

LES

PAPIERS

DU COLLEGE INTERNATIONAL DE PHILOSOPHIE

N°5



Françoise BALIBAR

**LE RÔLE DE L'ÉETHER
DANS LA QUESTION DU CONTINU
ET DU DISCONTINU EN PHYSIQUE**

Papiers du Collège international de philosophie

Papiers n° 5

LE RÔLE DE L'ÉTHÉR

DANS LA QUESTION DU CONTINU ET DU DISCONTINU EN PHYSIQUE

Une manière d'essayer de comprendre ce qui profondément lie les deux grandes révolutions théoriques du début du siècle en physique (la théorie des quanta et celle de la relativité – autrement dit : de comprendre sinon en quoi la théorie de la relativité était nécessaire à l'émergence de la mécanique quantique, du moins en quoi ces deux théories participent d'un même mouvement intellectuel –, question lancinante et à mon avis non encore résolue, consiste à se demander si c'est par hasard que *le discontinu s'introduit en physique au moment même où disparaît l'éther*. L'article d'Einstein sur les quanta de lumière est en effet écrit en mars 1905, et celui, fondateur de la théorie de la relativité restreinte, dont le paragraphe d'introduction annonce qu'il sera montré que l'éther est une hypothèse superflue, est de septembre 1905. Il est difficile de penser que ces deux articles, apparemment sans lien entre eux, ne procèdent pas d'une même préoccupation, ou du moins ne se soutiennent pas logiquement l'un l'autre.

Je vais essayer de montrer que dans la physique du début du siècle *l'éther apparaît comme une nécessité chaque fois que l'on tente de faire coexister le continu et le discontinu*, et disparaît (avec le même degré de nécessité) lorsque l'on arrive à sortir du schéma continu/discontinu. Cette conjecture m'est en grande partie suggérée par la manière dont Einstein lui-même présente les attendus de l'hypothèse heuristique des quanta de lumière : abolir une division profonde (*tief Unterschied*) qui traverse la physique théorique, celle entre le continu et le discontinu. Si donc, comme je vais essayer de le démontrer, l'éther est un échafaudage conceptuel qui permet de penser côte à côte, et de façon séparée, le discontinu et le continu, on ne doit pas s'étonner de ce qu'Einstein, après avoir trouvé en mars le moyen (par le biais de la mécanique statistique et des quanta) de penser la nature autrement qu'en termes d'opposition continu/discontinu, se soit senti libre en septembre de balancer l'éther par dessus les moulins – ce que de toutes façons il avait en tête depuis fort longtemps.

Pour développer mon argument, il me faut remonter au moment où le continu véritable, et non pas un continu qui serait du discontinu "vu d'avion", fait son entrée dans la physique. Comme l'explique très bien Einstein dans son article sur Maxwell¹, le continu qui, en physique, prend la forme d'équations aux dérivées partielles par rapport aux coordonnées d'espace et de temps, s'était

¹ La traduction de cet article figure dans le volume 5 des œuvres choisies d'Einstein intitulé *Science, Éthique et Philosophie*, co-édition Le Seuil-CNRS, Paris 1991.

subrepticement introduit dans la mécanique (essentiellement particulière, donc discontinuiste²) avec l'élaboration d'une mécanique dite "des milieux continus", milieux considérés comme des assemblages de particules soumises aux lois de Newton, mais formant un ensemble continu³. Mais ce n'est qu'avec Maxwell que le continu véritable, représenté par des fonctions continues définies sur un continuum (l'espace-temps, assimilé à \mathbb{R}^4 ⁽⁴⁾), entre par la grande porte dans la théorie physique. Une chose en effet est de traiter (comme le fait l'hydrodynamique, via l'équation de continuité) des différences finies comme des différentielles de fonctions continues ; une autre est de travailler d'emblée, comme le fait Maxwell, sur une fonction (en l'occurrence la fonction "énergie") dont la continuité mathématique fait partie de la définition même.

