Le Champ de Zéro en question

Maurice Surdin

Centre des faibles radioactivités,
Laboratoire Mixte CNRS-CEA, 91190 Gif sur Yvette

RÉSUMÉ. L'origine du Champ de Zéro (CDZ) est brièvement évoquée. On considère quelques propriétés de ce champ: a) L'importance de la densité de l'énergie de ce champ est comparée à celle de l'Univers. L'Invariance Lorentzienne est considérée. b) L'effet Casimir - la force d'attraction entre deux plaques conductrices parallèles - est étudié. c) Les forces de gravitation auraient-elles pour origine le CDZ ? Cette possibilité est examinée.

ABSTRACT. The origin of the Zero Point Field (ZPF) is briefly presented. Several properties of this field are considered: a) The importance of its energy density is compared to that of the universe. b) Casimir's effect - the attraction force between two conducting parallel plates - is examined. c) Do the gravitational forces derive from the ZPF ? This possibility is considered.

1 - Introduction

Tout a commencé quand Wheeler et Feynman [1] ont repris et développé la notion de "l'absorbeur" due à Tetrode [2]. Ils ont montré que la force de résistance de rayonnement est due à l'action de l'absorbeur sur la charge (électron) en mouvement. Cette action de l'absorbeur est équivalente à celle d'un champ électromagnétique fluctuant au zéro absolu de températures - le Champ de Zéro (CDZ).

Braffort et Tzara [3] ont étudié l'action du CDZ sur un oscillateur harmonique; ils ont montré que l'énergie moyenne de l'oscillateur est égale au produit de sa fréquence propre par une constante universelle. Cette constante s'introduit dans l'expression du spectre énergétique du

CDZ. Tout se passe comme si l'énergie rayonnée par l'oscillateur harmonique lui était restituée par le CDZ. Ce travail fécond de Braffort et Tzara est le premier d'une série basée sur la notion du CDZ, qui constitue l'Electrodynamique Stochastique (EDS). Il est intéressant de noter que ces auteurs ont utilisé l'expression donnant la densité spectrale du CDZ, à savoir

$$I(\nu)d\nu = \frac{4\pi h\nu^3 d\nu}{c^3} = 8\pi^2\hbar c(\frac{\nu}{c})^3\frac{d\nu}{c} \tag{1.1}$$

Une telle expression était déjà connue de Planck [4]. Cette relation obtenue à partir de raisonnements purement classiques conduit à la loi de Déplacement de Wien et à la loi de Stefan-Boltzmann. Elle est valable aussi en Mécanique Quantique (MQ) [5]. La différence essentielle entre la MQ et l'EDS est qu'en MQ le CDZ est virtuel alors qu'en EDS il est considéré comme réel.

Les prémisses et les acquis principaux de l'EDS ont été exposés en [6], [7], [8] et, plus récemment, en [9].

Dans ce qui suit, certaines propriétés de CDZ sont considérées: a) Une densité spectrale en ν^3 est Lorentz Invariante. L'étude de cette propriété et des considérations connexes seront proposées en Paragraphe 2°. b) L'énergie du CDZ n'est pas directement utilisable. L'effet Casimir, considéré avant l'émergeance de l'EDS, permet en quelque sorte une mesure directe de CDZ. Le paragraphe 3° sera consacré à l'étude de cet effet. c) Les relations entre le CDZ et la force de gravitation ont été considérées. Il a paru intéressant de consacrer un paragraphe (§4) à l'étude des forces de gravitation qui découleraient du CDZ.

2 - L'Invariance Lorentzienne et considérations connexes.

Seul un spectre en ν^3 est Lorentz Invariant (voir par exemple [10]). Toutefois cette propriété ne peut être considérée ici, car un spectre en $\nu^3 \to \infty$ quand $\nu \to \infty$; ceci est inacceptable. On doit donc considérer une fréquence de coupure ν_c au-delà de laquelle $I(\nu > \nu_c) = 0$.

