

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie

André Michaud

- [Click here for English version](#)
→ [Haga clic aquí para versión en español](#)
→ [Hier anklicken für die Deutsche Fassung](#)

Résumé: Construction d'une équation LC et d'une équation avec champs localisés décrivant le photon localisé à partir d'une analyse de la circulation de l'énergie cinétique à l'intérieur de la structure du photon à double corpuscule dont Louis de Broglie fit l'hypothèse au début des années 1930. Entre autres caractéristiques intéressantes, ces équations procurent une explication mécanique aux propriétés du photon localisé de s'autopropulser à la vitesse de la lumière et de s'autoguidier en ligne droite lorsqu'aucune interaction externe ne tend à dévier sa trajectoire. Cet article expose les considérations séminales qui conduisirent au développement du modèle des 3-espaces.

Mots clés:- théorie électromagnétique, énergie cinétique, photon, accélération, paires électron-positon, 1.022 MeV, équation LC, 3-espaces.

La version anglaise de cet article a maintenant été publiée dans le Journal of Physical Mathematics.

La géométrie des 3 espaces, et le photon localisé en permanence dont il permet la description, ont été jugés conformes aux équations de Maxwell par les examinateurs et éditeurs du *Journal of Physical Mathematics*, et cet article a été initialement publié dans ce journal le 11 décembre 2015:

Michaud A (2016) *On De Broglie's Double-particle Photon Hypothesis*. J Phys Math 7: 153. doi:10.4172/2090-0902.1000153

<https://www.hilarispublisher.com/open-access/on-de-broglies-doubleparticle-photon-hypothesis-2090-0902-1000153.pdf>

Une version amplifiée de cet article a été republié en 2021 sur invitation en tant que chapitre d'un livre en une version finale sous le titre "[De Broglie's Double Particle Photon](#)" dans le livre intitulé "[Newest Updates in Physical Science Research Vol. 4](#)" qui fait partie d'une collection qui présélectionne des articles jugés dignes d'attention dans l'offre globale, pour les mettre à la disposition plus immédiate de la communauté.

Michaud, A. (2021). *De Broglie's Double-Particle Photon*. In: Dr. Jelena Purenovic, Editor. *Newest Updates in Physical Science Research Vol. 4*, 63–102.

<https://doi.org/10.9734/bpi/nupsr/v4/1979F>
<https://stm.bookpi.org/NUPSR-V4/article/view/1642>

En hommage à la contribution de Paul Marmet au développement de la mécanique électromagnétique des particules élémentaires, une **Annexe A** a été ajoutée à la version

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie rééditée (voir ci-dessous), soulignant sa contribution à la science et incidemment la "haute estime" manifestée pour les réalisations de ce chercheur et expérimentaliste hors du commun par ses collègues et les autorités de l'*Université d'Ottawa*, ainsi que par le *Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada*.

La version française de l'article final est disponible [ici](#).

Voici la traduction française de l'article original:

1. Introduction

La première représentation intégrée de l'énergie électromagnétique a été proposée par Maxwell comme étant un phénomène ondulatoire continu causé par l'interaction de champs électrique et magnétique s'induisant mutuellement, ce qui conduisit à la reconnaissance que les fréquences radio appartiennent aussi au même spectre que la lumière visible. Vint ensuite l'analyse de Planck des résultats expérimentaux de Wien sur le corps noir qui démontraient que l'énergie électromagnétique est toujours absorbée en quantités discrètes associées à la fréquence.

La preuve photoélectrique d'Einstein confirma peu après la conclusion de Planck en prouvant que les photons se comportent comme s'ils étaient localisés en plus de démontrer qu'ils possèdent une inertie longitudinale fonction de la quantité d'énergie qui les constitue, ce qui leur valut éventuellement chacun un prix Nobel. Compton et Raman ajoutèrent des confirmations supplémentaires à la conclusion de Planck en expérimentant avec d'autres types de collisions entre photons et électrons.

Ces découvertes confirment de manière concluante la nature discrète et le comportement ponctuel (à vrai dire quasi-ponctuel) des photons lorsqu'ils sont absorbés. Nous devons aussi garder à l'esprit qu'une dimension frontale d'interaction (cross-section) plus grande que zéro doit être présumée pour toutes les particules élémentaires au comportement quasi-ponctuel dans toutes les expériences de collisions pour correctement rendre compte des traces enregistrées.

Nous savons donc que ces particules ne sont pas vraiment ponctuelles et sans dimensions au sens mathématique, même si leur mouvement peut être calculé comme si c'était le cas; tout comme la trajectoire de la Lune autour de la Terre est calculée comme si la totalité des deux masses était concentrée en un seul point au centre de chacun des corps. Question simplicité, le terme ponctuel dans ce sens élargi sera utilisé ici en gardant ce fait à l'esprit.

Le comportement ponctuel des photons lors de leur émission fut aussi compris subséquemment et sera discuté plus loin. Nous savons donc de manière certaine que les ondes continues de Maxwell n'existent pas au niveau submicroscopique, en dépit du fait que ses équations permettent un calcul de la plus grande précision lorsque l'énergie électromagnétique est traitée comme étant continue et sans structure interne tel qu'observé de notre perspective macroscopique.

Ces découvertes nous révèlent que nous sommes dans la même situation par rapport à l'énergie électromagnétique que par rapport aux matériaux solides, car le parallèle est évident avec le fait que quoique nous puissions observer que la surface d'un diamant poli est d'une uniformité et d'une douceur sans faille lorsqu'observée de notre perspective macroscopique, nous pouvons aussi alternativement observer que cette même surface est granulaire et bosselée lorsque les particules rebondissantes d'un microscope électronique nous révèlent les

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie

formes des atomes individuels qui constituent la surface du cristal au niveau submicroscopique. Dans ce dernier cas cependant, nous avons une compréhension passablement étendue de la structure interne de ces atomes, ce qui contraste avec notre connaissance de la structure interne du photon, qui demeure encore l'objet de spéculation.

Depuis un siècle, s'est installée une conception profondément ancrée dans le cas de la lumière à l'effet qu'elle se comporte quelquefois comme une onde et quelquefois comme une particule, deux comportements qui sont incompatibles pour de nombreuses raisons et qui furent à l'origine du concept de "comportement onde-particule" pour caractériser le photon.

Un examen attentif de ce concept à la lumière de la comparaison macroscopique-submicroscopique que nous venons tout juste d'exposer conduit cependant à penser que de manière générale, le "comportement ondulatoire" serait simplement le résultat du comportement de foules de photons discrets telles que nos instruments macroscopiques les traitent habituellement au niveau macroscopique, alors que le "comportement particulaire" serait le comportement de photons individuels au niveau submicroscopique. Cette précision additionnelle résoudrait en grande partie l'incompatibilité inhérente du concept de "comportement onde-particule" en le remplaçant par un concept de "comportement ondulatoire macroscopique vs comportement particulaire submicroscopique".

Mais nous verrons plus loin qu'avec le modèle proposé ici, même au niveau submicroscopique le photon localisé peut posséder les deux types de comportement sans aucune contradiction, en associant le comportement ondulatoire transversal avec un comportement particulaire longitudinal.

Aussi, en dépit de son comportement ponctuel dans toutes les expériences de collision ou capture, comportement typique des particules élémentaires, le photon fut suspecté très tôt de n'être pas élémentaire parce que la lumière peut être polarisée, ce qui ne peut en aucun cas être expliqué si le photon était véritablement constitué d'une seule particule élémentaire.

Cette question fut clarifiée par Louis de Broglie lorsque le concept de spin fut introduit, associant un spin de $1/2$ aux particules ponctuelles dont nous avons des preuves hors de tout doute qu'elles sont véritablement élémentaires, tels l'électron et le positon, et par conséquent un spin de 1 pour le photon, introduisant ainsi l'hypothèse que le photon doit être constitué de deux particules pour expliquer sa capacité de polarisation ([1], p.307).

Louis de Broglie fut le premier à élaborer une théorie générale à propos de la structure interne possible du photon localisé. Selon son hypothèse telle que formulée dans les années 1930, un photon localisé en permanence suivant une trajectoire de moindre action peut satisfaire à la fois la statistique de Bose-Einstein et la loi de Planck, expliquer parfaitement l'effet photoélectrique tout en obéissant aux équations de Maxwell et se conformer totalement aux propriétés de symétrie des corpuscules complémentaires de la théorie de Dirac seulement s'il est constitué de deux corpuscules, ou demi-photons de spin $1/2$, ... *qui doivent être complémentaires l'un de l'autre dans le même sens que l'électron positif (le positon) est complémentaire de l'électron négatif dans la théorie des trous de Dirac* ([2], p.277).

Les citations suivantes de la même référence résument son hypothèse:

"Un tel couple de particules complémentaires est susceptible de s'annihiler au contact de la matière en cédant toute son énergie, ce qui rend compte parfaitement des caractéristiques de l'effet photoélectrique."

De plus,

"le photon étant constitué de deux particules élémentaires de spin $h/4\pi$, il doit obéir à la statistique de Bose-Einstein comme l'exige l'exactitude de la loi de Planck pour le rayonnement noir."

Finalement, il conclut que

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie

"...ce modèle du photon permet de définir un champ électromagnétique lié à la probabilité d'annihilation du photon, champ qui obéit aux équations de Maxwell et possède tous les caractères de l'onde électromagnétique lumineuse."

Pendant les années 1930 et 1940, de Broglie et ses étudiants développèrent progressivement une solution intéressante et efficace fondée sur la mécanique ondulatoire, dont les deux corpuscules sont des singularités dans une onde pilote sous-jacente ([1], p. 464). Après que la théorie de la Chromodynamique Quantique fut développée dans les années 1970, un modèle alternatif fut proposé, impliquant un mélange de paires quark-antiquark et de gluons [3] fondé sur cette nouvelle théorie et la Mécanique Quantique, qui était aussi intéressante et efficace.

Quelques autres modèles furent aussi proposés depuis, mais toutes ces approches ont l'inconvénient par rapport à la théorie de Maxwell de traiter les champs électrique et magnétique, soit explicitement ou implicitement, comme étant un "champ électromagnétique" unique au niveau général (le tenseur électromagnétique) sans structure apparente de prime abord, ce qui fait facilement perdre de vue que les deux champs sont d'égale importance dans la théorie de Maxwell, avec des caractéristiques différentes et irréconciliables, en plus de s'induire mutuellement.

Il s'ensuit qu'aucune fonction précise n'est laissée à l'aspect "magnétique" de l'énergie électromagnétique dans une possible mécanique d'induction mutuelle qui impliquerait les deux charges séparées, soit les composants "électriques" du photon, une mécanique qui expliquerait pourquoi le photon peut maintenir une unité locale suffisante pour expliquer son comportement systématiquement ponctuel lors des événements de collision ou d'absorption, ce qui inclue tous les photons que nous savons avoir été émis aux confins de l'univers détectable, après avoir voyagé vers nous pendant d'innombrables années.

À vrai dire, les deux méthodes assignent aux deux particules électriques une existence séparée de l'aspect électrique correspondant de l'énergie électromagnétique que le photon localisé est sensé représenter, ce qui introduit les deux particules de telle manière qu'elles ne sont pas intégrées dans la séquence du cycle d'induction mutuelle des champs électrique et magnétique qu'elles sont sensées enrichir, selon l'hypothèse initiale de de Broglie:

"... il me paraissait que, pour obtenir une image claire, en accord général avec les conceptions classiques, du dualisme onde-corpuscule dans le cadre de l'espace et du temps, il fallait parvenir à incorporer le corpuscule à l'onde." ([1], p. 466).

Mais il semble que la tendance non-déterministe qui prévalait suite au Congrès de Solvey de 1927 l'a confronté avec de telles difficultés qu'il a fini par renoncer à son objectif ultime. ([1], p. 469).

Généraliser l'interaction électromagnétique sous forme d'un tenseur unique est une excellente approche pour obtenir une perspective globale, mais il semble que de tenter d'explorer en plus fins détails a toujours favorisé une compréhension plus profonde des questions physiques. Cet ouvrage est donc une tentative d'exploration en plus grands détails même que les champs électrique et magnétique tels que décrits par la théorie de Maxwell.

2. Symétrie électromagnétique interne requise

À vrai dire, pour que l'aspect électrique à double-particule du photon demeure conséquent avec le comportement ponctuel de ce dernier aux moments de son émission et de sa capture ou collision, peu importe le temps écoulé et la distance parcourue entre ces deux évé-

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie

nements, les deux demi-photons "électriques" séparés doivent se réunir d'une manière ou d'une autre durant chaque cycle de la fréquence du photon, et plus important encore, pour incorporer dans la mécanique du processus l'autre moitié de la relation électromagnétique, soit son aspect magnétique.

L'induction d'un champ magnétique en croissance qui est indissociable d'une variation de courant généré par des charges en mouvement ne vient-elle pas immédiatement à l'esprit à ce point? Dans le cas du photon, cette idée implique un courant de déplacement dans le processus, qui impliquerait un mouvement local des deux charges postulées qui causerait le changement requis dans le champ électrique local à l'intérieur du photon, un courant qui serait généré en l'absence de matière dans le présent cas, un processus qui, étonnamment, fut proposé pour la première fois par Maxwell lui-même en 1865 et qui fut le fondement de sa théorie électromagnétique ([4], p. 625). Ceci à son tour suggère la possibilité d'une oscillation interne de l'énergie du photon associée à sa fréquence.

Gardons à l'esprit ici que le terme "fréquence" s'applique à tous les types de mouvements cycliques, qu'il soit rotationnel, translationnel sur orbite fermée ou oscillatoire de toute nature, du simple mouvement sinusoïdal harmonique simple jusqu'au mouvement alternatif cyclique entre deux états tel que considéré ici et que nous nommerons "oscillation" dans ce texte, question simplicité. Cela signifie que tous les aspects du moment angulaire que nous associons naturellement aux mouvements de rotation peuvent aussi être appliqués aux mouvements alternatifs cycliques, ce qui en retour permet de faire l'hypothèse que le "spin" des particules élémentaires pourraient possiblement correspondre à un mouvement alternatif cyclique de l'énergie concernée, sans aucun besoin de modifier les équations qui le décrivent déjà.

C'est un fait avéré que toutes les recherches expérimentales ayant pour but d'identifier des charges dans les ondes électromagnétiques n'ont jamais pu les détecter en support du postulat de Maxwell. Mais considérant que si les ondes électromagnétiques telles que les concevait Maxwell n'étaient réellement qu'une représentation pratique d'une perception macroscopique d'un effet de foule dû à la présence d'innombrables photons localisés en mouvement au niveau submicroscopique, ce serait en réalité ces photons individuels qui posséderaient les charges recherchées et seraient les sites locaux d'un courant de déplacement versus une activité d'induction magnétique.

