CHAPITRE II

Propriétés Ondulatoires de la Matière

Dualité onde – corpuscule

La dualité onde-corpuscule est introduite en 1909 par Albert Einstein pour la lumière. À la suite des travaux d'Einstein, de Louis de Broglie et de bien d'autres, les théories scientifiques modernes accordent à tous les objets une double nature d'onde et de corpuscule, bien que ce phénomène ne soit perceptible qu'à l'échelle de l'atome.
Le rayonnement électromagnétique (R.E.M) est tantôt considéré comme continu « interférence, diffraction », tantôt comme particule « corps noir, effet photoélectrique, effet Compton », le R.E.M présent donc une dualité onde – corpuscule.
En 1924 Louis de Broglie affirma que toute matière (et pas seulement la lumière) a une nature ondulatoire. Il associa la quantité de mouvement p d'une particule à une longueur d'onde λ, appelée longueur d'onde de de Broglie

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \qquad \text{(II. 1)}$$

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

Mise en évidence de la dualité

Une des manières les plus claires de mettre en évidence la dualité onde-corpuscule est l'expérience des fentes de Young (figure 1). 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 placée derrière l'écran enregistre la lumière issue des deux fentes. Ces deux sources interfèrent et forment sur la plaque photographique ce que l'on appelle une figure d'interférence. Cette figure est caractéristique d'un comportement ondulatoire de la lumière. 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 "vrais" corpuscules, on n'obtient aucune figure d'interférence, mais simplement une zone plus dense, en face des fentes.

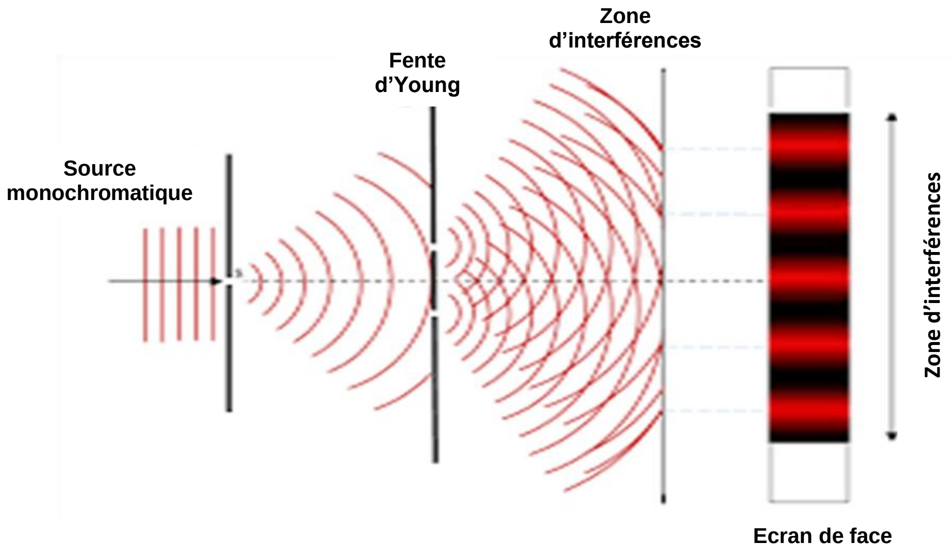

figure 1 : Expérience des fentes de Young, interférence de la lumière.

Expérience de Davisson-Germer

L'expérience de Davisson-Germer a fourni une preuve critique qui confirme l'hypothèse de De Broglie postulant que les particules, comme les électrons, pouvaient se comporter comme des ondes (dualité onde-corpuscule).
En 1927, Clinton Davisson et Lester Germer ont bombardé une cible de nickel cristallin par des électrons lents de 54 électron-volts. La figure de diffraction a été identifiée comme identique à celle des rayons X. Cette expérience prouva la nature ondulatoire de la matière, et compléta l'hypothèse de dualité onde-particule, qui fut une étape fondamentale dans la construction de la théorie quantique.