Le problème qui se pose alors est de savoir comment déterminer cette fréquence ν_c; Surdin [6] propose:

$$2\pi\nu_c = \omega_c = \frac{3mc^3}{2e^2} \tag{2.1}$$

où m est la masse de l'électron et e sa charge électrique. Cette fréquence ω_c correspond à la création, à partir du rayonnement, d'un atome d'hydrogène et conduit au calcul de la masse m_H de l'atome d'hydrogène. Puthoff [11] propose pour la fréquence de coupure la fréquence de Planck, à savoir

$$\omega_c = (c^5/\hbar G)^{1/2} \tag{2.2}$$

où G est la constante de gravitation de Newton.

Il est intéressant de calculer la densité de l'énergie du CDZ et de la comparer à la densité de l'énergie de l'Univers que l'on suppose sphérique de masse M_0 et de rayon R_0. La densité de l'énergie du CDZ est donnée par

$$U = \int_0^{\omega_c} \frac{\hbar\omega^3 d\omega}{\pi^2 c^3} = \frac{\hbar\omega_c^4}{4\pi^2 c^3} \tag{2.3}$$

La densité de "matière" équivalente est

$$\rho_z = \frac{U}{c^2} = \frac{\hbar\omega_c^4}{4\pi^2 c^5} \tag{2.4}$$

La densité de la matière de l'Univers est

$$\rho_0 = M_0/\frac{4\pi}{3}R_0^3$$

Pour un Univers fermé on a [12]

$$R_0 = \frac{2GM_0}{c^2} \tag{2.5}$$

d'où

$$\rho_0 = \frac{c^2}{\frac{8\pi}{3}GR_0^2} \tag{2.6}$$

Des équations (2.4) et (2.6) on obtient

$$\rho_z/\rho_0 = \frac{2}{3\pi}\frac{GR_0^2\hbar\omega_c^4}{c^7} \tag{2.7}$$

On peut, pour commencer, calculer ce rapport pour ω_c donnée par l'équa.(2.1). Ainsi

$$\rho_z/\rho_0 = \frac{3^3}{8\pi}(\frac{mc^2}{e^2})^2 R_0^2 G\hbar\frac{m^2 c}{e^4} \tag{2.8}$$

Or, d'après l'Hypothèse de Grands Nombres [12], on a

$$R_0/(e^2/mc^2) \cong 4.10^{40} \tag{2.9}$$

L'éq.(2.8) s'écrit alors

$$\rho_z/\rho_0 = (4.10^{40})^2 . \frac{3^3}{8\pi} \quad \frac{G\hbar}{c^3}\left(\frac{mc^2}{e^2}\right)^2 \tag{2.10}$$

Mais puisque $(G\hbar/c^3)^{1/2}$ est la longueur de Planck, on a [12]

$$\left(\frac{G\hbar}{c^3}\right)^{1/2} /(\frac{e^2}{mc^2}) \cong 0.310^{-20} \tag{2.11}$$

d'où

$$\rho_z/\rho_0 \cong 10^{40} \tag{2.12}$$

En conclusion, le rapport de l'énergie du CDZ à celle au repos M_0c^2 de l'Univers est 10^{40}. Un événement physique, se produisant dans le laboratoire ou dans une galaxie, n'implique qu'une très faible fraction de l'énergie au repos de l'Univers; laquelle, elle-même, n'est qu'une fraction 10^{-40} de celle du CDZ. Un événement physique n'est perçu que comme une très faible ondulation sur l'océan du CDZ.

Si on avait pris pour fréquence de coupure la fréquence de Planck, on aurait

$$\rho_z/\rho_0 \cong 10^{120}$$

Wesson [13] note qu'en Relativité Générale, étant donnée la grande densité de l'énergie du CDZ, ou bien le CDZ n'existe pas ou bien il existe mais ne "gravite" - soumis aux forces de gravitation - pas. Dans les deux cas une révision majeure serait nécessaire ou bien en Mécanique Quantique ou en Gravitation. Cependant, il est suggéré que la solution serait celle proposée dans [12] où on montre qu'en introduisant la notion du CDZ dans les équations de la Relativité Générale de la Cosmologie comportant la constante cosmologique, on retrouve pour la Cosmologie l'équation de Newton.

3 - Retour sur l'effet Casimir.

Comme il a été dit plus haut, l'énergie du CDZ n'est pas directement utilisable. Cependant, Casimir [14] en 1948, avant l'émergence de l'EDS, dans le cadre de la MQ, a proposé une expression de la force d'attraction, entre deux plaques conductrices, dûe à l'énergie du vide.

