

Note d'information sur des recherches en physique fondamentale

(Complément aux notes d'avril et mai 2016)

Note N°3 - juillet 2016

Relativité-Quanta : la cohérence retrouvée

Les notes d'information d'avril et de mai 2016 avaient pour objectif de récapituler les résultats de recherches susceptibles d'éliminer la discordance qui oppose la relativité et la théorie quantique. Elles mettent en évidence certains aspects du processus itératif selon lequel la physique moderne s'est développée dans la voie ouverte par la Théorie de Maxwell. Dans la présente note, on va analyser l'impact de ce processus sur l'interprétation de l'interaction de couplage la plus élémentaire de l'électromagnétisme, après la Loi de Coulomb : l'interaction d'une charge électrique en mouvement rectiligne uniforme avec une charge fixe.

On considère la charge q parcourant l'axe $x'x$ à vitesse initialement rectiligne uniforme et une charge q' initialement statique en P (Figure 1). La théorie électromagnétique actuelle, conduisant à l'interprétation des phénomènes concernés, découle pour une large part de la Théorie de Maxwell, prolongée par la Théorie de Lorentz qui prend en compte la découverte de la structure discontinue de la matière et l'existence de l'électron. Elle a été modifiée en profondeur par les théories des quanta, de la relativité et de la quantification mathématique de la Théorie de Maxwell-Lorentz, modifications qui concernent plus précisément le rayonnement électromagnétique et les interactions électromagnétiques dans la matière.

• P q'

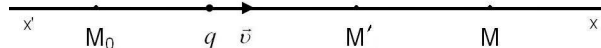


Figure 1

De cet ensemble et pour ce qui nous concerne ici, il reste que, pour l'espace vide, les charges et les courants électriques sont les sources de champs électriques et de champs magnétiques pour lesquels la Théorie de Maxwell conduit aux équations :

$$\square \vec{E} = 0 \quad (1) \qquad \square \vec{B} = 0 \quad (2)$$

La conséquence explicitement formulée par Hendrik Antoon Lorentz est que *pour tout système électromagnétique qui n'est pas en état statique, les champs évoluent dans l'espace par propagation (dans l'éther) avec l'analogie explicative de l'émission d'ondes sonores par une tige vibrant dans l'air*. Ces concepts sont restés globalement en vigueur pour l'interprétation des phénomènes dans les interactions de couplage.

Dans l'exemple de la figure 1, l'interprétation initiale découlant directement de la Théorie de Maxwell conduisait à considérer que le champ en P lorsque la charge q est en M au temps t dépend du passage de q à la position retardée M_0 au temps $t_0 = t - M_0P/c$ (3) ; ce champ est supposé s'être propagé jusqu'à P à la vitesse de la lumière c , associé à de l'énergie et de la quantité de mouvement (voire du moment cinétique), pendant que la charge s'est déplacée de M_0 à M ; ce qui peut intervenir sur la charge après son passage en M_0 , par exemple son immobilisation en M' , n'a plus d'influence sur ce qui interviendra en P. Le champ était alors exprimé par les potentiels retardés tels qu'ils découlaient de la Théorie de Maxwell et le champ électrique en P était dirigé vers M_0 , *position retardée* de q . Les recherches menées à la fin du

19^{ème} siècle ont conduit à la conclusion que la mise en œuvre des potentiels retardés issus directement de la Théorie de Maxwell conduit à une expression inexacte du champ électromagnétique, l'écart avec la réalité étant d'autant plus grand que la vitesse de la charge est plus grande. On est arrivé ainsi aux Potentiels de Liénard et Wiechert qui ont introduit une correction directionnelle sur la charge conduisant à des résultats en accord avec la réalité physique. Lorsque la relativité s'est développée, il est apparu que la formulation du champ électromagnétique à partir des Potentiels de Liénard et Wiechert est cohérente avec ce qu'implique la relativité. On obtient le même résultat en partant du champ de la charge en position statique dans un référentiel donné et en faisant le changement de référentiel conformément à la Transformation de Lorentz. La situation, bien connue, est schématisée par les figures 2 et 3 et les relations 4 à 6 représentant et exprimant le champ en fonction de la position de la charge.

