

MICROSCOPE ÉLECTRONIQUE



Capacité(s) contextualisée(s) mise(s) en jeu durant l'activité :

- ✓ Savoir que la lumière présente des aspects ondulatoire et particulaire.
- ✓ Extraire et exploiter des informations sur les ondes de matière et sur la dualité onde-particule.
- ✓ Extraire et exploiter des informations sur les phénomènes quantiques pour mettre en évidence leur aspect probabiliste.
- ✓ Connaître et utiliser la relation $p = h/\lambda$.
- ✓ Identifier des situations physiques où le caractère ondulatoire de la matière est significatif.
- ✓ Extraire et exploiter des informations sur un dispositif expérimental permettant de visualiser les atomes et les molécules.
- ✓ Savoir que l'importance du phénomène de diffraction est liée au rapport de la longueur d'onde aux dimensions de l'ouverture ou de l'obstacle.
- ✓ Identifier les situations physiques où il est pertinent de prendre en compte le phénomène de diffraction.

But

- Découvrir la notion d'ondes de matière et une application avec le microscope électronique.



Problème

(analyser, réaliser, valider, communiquer)



Les microscopes électroniques ont un plus grand pouvoir de résolution que les microscopes optiques et peuvent obtenir des grossissements beaucoup plus élevés allant jusqu'à 2 millions de fois, alors que les meilleurs microscopes optiques sont limités à grossissement de 2000 fois.

A l'aide des documents suivants et de vos connaissances, rédiger un paragraphe argumenté montrant, calculs à l'appui, pourquoi les microscopes électroniques possèdent une meilleure résolution et donc un grossissement plus élevé que les microscopes optiques.

Documents



Doc. 1 : Le microscope électronique

Un microscope électronique est un type de microscope qui utilise un faisceau de particules d'électrons pour illuminer un échantillon et en créer une image très agrandie alors que les microscopes optiques utilisent des rayonnements électromagnétiques. Ces deux types de microscopes ont une résolution limite, imposée par la longueur d'onde du rayonnement qu'ils utilisent.

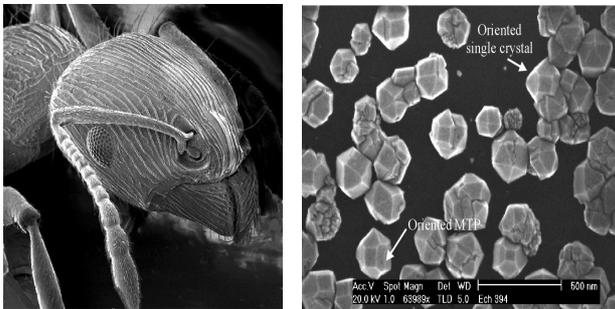
Le microscope électronique utilise des lentilles électrostatiques et électromagnétiques pour former l'image en contrôlant le faisceau d'électrons et le faire converger sur un plan particulier par rapport à l'échantillon. Ce mode est similaire à la façon dont un microscope optique utilise des lentilles en verre pour converger la lumière sur ou au travers de l'échantillon pour former une image.

Il existe deux types de microscopes électroniques :

- les microscopes électroniques en transmission (MET)
- les microscopes électroniques à balayage (MEB)

Données :

- masse d'un électron : $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg
- vitesse d'un électron dans un MEB : $v_e = 6,0 \cdot 10^7$ m.s⁻¹



Tête de fourmi et cristaux de diamant visualisés au MEB

Source : [Wikipédia](https://fr.wikipedia.org)



Doc. 2 : Résolution d'un microscope

La résolution d'un microscope désigne sa capacité à séparer des détails très voisins, elle est limitée par le phénomène de diffraction. En effet, à cause de la diffraction, l'image d'un point n'est pas un point, mais une tache. Ainsi, deux points voisins séparés sont observés comme deux taches dont le recouvrement peut empêcher de les distinguer nettement.

On appelle limite de résolution la plus petite distance, notée d , en dessous de laquelle deux points voisins ne seront plus distingués par le microscope. Cette limite étant proportionnelle à la longueur d'onde λ de la lumière utilisée, il suffit de diminuer λ pour diminuer d .

Doc.3 : Découverte de la dualité onde-particule

Louis de Broglie (1892-1987)



Physicien et mathématicien français.

Sa thèse, soutenue en 1924, lui valut le prix Nobel de physique en 1929 pour la découverte de la nature ondulatoire de l'électron. Elle eut des répercussions technologiques gigantesques. Pourtant, il était théoricien et se plaignait parfois : « les expérimentateurs peu au courant de mes idées hésitent à se lancer dans des expériences difficiles dont le résultat leur paraît incertain ».

