

Démystification de l'équation de force de Lorentz

André Michaud

Service de Recherche Pédagogique

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

Résumé: L'équation de force de Lorentz $F = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$, qui est utilisée par la communauté des ingénieurs depuis le début du 20^e siècle pour contrôler le mouvement des électrons sur trajectoires libres, dans un large éventail d'applications techniques, est une équation généralisée qui fut initialement développée par Hendrik Antoon Lorentz au début du 20^e siècle, et qui traite, en une seule formulation, deux aspects très différents du comportement des électrons en mouvement libre. Cet article a pour but de mettre en perspective le contexte historique dans lequel l'équation a été développée, et de clarifier la manière dont ses deux différents aspects peuvent être clairement séparés pour fins de calcul pratique et utilisation dans la recherche fondamentale en physique, pour aider à réconcilier la mécanique classique/relativiste et la mécanique quantique avec l'électromagnétisme et, en particulier, de quelle manière son premier terme peut être lié à la gravitation tandis que son second terme peut être lié à la masse mesurable du point de vue électromagnétique.

Mots clés: États de résonance des électrons; particules électromagnétiques élémentaires; électromagnétisme; atome d'hydrogène.

Cet article a été publié dans le *Journal of Modern Physics* en Mai 2022:

Michaud, A. (2022) *Demystifying the Lorentz Force Equation*. Journal of Modern Physics, [Vol.13 No.5, May 2022](#), DOI: [10.4236/jmp.2022.135046](#)

https://www.scirp.org/pdf/jmp_2022053015080692.pdf

Autres articles dans le même projet:

[INDEX –Mécanique électromagnétique \(Le modèle des 3 espaces\)](#)

En voici la traduction française:

1. Introduction

En 1904, H.A. Lorentz a publié un article qui a révolutionné deux aspects majeurs de la physique fondamentale, l'un concernant la physique classique/relativiste telle qu'applicable à notre niveau de magnitude macroscopique, et l'autre concernant le comportement électromagnétique des électrons en mouvement libre au niveau de magnitude subatomique. Son article est largement référencé dans la littérature en relation avec sa proposition applicable au mouvement relatif à notre niveau macroscopique, mais son analyse du comportement des électrons libres, qui émerge des données expérimentales précédemment collectées par Walter Kaufmann, demeure largement occultée derrière la popularité et la portée universelle de sa proposition concernant le mouvement relatif [1].

Le développement révolutionnaire qu'il a proposé à propos du mouvement relatif, visait à rendre compte de processus physiques observés au niveau astronomique, et qui semblaient s'écarter de la mécanique classique telle qu'établie par Newton, à une époque où les connaissances générales à propos de ces questions étaient beaucoup moins étendues que celles dont nous disposons aujourd'hui.

Sa proposition était un ensemble de transformations mathématiques destinées à traiter la question du *mouvement relatif* des masses macroscopiques les unes par rapport aux autres, comme solution à l'impossibilité apparente, à l'époque, d'identifier une référence absolue dans l'univers, par rapport à laquelle le mouvement de tous les corps massifs pourrait être calculé, une conclusion qui résultait de l'échec apparent des expériences de Michelson et Morley à démontrer l'existence d'une telle référence absolue [2].

Ce développement, bien que destiné à résoudre des problèmes non traités par la mécanique classique de Newton, reposait toujours sur la double hypothèse que l'existence de l'énergie cinétique qui soutient la vitesse est causée par le mouvement des corps massifs et que la quantité totale de cette énergie est conservatrice, en ce sens que lorsqu'un corps ralentit, cette *énergie cinétique* est sensée se convertir progressivement en *énergie potentielle*, de sorte que lorsque le corps s'arrête complètement, toute son énergie cinétique s'est convertie en énergie potentielle, et qu'à tout moment, la somme de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle demeure constante – un concept imposé par le Principe classique de conservation de l'énergie ([3], p. 217).

L'équation de la mécanique newtonienne qui ne semblait pas pouvoir répondre complètement à certaines observations astronomiques est précisément liée à la relation entre l'énergie cinétique d'une masse en mouvement $K = \frac{1}{2}mv^2$ et sa quantité de mouvement $p=mv$, les deux équations étant liées par la relation $K = p^2/2m$. En résumé, Lorentz a introduit dans le tableau l'idée que la correction requise pourrait être apportée par l'introduction du facteur γ dans l'équation de l'énergie cinétique de Newton $K = \frac{1}{2}\gamma m_0 v^2$ et dans son équation de la quantité de mouvement $p=\gamma m_0 v$, définissant également la masse d'un corps lorsque sa vitesse est zéro m_0 comme étant sa *masse au repos*, les deux équations étant toujours reliées par la relation modifiée $K = p^2/2\gamma m_0$, le facteur γ associant maintenant le mouvement des corps à la perception d'un observateur, à défaut d'une référence absolue, par le biais des transformations mathématiques qu'il proposait.

Dès qu'Henri Poincaré a reconnu la validité mathématique des *transformations de*

Démystification de l'équation de force de Lorentz

Lorentz – terme qu'il a défini dans sa note du 5 juin 1905 [4] – Albert Einstein publia son article majeur sur le *mouvement relatif*, maintenant connu sous le nom de Théorie de la Relativité Restreinte (RR) [5], qui intégrait les transformations de Lorentz comme moyen d'expliquer mécaniquement le mouvement relatif des corps massifs les uns par rapport aux autres, impliquant les concepts de dilatation du temps et de contraction de la longueur des masses, ainsi que l'augmentation non rectilinéaire contrôlée par le facteur γ de l'énergie cinétique du momentum des corps massifs avec l'augmentation de leur vitesse vers la vitesse de la lumière, désormais établie comme limite asymptotique de vitesse pour les corps massifs, en tant que raffinement de l'hypothèse initiale de Newton, laquelle supposait une augmentation rectilinéaire de l'énergie du momentum avec la vitesse, sans limite ultime de vitesse.

Le deuxième développement révolutionnaire établi par Lorentz dans son article de 1904 [1] était la confirmation de la validité de la première équation de la mécanique électromagnétique initialement développée par lui-même pour contrôler le mouvement des électrons libres – chargés électriquement – au niveau subatomique, maintenant connue comme *l'équation de force de Lorentz*, à partir des données expérimentales recueillies par Walter Kaufmann au moyen de cette équation [6] [7]; des électrons en mouvement libre dont les trajectoires pouvaient maintenant être contrôlées au moyen d'une combinaison de champs électriques et magnétiques \mathbf{E} et \mathbf{B} d'intensités contrôlables séparément, qui agissaient directement sur la charge de l'électron plutôt que sur sa masse, contrairement au concept de force imaginé par Newton qui lui, agissait sur la masse. Nous verrons plus loin que Einstein supposa les deux concepts comme étant équivalents.

