

*Pierre Poubeau*

***RECHERCHES SUR LA DUALITÉ DE L'ESPACE-TEMPS***

***LA CLÉ DE L'ÉNIGME***

***DE L'INSÉPARABILITÉ QUANTIQUE***

.

*Site : <http://dualite-espace-temps.pagesperso-orange.fr>*

*Mise à jour finale*

*Juin 2015*

\*\*\*\*\*

# Table des matières

Introduction	page 2
<b>1. Une contradiction au niveau des racines de la relativité</b>	<b>4</b>
<b>2. Les avancées itératives de la physique</b>	<b>6</b>
2.1. Les quanta	6
2.2. La relativité	6
2.3. La Théorie de Maxwell	7
2.4. L'éther	9
2.5. La quantification de la Théorie de Maxwell-Lorentz	9
2.6 Un apport spécifique de l'expérimentation	12
2.7 Récapitulation des avancées itératives de la physique	13
<b>Au terme de ces recherches</b>	<b>14</b>
<b>Ouvrages cités</b>	<b>15</b>

## Introduction

J'ai créé le présent site en 2004 pour faire connaître les résultats de recherches personnelles sur les fondements de la physique. Ces recherches ont été initiées essentiellement à partir des idées et concepts développés par Louis de Broglie dans sa thèse introduisant la Mécanique Ondulatoire (1924) et dans les conférences qu'il a présentées ensuite à l'Ecole Supérieure d'Electricité (Section Radioélectricité, période 1944-1946) dont j'ai bénéficié. Au cours de leur développement, ces recherches se sont trouvées en interface avec le problème auquel la physique est confrontée depuis trois quarts de siècle : la discordance entre la théorie quantique et la relativité restreinte sur le thème de l'inséparabilité quantique. Les résultats obtenus conduisent à la conclusion générale suivante : le problème associé à l'inséparabilité quantique révèle une faille dans les fondements de la physique. Cette faille implique d'y introduire un remaniement comme ce fut le cas, il y a un siècle, lorsque *la catastrophe ultraviolette* et l'invariance de la vitesse de la lumière imposèrent l'introduction des quanta et de la relativité.

Au terme de sa vie, Albert Einstein a fait des commentaires sur son œuvre, incitant à ré-analyser certains fondements qu'il avait lui-même introduits. En 1949, il disait : « *Il n'y a pas un seul concept dont je sois convaincu qu'il demeurera et je ne suis pas sûr, en général, d'avoir été sur la bonne piste.*(1) » (Les chiffres entre parenthèses renvoient aux ouvrages cités, en fin de document.). En 1954, il écrivait à Louis de Broglie, qui a jugé utile de le faire savoir : « *Je dois ressembler à une autruche qui sans cesse cache sa tête dans le sable relativiste pour n'avoir pas à regarder en face ces vilains quanta.* (2)» Cette analyse critique, portée sur son œuvre par le physicien qui a introduit à la fois les quanta-corpuscules et la relativité, ouvre un axe de recherches qui n'a peut-être pas bénéficié d'une considération suffisante ; il est devenu un élément-clé dans la démarche exposée dans le site et qui conduit à la conclusion suivante, en opposition avec certaines idées acquises.

**Non seulement la relativité, telle qu'elle a été développée par Albert Einstein, n'est pas incompatible avec les actions instantanées à distance, mais elle les implique dans le cas des interactions de couplage : celles-ci englobent les interactions entre particules intriquées. Dans ce contexte, la discordance entre l'inséparabilité quantique et la relativité est éliminée.**

Les rubriques successives du site présentent les étapes qui ont conduit à cette conclusion : la multiplicité des approches est indispensable tant les réalités et les apparences sont imbriquées en ce qui concerne l'expression de la nature profonde des phénomènes. Ayant atteint, pour l'essentiel, les limites de ce que je peux apporter en la matière, je pense utile de faire connaître cette démarche, ses tâtonnements et ses résultats, aussi largement que possible, à partir de ce site qui lui est consacré. L'objectif prioritaire est que les indispensables vérifications expérimentales décrites soient réalisées ; l'expérience cruciale concernée est remarquablement simple, **pour ce qui concerne sa phase initiale** : il s'agit de vérifier que le champ magnétique d'un aimant évolue instantanément, en bloc, dans tout l'espace en fonction de l'évolution de sa position mais, en aucune façon, par un phénomène de propagation comme le prévoient les théories en vigueur. Le champ magnétique d'un aimant produit des manifestations observables beaucoup plus directement tangibles que le champ des charges électriques et le champ des masses gravitationnelles, mais le problème se pose de la même façon dans ces deux autres cas.

Cette démarche a consisté à aller vers ces problèmes particulièrement complexes avec des idées simples, en s'efforçant de retrouver la compréhension de la réalité physique même lorsqu'elle est enfouie sous des formalismes mathématiques extraordinairement féconds, mais subtiles et abstraits.

Les circonstances ont fait que ces recherches se sont trouvées aussi en interface avec mes activités professionnelles successives. On pourra observer cette convergence dans la rubrique du site : *Le Long Cheminement vers la Dualité de l'Espace-Temps*.

## 1. Une contradiction au niveau des racines de la relativité

Dès le premier paragraphe du texte introduisant la relativité restreinte, en juin 1905, Albert Einstein prend pour point de départ le problème posé par l'interprétation de l'expérience élémentaire et fondamentale d'électromagnétisme que constitue l'interaction d'un aimant et d'un circuit conducteur, sous la forme suivante: « *Il est connu que l'électrodynamique de Maxwell, telle que couramment comprise à l'époque actuelle, quand elle est appliquée à des corps en mouvement, conduit à des dissymétries qui n'apparaissent pas comme étant inhérentes aux phénomènes concernés. Prenons par exemple l'action électrodynamique réciproque d'un aimant et d'un conducteur. Là, le phénomène observable dépend uniquement du mouvement relatif du conducteur et de l'aimant.*» Or, la Théorie de Maxwell, comme la théorie électromagnétique relativiste actuelle, prévoient une interaction instantanée dans le cas où le conducteur est en mouvement face à l'aimant fixe (quelle que soit la distance entre les éléments) et une interaction *retardée* par le processus supposé de propagation du champ magnétique à partir des positions successives de l'aimant, dans le cas où celui-ci est en mouvement face au conducteur fixe (le retard tendant vers l'infini avec la distance). Il y a là une incompatibilité avec le concept fondamental à partir duquel la relativité est développée. Dans un cas, il y a l'intervention supposée du phénomène de *propagation* introduisant un retard dans l'interaction, dans l'autre, ce phénomène n'intervient pas : *la dissymétrie* est totale. Aussi étrange que cela puisse paraître, on se retrouve encore aujourd'hui dans la situation que la théorie de la relativité avait pour objectif initial d'éliminer et dans laquelle, selon l'expression d'Albert Einstein : « *Les vues habituelles tracent une distinction nette entre les deux cas dans lesquels soit l'un soit l'autre de ces corps est en mouvement.*»

L'interaction d'un aimant en mouvement en face d'un circuit conducteur fixe place la théorie en vigueur dans une autre contradiction. Le concept de propagation fait que la force électromotrice dans le circuit, et le courant qui en résulte, sont supposés n'intervenir que postérieurement à l'instant de mise en mouvement de l'aimant (du fait du délai supposé de propagation). Or, la présence de courant dans le circuit implique la présence d'énergie qui a sa source *dans l'action électrodynamique réciproque* des éléments en interaction ; celle-ci passe par l'action du champ magnétique du courant induit dans le circuit, en retour sur l'aimant, avec un nouveau délai supposé de propagation : si, à l'instant où l'interaction va pouvoir intervenir après ces délais, l'aimant est revenu à l'état de repos (exemple entre autres), l'énergie dans le circuit ne peut pas avoir de source, la loi de conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement ne peut pas être respectée ; il y a là une incohérence totale entre l'électromagnétisme maxwellien et la réalité physique des phénomènes concernés ; l'électromagnétisme relativiste n'a nullement résolu le problème mais a contribué à le masquer par les succès qu'il a obtenus par ailleurs.