Comment Maxwell, dans le détail, s'y prend-il pour faire entrer en scène le continu véritable ? Maxwell, on le sait, et on le lui a assez reproché (cf. Duhem), a multiplié les analogies et c'est par l'usage d'une prolifération d'analogies, en les variant et les faisant jouer les unes contre les autres, qu'il a, au cours de plusieurs années de recherche, progressé dans la description des phénomènes électriques et magnétiques – sans jamais parvenir cependant à trouver une description qui le satisfasse réellement. Cependant, parmi toutes ces analogies, il faut (parce qu'il l'a fait lui-même) en distinguer une, celle qu'il qualifie de "*dynamique*". Je reviendrai dans un instant sur ce qui fait la particularité de cette analogie. Pour le moment, il me faut la décrire, et pour cela donner un bref compte-rendu de l'article dans lequel elle est développée, article central dans la production de

² On pourrait objecter à Einstein que la physique de Newton traite l'espace et le temps de façon continuiste, puisqu'elle fait intervenir des dérivées, les dérivées secondes de l'espace par rapport au temps. Mais le caractère discontinuiste de la théorie de Newton se marque au fait que n'y interviennent que des dérivées ordinaires, pas des dérivées partielles. Seule en effet intervient la dérivée par rapport au temps de la coordonnée d'espace dans la direction du mouvement (dérivée ordinaire); comme les objets dont traite la théorie de Newton sont sans épaisseur, il y a discontinuité dans la direction perpendiculaire au mouvement et donc pas de dérivées partielles.

³ Ces dernières années, un certain nombre d'enseignants ont tenté d'introduire dans le cursus des études de physique l'hydrodynamique comme propédeutique à l'apprentissage des équations de Maxwell. Pour une fois – mais une fois n'est pas coutume – emprunter la voie du développement historique se révèle payant du point de vue pédagogique.

⁽⁴⁾ Cette assimilation ne va pas sans poser problème. Hermann Weyl, dans sa monographie sur le continu (*Das Kontinuum*), fait remarquer qu'il convient de distinguer le "continuum mathématique" qu'est l'ensemble \mathbb{R} des nombres réels, défini par un certain nombre de procédures (coupures de Dedekind, convergences au sens de Cauchy, etc.) du "continuum empirique" des positions dans l'espace et le temps, pour lequel les dites procédures de définition font manifestement défaut; rien n'autorise à les assimiler l'un à l'autre. Poussant un peu plus avant l'analyse, H. Weyl montre (citant Bergson à cette occasion) que les points du continuum empirique sont des passages (d'un instant à l'autre par exemple) et ne constituent pas des individualités indépendantes comme c'est le cas pour les "points" du continuum mathématique. Cette analyse suggère qu'il y a une difficulté intrinsèque à vouloir rabattre le continu empirique sur le continu mathématique, difficulté qui, après tout, n'est pas moindre que celle qu'implique l'idéalisation des "points matériels" propre à la tradition mécaniste. Le continuum est tout autant responsable des difficultés rencontrées par la physique classique que ce qu'il est convenu d'appeler "le mécanisme". Il est tout aussi "absurde" d'imaginer une masse occupant un espace de mesure nulle que d'imaginer qu'une fonction de \mathbb{R}^4 puisse réellement "coller" à l'espace-temps "empirique".

Maxwell, publié en 1864 et intitulé *A dynamical theory of the Electromagnetic Field*. Les deux mots importants ici sont *field* et *dynamical* et Maxwell s'en explique dès le troisième alinéa⁵.

"(3) La théorie que je propose peut être appelée une théorie du *Champ Électromagnétique*, parce qu'elle a à voir avec l'espace au voisinage des corps électriques ou magnétiques, et elle peut être dite *Dynamique* car elle suppose que dans cet espace il y a de la matière en mouvement, par quoi les phénomènes électromagnétiques observés sont produits⁶."