Cependant, il n'existe aucun instrument suffisamment sensible pour détecter les champs infinitésimaux de photons individuels, considérant la difficulté ajoutée du fait qu'ils se déplacent à la vitesse de la lumière et que toute interception d'un photon ne fait qu'incorporer son énergie sous forme d'une quantité infinitésimale d'énergie cinétique à un électron d'un atome du matériel dont est fait le détecteur. Mais puisque ce postulat fut un fondement si important et productif dans l'élaboration de la théorie de Maxwell, qui à son tour permet des calculs si précis, il semble n'exister aucune raison pour s'en départir maintenant.

L'hypothèse du photon à double-particule impliquerait donc que ce dernier consisterait en une structure électromagnétique localisée en mouvement dont le quantum d'énergie ne pourrait logiquement qu'alterner entre un état de double-composants électriques qui se sépareraient dans l'espace (un dipôle électrique), et un état magnétique qui ne pourrait impliquer qu'un seul composant pour expliquer la localisation permanente du photon et qui alors ne pourrait être dipolaire que d'une seule manière.

Une parfaite symétrie de cet aspect serait atteinte si ce composant unique consistait en une phase d'expansion sphérique pendant que les deux composants électriques se rapprochent l'un de l'autre, suivi par une phase de contraction sphérique lorsque les deux composants électriques s'éloignent l'un de l'autre; les deux séquences d'expansion et contraction magnétique demeurant en tout temps perpendiculaires à la phase électrique. Cela signifie aussi que

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie

ce composant magnétique unique *ne peut être dipolaire que le long de la dimension temps*, puisque ces deux phases ne peuvent en aucun cas se produire simultanément.

Une telle structure dynamique conserverait donc la symétrie fondamentale requise puisque le dipôle électrique se déplaçant dans l'espace serait contrebalancé en permanence par un dipôle magnétique associé se déplaçant perpendiculairement dans le temps, les deux dipôles demeurant en tout temps perpendiculaires à la direction de mouvement du photon dans l'espace, obéissant ainsi à la triple orthogonalité qui est requise pour le traitement par ondes planes dans la théorie de Maxwell de tout mouvement en ligne droite de l'énergie électromagnétique.

3. Interaction coulombienne entre les demi-photons

Notons ici que de Broglie considérait que les deux demi-photons étaient électriquement neutres ([5], page 158), c'est-à-dire non chargés négativement pour l'un, et positivement pour l'autre. Mais par la même occasion, il considérait aussi que la force de Coulomb ne pouvait pas être impliquée dans le processus, car à son avis, cette force ne peut être en action qu'entre des particules chargées négativement et/ou positivement, tel que confirmé par son ami et collègue de longue date Georges Lochak, au fil d'une conversation initiée par moi, précisément pour clarifier ce point, conclusion qui explique pourquoi il ne prit pas cette possibilité en considération au cours de sa recherche.

Paradoxalement, il est compris et extensivement confirmé expérimentalement depuis les années 1930 que tout photon d'énergie 1.022 MeV ou plus, qui ne possède ni masse au repos ni charges signées, se déstabilisera pour se convertir en une paire électron-positon, massifs et chargés en opposition, lorsqu'il frôle une particule lourde tel un noyau atomique.

Se pourrait-il alors que les "signes" des charges des particules élémentaires soient une propriété extrinsèque, possiblement vectorielle, qui serait acquise pendant le processus de séparation de la paire? Cela laisserait la porte grande ouverte à la possibilité qu'une quelconque forme d'interaction coulombienne puisse être impliquée à un niveau plus fondamental que celui de l'acquisition des "signes" des charges des particules élémentaires en cours de séparation. Attardons-nous donc un moment sur ce que considérer le "signe" comme une propriété séparée de la charge des particules élémentaires permet de visualiser.

Dans cette perspective, l'existence même de "signes d'intensités fractionnaires" pour les charges des quarks up et down qui constituent la structure collisionable des nucléons signifie que des "niveaux d'intensité de signes" stables autres que le "niveau d'intensité unitaire" des charges de l'électron et du positon sont possibles.

Cette comparaison ne vise aucunement à suggérer une origine possible pour les quarks up et down, qui est encore sujette à hypothèses, mais seulement à mettre en évidence qu'il existe plusieurs "degrés d'intensités de signes" pour des particules stables, ce qui permet de considérer que "l'acquisition de l'intensité du signe" pour les charges pourrait possiblement être progressive, d'initialement nulle pour les charges des photons, jusqu'à "l'intensité de signe unitaire" maximale pour les charges de l'électron et du positon, avec des niveaux stables intermédiaires correspondant aux "intensités de signes fractionnaires" stables des quarks up et down.

Les "signes d'intensité unitaire" opposés de l'électron et du positon pourraient alors être progressivement acquis pendant le processus de déstabilisation du photon, possiblement induits dans les charges initialement neutres du photon mère par la présence même de "signes" pour les charges de la particule déstabilisante que le photon frôle, de neutre au début du processus jusqu'à l'intensité unitaire maximale pour les charges séparées si la séquence de déstabilisation réussit à séparer la paire, ou régression éventuelle vers la neutralité des

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie

charges du photon si le processus échoue pour quelque raison. Le photon continue alors sa route avec ses charges redevenant neutres s'il n'était pas suffisamment énergétique, ou parce qu'il frôle de trop loin la particule déstabilisante pour que le processus réussisse dans le cas d'un photon suffisamment énergétique.

4. Intersections de trajectoires électrostatiquement déstabilisantes

Il doit être considéré aussi que l'électrodynamique quantique reconnaît implicitement la présence de l'interaction coulombienne entre un photon en cours de découplage et un noyau massif, en incluant un "photon virtuel" de Feynman dans la représentation du processus de production de la paire (**Figure 1**), "photon virtuel" qui fut défini par Feynman lui-même comme étant une métaphore de l'interaction coulombienne [6], reconnaissant ainsi implicitement que l'interaction coulombienne doit être en action entre le photon et la particule massive déstabilisante avant même que la paire ne se sépare, quel qu'ait pu être l'état du signe des charges internes du photon.

Considérons ce qui est sensé se produire lorsqu'un photon d'énergie 1.022 MeV ou plus frôle de très près un noyau atomique. Nous savons depuis de Broglie que toutes les particules élémentaires massives et chargées sont électromagnétiques de nature, puisqu'une charge électrique ne peut pas être dissociée d'une contrepartie magnétique. Cela inclue bien sûr les quarks up et down massifs et collisionnables qui constituent la structure interne des nucléons (protons et neutrons), puisqu'ils possèdent une charge électrique mesurable; des quarks chargés dont l'existence était encore inconnue lorsque de Broglie travaillait activement sur sa théorie, puisqu'ils ont été expérimentalement découverts seulement vers la fin des années 1960 [7].

Une déstabilisation conduisant au découplage des paires pourrait alors être expliquée par la présence de ces particules élémentaires chargées au comportement ponctuel (quarks up et down) dont sont constitués tous les nucléons dont sont faits les noyaux atomiques, et qui pourraient entrer en interaction homo- et/ou hétérostatique avec les charges des demi-photons lorsque le photon mère est dans sa phase électrostatique en frôlant le noyau. Il devient alors tout aussi évident que ces interactions pourraient devenir de plus en plus intenses en relation avec l'inverse du carré de la distance en diminution séparant les demi-photons de ces quarks up et down si une interaction de type coulombienne est effectivement en action, un processus représenté en électrodynamique quantique par le diagramme de Feynman suivant ([8], p. 203):

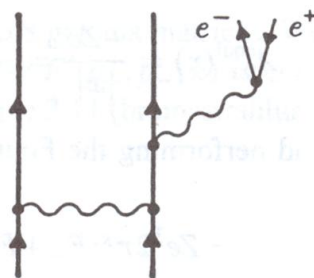


Figure 1: Diagramme de Feynman pour la création d'une paire lors d'une rencontre Photon-noyau.

Le fait qu'un tel découplage ne peut se produire que lors d'un moment de très grande proximité entre le photon et un noyau vient d'ailleurs en support de la présence d'une interaction en fonction de l'inverse du carré de la distance, soit la loi de Coulomb.

Similairement, la création de paires lors du passage à grande proximité de deux photon entre eux, au moins un des deux excédant le seuil minimal de 1.022 MeV, sans aucun

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie noyau massif étant présent, tel que confirmé expérimentalement par Kirk McDonald et al. à l'accélérateur linéaire de Stanford (SLAC) en 1997 avec l'expérience #e144 [9], est représentée par le diagramme de Feynman suivant ([8], p. 203):

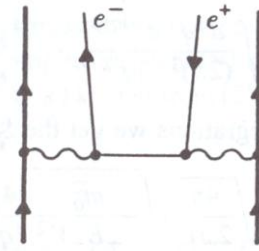


Figure 2: Diagramme de Feynman pour la création d'une paire lors d'une rencontre photon-photon.

Il semble donc exister des évidences suffisantes pour au moins explorer la possibilité qu'une interaction de type coulombienne puisse être en action entre photons et autres particules électromagnétiques localisées et même possiblement entre les charges neutres du photon à double-particule de de Broglie.

5. Photons, électrons, positons, constitués exclusivement d'énergie cinétique

Après déstabilisation, les demies séparées de l'énergie du photon peuvent alors être observées se comportant comme un électron de masse $0.511 \text{ MeV}/c^2$ plus un positon de masse $0.51 \text{ MeV}/c^2$ voyageant séparément, dont les charges unitaires peuvent être observées comme étant signées en opposition, et dont la vélocité en directions opposées est liée à l'énergie résiduelle que le photon mère possédait en plus des 1.022 MeV constituant maintenant les masses au repos des deux particules, un processus observé pour la première fois par Blackett et Occhialini lors de l'analyse des traces d'impacts de rayons cosmiques dans une chambre à bulles au début des années 1930.

Le processus inverse de réunification de paires électron-positon se reconvertissant en divers états photoniques fut aussi observé et confirmé par Blackett et Occhialini, comme dans le cas de dégradation du positonium. Les deux processus inverses constituent donc la preuve matérielle *de facto* irréfutable que les électrons et positons sont fait d'exactement la même énergie et sont de même nature électromagnétique que les photons.

En plus de ce processus de reconversion de paires électron-positon massifs à l'état d'énergie électromagnétique libre sous forme de photons, nous savons que des photons électromagnétiques sont créés dans un éventail d'autres circonstances. Mais en fin ce compte, il s'avère que tous ces autres cas impliquent l'émission d'un photon électromagnétique lorsqu'une particule chargée, tel un électron, est soudainement stoppé dans son mouvement vers le noyau d'un atome ionisé par exemple, ou autre processus similaire impliquant des partons métastables ou événements à l'intérieur des noyaux.

Si nous prenons le cas du photon émis lorsqu'un électron est capturé par un atome ionisé par exemple, le photon qui s'échappe à cette occasion transporte de manière vérifiable une partie ou toute l'énergie cinétique que l'électron avait initialement, le cas échéant, plus l'énergie cinétique additionnelle qu'il aura accumulé pendant sont accélération en chute libre due à la force coulombienne vers la position de son arrêt relatif brutal en route vers le noyau atomique, endroit où il est capturé dans un état d'équilibre insurmontable sur une orbitale permise autour du noyau, où il demeure captif en conservant seulement la quantité exacte d'énergie cinétique permise dans cet état d'équilibre, une quantité qui est liée à la distance qui le sépare maintenant du noyau de signe opposé.

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie

À part ce cas d'électrons capturés par des atomes ionisés, les autres cas familiers impliquent des électrons s'étant éloignés d'un noyau après avoir été excités jusqu'à un niveau d'énergie métastable plus élevé, qui retournent à un état d'énergie plus faible en retombant vers une orbitale plus proche du noyau, où un photon sera émis pour évacuer l'énergie cinétique qui devient maintenant en excès pour cet endroit plus proche du noyau.

Ce mouvement d'un électron étant momentanément suffisamment excité jusqu'à se déplacer jusqu'à une orbitale métastable plus loin du noyau atomique, ou jusqu'à s'échapper complètement de l'atome, est toujours causé par cet électron ayant été excité hors de son orbitale de repos par une énergie cinétique transmise par conduction ou convection lorsque l'atome est situé dans un matériau gazeux, liquide ou solide, ou parce qu'il aura été frappé par un photon, ce dernier lui transférant quelquefois toute son énergie, ou alors lui en transférant seulement une partie avant de poursuivre sa route avec le reste sous forme d'un photon moins énergétique, comme lors de collisions de type Compton ou Raman.

Les photons peuvent ainsi transporter des quantités très variables d'énergie cinétique dépendant des circonstances locales, dont les fréquences individuelles couvrent toute la gamme du spectre électromagnétique, des longueurs d'onde radio les plus longues jusqu'aux longueurs d'onde gamma les plus courtes, ces dernières étant dues à des processus d'émission semblables au niveau des noyaux atomiques. L'ensemble de ces photons est bien sûr ce qui nous permet de voir l'univers lorsqu'ils frappent les cellules sensibles de nos rétines et/ou les récepteurs de nos instruments, ce qui nous permet finalement d'observer et comprendre notre environnement jusqu'à et incluant la détermination de la composition des étoiles.

Le processus d'accumulation d'énergie cinétique par les particules chargées pendant leur accélération en chute libre due à la force de Coulomb peut facilement être vérifié à notre niveau macroscopique de nombreuses manières; avec des tubes de Coolidge par exemple, lorsque des photons sont libérés, transportant la quantité exacte d'énergie cinétique accumulée pendant la phase d'accélération entre les électrodes des électrons qui sont freinés brusquement (bremsstrahlung) lorsqu'ils sont capturés par des atomes ionisés situés sur l'anode (ou l'anticathode).

L'émission de photons due au freinage brusque de particules en accélération peut aussi être vérifiée avec des faisceaux d'électrons qui sont magnétiquement forcés à osciller latéralement, produisant une radiation dite synchrotron, typiquement dans l'octave des rayons-X; ou dans les anneaux d'attente des accélérateurs à haute énergie, où des faisceaux de particules chargées sont forcés à répétition par des impulsions magnétiques à maintenir une trajectoire aussi circulaire que possible.

Maintenant, la question n'a jamais été éclaircie à savoir comment l'énergie cinétique unidirectionnelle (aussi nommée "énergie translationnelle") qui s'accumule par accélération de particules massives et chargées peut "devenir" électromagnétique lorsque libérée sous forme de photons. Souvenons-nous que les "champs" électrique et magnétique de la théorie de Maxwell sont seulement des représentations mathématiques destinées à nous permettre de décrire le comportement de l'énergie électromagnétique qui existe physiquement dans la réalité objective.

À vrai dire, il n'existe aucune raison *prima facie* pour que cette énergie cinétique unidirectionnelle change de nature pendant les divers processus que nous avons examinés, particulièrement puisque nous récupérons directement sous forme de simple énergie cinétique unidirectionnelle l'énergie qui s'était auparavant "convertie" à l'état de photon lorsque ce photon fut "émis" par un électron, ou lorsque l'énergie d'un photon mère en excès du 1.022 MeV qui constitue les masses au repos de la paire en séparation est observée définissant de manière précise la vitesse en directions opposées des deux particules sous forme d'énergie unidirectionnelle.