Ces contradictions, lorsqu'elles sont analysées à partir de l'apport général de la relativité, apparaissent sous une autre facette. Si on observe un aimant dans son référentiel propre (dans lequel il est au repos), son champ magnétique n'est pas supposé se propager ; le même aimant, dans le même état, s'il est observé à partir d'un autre référentiel en mouvement par rapport au premier, va apparaître en mouvement et, de ce seul fait, selon les théories en vigueur, il serait la source d'un champ *en propagation*, porteur d'actions retardées ; autrement dit, il est supposé *émettre son champ* (associé à de l'énergie) simplement parce qu'il est observé dans un référentiel différent de son référentiel propre : c'est une autre facette de la contradiction avec la réalité physique. On peut prolonger cette analyse en considérant l'interaction aimant-conducteur dans l'espace extraterrestre : il n'y a pas de système de référence auquel on puisse rattacher le mouvement de l'un ou l'autre des éléments en interaction : il devient alors impossible de considérer que l'aimant est *immobile* ou *en mouvement*, il devient donc également impossible de considérer qu'il est la source d'un champ qui se propage *parce qu'il est en mouvement* ; transposer l'interaction dans un laboratoire terrestre ne change rien à cette réalité. On remarquera incidemment qu'un aimant considéré comme immobile dans un laboratoire est entraîné dans le mouvement de la terre sur elle-même, de la terre autour du soleil, du soleil dans l'univers ; il devrait donc être en permanence en train d'émettre son champ magnétique associé à de l'énergie ; pour plus de détails voir les rubriques du site : *Document Récapitulatif, Avril 2011 et Etat des Recherches et des Résultats, Avril 2014.*

Il y a là une voie de recherche qui laisse prévoir une clarification de l'énigme de l'inséparabilité quantique : elle conduit à considérer que les interactions de couplage sont instantanées, les interactions entre particules intriquées entrant dans cette catégorie. Une telle hypothèse est totalement cohérente avec la façon dont la relativité est introduite puisqu'elle élimine les contradictions mentionnées ci-dessus. Par contre, elle est en contradiction avec l'interprétation actuelle de la relativité qui exclut toute action instantanée d'un point à l'autre de l'espace. Elle va aussi à contre-courant du fondement de la Théorie de Maxwell : celle-ci est basée sur l'existence d'un milieu, l'éther, et cela implique que toute perturbation d'un état d'équilibre se répercute, à distance, par l'intermédiaire de la propagation dans ce milieu. L'actualisation des fondements de la physique

à laquelle conduisent ces recherches passe donc par un réexamen des contenus et des interprétations de la Théorie de Maxwell et de la théorie de la relativité

Face à une situation de cette nature, impliquant une remise en cause de fondements qui ont conduit aux succès que l'on sait depuis des décennies, on dispose d'une démarche clarificatrice décisive : il est possible de réaliser, dans les laboratoires d'aujourd'hui, une expérience très simple qui était impossible il y a un siècle : observer l'évolution du champ magnétique d'un aimant dans l'espace en fonction du temps vis-à-vis de l'évolution de la position de cet aimant. Une telle expérience montrera si le champ évolue en concomitance avec la position de l'aimant (interaction instantanée) ou si un retard de propagation intervient. Elle peut être amorcée de façon quasi-immédiate et menée à son terme dans un délai extrêmement court. Un résultat positif, tel qu'attendu ici, éliminera, ipso facto, la discordance opposant la théorie quantique et la relativité sur le thème de l'inséparabilité quantique. Le problème qui se pose ainsi pour le lien entre le champ magnétique et sa source se pose aussi pour le champ électrique et le champ gravitationnel, mais il s'agit d'aspects ponctuels dans des remises en cause beaucoup plus générales. Ce sont les fondements les plus profonds de la physique qui devront être actualisés. Il n'est plus possible d'affecter à l'espace-temps une structure purement géométrique, il doit être doté d'une structure physique présentant un caractère de dualité compatible avec le transfert instantané de l'énergie au travers de l'espace dans les interactions de couplage. Jamais, sans doute, une expérience aussi simple, eu égard aux moyens disponibles actuellement, n'aura été porteuse de remaniements conceptuels aussi profonds.

La remise en cause par Albert Einstein de ses propres avancées est particulièrement instructive. Elle met en évidence à quel point le cheminement intellectuel concerné est itératif. Le déterminisme des avancées scientifiques a été décrit par Banesh Hoffmann, son collaborateur, ami et biographe de la façon suivante : « *Le talent qu'a le théoricien scientifique d'aboutir à des conclusions valables en partant de prémisses reconnues plus tard inexactes n'est pas le moindre de ses dons, car il est doué d'une intuition clairvoyante.* (3) » *L'intuition clairvoyante*, face à des problèmes de cette nature, c'est le génie ; il présente la particularité de pouvoir œuvrer à contre-courant de la logique, ou de court-circuiter celle-ci lorsqu'elle ne dispose pas des éléments appropriés. *L'intuition clairvoyante* est alors capable de se substituer à la logique et d'établir des passerelles au-dessus des domaines d'ignorance du moment, permettant ainsi de faire avancer les choses. Les résultats acquis dans ce processus sont parfois tellement prodigieux (cela correspond aux situations analysées ici) qu'il ne vient plus à l'idée qu'ils ont pu être obtenus à partir de prémisses inexactes, mais celles-ci conduisent, longtemps après, à des signaux d'erreurs qu'il est indispensable de détecter et d'exploiter. Les quelques éléments rassemblés ci-après peuvent aider à percevoir comment des situations de cette nature ont pu s'établir et perdurer.

## 2. Les avancées itératives de la physique

### 2.1. Les quanta

En mai 1905, Albert Einstein, anticipant le concept de la création de particules, introduit les quanta-corpuscules dans la lumière en dissociant son interprétation de la Théorie de Maxwell (en fait, son article concerne le domaine allant explicitement de l'infrarouge du corps noir à l'ultraviolet) ; il précise que la Théorie de Maxwell prévoit un rayonnement constitué *d'une énergie distribuée de façon continue sur un volume sans cesse croissant* alors que la lumière est constituée de *quanta d'énergie émis tout d'un bloc et se déplaçant sans se diviser*. L'Effet Compton (1923) d'une part, la continuité théorique et physique des phénomènes laser-maser (1954) d'autre part, ont montré ultérieurement que les quanta einsteiniens ont la même place dans tout le spectre de l'énergie électromagnétique radiante, depuis les rayons gamma jusqu'aux ondes radioélectriques à très basse fréquence. Dans le cas des ondes radioélectriques, lorsque la puissance détectée est très faible, on observe que les fluctuations du signal font apparaître la discontinuité quantique. Le rayonnement synchrotron, au niveau des laboratoires comme au niveau astronomique, confirme ces éléments en apportant des informations convergentes ; ainsi, la nature quantique des rayonnements électromagnétiques s'impose spontanément dans tout le spectre. On parvient ainsi à la situation ponctuellement prévue et décrite par Louis de Broglie en 1924, en conclusion de sa thèse *Recherches sur la Théorie des Quanta* introduisant la Mécanique Ondulatoire: « *Il faudrait d'abord constituer une théorie électromagnétique nouvelle, rendant compte de la structure discontinue de l'énergie radiante, laissant enfin à la Théorie de Maxwell-Lorentz un caractère d'approximation statistique qui expliquerait la légitimité de son emploi et l'exactitude de ses prévisions dans un très grand nombre de cas.* » Dans cette interprétation, ce qui apparaît comme une onde (onde hertzienne ou radioélectrique) correspond à l'aspect statistique du phénomène produit par un très grand nombre de quanta (renommés les photons en 1926) présents à un instant donné dans un volume donné. Mais cette évolution s'est faite sur un demi-siècle et, initialement, l'introduction des quanta est apparue comme rompant l'unicité du domaine du rayonnement électromagnétique prévue par la Théorie de Maxwell : à ce titre elle a été accueillie avec scepticisme par la communauté scientifique. En initiant la première approche des quanta, Max Planck affirmait les avoir conçus *comme un acte de désespoir* et Albert Einstein lui-même, en 1909, espérait voir aboutir « *la fusion de la théorie ondulatoire et de la théorie corpusculaire.*(5) » Ces réticences ont contribué à ouvrir une voie alternative : celle de la quantification mathématique de la Théorie de Maxwell-Lorentz sur laquelle on reviendra. On va voir que la théorie de la relativité, introduite quasi-simultanément avec celle des quanta, va rendre encore plus complexes les interfaces entre les quanta et la Théorie de Maxwell.

