

Là où l'imprédictabilité s'estompe : Étude comparée de l'effet tunnel chez les marcheurs et en mécanique quantique

Loïc Tadrist¹, Tristan Gilet¹, Peter Schlagheck² & John W.M. Bush³

¹ Laboratoire de Microfluidique, Université de Liège, allée de la Découverte 9, 4000 Liège, Belgique.

² IPNAS, CESAM research unit, Université de Liège, Allée du 6 Août 15, Université de Liège, 4000 Liège, Belgique.

³ Department of Mathematics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts 02139, USA.

loic.tadrist@uliege.be

La mécanique classique offre une vue assez simple du franchissement d'une barrière de potentiel. Si la particule a une énergie cinétique E_c plus élevée que celle de la barrière de potentiel E_p , alors elle traverse cette dernière à coup sûr. Au contraire si son énergie est plus faible, elle sera toujours réfléchiée par la barrière. En mécanique quantique, le franchissement d'une barrière de potentiel n'est pas aussi manichéen : une particule ayant une énergie cinétique initiale plus faible que l'énergie de la barrière, $E_c < E_p$, possède une probabilité non nulle de la traverser, c'est ce que l'on appelle l'effet tunnel. Réciproquement, une particule plus énergétique a, elle aussi, une probabilité non nulle d'être réfléchiée. L'effet tunnel est emblématique des anomalies au paradigme classique qui ont abouti au fondement de la mécanique quantique.

Le caractère imprédictible du franchissement d'une barrière répulsive par un objet macroscopique a été décrit par A. Eddi en 2009[1]. Ces objets, des marcheurs, sont de petites gouttelettes d'huile rebondissant sur un bain vibré verticalement. Les rebonds successifs créent des ondes à la surface du bain qui guident en retour la gouttelette, garantissant leur caractère dual onde-particule[2,3,4]. Lorsqu'une gouttelette est envoyée vers la barrière répulsive, elle peut la franchir ou bien être réfléchiée de manière *apparemment aléatoire*.

Nous revisitons ici ce phénomène en l'analysant finement dans le but de comprendre où et comment naît le caractère imprédictible du franchissement de la barrière. Nous montrons que le franchissement de la barrière n'est pas uniquement lié à l'énergie cinétique du marcheur, mais qu'une variation de la dynamique rapide (rebonds verticaux) lors de l'interaction avec la barrière est responsable du caractère imprédictible du franchissement [5].

Ces résultats expérimentaux sont comparés à ceux d'une simulation d'un effet tunnel quantique. Nous déterminons la trajectoire de la particule quantique lancée vers une barrière de potentiel par des mesures fortes de la position et de l'impulsion, à intervalle régulier. Nous montrons que dans le cas quantique, la levée de l'imprédictibilité a lieu, elle aussi, au pied de la barrière de potentiel. Les convergences et les différences majeures entre les deux phénomènes sont discutées à la lumière des informations recueillies par la simulation et l'expérience.

Références

1. Eddi, A., Fort, E., Moisy, F., & Couder, Y. (2009). Unpredictable tunneling of a classical wave-particle association. **Physical review letters**, 102(24), 240401.
2. Couder, Y., Protiere, S., Fort, E., & Boudaoud, A. (2005). Dynamical phenomena : Walking and orbiting droplets. **Nature**, 437(7056), 208.
3. Bush, J. W. (2015). Pilot-wave hydrodynamics. **Annual Review of Fluid Mechanics**, 47, 269-292.
4. Tadrist, L., Shim, J. B., Gilet, T., & Schlagheck, P. (2018). Faraday instability and subthreshold Faraday waves : surface waves emitted by walkers. **Journal of Fluid Mechanics**, 848, 906-945.
5. Tadrist, L., Sampara, N., Schlagheck, P., & Gilet, T. (2018). Interaction of two walkers : Perturbed vertical dynamics as a source of chaos. **Chaos : An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science**, 28(9), 096113.