

L'INDÉTERMINATION DE HEISENBERG

EN QUOI ÇA CONSISTE ?

par Timo Van Neerden

La physique quantique est basée sur des phénomènes aléatoires et sur de nombreuses indéterminations. L'une d'elles est connue sous le nom de **l'indétermination de Heisenberg**.

Par « indétermination » on signifie ici que, quoi qu'on fasse, **la mesure ne peut pas être plus précise que nous l'autorise la physique**. L'indétermination de Heisenberg porte ainsi sur la vitesse (l'impulsion, en fait, qu'on approcherait classiquement par la vitesse) et la position d'une particule dans l'espace. **Les deux ne sont pas mesurables ou connaissables de façon simultanée.**

Pour faire simple, si on connaît la position d'une particule, **alors sa vitesse sera indéterminée** (et indéterminable). À l'inverse, on peut connaître la vitesse de la particule, mais alors ce sera sa position qui sera indéterminée.

Mathématiquement, tout cela revient à dire que l'incertitude sur la position (Δx) et l'incertitude sur la vitesse (sur l'impulsion, Δp) ne peuvent être infiniment petites à la fois :

$$\Delta x \times \Delta p \neq 0$$

En réalité, l'inégalité de Heisenberg est :

$$\Delta x \times \Delta p \geq h/2\pi$$

Où $h/2\pi$ étant une valeur constante.

On voit alors que si l'incertitude sur la position Δx diminue beaucoup, alors l'incertitude sur la vitesse Δp augmente de façon importante afin de satisfaire à l'inégalité. Même chose dans l'autre sens.

À l'origine de l'incertitude d'Heisenberg : la dualité onde-particule

On peut se demander d'où tout ceci peut venir : après-tout, en mécanique classique, si on sait où se trouve notre voiture, **on peut très bien en connaître la vitesse aussi...**

Déjà, on l'a déjà dit mais c'est très important : le monde de la physique des particules ne réagit pas, ou n'est pas descriptible par les mêmes lois que la physique classique. La physique des particules **est sujette à des comportements totalement contre-intuitifs.**

Revenons à l'indétermination de Heisenberg : comment expliquer le fait qu'on ne puisse pas savoir simultanément où se trouve une particule et comment elle se déplace ? On peut expliquer ça avec **la dualité onde-corpuscule de la lumière**.

Au 17ème siècle, Newton pensait déjà que **la lumière était une particule** (comme des petites billes). Pratiquement à la même époque, Huygens pensait au contraire que **la lumière était une onde**. Sa renommée était telle que **ce fut l'explication de Newton qui fut retenue durant plus d'un siècle**.

Il a fallu attendre que Young et d'autres arrivent à **faire interférer deux rayons de lumière et former des figures d'interférences**, comme on peut faire interférer des vagues (des ondes également) à la surface de l'eau, pour contrer la théorie de Newton. Il n'était alors plus question de lumière sous forme de particules, **mais uniquement sous la forme d'ondes**.

On illustre souvent la notion de figures d'interférence avec les ondes que forment des mouvements dans l'eau à la surface d'un étang.

C'est finalement grâce à Einstein, au début du XXe siècle, que la théorie corpusculaire de la lumière fut de nouveau remise sur la table : **Einstein avait montré que la lumière pouvait interagir avec la matière**, par exemple lors de l'effet photoélectrique (les panneaux solaires). Ces phénomènes montrent que la lumière heurte les électrons comme des particules normales.

Alors que faire ?