### 2.2. La relativité

Après avoir présenté son article sur les quanta en mai 1905, Albert Einstein présente son article sur la théorie de la relativité en juin. Dès l'introduction, il exclut *l'éther luminifère*, c'est-à-dire le milieu qui est explicitement et intégralement à la base de la Théorie de Maxwell ; ce milieu est supposé assurer la propagation de l'énergie électromagnétique de proche en proche ainsi que la propagation des actions électromagnétiques en général. Les quanta-corpuscules, projectiles dotés de la propriété intrinsèque de se déplacer à la vitesse prévue pour les ondes électromagnétiques dans le vide, fournissent alors une interprétation susceptible de se substituer au phénomène supposé de la propagation. Mais la relativité dans son ensemble, et le court article sur l'équivalence masse-énergie présenté quelques semaines plus tard, sont développés avec la Théorie de Maxwell comme point d'ancrage et en symbiose profonde avec celle-ci, en contradiction totale avec l'élimination de l'éther et en s'appuyant sur *l'expression maxwellienne de l'énergie électromagnétique de l'espace*, en contradiction avec les quanta. Les quanta ont été introduits comme si la relativité ne devait pas exister et la relativité est introduite comme si les quanta n'existaient pas, sans un mot pour les évoquer ; dans les deux textes concernés (relativité et équivalence masse-énergie), la lumière est considérée comme une onde au sens classique du terme. Compte-tenu de ce que l'on sait maintenant, il y a contradiction entre *les quanta émis tout d'un bloc* dans l'ensemble du spectre du rayonnement électromagnétique et cette référence à l'énergie maxwellienne impliquant *sa distribution continue dans l'espace*, comme fondement de la relativité. Lorsque, dans ses dernières réflexions, Albert Einstein s'est reproché d'avoir privilégié la relativité vis-à-vis des quanta, on peut penser que cette situation inspirait sa réflexion. La forme sous laquelle il a introduit la relativité exclut implicitement les quanta des émissions radioélectriques mais, pour la lumière, elle conduit à une interprétation ambivalente : la suppression de *l'éther luminifère* est cohérente avec les quanta mais *l'expression maxwellienne de l'énergie* est en contradiction avec ceux-ci.

Dans les années qui suivent l'introduction des quanta et de la relativité, la théorie des quanta permet l'interprétation des phénomènes liés à la lumière ; comme indiqué précédemment, cette interprétation s'étend spontanément aux rayons X et gamma à partir de la découverte de l'Effet Compton. Au contraire, la relativité et les données expérimentales concernant les liaisons radioélectriques semblent alors en accord avec la Théorie de Maxwell-Lorentz et les équations de propagation auxquelles elle conduit ; il semble impossible d'y étendre les quanta tels qu'ils ont été introduits dans l'interprétation de la lumière. Par contre l'évolution ultérieure concernant la continuité des phénomènes laser-maser va réorienter l'interprétation des phénomènes liés à l'onde radioélectrique vers l'aspect statistique d'une réalité impliquant un très grand nombre de quanta einsteiniens dans un volume donné à un instant donné : c'est ce qu'avait prévu Louis de Broglie.

Cette situation ambivalente a conduit à imaginer, à cette époque, la quantification mathématique du champ électromagnétique (Pascual Jordan, 1920) : on conserverait l'hypothèse de la réalité physique de l'énergie distribuée de façon continue dans l'espace, comme prévu par la Théorie de Maxwell-Lorentz, mais on y ferait apparaître mathématiquement une structure quantique. Une nouvelle voie de recherches pour la physique allait s'ouvrir à partir de là : on y reviendra.

### 2.3. La Théorie de Maxwell

Puisque le point d'ancrage de la relativité est *l'électrodynamique de Maxwell*, examinons ce que son contenu peut apporter à la clarification des thèmes évoqués, sans oublier que la Théorie de Maxwell a ouvert la voie de la physique actuelle.

En introduction du chapitre concernant la *Théorie Electromagnétique de la Lumière* dans son *Traité d'Electricité et de Magnétisme*, James Clerk Maxwell indique d'abord les deux théories selon lesquelles la lumière passe d'un corps à un autre : *théorie de l'émission et théorie de l'ondulation*. « *Dans la théorie de l'émission, le transport effectif de l'énergie s'effectue par des particules de lumière.* » Il précise ensuite concernant la théorie qu'il va développer : « *Dans la théorie des ondulations, il y a un milieu matériel qui remplit l'espace et c'est par l'action des parties contiguës de ce milieu que l'énergie se transmet de proche en proche.* (6) ». Concernant l'éther, il croit utile de préciser avec circonspection : « *s'il existe.....* » Autrement dit, il s'appuie explicitement, mais prudemment, sur l'hypothèse d'un milieu support de la propagation et, s'il n'y a pas de milieu, il n'y a pas de propagation. Toute la théorie repose donc sur l'hypothèse de l'existence de l'éther en lui imputant, vis-à-vis du champ électromagnétique, des propriétés comparables à celles des milieux matériels vis-à-vis des déformations élastiques et conduisant à des équations de propagation similaires. La découverte de l'électron (1897) conduit Hendrik Antoon Lorentz à reformuler la Théorie de Maxwell en tenant compte de cette nouvelle situation (Théorie de Maxwell-Lorentz) ; il reste néanmoins sur les mêmes fondements, en précisant certains aspects liés à l'existence supposée de l'éther. Il précise, en particulier, en analogie avec l'exemple d'une tige vibrant dans l'air et les équations exprimant les phénomènes qui en résultent : ce concept implique que toute perturbation introduite dans un système électromagnétique, initialement en état d'équilibre, se répercute dans l'espace avec un délai lié à la vitesse de propagation et à la distance. Dans le cas de l'aimant mobile face à un circuit conducteur fixe (paragraphe 1), c'est ce délai qui met la relativité en contradiction avec elle-même et place la théorie électromagnétique en contradiction avec les lois de conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement.