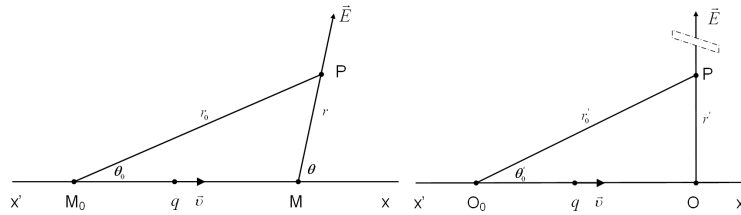


Figure 2

Figure 3

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{r}}{r^3} \frac{1 - v^2/c^2}{(1 - v^2/c^2 \sin^2 \theta)^{3/2}} \quad (4), \quad \vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{r}}{r^3} \frac{1}{(1 - v^2/c^2)^{1/2}} \quad (5),$$

$$\vec{B} = \epsilon_0 \mu_0 \vec{v} \wedge \vec{E} \quad (6).$$

Les composantes \vec{E} et \vec{B} du champ, pour une valeur donnée de q, sont déterminées par les paramètres liés à la position retardée M_0 , distance M_0P et angle θ_0 , mais la correction introduite sur la charge *pour tenir compte de l'impact de son mouvement sur l'élaboration des potentiels*, aboutit à un résultat qui, à l'époque, a soulevé beaucoup d'interrogations : le champ électrique est colinéaire avec la position instantanée de la charge, alors que la théorie le fait dépendre de la position retardée ; les champs \vec{E} et \vec{B} sont orientés comme si l'interaction était instantanée. Cette situation apparaît de façon particulièrement significative lorsque q est en O (figure 3) ; \vec{E} est exprimé par la relation 5, sachant que le lien de cause à effet charge-champ est supposé remonter au point O_0 défini par rapport à O comme M_0 par rapport à M. Le champ électrique est exprimé de la même façon que si la charge était statique en O, mais avec un coefficient amplificateur qui est spécifique des effets relativistes.

L'interprétation de ces résultats était de la première importance : la Théorie de Maxwell ne conduisait pas systématiquement à des résultats pleinement valables. Lorsque ils ont été obtenus, c'était la période où les prévisions de cette théorie étaient considérées comme vérifiées par les Expériences de Hertz qui lui donnaient un poids considérable et sa remise en cause n'était pas envisageable. L'idée que la correction qui avait été introduite dans la formulation des potentiels avançait ceux-ci et en faisait des potentiels instantanés avait été émise mais n'avait pas été retenue. Depuis, les quanta ont été introduits, dans la lumière d'abord, et ensuite dans tout le rayonnement électromagnétique. L'avancée qu'ils représentaient était contradictoire avec l'existence de l'éther et de la propagation et aurait pu conduire à aborder l'élimination de ces concepts dans les interactions de couplage ; mais ensuite *la quantification mathématique de la Théorie de Maxwell-Lorentz* allait conduire à des résultats prodigieux et créer, vis-à-vis de l'éther et de la propagation, une situation ambivalente. Une incertitude subsistait entre l'approche passant par la réalité physique des photons et celle qui conduisait à considérer que *tout se passe comme si c'était des photons*.

