

Un tamis à photons

Transmission optique inattendue à travers un réseau troué

Peut-on faire passer des boules de pétanque à travers une passoire ? Le bon sens dit que non, mais, en électromagnétisme, l'expérience met parfois le bon sens en défaut : Thomas Ebbesen, de l'Université Louis-Pasteur, à Strasbourg, et ses collègues, ont montré qu'une lumière émise à travers une plaque métallique percée d'une multitude de trous est transmise perpendiculairement à la plaque, même lorsque la longueur d'onde de la lumière est supérieure à la taille des trous et à la distance entre les trous.

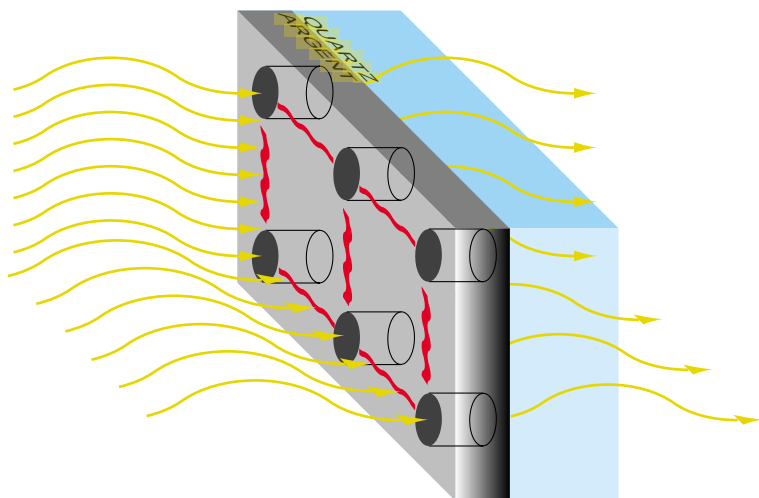
Pourtant les lois de la physique sont formelles : un trou microscopique ne laisse passer que très difficilement le rayonnement électromagnétique de longueur d'onde supérieure à son diamètre. Pourquoi, alors, ce comportement qui étonne les physiciens ? Parce que des « plasmons », des ondes électromagnétiques qui se propagent à la surface du métal, dues à des oscillations de ses électrons libres, sont créées par le réseau de trous. Ainsi, cette transmission ne se produit ni pour un trou isolé, ni pour un réseau de trous percés dans un isolant.

Les chercheurs ont utilisé un film d'argent de 0,2 micromètre d'épaisseur, déposé sur un substrat de quartz transparent. Dans ce film, ils ont percé des trous de 0,15 micromètre de diamètre,

disposés régulièrement en un réseau carré ou hexagonal. Une source de lumière de longueur d'onde ajustable émettait perpendiculairement à la plaque argentée. Derrière la plaque, un détecteur mesurait la lumière reçue dans la direction d'émission.

Lorsque la longueur d'onde de la lumière incidente est égale à 1,37 micromètre, la transmission de la lumière est efficace : l'intensité lumineuse mesurée est plus de deux fois supérieure à ce que l'on mesurerait si les trous émettaient directement de la lumière à la même intensité que la lumière incidente. Or, selon les lois de Bethe régissant le phénomène, l'efficacité de la transmission d'une lumière de cette longueur d'onde par un trou unique de 0,15 micromètre est inférieure à un millième. Ces résultats suggèrent que le réseau est un élément actif de la transmission, et non uniquement un objet géométrique sur le chemin du rayon incident.

Pour comprendre l'origine de ce phénomène, les chercheurs ont fait varier de nombreux paramètres, comme le diamètre des trous, la périodicité du réseau, l'épaisseur et le type de métal. La transmission se produit lorsque l'inverse de la longueur d'onde des plasmons excités, est égale à l'inverse de la longueur d'onde de la lumière incidente plus ou moins l'inverse de la distance entre les trous. Ainsi, la périodicité du réseau détermine la longueur d'onde transmise. De plus, la transmission décroît linéairement avec la surface des trous et avec leur profondeur, alors que la théorie prédit une quantité de lumière transmise inversement proportionnelle au carré de la surface des trous.



Sur une mince plaque d'argent posée sur un substrat de quartz, on perce des trous régulièrement espacés. La longueur d'onde de la lumière incidente est supérieure au diamètre des trous et à leur écartement, ce qui, habituellement, prévient la transmission. Pour certaines longueurs d'ondes de la lumière incidente, des ondes de surface (des plasmons) sont excitées. Ces plasmons (en rouge) « aident » les photons incidents à traverser les trous. L'efficacité de la transmission est ici 2 000 fois supérieure à ce qu'elle serait avec un trou unique.

Cette situation ressemble à celle de la réflexion par des plaques métalliques, mais c'est la première observation d'une transmission par de telles plaques. Lorsque les photons arrivent sur la surface d'argent avec une longueur d'onde adéquate, ils excitent des plasmons. Ces

plasmons à l'interface air-argent sont alors transformés en plasmons à l'interface argent-quartz, ce qui «aide» les photons à passer par les trous.

Alors, les utilisateurs de fours à micro-ondes doivent-ils s'inquiéter? Non, car cette analyse ne s'applique pas aux

grilles de fours : la périodicité et le diamètre des trous de la grille sont si petits comparés à la longueur d'onde du rayonnement micro-onde que ce dernier ne passe pas. Les boules de pétanque traversent la passoire, mais pas les ballons de basket!

Peut-on prévoir les krachs?

Des physiciens proposent une théorie (controversée) des krachs boursiers.