On le voit, la théorie de Maxwell, de par sa qualité de théorie *dynamique*, repose entièrement sur l'existence supposée d'une matière, susceptible de mouvements et remplissant tout l'espace. On peut même dire que sans cette matière la théorie n'existe tout simplement pas⁷. Certes. Mais, comme on va le voir, cette matière "différente de la matière ordinaire" va, au cours du traitement physico-mathématique auquel Maxwell la soumet, être progressivement débarrassée de ses connotations substantielles pour ne finalement garder comme seul et unique attribut celui d'*être le siège d'une énergie*. Dans la mesure même où la structure intime de cette matière (sa structure moléculaire, sa densité, etc.) passe au second plan, et n'a plus même aucune importance, on peut dire que son existence, impliquée par l'adjectif "dynamique", se voit reléguée au rang d'hypothèse *quasiment superflue* ; seul importe que cette "matière" possède une énergie, soit le lieu, le support d'une fonction "énergie" (définie mathématiquement par sa conservation). Pour reprendre l'opposition qui donne son titre à un livre de Cassirer, l'accent est déplacé de la *substance* vers la *fonction* (l'énergie).

Cette manière de voir, outre qu'elle anticipe à la fois la disparition de l'éther et l'identification masse/énergie, présente avant toute chose l'intérêt qu'*elle modifie profondément le sens intuitif du mot "propagation"*. L'idée qui prévaut à cet égard jusqu'en 1864 est celle d'une propagation de proche en proche sur le modèle de la propagation du son, par *mise en mouvement*, sous l'effet d'une impulsion, donc de forces, d'une portion de l'espace (remplie d'éther dans le cas des effets électromagnétiques ou lumineux, de matière ordinaire, l'air, dans le cas du son) ; cette

⁵ L'article se présente comme un contrat de notaire, sous forme d'une suite d'alinéas, numérotés de (1) à (90). Cela dit, et peut-être pour cette raison, c'est un modèle de clarté d'exposition à l'anglo-saxonne.

⁶ Ailleurs (*Treatise on Electricity*) Part. IV, § 553, p. 199), Maxwell se fige comme objectif de "transporter les phénomènes électriques au sein du domaine de la dynamique."

⁷ L'existence de cette matière est rendue, aux yeux de Maxwell, hautement probable par un fait expérimental emprunté à l'optique (qui évidemment n'est pas encore une branche de l'électromagnétisme), à savoir que si l'on fait le vide la lumière continue à se propager: "(4) Le champ électromagnétique est cette portion de l'espace qui contient et entoure les objets qui sont dans des conditions électrique et magnétique. Il peut être rempli de n'importe quel type de matière ou de ce que l'on appelle le vide. Il y reste cependant toujours assez de matière pour que soient reçues et transmises les modulations de la lumière et de la chaleur; et c'est parce que la transmission de ces radiations n'est pas grandement modifiée lorsque l'on remplace le soi-disant vide par des corps transparents qu'on est obligé d'admettre que les ondulations sont celles d'une substance éthérée différente de la matière ordinaire. Nous avons donc des raisons de croire, d'après les phénomènes de la lumière et de la chaleur, qu'il existe un milieu éthéré remplissant l'espace et auquel les corps sont perméables."

mise en mouvement, qui ne peut se faire que conformément aux lois de Newton, fait nécessairement intervenir *l'inertie et la vitesse* de la portion d'espace qu'elle affecte. Rien de tel dans la manière dont est envisagée la propagation dans l'article de 1864 ; la propagation y est conçue comme une *transmission* (c'est le mot-clef de l'article de Maxwell), sur le modèle du transport d'une lettre par la poste : quelque chose (en l'occurrence l'énergie) est passé de proche en proche le long d'une chaîne (dont l'inertie mécanique n'est pas à prendre en considérations) – un peu à la manière du

furet dans le jeu des enfants d'autrefois⁸. On ne saurait trop insister sur ce qui sépare ces deux

représentations : dans un cas, on voit *fonctionner un mécanisme* ; dans le deuxième cas, on voit *courir le furet*.