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie

Si l'énergie cinétique ne change pas de nature pendant ces divers processus, cela peut aussi signifier que ce que nous percevons et mesurons comme étant des "charges" pourrait aussi être une propriété relative qui pourrait devenir perceptible seulement à partir du moment où le quantum d'énergie cinétique unidirectionnelle en cours de quantification s'échappe sous forme d'un photon se déplaçant librement, tout comme les signes opposés des particules massives isolées (électron et positon) pourraient être des propriétés relatives acquises pendant que les particules se séparent lorsque le photon mère se découple.

Gardons donc à l'esprit pour la suite, que nous allons tenter d'expliquer comment et pourquoi des quanta discrets de cette "substance" fascinante que nous nommons "énergie cinétique" peut possiblement se déplacer à la vitesse de la lumière sous forme de quantités "électromagnétiques" discrètes sans changer de nature. Il ne semble pas déraisonnable non plus de penser que cette "substance" que nous identifions comme étant une "énergie cinétique" pourrait posséder une forme quelconque de "présence physique", puisque ses manifestations quantifiées (photons, électrons, positons, par exemple) peuvent de manière vérifiable entrer en collision et même rebondir les uns contre les autres.

Avant d'aller plus loin, définissons plus précisément ce que "présence physique" pourrait signifier dans le présent contexte. Nous ne savons pas et ne sauront peut-être jamais ce qu'est exactement cette "substance" ou "fluide" que nous nommons énergie cinétique. Il est cependant possible de convenir d'une "plus proche approximation possible" de ce que sa présence physique pourrait être. De Broglie pour sa part concevait l'énergie électromagnétique comme étant un "fluide virtuel" ([1], p. 465):

"Si l'on suppose connue la forme de l'onde associée à un corpuscule, l'intensité de cette onde en chaque point et à chaque instant (donné par $|\psi|^2$) pourra être considérée comme définissant la densité d'un fluide fictif se déplaçant dans l'espace au cours du temps et alors la quantité de ce fluide contenu dans un élément de volume donnera la probabilité pour que le corpuscule soit présent dans cet élément de volume."

Nous franchirons un pas de plus ici, considérant l'apparente identité qui semble exister entre l'énergie électromagnétique fondamentale et l'énergie cinétique unidirectionnelle qui s'accumule par accélération, si cette dernière ne change pas de nature pendant les divers changements d'état que nous avons examinés.

Si nous considérons un ventilateur en rotation par exemple, il ne fait aucun doute que le volume d'espace incompressible que les pales du ventilateur visitent pendant leur mouvement de rotation peut être mesuré et étudié, même si nous savons que le volume occupé par le matériel dont sont constituées les pales et même la nature de ce matériel n'ont aucune relation avec le volume incompressible que les pales en mouvement visitent.

Si les pales de ce ventilateur étaient invisibles pour nous et si nous n'avions même aucune connaissance de leur existence, nous pourrions tout de même mesurer et étudier le volume incompressible que les pales visitent, dû au simple fait que de tenter de toucher ce volume aurait des conséquences physiques que nous pourrions mesurer et qui nous permettraient d'essayer de déterminer ses propriétés.

Nous en serions réduits à nous demander, pour toujours peut-être, quelle pourrait être la cause de l'existence de ce volume, à partir des propriétés possiblement inattendues que nos mesures semblent révéler. Comment pourrions-nous en effet jamais découvrir l'existence des pales et la nature du matériau dont elles sont constituées alors que nos mesures ne nous en donne aucun indice?

Nous nous retrouvons dans une situation similaire en ce qui concerne une possible "présence physique" de l'énergie cinétique. Nous pouvons possiblement mesurer la présence

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie

physique d'un "volume" pour l'énergie cinétique et lui assigner les propriétés requises pour expliquer son comportement observé, même si cela ne nous révèle pas la cause réelle et la nature de ce qui permet l'existence de ce "volume".

Pour les besoins de la présente analyse, des propriétés telles que l'incompressibilité, la fluidité et l'élasticité pourraient provisoirement être assignées à ce "volume" pour décrire la tendance de l'énergie contenue dans ce volume à toujours demeurer en mouvement à l'intérieur de ce volume, comme l'oscillation électromagnétique le suggère, et/ou alternativement à toujours tendre à se déplacer en ligne droite dans l'espace lorsque l'équilibre électromagnétique externe ne l'en empêche pas.

Continuons donc pour le moment notre exploration à l'aide de cette définition "de plus proche approximation possible" de la "présence physique" de l'énergie cinétique, dans le cadre de l'état des connaissances actuelles au sujet de l'énergie électromagnétique, quitte à la corriger et la compléter selon le besoin.

Maintenant, si l'énergie cinétique ne change pas de nature en se quantifiant sous forme de photons, le mouvement oscillant interne de ce quantum d'énergie cinétique peut être métaphoriquement immobilisé. L'énergie de ce quantum pourrait alors être théoriquement réduite au plus petit volume sphérique uniformément isotrope qu'il peut occuper, dans le but de déterminer sa densité absolue. Ce volume, qui pourrait être nommé le **volume stationnaire isotrope théorique** de l'énergie du photon, aussi petit soit-il, dépendrait alors de la quantité locale de cette énergie et pourrait alors être calculé ([10], équations (40) à (41)). Nous utiliserons ce volume à la **Sous-section 17.7**.

La question fondamentale peut maintenant être résumée comme suit:

Comment une quantité d'énergie cinétique qui s'accumule due à une accélération en chute libre causée par la force de Coulomb d'une particule massive (un électron par exemple) augmentant sa vitesse unidirectionnellement dans l'espace, peut-elle dynamiquement se "replier" sur elle-même selon la relation triplement orthogonale révélée par la théorie de Maxwell, pour devenir un quantum stable d'énergie (un photon) s'échappant à la vitesse de la lumière, tout en étant animée de ce mouvement de pulsation localement multidirectionnel suggéré par l'hypothèse de de Broglie; un quantum dont l'énergie consisterait en un dipôle électrique qui s'exprime dans l'espace et qui morpherait cycliquement en un dipôle magnétique qui s'exprime dans le temps, et qui expliquerait toutes les propriétés électromagnétiques des photons, sans changer de nature?

Il doit d'ores et déjà être évident que tous les photons sont faits de la même substance, soit des *quantités d'énergie cinétique quantifiées*, une "substance" qui selon toutes apparences existe physiquement, au sujet de laquelle nous savons encore si peu de choses et dont semblent être constitué tous les photons et toutes les particules électromagnétiques élémentaires massives.

6. Distribution de l'énergie cinétique à l'intérieur d'un photon localisé

Maintenant, la question se pose à savoir comment cette énergie cinétique s'organise à l'intérieur du photon pour soutenir une oscillation électromagnétique à une fréquence particulière tout en supportant en même temps son mouvement à la vitesse de la lumière.

Des indices à propos de cette structure interne nous ont été donnés par une brillante analyse faite par le Dr. Paul Marmet dans un article qui fut accepté pour publication dans le journal international IFNA-ANS de l'Université d'État de Kazan en 2003, intitulé: "Fundamental Nature of Relativistic Mass and Magnetic Fields" [11].

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie

Son analyse de la relation qui existe entre l'augmentation relativiste de la masse magnétique d'un électron en mouvement et les vitesses relativistes a permis de définir une équation LC qui pourrait décrire une possible structure interne dynamique de l'énergie porteuse de l'électron. À son tour, cette équation LC a permis de compléter l'équation cinétique non-relativiste de Newton $K=(mv^2)/2$ pour la rendre relativiste [12].

C'est l'observation que la vitesse de la lumière est obtenue lorsque la masse de l'électron est ajustée à zéro dans cette équation et lorsque seulement l'énergie porteuse est considérée qui révèle que les photons électromagnétiques en mouvement (qui ne transportent aucune particule massive) pourraient bien avoir la même structure électromagnétique LC que l'énergie porteuse des électrons en mouvement (**voir Sous-section 17.9**).

Le Dr. Marmet a obtenu la définition suivante du courant en quantifiant la, ce qui faisait disparaître le facteur "temps" de l'équation en remplaçant dt par dx/v , puisque la vitesse du courant est constante à tout instant donné:

$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{d(Ne)}{dt} = \frac{d(Ne)v}{dx} \quad (1)$$

Où e représente la charge unitaire de l'électron et N représente le nombre d'électrons dans un Ampère. Substituant la valeur résultante de I dans la version scalaire de l'équation de Biot-Savart, permet alors d'éliminer le facteur temps de cette équation aussi:

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2} \sin(\theta) dx = \frac{\mu_0 v}{4\pi r^2} \sin(\theta) d(Ne) \quad (2)$$

Sans entrer dans le détail de sa dérivation, qui est très clairement formulée dans son article ([11], équations (1) à (26)), mentionnons seulement que l'étape finale de son développement consistait en une intégration sphérique de l'énergie magnétique de l'électron, une énergie dont la densité est mathématiquement sensée varier d'une limite minimum correspondant à r_e jusqu'à une limite maximum localisée à l'infini :

$$M = \left\{ \frac{\mu_0 e^2 v^2}{2(4\pi)^2 c^2 r^4} \right\} 2\pi \int_0^\pi \sin(\theta) d\theta \int_{r_e}^\infty r^2 dr \quad (3)$$

Le rayon classique de l'électron r_e est la limite inférieure obligatoire pour une telle intégration jusqu'à l'infini, dû au simple fait que d'intégrer plus proche de $r = 0$ accumulerait plus d'énergie que les données expérimentales le permettent. Après intégration, il obtenait:

$$M = \frac{\mu_0 e^2 v^2}{8\pi r_e c^2} = \frac{m_e v^2}{2 c^2} \quad (4)$$

Ce qui correspond très précisément à la masse totale du champ magnétique d'un électron se déplaçant à la vitesse v . Il découvrirait par le fait même que toute augmentation instantanée de la "masse magnétique" d'un électron en mouvement est fonction directe du carré de sa vitesse instantanée.

Lorsque cette vitesse est faible par rapport à la vitesse de la lumière, l'équation classique suivante est obtenue, qui permet de déterminer la contribution exacte de la composante magnétique à la masse au repos de l'électron :

$$\frac{\mu_0 e^2 v^2}{8\pi r_e c^2} = \frac{m_e v^2}{2 c^2} \quad (5)$$

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie

Où r_e est le rayon classique de l'électron ($2.817940285E-15$ m), et e est la charge de l'électron ($1.602176462E-19$ C), et de laquelle peut être conclu que la composante magnétique invariante de l'électron au repos correspond à une masse de:

$$M_0 = \frac{\mu_0 e^2}{8\pi r_e} \quad (6)$$

Ce qui est exactement la moitié de la masse de l'électron, l'autre moitié étant constituée de ce que nous pourrions nommer sa "masse électrique", puisque l'électron est une particule électromagnétique.

Si nous considérons la différence entre les équations (4) et (6), nous observons que $M - M_0$ représente l'incrément de masse relativiste correspondant à la vitesse instantanée v . Nous pouvons observer aussi que l'énergie cinétique translationnelle de momentum requise pour propulser l'électron à cette vitesse est absente de cette équation. Une analyse et des calculs simples révèlent cependant que la quantité d'énergie cinétique de momentum requise pour propulser un électron ayant une masse magnétique M à la vitesse v est exactement égale à l'énergie captive dans l'incrément de masse relativiste instantané $M - M_0$ de l'électron en mouvement.

Cela signifie donc que la quantité totale d'énergie cinétique qui doit être fournie à un électron au repos pour qu'il se déplace à une vitesse quelconque doit être définie comme une quantité d'énergie cinétique translationnelle plus une quantité égale d'énergie cinétique qui se convertit momentanément en l'incrément de masse relativiste associé à cette vitesse.

$$E_{\text{totale}} = E_{\text{translationnelle}} + E_{\text{incrément de masse magnétique}} \quad (7)$$

Puisque l'énergie en mouvement ne peut pas être dissociée de l'électromagnétisme, il peut être présumé qu'une composante électrique est impliquée *de facto* en relation avec la moitié de cette énergie qui en contexte est clairement "magnétique" de nature, et la seule manière dont elle peut être introduite en contexte est que cette énergie magnétique alterne entre cet état magnétique et un état électrique à la fréquence qui peut être associée à cette quantité d'énergie.

$$E_{\text{totale}} = E_{\text{translationnelle}} + \left[E_{\text{électrique}} \cos^2(\omega t) + E_{\text{magnétique}} \sin^2(\omega t) \right] \quad (8)$$

Cette forme à son tour suggère immédiatement la relation LC suivante pour représenter la structure interne de l'énergie porteuse d'un électron en mouvement:

$$E = \frac{hc}{2\lambda} + \left[\frac{e^2}{2C_\lambda} \cos^2(\omega t) + \frac{L_\lambda i_\lambda^2}{2} \sin^2(\omega t) \right] \quad (9)$$

où λ est la longueur d'onde associée à cette quantité d'énergie en mouvement et où les définitions suivantes sont les équations classiques pour calculer la capacitance et l'inductance pendant un cycle LC:

$$E_{E(\text{max})} = \frac{q^2}{2C} \quad E_{B(\text{max})} = \frac{L i^2}{2} \quad (10)$$

L'équation (9) révèle alors que selon toutes probabilités, la vitesse de la lumière d'un photon électromagnétique isolé est maintenue parce que la moitié translationnelle de momentum de son énergie cinétique sert à propulser à cette vitesse *une quantité égale* d'énergie cinétique inpendant que cette dernière oscille en permanence entre un état

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie électrique et un état magnétique à la fréquence déterminée par la quantité d'énergie cinétique impliquée. Cette structure sera analysée plus en détail plus loin.

7. La géométrie maxwellienne de l'espace négligée

La théorie de Maxwell a traditionnellement été considérée strictement du point de vue mathématique de ses célèbres équations et comprise dans la perspective restrictive du traitement par ondes planes, ce qui laisse prendre pour acquise la géométrie de l'espace qui la sous-tend puisqu'elle est suffisante pour les besoins du concept des ondes continues, qui à son tour est suffisant pour obtenir des calculs précis au niveau général. Cette géométrie de l'espace est bien sûr la géométrie plane euclidienne traditionnelle à 3 dimensions à laquelle la dimension temps est ajoutée pour justifier le mouvement.

Tout comme l'habitude d'utiliser le tenseur électromagnétique de Lorenz pour représenter un "champ électromagnétique" unique détourne l'attention immédiate du fait que les deux champs électrique et magnétique sont d'égale importance dans la théorie de Maxwell, avec des caractéristiques différentes et irréconciliables, l'habitude d'utiliser le traitement par ondes planes masque le fait que le front d'onde de l'onde continue de la théorie de Maxwell ne pourrait être qu'en expansion sphérique à partir d'une source ponctuelle, source ponctuelle confirmée hors de tout doute par la réalité expérimentale pour toute émission d'un quantum électromagnétique, même si les ondes continues de Maxwell avaient été démontrées comme existant vraiment.