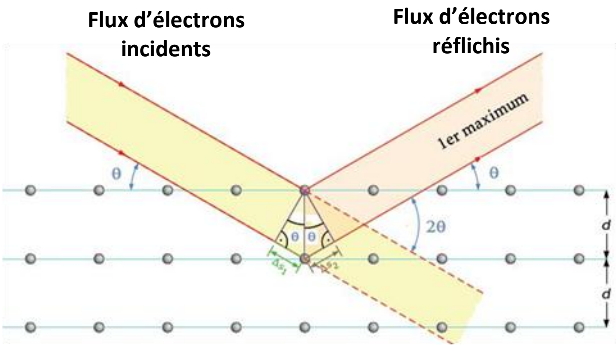

Figure 2 : L'expérience de Davisson-Germer.

Exemples :

1) soit un corps de masse $m = 1\ g$ et de vitesse $v = 10^4$ m/s. Trouver la longueur d'onde associée.

Réponse (1) : On sait que

$$p = mv = 10^{-3}.10^4 = 10\ kg.m/s$$

D'après la relation de ''de Broglie''

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6.62\ .\ 10^{-34}}{10}$$

$$\lambda = 6.62\ .\ 10^{-35}\ m$$

On ne peut jamais mesurer Cette longueur d'onde, l'aspect ondulatoire de ce corps est donc non apparent.

2) Si on prend le même exemple (1), mais pour un électron, sous l'effet d'une tension électrique de $V = 10^4\ volts$.

Réponse (2) :

Sous une tension V, l'électron acquiert une énergie cinétique

$$E_c = \frac{p^2}{2m_e} = e \cdot V$$

Avec ($e = 1{,}6\,.\,10^{-19}$ coulomb , $m_e = 9{,}1\,.\,10^{-31}$ kg) la charge électrique et la masse de l'électron respectivement.

$$E_c = 1{,}6\,.\,10^{-19}.\,10^4 = 1{,}6\,.\,10^{-15}\,Joul$$

De l'autre coté

$$E_c = \frac{p^2}{2m_e} \Longrightarrow p = \sqrt{E_c \cdot 2m_e} = 4\sqrt{2}\,.\,10^{-23}$$

D'après la relation de ''de Broglie''

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6.62\,.\,10^{-34}}{4\sqrt{2}\,.\,10^{-23}}$$

$$\lambda \approx 10^{-11}\,m$$

Ce qui est de l'ordre des longueurs d'ondes des rayons X ($10^{-10} - 10^{-13}$ m).

Expérience de Thomson

Dans cette expérience, Thomson détermine le rapport de la charge à la masse (e/m) des rayons cathodiques en mesurant leur déviation sous l'influence du champ magnétique ainsi que de leur énergie cinétique. Thomson arrive à une conclusion audacieuse : les rayons cathodiques sont composés de « corpuscules » qui proviennent de l'intérieur des atomes des électrodes, Le « corpuscule » découvert par Thomson est l'électron

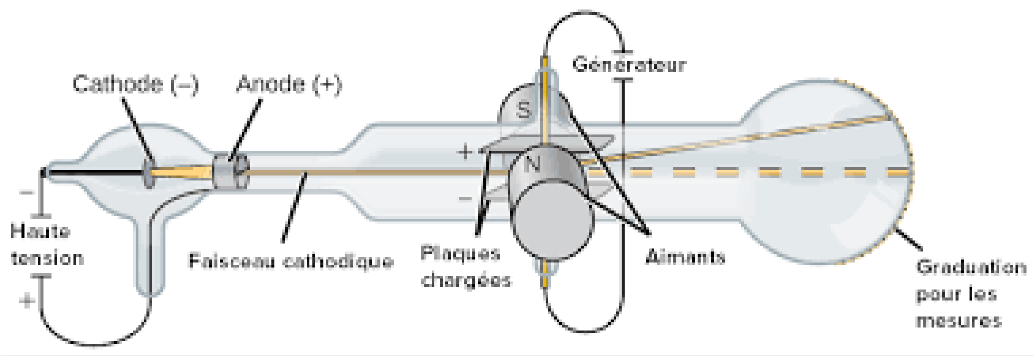

Figure 3 : Tube cathodique de Joseph J. Thomson

Relations d'incertitude de Heisenberg

Le principe d'incertitude est souvent appelé principe d'indétermination, désigne toute inégalité mathématique affirmant qu'il existe une limite fondamentale à la précision avec laquelle il est possible de connaître simultanément deux propriétés physiques d'une même particule ; ces deux variables dites complémentaires peuvent être sa position et sa quantité de mouvement.

