

L'expression « dualité onde-corpuscule » se rapporte, en physique, à un concept qui permet d'expliquer certaines observations liées à l'interaction matière-rayonnement. Selon ce concept, les objets peuvent présenter à la fois des propriétés d'ondes et de corpuscules. La dualité onde-corpuscule est à la base de la mécanique quantique

Depuis Christian Huygens, la lumière est caractérisée par une nature ondulatoire. Elle est définie notamment par une longueur d'onde. Les phénomènes de diffraction et d'interférences s'expliquent très bien ainsi.

Pourtant, Isaac Newton pensait déjà que la lumière était composée de petites particules.

### 1. Echanges d'énergie sous forme de quanta

En 1905, Albert Einstein, réconcilie la théorie de Huygens avec celle de Newton. Il explique l'effet photoélectrique, effet dans lequel la lumière n'agit pas en tant qu'onde mais en tant que particule appelée par la suite « photon ». Ces photons sont des « quanta d'énergie lumineuse » avec des qualités de particules. La physique des quanta (physique quantique) est introduite par Planck en 1900, il postule l'idée originale selon laquelle les échanges d'énergie entre la lumière et la matière ne peuvent se faire que par paquets discontinus, que l'on appelle les quanta.

Einstein postule ensuite que la fréquence  $\nu$  de cette lumière, est liée à l'énergie  $E$  des photons :

$$E = h \cdot \nu$$

où  $h$  est la constante de Planck  $h=6,626 \times 10^{-34}$  J.s.

$\nu$  est le fréquence en Hertz (Hz).

En 1923, Louis de Broglie affirme que toute matière (et pas seulement la lumière) a une nature ondulatoire et généralisa la relation de Planck-Einstein. De Broglie reçoit en 1929 le prix Nobel de physique pour son hypothèse, qui influence profondément la physique de cette époque.

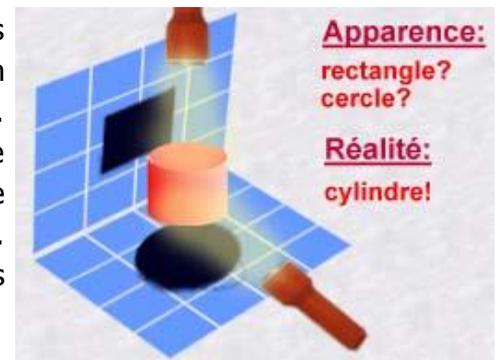
### 2. Dualité onde corpuscule

De ce qui précède, on peut conclure que la physique quantique remet en cause la manière de se représenter les objets physiques et leurs propriétés. La physique classique, distingue deux sortes d'entités fondamentales :

- Les corpuscules, qui sont des sortes de billes microscopiques,
- Les ondes, qui se propagent dans l'espace un peu comme le mouvement d'une vague sur la mer.

La physique quantique ne retient pas cette classification pourtant bien commode. Les objets qu'elle considère ne sont ni des corpuscules, ni des ondes, mais "autre chose". Aidons-nous de l'analogie suivante :

Regardé sous deux angles différents, un cylindre nous apparaît tantôt comme un cercle, tantôt comme un rectangle. Pourtant il n'est ni l'un ni l'autre. Ainsi en est-il du photon, de l'électron ou de toute particule élémentaire dont l'image corpusculaire ne serait qu'une facette d'une entité plus complexe. « Onde » et « particule » sont des manières de voir les choses et non les choses en elles-mêmes.



### 3. Mise en évidence expérimentale de la dualité onde-corpuscule

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. L'expérience consiste à éclairer par une source lumineuse un écran percé de deux fentes très fines et très rapprochées. Ces deux fentes se comportent comme deux sources secondaires d'émission lumineuse. Une plaque photographique est placée derrière l'écran et enregistre la lumière issue des deux fentes (figure 1).

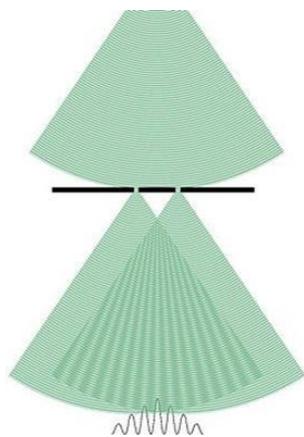


Figure 1 : Schéma de l'expérience.

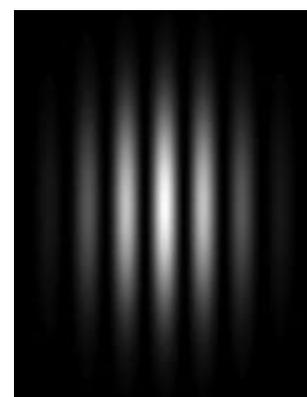


Figure 2 : Figure d'interférences

Ces deux sources interfèrent et forment sur la plaque photographique ce que l'on appelle une figure d'interférences (figure 2). Cette figure est caractéristique d'un comportement ondulatoire de la lumière. Si l'expérience en reste à ce niveau, l'aspect corpusculaire n'apparaît pas.

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 microbilles à travers les deux fentes (par exemple), donc de "vraies" particules, on n'obtient aucune figure d'interférences, mais simplement une zone plus dense, en face des fentes (figure 3).

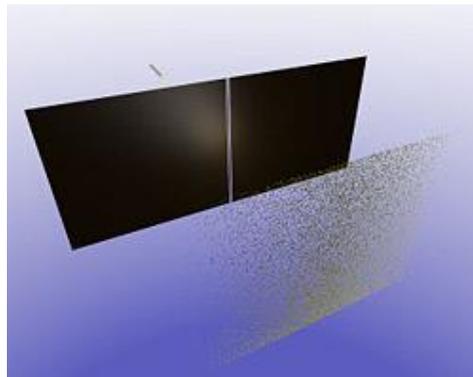


Figure 3 : Expérience avec de "vraies" particules, par exemple des microbilles.

Or, dans le cas des photons, on retrouve la figure d'interférences reconstituée petit à petit, à mesure que les photons apparaissent sur la plaque photographique (figure 4).

On retrouve donc une figure d'interférences, caractéristique des ondes, en même temps qu'un aspect corpusculaire des impacts sur la plaque photographique.

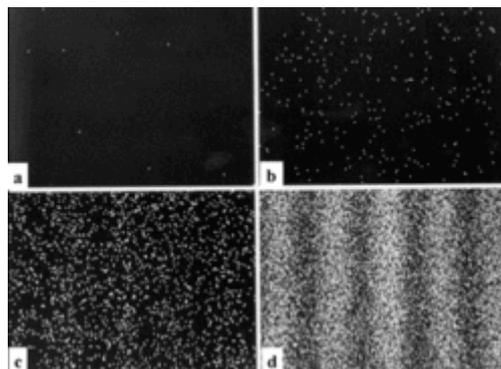


Figure 4 : Figure d'interférence constituée petit à petit

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 de la figure 2, 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.

Inspiré du site internet : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Dualit%C3%A9\\_onde-particule](http://fr.wikipedia.org/wiki/Dualit%C3%A9_onde-particule).

## Questions

1. Quels sont les aspects sous lesquels la lumière peut se manifester ? Donner un exemple dans chaque cas.

2. Einstein explique l'effet photoélectrique en indiquant qu'un photon possède une énergie  $E$  proportionnelle à sa fréquence  $\nu$ . Donner la relation entre ces deux grandeurs. Préciser les unités.

4. Qu'entend-on par « dualité onde-corpuscule » de la lumière ?

5. Comment la dernière expérience proposée met-elle en évidence la dualité onde-corpuscule ?