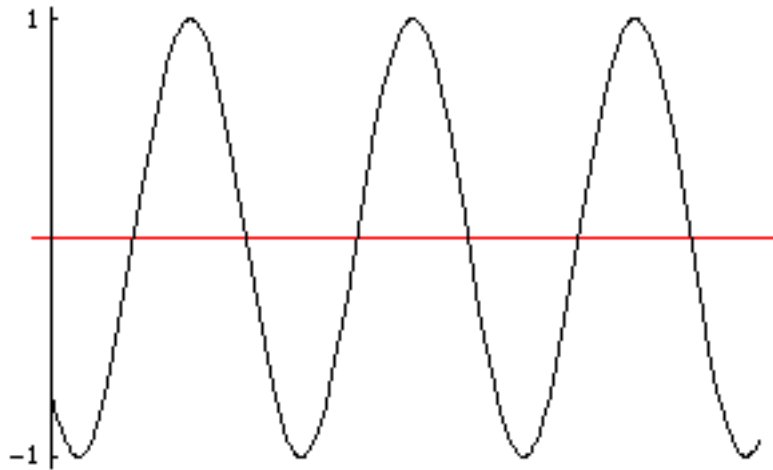
D'un côté, **les expériences de Young étaient la preuve que la lumière était une onde** et de l'autre côté, les travaux d'**Einstein montraient que la lumière était faite de particules** : les photons.

C'est **De Broglie en 1924 qui arrivera à concilier les deux idées** : il montra durant sa thèse que la lumière était quelque chose qui pouvait être soit une onde, soit une particule, selon l'expérience ; et qu'en réalité le photon était quelque chose d'autre qu'il nommera « *paquet d'onde* ». Plus tard, **il montrera que la même chose est vraie pour les électrons**, les atomes et même des molécules entières !

Mais comment c'est possible ? Et en quoi ça m'aide à comprendre l'indétermination de Heisenberg ?

Vous vous souvenez de l'indétermination ? **Elle dit qu'une particule ne peut à la fois livrer sa position et sa vitesse**. Autrement dit, même avec toute la bonne volonté du monde, il vous serait impossible de calculer à la fois la vitesse et la position d'une particule.

Selon De Broglie, une particule peut être soit **une onde** :



Onde progressive (qui se propage)

Soit **un paquet d'onde** (un paquet d'onde représente une particule de manière ondulatoire) :



Un paquet d'onde (qui se déplace)

Posez-vous deux questions :

- **Sur l'onde (image n°1), quelle est sa vitesse de propagation ?** C'est simple : il suffit de voir combien de temps il s'écoule entre deux crêtes, de mesurer la longueur de l'onde, de faire une petite division et on a la vitesse de propagation de l'onde.

- **Sur le paquet d'onde (image n°2), quelle est sa position ?** Facile : le paquet d'onde est à l'endroit où il apparaît sur la courbe, c'est à dire là où le trait n'est pas "plat".

Et maintenant :

- **L'onde (image n°1), où est-elle ?** On ne sait pas : elle est partout.
- **Le paquet d'onde (image n°2), quelle est sa vitesse de propagation ?** On ne sait pas, on ne peut même pas parler de propagation : impossible de mesurer la durée entre deux crêtes, ces dernières ne sont jamais les mêmes en un point donné et finissent même par disparaître !

C'est donc simple : **l'onde possède une vitesse parfaitement définie mais elle est partout**, et le paquet d'onde a une localisation très précise mais a une vitesse vaguement définie (sans mauvais jeu de mot).

Dans la réalité, c'est ce qui se passe c'est **qu'on observe des paquets d'ondes**. En observant un seul paquet d'onde, on observe comme une particule d'énergie (photon) et en observant un flux continu d'énergie (plusieurs paquets d'ondes à la suite, donc collés, donc formant comme une onde « entière ») **on observe une onde**.

Pour résumer

L'indétermination de Heisenberg est liée **au phénomène de dualité onde-particule de la lumière** et le fait qu'il n'est en fait ni l'un ni l'autre mais plutôt un « paquet d'onde ».

Que ce soit la lumière, l'électron ou même un atome entier, **soit il est localisé sans avoir de vitesse précise, soit on ne sait pas trop où il est** mais on peut mesurer sa vitesse (avec sa longueur d'onde) avec une grande précision.