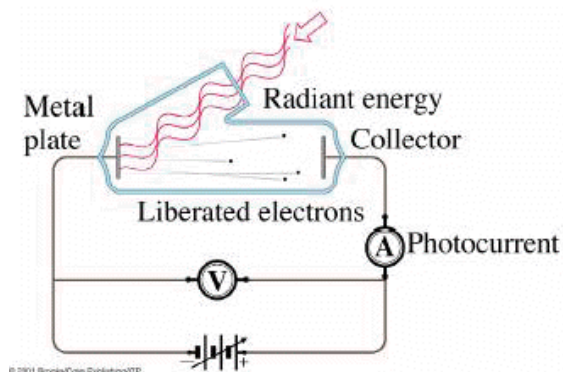
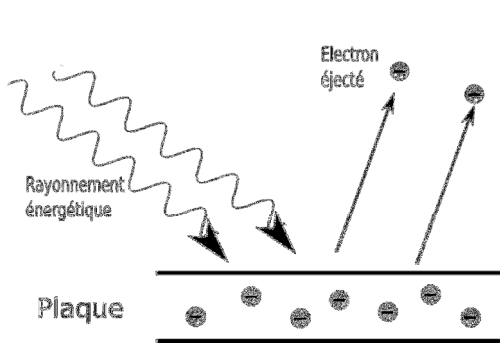


a) l'effet photoélectrique

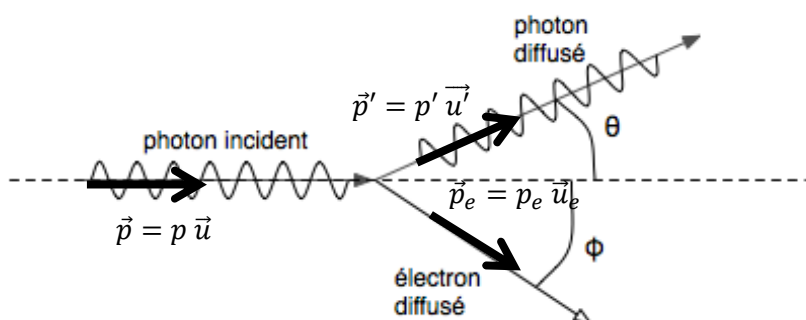
Emission d'électron à partir d'une électrode métallique éclairée par un rayonnement ultra-violet ou du domaine visible.



b) l'effet Compton

Diffusion lumineuse classique : rayonnement de même fréquence que l'onde incidente

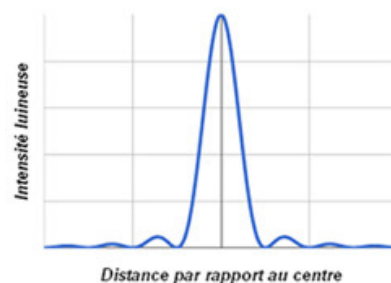
Effet Compton : un rayonnement diffusé, mais avec une fréquence différente de celle de l'onde incidente.



Diffusion Compton: Collision d'un photon avec un électron au repos

Diffraction par une ouverture

circulaire :

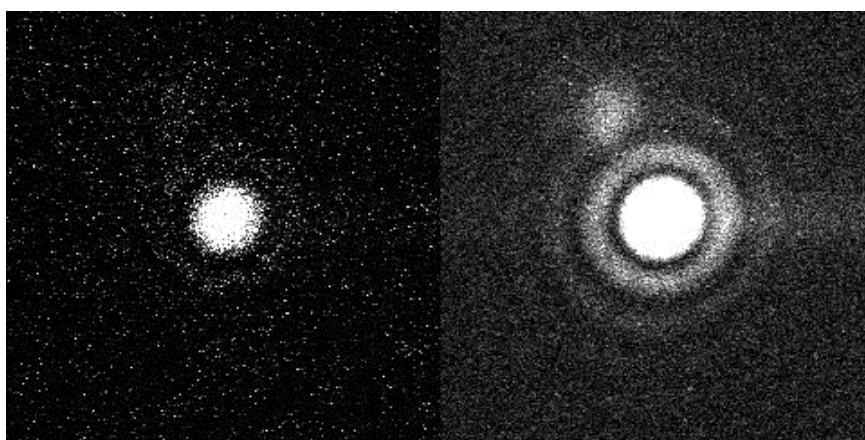


Diffraction par une ouverture circulaire :

expérience avec photons uniques. (figure de droite)

Cette propriété est observable dans le cas de photon uniques, émis successivement et indépendamment les uns des autres.

