

Avec des gouttes qui rebondissent sur un liquide mis en vibration, les physiciens ont découvert un système classique dont le comportement reproduit étrangement celui des particules quantiques.

Emmanuel Fort et Yves Couder

La dualité onde-corpuscule À L'ŒIL NU

Vers la fin du XIX^e siècle, les choses paraissaient claires aux physiciens. Ils disposaient, pour décrire la nature, de deux types d'objets bien distincts : les objets massifs (qu'il était souvent possible de réduire à des points matériels) et les ondes. On pouvait avec ces outils conceptuels décrire les mouvements des planètes, les propriétés des gaz, la propagation du son, etc.

La lumière restait néanmoins un sujet de débat en raison de sa propagation dans le vide. Après beaucoup d'hésitations, on s'était convaincu que la lumière était une onde plutôt qu'une entité formée de particules. Cet ordre classique a été bouleversé au début du XX^e siècle, notamment lorsque Einstein avança en 1905 que l'effet photoélectrique (l'expulsion d'un électron hors d'un métal éclairé) ne pouvait s'interpréter que si la lumière était formée de grains d'énergie assimilables à des particules (les photons d'aujourd'hui).

Suivant la même logique suivie en sens inverse, le Français Louis de Broglie proposa en 1923 que les particules massives devaient posséder un aspect ondulatoire. Une expérience de diffraction des électrons vint rapidement confirmer cette prédiction. Depuis cette époque, les physiciens ont admis que les systèmes obéissant à la physique quantique sont des objets singuliers qui présentent des propriétés à la fois ondulatoires et corpusculaires. C'est ce qu'il est convenu d'appeler la dualité onde-corpuscule. De plus, il est également admis que

ces caractères sont complémentaires et ne peuvent être observés simultanément.

Dans les premiers modèles quantiques, les ondes en question étaient envisagées comme des ondes classiques de l'espace physique. Mais il est apparu dès la fin des années 1920 que les ondes, solutions d'une équation fondamentale découverte par l'Autrichien Erwin Schrödinger, représentaient en fait des densités de probabilité de présence et n'avaient donc qu'un sens statistique. Pour cette raison, les ondes quantiques paraissent n'avoir aucun équivalent classique.

Telle est la situation dans l'interprétation actuelle de la mécanique quantique. Elle diffère fortement de ce qu'avait envisagé de Broglie dans son ancien modèle dit de l'« onde pilote » ou de la « double solution » (voir l'encadré page 104). De Broglie a supposé que chaque particule est dynamiquement associée à une onde réelle de l'espace physique qui contribue à son guidage. Dans ce modèle, l'onde solution de l'équation de Schrödinger conserve son rôle de représentation statistique. Toutefois, aucune expérience, ni classique ni quantique, n'avait jusqu'à présent permis d'observer directement le guidage d'une particule par une onde.

Or c'est un tel système que nous avons découvert dans une expérience impliquant des gouttes de liquide. Nous allons d'abord montrer comment il est possible d'obtenir un objet qui associe une onde et une particule et où l'onde guide la particule

(ou la « pilote »). Dans la seconde partie, on montrera que les propriétés dynamiques de cet objet, telles que diverses expériences les révèlent, manifestent une forme de dualité onde-corpuscule que l'on peut comparer à la dualité quantique.

Le « marcheur » : une goutte et son onde

Le premier germe de cette expérience est né en 2004 d'un projet de troisième année de licence à l'Université Paris Diderot. C'est un excellent exemple du bénéfice que peuvent tirer les enseignants-chercheurs de leur activité d'enseignement. Nous avons proposé à un étudiant, Charles-Henri Gautier, d'étudier expérimentalement la possibilité de non-coalescence d'une goutte liquide (de l'huile de silicone) sur un substrat du même fluide.

Dans les conditions habituelles, une goutte liquide déposée à la surface du même liquide disparaît en quelques dixièmes de seconde. C'est le temps nécessaire à la rupture du film d'air interstitiel. Lors de ce projet, nous nous sommes aperçus que cette coalescence peut être inhibée si la surface du substrat vibre verticalement (voir l'encadré page 102). Lorsque l'accélération due à l'oscillation est légèrement supérieure à celle de la pesanteur, la goutte sautille sur la surface ; ce mouvement permet au film d'air qui la sépare du substrat de se renouveler à chaque oscillation. On peut ainsi maintenir