Mais contrairement à la mécanique classique, qui suppose que la quantité d'énergie cinétique d'un électron dépend de la vitesse de sa masse, l'équation de mécanique électromagnétique de Lorentz implique que la quantité d'énergie cinétique de l'électron en mouvement ne dépend pas de sa vitesse, mais que c'est plutôt la relation inverse qui est impliquée, c'est-à-dire que c'est la vitesse de l'électron qui dépend de la quantité d'énergie cinétique communiquée à sa charge par les champs \mathbf{E} et \mathbf{B} d'intensité variable qui contrôlent sa trajectoire ; une énergie adiabatiquement induite dans l'électron en mouvement en fonction de l'inverse des distances qui le séparent des autres particules chargées dont l'interaction mutuelle établit les champs \mathbf{E} et \mathbf{B} de contrôle, tel que clarifié dans la Référence [8] et dans sa réédition finale étendue [9].

Mais à cette époque, les concepts de champs de force étaient fondés plutôt sur la dualité conservatrice énergie cinétique versus énergie potentielle telle que définie en mécanique classique, comme Aram D'Abro l'explique clairement dès les années 1930 dans son excellente synthèse ([3], p. 217). Selon cette perspective cependant, le concept d'énergie potentielle dans un champ de force n'apparaîtrait que si le champ est dérivé d'un potentiel :

"Consider a particle in a conservative field, and two arbitrary points \mathbf{A} and \mathbf{B} in the field. The relationship between the potential energy and the particle at \mathbf{A} and at \mathbf{B} is furnished by the following definition:"

"Potential energy at \mathbf{B} minus potential energy at \mathbf{A} = work (positive or negative) expended by the field of force when the particle is made to pass

Démystification de l'équation de force de Lorentz

from B to A"

"For instance, if we agree that the potential energy at the point A is zero, the potential energy at any arbitrary point B is given by the work (positive or negative) expended by the force when the particle is moved from B to A..."

So, while a stone is falling from point B to point A, "...its potential energy would be decreasing and its kinetic energy increasing at an equal rate, so that the sum of the two kinds of energy would remain constant."

"This rule is general: Whenever a particle is released from a position of rest in a conservative field, it will always start moving towards regions of decreasing potential energy..."

"The conservation of energy would not hold in a non-permanent field; nor would it be realized in a permanent field which is not derived from a potential."

Traduction:

"Considérons une particule dans un champ conservateur, et deux points arbitraires A et B dans le champ. La relation entre l'énergie potentielle et la particule en A et en B est fournie par la définition suivante :"

" Énergie potentielle en B moins énergie potentielle en A = travail (positif ou négatif) dépensé par le champ de force lorsque la particule est amenée à passer de B à A."

"Par exemple, si nous convenons que l'énergie potentielle au point A est nulle, l'énergie potentielle en tout point arbitraire B est donnée par le travail (positif ou négatif) dépensé par la force lorsque la particule est déplacée de B à A..."

Ainsi, lorsqu'une pierre tombe d'un point B vers un point A, "...son énergie potentielle diminue et son énergie cinétique augmente à un rythme égal, de sorte que la somme des deux types d'énergie reste constante."

"Cette règle est générale : Lorsqu'une particule est libérée d'une position de repos dans un champ conservateur, elle commence toujours à se déplacer vers des régions où l'énergie potentielle diminue..."

" La conservation de l'énergie ne serait pas valable dans un champ non permanent ; elle ne serait pas non plus réalisée dans un champ permanent qui n'est pas dérivé d'un potentiel."

Cette dernière condition est précisément le cas pour les champs E et B contrôlés par l'équation de la force de Lorentz. Aucun des deux champs n'est permanent. Et ils ne sont pas dérivés d'un potentiel, mais dépendent de configurations spécifiques et modifiables d'enroulements de fils électriques dans lesquels on fait circuler un courant électrique – un courant fait d'électrons se déplaçant le long des fils – et de matériaux ferromagnétiques ou d'aimants permanents, dont les champs magnétiques dépendent de configurations non permanentes d'électrons captifs des atomes de ces matériaux.

Démystification de l'équation de force de Lorentz

La vitesse des électrons circulant dans un fil (déterminée par le voltage) détermine l'intensité de l'interaction coulombienne entre les charges liées au champ \mathbf{E} contrôlé par le premier terme de l'équation de Lorentz tandis que le champ magnétique \mathbf{B} lié à son second terme est généré autour du fil selon l'équation de Biot-Savart en raison de l'alignement magnétique parallèle forcé des spins des électrons circulant dans la même direction dans le fil, complété, pour contrôler la courbure de la trajectoire de l'électron libre, par les champs \mathbf{B} contrôlables des matériaux ferromagnétiques et/ou d'aimants permanents voisins, dont les champs magnétiques macroscopiques sont dus à l'alignement parallèle forcé des spins magnétiques des électrons non pairés dans ces matériaux [10] [11].

Notons que l'équation de Coulomb $F = q_1q_2/4\pi\epsilon_0d^2$ est le moyen par lequel l'énergie induite dans toutes les particules chargées selon l'interaction coulombienne sous-jacente peut être calculée strictement en fonction directe de l'inverse des distances qui les séparent $E=d\cdot F=q_1q_2/4\pi\epsilon_0d$, tel que clarifié dans la référence [12] et sa réédition finale étendue [13].

Étant donné que les champs \mathbf{E} et \mathbf{B} macroscopiques générés par le courant circulant dans des fils disparaissent lorsque le courant cesse de circuler dans le fil, que le champ \mathbf{B} macroscopique des électroaimants disparaît lorsque le courant dans leur fil est coupé, et que même le champ \mathbf{B} macroscopique des aimants dits permanents disparaît lorsqu'ils sont chauffés, et ne se rétablit pas lors du refroidissement lorsqu'ils dépassent une température critique, la condition de D'Abro selon laquelle "*la conservation de l'énergie ne serait pas valable dans un champ non permanent*" est remplie.