L'exemple ci-contre est démonstratif. Chaque point lumineux des images ci-dessous correspond à l'enregistrement d'un photon unique.



L'image de droite est la somme de 50 expositions très faibles d'un trou circulaire éclairé par des photons uniques monochromes. On observe la structure classique de la tache d'Airy, telle qu'elle apparaît pour une exposition de la même pupille circulaire à un flux lumineux.

Interférences.

Interférences par les fentes d'Young.

Expérience classique. Les fentes sont éclairées par un laser hélium-néon ($\lambda = 633 \text{ nm}$).

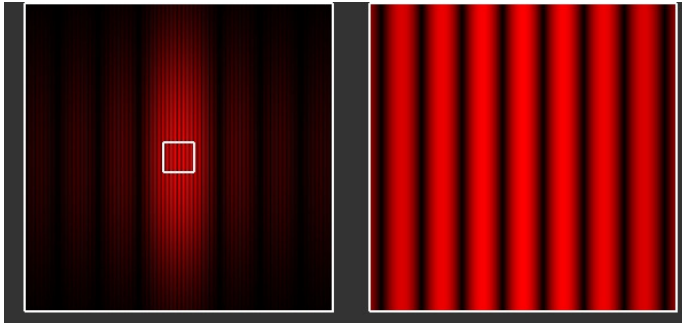
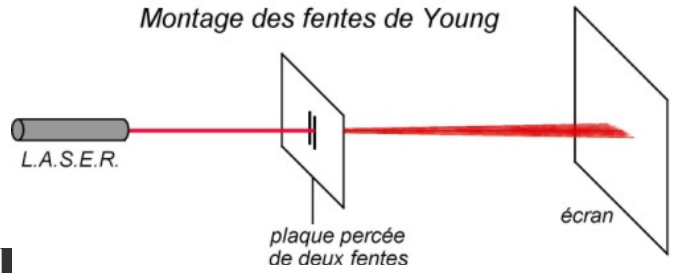
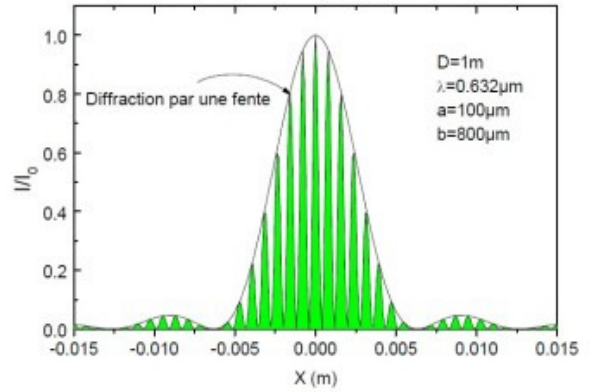
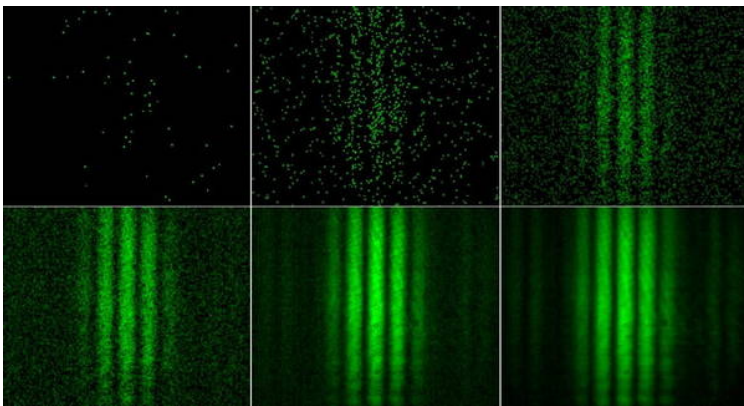


figure d'interférence par fentes de Young

Grossissement de la zone encadrée



Expérience d'interférences à partir d'une source de photons uniques.



