Roger Boudet
(in memoriam)

Claude Daviau, Jacques Bertrand

Fondation Louis de Broglie, 23 rue Marsoulan, 75012 Paris

Nous apprenons le décès le 31 août de notre ami Roger Boudet, à 88 ans. Il a été durant de longues années un collaborateur précieux pour les Annales de la Fondation Louis de Broglie.

Après avoir travaillé comme ingénieur chez Bull puis au CEA, Roger Boudet est devenu professeur de mécanique à l'université d'Aix-Marseille. Fin connaisseur de la mécanique rationnelle et de la mécanique des milieux continus, il a publié plusieurs excellents manuels de mécanique [1-3]. Il était plein d'humour et donnait l'apparence de quelqu'un qui ne se prend pas trop au sérieux, mais ses écrits font preuve en fait d'une grande rigueur.

Roger Boudet a raconté dans ces Annales [4] comment il a commencé à travailler sur l'équation de Dirac :

"Une dizaine d'années plus tard[1]... D. Hestenes mettait... le spineur de Dirac sous la forme rigoureusement identique à celle de [5]... Hestenes ignorait tout des travaux de l'Ecole L. de Broglie. (La relation a été faite... par G. Casanova à qui j'avais communiqué l'article d'Hestenes). Son approche reposait sur le formalisme réel de l'algèbre de Clifford $Cl_{1,3}$."

Roger Boudet a alors travaillé sur différents aspects de l'onde de Dirac, écrite en algèbre d'espace-temps, donc de manière parfaitement relativiste, et dans un formalisme réel qui se prête beaucoup mieux aux calculs rigoureux auxquels la mécanique rationnelle l'avait habitué [6].

Il a commencé par l'étude du cas le mieux connu et le plus utile, qui est la résolution de l'équation de Dirac dans le cas de l'atome

[1] C'est-à-dire 10 ans après l'article de Lochak [5] trouvant une transformation de Lorentz dans l'onde de Dirac.

d'hydrogène, qu'il a reprise avec l'algèbre d'espace-temps, de manière complète et en utilisant les fonctions sphériques adéquates en algèbre de Clifford [7]. Il est allé jusqu'au calcul de l'angle d'Yvon-Takabayasi β qui intervient dans la forme obtenue par Lochak puis Hestenes incluant la transformation de Lorentz R :

$$\psi = \sqrt{\rho} e^{\mathbf{i}\beta/2} R; \quad e^{\mathbf{i}\beta/2} R = \psi \rho^{-1/2} \tag{1}$$

Dans l'étude générale venant de cette écriture trigonométrique de l'onde de Dirac, le résultat qui lui paraissait le plus important est celui sur les lois de conservation [8]. Et il avait raison, car nous avons retrouvé son résultat dans le cadre plus général de l'onde fermionique [9].

Il s'est ensuite attaqué à nettement plus difficile, à savoir la question de l'émission de la lumière par un atome, ainsi que l'effet Lamb qui est une très petite différence entre la prédiction des niveaux d'énergie par l'équation de Dirac et la réalité physique : on constate un tout petit écart entre certains niveaux d'énergie, par exemple entre les états 2s1/2 et 2p1/2 pour lesquels l'équation de Dirac prévoit l'égalité [10-12]. Là il a eu beaucoup plus de difficultés, pour plusieurs raisons.

D'abord la forme (1) n'est pas générale : l'algèbre d'espace-temps n'est pas un corps, il existe des éléments qui ne sont pas inversibles, précisément ceux qui autorisent quelque part $\rho = 0$. Et les solutions pour l'atome d'hydrogène correspondant aux états 2s1/2 et 2p1/2 sur lesquelles Roger Boudet s'appuyait présentent justement ce genre de défaut. La seconde raison est encore plus grave, c'est que le calcul de l'effet Lamb a été fait de manière tout à fait incorrecte par des gens qui prétendent avoir obtenu une précision extraordinaire alors que leur calcul présente de nombreux défauts. Donc quand Roger Boudet a trouvé une erreur grossière dans le calcul, il s'est fait proprement censurer et n'a jamais pu faire entendre raison à ceux qui veulent à tout prix croire aux 11 chiffres significatifs de la théorie quantique des champs. Il a fini par présenter la chose de manière humoristique, mais il était choqué, amer, et ne s'en est jamais vraiment remis.