La théorie de Maxwell est en fait l'aboutissement naturel de l'intégration de plusieurs découvertes faites précédemment. Sa première équation est la loi de Gauss pour l'électricité, sa seconde équation est dérivée de la loi de Faraday, sa troisième équation correspond à la loi de Gauss sur le magnétisme et sa quatrième équation est une généralisation de la loi d'Ampère. Ce que Maxwell réalisa en fait fut une unification en une théorie intégrée cohérente de toutes ces lois déjà confirmées expérimentalement séparément sans qu'un lien évident ne les associe auparavant.

Mais sa contribution personnelle véritablement brillante fut de réussir à associer mathématiquement la loi de Faraday à sa loi généralisée d'Ampère de telle manière qu'il ne subsistait aucun doute que la lumière était intimement associée à l'électricité et au magnétisme, tel que confirmé expérimentalement par les expériences de Faraday sur la polarisation de la lumière par les champs magnétiques. Cette association eut aussi comme résultat inattendu de nous procurer la seule manière jamais conçue pour calculer la vitesse de la lumière à partir des principes premiers, une vitesse qui est la seule possible à partir de ces équations puisqu'elle dépend du produit de seulement deux autres constantes fondamentales, soit les constantes de permittivité et de perméabilité du vide.

Tel que déjà mentionné, un aspect fondamental et extensivement vérifié de sa théorie est sa conclusion concernant l'état d'orthogonalité des champs électrique et magnétique de l'énergie électromagnétique libre, tous deux normaux par rapport au vecteur de vitesse de phase, qui représente la direction de mouvement dans l'espace de tout point considéré du front d'onde de l'onde en expansion sphérique. La réalité expérimentale révèle que ceci s'applique aussi aux particules chargées massives, tel l'électron, que l'on peut forcer à se déplacer en ligne droite lorsque soumis à des champs électrique et magnétique externes d'égale intensité.

En effet, tout manuel élémentaire sur l'électricité et le magnétisme explique comment le produit vectoriel d'une force électrique et d'une force magnétique appliquées à une particule chargée peut générer un vecteur de vitesse en ligne droite forçant cette particule à

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie se déplacer dans une direction perpendiculaire aux deux forces, ce qui est représenté en électrodynamique classique à partir de l'équation de Lorentz par la relation bien connue:

$$\frac{\mathbf{E}}{\mathbf{B}} = v \quad (11)$$

Qui devient la vitesse fixe c pour les photons, de la 4e équation de Maxwell:

$$\frac{\mathbf{E}}{\mathbf{B}} = c \quad (12)$$

ou plutôt, dans le présent contexte, sous forme d'un produit vectoriel:

$$\mathbf{E}\hat{j} \times \left(\frac{-1}{\mathbf{B}}\right)\hat{k} = \mathbf{E}\left(\frac{-1}{\mathbf{B}}\right)c\cos\theta\hat{i} \quad (13)$$

et puisque θ égale 90° par définition dans le cas de mouvement rectiligne que nous considérons:

$$\mathbf{E}\hat{j} \times \left(\frac{-1}{\mathbf{B}}\right)\hat{k} = v\hat{i} \quad (14)$$

Où v est la vecteur vitesse.

Les bases orthogonales suivantes seront utilisées dans cet article:

a) Système de coordonnées rectangulaire 3D xyz, et base de vecteurs unitaires correspondante et

b) la base d'orientations des champs électromagnétiques vs vecteur vitesse correspondant.

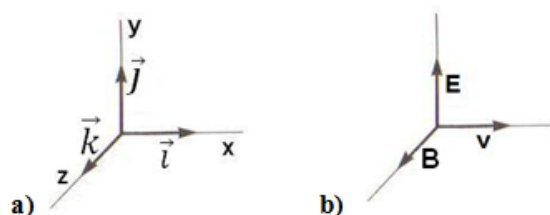


Figure 3: Bases orthogonales utilisées dans ce document.

Il est généralement compris de plus que malgré la précision des calculs que permet la théorie de Maxwell au niveau général, elle est sensée ne pas pouvoir décrire directement les photons en tant que particules électromagnétiques discrètes et localisées puisqu'elle est fondée sur la notion que l'énergie électromagnétique est un phénomène ondulatoire continu.

8. Les particules discrètes sont le seul support possible pour les propriétés électromagnétiques

La théorie de Maxwell, à vrai dire, a été conçue pour rendre compte du comportement de l'énergie électromagnétique au niveau macroscopique sans avoir à tenir compte de la quantification, qui n'avait pas encore été clarifiée à l'époque de Maxwell, c'est-à-dire en la traitant sous l'aspect densité générale d'énergie par unité de volume ou flux général d'énergie par surface unitaire plutôt que par addition de l'énergie de particules électromagnétiques localisées en mouvement comprises dans un volume unitaire ou faisant partie d'un flux à travers une surface unitaire qui rendrait tout aussi bien compte des phénomènes observés au niveau macroscopique.

Si nous considérons que des "ondes électromagnétiques" telles que Maxwell les concevaient étaient sensées animer ce qui était perçu depuis notre niveau macroscopique comme un "éther" sous-jacent et omniprésent encore hypothétique, alors, si une quelconque manière était trouvée pour associer à chaque photon individuel toutes les propriétés électriques et

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie

magnétiques qui caractérisent l'onde électromagnétique de Maxwell, cela rendrait inutile le recours théorique à ce concept d'un "éther" omniprésent pour supporter les ondes électromagnétiques continues de Maxwell, que nous savons maintenant ne pas exister au niveau sous-microscopique.

Notons aussi qu'un deuxième usage des divers concepts d'éther était de constituer la substance même dont les particules massives sont faites, sous forme de "singularités" qui se développeraient dans de tels éthers omniprésents dans une foule de théories. Mais, si l'énergie cinétique, dont les photons sont faits de manière vérifiable, s'avère avoir une "présence physique" avec un "volume" qui peut être mesuré, cela rendrait caduque la dernière raison qui pourrait justifier d'avoir recours au concept théorique de l'éther comme base pour expliquer le niveau fondamental de la réalité physique.

D'autant plus qu'il est vérifié de manière totalement concluante depuis les années 1930 que des électrons et positons massifs peuvent être créés par déstabilisation de photons électromagnétiques qui sont constitués d'au moins 1.022 MeV de cette énergie cinétique [13]. Les expériences de collisions frontales réalisées entre des faisceaux d'électrons et de positons [14] conduisent même à soupçonner que les protons et neutrons pourraient bien être des états d'équilibre adiabatique stables impliquant des triades d'électrons et positons qui auraient interagis de telle manière qu'ils auraient localement accéléré adiabatiquement jusqu'à atteindre ces états d'équilibre ultimes et irréversibles [15].

Bien sûr, une telle possibilité semble à première vue en totale contradiction avec le Principe de conservation de l'énergie. Mais considérant que tout les systèmes isolés pour lesquels le Principe de conservation de l'énergie peut être vérifié comme applicable ont préalablement atteint une forme quelconque d'état d'équilibre de moindre action, qui peut être modifié seulement en y introduisant de l'énergie en excès de cet état d'équilibre, la possibilité existe donc que des particules nouvellement créées, qui n'ont jamais été chassées de tels états d'équilibre de moindre action, pourraient accumuler de la nouvelle énergie par le biais d'un processus d'accélération adiabatique initial irréversible qui pourrait les amener pour la première fois de leur existence à un tel état d'équilibre de moindre action, état à partir duquel elles seraient bien sûr ensuite soumises pour toujours au Principe de conservation.

Mais il faut garder à l'esprit que même s'il s'avérait qu'aucun éther n'existe, de plus en plus de données semblent indiquer qu'ici sur Terre, nous baignons en permanence dans une combinaison de champs magnétiques en interaction impliquant le champ magnétique de la Terre en déplacement dans l'immense champ magnétique du Soleil, qui s'étend au delà de Pluton, qui interagit aussi avec les champs magnétiques des autres planètes du Système solaire, et finalement il semble exister peu de doute que le champ magnétique global de notre galaxie locale interagit aussi avec le champ magnétique du Soleil.

Par conséquent, quelle que puisse être la solution finale, elle impliquera obligatoirement ce médium sous-jacent dans ce que nous considérons être le vide total de l'espace.

9. Le problème de la conservation de l'intensité dans le cas de l'onde en expansion sphérique de Maxwell

Ceci conduit à tenter de clarifier pourquoi une description acceptable des photons électromagnétiques en tant que particules en mouvement localisé en permanence, en conformité avec leur localisation quasi-punctuelle démontrée aux moments de leur émission et capture, n'a toujours pas été harmonisée complètement avec les aspects vérifiés de la théorie de Maxwell, particulièrement suite à l'élaboration de l'hypothèse si prometteuse de de Broglie [2].

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie

Selon la théorie de Maxwell, les aspects électrique et magnétique d'une onde doivent toujours être en phase au front d'onde tel que montré dans cette représentation familière (**Figure 4**), c'est-à-dire au maximum au même moment, pour que l'onde puisse exister et se propager.

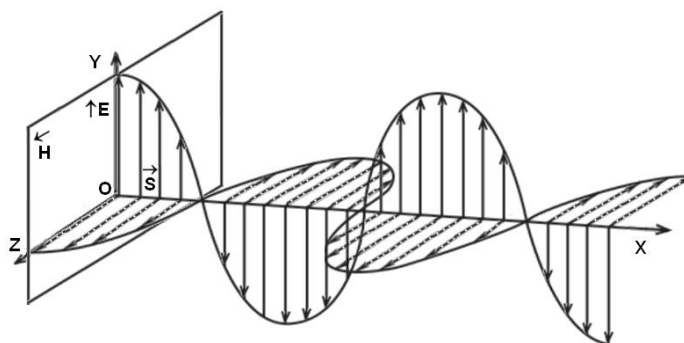


Figure 4: Champs électrique et magnétique en phase, ou déphasés de 180° en électromagnétisme classique.

Lorsque les deux aspects sont déphasés de 90° , nous obtenons une onde stationnaire (**Figure 5**). Mais, intrigant cul-de-sac dans la théorie de Maxwell, si les deux aspects sont déphasés de 180° , nous revenons exactement à la configuration de départ, comme lorsque les deux aspects sont en phase (**Figure 4**)! Mais nous verrons plus loin que ce déphasage de 180° , loin d'être un cul-de-sac en réalité, s'harmonisera parfaitement avec l'oscillation LC que nous allons bientôt mathématiser (**Figure 8**).

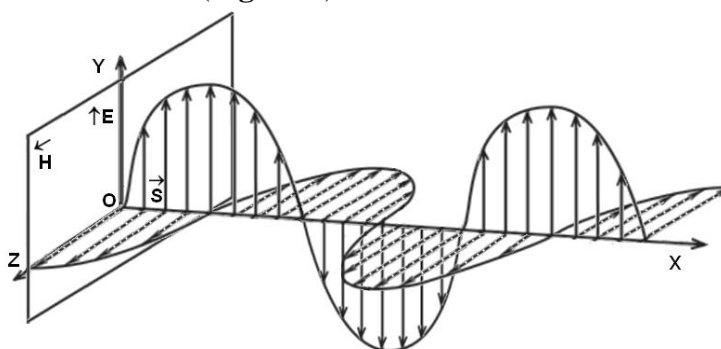


Figure 5: Champs électrique et magnétique déphasés de 90° en électromagnétisme classique.

De plus, c'est la conjonction des deux champs, en phase et à angle droit l'un par rapport à l'autre, en tout point du front d'onde, qui est sensée permettre le maintien de l'intensité de l'énergie de l'onde à chacun de ces points, malgré l'étalement sphérique inhérent impliqué à partir du point d'origine obligatoirement ponctuel d'une telle onde, si elle existait réellement. Ce problème est bien sûr connu de tous dans le milieu de la physique mais est accepté comme un axiome inévitable encore non expliqué, possiblement dû au fait que le traitement par onde plane permet des calculs précis de toute manière.

Du point de vue mathématique, lorsque tout point de la surface sphérique du front d'onde est considéré, cette surface peut être approximée à une surface plane au niveau infinitésimal, ce qui est à l'origine du traitement par "onde plane".

Mais l'espace étant tridimensionnel, le traitement par analogie avec des ondes planes ne peut bien sûr être qu'une approximation mathématique, une approximation qui masque facilement le fait que physiquement, si une telle onde électromagnétique existait réellement, elle ne pourrait être qu'en expansion sphérique dans le vide à partir de son point d'origine, en présumant une expansion isotrope non limitée dans l'espace. Le traitement par onde plane ne décrit donc pas l'interaction électromagnétique à partir du moment où l'onde commence à

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie exister à sa source ponctuelle, mais plutôt après que l'onde a commencé à se propager en expansion sphérique.

Donc si des ondes électromagnétiques telles que les imaginait Maxwell existaient vraiment, la géométrie de leur propagation se rapprocherait nécessairement beaucoup plus de l'expansion sphérique des ondes sonores dans l'air que de la propagation d'ondes à la surface plane d'un liquide qui nous vient à l'idée dans le cadre du traitement par onde plane, et il devient alors bien difficile d'accepter logiquement l'idée que l'intensité initiale de l'énergie à la source ponctuelle de l'onde pourrait se multiplier arbitrairement de telle manière qu'elle puisse ensuite être mesurée comme étant égale en tous points du front sphérique d'onde à l'intensité de la source à toute distance arbitraire du point d'origine comme le traitement par onde plane semble l'indiquer.

Par conséquent, le fait de toujours traiter l'état d'orthogonalité des deux champs entre eux et par rapport à la normale dans l'espace à n'importe quel point du front de l'onde laisse toujours dans l'ombre le fait qu'une onde électromagnétique en expansion sphérique telle qu'imaginée par Maxwell ne peut être qu'un seul et unique événement ayant pour origine un point unique.

10. Application des propriétés électromagnétiques à l'état initial ponctuel de l'onde en expansion sphérique de Maxwell

Considérant maintenant qu'un tel événement électromagnétique est un événement unique, serait-il concevable qu'après être apparu à son point d'origine, il puisse être représenté comme demeurant ponctuel en commençant à se déplacer, comme une onde stationnaire en oscillation harmonique locale, comme l'hypothèse de de Broglie le laisse supposer, au lieu de s'étaler en expansion sphérique?

Cette idée impliquerait qu'une trajectoire précise serait suivie par cet événement électromagnétique, qui se comporterait ponctuellement de son point d'émission à son point de capture, ce qui serait en harmonie complète avec le fait vérifié de son absorption ponctuelle, peu importe le temps écoulé depuis son émission et la distance parcourue entre les deux points. Elle expliquerait aussi directement pourquoi l'intensité initiale de ce quantum électromagnétique est conservée, si on ne tient pas compte des pertes ou gains d'énergie dus aux décalages vers le rouge ou le bleu causés par l'interaction gravitationnelle le long de la trajectoire que le photon aurait suivi.