L'article introduisant les quanta contient une précision qui allait sous-entendre toute la complexité du problème qui commençait à émerger en indiquant : « *La Théorie de Maxwell est d'autant plus adaptée que les énergies concernées et les longueurs d'onde sont plus grandes ; elle devient totalement inopérante pour les faibles densités d'énergie et les faibles longueurs d'onde.* » Cette affirmation allait conduire à supposer que la Théorie de Maxwell est *parfaitement adaptée* au point de représenter ponctuellement la réalité physique dans le cas des ondes hertziennes puis de la radioélectricité. A partir de l'invention de la triode, suivie des progrès continus des tubes électroniques, la radioélectricité s'est développée dans une plage de fréquences de plus en plus large, en pleine cohérence avec la Théorie de Maxwell ; sur ces bases, la théorie des antennes mettait en évidence un accord apparemment total entre les prévisions théoriques et les données expérimentales pour la détermination du champ électromagnétique dans l'espace à partir de l'émission provenant d'un conducteur parcouru par un courant à haute fréquence.

La Théorie de Maxwell-Lorentz ayant pris une telle place dans les fondements de la physique au travers de sa quantification, examinons ce qu'elle a apporté par rapport à la Théorie de Maxwell. La Théorie de

Lorentz reprend le concept de base de la Théorie de Maxwell : l'éther et ses propriétés de transmission de l'énergie de proche en proche, en similitude explicite avec les milieux matériels. Elle mentionne d'abord le fait que l'existence d'un milieu qui assure la propagation exclut les interactions instantanées : « Ces équations (de propagation) impliquent la propagation ou les ondes du rayonnement hertzien. » De là, elle aborde le processus d'émission d'énergie sous la forme suivante : « Sous l'influence de forces élastiques, les électrons peuvent vibrer autour de leurs positions d'équilibre. De cette façon, et aussi en fonction de mouvements plus irréguliers, ils deviennent les centres d'émission d'ondes qui se détachent et voyagent dans l'éther environnant, pouvant être observées comme de la lumière si la fréquence est suffisamment élevée. On peut rendre compte de cette façon de l'émission de la lumière et de la chaleur. (7) » Ce texte permet de comprendre en quoi les concepts de l'époque ont permis de faire avancer la physique et en quoi ils nécessitent une actualisation profonde. Aujourd'hui, on sait visualiser l'émission d'un photon de la lumière par un électron atomique : cet électron n'est pas un centre d'émission d'ondes mais de photons. S'il est animé de mouvements irréguliers (cas du corps noir), il émet des photons de façon aléatoire en polarisation et en phase dans un large spectre de fréquence ; s'il s'agit des électrons d'un conducteur parcouru par un courant sinusoïdal, ils émettent des photons en cohérence de phase et de polarisation sur la fréquence du courant : c'est ce qui se passe dans une antenne d'émission radioélectrique (ce n'est pas le champ, l'énergie et la quantité de mouvement qui se détachent directement du conducteur, il y a intervention du processus de création de particules, totalement extérieur à la théorie concernée). Par effet statistique, les photons (en très grand nombre dans un volume donné et à un instant donné, dans les cas usuels) reconstituent un phénomène qui est observé comme une onde : l'apparence et la réalité sont étroitement imbriquées. Dès lors que les photons sont généralisés à l'ensemble du spectre, il n'y a plus lieu de faire intervenir un milieu quel qu'il soit, il n'y a plus de phénomène de propagation, mais il y a le phénomène de création de particules (le photon est à la fois la particule et l'antiparticule) ; le milieu étant éliminé, il n'y a plus d'interactions retardées, hormis celles qui passent par le rayonnement, c'est-à-dire par le déplacement des photons dotés, dès leur création, de la propriété intrinsèque de se déplacer à 300 000 Km/s dans le vide. On retrouve le caractère indispensable de l'expérience cruciale permettant de clarifier le processus physique de l'interaction aimant-conducteur : si le champ se propage dans un milieu, il y a retard par rapport au mouvement de l'aimant ; si le milieu, donc la propagation, n'existent pas, l'interaction est instantanée. On sortira ainsi de l'ambivalence qui dure depuis plus d'un siècle autour de l'éther et de la propagation. Le génie de James Clerk Maxwell l'a conduit, dans la voie de la logique, à ses Quatre Equations qui sont à la base de l'électromagnétisme et de l'essentiel de la physique ; mais son génie l'a conduit aussi aux équations de propagation du champ électromagnétique et là, il l'a mené sur une voie prodigieusement féconde mais en contradiction avec la réalité physique (voir rubrique du site : *Etat des Recherches et Avancement, Avril 2014*). Ces équations de propagation conduisent à prévoir que, pour tout changement d'état d'un système électromagnétique, les champs des charges et des courants se détachent de leurs sources en emportant avec eux de l'énergie et de la quantité de mouvement ; cette prévision ne correspond pas à la réalité physique. Si des charges sont accélérées avec un niveau d'accélération suffisant, il y a création des particules que sont les photons ; ils deviennent les nouvelles sources du champ électromagnétique qui, en se déplaçant, constituent le rayonnement d'énergie ; lorsqu'il n'y a pas de rayonnement, les interactions entre particules élémentaires s'établissent à un instant donné en fonction de la position des particules à cet instant : il n'y a pas d'interactions retardées par la propagation : il n'y a pas de milieu qui assure une telle propagation et celle-ci n'existe pas. En fait, l'intervention du génie qui a conduit aux équations de propagation du champ électrique et du champ magnétique par une voie qui ne relève pas de la logique, ne conduit pas, pour autant, à une fausse piste, elle conduit à une piste différente de celle imaginée initialement : elle a ouvert la piste de la représentation statistique du phénomène de rayonnement et celle-ci a pleinement rempli son rôle.

A partir de la Théorie de Maxwell, la réalité physique et son aspect statistique se sont trouvés étroitement imbriqués, au point qu'il est devenu parfois difficile de les séparer ; c'est ce qui se passe en particulier dans la quantification de la Théorie de Maxwell-Lorentz. Il y a cependant un aspect des choses qui peut contribuer à la clarification. En revenant à l'exemple présenté par Hendrik Antoon Lorentz, de l'analogie avec une tige vibrant dans l'air (pour interpréter l'émission hertzienne), on est dans le cas où l'énergie vibratoire passe des molécules de la tige aux molécules de l'air sans aucun impact sur le nombre des molécules existant dans l'univers. Lorsqu'un rayon gamma est créé à partir de la désintégration d'un atome, il en va différemment : une particule nouvelle est créée dans l'univers. Il en est de même pour un flux de rayons X ou de rayons lumineux : ce sont alors des flux de particules qui viennent s'ajouter à celles déjà existantes dans l'univers. Mais le phénomène est beaucoup plus général. Lorsqu'un proton doté d'une énergie suffisante est immobilisé sur une cible il peut donner naissance à un autre proton et un anti-proton : à cet instant, on a alors deux particules de plus dans l'univers. En évoquant les quanta d'énergie émis tout d'un bloc dans la lumière, Albert Einstein anticipait prodigieusement le phénomène en cause. Mais dans son esprit, les ondes hertziennes restaient émises selon un processus analogue à celui de la tige vibrant dans l'air. En fait, il y a continuité quantique de l'émission électromagnétique et les photons d'une émission radioélectrique constituent, à chaque instant, un flux de nouvelles particules créées dans l'univers.



