



# Effet Casimir

37 langues

[Article](#) [Discussion](#)

[Lire](#) [Modifier](#) [Modifier le code](#) [Voir l'historique](#) [Outils](#)

↻ Pour les articles homonymes, voir [Casimir](#).

L'**effet Casimir**, tel que prédit par le physicien néerlandais [Hendrik Casimir](#) en 1948, est une force attractive entre deux plaques parallèles conductrices et *non chargées*<sup>1</sup>.

Cet effet, dû aux fluctuations [quantiques](#) du [vide](#), existe également pour d'autres géométries d'[électrodes](#)<sup>2</sup>. Expérimentalement, on utilise souvent des [miroirs](#).

## Raison [ [modifier](#) | [modifier le code](#) ]

Les fluctuations [quantiques](#) du [vide](#) sont présentes dans toute [théorie quantique des champs](#). L'effet Casimir est dû aux fluctuations du [champ électromagnétique](#), décrit par la théorie de l'[électrodynamique quantique](#).

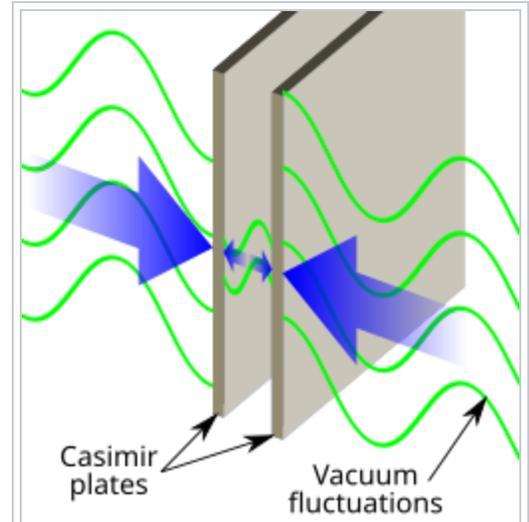
L'énergie du « vide » entre deux plaques se calcule en tenant compte uniquement des [photons](#) (y compris des [photons virtuels](#)) dont les longueurs d'onde divisent exactement la distance entre les deux plaques ( $n\lambda = L$ , où  $n$  est un entier positif,  $\lambda$  la longueur d'onde d'un photon et  $L$  la distance entre les deux plaques). Ceci implique que la densité d'[énergie du vide](#) (entre ces deux plaques) est fonction du nombre de photons qui peuvent exister entre ces deux plaques.

Plus les plaques sont proches, moins il y a de photons obéissant à la règle  $n\lambda = L$ , car sont exclus les photons dont la longueur d'onde est supérieure à  $L$ . Il y a donc moins d'énergie.

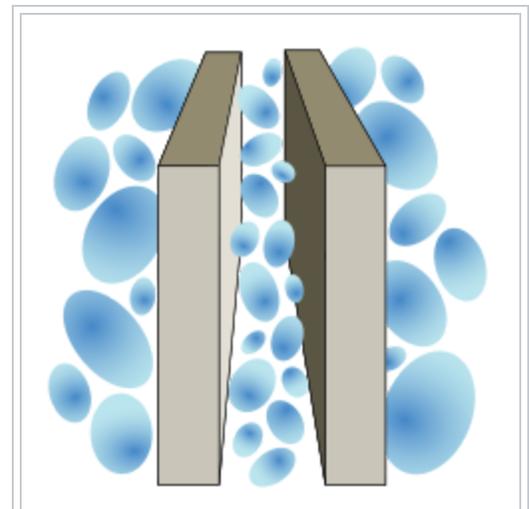
La force entre ces deux plaques, à savoir la dérivée de l'énergie par rapport à  $L$ , est donc attractive.

## Transmission de phonons [ [modifier](#) | [modifier le code](#) ]

Une équipe de l'[université de Berkeley](#) a mis en évidence que l'effet Casimir permettait la transmission de [phonons](#) à travers le vide<sup>3</sup> ce qui révèle un nouveau mode de [transfert thermique](#) dans le vide.