Évidemment le furet ne court pas tout seul, sans le secours d'un support (il est poussé par les enfants le long d'une corde), ni par l'effet du Saint-Esprit (il est, comme toute chose ici bas, soumis aux lois de Newton). L'adjectif "dynamique" est précisément là pour rappeler ces contraintes. Mais ce n'est pas par hasard que Maxwell préfère "dynamique" à "mécanique", car dans son idée, aucun mécanisme (avec son jeu de forces et d'inerties) n'est à l'œuvre. Maxwell, d'ailleurs ne cesse de mettre en garde son lecteur contre toute interprétation mécaniste, affirmant clairement que s'il lui arrive de parler de quantité de mouvement, d'élasticité, etc., c'est uniquement faute de mieux et qu'en aucun cas ces mots ne doivent être pris au pied de la lettre⁹ :

"En une précédente occasion, j'ai tenté de décrire un trope particulier de mouvement et un type particulier de tension, dont l'arrangement permette de rendre compte des phénomènes¹⁰. Dans le présent article, j'évite toute hypothèse de ce genre et lorsque j'utilise des expressions telles que "quantité de mouvement électrique", ou "élasticité électrique", à propos des phénomènes d'induction et de polarisation des diélectriques, je ne le fais qu'afin de signaler à l'attention du lecteur des phénomènes mécaniques qui l'aident à comprendre les phénomènes électriques. Toutes ces expressions, dans le présent essai, doivent être considérées comme des illustrations – en aucune manière comme des explications."

Ces mises en garde valent pour tous les concepts de la mécanique, sauf un – et c'est là que tout se joue –, l'énergie :

"(74) En parlant de l'énergie du champ, en revanche, je souhaite être entendu littéralement. Toute énergie est pareille (*is the same*, est équivalente) à l'énergie mécanique, qu'elle existe sous forme de mouvement ou sous forme d'élasticité, ou sous toute autre forme. L'énergie dans les phénomènes électromagnétiques est de l'énergie mécanique."

Autrement dit : parmi les concepts de la mécanique, il en existe un, l'énergie dont le domaine d'application transcende la mécanique. C'est que l'énergie, concept initialement défini pour une (des) particule(s) en mouvement sous l'effet de certaines forces, comme la somme d'un terme cinétique, lié à la vitesse d'une substance (le point matériel), et d'une énergie potentielle, liée aux forces agissant sur cette substance, a pour caractéristique essentielle¹¹ de *se conserver* (pour un système isolé). C'est cette caractéristique qui permet son extension : chaque fois que de l'énergie semble disparaître, c'est qu'elle est apparue sous une autre forme. C'est par cette opération de bilan que le concept d'énergie devient un concept universel, pas seulement restreint à la mécanique. C'est ainsi qu'on parle, par exemple, de l'"équivalent mécanique de la chaleur"; c'est ainsi que l'on peut, et

doit, parler de l'équivalent mécanique de n'importe quelle forme d'énergie ; en ce sens toute forme d'énergie *est* de l'énergie mécanique : la chaleur est de l'énergie mécanique, l'énergie du champ électromagnétique est de l'énergie mécanique.

"La seule question, ajoute Maxwell (alinéa 74), est de savoir où réside cette énergie. Dans les anciennes théories, elle a son siège (*it resides*) dans les corps électrisés, les circuits conducteurs et les aimants sous la forme d'une qualité inconnue, nommée "énergie potentielle", ou pouvoir de produire certains effets à distance. Dans notre théorie, l'énergie a son siège dans le champ électromagnétique dans l'espace¹² entourant les corps électriques et magnétiques, et également dans ces corps eux-mêmes. Elle [l'énergie] est sous deux formes que l'on peut, sans faire aucune hypothèse, décrire comme une polarisation magnétique et une polarisation électrique – ou, selon ce qui est une hypothèse très plausible, comme le mouvement et la tension d'un seul et même milieu".

Mais, ajoute Maxwell :

"(75) Les conclusions auxquelles nous arrivons dans ce travail sont indépendantes de cette dernière hypothèse" [celle du mouvement d'un certain milieu].