L'idée vient alors naturellement que l'état d'orthogonalité fondamental des deux champs serait servi tout aussi bien en étant défini par rapport à l'état initial de l'événement électromagnétique à son point d'origine, plutôt qu'après que l'onde sphérique ait commencé son expansion comme c'est le cas dans la théorie de Maxwell associé au traitement par onde plane. Mais un problème apparemment insurmontable avec cette idée est le postulat qu'une énergie infinie est associée mathématiquement à tout événement électromagnétique ponctuel en électrodynamique classique.

Un autre point problématique se présente aussi avec cette idée de mathématiser l'énergie EM à sa source ponctuelle. C'est le fait que les deux champs de tout quantum électromagnétique (un photon) en cours de séparation quasi-ponctuelle d'un électron en processus de désexcitation ne peuvent être orthogonaux à aucune direction particulière dans l'espace au moment même de la séparation, ce qui conduit directement à la conclusion qu'au point ou l'événement électromagnétique ponctuel apparaît, les deux champs ne peuvent être orthogonaux qu'à l'espace 3D lui-même, malgré l'étrangeté de l'idée.

Considérant aussi que l'interaction électrique obéit à la loi de l'inverse du carré pour l'attraction et la répulsion entre les charges des particules élémentaires et que l'interaction

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie

magnétique obéit à la loi de l'inverse du cube pour l'attraction et la répulsion entre les champs magnétiques des mêmes particules élémentaires, il semble illogique et même impossible que des quantités d'énergie cinétique quantifiées pourraient posséder en même temps, ou même en alternance, ces propriétés irréconciliables, sans changer de nature.

L'interaction selon la loi de l'inverse du carré entre les particules élémentaires chargées électriquement, soit la loi de Coulomb, est très familière, mais la loi de l'inverse du cube entre les aspects magnétiques des mêmes particules au comportement ponctuel est beaucoup moins familière. Une confirmation directe de cette relation inverse du cube a été très récemment obtenue par Shlomi Kotler et son équipe entre les aspects magnétiques de deux électrons, tel que rapporté dans un article de la revue Nature en avril 2014 [16], confirmant ainsi par le fait même la validité de l'expérience de laboratoire exécutée il y a 15 ans et qui est décrite à la référence [17].

C'est précisément la combinaison de ces relations mutuellement incompatibles de la loi de l'inverse du carré s'appliquant à l'aspect électrique d'une particule au comportement ponctuel et de la loi de l'inverse du cube s'appliquant à son aspect magnétique qui jette le plus grand doute quant à la capacité de la géométrie de l'espace-temps à 4 dimensions de permettre à l'énergie cinétique dont est faite la particule de continuer à démontrer ces propriétés irréconciliables sans changer de nature, tout en oscillant électromagnétiquement en se déplaçant à la vitesse de la lumière dans le vide, si cette énergie cinétique est considérée comme une "substance existant physiquement".

Ce sont toutes ces considérations qui ont donné naissance à l'idée que la géométrie de l'espace réelle qui existe au niveau fondamental pourrait être plus complexe qu'il peut être observé à partir de notre niveau macroscopique d'observation, et que des "espaces" supplémentaires pourraient possiblement être impliqués, soit un espace permettant à l'énergie cinétique de montrer les caractéristiques électriques sans changer de nature, et un autre espace permettant à cette même énergie cinétique de montrer les caractéristiques magnétiques sans changer de nature, ces deux espaces existant perpendiculairement à l'espace normal au niveau des particules.

Il faut noter ici que Louis de Broglie était aussi venu à la conclusion, à partir d'autres considérations, qu'il était impossible de représenter exactement les particules élémentaires dans le cadre restreint d'un espace continu à trois dimensions. Voici ce qu'il écrivait en 1936:

"... la non-individualité des particules, le principe d'exclusion et l'énergie d'échange sont trois mystères intimement reliés : ils se rattachent tous trois à l'impossibilité de représenter exactement les entités physiques élémentaires dans le cadre de l'espace continu à trois dimensions (ou plus généralement de l'espace-temps continu à quatre dimensions). Peut-être un jour, en nous évadant hors de ce cadre, parviendrons-nous à mieux pénétrer le sens, encore bien obscur aujourd'hui, de ces grands principes directeurs de la nouvelle physique." ([2], p. 273).

Une géométrie plus étendue de l'espace qui permet une définition claire du photon à double-particule sans que son quantum d'énergie cinétique ne change de nature, et qui pourrait permettre de résoudre quelques-uns des problèmes soulevés par de Broglie a été présentée pour la première fois en juillet 2000, à l'événement CONGRESS-2000 tenu à l'Université d'État de Saint-Pétersbourg [18]. Cette nouvelle géométrie de l'espace va maintenant être décrite en détails avant de procéder à la construction des équations LC et de champs localisés qui peuvent représenter le photon à double-particule localisé en permanence dans cette géométrie plus étendue de l'espace.

11. Géométrie maxwellienne augmentée de l'espace

Tel que fait précédemment avec une "plus proche approximation possible" d'une définition utilisable pour la "présence physique" de l'énergie cinétique, nous pouvons penser à cette géométrie plus étendue de l'espace comme étant une "plus proche approximation possible" d'une définition utilisable de la géométrie de l'espace requise, dans le cadre de l'état actuel de nos connaissances au sujet de l'énergie électromagnétique.

Si nous imaginons le comportement électrique observé comme étant causé par le fait que l'énergie incompressible du photon soit présente momentanément dans un espace 3D qui permet un tel comportement, et que le comportement magnétique soit causé par le fait que cette même énergie quantifiée soit momentanément présente en alternance dans un espace 3D différent qui permet un tel comportement, chacun de ces espaces possédant les mêmes lois de mouvement que l'espace 3D normal, la même capacitance et la même inductance, et chaque espace permettant que l'énergie quantifiée ne change pas de nature fondamentale, il deviendra possible de visualiser complètement le mouvement interne stationnaire de l'énergie du photon à double-particule beaucoup plus clairement.

Pour faciliter la référence à ces nouveaux espaces, nommons **espace électrostatique** l'espace dans lequel l'énergie cinétique donne l'impression de posséder les caractéristiques électriques, et **espace magnétostatique** l'espace dans lequel elle donne l'impression de posséder les caractéristiques magnétiques. Question cohérence, identifions les espaces normal, électrostatique et magnétostatique, espace-X, espace-Y et espace-Z respectivement (**Figure 6**). À l'intérieur de l'espace normal, renommons les trois dimensions spatiales mineures X-x, X-y et X-z. De même, pour les espaces électrostatique et magnétostatique, Y-x, Y-y et Y-z, et Z-x, Z-y et Z-z.

Supposons de plus que les axes mineurs x des trois espaces sont parallèles entre eux dans une direction correspondant à la direction conventionnelle de l'énergie dans l'espace normal dans le traitement par onde plane. Bien sûr, lorsque les dimensions x, y et z sont utilisées sans préfixe majeur, elles réfèrent comme d'habitude à l'espace normal 3D.

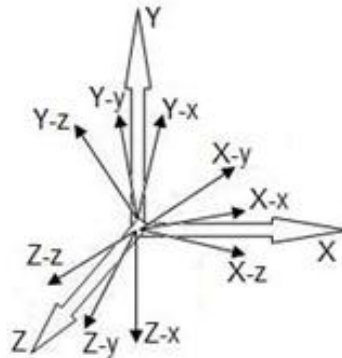


Figure 6: La structure orthogonale du modèle des 3 espaces.

Dans cette géométrie de l'espace, une jonction quasi-ponctuelle (*représentant un "point de passage" dans la réalité physique, pas vraiment un point sans dimensions dans le sens mathématique du terme, d'où l'expression de plus proche approximation "quasi-ponctuelle", qui devra être présumée chaque fois que le terme abrégé "ponctuel" sera utilisé dans ce texte, ce qui n'exclue pas la possibilité qu'un "volume" ou "zone", aussi petit soit-il soit impliqué*) entre ces trois espaces orthogonaux, serait localisé au centre géométrique de chaque photon, et ce serait cette jonction quasi-ponctuelle qui se déplacerait à la vitesse de la lumière dans l'espace normal X, soit le long de l'axe X-x dans cette géométrie plus étendue de l'espace lors du traitement par onde plane de l'énergie électromagnétique (**Figure 6**).

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie

Pour visualiser plus facilement l'oscillation stationnaire de l'énergie cinétique dans cette structure trispatale, une technique facile à maîtriser peut être utilisée. Il suffit d'imaginer que les 3 dimensions mineures x-y-z de l'espace 3D normal sont les baleines d'un métaphorique parapluie à 3 baleines dont la pointe se situerait à l'origine (ou point de passage entre les 3 espaces). Si nous plions mentalement le parapluie, nous pouvons maintenant visualiser le parapluie replié comme étant l'axe linéaire majeur X de ce sur-ensemble de coordonnées.

Avec l'idée de ce parapluie métaphorique, il est maintenant facile de visualiser les trois espaces orthogonaux comme consistant en trois parapluies se rencontrant à leurs pointes. Il suffit maintenant d'ouvrir mentalement n'importe lequel de ces espaces pour examiner ce qui se passe dans cet espace particulier à tout moment du cycle électromagnétique.

Tel qu'observé de l'intérieur de l'espace normal, qui sera notre point d'observation pendant cette analyse, l'énergie cinétique qui s'accumule par accélération en chute libre à l'intérieur du même espace normal sera localement perçu comme possédant une inertie longitudinale mais aucune inertie transversale.

L'inertie longitudinale des photons électromagnétiques fut expérimentalement confirmé il y a plus d'un siècle grâce à la même preuve photoélectrique due à Einstein, qui confirmait que l'énergie électromagnétique se comporte comme si elle était constituée de quanta discrets localisés et non comme un phénomène ondulatoire continu. L'absence d'inertie transversale pour l'énergie cinétique unidirectionnelle fut expérimentalement démontrée il y a aussi plus d'un siècle par Walter Kaufmann [19], lorsqu'il démontra que l'inertie transversale des électrons accélérés à des vitesses relativistes était plus faible que leur inertie longitudinale (Voir **Sous-section 17.9** plus loin à ce sujet).

Tel qu'observé de l'intérieur de l'espace normal, encore une fois, toute l'énergie présente dans les deux espaces électrostatique et magnétostatique à tout moment donné du cycle électromagnétique sembleront posséder les deux types d'inertie, soit longitudinal et transversale, c'est-à-dire une inertie omnidirectionnelle; en d'autres mots, une masse électromagnétique. Métaphoriquement parlant, l'énergie présente dans ces deux espaces supplémentaires semblera captive à l'intérieur d'un "contenant" invisible qui résistera à toute pression venant de quelque direction que ce soit en provenance de l'intérieur de l'espace normal. Quoique le photon est connu pour n'avoir aucune masse au repos, il est aussi connu pour posséder une masse électromagnétique sensible aux interactions gravitationnelles.

Le photon lui-même semblera alors être une quantité discrète d'énergie cinétique, dont la moitié demeure unidirectionnelle dans l'espace normal tel que déterminé à la **Section 6**, propulsant l'autre moitié qui oscillerait cycliquement à travers la jonction trispatale entre les espaces électrostatique et magnétostatique à la fréquence déterminée par la quantité d'énergie du photon. Une analyse séparée explique pourquoi la moitié de l'énergie de tout photon localisé n'a pas d'autre choix que de demeurer unidirectionnelle (c'est-à-dire translationnelle) à l'intérieur de la structure du photon, même sans invoquer le concept des trois espaces ni celui du photon à double-particule, pour propulser l'autre moitié de l'énergie du photon localisé à la vitesse de la lumière [12].

Une propriété d'élasticité et fluidité sans restriction pour la "substance" énergie cinétique peut même permettre que les deux demi-photons ne deviennent pas "complètement détachés" l'un de l'autre ni de la portion en mouvement unidirectionnel dans l'espace normal lorsqu'ils se séparent dans l'espace électrostatique, ou lorsque leur énergie transite vers l'espace magnétostatique sous forme d'une seule quantité. La quantité totale d'énergie cinétique du photon peut alors continuer à demeurer une seule quantité continue liée en permanence à travers la jonction quasi-punctuelle unissant les 3 espaces.

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie

Ce modèle du photon à double-particule peut maintenant être vu comme possédant un comportement ondulatoire transversal à la fréquence associée à la quantité d'énergie que son quantum possède, et en même temps comme possédant un comportement particulaire longitudinal ayant une inertie longitudinale associée à la quantité totale d'énergie que son quantum possède et une inertie transversale associée à la moitié de cette quantité, le tout en conformité avec toutes les caractéristiques du photon observées expérimentalement.

12. Définition du sur-ensemble de vecteurs unitaires majeurs

L'ensemble des vecteurs unitaires traditionnels \hat{i} , \hat{j} et \hat{k} déjà mentionnés à la **Section 7** ont bien sûr été défini pour décrire les propriétés vectorielles dans l'espace 3D normal. Mais dans cette géométrie trispatale plus étendue, les deux nouveaux espaces ont aussi besoin de chacun leur propre ensemble de vecteurs unitaires.

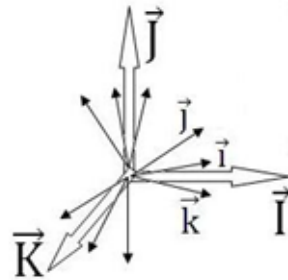


Figure 7: Vecteurs unitaires majeurs et mineurs applicables au modèle des 3 espaces.

Définissons donc un nouveau sur-ensemble de vecteurs unitaires majeurs identifiant les trois espaces orthogonaux comme étant \hat{I} , \hat{J} et \hat{K} , ou, pour faciliter la notation, ce qui fait que chaque ensemble local de vecteur unitaire \hat{i} , \hat{j} et \hat{k} devient subordonné au vecteur unitaire majeur spécifique à son propre espace, les 12 vecteurs unitaires résultants (9 mineurs et 3 majeurs) possédant bien sûr la même origine O correspondant au point de passage entre les 3 espaces (**Figure 7**).

Chacun des trois sous-ensembles orthonormaux de vecteurs mineurs (montrés à la **Figure 7** comme étant à demi-repliés – souvenons nous de l'analogie du parapluie), soit $\mathbf{I-i}$, $\mathbf{I-j}$, $\mathbf{I-k}$, pour l'espace normal, $\mathbf{J-i}$, $\mathbf{J-j}$, $\mathbf{J-k}$ pour l'espace électrostatique et $\mathbf{K-i}$, $\mathbf{K-j}$, $\mathbf{K-k}$ pour l'espace magnétostatique, permet de définir la magnitude vectorielle de l'énergie d'une particule dans chacun des trois espaces orthogonaux coexistants, à tout moment donné.