Même quand on possède toutes les connaissances en physique et la rigueur intellectuelle dont Roger Boudet a fait preuve, on peut jouer de malchance et ne pas réussir à avancer autant qu'on le souhaiterait. Roger Boudet a, bien naturellement, utilisé l'algèbre d'espace-temps, qui semble a priori tout indiquée pour une théorie relativiste. Or il se trouve que l'onde de Dirac est à valeur dans $\mathbb{C}^4 = \mathbb{R}^8$, donc la meilleure algèbre pour écrire la théorie de Dirac est Cl_3 qui est de dimension 8 et non pas $Cl_{1,3}$ qui est de dimension 16. La théorie de la Relativité parle essentiellement d'invariance, l'espace-temps est une invention du mathématicien Minkowski, pas du physicien Albert Einstein. Et l'espace-temps de Minkowski est trop symétrique entre le temps et l'espace : en physique des interactions faibles temps et espace physique sont tous deux orientés, et séparément. De plus le R des égalités (1) qu'Hestenes et Lochak et tant d'autres depuis 1927 ont appelé transformation de Lorentz est en fait un élément d'un tout autre groupe, $SL(2,\mathbb{C})$, lui même sous-groupe du groupe multiplicatif de Cl_3, vrai groupe d'invariance de l'équation d'onde.

Roger Boudet était l'ainé par rapport à Georges Lochak et nous, et nous avons toujours plus de difficulté à apprendre de nos cadets. Georges Lochak a compris dès 1983 que l'angle d'Yvon-Takabayasi était en fait l'angle de jauge permettant de décrire un monopôle magnétique. Il a aussi trouvé le terme de masse non linéaire compatible avec cette jauge [13]. C'est ce terme de masse qui se généralise, et pas le terme de masse linéaire que Roger Boudet a toujours continué d'utiliser, et qui a le défaut d'être incompatible avec la jauge électro-faible [14].

Les tenseurs de la théorie de Dirac s'obtiennent de manière simple en multipliant à droite par $\widetilde{\psi}$, mais c'est la multiplication à gauche par $\widetilde{\psi}$ qui permet d'obtenir la forme invariante de l'équation de Dirac, le groupe d'invariance de forme et le double lien entre l'équation d'onde et la densité lagrangienne. Avec un peu plus de chance, il aurait aussi tenté la multiplication à gauche...

Références

[1] R. Boudet, A. Chauvin, Mécanique (éléments de mécanique rationnelle), Hermes Science Publications, 1997.

[2] R. Boudet, A. Chauvin, Mécanique des milieux continus, Hermes Science Publications, 1996.

[3] R. Boudet, A. Chauvin, Mécanique : éléments de mécanique rationnelle : cours, exercices et corrigés, Hermes Science Publications, 1996.

[4] R. Boudet, La théorie intrinsèque de la particule de Dirac et "l'Ecole Louis de Broglie", Ann. Fond. L. de Broglie, **26** n. spécial 2001.

[5] G. Lochak, G. Jakobi, Paramètres relativistes de Cayley-Klein dans l'équation de Dirac, C. R. Acad. Sci. **243**, 1956, p. 234.

[6] R. Boudet, Sur une forme intrinsèque de l'équation de Dirac et son interprétation géométrique, C.R.A.S., 272 , 767 (1971)

[7] R. Boudet, Sur le tenseur de Tetrode et l'angle de Takabayasi. Cas du potentiel central, C.R.A.S., 278, 1063 (1974),

[8] R. Boudet, Conservation laws in the Dirac theory, J. Math. Phys. **26** No 4, pp. 718–724, 1985

[9] Daviau, C., Bertrand, J. and Girardot, D. (2016) Towards the Unification of All Interactions (The First Part : The Spinor Wave). Journal of Modern Physics, 7, 1568-1590. http ://dx.doi.org/10.4236/jmp.2016.712143

[10] R. Boudet, On the Relativistic Calculation of Spontaneous Emission, Found. of Phys. **23** No 10, 1993

[11] R. Boudet, The Relativistic Expressions with Retardation of the Matrix Elements Used in the Hydrogenic Atomic Transitions : Applications to the Photoeffect and the Lamb Shift, Found. of Phys. **29**, No 1, pp ; 29–47 1999.

[12] R. Boudet, B., Blaive : Exact Relativistic Calculation with Retardation of the Matrix Elements used in the Photoeffect of Hydrogenic Atoms, Found. of Phys. **30**, No 8, pp ; 1283–1300, 2000.

[13] Georges Lochak, Harald Stumpf, The leptonic magnetic monopole, theory and experiments, Advances in imaging and electron physics, volume 189, Elsevier, Amsterdam, 2015 – 329 pages, ISBN : 978-0-12-802463-8.

[14] R. Boudet, Quantum Mechanics in the Geometry of Space-Time, Elementary theory, Springer Briefs in Physics, 2011.

(Manuscrit reçu le 9 septembre 2016)