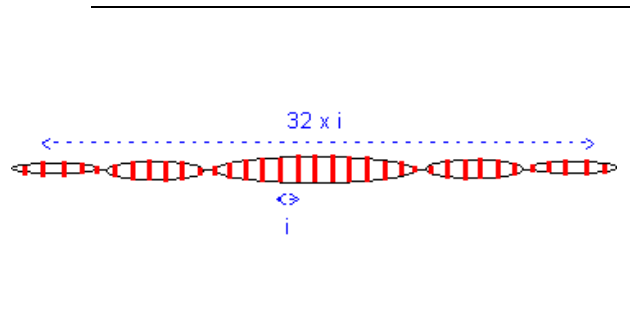
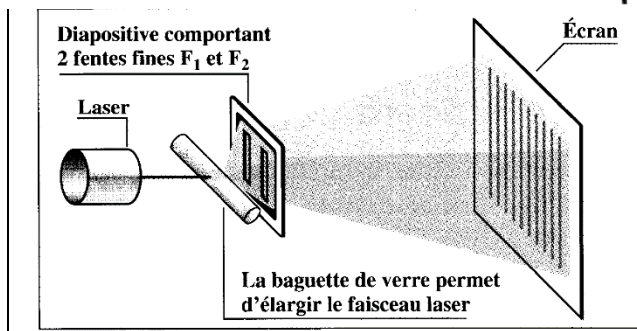
FIG. 1.1 – Fréquences et longueurs d'onde dans le vide de la lumière.

IV. Interférences lumineuses : Expérience de la double fente de Young

1. MISE EN EVIDENCE DES INTERFERENCES LUMINEUSES



Aspect de l'écran dans l'écran d'Young



2. OBSERVATIONS

On observe sur l'écran E une tâche de diffraction striée de fines bandes sombres (ou franges) rectilignes, parallèles, équidistantes et de direction normale à la direction S_1S_2 . L'ensemble des franges alternativement claires et sombres constituent des franges d'interférences.

3. INTERPRETATION THEORIQUE

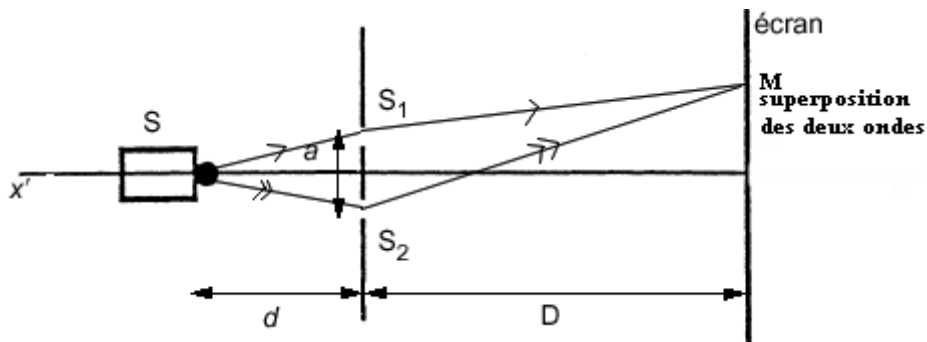
Pour expliquer les résultats de l'expérience, il faut considérer le caractère ondulatoire de la lumière

☞ Interférences constructives et destructives

En un point M d'une frange brillante se superposent les ondes lumineuses issues des fentes S_1 et S_2 , arrivant en phase : les interférences sont *constructives*.