C'est ainsi que la relation vectorielle tirée de Lorentz mentionnée à la **Section 7** devient dans cette géométrie étendue de l'espace:

$$\mathbf{E}\vec{J} \times \left(\frac{-1}{\mathbf{B}} \right) \vec{K} = v\vec{I} \quad (15)$$

13. Oscillation électromagnétique forcée par l'énergie plutôt que par les champs

Maintenant que nous pouvons voir l'énergie cinétique du photon comme une quantité continue liée en permanence à travers la jonction quasi-ponctuelle entre les 3 espaces, il faut analyser la manière dont la partie de cette quantité qui oscille entre les espaces électrostatique et magnétostatique peut être à même de démontrer les propriétés électriques et magnétiques distinctes et à première vue irréconciliables qui doivent continuer à être représentables

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie comme s'induisant réciproquement comme en électrodynamique classique, c'est-à-dire, par induction apparente de champs en interaction mutuelle.

Par exemple si l'énergie cinétique était une substance incompressible en volume en plus de sa propriété fondamentale de toujours demeurer en mouvement, l'oscillation locale entre les états électrique et magnétique de toute quantité de cette énergie pourrait éventuellement être forcée uniquement par la propriété de cette énergie de toujours demeurer en mouvement.

Donc, au lieu d'une relation d'induction orthogonale mutuelle entre deux champs électrique et magnétique fondamentalement différents l'un de l'autre, tels que la théorie de Maxwell le présume, cette relation pourrait en être une relation de translation orthogonale cyclique de cette quantité d'énergie entre les deux espaces supplémentaires (**Figure 8**).

Soit une énergie qui conserveraient toujours les caractéristiques qu'elle possédait originellement avant d'être quantifiée pour devenir un photon, mais qui donnerait l'impression de posséder alternativement l'ensemble des caractéristiques associées à l'état électrique lorsque momentanément présente dans l'espace électrostatique, et ensuite l'ensemble des caractéristiques associées à l'état magnétique lorsque momentanément présente dans l'espace magnétostatique; mais dont la haute fréquence de translation cyclique entre les deux états (entre les deux espaces en réalité) donnerait l'illusion de la présence simultanée et permanente des deux champs de la théorie de Maxwell s'induisant mutuellement.

Ceci ne nierait aucunement l'utilité de la représentation par champs. Les champs prendraient simplement le siège du copilote pour ainsi dire derrière l'auto-mouvement forcé de l'énergie cinétique plus fondamental qui agirait maintenant comme cause première de l'oscillation électromagnétique, étant perçue comme "énergie électrique" lors de son passage dans l'espace électrostatique et comme "énergie magnétique" lors de son passage dans l'espace magnétostatique.

Il est tout à fait concevable qu'un tel mécanisme de translation cyclique d'une quantité discrète d'énergie incompressible à très haute fréquence entre deux états dynamiques, pourrait expliquer la fréquence du photon et aussi tous les autres phénomènes observés tout en sous-tendant la traditionnelle perception de champs électrique et magnétique qui s'induisaient mutuellement en phase, mais qui ouvrirait toute une gamme de nouvelles possibilités, dont quelques unes sont discutées aux **Sous-sections 17.8 et 17.9**.

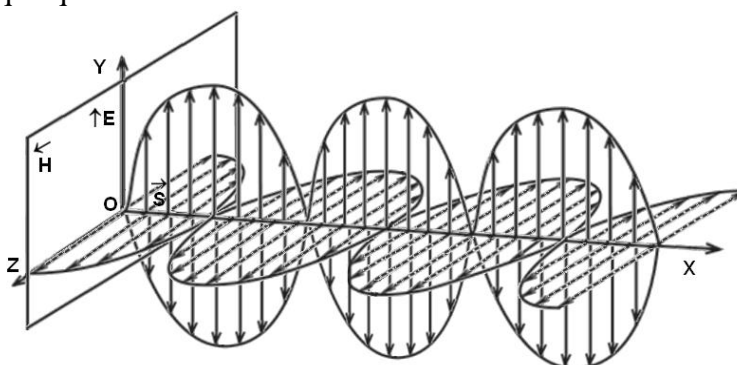


Figure 8: Champs électrique et magnétique déphasés de 180° dans le modèle des 3 espaces.

Les 4 équations originales de Maxwell demeureraient totalement valides dans cette nouvelle perspective, car sa seconde équation ($\nabla \times \mathbf{E} = -\partial \mathbf{B} / \partial t$) dérivée de la Loi d'induction de Faraday, ne présume même pas que les deux champs soient en phase. Elle admet directement la relation contraire, soit l'interaction réciproque des deux champs qui seraient déphasés à 180° tel que considéré ici.

14. Circulation sous-jacente de l'énergie cinétique

Résumons maintenant le mouvement de l'énergie cinétique à l'intérieur du photon à double-particule.

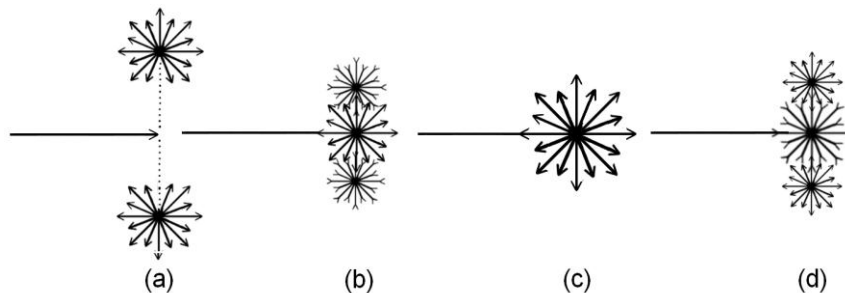


Figure 9: Le cycle complet de circulation de l'énergie cinétique dans la structure du photon à double-particule.

Ce mouvement peut être résumé en 4 étapes distinctes:

- Les deux demi-photons ont atteint la distance la plus éloignée qu'ils peuvent atteindre dans l'espace électrostatique.
 - Les deux demi-photons s'approchent l'un de l'autre dans l'espace électrostatique pendant que leur énergie commence à transférer omnidirectionnellement dans l'espace magnétostatique.
 - La totalité de l'énergie des deux demi-photons a maintenant complètement traversé dans l'espace magnétostatique, constituant maintenant l'unique composant sphérique magnétique.
 - L'énergie présente dans l'espace magnétostatique commence à transférer de nouveau vers l'espace électrostatique sous forme de deux demi-photons.
- (a) et (a) de nouveau, alors que le cycle se complète, prêt à commencer toute la séquence à la fréquence déterminée par la quantité d'énergie cinétique constituant le photon.

Pendant tout ce processus, l'autre moitié de l'énergie du photon, qui réside en permanence dans l'espace normal, demeure en mouvement unidirectionnel stable, propulsant à la vitesse de la lumière la partie oscillante dans le vide de l'espace normal.

15. Application du traitement par onde plane au photon localisé à double particule

Il est particulièrement intéressant de noter que cette structure interne du photon permet de continuer à utiliser le traitement par onde plane, mais dans lequel, à tout moment du cycle, le produit des champs électrique et magnétique demeure constant sur un plan passant par le point de jonction, perpendiculairement à la direction de propagation du photon (**Figure 10**).

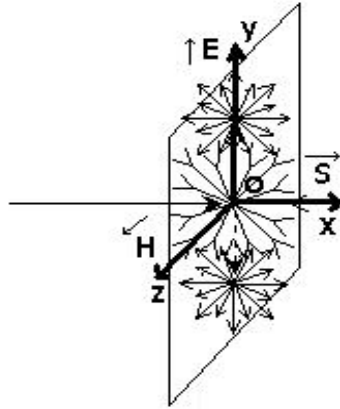


Figure 10: Onde plane appliquée au photon localisé en permanence.

L'énergie du photon se comporte sur ce plan comme si elle était stationnaire, comme elle l'est d'ailleurs dans le cadre de référence du point de jonction, mais avec l'avantage associé que tout comme le point de jonction, qu'elle peut continuer à se déplacer à la vitesse de la lumière dans l'espace 3D normal (Le long de l'axe X-x).

De plus, nous pouvons observer que le produit des projections sur le plan transversal des amplitudes électrique et magnétique de l'énergie en oscillation demeure constant et ne fluctue pas dans le temps, contrairement à l'onde plane classique en phase.

Dans ce modèle, la magnitude du vecteur de Poynting sera donc constante pendant le cycle électromagnétique complet de l'énergie de tout photon localisé à la valeur suivante:

$$\mathbf{S} = \frac{\mathbf{E}\mathbf{B}}{2\mu_0} \quad (16)$$

au lieu de fluctuer avec le temps comme en électromagnétisme classique, puisqu'une autre caractéristique du traitement par onde plane appliqué au photon localisé en mouvement est que la valeur obtenue pour \mathbf{S} correspond par structure très précisément à la valeur de l'intensité moyenne de "l'onde" électromagnétisme classique ([20], p.989).

Il faut noter ici que cette *intensité* mesurée est directement réconciliable avec la conclusion de ce modèle selon laquelle seulement la moitié de l'énergie d'un photon oscillerait entre les espaces électrostatique et magnéto-statique pendant que l'autre moitié n'oscillerait pas mais se déplacerait unidirectionnellement et servirait simplement à propulser la moitié oscillante à la vitesse de la lumière dans le vide.

16. Le photon à double particules implique 2 charges

Il est intéressant au plus haut point que la nouvelle équation pour l'énergie libre dérivée des travaux de Paul Marmet dans une analyse séparée ([10], équation (11)) implique par structure deux charges en interaction.

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{e^2}{2\varepsilon_0\alpha\lambda} \quad (17)$$

La forme même e^2 révèle que les deux charges dans un photon localisé doivent être identiques, quelle que soit la quantité d'énergie qu'elles représentent, et peuvent être neutres $|e|^2$ tel que de Broglie en faisait l'hypothèse. C'est ce qui conduit à la conclusion qu'il est possible que les signes opposés d'une paire qui se découple (positon + et électron -) pourraient être acquis pendant le découplage, ce qui ne correspond pas aux croyances axiomatiques actuelles, mais est par ailleurs en parfaite harmonie avec la conclusion de de Broglie selon laquelle les charges du photon à double-particule doivent être neutres.

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie

Notons aussi que dans cette équation, la constante de structure fine α est associée à l'amplitude transversale de l'oscillation électromagnétique de l'énergie du photon, une amplitude qui à son tour est directement associée à la limite inférieure d'intégration de l'énergie d'une particule électromagnétique localisée ([10], Extended Abstract, et équations (1) à (11)).

17. Définition de l'équation LC et de l'équation de champs localisés pour le photon à double-particule

17.1 Circuits LRC macroscopiques

Dans un circuit LC macroscopique, lorsqu'une bobine d'induction est connectée à un condensateur chargé, il est vérifié expérimentalement que le condensateur se déchargera complètement dans la bobine pendant que le courant dans la bobine établit un champ magnétique dans l'espace environnant.

Lorsque la différence de potentiel entre les bornes du condensateur atteint zéro, le champ magnétique qui vient d'atteindre son maximum d'intensité autour de la bobine commencera à décroître, induisant un courant en sens inverse dans la bobine qui rechargera complètement le condensateur jusqu'à ce que le champ magnétique ait complètement disparu et que le condensateur soit de nouveau complètement rechargé (**Figure 8**).

Le condensateur commencera alors de nouveau à se décharger à travers la bobine et le processus se répéterait indéfiniment en théorie si aucune énergie n'était perdue, une perte qui se produit toujours en réalité en laboratoire par chauffage éventuel du fil de la bobine. Mais il est clairement compris que si aucune perte ne se produisait par chauffage du fil et radiation de la chaleur, l'énergie totale du système demeurerait constante et serait conservée, ce qui garderait le cycle en marche pour toujours.

17.2 Le photon en tant qu'oscillateur LC

Transposons maintenant le comportement d'un circuit LC au photon à double-particule. Contrairement au circuit LC constitué d'un condensateur et d'une bobine d'induction, il peut être présumé que la jonction quasi-ponctuelle entre les trois espaces de cette géométrie étendue de l'espace n'offrira aucune résistance au passage de l'énergie en oscillation du photon, puisqu'il est bien établi que l'énergie d'un photon demeure constante du point d'émission jusqu'au point de capture, quel que soit le temps écoulé et la distance parcourue entre ces deux événements, sauf pertes dont témoignent un décalage vers le rouge, gains dont témoignent un décalage vers le bleu ou pertes dues aux changements de direction imposés par la gravitation.

L'équation classique représentant l'énergie maximum emmagasinée dans le condensateur d'un circuit LC au début du cycle est :

$$E_{E(\max)} = \frac{q^2}{2C} \quad (18)$$

et celle représentant l'énergie maximum emmagasinée dans le champ magnétique de la bobine lorsque le condensateur a été vidé de sa charge est

$$E_{B(\max)} = \frac{L i^2}{2} \quad (19)$$

Dans le contexte du comportement LC appliqué à l'énergie du photon localisé, dans lequel aucune énergie ne peut être perdue par réchauffement d'un fil de bobine inexistant, et

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie considérant que les deux quantités représentent le même demi-quantum d'énergie du photon en oscillation entre ces deux maxima, nous pouvons poser les égalités suivantes:

$$E_{E(\max)} = E_{B(\max)} = E_E + E_B = E_{EB} \quad (20)$$

17.3 Définition de la capacitance du photon (C)

Tel qu'établi dans une analyse séparée [12], seulement la moitié de l'énergie d'un photon oscille cycliquement entre les états électrique et magnétique. Utilisant l'équation pour définir l'énergie électromagnétique libre mentionnée préalablement et dérivée des conclusions de Marmet ([10], équation (11)), soit:

$$E = \frac{e^2}{2\varepsilon_0\alpha\lambda} \quad (21)$$

que nous diviserons par 2, pour représenter seulement la moitié oscillante de l'énergie du photon et la comparerons à l'équation (18) pour la capacitance, qui représente la même moitié de l'énergie du photon, soit les deux charges du photon à leur valeur maximale, nous obtenons:

$$E_{EB} = \frac{E}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{e^2}{4\varepsilon_0\alpha\lambda} \quad (22)$$

Nous pouvons alors isoler:

$$2C = 4\varepsilon_0\alpha\lambda \quad (23)$$

et obtenir finalement:

$$C = 2\varepsilon_0\alpha\lambda \quad \text{Farad} \quad (24)$$

ce qui permet de calculer la capacitance de tout photon localisé à partir de sa longueur d'onde et de la constante de permittivité du vide (ε_0).

17.4 Définition de l'inductance du photon (L)

Nous savons par ailleurs que la fréquence angulaire d'un oscillateur LC est obtenue à partir de l'équation suivante:

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (25)$$

Nous pouvons calculer séparément la fréquence angulaire de l'énergie d'un photon à partir de l'équation $\omega=2\pi f/\alpha$, ou encore mieux, en contexte, à partir de $\omega=2\pi c/\alpha\lambda$, puisque nous devons utiliser ici la vitesse cyclique calculée à partir de la longueur d'onde absolue de l'énergie du photon localisé $f=c/\lambda$ associée à la constante α , elle-même associée à l'amplitude transversale (Voir Section 16) de l'oscillation électromagnétique de l'énergie du photon.