Ainsi, lorsque nous considérons une *particule chargée* dans de tels champs non-conservatifs, et deux points arbitraires dans l'espace \mathbf{A} et \mathbf{B} , la relation entre l'énergie et la *particule chargée* en \mathbf{A} et en \mathbf{B} est alors fournie par la définition suivante :

" L'énergie en \mathbf{B} moins l'énergie en \mathbf{A} (positive ou négative) fournie par le champ de force non conservatif lorsque la particule chargée est amenée à passer de \mathbf{B} à \mathbf{A} ne peut être que de nature adiabatique. "

Notons au passage qu'au début du 20e siècle, le consensus général n'était pas que les particules chargées élémentaires s'induisent mutuellement de l'énergie en fonction des distances qui les séparent, comme nous venons de le mentionner, mais que l'énergie était induite dans chaque particule chargée élémentaire par un champ électrique sous-jacent *supposément conservateur* omniprésent, ce qui a faussé la perception de l'induction d'énergie dans les particules chargées élémentaires pendant le reste du 20e siècle et une bonne partie du 21e siècle.

Cette relation a été clairement décrite par Einstein dans son article de 1910 [14]. (L'original allemand de cet article ayant été perdu, les citations en suivantes en français sont tirées en l'état de sa traduction française initiale faite la même année par E. Guillaume, seule traduction faite à l'époque à partir de l'original. Une traduction formelle en anglais à partir de la traduction de Guillaume a été faite par le *Minkowski Institute* en 2021 [15]) :

"...on s'habitua à considérer les champs électrique et magnétique comme des entités dont l'interprétation mécanique était superflue. On en vint ainsi à

Démystification de l'équation de force de Lorentz

regarder ces champs dans le vide comme des états particuliers de l'éther, n'exigeant pas une analyse plus approfondie.

Une particule chargée en mouvement par rapport à l'éther est assimilable à un élément de courant; les actions du champ électromagnétique sur la particule et les réactions de cette dernière sur le champ sont les seuls liens qui lient la matière à l'éther. Dans celui-ci, là où l'espace n'est pas déjà occupé par une particule, les intensités du champ électrique et magnétique sont exprimées par les équations de Maxwell pour l'éther libre, si l'on suppose que les équations sont rapportés à un système d'axes immobile par rapport à l'éther."

En calibrant soigneusement l'intensité des champs électriques et magnétiques macroscopiques ambiants, des champs électriques et magnétiques \mathbf{E} et \mathbf{B} locaux à l'échelle subatomique sont par conséquent générés localement de manière adiabatique au voisinage immédiat de chaque électron dans des faisceaux d'électrons, qui guident localement chaque électron sur sa trajectoire selon l'équation $\mathbf{v}=\mathbf{E}/\mathbf{B}$, des densités égales des champs \mathbf{E} et \mathbf{B} définissant le mouvement en ligne droite de la particule chargée, tandis que des densités inégales de ces champs induits définissent des trajectoires courbes, chaque électron étant propulsé par une énergie cinétique locale de momentum qui est simultanément induite de manière adiabatique dans chacun d'eux [16], c'est-à-dire une combinaison d'énergie locale de champs \mathbf{E} et \mathbf{B} , dont la somme est égale par structure à l'énergie de momentum qui est simultanément induite, ces deux composantes induites constituant l'énergie porteuse dont la composante de momentum propulse la masse invariante au repos de l'électron – en plus de propulser également sa composante locale de champs \mathbf{E} et \mathbf{B} induits – et dont les champs \mathbf{E} et \mathbf{B} transversaux le guident selon leurs densités relatives, des densités égales définissant le mouvement en ligne droite de l'électron comme mentionné précédemment [12] [13], qui sont les 3 aspects des photons-porteurs d'électrons dont nous parlerons plus loin.

Cette méthode de contrôle que Lorentz avait initialement proposée dans un article précédent [17], qui consistait à combiner l'équation de Coulomb pour calculer l'énergie totale du champ \mathbf{E} de l'électron, à la relation entre l'énergie du champ \mathbf{B} transversal établie par Heaviside [18] pour contrôler sa vitesse et la courbure de sa trajectoire, a ensuite été utilisée par Kaufmann [6] pour recueillir des données sur l'accélération d'électrons en mouvement libre dans une chambre à bulles.

Après Abraham en 1902 [19], Lorentz a également réussi dans son article de 1904 [1] à relier la quantité totale d'énergie du champ \mathbf{E} , fournie par l'équation de Coulomb, à l'inertie longitudinale classique/relativiste exacte de l'électron en mouvement libre, en introduisant le facteur γ – "k" dans son article – (Voir la masse m_1 de sa première Équation (30) et les explications associées), et en introduisant également le même facteur γ pour tenir compte de l'inertie électromagnétique/relativiste transversale totale de l'électron dévié – qui s'est avérée être différente de l'inertie longitudinale totale m_1 – (voir la masse m_2 de sa deuxième Équation (30)), cette dernière valeur correspondant à l'augmentation, liée à la vitesse, du champ magnétique transversal \mathbf{B} total de l'électron en mouvement.

Démystification de l'équation de force de Lorentz

Cette méthode, confirmée expérimentalement par les données de Kaufmann telles qu'analysées par Abraham et Lorentz, a été immédiatement adoptée par la communauté des ingénieurs pour utilisation dans toutes les applications nécessitant un contrôle précis des trajectoires des électrons en mouvement libre, dont les applications actuelles typiques sont le contrôle précis des trajectoires des faisceaux d'électrons dans toutes les applications d'écrans cathodiques et le contrôle précis des faisceaux de particules chargées dans tous les accélérateurs de particules à haute énergie.

2. L'adoption de la Théorie de la relativité restreinte

Lorsqu'Einstein publia son article sur le mouvement relativiste et l'augmentation non rectilinéaire de l'énergie du momentum avec la vitesse vers c , établie comme vitesse limite pour les corps massifs [5], directement fondé sur les transformations de Lorentz [1], il avait déjà étonné la communauté des physiciens avec deux autres articles révolutionnaires publiés seulement quelques mois plus tôt, qui ont fait que toute la communauté a porté une attention accrue à son troisième article.