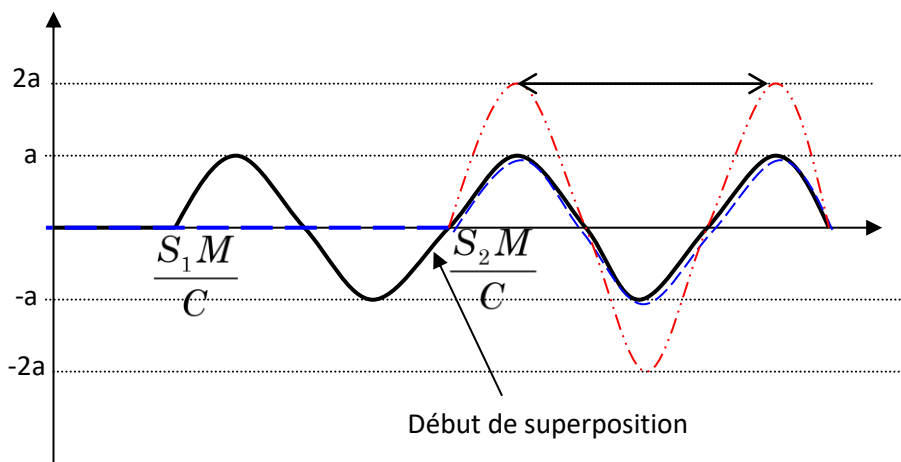
En un point M d'une frange sombre se superposent les ondes lumineuses issues des fentes S_1 et S_2 , arrivant en opposition de phase : les interférences sont *destructives*.

☞ Différence de marche : ordre d'interférence



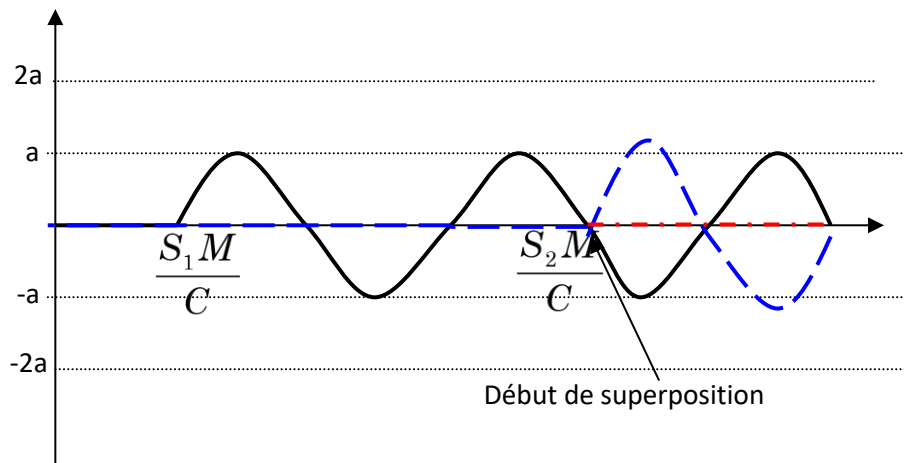
La différence de marche δ des ondes issues de S_1 et S_2 au point d'observation M est :

$$\delta = (SS_2 + S_2M) - (SS_1 + S_1M) \text{ or } SS_1 = SS_2, \text{ alors } \boxed{\delta = S_2M - S_1M}$$



$$(\Delta t)_m = \frac{S_2M}{C} - \frac{S_1M}{C} = kT \Rightarrow (S_2M) - (S_1M) = k\lambda \text{ avec } k \text{ un entier quelconque (ordre d'interférence)}$$

$$\boxed{\text{En un point brillant : } \delta = k\lambda \text{ avec } k=0, 1, 2, \dots}$$



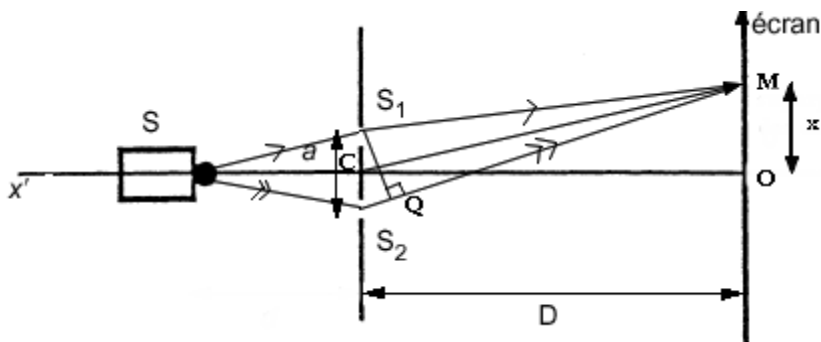
$$(\Delta t)_m = \frac{S_2M}{C} - \frac{S_1M}{C} = kT + \frac{T}{2} \Rightarrow (S_2M) - (S_1M) = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda \text{ avec } k \text{ ordre d'interférence}$$

$$\text{En un point sombre } \delta = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

$$\text{En résumé : } \begin{cases} \delta = k\lambda \Rightarrow \text{frange claire} \\ \delta = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda \Rightarrow \text{frange sombre} \end{cases}$$