Nous pouvons donc écrire:

$$\omega = \frac{2\pi c}{\alpha\lambda} = \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (26)$$

En mettant cette dernière équation au carré et remplaçant C par sa valeur définie à l'équation (24) comme étant $2\varepsilon_0\alpha\lambda$, nous pouvons isoler L et définir l'équation suivante:

$$L = \frac{\alpha^2\lambda^2}{C4\pi^2c^2} = \frac{\alpha\lambda}{\varepsilon_08\pi^2c^2} \quad (27)$$

Sachant que $\varepsilon_0c^2=1/\mu_0$ et substituant cette valeur dans l'équation (27) pour y introduire la constante de perméabilité du vide μ_0 , nous obtenons finalement:

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie

$$L = \frac{\mu_0 \alpha \lambda}{8\pi^2} \quad \text{Henry} \quad (28)$$

ce qui permet de calculer l'inductance de tout photon localisé à partir de sa longueur d'onde et de la constante de perméabilité du vide (μ_0).

17.5 Le courant de déplacement maximum du photon (i)

Sachant maintenant comment calculer L pour un photon localisé et que l'énergie oscillant électromagnétiquement impliquée (**équation (22)**) constitue la moitié de l'énergie du photon (E_{EB}), nous pouvons déterminer le courant maximum (i) à partir de l'équation donnant l'énergie maximum emmagasinée dans le champ magnétique. Donc, à partir de **l'équation (19)**:

$$E_{B(\max)} = \frac{L i^2}{2} \quad (29)$$

nous pouvons isoler i , et sachant que $E_{B(\max)} = E_{EB}$ de **l'équation (20)**, la valeur de L de **l'équation (22)**, et sachant aussi que $\varepsilon_0 \mu_0 = 1/c^2$, nous pouvons dériver le courant de déplacement maximum du photon localisé:

$$\begin{aligned} i &= \sqrt{\frac{2E_{EB}}{L}} = \sqrt{2 \frac{e^2}{4\varepsilon_0 \lambda \alpha} \frac{8\pi^2}{\mu_0 \lambda \alpha}} \\ &= \sqrt{\frac{4\pi^2 e^2}{\varepsilon_0 \mu_0 \alpha^2 \lambda^2}} = \sqrt{\frac{4\pi^2 e^2 c^2}{\alpha^2 \lambda^2}} = \frac{2\pi e c}{\alpha \lambda} \quad \text{Ampere} \end{aligned} \quad (30)$$

17.6 L'équation LC générale du photon

Étant donné que la somme de E_E et E_B est constante tel qu'établi à **l'équation (20)**, nous pouvons maintenant écrire:

$$\begin{aligned} E_{EB} &= E_E + E_B \\ &= \left[2 \left(\frac{e^2}{4C} \right)_Y \cos^2(\omega t) + \left(\frac{L i^2}{2} \right)_Z \sin^2(\omega t) \right] \end{aligned} \quad (31)$$

où t est la durée d'un cycle et correspond à $1/f$, ou lorsque défini en fonction de λ tel que requis ici, $t = \lambda/c$, et où l'aspect électrique se divise bien sûr en deux parties égales se déplaçant dans des directions opposées dans l'espace-Y (espace électrostatique).

Puisque cette énergie correspond à seulement la moitié de l'énergie d'un photon, nous devons finalement ajouter l'autre moitié de cette énergie, soit l'énergie cinétique unidirectionnelle localisée en permanence dans l'espace normal (espace-X) pour obtenir l'énergie totale du photon. Ajoutons maintenant l'ensemble approprié de vecteurs unitaires dirigés pour représenter les diverses directions de mouvement de l'énergie dans la structure interne du photon:

$$E \vec{I} \vec{i} = \left(\frac{hc}{2\lambda} \right)_X \vec{I} \vec{i} + \left[\begin{aligned} &2 \left(\frac{e^2}{4C} \right)_Y (\vec{J} \vec{j}, \vec{J} \vec{j}) \cos^2(\omega t) \\ &+ \left(\frac{L i^2}{2} \right)_Z \vec{K} \sin^2(\omega t) \end{aligned} \right] \quad (32)$$

L'équation (32) est l'équation la plus détaillée et générale qui puisse être établie, dont tous les termes sont fonction d'une seule variable, soit la longueur d'onde λ du photon, pour décrire le mouvement interne de l'énergie en mouvement cyclique d'un photon localisé

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie correspondant à l'hypothèse de de Broglie dans cette géométrie étendue de l'espace, et où les indices X, Y et Z représentent respectivement les trois espaces orthogonaux dans lesquels l'énergie associée est en mouvement. Il suffit maintenant de faire osciller t de manière cyclique entre zéro et λ/c pour observer comment l'énergie oscille entre les états électrique et magnétique.

Cette équation permet de bien comprendre pourquoi le vecteur de Poynting est totalement stable lorsque l'hypothèse de de Broglie est prise en compte, à une valeur égale à la valeur moyenne du même vecteur en électromagnétisme classique de Maxwell. Cette stabilité est due au fait qu'à tout moment donné, la somme de l'énergie capacitive et de l'énergie inductive est toujours égale à exactement la moitié de l'énergie du photon.

17.7 L'équation générale avec champs localisés du photon

L'équation (32) utilisant les notions moins familières d'inductance et capacitance, qui étaient requises pour décrire l'oscillation de l'énergie du photon à double-particule, gagnerait en clarté si elle était convertie pour utiliser les expressions plus familières des champs électrique (\mathbf{E}) et magnétique (\mathbf{B}).

Pour un photon se déplaçant en ligne droite, il est bien établi que les deux aspects électrique et magnétique de son énergie interne doivent être d'égales densités, tel que décrit à la référence ([10], équation (35)):

$$\mathbf{u}_B = \mathbf{u}_E = \frac{\mathbf{B}^2}{2\mu_0} = \frac{\varepsilon_0 \mathbf{E}^2}{2} \quad (33)$$

Étant donné qu'une densité d'énergie correspond à une énergie divisée par un volume, les expressions par champs de l'énergie d'un photon peuvent être récupérées en multipliant ces expressions de densité par le **volume stationnaire isotrope théorique** que l'énergie cinétique incompressible en oscillation du photon occuperait si elle était immobilisée dans une sphère de densité isotrope ([10], équation (40h)):

$$V = \frac{\alpha^5 \lambda^3}{2\pi^2} \quad (34)$$

qui, lorsque multipliant les densité de champs \mathbf{u}_B et \mathbf{u}_E de l'équation (33) par ce volume, nous procurera les valeurs d'énergie associées aux champs électrique et magnétique du photon:

$$E_E = \frac{\varepsilon_0 \mathbf{E}^2}{2} V \quad \text{et} \quad E_B = \frac{\mathbf{B}^2}{2\mu_0} V \quad (35)$$

Il s'ensuit que l'équation (32) peut maintenant être reformulée en utilisant les expressions plus familières des champs électrique et magnétique:

$$E \vec{I} \vec{i} = \left(\frac{hc}{2\lambda} \right)_X \vec{I} \vec{i} + \left[\begin{array}{l} 2 \left(\frac{\varepsilon_0 \mathbf{E}^2}{4} \right)_Y (\vec{J} \vec{j}, \vec{J} \vec{j}) \cos^2(\omega t) \\ + \left(\frac{\mathbf{B}^2}{2\mu_0} \right)_Z \vec{K} \sin^2(\omega t) \end{array} \right] V \quad (36)$$

où le champ électrique du photon se définit comme suit:

$$\mathbf{E} = \frac{\pi e}{\varepsilon_0 \alpha^3 \lambda^2} \quad \text{de la référence ([10], équation (40))} \quad (37)$$

et le champ magnétique du photon se définit comme suit:

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 \pi e c}{\alpha^3 \lambda^2} \quad \text{de la référence ([10], équation (34))} \quad (38)$$

Notons finalement que la seule variable requise pour résoudre les deux équations (32) et (36) est la longueur d'onde de l'énergie du photon λ .

17.8 Autoguidage en ligne droite et autopropulsion du photon et à la vitesse de la lumière

Il est très intéressant d'observer que les densités égales par défaut et par structure des deux champs électrique et magnétique du photon à double-particule expliquent directement pourquoi les photons s'autoguident en ligne droite lorsqu'aucune force extérieure n'agit sur lui, en conformité avec la quatrième équation de Maxwell.

La manière dont les trajectoires des particules électromagnétiques élémentaires peuvent être très précisément programmées, en forçant l'équilibre par défaut de l'intensité relative des densités des deux champs électrique et magnétique ambiants à changer, est décrite complètement dans tout ouvrage de référence de haut niveau concernant les accélérateurs à haute énergie, tel l'ouvrage merveilleusement bien réalisé "Principles of Charged Particle Acceleration" de Stanley Humphries Jr. [21].

La mécanique de variation naturelle de cet équilibre des densités des deux champs dans le modèle des 3-espaces pour les particules électromagnétiques soumises à des interactions transversales est décrite dans un article séparé [22].

En plus de procurer une magnitude constante au vecteur de Poynting, il est aussi intéressant de constater que cette structure interne procure une explication mécanique à la stabilité de la vitesse de la lumière de l'énergie électromagnétique libre dans le vide.

Tel que déjà mentionné, une analyse séparée ([12], Section 11) démontre mathématiquement pourquoi la vitesse de la lumière de photons localisés peut être expliquée seulement si l'énergie cinétique est distribuée pour moitié se déplaçant unidirectionnellement dans l'espace, propulsant l'autre moitié qui serait captive en oscillation électromagnétique transversale.

On peut émettre l'hypothèse que la structure trispaciale elle-même agit comme un ensemble de vases communicants à travers la jonction centrale, qui n'offrirait aucune résistance au passage de l'énergie, puisque la réalité objective nous montre qu'aucune énergie n'est perdue pendant l'oscillation électromagnétique, et que cette jonction permet à l'énergie du photon de toujours s'ajuster en un équilibre permanent entre les 3 espaces, un équilibre qui chercherait constamment à garder l'énergie du photon séparée en deux quantités égales entre l'espace-X et les espaces-YZ, même pendant les événements de perte ou gain d'énergie associés au décalages vers le rouge ou le bleu dus à l'interaction gravitationnelle.

Lorsque de l'énergie est perdue par un photon comme en témoigne un décalage vers le rouge de sa fréquence ou gagnée comme en témoigne un décalage vers le bleu de sa fréquence, l'équilibre moitié-moitié X vs YZ serait maintenu par un déplacement à travers la jonction X-YZ dans la direction requise de la quantité nécessaire d'énergie cinétique pour constamment restaurer cet équilibre. Ceci expliquerait directement pourquoi tous les photons s'autopropulsent pour ainsi dire à la même "vitesse d'équilibre" constante, qui est bien sûr la vitesse de la lumière.

Ceci soulève évidemment la vieille question de déterminer par rapport à quoi cette "vitesse d'équilibre" des photons (énergie cinétique libre) pourrait être relative dans la réalité physique objective. Est-elle relative au médium? Au point d'émission? Au point

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie d'absorption? À l'observateur? À ce cadre de référence ou à un autre, à plusieurs cadres de références, inertiel, non inertiel, galiléen, en mouvement ou non, etc.?

Une habitude profondément ancrée s'est établie depuis le début du 20^{ème} siècle de faire l'hypothèse de divers cadres de référence pour tenter d'y voir clair dans l'ensemble des données expérimentales observées. Mais en réalité, une vitesse ne dépend que d'un seul critère, soit la présence physique d'énergie cinétique translationnelle. Si une énergie cinétique translationnelle est présente et si l'équilibre électromagnétique local le permet, il y aura vitesse exprimée dans le vide, relativement l'absence d'énergie cinétique translationnelle, quel que puisse être le cadre, ou les cadres, de référence dont l'hypothèse pourra être faite.

La limite inférieure absolue de vitesse, selon cette perspective, consisterait en un électron possédant zéro énergie cinétique translationnelle en supplément de l'énergie dont sa masse au repos est constituée. Bien sûr, un tel électron qui serait totalement privé d'énergie translationnelle ne peut être qu'hypothétique, puisque toutes les particules massives sont soumises à une accélération gravitationnelle ou électrostatique à partir du moment même où elles commencent à exister.

La limite supérieure absolue de vitesse, impliquant une oscillation électromagnétique, est atteinte lorsqu'une quantité d'énergie cinétique translationnelle (c'est-à-dire unidirectionnelle) propulse une quantité égale d'énergie cinétique captive en oscillation électromagnétique transversale, soit un photon en mouvement libre par exemple, tel que décrit dans le présent article.

Le seul autre cas possible entre ces deux limites impliquant une oscillation électromagnétique, implique obligatoirement une quantité d'énergie cinétique captive en oscillation électromagnétique transversale propulsée par une quantité moindre d'énergie cinétique translationnelle, comme dans le cas de l'énergie cinétique constituant la masse au repos d'un électron, plus la moitié en oscillation électromagnétique transversale de son photon-porteur, ces deux quantités étant propulsées par la moitié unidirectionnelle de l'énergie cinétique du photon-porteur. La vitesse d'un tel système se situera nécessairement entre zéro et asymptotiquement proche de la vitesse de la lumière, un processus dont la mécanique est décrite dans un article séparé [12].

Finalement, il reste le cas d'énergie cinétique dont le mouvement ne semble pas impliquer d'oscillation électromagnétique et pour lequel il ne semble y avoir aucun facteur limitatif de vitesse non plus. Il s'agit du cas de libération d'énergie sous forme de neutrinos, dont la mécanique de libération dans le modèle des 3-espaces est décrite dans un article déparé [23].

17.9 La déflexion des trajectoires des photons

Toutes ces considérations nous amènent à réexaminer le cas de la déflexion de la lumière vérifiée expérimentalement pour la première fois en 1919 par Eddington et confirmée de nombreuses fois depuis, pendant des éclipses solaires ([24]. p.194), pour confirmer une prédiction d'Einstein à l'effet que la lumière venant des étoiles peut être déviée par la gravitation et que cette déviation peut être mesurée, par exemple, lorsque la lumière frôle la masse du soleil.

Selon la théorie de Newton, l'inertie de tout corps est sensée être omnidirectionnelle, c'est-à-dire qu'il devrait résister à tout changement de son état de mouvement avec la même intensité à toute force qui agit sur lui, quelle que soit la direction de laquelle elle est appliquée. Associant une pseudo-masse au photon pour les buts du calcul, Einstein appliqua alors la même logique à toute l'énergie du photon, présumant que la totalité de l'énergie du photon

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie

est sensible à l'interaction transversale à laquelle le photon est soumis lorsqu'il frôle un corps céleste en fonction de l'inverse du carré de la distance entre eux.

