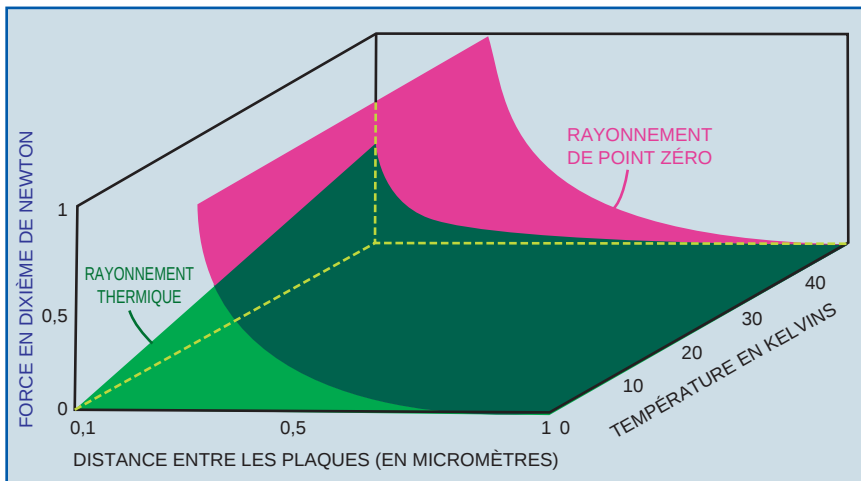
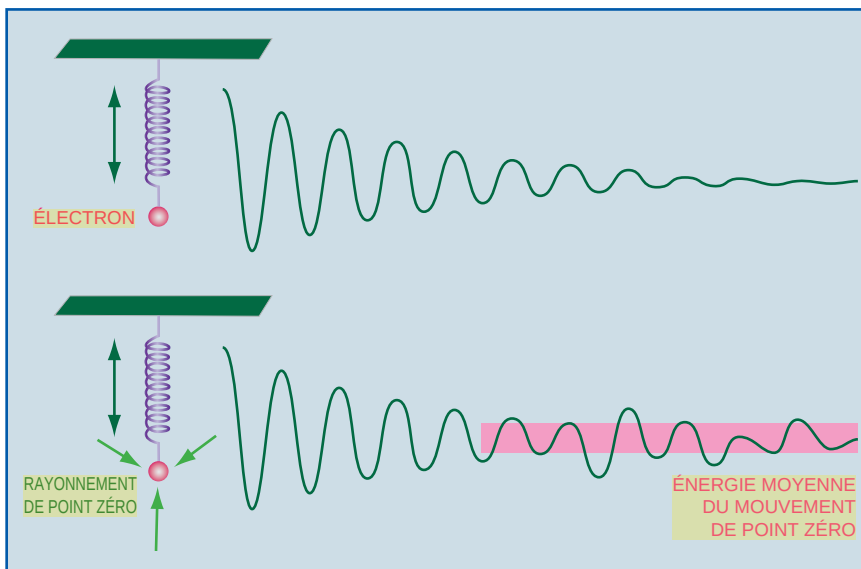




4. LA FORCE D'ATTRACTION ENTRE LES DEUX PLAQUES, dans l'expérience de Casimir, a deux composantes. À haute température, le rayonnement thermique (en vert) engendre une force directement proportionnelle à la température et inversement proportionnelle au cube de la distance entre les plaques. Cette force s'annule au zéro absolu, comme le rayonnement thermique lui-même. La force due au rayonnement de point zéro (en rose) est indépendante de la température et inversement proportionnelle à la puissance quatrième de la distance entre les plaques. Les forces correspondent ici à des plaques de un centimètre carré de surface.

Dans l'expérience de Casimir, la situation physique est analogue : les plaques métalliques correspondent aux blocs de bois et les champs électromagnétiques à la corde vibrante. Enfin, les trous par lesquels la corde traverse les blocs de bois représentent la conductivité des plaques métalliques. Les blocs réfléchissent les ondes électromagnétiques : comme

un rayonnement lèche les deux faces de chaque plaque les forces ont tendance à s'annuler. Mais, en fait, les forces ne sont pas exactement équilibrées : il reste une petite force résiduelle, proportionnelle à la surface des plaques et qui dépend aussi de leur écartement et du spectre du rayonnement électromagnétique aléatoire.



5. L'OSCILLATEUR HARMONIQUE est un système sur lequel on peut observer les effets du rayonnement de point zéro sur la matière. L'oscillateur est constitué d'un électron lié à un ressort idéal et sans frottement. Quand on écarte l'électron de sa position initiale, puis qu'on le relâche, il oscille autour de sa position d'équilibre et émet un rayonnement électromagnétique à la fréquence de l'oscillation. Ce rayonnement dissipe de l'énergie et, en l'absence du rayonnement de point zéro et à la température du zéro absolu, l'électron finit par s'immobiliser. En fait, le rayonnement de point zéro transmet sans arrêt des impulsions aléatoires à l'électron, de sorte qu'il ne s'arrête jamais totalement. Le rayonnement de point zéro confère à l'oscillateur une énergie moyenne, égale au produit de la fréquence de l'oscillation par la moitié de la constante de Planck.

Jusqu'ici, l'analyse est parfaitement conforme avec l'idée que les physiciens du XIX^e siècle se faisaient du vide. Dans ce cadre, la force agissant sur chaque plaque est due au rayonnement thermique aléatoire : quand on refroidit le système jusqu'à ce que sa température soit celle du zéro absolu, les forces doivent disparaître comme le rayonnement thermique. Or l'expérience contredit cette prédiction : en 1958, le physicien hollandais M. Sparnaay effectua une série d'expériences afin de tester les idées de Casimir et il observa que la force ne semblait pas s'annuler quand on réduisait fortement l'intensité du rayonnement thermique ; au contraire, on observait une force d'attraction résiduelle, qui doit persister même à la température du zéro absolu !

Cette force résiduelle est directement proportionnelle à la surface des plaques et inversement proportionnelle à la puissance quatrième de leur écartement ; la constante de proportionnalité est égale à $1,3 \cdot 10^{-27}$ joule-centimètre. La force résiduelle est faible, mais mesurable si les plaques sont suffisamment proches. Pour des plaques de un centimètre carré distantes de 0,5 micromètre (millième de millimètre), la force de Casimir est équivalente au poids d'une masse de 0,2 milligramme.

Quelle que soit l'importance exacte de l'effet Casimir, sa simple existence dénote une erreur fondamentale dans la théorie du XIX^e siècle sur le vide classique. Quand on compare la théorie et l'expérience, on constate que même à la température du zéro absolu, le vide classique n'est pas totalement vide ; il contient les champs électromagnétiques responsables de la force d'attraction mesurée par Sparnaay. On désigne aujourd'hui ces champs présents dans le vide sous le nom de rayonnement électromagnétique classique de point zéro.

Le spectre de point zéro

Quelles sont les caractéristiques de ce rayonnement de point zéro ? Le simple fait que ce rayonnement existe permet plusieurs constatations, car le rayonnement doit obéir aux postulats sur la nature du vide. Dans le vide, par exemple, aucun point n'est particulier, ni dans le temps, ni dans l'espace ; le vide doit paraître identique en tout lieu et dans toutes les directions. De ce fait, le rayonnement de point zéro, comme le rayonnement thermique, doit