Forces de Casimir sur des plaques parallèles.



Forces de Casimir sur des plaques parallèles.

## Énergie du vide [ [modifier](#) | [modifier le code](#) ]

L'effet Casimir dérive de la théorie quantique des champs, qui impose que tous les champs fondamentaux, comme le champ électromagnétique, soient quantiques en chaque point de l'espace. De manière très simple, un champ physique peut être vu comme un espace rempli de balles et de ressorts vibrants tous interconnectés ; la force du champ se matérialise comme le déplacement d'une balle depuis une position au repos. Les vibrations dans ce champ se propagent selon l'équation d'onde appropriée pour le champ particulier en question.

L'hypothèse de [seconde quantification](#) de la théorie quantique des champs requiert que chaque combinaison balle-ressort soit quantique, c'est-à-dire que la force du champ sera quantique en chaque point de l'espace. Le champ se décrit partout comme un [oscillateur harmonique quantique](#) simple. Les excitations du champ correspondent à des [particules élémentaires](#) de la [physique des particules](#). Toutefois, le vide a une structure complexe. Tous les calculs de la théorie quantique des champs doivent être rendus relatifs à ce modèle de vide.

Le vide a, implicitement, toutes les propriétés qu'une particule peut avoir : [spin](#), [polarisation](#) dans le cas de la lumière, énergie, etc. Toutes ces grandeurs ont des valeurs moyennes nulles : le vide est, après tout, « vide » en ce sens, à l'exception près de l'énergie. La quantification d'un oscillateur harmonique simple montre que son énergie minimale, encore appelée [énergie du point zéro](#), vaut :  $E = \frac{1}{2} \hbar \omega$ .

La somme de l'énergie de tous les oscillateurs dans tout l'espace donne une quantité infinie. Pour s'en débarrasser, on « [renormalise](#) » : on considère comme seules significatives les différences d'énergie (un peu comme la [tension électrique](#), dont seules les différences comptent).

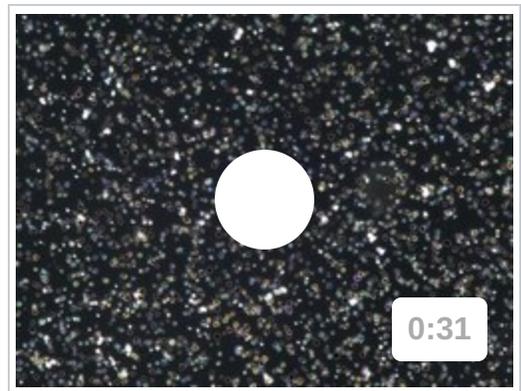
Si la renormalisation permet de prédire des résultats corrects, elle demeure fondamentalement problématique. L'élimination de cet infini est l'un des défis de la « [Théorie du tout](#) ». On ne sait actuellement pas pourquoi il convient de donner à cet infini une valeur nulle. La quantité d'énergie du vide, à l'échelle de l'univers, serait modélisée par la [constante cosmologique](#) dans l'équation d'[Einstein](#).

## Expression de la force par unité de surface [ [modifier](#) | [modifier le code](#) ]

Sauf remarque, les [effets de bord](#) sont toujours négligés.

### Analyse dimensionnelle [ [modifier](#) | [modifier le code](#) ]

Soient deux grandes plaques métalliques planes de surface  $S$ , parallèles entre elles, et séparées par une distance  $L$ . On suppose que, si les plaques sont rectangulaires<sup>4</sup> avec  $S=D \cdot H$ , l'espacement  $L$  entre les deux plaques parallèles est *petit* par rapport aux longueurs  $D$  et  $H$ . On peut alors calculer une *force par unité de surface* en négligeant les effets de bords.



Micromiroirs dans une solution plasmonique, effet Casimir et mouvement Brownien.

0:31

On suppose de plus que les plaques sont des *conducteurs parfaits* de [conductivité électrique](#) infinie, et qu'elles ne sont pas chargées.