Son calcul donna alors un angle de déflexion de $0^{\circ}83$ arc seconde tel que mentionné dans un article [25] qu'il publia en 1911, soit un angle deux fois plus faible que celui qui sera observé en réalité, ce qui sembla invalider la mécanique de Newton au niveau des particules élémentaires. Bien sûr, il fournira plus tard un calcul différent, qui donna un angle estimé double du précédent, soit $1^{\circ}75$ arc seconde, qui est plus proche de la réalité, la déflexion supplémentaire étant considérée comme un effet de la courbure de l'espace-temps de sa théorie de la relativité générale et comme une preuve de la justesse de la théorie.

Il est intéressant de noter, tel que démontré dans un article séparé [12], que la moitié unidirectionnelle de l'énergie du photon à double-particule qui doit obligatoirement demeurer dans l'espace normal X par structure, est insensible à toute interaction transversale, une insensibilité qui peut être reliée à des expériences faites par Walter Kaufmann au début du 20^{ème} siècle, pendant lesquelles il induisait divers montants d'énergie cinétique dans des électrons [19].

Lorsque les trajectoires des électrons n'étaient pas infléchies (observations faites à l'aide d'une chambre à bulles), il constata bien sûr que l'inertie longitudinale de la particule impliquait l'énergie constituant la masse au repos de l'électron plus la quantité totale d'énergie cinétique procurée à la particule.

Mais lorsque les trajectoires étaient infléchies à des vitesses relativistes, il découvrit que l'inertie transversale de la particule impliquait moins d'énergie que cette somme, ce qui donna lieu au débat concernant la "masse longitudinale" et la "masse transversale", qui conduisit à la conclusion que la masse était de nature électromagnétique.

À vitesses très basses, les inerties longitudinales et transversales de l'électron ne démontrent pas de différences mesurables, étant donné la contribution infinitésimale de si faibles quantités d'énergie cinétique induites. Toutefois, les expériences de Kaufmann induisant des quantités d'énergie cinétique beaucoup plus grandes, révèlent que cette différence doit être liée à l'énergie porteuse de l'électron, puisque sa masse au repos est invariante.

En 2003, Paul Marmet associa avec succès l'augmentation avec la vitesse de la masse relativiste de l'électron à l'accroissement simultané de son champ magnétique [11]. Des calculs spécifiques démontrèrent que l'écart entre la masse au repos de l'électron et sa masse relativiste, correspond à la moitié de l'énergie cinétique induite, divisée par le carré de la vitesse de la lumière, soit un accroissement exactement égal à "l'incrément de masse magnétique" lié à la vitesse qui peut être calculé à partir de la découverte de Marmet (voir **équation (9)**).

Puisque cette "masse magnétique" ajoutée possède une inertie omnidirectionnelle tout comme la masse au repos de l'électron, à laquelle elle s'ajoute, elle peut aussi être mesurée par interaction transversale. Cela ne laisse qu'un seul candidat possible pour expliquer la différence entre les inerties longitudinale et transversales de l'électron aux vitesses relativistes, soit la moitié translationnelle de l'énergie cinétique procurée à l'électron, dont l'inertie longitudinale a été prouvée par l'expérience photoélectrique de Einstein, mais dont l'inertie transversale ne peut apparemment pas l'être, tel que démontré par les expériences de Kaufmann.

Ceci conduit à la conclusion incontournable que la moitié unidirectionnelle de l'énergie procurée, qui propulse la masse instantanée totale de l'électron à toute vitesse donnée, ne peut être qu'insensible à toute interaction transversale.

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie

Cela signifie aussi que la masse relativiste instantanée d'une particule en mouvement peut être mesurée seulement transversalement puisque l'inertie longitudinale de la particule ne permet pas de distinguer la masse au repos de la particule de l'incrément de masse relativiste procuré par la moitié de l'énergie cinétique porteuse.

Ce constat donna lieu au développement d'un nouvel ensemble d'équations relativistes dérivé de l'électromagnétisme complémentaire de celui dérivé de la Théorie de la Relativité Restreinte [12]. Ce nouvel ensemble peut être résumé comme suit, sous une forme facile à manipuler sur toute calculatrice scientifique. La gamme entière des vitesses relativistes peut être obtenue de cette équation:

$$f(x) = c \frac{\sqrt{4ax + x^2}}{2a + x} \quad (39)$$

Où $f(x)$ est la vitesse relativiste, "a" est l'énergie en joules contenue dans la masse au repos de l'électron (8.18710414E-14 joules) et "x" est l'énergie cinétique procurée en joules. "c" est bien sûr la vitesse de la lumière en mètres par seconde.

De l'équation (39) peut être dérivé l'équation suivante permettant le calcul de l'énergie cinétique qui doit être communiquée à un électron pour qu'il se déplace à la vitesse relativiste v , lorsque seulement cette vitesse est connue:

$$x = 2a(\gamma - 1) \quad (40)$$

Où "x" est la quantité d'énergie ajoutée, "a" est l'énergie constituant la masse au repos de l'électron et " γ " est le facteur gamma de Lorentz. Toute vitesse relativiste utilisée dans le facteur gamma permet d'obtenir la quantité d'énergie cinétique requise pour que la particule se déplace à cette vitesse.

Notons en passant que le facteur gamma serait beaucoup plus facile à utiliser s'il était simplifié de la manière suivante pour ne contenir qu'une seule fraction:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \sqrt{\frac{c^2}{c^2 - v^2}} = \frac{c}{\sqrt{c^2 - v^2}} \quad (41)$$

Avec la quantité d'énergie cinétique calculée à l'aide de l'équation (40), l'équation suivante permet de calculer la masse relativiste instantanée de la particule pour cette vitesse relativiste:

$$m_{(rel)} = m_0 + \frac{x}{2c^2} \quad (42)$$

La gamme entière des vitesses relativistes peut aussi être obtenue de l'équation suivante en utilisant les longueurs d'onde des énergies impliquées:

$$f(x) = c \frac{\sqrt{4ax + a^2}}{2x + a} \quad (43)$$

où $f(x)$ est la vitesse relativiste, "a" est la longueur d'onde de Compton pour l'électron (2.426310215E-12 m) et "x" est la longueur d'onde de la quantité totale d'énergie procurée à l'électron.

Finalement, similairement à l'équation (40) dérivée de l'équation (39), l'équation suivante dérivée de l'équation (43) permet de calculer la longueur d'onde de l'énergie qui doit être communiquée à un électron pour qu'il se déplace à la vitesse relativiste v , lorsque seulement cette vitesse est connue:

$$\lambda = \frac{\lambda_c}{2(\gamma - 1)} \quad (44)$$

Où “ λ ” est la longueur d'onde de l'énergie communiquée, “ λ_c ” est la longueur d'onde de Compton de l'électron et “ γ ” est le facteur de Lorentz.

En relation avec l'analyse faite à la **Section 6**, lorsque l'énergie constituant la masse au repos de l'électron est mise à zéro dans l'**équation (39)**, ou plutôt, dans sa version électromagnétique ([12], équation (33)), nous observons que la vitesse obtenue est c , soit la vitesse de la lumière. Cela signifie que l'incrément de masse restant qui est encore transversalement mesurable plus l'autre moitié égale, mais indétectable transversalement, de l'énergie ajoutée impliquée, se comportent comme un photon électromagnétique libre, démontrant une inertie longitudinale correspondant à l'énergie totale impliquée, mais une inertie transversale correspondant à seulement la moitié de l'énergie totale impliquée.

Cette observation concernant l'énergie porteuse de l'électron vient en support de l'analyse faite dans le présent article, à l'effet qu'un photon électromagnétique libre posséderait, par similarité, la même structure électromagnétique interne que l'énergie porteuse des particules massives.

Par conséquent, si les calculs d'Einstein avaient été faits avec la "pseudo-masse" de seulement la moitié électromagnétique oscillante de l'énergie du photon pour le calcul de l'angle de déflexion de la trajectoire des photons, c'est-à-dire avec la seule partie de l'énergie du photon qui semble sensible à l'interaction transversale, alors, l'angle de déflexion de 1"75 arc seconde pour les photons frôlant le soleil aurait pu être obtenu directement de la mécanique classique sans aucun besoin de recourir à la courbure spatio-temporelle de la Relativité Générale.

Conclusion

Cet article est destiné à montrer qu'il est possible de représenter le photon localisé en permanence de l'hypothèse de de Broglie d'une manière qui est totalement conforme aux équations de Maxwell.

La présente solution implique une augmentation de la géométrie de l'espace local qui permet à l'énergie cinétique du photon de se comporter en conformité avec la théorie de Maxwell sans changer de nature tout en manifestant les propriétés mutuellement exclusives des champs électrique et magnétique.

Puisque l'énergie peut être représentée de multiples manières, comme les deux modèles actuellement disponibles mentionnés en introduction en sont des exemples, des solutions autres que celle proposée ici sont bien sûr possibles. Mais, il est à espérer que les bénéfices non-exhaustifs que la présente solution procure éveillera l'intérêt pour la recherche causaliste au niveau fondamental dans la communauté, d'autant plus que cette géométrie de l'espace offre une explication mécanique très simple au processus de conversion d'un photon sans masse d'énergie 1.022 MeV ou plus en une paire d'électron-positon massifs [13] qui possèdent aussi structurellement les doubles caractéristiques onde-particule qui caractérisent le présent modèle du photon, et beaucoup plus.

Bibliographie

- [1] Einstein A, Schrödinger E, Pauli W, Rosenfeld L, Born M, Joliot-Curie I & F, et al. (1953) **Louis de Broglie, physicien et penseur.** (Hommage à Louis de Broglie à l'occasion de son 60^{ième} anniversaire de naissance, chaque collègue contribuant un chapitre, Einstein contribuant même 3 chapitres distincts, l'ouvrage complet offrant

un survol relativement détaillé de l'état des connaissances en physique fondamentale en 1952). Éditions Albin Michel, Paris, 1953.

- [2] De Broglie L (1933) **La physique nouvelle et les quanta**, Flammarion, France 1937, 2nd Edition 1993, with new 1973 Preface by Louis de Broglie. ISBN: 2-08-081170-3.
- [3] Buras A J (2005) **Photon Structure Functions: 1978 and 2005**. arXiv:hep-ph/0512238v2.
- [4] Sears F, Zemansky M, Young H (1984) **University Physics**, 6th Edition, Addison Wesley.
- [5] Lochak G (1992) **Louis de Broglie**, Flammarion, Collection Champs. ISBN: 2-08-081337-4.
- [6] Feynman R (1949) **Space-Time Approach to Quantum Electrodynamics**, Phys. Rev. 76, 769.
- [7] Breidenbach M. et al. (1969). **Observed Behavior of Highly Inelastic Electron-Proton Scattering**. Phys. Rev. Lett., Vol. 23, No. 16, 935-939.
- [8] Greiner W, Reinhardt J (1994) **Quantum Electrodynamics**. Springer-Verlag. Second Edition.
- [9] Burke D L, Field R C, Horton-Smith G, Spencer J E, Walz D, Berridge S C, et al. (1997) **Positron Production in Multiphoton Light-by-Light Scattering**, Phys. Rev. Lett. Vol. 79, 1626.
- [10] Michaud A (2007) **Field Equations for Localized Individual Photons and Relativistic Field Equations for Localized Moving Massive Particles**, International IFNA-ANS Journal, No. 2 (28), Vol. 13, pp. 123-140, Kazan State University, Kazan, Russia.
- [11] Marmet P (2003) **Fundamental Nature of Relativistic Mass and Magnetic Fields**. International IFNA-ANS Journal, No. 3 (19), Vol. 9. Kazan State University.
- [12] Michaud A (2013) **From Classical to Relativistic Mechanics via Maxwell**. International Journal of Engineering Research and Development e-ISSN: 2278-067X, p-ISSN: 2278-800X Volume 6, Issue 4. pp. 01-10.
- [13] Michaud A (2013) **The Mechanics of Electron-Positron Pair Creation in the 3-Spaces Model**. International Journal of Engineering Research and Development e-ISSN: 2278-067X, p-ISSN: 2278-800X. Volume 6, Issue 10. pp. 01-10.
- [14] Hanson G, Agrams G S, Boyarski A M, Breidenbach M, Bulos F, Chinowsky W, et al. (1975) **Evidence for Jet Structure in Hadron Production by e+ e- Annihilation**. Phys. Rev. Let., Vol. 35, No. 24, 1609-1612.
- [15] Michaud A (2013) **The Mechanics of Neutron and Proton Creation in the 3-Spaces Model**. International Journal of Engineering Research and Development. e-ISSN: 2278-067X, p-ISSN : 2278-800X, Volume 7, Issue 9. pp. 29-53.
- [16] Kotler S, Akerman N, Navon N, Glickman Y, Ozeri R (2014) **Measurement of the magnetic interaction between two bound electrons of two separate ions**. Nature magazine. doi:10.1038/nature13403. Macmillan Publishers Ltd. Vol. 510, pp. 376-380.
- [17] Michaud A (2013) **On The Magnetostatic Inverse Cube Law and Magnetic Monopoles**. International Journal of Engineering Research and Development e-ISSN: 2278-067X, p-ISSN: 2278-800X. Volume 7, Issue 5. pp. 50-66.
- [18] Michaud A (2000). **On an Expanded Maxwellian Geometry of Space**. Proceedings of Congress-2000 – Fundamental Problems of Natural Sciences and Engineering, Volume 1, St.Petersburg, Russia 2000, pp. 291-310.

À propos de l'hypothèse du photon à double corpuscule de Louis de Broglie

- [19] Kaufmann W (1903) **Über die "Elektromagnetische Masse" der Elektronen**, Kgl. Gesellschaft der Wissenschaften Nachrichten, Mathem.-Phys. Klasse, pp. 91-103.
- [20] Resnick R. Halliday D (1967) **Physics**. John Wiley & Sons, New York.
- [21] Humphries S Jr (1986) **Principles of Charged Particle Acceleration**, John Wiley & Sons,.
- [22] Michaud A (2013) **On the Electron Magnetic Moment Anomaly**. International Journal of Engineering Research and Development. e-ISSN: 2278-067X, p-ISSN: 2278-800X. Volume 7, Issue 3, pp. 21-25.
- [23] Michaud A (2013) **The Mechanics of Neutrinos Creation in the 3-Spaces Model**. International Journal of Engineering Research and Development. e-ISSN: 2278-067X, p-ISSN: 2278-800X. Volume 7, Issue 7, pp.01-08.
- [24] Ohanian H C, Ruffini R (1994) **Gravitation and Spacetime**, Second Edition, W.W. Norton.
- [25] Einstein A (1911) **Über den Einfluß der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichtes**. Annalen der Physik. 340, Nr. 10, pp. 898-908.

Autres articles par le même auteur

Mécanique électromagnétique des particules élémentaires.