Il considère un volume cubique L entouré de parois conductrices, où une plaque conductrice carrée de côté L est située à une distance d parallèlement à l'une des faces de la cavité. L'espace entre cette plaque et la face de la cavité est noté I. Il considère ensuite une autre plaque conductrice de côté L à une "très grande distance", $L/2$, de la même face de la cavité. L'espace entre la deuxième plaque et cette face est noté II. Pour les deux espaces, I et II, l'expression $\frac{1}{2}\Sigma\hbar\omega$ relative à l'énergie du vide est divergeante. Toutefois, la différence entre les deux énergies, à savoir

$$E = \frac{1}{2}(\Sigma\hbar\omega)_I - \frac{1}{2}(\Sigma\hbar\omega)_{II} \tag{3.1}$$

est considérée comme ayant une valeur définie; elle est interprétée comme étant l'énergie d'interaction entre la plaque à distance d et la paroi de la cavité.

Afin d'obtenir une valeur finie pour E, Casimir introduit une "fonction de coupure" qui assure la convergence de E. Il obtient ainsi une force d'attraction par unité de surface agissant entre deux plaques conductrices parallèles à une distance d comme

$$F = -\frac{\pi^2\hbar c}{240 d^4} \tag{3.2}$$

Depuis la publication de cet article, de nombreux travaux relatifs à ce sujet ou à des sujets connexes ont été publiés. Parmi ceux-ci, on peut citer l'article de Marshall [15]. Il considère un oscillateur harmonique placé entre les deux plaques conductrices parallèles en présence du CDZ ayant une densité spectrale d'énergie

$$I(\nu)d\nu = \frac{4\pi h\nu^3 d\nu}{c^3} \tag{3.3}$$

Considérant les images électriques du dipôle dans les deux plaques conductrices, Marshall écrit l'expression donnant l'énergie d'attraction laquelle est divergente. Il applique alors une procédure de convergence similaire à celle de Casimir et obtient une force d'attraction donnée par l'éq. (3.2). Il soutient alors que cette force existe si l'oscillateur harmonique est présent ou non entre les deux plaques.

Milonni, dans son livre *The Quantum Vacuum* [16], consacre plusieurs chapitres à l'effet Casimir et à des effets connexes. En particulier, dans son chapitre 2.7, il reprend la démonstration de Casimir en clarifiant certaines des relations mathématiques. Ses équations citées ci-après seront précédées de la lettre M.

Des expériences effectuées par Sparanay [17] ont donné une indication de l'existence de la force de Casimir et de sa variation en fonction de la distance d. Cependant, à une distance d la force mesurée était plus grande que celle donnée par l'éq. (3.2). Une expérience connexe, à savoir: la mesure de l'interaction d'un atome avec la force existant entre deux plaques parallèles, la force de Casimir-Polder [18] a été effectuée avec une grande minutie par Sukenik et al. [19]. On trouvera des considérations générales et d'autres références dans le livre de Milonni [16].

Première démonstration de la formule donnant la force de Casimir.

Dans ce qui suit, la démonstration originale de Casimir est analysée. Les notations sont celles de Milonni.

Soient deux plaques conductrices parallèles à une distance d. Ces deux plaques forment un "résonateur" (Réf. [16] p.98). Les axes des x et des y sont parallèles aux plans des plaques et l'axe des z est perpendiculaire à ces plans. L'énergie potentielle du système, du fait de l'énergie du vide, si on tient compte de l'énergie contenue dans le résonateur - entre les deux plaques - moins l'énergie du vide contenue en dehors du résonateur, est donnée en coordonnées polaires $u, \theta (dk_x.dk_y = u.du.d\theta)$ où les k sont des nombres d'onde et $k_z = \frac{n\pi}{L_z} = n\pi/d$ est $M(2.102)$

$$U(d) = \frac{L^2\hbar c}{\pi^2}(\frac{\pi}{2})\Big[\sum_{n=o}^{\infty}\int_0^{\infty}(u^2+\frac{n^2\pi^2}{d^2})^{1/2}u.du \\ -(\frac{d}{\pi})\int_0^{\infty}dk_z\int_0^{\infty}(u^2+k_z^2)^{1/2}udu\Big] \tag{3.4}$$

C'est la différence entre deux quantités infinies.