Au cours d'un krach boursier, les prix sur un marché s'écroulent en quelques jours de plusieurs pour cent (jusqu'à 30 pour cent pour les plus gros krachs du siècle, en octobre 1929 et en octobre 1987). Certains physiciens comparent un krach à ce que l'on nomme un point critique en physique : par exemple, un matériau soumis à une force d'élongation croissante se rompt au point critique. En ce point, la moindre action extérieure provoque une réaction considérable du système. D'où l'analogie avec le marché : par mimétisme, les agents décident simultanément de vendre leurs actions, car un incident a déclenché une panique générale.

En outre, avant les krachs, les prix ont des variations surprenantes. Didier Sornette, de l'Université de Nice, et Anders Johansen, de l'Institut Niels Bohr à Copenhague, ont cherché une fonction qui reproduit, sur plusieurs années, les fluctuations apparemment aléatoires des prix (en pointillés sur la figure du krach de 1929). Ils ont obtenu une fonction (en rouge sur la figure), qui oscille régulièrement autour d'une courbe croissante du temps. Ils soutiennent que, dans le cas des krachs, mais aussi dans certains phénomènes physiques (avalanches, tremblements de terre), ce type d'oscillations serait précurseur d'un point critique. La forme connue des oscillations permettrait de prévoir les apparitions de futurs krachs.

Cette idée est controversée : Laurent Laloux, Marc Potters et leurs col-

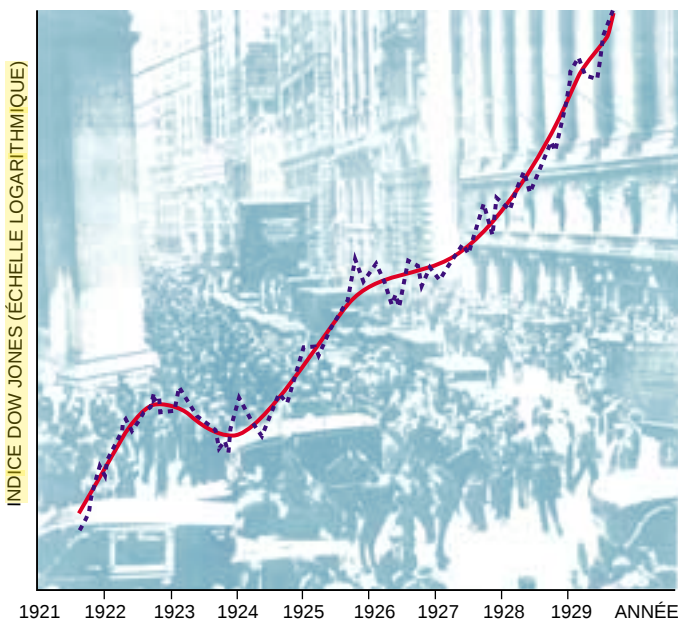
lègues de l'entreprise *Science et Finance* affirment qu'aucun modèle théorique convaincant n'indique qu'un krach serait un point critique ni ne justifie la présence de ces oscillations. D'autre part, la comparaison des krachs à des points critique est testée sur trop peu de données, car les krachs sont rares.

Enfin, des prédictions sur plusieurs années sont contestables : un modèle théorique à cette échelle devrait prendre en compte des facteurs extérieurs (événements ou décisions politiques, catastrophes naturelles, etc.) qui boule-

versent les marchés. Ces événements introduisent une forme de hasard que l'on ne sait pas modéliser.

sont peu probables, car la répartition de ces variations est donnée par une loi de distribution connue en théorie financière. En outre, si on se limite à des intervalles de temps compris entre une heure et quelques semaines, cette distribution est universelle : elle est commune à des marchés très différents dans le détail, et indépendante des influences extérieures. C'est pourquoi on utilise, dans ces limites, les méthodes de la physique statistique : on peut déterminer les propriétés collectives d'un grand nombre de particules en interaction en fonction des conditions extérieures (température, pression, etc.) sans considérer le comportement individuel des particules.

DITEIPS



Le rapprochement des fluctuations de l'indice Dow Jones (moyenne des prix de 30 actions américaines représentatives) de juin 1921 à septembre 1929 (en bleu) et de la fonction oscillatoire (en rouge) proposée par D. Sornette et A. Johansen suggère que le krach d'octobre 1929 est analogue à des phénomènes physiques tels qu'avalanches ou tremblements de terre.

versent les marchés. Ces événements introduisent une forme de hasard que l'on ne sait pas modéliser.

Le débat est le suivant : sous quelles hypothèses peut-on prévoir les variations boursières? La présence du hasard empêche de prédire de façon certaine la hausse ou la baisse des prix au bout d'une journée ou d'une semaine. Cependant, on peut savoir quelles variations sont très probables, et lesquelles

Par exemple, pour les intervalles courts, Rama ont et Jean-Philippe Bouchaud, du Centre d'études nucléaires de Saclay et membres de *Science et Finance*, ont construit un modèle inspiré de l'étude des transitions de phase, qui met en évidence deux régimes de fonctionnement du marché : dans le premier, les prix varient peu autour de leur position d'équilibre, ce qui correspond au fonctionnement «normal». Dans le second, les prix se trouvent brusquement un peu trop loin de l'équilibre, puis chutent vertigineusement, comme lors d'un krach, en raison d'une panique collective.

Dans ce modèle, un krach n'est pas un point critique. Toutefois, ce résultat ne constitue pas une preuve contre la thèse du point critique, puisque les échelles de temps considérées sont très différentes. Ce modèle reproduit une caractéristique des marchés réels : les gros krachs ne suivent pas la loi de distribution du régime normal. Si c'était le cas, on calcule d'après cette loi qu'un gros krach se produirait seulement tous les 100 milliards de milliards d'années!