Voir fichier animation (film en format .avi)

Le film montre la diffraction des photons individuels d'une double fente enregistrée par une seule caméra d'imagerie photonique (intensificateur d'image + caméra CCD).

Les événements des particules individuelles, émis par une source de photons uniques, s'accroissent pour obtenir finalement la figure d'interférence que l'on obtient usuellement sur l'expérience des fentes de Young.

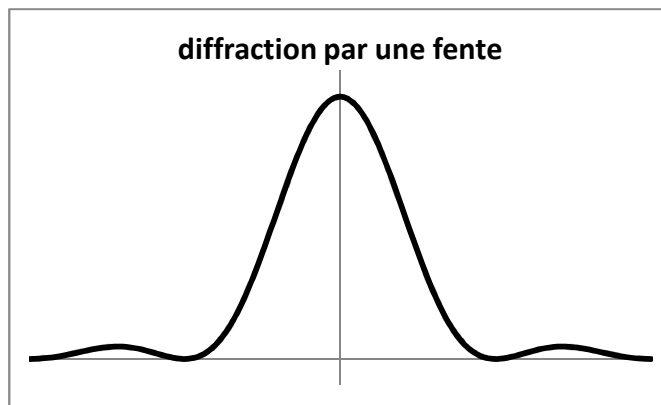
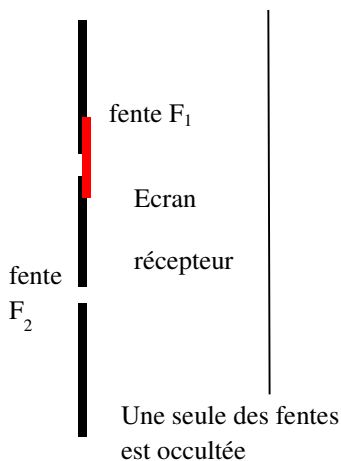
(Enregistrement par A. Weis, Université de Fribourg, photographies extraites).

Interprétation :

Diffraction par une seule fente :

l'onde de probabilité est diffractée

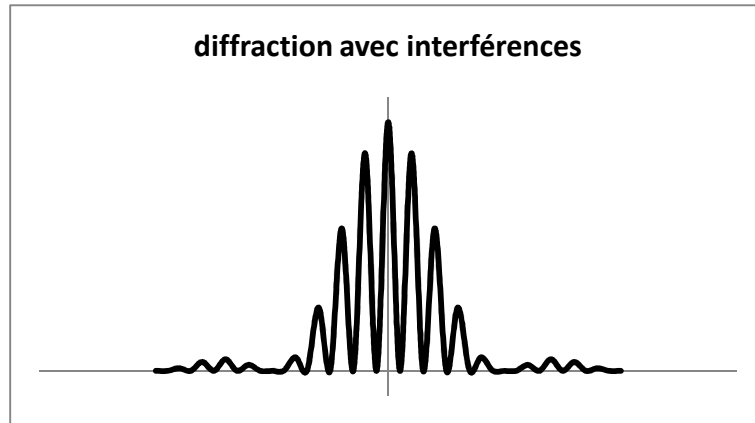
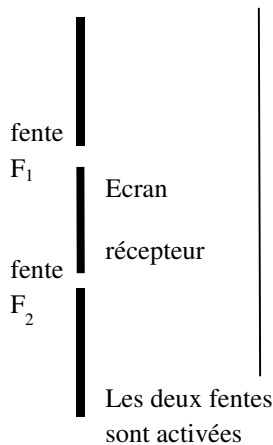
$$p(M) = |\psi_1(M,t)|^2 \text{ ou } p(M) = |\psi_2(M,t)|^2$$



Diffraction par deux fentes :