L'effet étant d'origine quantique et [relativiste](#), on s'attend à ce que la force par unité de surface de Casimir dépende des deux constantes fondamentales :

- la [vitesse de la lumière](#) dans le vide  $c$  ;
- la [constante de Planck réduite](#)  $\hbar$ .

De plus, il est plus que probable que l'effet dépende aussi de la distance  $L$  entre les plaques.

On postule donc que la *force par unité de surface* s'écrit :

$$\frac{dF}{dS} = k L^\alpha c^\beta \hbar^\gamma$$

où  $k$  est un [nombre pur, sans dimension](#), et  $\alpha, \beta, \gamma$  trois nombres à déterminer. L'[analyse dimensionnelle](#) donne le système d'équations :

$$\begin{cases} \gamma & = + 1 \\ \alpha + \beta + 2\gamma & = - 1 \\ -\beta - \gamma & = - 2 \end{cases}$$

dont la solution *unique* est :  $\beta = \gamma = 1$  et  $\alpha = -4$ , soit :

$$\frac{dF}{dS} = k \frac{\hbar c}{L^4}$$

## Résultat exact de Casimir [ [modifier](#) | [modifier le code](#) ]

Le calcul exact, fait par Casimir en 1948, suppose une [température thermodynamique](#) identiquement nulle :  $T = 0$  K. Il donne une valeur non nulle *négative* de la constante  $k$  :

$$\frac{dF}{dS} = - \frac{\pi^2}{240} \frac{\hbar c}{L^4}$$

Le signe moins indique que cette force est attractive. Le lecteur intéressé par ce calcul le trouvera détaillé dans l'article de revue de Duplantier<sup>1</sup>. La norme de la force attractive de Casimir entre deux plateaux d'aire  $A$  séparés par une distance  $L$  peut être calculée par la formule :

$$F = \frac{\pi^2}{240} \frac{\hbar c}{L^4} A$$

## Effets de température finie [ [modifier](#) | [modifier le code](#) ]

Les expériences réelles ayant toutes lieu à température finie :  $T > 0$ , il faut estimer ces effets de température, essentiellement dus au [rayonnement du corps noir](#). Introduisons la « [température inverse](#) »  $\beta = 1/(kT)$ , où  $k$  est la [constante de Boltzmann](#). L'[analyse dimensionnelle](#) montre que le paramètre :

$$\alpha = \frac{\pi\beta\hbar c}{L}$$

est sans dimension. On étudie alors la limite réaliste de courte distance  $L \rightarrow 0$  à température  $T$  fixée<sup>5</sup>, correspondant au cas où  $\alpha \gg 1$ . Dans cette limite, on obtient<sup>1</sup> :

$$\frac{dF}{dS} = - \frac{\pi^2}{240} \frac{\hbar c}{L^4} - \frac{\pi^2}{45} \frac{1}{\beta} \frac{1}{(\beta\hbar c)^3} + \frac{1}{\beta} \frac{\pi}{L^3} e^{-\alpha} + O(e^{-2\alpha})$$

Le premier terme est le terme de Casimir à température nulle, le deuxième est la contribution attractive due au rayonnement du corps noir dans un volume infini, et le troisième et dernier correspond aux corrections de taille finie dues aux plaques sur la contribution du rayonnement du corps noir.

À la température ambiante :  $T \sim 300 \text{ K}$  et pour un espacement réaliste  $L \sim 0.5 \mu\text{m}$ , la valeur numérique de  $\alpha \sim 48$  : le troisième terme correspondant aux corrections de taille finie sur la contribution du rayonnement du corps noir, en  $e^{-\alpha}$ , est donc *totalelement négligeable* en pratique.

Quant au rapport (sans dimension) du second terme sur le premier, il vaut alors :

$$\gamma = \frac{\text{corps noir}}{\text{Casimir à } T = 0} = \frac{240}{45} \frac{L^4}{(\beta\hbar c)^4} \sim 10^{-4}$$

Dans les conditions expérimentales usuelles, *tout se passe donc comme si on était à température nulle*. Le lecteur intéressé par une analyse détaillée la trouvera dans l'article de revue de Duplantier<sup>1</sup>.