On considère alors une fonction de coupure $f(k) = f([u^2 + k_z^2]^{1/2})$ telle que $f(k) = 1$ pour $k \ll k_m$ et $f(k) = 0$ pour $k \gg k_m$. L'éq (3.4) est alors multipliée par cette fonction, on obtient

$$U(d) = \frac{L^2\hbar c}{\pi^2}(\frac{\pi}{2})\Big[\sum_{n=o}^{\infty}\int_0^{\infty} udu(u^2 + \frac{n^2\pi^2}{d^2})^{1/2} f([u^2 + \frac{n^2\pi^2}{d^2}]^{1/2}) - (\frac{d}{\pi})\int_0^{\infty} dk_z \int_0^{\infty} udu(u^2 + k_z^2)^{1/2} f([u^2 + k^2]^{1/2})\Big] \tag{3.5}$$

Cette relation appelle deux observations: a) L'utilisation de la fonction de coupure $f(k)$ est restrictive et inutile. Elle est restrictive parce qu'elle s'oppose partiellement à l'hypothèse originale de "plaques parfaitement conductrices". Elle est inutile parce que les forces qui dérivent des modes à haute fréquence agissant sur chaque face d'une plaque ont la même intensité et une direction opposée, elles s'annullent. Ainsi l'introduction de $f(k)$ est superflue. b) L'observation la plus importante est la suivante: le premier terme de l'éq (3.4) correspond à des modes à l'intérieur du résonateur - entre les deux plaques - est physiquement incorrect. $\sum_{n=o}^{\infty}$ comprend des fréquences les plus basses, ce qui correspond à de très grandes longueurs d'ondes, plus grandes que d; celles-ci ne peuvent pas exister à l'intérieur d'un résonateur de dimension d.

Dans l'opération suivante - l'application de la formule de Euler-Mac Laurin - le terme $\sum_{n=o}$ qui n'a pas d'existence physique, est annulé.

Deuxième démonstration de la formule donnant la force de Casimir.

Dans ce paragraphe, on se propose d'établir une expression donnant la force de Casimir en utilisant des arguments physiques simples. Deux plaques parallèles conductrices forment un résonateur unidimensionnel pour des ondes planes monochromatiques se propageant dans la direction perpendiculaire aux plans des plaques. Pour ces ondes, la densité spectrale de l'énergie du CDZ est le tiers de celle donnée par l'éq (1.1), soit

$$I_d(\nu)d\nu = \frac{4\pi}{3}.\frac{h\nu^3 d\nu}{c^3} \tag{3.6}$$

Cette expression est valable aussi en M.Q.

La densité de l'énergie donnée par l'éq (3.6) est équivalente à la pression de radiation sur les faces intérieures des plaques. La pression de radiation, due au CDZ, est, elle aussi, appliquée sur les faces extérieures des plaques. Toutefois, les modes dont les longueurs d'ondes sont plus grandes que la distance d ne peuvent exister dans la cavité résonante unidimensionnelle. Si on considère que la fréquence de coupure est telle que $\lambda_m = 2d$, la force de Casimir par unité de surface est alors

$$F_d = -\int_0^{c/2d} \frac{8\pi^2}{3}\hbar c(\frac{\nu}{c})^3 \frac{d\nu}{c} = -\frac{\pi^2 \hbar c}{24 d^4} \tag{3.7}$$

F_d est la différence entre les pressions de radiation extérieure et intérieure.

4 - Le CDZ et les forces de gravitation.

Une esquisse d'un modèle électromagnétique de la gravitation a été présenté en 1971 (voir [6]). Pour simplifier le raisonnement, on admet que la matière de l'Univers, sous forme d'atomes d'hydrogène, est distribuée d'une façon homogène et isotrope et que le Principe Cosmologique s'applique. Le CDZ induit sur chaque atome d'hydrogène un dipôle électrique fluctuant. Les dipôles induits créent à leur tour un champ é.m. fluctuant. Les forces résultant de ces champs, agissant entre atomes, sont des forces d'attraction. Des forces similaires sont connues sous le nom de forces de dispersion de London. Ici, toutefois, il ne s'agit pas de la force entre deux atomes isolés mais il faut tenir compte de la présence de tous les autres atomes d'hydrogène de l'Univers.