Le premier article, datant de mars 1905, explique sa théorie quantique de la lumière [20], fondée sur les conclusions de Max Planck [21] concernant les expériences sur le corps noir récemment réalisées par Wilhelm Wien [22], dont la principale conclusion peut être résumée par cette citation :

"Es scheint mir nun in der Tat, daß die Beobachtungen über die "schwarze Strahlung", Photolumineszenz, die Erzeugung von Kathodenstrahlen durch ultraviolettes Licht und andere die Erzeugung bez. Verwandlung des Lichtes betreffende Erscheinungsgruppen besser verständlich erscheinen unter der Annahme, daß die Energie des Lichtes diskontinuierlich im Raume verteilt sei. Nach der hier ins Auge zu fassenden Annahme ist bei Ausbreitung eines von einem Punkte ausgehenden Lichtstrahles die Energie nicht kontinuierlich auf größer und größer werdende Räume verteilt, sondern es besteht dieselbe aus einer endlichen Zahl von in Raumpunkten lokalisierten Energiequanten, welche sich bewegen, ohne sich zu teilen und nur als Ganze absorbiert und erzeugt werden können." ([20], p. 133)

Traduction :

"Il me semble en effet que les observations sur le "rayonnement noir", la photoluminescence, la production de rayons cathodiques par la lumière ultraviolette et d'autres groupes de phénomènes concernant la production et la transformation de la lumière apparaissent plus compréhensibles si l'on suppose que l'énergie de la lumière est répartie de façon discontinue dans l'espace. Selon l'hypothèse à considérer ici, lors de la propagation d'un rayon lumineux partant d'un point, l'énergie n'est pas répartie de façon continue dans des espaces de plus en plus grands, mais elle est constituée d'un nombre fini de quanta d'énergie localisés en des points de l'espace, qui se déplacent sans se diviser et ne peuvent être absorbés et produits que comme un tout."

Cette conclusion est ce qui l'a conduit à l'explication mécanique de l'effet

Démystification de l'équation de force de Lorentz

photoélectrique qui a confirmé que l'énergie des photons électromagnétiques localisés, tels qu'il a supposé qu'ils sont émis, se propagent et sont absorbés individuellement, possède une *inertie longitudinale mesurable* – une inertie dans la direction de leur mouvement, ce qui lui a valu le prix Nobel en 1921.

Cette découverte a également conduit, en corrélation avec sa conclusion à être bientôt publiée, selon laquelle l'énergie cinétique de momentum qui propulse les masses en mouvement doit être une substance physiquement existante [23] – voir plus loin – et avec l'hypothèse du photon à double particule, proposée ultérieurement par Louis de Broglie dans les années 1930 [24], concernant la structure électromagnétique dynamique interne possible de ces photons localisés, à l'établissement de l'équation LC et de l'équation associée des champs E et B qui décrivent mécaniquement leur structure électromagnétique interne dans un article initialement publié en 2016 [25], republié en version finale étendue en 2021 [26], en accord complet avec les équations de Maxwell, les décrivant comme se déplaçant séparément sans s'étendre de manière sphérique à partir de leur source ponctuelle, mais étant émis, se propageant et étant absorbés uniquement comme des quanta individuels séparés comme le concluait Einstein [20], soit des processus mécaniques d'absorption, de propagation et d'émission qui ont été analysés et publiés en 2020 [12] [13].

En mai 1905, un autre de ses articles majeurs fut publié, attirant l'attention sur une explication possible du mouvement brownien observé dans les liquides, selon laquelle le mouvement erratique des particules microscopiques visibles au microscope dans les liquides pourrait être expliqué par des collisions stochastiques avec des molécules trop petites pour être vues, dont le liquide devait être constitué, ce qui, selon lui, pourrait conduire à la possibilité de calculer les dimensions physiques de ces molécules [27], un processus qui fut indépendamment découvert et expliqué par Marian von Smoluchowski un an plus tard [28]. Leurs conclusions furent confirmées expérimentalement par Jean Perrin en 1912 [29]. La relation entre le mouvement brownien et l'électromagnétisme sera analysée dans la **Section 13**, où sera décrit la raison pour laquelle ces molécules, dont Einstein avait conclu à l'existence, continuent à se déplacer naturellement dans les liquides, ce qui les fait entrer en collision avec les particules visibles au microscope.

Aussi donc, lorsque le troisième article important d'Einstein fut publié quelques mois après les deux premiers, le 26 septembre 1905 – reçu le 30 juin – celui-ci, fondé sur la transformation de Lorentz [1] [4] récemment confirmée mathématiquement, proposait une solution logique qui réconciliait apparemment l'électromagnétisme, tel qu'observable à notre niveau macroscopique, avec la mécanique classique, qui semblait résoudre les questions non abordées par la mécanique classique de Newton concernant le comportement des corps massifs, dans une théorie complète qui fut éventuellement nommée la Théorie de la relativité restreinte [5], la stature d'Einstein en tant que théoricien de pointe n'était plus à faire.

Finalement, lorsque Einstein publia un quatrième article le 21 novembre 1905 – reçu le 27 septembre [23] comme extension de son article du 30 juin [5] – la révolution de la physique fut achevée avec l'introduction de sa conclusion que l'énergie en excès de la masse au repos d'un corps qui est transférée à l'environnement lorsqu'un corps est arrêté dans son mouvement doit être une *substance physiquement existante* [12] [13], puisqu'il a

Démystification de l'équation de force de Lorentz

été prouvé qu'elle avait de l'inertie tout comme la masse au repos du corps et tout comme l'énergie des photons électromagnétiques localisés lorsqu'ils frappent les électrons dans les corps massifs, comme le démontre l'effet photoélectrique décrit dans son précédent article de mars 1905 [20], étant donné que *l'inertie* peut difficilement être manifestée par quelque chose qui n'a pas d'*existence physique* en tant que *substance pondérable* :

"Gibt ein Körper die Energie L in Form von Strahlung ab, so verkleinert sich seine Masse um L/V^2 ... Die Masse eines Körpers ist ein Maß für dessen Energieinhalt; ändert sich die Energie um L, so ändert sich die Masse in demselben Sinne um $L/9.10^{20}$, wenn die Energie in Erg und die Masse in Grammen gemessen wird." [23]

Translation:

" Lorsqu'un corps émet de l'énergie L sous forme de rayonnement, sa masse diminue de L/V^2 ... La masse d'un corps est une mesure de son contenu énergétique ; si l'énergie varie de L, la masse varie de la même manière de $L/9.10^{20}$, si l'énergie est mesurée en erg et la masse en grammes."

De toute évidence, Einstein avait à l'esprit l'énergie cinétique d'un corps macroscopique qui peut être mesurée en plus de l'énergie constituant sa masse au repos du corps, telle qu'elle est conçue en mécanique classique, lorsque cette énergie est communiquée à l'environnement lorsque le corps est arrêté dans son mouvement [8] [9]. Nous examinerons plus loin en détail le cas d'une masse de 1 kg tombant sur le sol d'une hauteur de 1 mètre pour mettre clairement en perspective ce qui peut être vérifié expérimentalement de notre point de vue macroscopique.

Notons à ce stade que sa corrélation, dans son article de septembre 1905, entre l'inertie des corps en mouvement et l'aspect "*substance physiquement existante*" de l'énergie libérée lorsqu'ils sont arrêtés dans leur mouvement, n'a pas attiré l'attention à l'époque, étant donné que toute la communauté et Einstein lui-même se sont immédiatement plongés dans des discussions sans fin et des analyses plus poussées de l'"*aspect mouvement relatif*" de sa théorie de la RR.