## 2.4. L'éther

L'hypothèse de l'existence de l'éther a amené Albert Einstein à revenir sur le sujet, lors de la conférence de Leyde, en mai 1920 ; à ce stade des réflexions, on ne peut ignorer le cheminement itératif qu'il a fait alors. Il s'est trouvé confronté au problème suivant : dans la théorie de la relativité générale le champ gravitationnel est supposé se propager (comme tous les autres champs) pour tout changement d'état des sources. Or, dans le texte sur la relativité restreinte, il a exclu *l'éther luminifère* alors que le concept de propagation n'a de sens qu'associé au concept de milieu dont les déformations, concernant une zone puis la suivante, constituent la propagation. Il est alors conduit à préciser « *Selon la théorie de la relativité générale, un espace sans éther est inconcevable.* » Mais en conclusion, il indique aussi *Nous ne devons pas en outre, en pensant au proche avenir de la physique théorique, écarter, sans autre façon, la possibilité que les faits accumulés par la théorie des quanta pourraient dresser, devant la théorie du champ, des limites infranchissables.* » Nous y sommes. En 1920, on était encore très loin de ce qu'allait nous apprendre l'Effet Compton et la continuité laser-maser, précisément dans le cadre de la théorie des quanta. Si les quanta éliminent un tel milieu pour le champ électromagnétique, il est difficile d'imaginer valablement qu'il en soit différemment pour le champ gravitationnel, même si les quanta n'y ont pas leur place. On arrive ainsi à la constatation suivante. Si la prodigieuse capacité d'anticipation d'Albert Einstein lui avait permis d'imaginer ce qui a découlé d'un demi-siècle de recherches ultérieures, il aurait directement étendu les quanta à l'ensemble du rayonnement électromagnétique ; il serait parvenu alors à la conclusion énoncée par Louis de Broglie indiquée précédemment et cela aurait été confirmé ultérieurement par l'expérience. C'est sans doute le caractère incomplet de sa démarche, au delà de la lumière, qu'il a perçu au terme de sa vie et l'a conduit à considérer qu'il avait privilégié la relativité par rapport aux quanta. Si toute l'énergie radiante est constituée de quanta, il n'y a plus lieu de faire intervenir *l'éther luminifère*, on peut considérer que cet éther n'existe pas, au moins sous la forme qu'on lui a conféré et considérer qu'il n'y a aucune intervention d'un milieu de cette nature dans les phénomènes électromagnétiques (ce qui n'exclut pas d'attribuer d'autres caractéristiques au vide). L'intervention supposée de l'éther dans la propagation du champ gravitationnel a été une extension plus ou moins implicite de l'existence supposée de l'éther de l'électromagnétisme ; il devrait en être de même pour son élimination. En toile de fond du problème de l'éther, il y a le fait que l'on a eu tendance à éliminer ce milieu, tout en conservant le concept de propagation, avec la contradiction que cela implique.

## 2.5. La quantification de la Théorie de Maxwell-Lorentz

Dans les années qui ont suivi l'introduction des quanta-corpuscules dans la lumière il n'a pas semblé possible de les étendre aux ondes hertziennes de l'époque et à la radioélectricité naissante ; de plus, la façon dont la relativité a été introduite et s'est développée a contribué à renforcer cette conviction. C'est ainsi qu'a émergé l'idée d'introduire la quantification sous forme mathématique en s'appuyant sur la Théorie de Maxwell-Lorentz et le concept de propagation considéré à cette époque comme représentant la réalité physique dans le domaine concerné (donc impliquant *l'énergie distribuée de façon continue sur un volume croissant* et un milieu support de la propagation). Après les tâtonnements initiaux, la première avancée décisive dans cette voie a été celle de Paul Dirac (*The Quantum Theory of the Emission and Absorption of Radiation*, 1927) suivie en 1930 d'un document considérable de Werner Heisenberg et Wolfgang Pauli, puis de contributions multiples et décisives. Dès la présentation de *la seconde quantification* de Paul Dirac, cette voie s'est avérée extrêmement féconde, ce qui a dynamisé les efforts ultérieurs avec comme aboutissement la théorie quantique de champs, l'électrodynamique quantique, la mésodynamique quantique.... Pour caractériser l'apport de la quantification du champ électromagnétique à l'ensemble de la physique, on peut se référer à ce qu'a évoqué Richard Feynman, dès 1985 : « *L'électrodynamique quantique permet d'interpréter tous les phénomènes du monde physique, à l'exclusion des effets gravitationnels* » ; pour définir la cohérence entre les résultats obtenus à partir de la théorie et les données expérimentales, il cite le cas du « *moment magnétique de l'électron obtenu avec une précision du même ordre de grandeur que celle que l'on obtiendrait en mesurant la distance Los Angeles-New York à l'épaisseur d'un cheveu près.*(8) » Depuis cette époque, les applications concrètes des théories concernées se sont multipliées, systématiquement couronnées de succès. Avec une conséquence : lorsqu'une théorie conduit à des résultats aussi exceptionnels confirmés par l'expérience, elle tend à faire apparaître comme intangibles toutes les bases sur lesquelles elle a été établie, en l'occurrence *la quantification de la Théorie de Maxwell-Lorentz*, avec ce qu'elle implique : en particulier le fait que l'énergie radiante reste supposée distribuée physiquement de façon continue dans l'espace.

Dans la période pendant laquelle l'idée de la quantification mathématique commençait à se développer lentement et difficilement, l'Effet Compton mettait en évidence la réalité physique des quanta de haute énergie d'une façon encore plus caractéristique que n'avait pu le faire l'effet photoélectrique. Trois décennies plus tard, à partir du concept d'émission stimulée formulé par Albert Einstein en 1917, la continuité des phénomènes laser-maser mettait en évidence la réalité physique des quanta einsteiniens dans tout le spectre de l'énergie radiante, des rayons gamma aux émissions radioélectriques dans la gamme des longueurs d'onde métriques et, par continuité physique, jusqu'aux très basses fréquences. La continuité de la réalité quantique de l'énergie radiante se trouvant ainsi établie, les manifestations physiques de la présence des photons vont évidemment être très différentes selon que l'énergie unitaire implique des milliers de Mev ou d'infimes fractions d'électron-volt. Un photon gamma d'énergie suffisante va être capable, après s'être déplacé dans l'immensité du cosmos *sans se diviser*, de créer un électron et un positron ; un photon ultraviolet va être capable d'arracher un électron d'un métal ; un photon unitaire d'une émission à très basse fréquence ne sera pas capable de déclencher une action observable dans les conditions classiques ; il faudra que les photons de cette nature soient en très grand nombre pour que leur action cumulée permette de les détecter sous l'apparence d'une onde maxwellienne. Mais il y a une caractéristique commune : lorsque les photons d'une émission à très basse fréquence se sont suffisamment éloignés de leur source et que la distance les a séparés les uns des autres, entre eux il n'y a que le vide et sur ce point leur caractère unitaire est identique à celui des rayons gamma. Or cela est en contradiction avec l'énergie *distribuée de façon continue sur un volume croissant*, telle que la Théorie de Maxwell-Lorentz la prévoit dans le processus de rayonnement.

On se retrouve donc, comme en 1905, en présence de deux interprétations différentes de la structure de l'énergie radiante, celles que Albert Einstein avait décrites dans son texte sur l'émission de la lumière, mais avec des évolutions ultérieures qui ont étendu chacune d'elles à l'ensemble du spectre :

- *l'énergie distribuée de façon continue sur un volume croissant* (Théorie de Maxwell et Théorie de Maxwell-Lorentz) ; cette interprétation semblait initialement incompatible avec les quanta introduits dans la lumière, mais la démarche complémentaire de quantification mathématique y a fait apparaître une forme d'équivalence avec la discontinuité quantique physique : *tout se passe comme si l'énergie était constituée de photons* ;

- *les quanta d'énergie émis tout d'un bloc et se déplaçant sans se diviser*, concernant initialement la lumière mais qui se trouvent étendus physiquement à l'ensemble du spectre de l'énergie radiante (Effet Compton, continuité laser-maser, discontinuité quantique observée à bas niveau de puissance radiante).