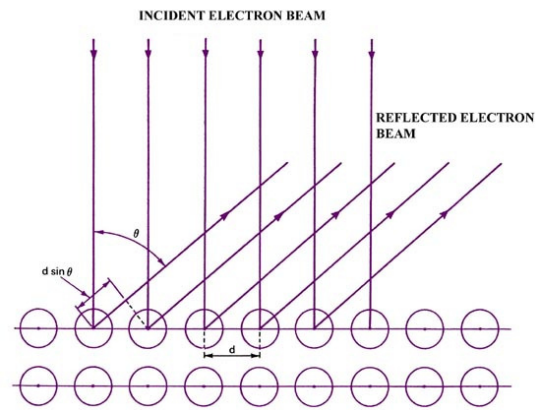
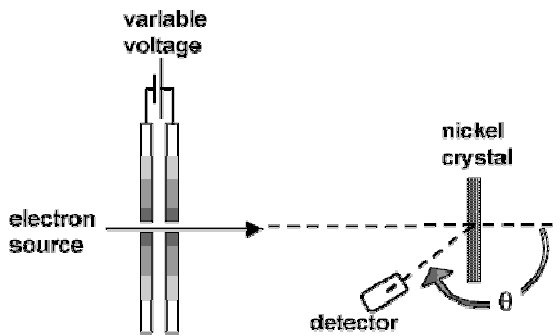
l'onde de probabilité est diffractée par les deux fentes et les ondes viennent interférer entre elles sur l'écran.

$$p(M) = |\psi_1(M,t) + \psi_2(M,t)|^2 \neq |\psi_1(M,t)|^2 + |\psi_2(M,t)|^2 \quad \text{soit} \quad p(M) \neq p_1(M) + p_2(M)$$



Interférences pour des ondes de matière :

Expérience de Davisson et Germer (1927)



Trois ans après que de Broglie ait affirmé que les particules de matière pourraient posséder des propriétés ondulatoires, la diffraction des électrons de la surface d'un cristal solide a été observé expérimentalement par CJ Davisson et LH Germer du Laboratoire de l'entreprise Bell.

En 1927, ils publient leurs recherches sur la distribution angulaire des électrons diffusés à partir de nickel. Avec une analyse minutieuse, ils ont montré que le faisceau d'électrons a été diffusé par les atomes de surface sur le nickel dans les angles exacts prévus pour la diffraction de rayons X selon la formule de Bragg (« formule des réseaux »), avec une longueur d'onde donnée par l'équation de Broglie, $\lambda = h/mv$. La figure de diffraction obtenue a des proportions identiques à celle formée par une exposition du même monocristal à des rayons X.

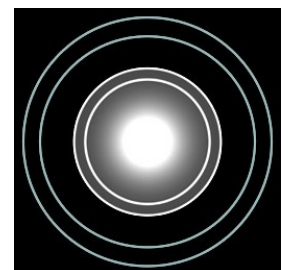
L'expérience a permis de conclure quant à l'existence d'ondes de matières. Elle a aussi permis de mesurer la longueur d'onde des rayons X, par comparaison.



Toujours en 1927, GP Thomson, le fils de J.J. Thomson, publie le résultat d'expériences dans lequel un faisceau d'électrons énergétiques a été diffractée par une feuille mince.

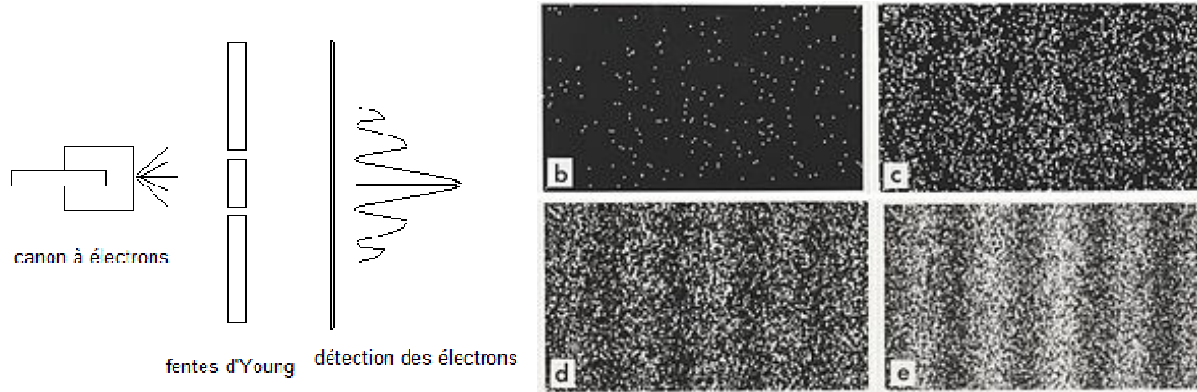
Thomson a obtenu des images qui ressemblent à celles réalisées par la diffraction de rayons X sur des échantillons à base de poudre (poly-cristallins). Ce genre de diffraction, par de nombreux grains cristallins orientés au hasard, produit des anneaux.