☞ Position des franges sombres et claires

Première méthode:



On a $S_1M = QM$ et $\delta = S_2Q$

Les angles $\widehat{S_2S_1Q} = \widehat{OCM}$ sont égaux. Puisque les angles sont petits, on a

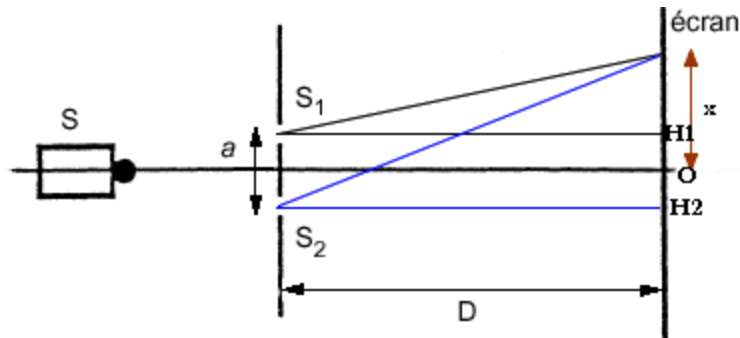
$$\sin(\widehat{S_2S_1Q}) = \tan(\widehat{OCM})$$

approximativement $\frac{\delta}{a} = \frac{x}{D} \Rightarrow \delta = \frac{xa}{D}$

$$\delta = \frac{ax}{D} = k\lambda \Rightarrow x = \frac{k\lambda D}{a} \text{ pour les franges claires}$$

$$\delta = \frac{ax}{D} = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda \Rightarrow x = \frac{\left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda D}{a} \text{ pour les franges sombres}$$

Deuxième méthode



$\delta = S_2M - S_1M$ En appliquant le théorème de Pythagore dans les triangles S_1MH_1 et S_2MH_2 on a :

$$(S_2M)^2 = S_2H_2^2 + H_2M^2 = D^2 + \left(x + \frac{a}{2}\right)^2 \text{ et } (S_1M)^2 = S_1H_1^2 + H_1M^2 = D^2 + \left(x - \frac{a}{2}\right)^2$$

$$(S_2M)^2 - (S_1M)^2 = \left(x + \frac{a}{2}\right)^2 - \left(x - \frac{a}{2}\right)^2 = 2ax$$

Les distances S_1M et S_2M étant voisines de D (car $D \gg a$ et $D \gg x$) \Rightarrow

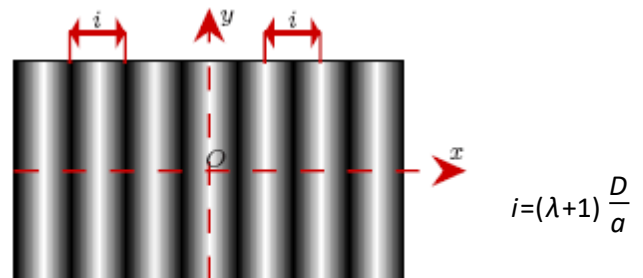
$$(S_2M)^2 - (S_1M)^2 = (S_2M - S_1M)(S_2M + S_1M) \Rightarrow (S_2M - S_1M) = \frac{(S_2M)^2 - (S_1M)^2}{(S_2M + S_1M)}$$

$$(S_2M - S_1M) = \frac{2ax}{2D} = \frac{ax}{D} = \delta \Rightarrow \boxed{\delta = \frac{ax}{D}}$$

Interfranges

La distance i entre les milieux de deux franges brillantes consécutives est la même qu'entre deux franges sombres consécutives: cette distance est appelée interfrange.

$$-\lambda \frac{D}{a} = \lambda \frac{D}{a} \Rightarrow \boxed{i = \lambda \frac{D}{a}}$$



Conditions d'interférence

Pour obtenir des interférences lumineuses, les sources doivent être mutuellement cohérentes. Pour cela les sources doivent obéir à deux conditions:

- elles doivent être synchrones, c'est-à-dire avoir la même fréquence et la même amplitude
- elles doivent présenter entre elles un déphasage constant.