Dans ces deux voies, la démarche théorique conduit à des prévisions qui font l'objet de vérifications expérimentales. Avec une contradiction potentielle sous-jacente au niveau de la réalité physique des phénomènes :

- ou bien l'énergie radiante, est distribuée de façon continue dans l'espace ;

- ou bien elle est constituée de quanta d'énergie, les photons, dotés de la propriété intrinsèque de se déplacer dans le vide dès leur création (à 300 000Km/s quel que soit le système de référence inertiel), en restant identiques à eux-mêmes tout au long de leur déplacement, comme le feraient des projectiles.

Pour tenter de clarifier la situation, examinons comment se présente, à l'époque actuelle, la démarche vers la quantification mathématique dans ses objectifs et ses résultats. L'objectif de la quantification concernée est précisé de la façon suivante dans l'ouvrage *Théories Quantiques* de Théo Kahan (9) : « *Le problème fondamental de la théorie quantique est de mettre en évidence le caractère quantique du rayonnement, de tenter en somme de décrire le champ radiant classique comme un ensemble de photons.* »

La méthode revient à :

1. *Traiter la fonction de champ comme un opérateur* ;

2. *Postuler une règle de commutation* (qui introduit la constante de Planck dans le commutateur) ;

3. *Développer en série de Fourier cet opérateur pour obtenir des opérateurs de création et d'annihilation.*

Le résultat est présenté comme suit : *C'est en fait l'hypothèse de Planck que nous avons ainsi déduite de la Théorie de Maxwell en utilisant le formalisme quantique particulier pour les grandeurs de champ.*

La racine de la démarche est aussi présentée sous une forme convergente avec la précédente dans l'ouvrage plus récent : *Introduction à l'Electrodynamique Quantique* de Claude Cohen-Tannoudji, Jacques Dupont-Roc et Gilbert Grynberg (10) : « *Après ce rapide survol de l'électrodynamique classique (découlant de la Théorie de Maxwell-Lorentz), se pose maintenant le problème de la quantification d'une telle théorie. L'aboutissement de la démarche concernant l'état du champ électromagnétique est le suivant : « Tout se passe comme si cet état représentait un ensemble de particules.... Ces particules sont appelées des photons. Elles décrivent les excitations élémentaires des divers modes du champ électromagnétique quantifié. »* D'autres présentations partent des mêmes bases et aboutissent à des conclusions similaires par des cheminements sensiblement équivalents (11, 12). Examinons en quoi ces quelques lignes peuvent éclairer un sujet aussi complexe.

Reprenons, à sa base, la situation qui implique la quantification de la Théorie de Maxwell-Lorentz. Initialement, le concept des quanta-corpuscules est apparu indispensable pour interpréter la lumière, mais il semblait impossible, bien que souhaitable, de l'étendre à l'émission hertzienne et à la radioélectricité naissante, d'où l'idée d'y faire apparaître les quanta sous forme mathématique. Ces concepts ont conduit à deux résultats à la fois complémentaires et contradictoires, en l'état actuel des choses. Les évolutions théoriques et expérimentales ont montré que les quanta physiques, tels qu'ils avaient été introduits dans la lumière avaient la même place dans tout le spectre de l'énergie radiante. D'autre part, les efforts effectués pour introduire les quanta sous forme mathématique dans tout le champ électromagnétique ont conduit à des résultats prodigieux (*l'électrodynamique quantique : la perle de la physique*) : d'où la conclusion que la démarche est totalement valable.

Les quanta-corpuscules étendus à toute l'énergie radiante : examinons ce que cela implique. Selon la formulation employée par Albert Einstein pour la lumière et généralisée, c'est toute l'énergie électromagnétique radiante qui est constituée de *quanta d'énergie émis tout d'un bloc et se déplaçant sans se diviser*, alors que la Théorie de Maxwell et la Théorie de Maxwell-Lorentz prévoient *une énergie distribuée de façon continue sur un volume sans cesse croissant*. Les vérifications expérimentales qui ont pu être effectuées apparaissent finalement en accord total avec le concept des quanta einsteiniens. Quelles conclusions tirer de cette situation ?

Les présentes recherches conduisent à considérer qu'il y a une faille dans les fondements de la physique ; cette faille est liée à la contradiction mentionnée ci-dessus (paragraphe 1) et qui apparaît dans la façon dont la relativité restreinte est introduite. Cette situation conduit, en première étape, à l'expérience décrite concernant le lien entre un aimant et son champ magnétique au travers de l'espace. Tout ce qui est présenté ici découle de l'anticipation d'un résultat positif de l'expérience correspondante. On va donc tenter d'interpréter, à partir de là, le problème concernant les photons : photons physiques ou photons mathématiques ?

Si la formidable capacité d'anticipation d'Albert Einstein l'avait conduit à étendre, à tout le spectre, les quanta qu'il n'introduisait que dans la lumière, la quantification de la Théorie de Maxwell-Lorentz ne se serait sans doute jamais développée et cela aurait été une perte pour la physique. Si c'est là qu'il a privilégié la relativité par rapport aux quanta, il n'y a rien à regretter de l'itération ainsi imposée à la physique, elle a été prodigieusement bénéfique.

Lorsque l'on anticipe un résultat positif pour l'expérience montrant que le champ magnétique d'un aimant fait bloc avec cet aimant, à chaque instant et jusqu'à l'infini de l'espace, cela exclut les interactions retardées qui sont supposées intervenir lors du mouvement d'un aimant en face d'un circuit conducteur. Cela exclut le phénomène supposé de propagation dans l'éther ou dans un milieu équivalent et remet en cause le fondement de la Théorie de Maxwell, de la Théorie de Lorentz et certaines conclusions qui en découlent. Mais alors, si la Théorie de Maxwell-Lorentz constitue une base dont les fondements sont inexacts, comment la quantification de cette théorie a-t-elle pu obtenir des résultats d'une telle ampleur, d'une telle valeur et d'une telle précision ? La réponse proposée ici est simple : en fait, le processus de quantification concerné ne porte pas sur la Théorie de Maxwell-Lorentz, mais sur les quatre Equations de Maxwell, équations fondamentales de l'électromagnétisme qui expriment pleinement la réalité physique ; c'est par une démarche, qui relève du génie (paragraphe 2.3) et non de la logique, que ces quatre équations fondamentales ont conduit aux équations de propagation des champs dans l'éther (c'est là que la démarche devient *Théorie*), qui expriment l'aspect statistique des phénomènes et non la réalité physique (comme indiqué précédemment, voir rubrique du site : Etat des Recherches et Avancement, Avril 2014).

Cette interprétation permet d'aller plus loin que ne le fait la quantification mathématique actuelle. Lorsque l'on postule au départ de la démarche que l'énergie est distribuée de façon continue dans l'espace, il n'est pas possible de parvenir, dans la voie de la logique et quel que soit le cheminement mathématique suivi, à la conclusion que l'énergie est physiquement constituée de photons qui se déplacent sans se diviser. Or, la distribution maxwellienne de l'énergie, c'est la conséquence des équations de propagation qui elles-mêmes présupposent l'éther. Dès lors que l'on exclut l'éther et la propagation à l'entrée de la démarche de quantification, il n'y a plus lieu de considérer que, *dans l'état du champ, tout se passe comme si cet état représentait un ensemble de particules* : il faut considérer **qu'il représente effectivement un ensemble de particules**. On peut transposer la remarque de Théo Kahan, évoquée ci-dessus : **C'est en fait l'Hypothèse d'Einstein que nous avons ainsi déduite des Quatre Equations de Maxwell en utilisant le formalisme quantique particulier pour les grandeurs de champ.**

Il y a une autre raison plus profonde : tout au long de ces démarches s'est manifesté *le talent qu'a le théoricien scientifique d'aboutir à des conclusions valables en partant de prémisses reconnues plus tard*

*inexactes. L'intuition clairvoyante se manifeste aussi sous une forme complémentaire décrite par Heinrich Hertz : « Les formules mathématiques ont une existence indépendante et une intelligence propre, elles en savent plus que nous, plus même que ceux qui les ont découvertes, et nous en tirons plus de choses que l'on en avait mises à l'origine. »* En l'occurrence, la complexité et la subtilité de l'algèbre matricielle ont corrigé, spontanément et subrepticement, la fausse piste de la propagation et de ses conséquences, introduite initialement.