## Couple [ [modifier](#) | [modifier le code](#) ]

Quand les objets qui interagissent à travers le vide sont [optiquement anisotropes](#), les diverses [polarisations de la lumière](#) sont soumises à des [indices de réfraction](#) différents, ce qui induit un [couple](#) tendant à faire tourner les objets vers une position mutuelle d'énergie minimale<sup>6</sup>. Cet effet, prédit dès 1972<sup>7</sup>, a été confirmé expérimentalement en 2018<sup>8,9</sup>.

## Lien avec les séries divergentes [ [modifier](#) | [modifier le code](#) ]

Pour certains, le calcul de la force de Casimir serait lié à la notion de [sommation de Ramanujan](#) de la [série divergente](#)  $1 + 2 + 3 + 4 + \dots$  ; ainsi, une série, somme d'une infinité de termes, pourrait avoir un sens même si elle ne converge pas vers une limite finie. La notion de série divergente, bien connue des mathématiciens, trouverait donc ici une application concrète en physique<sup>10</sup>.

Le calcul détaillé<sup>1</sup> montre que cette force résulte de la différence entre les forces exercées par le vide à l'intérieur et celui à l'extérieur des plaques. La résultante est alors la différence entre une série et l'intégrale associée, et prend une valeur finie (bien que les deux termes soient infinis <sup>[réf. souhaitée]</sup>, puisque la somme et l'intégrale [divergent](#)) qui peut être évaluée grâce à la [formule d'Euler-Maclaurin](#).

# Importance possible de l'effet Casimir sur l'origine de l'Univers [ [modifier](#) |

[modifier le code](#) ]

Dans une hypothèse de l'existence de l'[univers branaire](#), l'effet Casimir pourrait être la cause de :

- l'existence de la gravité et la création de particules dans notre univers<sup>11</sup> ;
- l'[inflation cosmique](#)<sup>12</sup>.

## Histoire [ [modifier](#) | [modifier le code](#) ]

Cet effet, prédit par Casimir en 1948<sup>13,14</sup>, a depuis fait l'objet d'un certain nombre de vérifications expérimentales<sup>15</sup> :

- la première en 1958 par [Marcus Sparnaay \(de\)](#). Cette expérience a seulement montré une force attractive qui « n'est pas en contradiction avec la prédiction théorique de Casimir ». On peut attribuer à cette première expérience une marge d'erreur de 100 % ;
- la première expérience au résultat non ambigu date de 1978, et a été réalisée par van Blokland et Overbeeck. On peut attribuer à cette expérience une précision de l'ordre de 25 %<sup>16</sup> ;
- à la fin des années 1990, Umar Mohideen et ses collègues de l'[université de Californie](#)<sup>17</sup> vérifient la prédiction théorique de Casimir avec une précision de l'ordre de 1 %. À ce niveau de précision, des effets de réflexion imparfaite des miroirs doivent être inclus dans le calcul théorique ;
- à la fin des années 2010, la *Physical Review Letters* publie des articles sur la combinaison de la [supraconductivité](#) et l'effet Casimir pour étudier la [gravité quantique](#)<sup>18</sup> ;
- fin 2018, un [couple](#) de Casimir a été mesuré entre un [cristal biréfringent](#) ([calcite](#), [niobite lithiée](#), [rutil](#) ou [vanadate d'yttrium](#)) et un [cristal liquide](#) ([5CB \(en\)](#), [nématique](#)), en mettant à profit les [propriétés élastiques](#) de ce matériau<sup>8,9</sup>.