Ainsi donc et pour résumer, le champ électromagnétique est le lieu d'une certaine forme d'énergie, laquelle en tant que telle, et par définition, a un équivalent mécanique, mais dont il n'est pas utile (seulement probable, plausible) de supposer qu'elle correspond à un mouvement réel, quel qu'il soit. Pour nous, physiciens de 1990, il semble qu'il n'y a, à partir de là, qu'un pas facile à franchir pour en arriver à la conclusion que l'éther qui était jusqu'alors la matière dont le mouvement créait les effets électromagnétiques, n'a plus de raisons d'être dès lors que le mouvement lui-même n'est plus une nécessité. C'est que nous avons pris l'habitude de considérer l'énergie (qui, par définition, se conserve) comme une substance. Il ne pouvait en aller de même pour Maxwell : il lui était très difficile d'imaginer que l'énergie puisse ne pas avoir de support matériel¹³.

De faits, si Maxwell n'a pu considérer l'énergie comme une substance, c'est qu'il n'a pas osé lui attribuer une *vitesse*¹⁴. Il faut dire que l'expression "vitesse de l'énergie" qui ne nous pose guère de problème aujourd'hui a de quoi surprendre quand on la prend au pied de la lettre. Comment associer une *vitesse* à une grandeur délocalisée, plus même, à une *fonction* ? L'expression est tout aussi "surréaliste" que celle d' "orange bleue" ou que celle, devenue courante dans les laboratoires, de longueur d'onde d'un électron. Toujours est-il que la lecture des textes de Maxwell, après 1864, laisse une curieuse impression : toutes les expressions utilisées sont choisies de manière à ne pas rompre une *ambiguïté voulue*. Ainsi écrit-il avec la plus extrême prudence, dans l'article *Ether* qu'il a rédigé en 1879 pour l'*Encyclopedia Britannica* : "Ce milieu [l'éther] doit être

capable de transmettre l'énergie". Toute la question est précisément de savoir comment entendre le verbe "transmettre"; cette transmission nécessite-t-elle un milieu matériel, ou bien se fait-elle "toute seule" avec une vitesse propre ?

En somme, on a l'impression que n'était la conception traditionnelle de la lumière, impliquant l'existence d'un milieu éthéré, rien ne s'opposerait au sein de la théorie même de Maxwell à ce que l'éther fut supprimé. Maxwell donne l'impression d'avoir été aussi loin qu'il le pouvait sur le chemin de l'antimécanisme, et même, il faut le dire, sur le chemin de la mécanique quantique.

On doit dès lors se poser la question de savoir pourquoi il n'a pas pu aller plus loin. Est-ce simplement pour respecter la tradition ? Certainement pas. De fait, si Maxwell n'a pu sauter le pas qui nous semble si évident, et supprimer l'éther, c'est que sa théorie ne règle pas un problème essentiel : celui des apports entre le champ électromagnétique et la matière. Ce qui nous ramène au problème du *contenu* et du *discontinu*.

Chez Maxwell, l'éther (assimilé chez lui au champ électro-magnétique lui-même, et c'est bien la raison pour laquelle on a l'impression qu'il aurait pu se passer de ce dernier) n'est pas séparé de la matière (voir l'extrait de l'alinéa 74 cité plus haut : l'énergie a son siège dans l'espace entourant les corps, mais aussi dans les corps eux-mêmes) ; l'électricité (quantité mal définie par ailleurs) a son siège à la fois dans l'éther et dans la matière pondérable. Dans la mesure où l'éther n'est pas une entité autonome, disjointe de la matière, il devient difficile de le supprimer sans risquer de supprimer du même coup la matière elle-même. Maxwell est mort sans avoir résolu la question, qui sans doute le préoccupait, de savoir comment l'éther (le champ) et la matière interagissent et c'est dans cette optique que s'est posé à lui le problème du mouvement relatif de la Terre par rapport à l'éther : "Toute la question de l'état du milieu lumineux au voisinage de la Terre et de ses liens avec la matière ordinaire [*gross matter*] est loin d'avoir été résolue par l'expérimentation" (Article *Ether* dans l'*Encyclopedia Britannica*).

