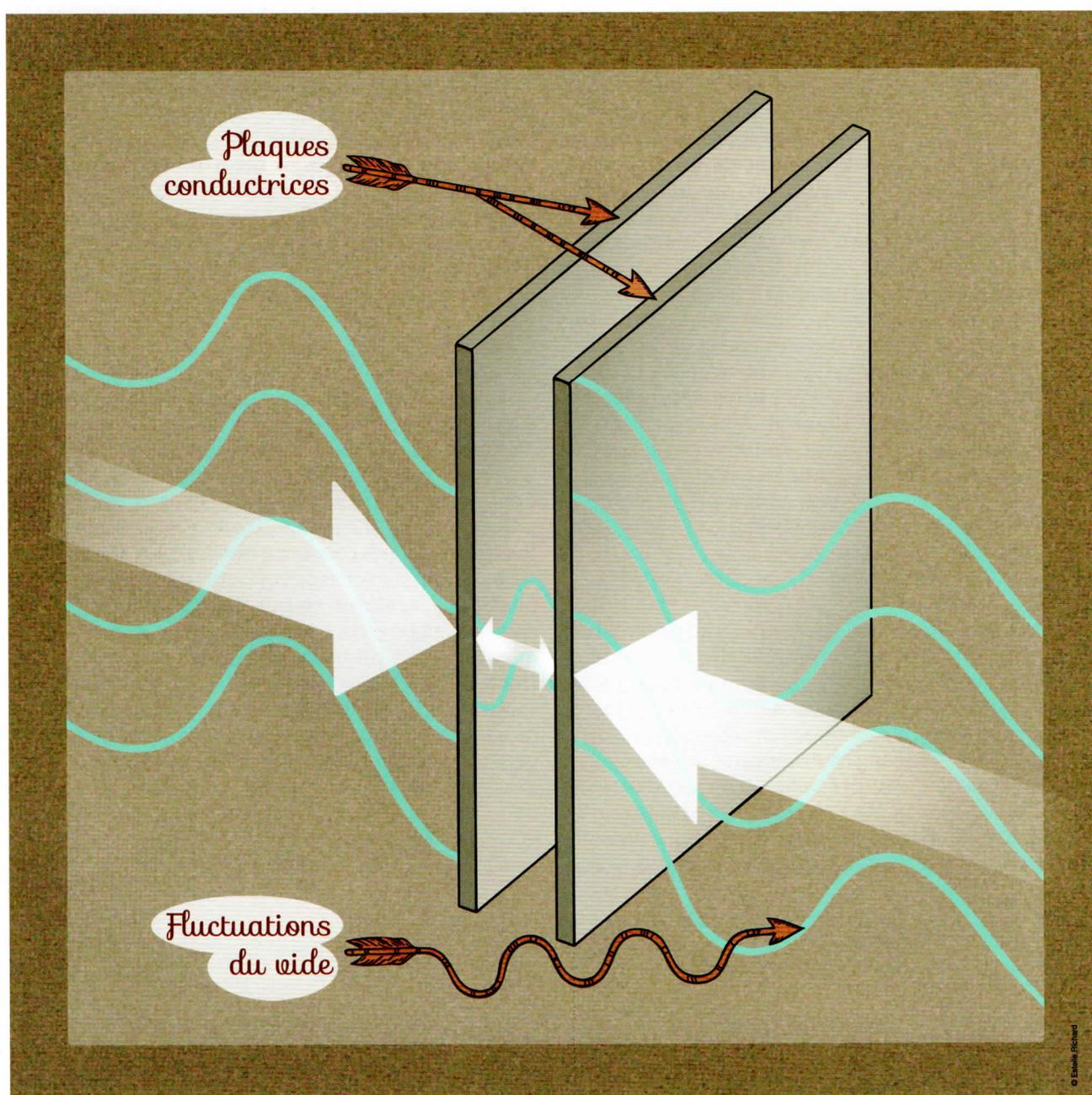


L'effet Casimir

À l'origine simple prédiction théorique, validée bien des années plus tard, ce phénomène issu de la théorie quantique des champs, est sans doute l'une des manifestations les plus connues de l'énergie du vide quantique. L'effet Casimir démontre en effet qu'en mécanique quantique le vide n'existe pas vraiment.



Les fluctuations du vide (en bleu ciel) créent une pression de radiation (en blanc) sur les plaques qui tendent à se rapprocher. C'est la force de Casimir.

PRÉDICTIONS THÉORIQUES

En assimilant, selon les principes de la théorie quantique des champs, le vide à un champ quantique, les physiciens théoriciens considèrent qu'il dispose, forcément, d'un état fondamental (il ne peut pas être immobile) et donc d'une énergie du point zéro (son énergie ne peut pas être nulle). Par ailleurs, toujours selon les mêmes principes combinant mécanique quantique et relativité restreinte, cette énergie peut être, en un rien de temps, puisée et rendue au vide. Selon leur prédiction théorique, l'énergie du vide quantique est ainsi animée en continu de fluctuations quantiques. De plus, en se basant sur la relation d'équivalence masse-énergie (la célèbre équation $E = mc^2$) d'Einstein, ils présupposent que ces fluctuations d'énergie sont liées à la manifestation de particules massives et donc qu'elles donnent lieu à des apparitions spontanées de paires de particules-antiparticules dites « virtuelles » car s'auto-annihilant et disparaissant instantanément.