## Notes et références [ [modifier](#) | [modifier le code](#) ]

- ↑  a b c d <sup>et e</sup> Bertrand Duplantier ; *Introduction à l'effet Casimir*, séminaire Poincaré (Paris, 9 mars 2002). Cf. la bibliographie.
- ↑  Roger Balian ; *Effet Casimir et géométrie*, séminaire Poincaré (Paris, 9 mars 2002). Cf. la bibliographie.
- ↑  (en) Fong KY et al., « Phonon heat transfer across a vacuum through quantum fluctuations », *Nature*, 2019 (DOI [10.1038/s41586-019-1800-4](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1800-4)).
- ↑ Ou mieux : des plaques en forme de disque !
- ↑ Ou encore, ce qui revient au même mathématiquement : la limite de basse température **T** → **0** à distance **L** fixée.
- ↑  (en) Yu. S. Barash, « Moment of van der Waals forces between anisotropic bodies », *Radiophysics and Quantum Electronics (en)*, vol. 21, n<sup>o</sup> 11, novembre 1978, p. 1138-1143 (DOI [10.1007/BF02121382](https://doi.org/10.1007/BF02121382)).
- ↑  (en) V. A. Parsegian et George H. Weiss, « Dielectric Anisotropy and the van der Waals Interaction between Bulk Media », *The Journal of Adhesion*, vol. 3, n<sup>o</sup> 4, 1972, p. 259-267 (DOI [10.1080/00218467208072197](https://doi.org/10.1080/00218467208072197)).
- ↑  a et b  (en) Slobodan Žumer (s1), « Elusive torque sensed by liquid crystals », *Nature*, vol. 564, 19 décembre 2018, p. 350-351 (DOI [10.1038/d41586-018-07744-9](https://doi.org/10.1038/d41586-018-07744-9)).
- ↑  a et b  (en) David A. T. Somers, Joseph L. Garrett, Kevin J. Palm et Jeremy N. Munday, « Measurement of the Casimir torque », *Nature*, vol. 564, 19 décembre 2018, p. 386-389 (DOI [10.1038/s41586-018-0777-8](https://doi.org/10.1038/s41586-018-0777-8)).

10. † [Jean-Christophe Pain](#), « L'effet Casimir et les séries divergentes », *Bulletin de l'union des physiciens*, vol. 115, n° 1037, 2021, p. 851-863 ([lire en ligne](#) [[archive](#)]).
11. † (en) [Ruth Durrer](#), Marcus Ruser, Marc Vonlanthen et Peter Wittwer, « Graviton production in brane worlds by the dynamical Casimir effect », *AIP Conference Proceedings* (en), vol. 1122, n° 39, 2009 ([lire en ligne](#) [[archive](#)]).
12. † (en) Richard Obousy et [Gerald Cleaver](#), « Casimir energy and brane stability », *Journal of Geometry and Physics* (en), vol. 61, n° 3, mars 2011, p. 577-588 ([lire en ligne](#) [[archive](#)]).
13. † (en) [Hendrik Casimir](#), « On the attraction between two perfectly conducting plates », *Proc. Kon. Nederl. Akad. Wetensch*, vol. B51, 1948, p. 793 ([lire en ligne](#) [[archive](#)]).
14. † (en) [Hendrik Casimir](#), « The Influence of Retardation on the London-van der Waals Forces », *Physical Review*, vol. 73, 1948, p. 360 ([résumé](#) [[archive](#)]).
15. † (en) [Astrid Lambrecht](#) & [Serge Reynaud](#) ; *Recent experiments on the Casimir effect: description and analysis*, séminaire Poincaré (Paris, 9 mars 2002). Cf. la bibliographie.
16. † van Blokland P. H. G. M. et Overbeek J. T. G. (1978). Van der Waals forces between objects covered with a chromium layer. *J. Chem. Soc. Faraday Trans. I* 74, 2637-2651. [lire en ligne](#) [[archive](#)]
17. † [La force qui vient du vide physique](#) [[archive](#)], par [Astrid Lambrecht](#), *La Recherche* n° 376 juin 2004 page 48.
18. † Thomas Boisson, « La supraconductivité et l'effet Casimir réunis pour étudier la gravité quantique », *Trust My Science*, 30 juillet 2018 ([lire en ligne](#) [[archive](#)], consulté le 31 juillet 2018).