« D'après Einstein, [...] La masse et l'énergie sont toujours reliées l'une à l'autre par la relation générale : énergie = masse c^2

[...] Il nous semble que l'idée fondamentale de la théorie des quanta soit l'impossibilité d'envisager une quantité isolée d'énergie sans y associer une certaine fréquence. Cette liaison s'exprime par ce que j'appellerai la relation du quantum : énergie = $h \times$ fréquence.

On peut donc concevoir que par suite d'une grande loi de la Nature, à chaque morceau d'énergie de masse propre m_0 soit lié un phénomène périodique de fréquence ν_0 telle que l'on ait : $h\nu_0 = m_0c^2$. » (p.32-33)

« Les trajectoires dynamiquement possibles [de la particule] sont identiques aux rayons possibles de l'onde. »(p.56) « Si les vitesses sont assez faibles pour permettre de négliger les termes de Relativité, la longueur d'onde liée au mouvement d'une molécule dont la vitesse est v , sera : $\lambda = \frac{h}{m_0 v}$ » (p.111)

Extraits de la thèse Recherches sur la théorie des quanta de Louis de Broglie (1924)

Doc.4 : La constante de Planck

En physique, la constante de Planck, notée h , est utilisée pour décrire la taille des quanta. Nommée d'après le physicien Max Planck, cette constante joue un rôle central dans la mécanique quantique. Elle relie notamment l'énergie d'un photon (E) à sa fréquence ν (lettre grecque nu) : $E = h \cdot \nu$.

Dans les unités du système international, sa valeur est :

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

Source : [Wikipédia](#)



Doc.5 : Expérience des fentes d'Young

Une des manières les plus claires de mettre en évidence la dualité onde-particule est l'expérience des fentes de Young. Cette expérience est connue depuis le XIXe siècle, où elle a d'abord mis clairement en évidence l'aspect purement ondulatoire de la lumière. Modifiée de manière adéquate, elle peut démontrer de manière spectaculaire la dualité onde-corpuscule non seulement de la lumière, mais aussi de tout autre objet quantique. Dans la description qui suit, il sera question de lumière et de photons mais il ne faut pas perdre de vue qu'elle est également applicable - du moins en principe - à toute autre particule (par exemple des électrons), et même à des atomes et à des molécules.

Le dispositif de cette expérience (**Fig.1**) est relativement simple : une source de lumière éclaire une plaque percée de deux fentes fines. Un capteur sensible à la lumière placé derrière cette plaque nous donne "l'image" de la lumière ayant traversé les fentes. Sur le capteur apparaît donc l'ombre de la plaque.

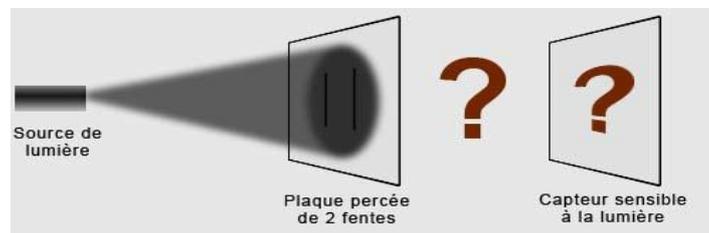
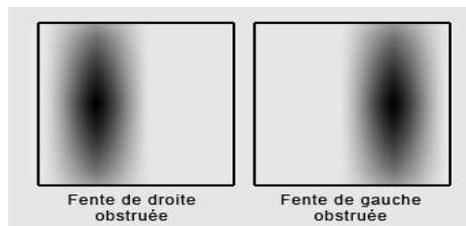


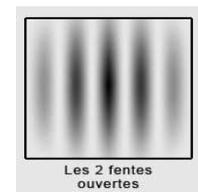
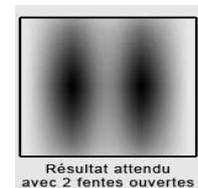
Fig.1 Dispositif des fentes d'Young

Commençons par observer ce que nous obtenons si nous obstruons l'une des fentes :



Nous obtenons donc respectivement l'image floutée de chaque fente (un peu comme les contours d'une ombre qui ne sont jamais parfaitement nets).