## 2.6 Un apport spécifique de l'expérimentation

L'étude expérimentale approfondie de la propagation ionosphérique a suscité une expérimentation sur satellite, proposée par le CNET ; elle a conduit à la réalisation, par le CNES, du premier satellite scientifique français FR1 lancé le 6 décembre 1965. Il se trouve que l'expérience à laquelle il était dédié a tenu une place significative dans les présentes recherches.

Le domaine sur lequel s'effectuait l'expérimentation concernait les ondes radioélectriques dans la bande des 20 kilocycles (16,8 et 24 khz). Ce domaine correspond au cas des ondes électromagnétiques qui sont les plus éloignées, en fréquence, des ondes lumineuses : le domaine des très basses fréquences, celui pour lequel Albert Einstein indiquait que la Théorie de Maxwell est la plus *appropriée*, en conséquence de quoi il a basé sa démarche générale sur *l'expression maxwellienne de l'énergie électromagnétique de l'espace*. Mais aussi, en introduisant le concept d'émission stimulée, Albert Einstein ouvrait la voie du maser puis du laser avec la mise en évidence de la continuité quantique dans le domaine allant de la lumière aux ondes hertziennes et plus largement, des rayons gamma aux ondes à très basse fréquence. Autrement dit, c'est la voie des quanta qui s'ouvrait dans l'interprétation de la réalité physique des ondes dans l'ensemble du spectre des fréquences.

L'auteur de ces lignes s'est trouvé impliqué dans le programme FR1 (étude et réalisation de la structure ainsi que de certains composants essentiels). Cette activité a suscité en permanence la question collatérale suivante : le rayonnement qui est émis vers FR1 est-il constitué :

- *d'une énergie distribuée de façon continue sur un volume sans cesse croissant ?*
- *de quanta d'énergie émis tout d'un bloc et se déplaçant sans se diviser ?*

La réponse à cette question converge avec tout ce qui est débattu dans ce site et dans cette mise à jour finale. Il ne reste plus aucun domaine de l'électromagnétisme qui relève de la propagation Toute énergie radiante relève de la création de particules et de leur déplacement à 300 000 Km/s dans le vide. Dans les matériaux transparents au rayonnement, le ralentissement est lié à une succession d'absorptions-réémissions des photons (Richard Feynman). Dès lors que la propagation n'intervient plus dans le champ radiant, elle n'intervient pas davantage dans le champ de couplage et l'anomalie mentionnée dans l'interaction d'un aimant et d'un conducteur est éliminée : l'interaction est instantanée et la relativité implique l'instantanéité dans les interactions de couplage.

Le thème de réflexion autour de la structure de l'énergie émise vers le satellite FR1 mérite de rester actif jusqu'à ce que le problème de l'inséparabilité quantique puisse être considéré comme complètement résolu. Il est vrai que les Equations de Maxwell-Lorentz semblent particulièrement adaptées pour formuler la propagation des ondes de cette nature, il est vrai que la quantification de cette théorie permet de faire apparaître que *tout se passe comme si* l'énergie concernée était quantifiée, mais il est vrai aussi que la discordance entre la théorie quantique et la relativité subsiste et que la mise en évidence des anomalies comme celles qui ont été mentionnées ici peuvent conduire à une clarification. L'énergie émise vers FR1 ne se détache pas de l'antenne d'émission ; il y a, à son niveau, création des particules que sont les photons ; il n'y pas d'éther, il n'y a pas de propagation, le champ d'une source évolue en concomitance avec l'évolution de sa source. La relativité implique les interactions instantanées, elle n'est plus en discordance avec l'inséparabilité quantique. Tous les éléments présentés ici convergent vers cette conclusion.

## 2.7 Récapitulation des avancées itératives de la physique

La Théorie de Maxwell a constitué une avancée qui relève en partie de la logique et en partie du génie. Les quatre Equations de Maxwell sont conformes à la logique (étant entendu que le génie de leur auteur a contribué à les élaborer dans leur forme définitive). Les équations de propagation du champ électrique et du champ magnétique qui ont conduit à prévoir l'existence des ondes électromagnétiques et l'appartenance de la lumière à cette classe de phénomènes relèvent intégralement du génie : elles ont été élaborées en discordance avec la logique et en contradiction avec la réalité physique : le champ électromagnétique ne se détache pas d'une antenne pour passer dans le vide comme une vibration sonore se détache d'une tige vibrante pour passer dans l'air. La différence la plus significative est la suivante : dans le cas du milieu matériel, l'énergie se déplace en passant d'un groupe de molécules à un autre ; dans le cas du rayonnement électromagnétique, lorsqu'un photon est créé, il y a une nouvelle particule qui prend place dans l'univers ; lorsque de l'énergie électromagnétique est émise à partir d'un instant donné, c'est un flux de nouvelles particules qui est émis, celles-ci étant physiquement créées. Les Equations de Maxwell ne représentent pas la réalité physique des phénomènes qu'elles étaient supposées représenter, mais elles expriment l'aspect statistique du rayonnement porté par les photons. *L'éther* (ou milieu équivalent) qui était supposé être le support de la propagation du champ électromagnétique n'existe pas ; en conséquence, il n'existe pas d'interactions retardées par *la propagation*. Le phénomène qui correspond à ce qui a été considéré comme des ondes électromagnétiques résulte en fait de la présence d'un grand nombre de photons à un instant donné dans un volume donné.

L'introduction des quanta a concerné initialement la lumière ; en fait, ils ont la même place dans tout le rayonnement électromagnétique depuis les rayons gamma jusqu'aux ondes à très basse fréquence. La relativité a été développée en symbiose avec la Théorie de Maxwell, donc en s'appuyant sur le concept de propagation qui impliquait l'éther, en même temps qu'elle le rejetait. En fait, la relativité a pu se développer précisément parce que Albert Einstein a cru à la propagation qui excluait les interactions instantanées ce qui l'a conduit à renoncer à la simultanéité classique, et à imaginer de *synchroniser les horloges* par des signaux lumineux, parvenant ainsi à la relativité, à l'équivalence masse-énergie et à leurs innombrables succès. La propagation, en tant que phénomène physique supposé, a joué un rôle itératif particulièrement utile, mais elle n'a plus à être prise en considération, en tant que phénomène physique, ni dans la relativité restreinte, ni dans la relativité générale, ni dans les ondes électromagnétiques, sauf pour la formulation statistique des phénomènes et à titre épistémologique. Ce qui apparaissait comme l'impossibilité d'introduire les quanta dans le rayonnement électromagnétique classique (radioélectricité) a conduit à étudier la possibilité de quantifier mathématiquement le champ électromagnétique dans le cadre de *la quantification de la Théorie de Maxwell-Lorentz*. Comme pour la Théorie de Maxwell, cela a conduit à des résultats prodigieux mais à partir d'une base inexacte. En fait, la quantification mathématique développée dans cette voie est allée au-delà de ce qu'on attendait d'elle : elle a fait émerger les photons réels, non pas de la **Théorie** de Maxwell-Lorentz, mais des **Equations** de Maxwell, c'est à dire des équations fondamentales de l'électromagnétisme et cela indépendamment des équations de propagation des champs. La quantification mathématique a ouvert une voie prodigieusement féconde ; il s'agit maintenant de prendre conscience qu'elle a spontanément corrigé l'erreur initiale qui était sa raison d'être ; les Equations de Maxwell-Lorentz n'impliquent pas *l'énergie distribuée de façon continue sur un volume croissant*. La Théorie correspondante s'est engagée dans le cheminement itératif qui, à l'époque, a permis de faire avancer les choses.,