Revenons à l'interaction entre la charge q parcourant l'axe $x'x$ et la charge q' en P. Il s'agit d'une interaction de couplage et, selon les termes d'Albert Einstein, elle implique *une action électrodynamique réciproque* : la charge q communique de l'énergie cinétique à la charge q' mais, simultanément, à chaque instant, l'action réciproque de q' sur q effectue le prélèvement équivalent d'énergie. C'est cette interaction qui fait que, dans un transformateur, l'énergie disponible au secondaire est prélevée sur l'énergie fournie au primaire ; le même processus intervient, dans un générateur électromécanique, grâce auquel l'énergie électrique délivrée par l'induit est fournie sous forme mécanique à l'inducteur. Depuis la Théorie de Maxwell, on considère que l'énergie acquise par q' provient de l'énergie volumique associée au champ qui se sépare de q en M_0 . La théorie présente là une incompatibilité avec la réalité physique. L'anomalie est peut-être plus perceptible lorsque la position retardée est, par exemple, à mille kilomètres de la position instantanée (vitesse de q très proche de la vitesse de la lumière), même si le problème reste le même. Le champ électromagnétique est supposé se séparer de q avec de l'énergie et de la quantité de mouvement parce que la théorie aboutit aux équations 1 et 2 ci-dessus. Cela ne tient pas compte du fait qu'il y ait, ou non, une charge q' en P, ou un nombre illimité de charges telles que q' dans l'espace. Considérer que de l'énergie associée au champ se détache de la charge q est incompatible avec le fait que q est à vitesse rectiligne uniforme donc à énergie constante. Cela est apparu acceptable parce que le flux de cette énergie à l'infini, exprimé par le flux du vecteur de Poynting, est nul. Lorsque de l'énergie électromagnétique est rayonnée, son flux sur une surface sphérique englobant la zone d'émission est constant quand le rayon de la sphère croît à l'infini ; c'est évident si on raisonne en terme de photons émis : c'est toujours le même nombre de corpuscules qui s'enfoncent vers l'infini, le flux du vecteur de Poynting reste constant. Dans le cas qui nous intéresse, le fait que le flux d'énergie soit nul à l'infini ne résout en aucune façon le problème. Cela conduit simplement à postuler que l'énergie qui s'est séparée de la charge avec le champ s'évanouit dans l'espace, ce qui est inacceptable. L'énergie peut se déplacer ou changer de forme ; dans les conditions de notre univers terrestre, elle ne s'évanouit pas, elle ne disparaît pas.

Doit-on alors considérer que les Potentiels de Liénard et Wiechert ont annulé le retard de propagation découlant des équations 1 et 2 et ont reformulé des interactions instantanées ? Les théories einsteiniennes se sont écartées de la Théorie de Maxwell en introduisant les quanta et en rejetant l'éther luminifère, mais elles s'en sont rapprochées avec la relativité développée en symbiose avec cette théorie en s'appuyant sur *l'expression maxwellienne de l'énergie électromagnétique de l'espace*. Plus tard, Albert Einstein a exprimé le doute d'avoir été sur la bonne piste et s'est reproché d'avoir privilégié la relativité vis-à-vis des quanta. Lorsque l'intrication des particules (*verschränkung* d'Erwin Schrödinger) avait conduit à évoquer des interactions instantanées, il avait considéré qu'il s'agissait d'*actions fantômes* et un vaste débat en avait alors résulté (Débat Einstein-Bohr). Tout cela avait contribué à faire un dogme de l'impossibilité de l'existence d'interactions instantanées ; la réorientation que suggèrent ses ultimes propos conduit à s'interroger sur la possibilité qu'une relativité actualisée devienne compatible avec de telles interactions. Ce serait cohérent avec les interactions entre particules corrélées, mais aussi avec certains phénomènes de nature similaire qui apparaissent dans les interférences. Les présentes recherches conduisent dans cette voie, ce qui nous ramène aux Potentiels de Liénard et Wiechert. Comme cela avait été envisagé lorsqu'ils ont été élaborés, partant des interactions retardées par la propagation, ils formulent un champ instantané à partir des charges en mouvement. De plus, alors que la Théorie de Maxwell conduit à une valeur du champ d'autant plus inexacte que la vitesse de la charge est plus grande, ils conduisent à la valeur exacte obtenue parallèlement par la relativité, comme indiqué précédemment.

L'anomalie qui opposait l'inséparabilité quantique à la relativité s'efface ; les interactions de couplage sont instantanées. Plus généralement, lorsqu'une source de champs évolue dans l'espace, ses champs évoluent instantanément, en concomitance avec elle, jusqu'à l'infini de l'espace. Les indispensables vérifications expérimentales sont à la portée des laboratoires normalement équipés en la matière.