## Annexes [[modifier](#) | [modifier le code](#)]

## Bibliographie [[modifier](#) | [modifier le code](#)]

- Bertrand Duplantier ; *Introduction à l'effet Casimir*, séminaire Poincaré (Paris, 9 mars 2002), publié dans : (en) Bertrand Duplantier et [Vincent Rivasseau](#) (en), *Poincaré Seminar (Paris, 9 mars 2002) : vacuum energy-renormalization*, Basel Boston, [Birkhäuser Verlag](#), 2003, 331 p. (ISBN 3-7643-0579-7, [lire en ligne](#) [[archive](#)]).
- [Roger Balian](#) ; *Effet Casimir et géométrie*, séminaire Poincaré (Paris, 9 mars 2002), publié dans : (en) Bertrand Duplantier et [Vincent Rivasseau](#) (en), *Poincaré Seminar (Paris, 9 mars 2002) : vacuum energy-renormalization*, Basel Boston, [Birkhäuser Verlag](#), 2003, 331 p. (ISBN 3-7643-0579-7, [lire en ligne](#) [[archive](#)]).
- (en) [Astrid Lambrecht](#) & [Serge Reynaud](#) ; *Recent experiments on the Casimir effect: description and analysis*, séminaire Poincaré (Paris, 9 mars 2002), publié dans : Bertrand Duplantier et [Vincent Rivasseau](#) (en) (Eds.) ; *Poincaré Seminar 2002*, Progress in Mathematical Physics 30, Birkhäuser (2003), (ISBN 3-7643-0579-7). [lire en ligne](#)[[PDF](#)] [[archive](#)].

## Références supplémentaires [[modifier](#) | [modifier le code](#)]

- (en) Bernard Jancovici & Ladislav Samaj ; *Casimir force between two ideal-conductor walls revisited*, *Europhysics Letter* **72** (2005), 35. ArXiv : [cond-mat/0506363](#) [[archive](#)].
- (en) [P. R. Buenzli](#) & Philippe A. Martin ; *The Casimir force at high temperature*, *Europhysics Letter* **72(1)** (2005), 42-48. ArXiv : [cond-mat/0506303](#) [[archive](#)].
- (en) Philippe A. Martin & [P. R. Buenzli](#) ; *The Casimir Effect*, *Acta Physica Polonica B* (à paraître : [2006](#)[[Quand ?](#)]). Notes de cours pour les *proceedings of the 1st Warsaw School of Statistical Physics*, Kazimierz, [Poland](#) (juin 2005). ArXiv : [cond-mat/0602559](#) [[archive](#)].

Sur les autres projets Wikimedia :

*Effet Casimir*, sur Wikimedia Commons

## Articles connexes [ modifier | modifier le code ]

- Vide quantique
- Théorie quantique des champs
- Histoire de l'Univers
- Expansion de l'Univers
- Fond diffus cosmologique
- Nucléosynthèse primordiale
- Inflation cosmique

## Liens externes [ modifier | modifier le code ]

- Notices dans des dictionnaires ou encyclopédies généralistes   *Britannica* [archive]   *Universalis* [archive]
- Notices d'autorité   *BnF* (données)   *LCCN*   *GND*   *Israël*



**Portail de la physique**



**Portail de la cosmologie**

Catégories : Effet physique quantique | Lévitation | Histoire de l'Univers | Cosmologie physique [+]

La dernière modification de cette page a été faite le 22 mai 2025 à 13:51.

**Droit d'auteur** : les textes sont disponibles sous licence Creative Commons attribution, partage dans les mêmes conditions ; d'autres conditions peuvent s'appliquer. Voyez les conditions d'utilisation pour plus de détails, ainsi que les crédits graphiques. En cas de réutilisation des textes de cette page, voyez comment citer les auteurs et mentionner la licence.

Wikipedia® est une marque déposée de la Wikimedia Foundation, Inc., organisation de bienfaisance régie par le paragraphe 501(c)(3) du code fiscal des États-Unis.

Politique de confidentialité À propos de Wikipédia Avertissements Contact Code de conduite Développeurs Statistiques

Déclaration sur les témoins (cookies) Version mobile