En somme, pour pouvoir supprimer l'éther, il aurait été commode (pour ne pas dire nécessaire) qu'il soit séparé de la matière, ce qui était loin d'être le cas dans la théorie de Maxwell. Malheureusement, comme on va le voir maintenant, séparer l'éther de la matière ne peut se faire – ou du moins n'a pu se faire historiquement – qu'en lui conférant à nouveau le caractère de nécessité qu'il avait perdu. On tourne en rond à l'intérieur d'un cercle vicieux.

C'est Lorentz, on le sait qui a réussi, comme le dit Ehrenfest¹⁵ à "établir une claire division des rôles entre l'éther d'un côté et la matière pondérable de l'autre", ou comme le dit Einstein "priver l'éther de ses qualités mécaniques et la matière de ses qualités électro-magnétiques". Comme on va le voir, cette division des rôles s'est faite sur le mode de la division continu/discontinu – ce qui, *a*

priori n'a rien d'une nécessité. L'image (simple) sur laquelle Lorentz a fondé sa théorie est celle d'un éther emplissant tout l'espace (continu donc) et dans lequel seraient immergées les molécules constitutives de la matière pondérable (discontinue). Cette hypothèse lui avait été suggérée d'une part, par l'étude des propriétés optiques de la matière (et en particulier par sa recherche d'une explication électromagnétique des phénomènes de réfraction et réflexion à la surface d'un corps matériel¹⁶) et d'autre part (et surtout), par les succès de la *théorie cinétique des gaz*, preuve de la nature atomique et discontinue de la matière ordinaire¹⁷.

Cette division, pour simplificatrice et opératoire qu'elle soit, n'en repose pas moins sur une pétition de principe, à savoir que l'opposition conceptuelle continu/discontinu trouve à s'exprimer telle quelle dans la nature et qu'elle représente un critère de choix pertinent pour les choses dont est fait le monde ; c'est poser d'emblée, comme une évidence, qu'une chose ne peut être à la fois continue et discontinue, ou plus précisément que la question de savoir si une chose relève du continu ou du discontinu a un sens. Ce n'est que dans cette perspective que l'on peut inférer de la nature discontinue de la matière pondérable, à celle continue de l'éther. Il faut noter à cet égard que Maxwell, dont on sait qu'il a considérablement contribué à l'élaboration de la théorie cinétique des gaz, s'était toujours refusé à prendre parti sur la question de savoir si l'éther est continu ou discontinu¹⁸.

Il faut dire que la division entre éther et matière sur le mode du continu/ discontinu a de quoi séduire. Elle permet en particulier de résoudre l'une des difficultés majeures posées par l'application de la théorie de Maxwell, celle portant sur la nature du courant électrique. Chez Maxwell, en effet, le courant n'est pas (comme il l'est depuis Lorentz) un déplacement de charges, c'est-à-dire de particules matérielles ; c'est le déplacement d'une grandeur mal définie, l'électricité, résidant à la fois dans l'éther et dans la matière ; le courant chez Maxwell apparaissait donc comme un déplacement de particules et d'éther. Lorentz simplifie considérablement la situation : le courant, dit-il, est un flux de particules (discontinues) dans un éther (continu). Dès lors, les particules chargées doivent être considérées comme des sources du champ (c'est-à-dire la cause des états de l'éther), sources de champ électrique lorsqu'elles sont immobiles, sources du champ magnétique lorsqu'elles sont en mouvement. *Le champ apparaît alors comme une entité autonome, à laquelle s'oppose la matière : il est émis par la matière pondérable, mais il en est indépendant lors de son évolution ultérieure*¹⁹. Éther et champ sont bien séparés.