Pour tourner les difficultés que présente le calcul de ces forces, on a utilisé la méthode suivante: on calcule l'énergie électrostatique propre à l'atome d'hydrogène due aux charges fluctuantes en présence de tous les autres atomes de l'Univers, supposé "fermé", et on identifie cette énergie à l'énergie gravitationnelle de l'atome. On obtient ainsi une relation donnant la constante de gravitation

$$G = \frac{2\varepsilon_0 e^2 a_0}{R_0 m_H^2} \tag{4.1}$$

où ε_0 est la constante diélectrique de vide, a_0 le rayon et m_H la masse de l'atome d'hydrogène, R_0 est le "rayon" de l'Univers. L'éq (4.1) s'apparente à la première relation de l'Hypothèse de Grands Nombres [12].

En 1989, Futhoff [11] a proposé une solution mathématique au problème posé plus haut. Cette solution a été discutée par Wesson [20].

Dans ce qui suit, on examine trois dispositifs qui pourraient montrer directement que les forces de gravitation sont dues au CDZ. Pour illustrer la difficulté de cette tâche, on se réfère à la première relation de l'Hypothèse de Grands Nombres, à savoir

$$\frac{e^2}{Gm_H m} \cong 10^{40} \tag{4.2}$$

L'éq (4.2) exprime le fait que les forces d'origine électromagnétique sont 10^{40} plus intenses que celles dues à la gravitation.

Les trois dispositifs sont les suivants:

a) Au 3ème paragraphe, on a vu que deux plaques conductrices parallèles constituent l'équivalent d'un filtre passe-haut pour les ondes électromagnétiques du CDZ. En effet, les ondes électromagnétiques dont la longueur d'onde est supérieure à la séparation d entre les deux plaques ($\omega < \omega_m = \frac{c}{2d}$ sont expulsées de l'espace compris entre les deux plaques. Si on admet la proportionnalité entre l'énergie é.m. du CDZ et celle des forces de gravitation, on peut envisager le dispositif suivant: on note le poids d'une masse d'épreuve placée au voisinage d'une plaque unique. On le compare au poids mesuré quand la masse d'épreuve se trouve placée entre deux plaques. D'après l'hypothèse ci-dessus, la différence des deux poids serait de l'ordre de $(\omega_m/\omega_c)^4$. Si on tient compte des possibilités expérimentales, on constate que ce rapport est très faible, inférieur de plusieurs dizaines d'ordres de grandeur à la sensibilité des balances actuelles.

b) On sait (voir par exemple [21]) qu'une source d'ondes planes monochromatiques dirigées sur un réflecteur parfait n'émet pas. L'espace compris entre l'émetteur et le récepteur est vide d'ondes électromagnétiques. La question qui se pose alors est la suivante: en rendant supraconductrices les parois d'une cavité, expulse-t-on les ondes é.m. (celles du CDZ) contenues dans la cavité auparavant ? La réponse à cette question a un grand intérêt, car dans une cavité d'où le CDZ aurait été expulsé il n'y aurait pas de forces de gravitation. Le temps de réponse d'une cavité dépend de sa constante de temps τ. Or l'établissement de la supraconductibilité se fait dans un temps θ de l'ordre de $\theta \cong l/c$ où l est la dimension linéaire de la cavité, soit $\theta \cong 10^{-9}$ sec. La constante de temps τ d'une cavité, avant l'établissement de la supraconductibilité, se mesure en secondes. Ainsi, la cavité n'a pas le temps de se vider de son CDZ pendant l'établissement de la supraconductibilité. Le CDZ reste piégé dans la cavité supraconductrice. Donc ce dispositif ne répond pas à l'objectif que l'on s'est proposé d'atteindre. En passant, on note que ce résultat est en accord avec l'hypothèse implicite que l'on fait en SED de l'omniprésence du CDZ. Il montre aussi qu'il n'existe pas de blindage gravifique.