Ordre d'interférence

L'ordre d'interférence en un point M de l'écran où la différence de marche δ est définie par :

$$p = \frac{\delta}{\lambda} \text{ où } \lambda \text{ est la longueur d'onde de la radiation.}$$

- Si le point M est le milieu d'une frange brillante, on a alors :

$$p = \frac{\delta}{\lambda} \text{ or } \delta = k\lambda \Leftrightarrow p = \frac{\delta}{\lambda} = k : \text{ Les franges brillantes ont un ordre d'interférence entier.}$$

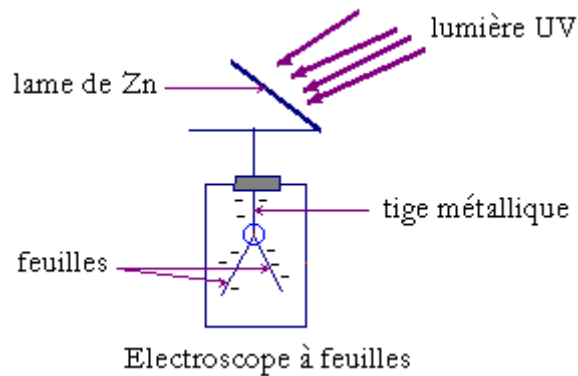
- Si le point M est le milieu d'une frange sombre on a alors :

$$p = \frac{\delta}{\lambda} \text{ or } \delta = \frac{(2k+1)\lambda}{2} \Leftrightarrow p = \frac{\delta}{\lambda} = k + \frac{1}{2} : \text{ Les franges sombres ont un ordre d'interférence demi-entier.}$$

Effet photoélectrique

I. Mise en évidence de l'effet électrique

1. EXPERIENCE DE HERTZ (1887)



On envoie un faisceau de lumière riche en rayons ultraviolet sur une lame de zinc reliée à un électroscope initialement chargé, on constate que:

- Si l'électroscope est chargé positivement: il ne se passe rien (les feuilles restent écartées)
- Si l'électroscope est chargé négativement il se décharge (les feuilles retombent): l'électroscope se décharge.
- Si on interpose sur le trajet de la lumière une lame de verre le phénomène ne se produit plus.

2. ANALYSE DE L'EXPERIENCE

Lorsque la lame de zinc et le plateau de l'électroscope sont chargés négativement, ils portent un excédent d'électrons. Quand la lame est exposée à la lumière, des électrons sont arrachés du métal: c'est l'effet photoélectrique.

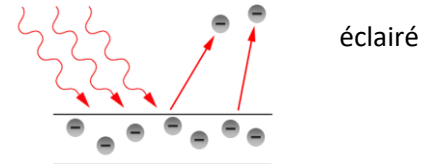
- si l'électroscope est chargé \oplus on peut considérer que les électrons extraits sont réattirés par la lame.

- Si l'électroscope est chargé négativement, les électrons extraits sont repoussés par la lame qui se charge \oplus . Les charges négatives portées par l'électroscope viennent neutraliser les charges positives de la lame donc l'électroscope se décharge et les feuilles tombent.
- L'électroscope est chargé négativement, si on intercale une lame de verre sur le trajet de la lumière, celui-ci ne se décharge pas car le verre absorbe le rayonnement ultraviolet : l'électroscope ne se décharge plus même après une illumination prolongée. Seules certaines radiations sont capables de provoquer dans le cas du zinc l'émission d'électrons.