Un siècle plus tard, cet aspect de la RR fait encore l'objet d'arguments constants et de publications ultérieures dans la communauté, étant donné la différence entre le comportement observable des masses à notre niveau macroscopique et celui de la masse de l'électron au niveau subatomique, tel que révélé par les expériences de Kaufmann, que le même article de Lorentz de 1904 a également mis en lumière [1], et que nous allons maintenant examiner.

3. Adoption de la première équation de mécanique électromagnétique par la communauté de l'ingénierie

Avant d'entrer dans l'analyse des conclusions de Lorentz de 1904 [1] à propos des données de Kaufmann [6] [7], qui ont confirmé la première équation permettant le contrôle complet de la trajectoire et de la vitesse d'une particule élémentaire massive et chargée au niveau subatomique, établissant ainsi le premier pont entre la mécanique classique, qui traite du contrôle des corps massifs à notre échelle macroscopique, et la

Démystification de l'équation de force de Lorentz

mécanique électromagnétique qui traite du contrôle des particules chargées au niveau subatomique, grâce à l'électron possédant simultanément une masse au repos invariante ($m_0=9.10938188E-31$ kg) et une charge en tout temps invariante ($e=1,602176462E-19$ C), mettons brièvement en perspective les connaissances précédemment établies sur lesquelles reposaient ses recherches.

L'interaction mutuellement perpendiculaire entre les aspects électrique E et magnétique B de la lumière se déplaçant dans le vide dans une direction qui ne peut être que perpendiculaire aux deux champs E et B , a été comprise par Maxwell comme étant la raison pour laquelle la *lumière* peut se déplacer à une vitesse invariable c dans le vide, comme le démontrent les dérivées partielles secondes des équations électromagnétiques tirées d'expériences réalisées par des expérimentateurs antérieurs [30]. Maxwell arriva à cette conclusion après que Faraday l'eut informé en 1845 qu'il avait observé que la lumière traversant une plaque de verre devenait polarisée lorsqu'il plaçait la plaque entre les pôles magnétiques de son électroaimant, un comportement qui reçut le nom d'*Effet Faraday*.

Cette information a convaincu Maxwell que la *lumière* devait être une forme d'énergie libre qui ne pouvait être que de nature électromagnétique, se propageant dans le vide à la vitesse révélée par ses calculs de dérivée partielles seconde, une vitesse qui était maintenue par l'interaction de ces deux champs séparés, l'un électrique et l'autre magnétique, interagissant perpendiculairement l'un par rapport à l'autre, et perpendiculairement à la direction du mouvement de l'énergie lumineuse. Il fut en fait le premier à associer mathématiquement une vitesse à la lumière, c'est-à-dire à l'énergie électromagnétique en mouvement libre, au moyen d'un calcul direct [31].

$$c = \frac{E}{B} \quad (1)$$

Environ 20 ans après la publication des conclusions de Maxwell en 1865, Heaviside, simplifia les 20 équations de Maxwell sous forme des 4 équations qui sont universellement utilisées depuis [17], et établit également pour la première fois qu'un champ magnétique appliquerait une *force*, qui se manifeste sous la forme d'une *pression* sur la surface infinitésimale ds du point d'appui d'une particule chargée au comportement quasi-ponctuel en mouvement libre et qui détermine sa vitesse – voir la **Section 13** sur ce point particulier – et que cette *pression*, ou *force*, peut être calculée lorsque la charge de la particule et l'intensité du champ magnétique B ambiant sont connues.

$$F = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (2)$$

Étant donné que la *pression* est définie comme étant une *force* appliquée perpendiculairement à la surface d'un objet par unité de surface (S) sur laquelle cette force est répartie, les dimensions d'une *pression* dans le système SI sont exprimées en "*Newtons par mètre carré*" ($P_S = F_S = \text{Newtons/m}^2$). Dans le cas d'une particule chargée à comportement quasi-ponctuel, cette surface tend par structure à se réduire mathématiquement, à la limite, à une "*surface infinitésimale*" représentant le *point d'appui quasi-ponctuel* pratiquement sans dimension de la particule au comportement quasi-ponctuel [26], qui peut être mathématiquement représenté par une surface infinitésimale ds pour fins de calcul, sur laquelle la pression sera appliquée ($P_{S \rightarrow ds} = F_{S \rightarrow ds}$

Démystification de l'équation de force de Lorentz

= F = Newtons).

Si une telle particule chargée au comportement ponctuel est immobilisée dans un état d'équilibre électromagnétique stationnaire, une force appliquée à cette surface ds idéalisée qui serait insuffisante pour surmonter cet état stationnaire ne peut avoir pour résultat que la vitesse de la particule demeure à zéro (v_0) même si la pression demeure entièrement appliquée – voir la **Section 13** pour un développement plus approfondi de cette relation entre *pression* et *force* :

$$\mathbf{P}_{S=ds} = q(\mathbf{v}_0 \times \mathbf{B}) \quad (3)$$

Mais si la *pression* / *force* ($\mathbf{P}_{S=ds} = \mathbf{F}_{S=ds}$) exercée sur le point d'appui de la particule par le champ magnétique \mathbf{B} est suffisante pour surmonter l'état électromagnétique stationnaire qui immobilise la particule chargée, alors la *pression* appliquée et constamment maintenue sur la particule par le champ magnétique \mathbf{B} fera en sorte que la particule commence à se déplacer à la vitesse correspondante, calculable avec l'équation mentionnée précédemment établie par Heaviside :

$$\mathbf{P}_{S=ds} = \mathbf{F}_{S=ds} = \mathbf{F} = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (4)$$

Dix ans plus tard, Lorentz a eu l'intuition que si les champs électriques et magnétiques en interaction transversale mutuelle, tels que les concevait Maxwell, pouvaient propulser l'énergie lumineuse à la vitesse c dans le vide, alors peut-être pouvaient-ils aussi être réunis pour contrôler précisément le mouvement des particules chargées, telles que l'électron. L'idée lui vint alors de combiner l'équation de force de Coulomb, qui permet de contrôler l'intensité du champ \mathbf{E} au voisinage d'un électron $\mathbf{F} = e \cdot \mathbf{E} = k(e \cdot q / d^2) - q$ étant la somme des charges du voisinage qui établissent le champ \mathbf{E} en fonction de l'inverse du carré des distances moyennes d qui les séparent de l'électron e , et $k=1/4\pi\epsilon_0$ étant la constante de Coulomb – pour contrôler son accélération, à l'équation de force de Heaviside $\mathbf{F} = e(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$, qui établit sa vitesse en fonction de l'intensité du champ magnétique \mathbf{B} associé, tous les aspects du mouvement de l'électron ont pu être pris en compte, aboutissant à sa célèbre équation générale :