Pour déterminer la position précise d'un objet matériel un électron par exemple, il faut mettre un « diaphragme » ou il faut interposer une fente sur le trajet suppose de la particule qui se déplace parallèlement à $\overrightarrow{OY}$ avec une énergie connue. Plus la fente sera étroite, plus l'incertitude sera faible en $\overrightarrow{OX}$, et plus sa position sera connue avec précision.
A couse de la nature ondulatoire de la matière nous savons que la particule sera diffractée au cours de son passage dans la fente; si nous ne somme pas en mesure de dire où elle frappera l'écran nous aurons la certitude qu'elle est passé par la fente. L'incertitude sur p_x peut être rendue aussi petite que l'on veut en augmentant la largeur d de la fente, cependant si d augmente, l'incertitude sur la position augmente aussi.

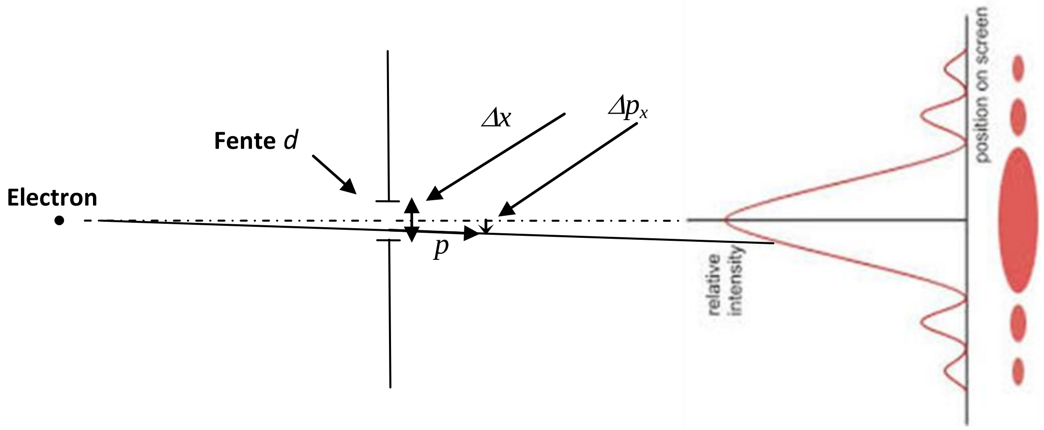

Figure 4 : Diffraction des électrons.

Le principe d'indétermination énonce donc, contrairement à la mécanique classique, que pour une particule donnée, il est impossible de connaître simultanément sa position et sa vitesse exactes selon une formule de proportionnalité.

$$\Delta x . \Delta p_x \geq {}^{\hbar}/_{2} \quad , \qquad \hbar = {}^{h}/_{2\pi} \qquad\qquad (\text{II}.2)$$

Avec Δx et Δp_x l'incertitude sur la position et la quantité de mouvement respectivement.

Lorsque $\Delta x \to \infty$; (Position indéterminé) $\Longrightarrow \Delta p_x \to 0$ (quantité de mouvement bien déterminée)

Lorsque $\Delta x \to 0$; (Position bien déterminé) $\Longrightarrow \Delta p_x \to \infty$ (indéterminé).

Il existe également une relation d'incertitude portant sur l'énergie d'une particule et la variable temps. Ainsi, la durée $\Delta\tau$ nécessaire à la détection d'une particule d'énergie E à ΔE près vérifie la relation :

$$\Delta E.\Delta\tau \geq {}^{\hbar}/_{2} \qquad (\mathrm{II}.3)$$