Si la longueur d'onde des électrons est modifiée en changeant leur énergie incidente, les diamètres des anneaux de diffraction changent proportionnellement à celle-ci, comme prévu à partir de la relation de Bragg et en accord avec la relation de de Broglie.



Interférence pour des électrons uniques :

expérience de Tonomura

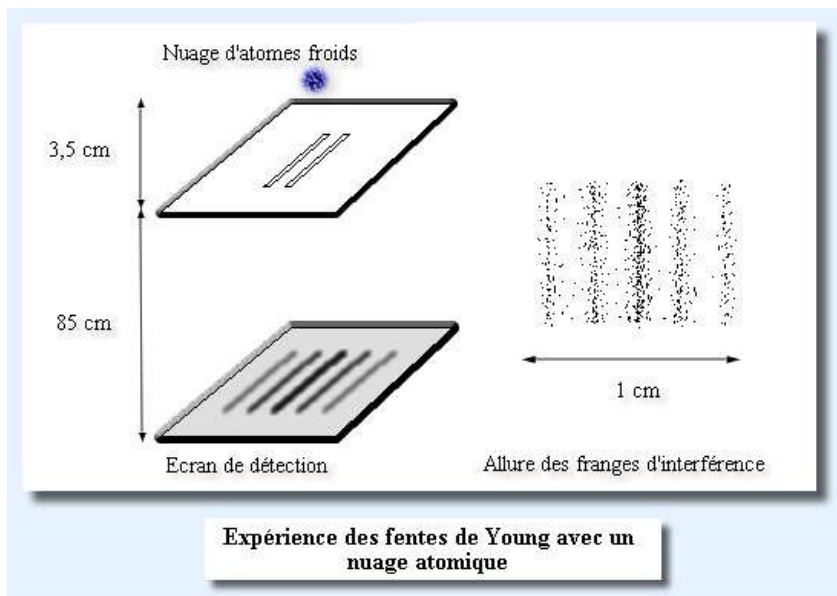


Résultats d'une expérience montrant à la fois la nature corpusculaire et ondulatoire des électrons grâce à un instrument équivalent aux fentes de Young. Au début de l'expérience (b), des petites taches montrent les endroits où des électrons ont frappé l'écran noir.

Lorsque le nombre d'électrons est suffisamment élevé (d et e), les franges apparaissent. Le nombre d'électrons dans les photos est d'environ :

(b) 200, (c) 6 000, (d) 40 000 (e) 140 000

Interférences d'atomes :



Expérience d'interférences atomiques réalisée en 1992 par une équipe japonaise de l'université de Tokyo (Shimizu et collaborateurs).

Les atomes, immobilisés et refroidis, sont lâchés au-dessus des fentes ; ils tombent jusqu'à l'écran de détection, où chaque point noir correspond à l'impact d'un atome.

La densité des impacts dessine une alternance de bandes sombres et claires : les franges d'interférence. La densité en un point de l'écran est proportionnelle à la probabilité qu'un atome se retrouve en ce point.

Cette probabilité est elle-même proportionnelle au module carré $|\psi_1 + \psi_2|^2$ de la somme des amplitudes ψ_1 et ψ_2 des deux ondes atomiques (ondes de probabilité) évaluées en ce point.