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (5)$$

Kaufmann procéda ensuite à des expériences avec des électrons en mouvement libre en utilisant des champs électriques et magnétiques en interaction de la manière suggérée par Lorentz, observant et mesurant leurs trajectoires dans une chambre à bulles, et recueillit les données qu'Abraham et Lorentz analysèrent ensuite, confirmant que non seulement une quantité d'énergie cinétique de momentum était induite dans les électrons par l'interaction de Coulomb pour expliquer leur mouvement longitudinal, mais qu'une énergie transversale était également induite simultanément dans les électrons, qui pouvait être mesurée longitudinalement et transversalement, contrairement à l'énergie cinétique de momentum qui ne pouvait être mesurée que longitudinalement, une énergie transversale qui ajoutait momentanément une masse supplémentaire mesurable à la masse invariante au repos de l'électron, fonction de sa vitesse.

Dans son célèbre article de 1904 [1], dans lequel Lorentz commentait et corrélait les données expérimentales recueillies par Kaufmann de 1901 à 1903 [6] [7] [32] [33],

Démystification de l'équation de force de Lorentz

précédemment analysées par Abraham [34], qui confirmaient la validité de l'équation de force qu'il avait établie en 1895 [17], il concluait clairement en se référant aux équations (30) de son développement que :

"Folglich verhält sich das Elektron bei Vorgängen, bei welchen eine Beschleunigung in der Bewegungsrichtung auftritt, als ob es die Masse m_1 hätte, bei Beschleunigung in einer zur Bewegung senkrechten Richtung, als ob es die Masse m_2 besäße. Diese Größen m_1 und m_2 werden deshalb passend die „longitudinale“ und „transversale“ elektromagnetische Masse genannt. Ich nehme an, daß außerdem keine „wirkliche“ oder „materielle“ Masse besteht."

Traduction :

"Par conséquent, dans les processus dans lesquels l'accélération se produit dans la direction du mouvement, l'électron se comporte comme s'il avait la masse m_1 , et dans l'accélération dans une direction perpendiculaire au mouvement, il se comporte comme s'il avait la masse m_2 . Ces quantités m_1 et m_2 sont donc nommées à juste titre les masses électromagnétiques 'longitudinale' et 'transversale'. Je supposerai que, par ailleurs, il n'existe pas de masse 'réelle' ou 'matérielle'."

Lorentz représente ces deux états perpendiculaires mesurables de l'accélération de l'électron, c'est-à-dire l'accélération dans la direction de sa trajectoire, et l'accélération perpendiculaire à celle-ci, par les deux équations suivantes ([1], Équations (30)) :

$$m_1 = \frac{e^2}{6\pi c^2 R} \frac{d(kl\omega)}{d\omega} \quad \text{pour l'accélération longitudinale} \quad (6)$$

et

$$m_2 = \frac{e^2}{6\pi c^2 R} kl \quad \text{pour l'accélération transversale} \quad (7)$$

Et enfin, pour des vitesses négligeables qui réduisent le rapport v^2/c^2 du facteur γ – représenté par k dans ses équations (expliquées plus bas) – à une valeur infinitésimale, qui à son tour réduit la valeur du facteur γ à 1, la masse de l'électron est considérée comme demeurant à sa valeur de masse au repos, c'est-à-dire la masse initiale utilisée dans l'équation d'accélération $F=ma$ telle que définie dans la mécanique newtonienne (définie selon notre notation moderne comme m_0), il assimile m_1 et m_2 à la définition électromagnétique de cette masse au repos, lorsque la vitesse de l'électron est théoriquement nulle :

$$m_0 = m_1 = m_2 = \frac{e^2}{6\pi c^2 R} \quad (8)$$

Commentant également les expériences réalisées par Kaufmann [7] au moyen de l'équation de force développée par Lorentz, et le calcul également réalisé par Abraham à partir des mêmes données de Kaufmann [34], Henri Poincaré conclut en 1905 ([35], p. 137) :

Démystification de l'équation de force de Lorentz

"Les calculs d'Abraham et les expériences de Kaufmann ont alors montré que la masse mécanique proprement dite est nulle et que la masse des électrons, ou au moins des électrons négatifs, est d'origine exclusivement électrodynamique. Voilà qui nous force à changer la définition de la masse; nous ne pouvons plus distinguer la masse mécanique de la masse électrodynamique, parce qu'alors la première s'évanouirait; il n'y pas d'autre masse que l'inertie électrodynamique; mais dans ce cas la masse ne peut plus être constante, elle augmente avec la vitesse; et même, elle dépend de la direction, et un corps animé d'une vitesse notable n'opposera pas la même inertie aux forces qui tendent à le dévier de sa route, et à celles qui tendent à accélérer ou à retarder sa marche."

4. Le point tournant de 1907

De son propre aveu, Einstein a travaillé de manière isolée à l'élaboration de sa théorie de la relativité restreinte pendant plus de 7 ans avant de produire son article historique du 30 juin [5], quelques semaines seulement après que Poincaré ait publié sa note du 5 juin sur la *transformation de Lorentz* [4], qui a immédiatement été largement diffusée comme c'était l'habitude de l'*Académie des sciences française*, et qui semblait confirmer ce qu'il soupçonnait depuis le début, à savoir que l'existence du mouvement absolu ne pouvait *apparemment* pas être prouvée dans la réalité physique.

Il semble que l'attention d'Einstein ait été attirée plus particulièrement sur cette conclusion spécifique de Lorentz avant qu'il ne publie son article de 1905 [1], en accordant momentanément moins d'attention au comportement des électrons tel qu'analysé dans l'article de Lorentz, qui avait été étudié depuis 1887, à l'initiative de Heaviside [18], puis Voigt [36], Lorentz en 1895 [17], et expérimentalement par Kaufmann en 1901, 1902 et 1903 [6] [7] [32] [33], dont les résultats ont été analysés par Abraham en 1902 [27] et par Lorentz lui-même en 1904, et finalement rapportés par Poincaré dans son ouvrage *La valeur de la science* publié en 1905 [35].