LA FORCE DE CASIMIR

Prédites grâce aux postulats de la mécanique quantique, ces fluctuations du vide demeurent imperceptibles. Ne pouvant observer en direct l'apparition des particules issues du vide quantique, du fait de leur brièveté, les physiciens ont élaboré des équations démontrant pourtant leurs effets sur leur environnement. Ainsi, un physicien néerlandais, Hendrik Casimir (on donnera, plus tard, son nom au phénomène qu'il a découvert), prédit, en 1948, la présence d'un effet d'attraction entre deux plaques parallèles conductrices, comme deux miroirs. Il va, en se basant sur la théorie quantique des champs, démontrer que les fluctuations quantiques du vide produisent une pression dite « de radiation », car appliquée sur une surface par un rayonnement électromagnétique sur l'extérieur des deux plaques qui vont, de fait, tendre à se rapprocher. Les plaques sont ainsi attirées sous l'action d'une attraction, nommée « force de Casimir », inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare.

L'EFFET STATIQUE

Afin de prédire ce phénomène, Casimir s'est servi des principes de l'électrodynamique quantique. Les particules correspondant donc aux fluctuations quantiques d'un champ électromagnétique sont des photons, particules élémentaires vecteurs de l'interaction électromagnétique. Dans l'effet Casimir dit « statique », il faut garder à l'esprit que ce sont des photons « virtuels », caractérisés par leur longueur d'onde, qui vont rendre compte de cet extraordinaire phénomène. Selon lui, ne peuvent exister entre les deux plaques

que des photons virtuels dont la longueur d'onde est inférieure à l'écart qui sépare ces dernières. Cela implique qu'entre les deux plaques, les oscillations des fluctuations deviennent différentes en longueurs d'ondes par rapport à celles à l'extérieur des plaques. Par conséquent, la densité d'énergie moyenne entre les plaques est dissemblable de celle que l'on trouve à l'extérieur, ce qui explique la manifestation de la force de Casimir tendant à rapprocher les deux plaques.

L'EFFET DYNAMIQUE

Même si une première expérimentation, réalisée par Marcus Sparnaay en 1958, confirme approximativement le postulat d'Hendrik Casimir, il faut cependant attendre plusieurs années pour pouvoir valider définitivement sa prédiction, puisque la première preuve expérimentale de ce phénomène a été réalisée en 1997 par Lamoreaux. Ce phénomène ne se limite pas à l'effet décrit par Casimir. Quelques années plus tard, en 1970, un physicien théoricien américain, Gerald Moore, détermine avec des équations une variante à l'effet Casimir statique appelée « effet Casimir dynamique ». Selon ses calculs, on peut, en accélérant un miroir dans le vide à une vitesse proche de celle de la lumière, faire passer les photons virtuels directement inobservables du vide quantique à l'état de particules réelles. En oscillant le miroir d'avant en arrière suffisamment vite quelques photons n'arrivant pas à s'adapter aux mouvements du miroir se séparent de leur partenaire et ne sont donc pas annihilés.

UNE PREUVE EXPÉRIMENTALE

Là encore, il faut attendre plusieurs années avant d'obtenir une validation expérimentale. En 2011, des chercheurs menés par le physicien Christopher Wilson à Göteborg confirment le postulat de Moore. Pour mener à bien leurs expérimentations, ils durent améliorer le dispositif théorique de ce dernier. Aucun miroir ne peut supporter le type de chocs des oscillations comparables à ceux que l'on rencontre dans les explosions nucléaires. Ils élaborent un circuit supraconducteur appelé « SQUID » (*Superconducting Quantum Interference Device*) dans lequel une boucle de métal est exposée à un champ magnétique fluctuant environ onze milliards de fois par seconde. La boucle oscille électriquement lui permettant d'interagir avec le rayonnement électromagnétique présent dans le vide comme le ferait un miroir en mouvement à un quart de la vitesse de la lumière. Grâce à ce dispositif, ils ont pu observer l'apparition de photons validant la théorie de Moore : le vide est bien une source d'énergie.

À RETENIR

- En théorie quantique, le vide est doté d'une énergie du point zéro animée de fluctuations permanentes. En 1948, Hendrik Casimir, postule l'existence d'un effet d'attraction entre deux miroirs. Il prédit la pression, à l'échelle quantique, exercée par une différence de densité de l'énergie du vide se trouvant entre les deux miroirs et l'extérieur. En 1970, Gerald Moore, postule la possibilité de créer un rayonnement depuis l'énergie du vide grâce à l'effet Casimir dynamique. L'effet Casimir dynamique a été confirmé expérimentalement en 2011.