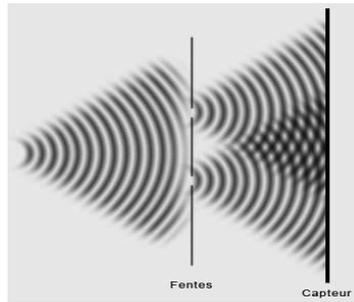
N'obstruons maintenant aucune fente et laissons la lumière passée dans les deux fentes. Notre logique voudrait que nous obtenions comme image la superposition des images obtenues :



Seulement voilà ce que nous obtenons en réalité :

Les raies que nous voyons apparaître sont des franges d'interférence, typiques notamment de deux ondes qui se chevauchent.

L'image ci-dessous schématise et explique ce résultat en considérant la lumière comme une onde.



Que se passe-t-il si on réalise l'expérience d'Young en envoyant un seul photon à la fois ou une seule particule de matière à la fois



En fait, il est possible de diminuer l'intensité lumineuse de la source primaire de manière à ce que la lumière soit émise photon par photon. Le comportement de la lumière devient alors inexplicable sans faire appel à la dualité onde-corpuscule.

En effet, si on remplace la source lumineuse par un canon qui tire des micro-billes à travers les deux fentes (par exemple), donc de "vraies" particules, on n'obtient aucune figure d'interférence, mais simplement une zone plus dense, en face des fentes (comme le résultat attendu précédemment).

Or, dans le cas des photons, on retrouve la figure d'interférence reconstituée petit à petit, à mesure que les photons apparaissent sur la plaque photographique (**Fig.2**). On retrouve donc une figure d'interférence, caractéristique des ondes, en même temps qu'un aspect corpusculaire des impacts sur la plaque photographique.

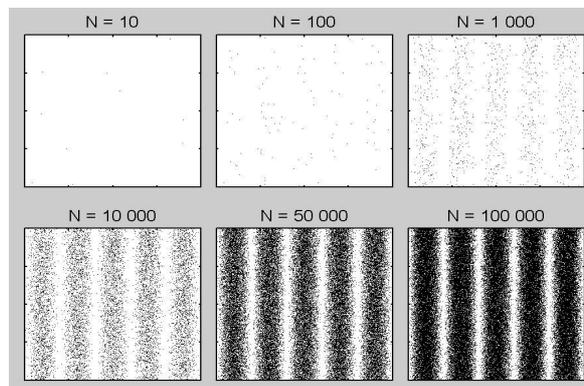


Fig.2 Aspect de la plaque photographique pour N photons

L'interprétation de cette expérience est difficile, car si on considère la lumière comme une onde, alors les points d'impacts sur la plaque photographique sont inexplicables; on devrait voir dans ce cas très faiblement, dès les premiers instants, la figure d'interférence, puis de plus en plus intense. Au contraire, si on considère la lumière comme étant exclusivement composée de particules, alors les impacts sur la plaque photographique s'expliquent aisément, mais la figure d'interférence ne s'explique pas : comment et pourquoi certaines zones seraient privilégiées et d'autres interdites à ces particules ?

Force est donc de constater une dualité onde-particule des photons (ou de tout autre objet quantique), qui présentent simultanément les deux aspects (**Fig.3**).

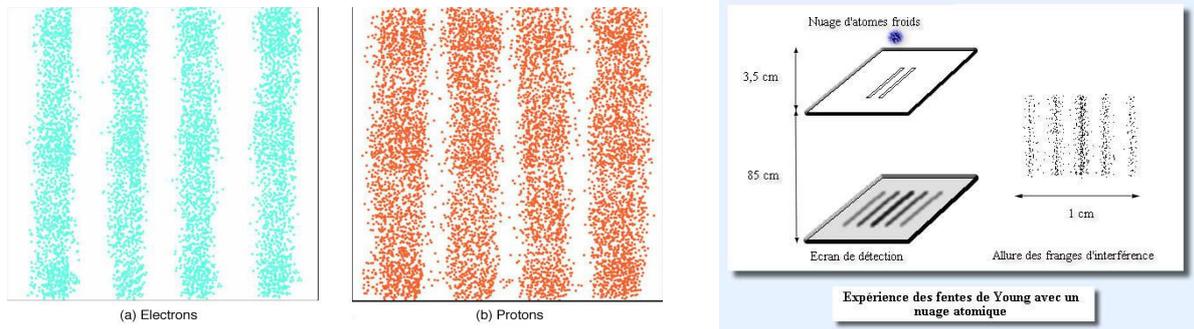


Fig.3 Résultats de l'expérience des fentes d'Young avec des électrons, des protons et des atomes

Sources : <http://particules.lescigales.org/index.php?page=particules>



[Pour les plus curieux...](#)

Les microscopes

http://www.cea.fr/technologies/les_microscopes/