Le problème avec cette situation est que cette différence observée entre le taux de variation de l'inertie transversale de l'électron en accélération et son taux de variation différent d'inertie longitudinale maintenant rendus évidents au niveau subatomique, correspondant aux termes m_1 et m_2 de l'analyse de Lorentz, n'avait jamais été observée dans aucune expérience réalisée avec des masses macroscopiques. Les termes m_1 et m_2 de Lorentz confirmés n'ont donc pas été incorporés dans la théorie de la relativité restreinte, ne laissant que l'énergie du momentum longitudinal augmentant en fonction du facteur γ à être intégré dans la relativité restreinte, puisque l'appliquer uniquement à l'énergie du momentum semblait satisfaire le comportement observable des masses à notre niveau macroscopique.

Cette contradiction apparente entre le comportement des électrons et celui des masses macroscopiques attira bien sûr rapidement l'attention de la communauté, et toute une série d'expériences furent réalisées, principalement par Bucherer et Neumann [37] [38], qui confirmèrent toutes les données de Kaufmann. Planck, par exemple, ré-analisa les données de Kaufmann [39] et ne trouva aucune faille dans l'analyse de Kaufmann, et il en

Démystification de l'équation de force de Lorentz

fut de même pour la ré-analyse de Poincaré [40]. De l'aveu même de Lorentz, aucune des expériences ne semblait confirmer la contraction des longueurs qu'il avait lui-même introduite avec son concept de transformations relatives dans le même article de 1904 [1] sur lequel Einstein avait fondé sa théorie de 1905, et il a suggéré de procéder à une analyse plus approfondie [41].

Mais Einstein ne changea pas d'avis [42] [43]:

"Herr Kaufmann has determined the relation between [electric and magnetic deflection] of β -rays with admirable care. ... Using an independent method, Herr Planck obtained results which fully agree with Kaufmann. ... It is further to be noted that the theories of Abraham and Bucherer yield curves which fit the observed curve considerably better than the curve obtained from relativity theory. However, in my opinion, these theories should be ascribed a rather small probability because their basic postulates concerning the mass of the moving electron are not made plausible by theoretical systems which encompass wider complexes and phenomena."

Traduction :

"Monsieur Kaufmann a déterminé la relation entre [la déviation électrique et magnétique] des rayons β avec un soin admirable. ... En utilisant une méthode indépendante, monsieur Planck a obtenu des résultats qui concordent entièrement avec ceux de Kaufmann. ... Il est en outre à noter que les théories d'Abraham et de Bucherer donnent des courbes qui s'adaptent à la courbe observée considérablement mieux que la courbe obtenue par la théorie de la relativité. Toutefois, à mon avis, il faut attribuer à ces théories une probabilité plutôt faible, car leurs postulats de base concernant la masse de l'électron en mouvement ne sont pas rendus plausibles par des systèmes théoriques qui incluent des complexes et des phénomènes plus larges."

Considérant que l'ensemble de sa production scientifique démontre que durant toute sa vie, Einstein était convaincu que la clé de la résolution du problème de la gravitation n'implique qu'une interaction entre des masses macroscopiques de taille astronomique, et bien qu'il ait parfaitement compris que l'électron se comporte au niveau subatomique conformément aux données de Kaufmann, il ne voyait pas comment un tel comportement au niveau subatomique pouvait avoir une quelconque incidence dans la recherche d'une explication à la gravitation, Cette recherche a abouti à son article du 4 novembre 1915 qui décrit les principaux aspects de sa théorie de la relativité générale (RG), laquelle aborde effectivement la question de la gravitation uniquement du point de vue du niveau de magnitude astronomique, mais écarte complètement la possibilité que le comportement des masses subatomiques telles que celui de l'électron puisse contribuer à la solution finale.

L'opinion d'Einstein concernant les données de Kaufmann était en effet approuvée par ses collègues, comme le révèle cette citation d'Abraham Pais ([43], p.159) :

"Special Relativity killed the classical dream of using the energy-momentum-velocity relations of a particle as a means of probing the dynamic

Démystification de l'équation de force de Lorentz

origin of its mass. The relations are purely kinematic. The classical picture of a particle as a finite little sphere is also gone for good. Quantum field theory has taught us that particles nevertheless have structure, arising from quantum fluctuations. Recently, unified field theories have taught us that the mass of the electron is certainly not purely electromagnetic in nature. But we still do not know what causes the electron to weigh."

Traduction :

"La relativité restreinte a tué le rêve classique d'utiliser les relations énergie-momentum-vitesse d'une particule comme moyen de sonder l'origine dynamique de sa masse. Ces relations sont purement cinématiques. L'image classique d'une particule comme une petite sphère finie a également disparu pour de bon. La théorie quantique des champs nous a appris que les particules ont néanmoins une structure, issue des fluctuations quantiques. Récemment, les théories unifiées des champs nous ont appris que la masse de l'électron n'est certainement pas de nature purement électromagnétique. Mais nous ne savons toujours pas ce qui cause la masse de l'électron."

Le regrettable résultat de cette opinion générale dans la communauté de la physique théorique au début des années 1900 est que, pendant le siècle dernier, bien que la communauté de l'ingénierie ait utilisé avec succès l'équation de force de Lorentz confirmée pour contrôler les trajectoires des électrons libres avec le plus haut degré de précision dans l'ensemble des applications fonctionnelles développées à ce jour, y compris les accélérateurs de particules à haute énergie [44], la plupart des membres des communautés de la physique fondamentale et de l'astrophysique, qui accordèrent plutôt du crédit à la relativité restreinte et à la relativité générale, sont devenus de moins en moins conscients du comportement confirmé des électrons au niveau subatomique, en raison du fait que toute la littérature relative à la RR et à la RG ne fait jamais référence et n'explique jamais la perspective Heaviside-Lorentz-Kaufmann, aujourd'hui presque oubliée – sauf dans la communauté de l'ingénierie, heureusement – et sont progressivement devenus convaincus, sans se poser de questions, que la masse de l'électron en accélération demeure constante à toutes les vitesses et que seule la quantité d'énergie du momentum dépendant du facteur γ varie avec ces vitesses, ce qui explique en grande partie pourquoi si peu de progrès théoriques ont été réalisés en électromagnétisme fondamental au cours du siècle dernier.

Étant donné qu'aucune référence n'a jamais été faite depuis 1907 dans les manuels de référence sur la RR et de RG à propos de l'accord collectif de la communauté des physiciens du début des années 1900 selon lequel les analyses d'Abraham et de Lorentz des données de Kaufmann étaient correctes, cela explique pourquoi génération après génération de physiciens n'ont jamais entendu parler de cet accord et aussi pourquoi, cent ans plus tard, plusieurs physiciens chevronnés, qui n'ont manifestement pas connaissance de la décision collective de 1907, affirment avec force, en s'appuyant sur la base de connaissances trop restreinte fournie par ces ouvrages de référence sur la RR et la RG, que "le gain de masse avec la vitesse est une illusion".