c) La mesure du champ magnétique d'un corps tournant constitue une démonstration semi-directe de la relation entre la gravitation et le CDZ [22]. Le modèle est le suivant: le CDZ induit dans les atomes d'un corps tournant des dipôles électriques fluctuants. On admet que du fait de la rotation du corps et pour des raisons de symétrie, les dipôles sont alignés radialement dans des plans parallèles au plan de l'équateur du corps tournant, dirigés soit vers l'axe de rotation ou dans la direction opposée. Il en résulte un champ magnétique dipolaire aléatoire, parallèle ou antiparallèle à la direction de rotation. On calcule, pour une sphère de masse M et de rayon R tournant autour d'un de ses diamètres à une vitesse angulaire Ω un champ magnétique H donné par

$$\langle H^2 \rangle = \frac{1}{8}\frac{G}{c^2}\frac{M^2\Omega^2}{R^2} \tag{4.3}$$

Les résultats expérimentaux [22] confirment les prévisions théoriques basées sur ce modèle.

5 - Annexe

Pour certains calculs, il est avantageux de remplacer la coupure franche à ω_c par une exponentielle $\exp(-\omega^4/\omega_c^4)$ de sorte que l'éq (2.3) soit remplacée par

$$U = \int_0^\infty \frac{\hbar\omega^3 e^{-\omega^4/\omega_c^4}}{\pi^2 c^3} d\omega = \frac{\hbar\omega_c^4}{4\pi^2 c^3} \tag{5.1}$$

La densité de l'énergie du CDZ est la même que celle donnée par l'éq (2.3). Tous les calculs où la fréquence de coupure intervient deviennent analytiques. D'autre part, considérée d'un certain point de vue [23], la densité spectrale

$$I(\omega)d\omega = \frac{\hbar\omega^3 e^{-\omega^4/\omega_c^4} d\omega}{\pi^2 c^3} \tag{5.2}$$

conserve une invariance Lorentzienne.

Références

[1] J.A. Wheeler et R.P. Feynman - Rev. Mod. Phys **17** 157 (1945) et **21** 425 (1949).

[2] H. Tetrode - Z. Physik **10** 317 (1922).
[3] P. Braffort et C. Tzara - CRAS **239**, 1779 (1954).
[4] M. Planck - *The Theory of Heat Radiation* (1922) - Dover Publication 1950.
[5] S. Weinberg - Rev. Mod. Phys. **61** 1 (1989).
[6] M. Surdin - Ann. Inst. Henri Poincaré - **15** 203 (1971).
[7] T.H. Boyer - *A brief survey of Stochastic Electrodynamics* dans Foundations of Radiation Theory and Quantum Mechanics - Ed. A.O. Barut - Plenum Press 1981.
[8] M. Surdin - *Stochastic Electrodynamics an Overview* dans *Old and New Questions in Physics, Cosmology, Philosophy and Theoretical Biology, Essays in honour of Wolfgang Yourgrau* - Ed. A. van der Merwe - Plenum Press 1983.
[9] M. Surdin - Ann. Fond. Louis de Broglie - **19** 173 (1994).
[10] C.W. Misner, K.S. Thorne et J.A. Wheeler - *Gravitation* W.H. Freeman - 1971 - p. 586-588.
[11] H.E. Puthoff - Phys. Rev. - **A 39** 2333 (1989).
[12] M. Surdin - Phys. Essays - **5** 491 (1992).
[13] P.S. Wesson - Astrophys. J. - **378** 466 (1991).
[14] H.B.G. Casimir - Proc Kon Ned Akad Weten - Amsterdam **51** 793 (1948).
[15] T.W. Marshall - Il Nuovo Cimento - **38** 206 (1965).
[16] P.W. Milonni - *The Quantum Vacuum* - Academic Press 1994.
[17] M.J. Sparanay - Physica **24** 751 (1958).
[18] H.B.G. Casimir et D. Polder - Phys. Rev. **73** 360 (1948).
[19] C.J. Sukenik, M.G. Boshier, D. Cho, V. Sandoghdar et E.A. Hinds - Phys. Rev. Lett. **70** 560 (1993).
[20] P.S. Wesson - Phys. Rev. **A 44** 3379 (1991).
[21] M. Surdin - Hardonic J. Supp. **8** 317 (1993).
[22] M. Surdin - J. Franklin Inst. **303** 493 (1973) et Ann. Fond. Louis de Broglie **5** 127 (1980).
[23] M. Surdin - En cours de publication.

(Manuscrit reçu le 29 novembre 1995)