### Au terme de ces recherches

Depuis que Erwin Schrödinger a énoncé *la caractéristique fondamentale* de la physique quantique par le terme *Verschränkung* quasi-simultanément avec la présentation par Albert Einstein et ses collègues du texte connu comme le *Paradoxe Einstein-Podolsky-Rosen*, la physique est en crise : la théorie quantique et les expériences qu'elle a suscitées conduisent à admettre l'existence d'interactions assimilables à des interactions instantanées au travers de l'espace, en contradiction avec ce qu'implique la relativité en son état actuel. Vis-à-vis de ce problème, la position de la communauté scientifique est généralement résumée de la façon suivante : « *Nul ne peut dire aujourd'hui si les progrès viendront de nouvelles expériences, de percées théoriques ou de ruptures épistémologiques.* (13) » Pourtant, des efforts considérables ont été déployés afin d'éliminer cette anomalie, en s'appuyant sur les raisonnements et les formalismes mathématiques qui ont été à la base des succès de la physique actuelle. Dans ces conditions, il devient légitime de tenter d'explorer une piste différente. Cette piste s'efforce de s'inscrire dans le prolongement de celle ouverte par Louis de Broglie et orientée par ses prises de position que suscitaient les difficultés rencontrées par la physique et les

débats qui en résultaient. En 1954, il souhaitait « *le retour à des images spatio-temporelles précises permettant de comprendre clairement de quoi l'on parle.* (14) » En 1962, il recommandait d'aller de l'avant : « *en s'inspirant directement des données de l'expérience, en s'affranchissant des idées préconçues et en n'accordant pas une valeur trop exclusive aux formalismes mathématiques, même élégants et rigoureux, qui risquent parfois de masquer les réalités physiques profondes.* (15) » En réalité, les résultats qui apparaissent ici étaient déjà sous-jacents dans la thèse introduisant la Mécanique Ondulatoire. C'est en formulant l'équation correspondant au concept par lequel Louis de Broglie associait une onde à tout corpuscule que Erwin Schrödinger a mis en évidence *l'inséparabilité*. Quant à la solution du problème qu'il faisait ainsi émerger, il est dans la conclusion de la thèse qui mérite d'être citée une nouvelle fois : « *Il faudrait d'abord constituer une théorie électromagnétique nouvelle, rendant compte de la structure discontinue de l'énergie radiante, laissant enfin à la Théorie de Maxwell-Lorentz un caractère d'approximation statistique qui expliquerait la légitimité de son emploi et l'exactitude de ses prévisions dans un très grand nombre de cas.* Admettre que l'ensemble de l'énergie radiante présente une structure discontinue, c'est élargir le domaine de la réalité physique des photons, (*les quanta émis tout d'un bloc...*) depuis les rayons gamma jusqu'aux ondes radioélectriques dans toute la gamme des fréquences, si basses soient-elles. Dans ces conditions, l'émission d'énergie électromagnétique relève du processus de création physique de particules qui viennent s'ajouter à celles qui existent déjà dans l'univers. Il ne reste plus aucun domaine pour lequel la propagation, et le milieu qu'elle implique, soient appropriés pour représenter la réalité physique ; cependant, le formalisme mathématique qui en était issu reste valable et indispensable pour exprimer l'aspect statistique des phénomènes.

Dès lors qu'il apparaît que la Théorie de Maxwell-Lorentz n'exprime pas la réalité physique du rayonnement électromagnétique, il faut rechercher les racines du cheminement qui a conduit à une telle proximité entre la réalité et les apparences. James Clerk Maxwell a établi sa *Théorie Electromagnétique de la Lumière* en rendant parfaitement explicites ses hypothèses de départ : l'existence supposée de l'éther avec ses propriétés de transmettre de proche en proche le champ électrique, le champ magnétique et le champ électromagnétique, en analogie avec la transmission des déformations élastiques dans les milieux matériels. Or cela n'exprime pas la réalité physique. Le rayonnement d'énergie par propagation ne change pas le nombre de particules existant dans l'univers, le rayonnement électromagnétique conduit à une augmentation du nombre de ces particules. Dans la période où les ondes électromagnétiques ont été découvertes expérimentalement, et ensuite pendant de nombreuses années, les rayonnements radioélectriques mis en œuvre ont concerné des énergies qui impliquaient des flux de photons considérables sur une surface donnée, à un instant donné et *tout se passait comme si* les phénomènes observés relevaient de la propagation.

L'introduction des quanta et de la relativité n'a pas permis de parvenir jusqu'aux racines de cette situation. Une nouvelle étape reste à franchir : il est possible précisément de *s'inspirer directement des données de l'expérience*, en revenant à l'introduction de la relativité telle qu'elle a été présentée par Albert Einstein : il y affirme que le mouvement d'un aimant en face d'un conducteur fixe correspond à la même réalité physique que le mouvement du conducteur en face de l'aimant fixe. En fait, *la dissymétrie* est restée, étrangement masquée. Une expérience simple, eu égard aux moyens actuels, peut l'éliminer comme indiqué au paragraphe 1. Elle ouvrira la voie d'une nouvelle actualisation de l'électromagnétisme, de la relativité, de l'espace-temps, de la physique en général.

J'exprime ma profonde reconnaissance aux personnes qui m'ont apporté leur concours ou leur soutien dans ce travail.

Juin 2015

Pierre Poubeau

## Ouvrages cités

1. Citation de: Banesh Hoffmann, Albert Einstein, Créateur et Rebelle, Éditions du Seuil, 1972.
2. Citation de Louis de Broglie, Nouvelles perspectives en microphysique, Albin Michel, 1956.
3. Banesh Hoffmann, Michel Paty, L'étrange histoire des quanta, Editions du Seuil, 1981.
4. J.D. Jackson, Classical Electrodynamics, John Wiley, 1974.
5. Emilio Segré, Les physiciens modernes et leurs découvertes, Fayard, 1984.
6. James Clerk Maxwell, (Traduction française) Traité d'Electricité et de Magnétisme, Editions Jacques Gabay, 1989.
7. Hendrik-Antoon Lorentz, The Theory of Electrons and its Applications to the Phenomena of Light and Radiant Heat, Ed. Jacques Gabay, 1992.
8. Richard Feynman, Lumière et Matière, Interéditions 1987.
9. Théo Kahan, Théories Quantiques, Armand Colin, 1965.
10. Claude Cohen-Tannoudji, Jacques Dupont-Roc, Gilbert Grinberg, Photons et atomes. Introduction à l'électrodynamique quantique. Editions du CNRS, 1987.
11. L. Landau et E. Lifchitz. Electrodynamique quantique . Ed. du Globe EDITIONS MIR 1973-1989.
- 12 . F. Mandl, G. Shaw. Quantum Field Theory. John Wiley and Sons. 1985.
13. Collectif d'auteurs : Demain la Physique, Odile Jacob Sciences.
14. d° 2
15. Réédition de la thèse de Louis de Broglie : RECHERCHES SUR LA THÉORIE DES QUANTA Masson et Cie PARIS 1963