Mais une fois ainsi formulée, la solution de Lorentz fait immédiatement voir son défaut principal. Car qui dit "au repos" ou "en mouvement" doit toujours préciser par rapport à quel référentiel. Il apparaît alors que l'éther doit être non seulement continu, mais également "au repos"; ou plus précisément : l'éther doit être *le* référentiel par rapport auquel sont repérés les mouvements des particules matérielles. Il prend alors des allures d'"espace absolu" des plus malencontreuses.

Où il apparaît finalement que l'éther est le moyen qu'a trouvé la physique classique pour éviter d'avoir à penser l'existence d'une dualité continu/discontinu dans les choses de la nature, autrement dit. pour éviter d'avoir à affronter la dualité onde/corpuscule. C'est par l'introduction d'un éther "absolu" que l'on arrive à donner un caractère ontologique à l'opposition commode continu/discontinu.

Par ailleurs, on voit bien (rétrospectivement !) par où le système pourra être démonté, c'est-à-dire comment il faudra procéder pour se débarrasser de cet espace absolu qu'aucun physicien ne peut accepter. A l'opposition repos/mouvement, dont on vient de voir qu'elle sous-tend la division continu/discontinu, correspond, du côté de la théorie des phénomènes électromagnétiques, la distinction champ électrostatique (lié à des charges immobiles)/champ magnétique (lié à des charges en mouvement). Il est curieux que personne, avant 1905, n'ait pensé à remettre en cause cette distinction. Car après tout, que disent les équations de Maxwell sinon que l'un se transforme en l'autre et inversement ? N'y a-t-il pas là l'indication d'une éventuelle unité des deux concepts ? Toujours est-il que c'est par le biais de la distinction entre champ électrostatique et champ magnétique qu'Einstein attaquera le problème en 1905.

Einstein dévide alors la bobine à l'envers :

1 – Il fait remarquer que champ électrique et champ magnétique doivent être un seul et même phénomène (pour des raisons de relativité exposées dans les dix premières lignes de l'article de 1905).

2 – Cela ne peut se faire qu'à condition que la distinction entre particule chargée en mouvement et particule au repos n'ait pas de sens physique.

3 – Ce qui revient à dire qu'il ne peut pas y avoir de référentiel absolu. L'éther, auquel il ne restait plus qu'une seule propriété d'existence : être immobile, a vécu.

Le champ se trouve donc sans support ; de plus, il ne s'oppose alors plus forcément à la matière puisque celle-ci ne s'opposait au champ que dans la mesure où elle se déplaçait *par rapport* à l'éther. Que dire alors de l'opposition continu/discontinu ? Il semblerait logique que cette opposition qui a perdu son support ontologique doive, elle aussi, tomber. On est donc amené à penser que le champ puisse avoir certaines caractéristiques de l'ordre du discontinu. On en revient au stade où Maxwell avait laissé la question : il est impossible de dire si le champ relève du continu ou du discontinu.

4 – Dès lors que le champ ne relève pas obligatoirement du continu rien ne s'oppose à ce qu'on lui applique les méthodes de la statistique (en tout cas, cela vaut toujours la peine d'essayer) ; d'autant plus que l'éther disparu, l'énergie lumineuse qui n'a plus besoin de support matériel apparaît comme une substance ; d'où l'hypothèse des quanta de lumière, grains d'énergie sans support matériel. On peut dire les choses autrement : l'existence des

quanta de lumière, énergie sans support, est en tout état de cause contradictoire avec celle d'un éther, support de l'énergie électromagnétique.

Ainsi donc, les deux articles de 1905, celui de mars et celui de septembre, s'épaulent logiquement l'un l'autre. Pourtant, ils représentent chacun pour son compte un profond bouleversement de la physique ; l'un a donné naissance à la théorie quantique et l'autre aux théories de champ que sont les théories de la relativité. Dans cette partition des nouveautés apportées par le tournant du siècle, la disparition de l'éther est généralement associée à la seule théorie de la relativité. C'est oublier que sans la disparition de l'éther —moyen inventé par la physique classique pour préserver l'opposition onde/particule, doublée de l'opposition continu/discontinu –, la théorie quantique n'aurait probablement pas pu voir le jour si tôt.