

> prononce comme «de Breuil»), avec ses travaux précurseurs de 1924-1927, et de David Bohm, le physicien américain qui l'a développée dans les années 1950 (voir l'encadré page ci-contre). Appelée aussi théorie de l'onde pilote, ou mécanique bohmienne, la théorie dBB revient à l'actualité et fait l'objet d'actives recherches, à la faveur du renouveau des réflexions sur l'interprétation de la mécanique quantique.

UNE EXPÉRIENCE QUI RÉSUME L'ÉTRANGÉTÉ QUANTIQUE

Avant d'y venir, expliquons quelles difficultés d'interprétation la mécanique quantique soulève. On peut commencer par considérer une expérience simple et exemplaire, celle dite des fentes de Young. Elle consiste à diriger des particules, par exemple des électrons, vers un écran opaque percé de deux fentes parallèles et proches. Après avoir traversé les fentes, les particules sont détectées sur un deuxième écran. On peut envoyer les particules une par une et les détecter une par une, ce qui se traduit par l'accumulation, avec le temps, de points d'impact sur l'écran de détection.

Si, au lieu d'électrons, on envoie sur les fentes des objets plus gros, de petites billes par exemple, ces objets suivront approximativement des lignes droites et formeront donc, en s'accumulant sur l'écran de détection, deux petites taches situées dans le prolongement des deux lignes droites reliant la source d'électrons aux fentes. Or ce n'est pas du tout ce que l'on observe avec des électrons ou d'autres particules très microscopiques : sur l'écran de détection, on voit se former des franges, c'est-à-dire une alternance de régions à densité d'impacts faible et élevée (voir la figure page 38).

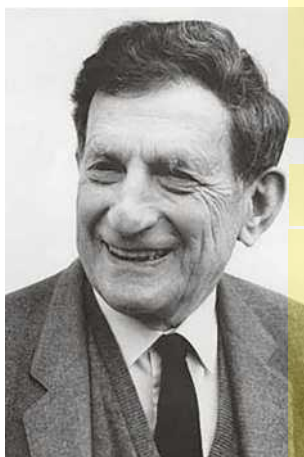
Un tel motif est une figure d'interférence, caractéristique des phénomènes ondulatoires. Par exemple, des vaguelettes se propageant à la surface de l'eau produisent une figure d'interférence similaire – des régions où l'amplitude des vagues est alternativement petite et grande – lorsqu'elles traversent une barrière comportant deux ouvertures proches.

Comment la mécanique quantique rend-elle compte de l'expérience de la double fente ? Elle décrit l'électron comme une onde, représentée mathématiquement par une «fonction d'onde». Comme pour une onde classique, l'onde de l'électron arrive sur les deux fentes, dont chacune devient alors la source d'une onde secondaire, et ce sont les deux ondes secondaires ainsi produites qui interfèrent.

Mais l'analogie avec une onde classique s'arrête là. Alors que l'onde de l'électron qui atteint l'écran de détection s'étale sur une assez grande région, comme avec les vaguelettes à la surface de l'eau, l'électron ne laisse qu'une trace ponctuelle sur l'écran : à ce stade,



Louis de Broglie (1892-1987), physicien français, a émis entre 1924 et 1927 les premières idées selon lesquelles le comportement quantique des particules peut s'expliquer en supposant l'existence d'une onde qui les guide.



L'Américain David Bohm (1917-1992) a développé dans les années 1950 les idées de Louis de Broglie, ce qui a donné la mécanique bohmienne, ou théorie dBB.

il n'est plus du tout étalé. Afin de rendre compte de cette détection très localisée, la mécanique quantique postule que la fonction d'onde subit un effondrement instantané. Autrement dit, quand l'onde de l'électron atteint l'écran de détection, elle se réduit instantanément à quelque chose de très localisé. Cette réduction est censée se produire lors de la mesure et la probabilité d'observer l'impact en un point de l'écran est déterminée par l'amplitude de l'onde en ce point. Plus cette amplitude est élevée au point considéré, plus il est probable que l'onde s'y réduise.

La mécanique quantique explique ainsi la figure d'interférence qui se construit au fil du temps, avec l'accumulation des impacts d'électrons. Il y a toutefois un problème. On a supposé que l'effondrement de l'onde se produit une fois l'écran de détection atteint. Mais est-ce vraiment le cas ? Il se peut aussi que l'effondrement se fasse à un moment ultérieur, par exemple lorsque quelqu'un regarde l'écran. Dans la version orthodoxe de la mécanique quantique, l'effondrement est supposé se produire lors de la mesure. Mais quels processus physiques faut-il exactement pour qu'on puisse parler de «mesure» ? Faut-il que l'appareil de mesure soit d'un type particulier ? Une mesure implique-t-elle nécessairement un observateur humain ? Et cet observateur doit-il être suffisamment qualifié, par exemple titulaire d'un doctorat en physique ? Tant qu'on ne précise pas en quoi consiste exactement une mesure, on ne sait pas exactement quand l'effondrement se produit et les prévisions sont alors ambiguës.

LA MESURE, UN PROBLÈME ÉPINEUX

En 1935, le physicien autrichien Erwin Schrödinger a mis en exergue le problème de la mesure en imaginant un scénario impliquant un chat. Cette expérience de pensée aujourd'hui célèbre consiste à placer un chat bien vivant dans une boîte contenant un atome radioactif et un dispositif qui, si l'atome se désintègre, libère un poison mortel. Le couplage entre l'état du félin et celui de l'atome fait que la fonction d'onde du système atome-chat ne correspond pas à un état bien défini de l'animal, mais à une somme (une superposition, voir l'article d'Hervé Zwirn dans ce numéro) de l'état «chat vivant» et de l'état «chat mort». Mais alors, avant l'effondrement de la fonction d'onde du chat vers l'état vivant ou vers l'état mort, que peut ressentir cet animal ? Et quand l'effondrement se produit-il ? L'effondrement se produit-il juste au moment où un observateur humain ouvre la boîte et regarde à l'intérieur ?

Le problème de la mesure n'est pas le seul obstacle à la compréhension de la nature du monde quantique. Un autre exemple de difficulté est que le type d'onde introduit en