3. CONCLUSION

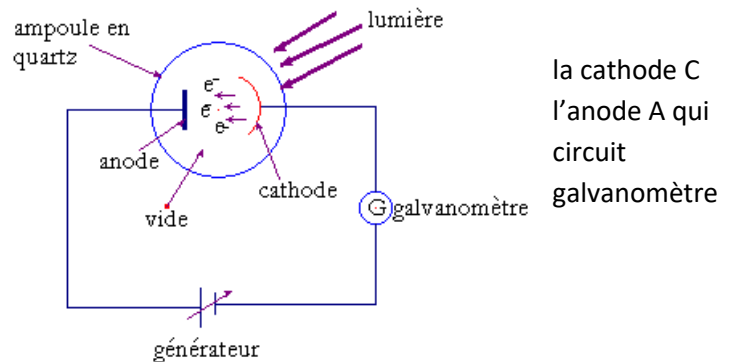
La lumière, éclairant la plaque de zinc, permet d'extraire des électrons du métal : c'est l'effet photoélectrique. L'effet photoélectrique est une interaction entre un photon et un électron.

L'effet photoélectrique est l'émission d'électrons par un métal lorsqu'il est par une lumière convenable.



4. CAS DE LA CELLULE PHOTOELECTRIQUE

Lorsqu'elle est éclairée par une lumière convenable émet des électrons. Ces électrons sont captés par est porté à un potentiel positif. Il en résulte dans le extérieur un courant de faible intensité décelé par le G.



II. Interprétation de l'effet photoélectrique

1. HYPOTHESE D'EINSTEIN

Pour extraire un électron dans un métal il faut fournir de l'énergie appelée énergie d'extraction. Einstein interprète l'effet photoélectrique en formulant les hypothèses (ou postulats) suivantes.

- la lumière est constituée par un ensemble de corpuscules, appelés photons, transportant chacun un quantum (des quanta) d'énergie.
- Un photon a une charge nulle et une masse nulle; il se déplace à la vitesse de la lumière, soit $C \approx 3.10^8 \text{m/s}$ dans le vide.
- Chaque photon d'un rayonnement monochromatique de fréquence ν transporte un quantum d'énergie:

$$E = h \cdot \nu = \frac{hC}{\lambda}$$
avec h la constante de Planck ($h = 6,623.10^{-34} \text{ Js}$), C la vitesse de lumière dans le vide (en m/s) et λ la longueur d'onde dans le vide (en m). E s'exprime en joule (J).
- L'effet photoélectrique correspond à l'interaction (choc) entre un photon incident et un électron du métal avec transfert de l'énergie du photon à l'électron extrait.

2. SEUIL PHOTOELECTRIQUE

L'effet photoélectrique ne se produit que si l'énergie du photon incident $E = h\nu$ est supérieure au travail d'extraction W_0 d'un électron du métal. ($W_0 = h\nu_0$ énergie d'extraction qui ne dépend que de la nature du métal).

ν_0 est la fréquence seuil ($\nu_0 = \frac{c}{\lambda_0}$, λ_0 la longueur d'onde seuil).

- si l'énergie du photon n'est pas suffisante ($\nu < \nu_0$ ou $\lambda > \lambda_0$), le photon réfléchi et l'électron n'est pas éjecté du métal.
- si l'énergie du photon est suffisante ($\nu > \nu_0$ ou $\lambda < \lambda_0$), toute l'énergie du photon est cédée à l'électron qui sort du métal avec une vitesse d'éjection souvent non nulle.

Évaluons la vitesse d'éjection des électrons de l'atome. Soit E_c l'énergie cinétique des électrons.

$$E_c = E - W_0 = h(\nu - \nu_0) = hc \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right)$$

$$\frac{1}{2} m (v_{max})^2 = h(\nu - \nu_0) = hc \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right)$$

m est la masse d'un électron: $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg.

Travail d'extraction de certains métaux

Métal	ϕ (eV)
Na	2,28
Al	4,08
Cu	4,70
Zn	4,31
Ag	4,73
Pt	6,35
Pb	4,14
Fe	4,50

est