Nous allons maintenant voir que l'opinion générale de la communauté des physiciens

Démystification de l'équation de force de Lorentz

du début des années 1900 résumée par Pais était tout à fait prématurée à la lumière de ce qui a été découvert par la suite, dans les années 1930 sur la nature électromagnétique de l'énergie dont est constituée la masse au repos de l'électron, et dans les années 1960 à propos des sous-composants élémentaires chargés et massifs qui constituent la structure interne des protons et des neutrons, et enfin à propos de la découverte en 2003 que le champ \mathbf{B} transversal local d'un électron en mouvement libre augmente avec sa vitesse de manière synchrone avec l'augmentation de sa masse transversale, tel que mesuré par Kaufmann cent ans plus tôt.

Nous verrons que ce ne sont pas les relations énergie-momentum-vitesse d'une particule qui peuvent être utiles pour sonder l'origine dynamique de la masse de l'électron, mais l'équation générale de la force de Lorentz.

Bien sûr, l'image classique naïve des particules élémentaires comme de petites sphères finies a disparu pour de bon. Mais à la lumière des connaissances plus étendues dont nous disposons aujourd'hui, l'idée que les relations entre les masses puissent être purement cinématiques est au contraire tout à fait illusoire et s'avèrent être en fait de nature purement électromagnétique.

En outre, bien que la théorie quantique des champs (QFT) fondée sur l'interprétation de Ludwig Lorenz, qui traite les champs \mathbf{E} et \mathbf{B} comme un seul champ unifié, ne permette pas de conclure que les particules électromagnétiques peuvent avoir une structure interne, la mécanique électromagnétique fondée sur l'interprétation initiale de Maxwell, qui traite les champs \mathbf{E} et \mathbf{B} comme distincts et s'induisant mutuellement en alternance, le fait tout naturellement, comme nous le verrons bientôt.

Enfin, contrairement à ce que les *théories des champs unifiés* semblent nous enseigner, grâce aux découvertes faites dans les années 1930, nous savons maintenant avec certitude que la masse de l'électron est de nature purement électromagnétique, et que c'est l'*inertie omnidirectionnelle* de l'énergie constituant sa masse au repos, plus la contribution supplémentaire de l'*inertie omnidirectionnelle* du champ magnétique \mathbf{B} transversal adiabatiquement induit de son énergie porteuse en supplément de son énergie cinétique de momentum aussi adiabatiquement induite, qui fait en sorte que l'électron possède une masse.

5. Synchronisation de la notation mathématique

Historiquement, une tendance s'est progressivement développée dans la communauté des physiciens selon laquelle la compréhension ultime de la Nature devrait aboutir au développement d'une équation générale qui résumerait toutes nos connaissances sur la Nature et dont toutes les équations utiles pourraient alors être dérivées.

Pour un certain nombre d'idéalistes de la communauté des physiciens orthodoxes, les équations de Friedmann développées en 1922 à partir des théories d'Einstein sont considérées comme incarnant cet accomplissement ultime. Mais bien sûr, comme toujours au cours de l'histoire, de plus en plus d'informations sur la nature sont recueillies au fil du temps, et beaucoup plus de choses ont été apprises sur la nature au cours du siècle dernier, de sorte qu'il ne fait aucun doute qu'un nouvel ensemble d'équations plus

Démystification de l'équation de force de Lorentz

idéales, pour ainsi dire, elles aussi "ultimes", seront probablement développées sur la piste conduisant à cette équation finale hypothétique, à partir de l'ensemble désormais plus vaste des connaissances accumulées.

Dans le domaine spécifique de l'électromagnétisme, l'équation de force de Lorentz est une telle équation idéalisée qui résume tout ce qui était compris à la fin du 19^{ème} siècle sur la nature et le comportement des électrons au niveau subatomique. Il s'agit en fait d'un regroupement idéalisé des deux développements mathématiques qui ont permis pour la première fois de contrôler avec précision le mouvement des électrons sur trajectoires libres par des combinaisons précises de champs électriques et magnétiques, ce qui fut confirmé par les expériences de Kaufmann et par le développement réussi de nombreux types d'accélérateurs à haute énergie tout au long du 20^e siècle, depuis le premier cyclotron conçu et construit par Lawrence en 1932 [45] jusqu'au *Grand collisionneur de hadrons* (LHC) du CERN, entré en service en 2008.

Étant une équation généralisée, résumant et combinant en apparence deux équations différentes, elle donne par défaut l'impression qu'une seule force résulte de sa résolution. On y réfère en effet généralement dans la communauté comme étant "la" force de Lorentz, alors qu'en réalité, deux forces différentes sont calculées, l'une liée au champ électrique E du premier terme et l'autre liée au champ magnétique B du deuxième terme. Elles agissent opposition l'une par rapport à l'autre sur la charge de l'électron en mouvement, et le forcent à se déplacer en ligne droite lorsqu'elles sont égales [31].

De l'avis du présent auteur, les divers aspects du fonctionnement des accélérateurs à haute énergie et du contrôle des faisceaux de particules chargées sont présentés de la manière la plus optimale dans l'ouvrage de référence exceptionnel de Stanley Humphries Jr. intitulé "*Principles of Charged Particle Acceleration*" [44].

Notons que les symboles utilisés par Lorentz dans les équations (6) et (7) pour représenter la vitesse et le facteur gamma étaient respectivement ω et k , ce dernier étant maintenant mieux connu comme le facteur de Lorentz. Dans le présent ouvrage, les symboles modernes v pour la vitesse et γ pour le facteur de Lorentz seront utilisés.

Le coefficient l , quant à lui, était fonction de la vitesse, et se résout à 1 lorsque la vitesse est nulle, tout comme le facteur γ , comme dans l'Équation (8). Notons également que le coefficient l était destiné par Lorentz à relier la vitesse de l'électron à l'état de mouvement d'un observateur. Mais puisque nous allons étudier l'équation de force de Lorentz en relation avec la vitesse absolue de l'électron strictement déterminée par la quantité instantanée de son énergie de momentum, ce coefficient se résout à 1 dans toutes les équations et sera ignoré.

Dans son article [1], Lorentz définit le facteur γ avec son Équation (3) :

$$\frac{c^2}{c^2 - w^2} = k^2 \quad \text{soit :} \quad k = \frac{c}{\sqrt{c^2 - w^2}} \quad (9)$$

En développant cette forme jusqu'à la limite, on obtient la forme moderne plus familière :

Démystification de l'équation de force de Lorentz

$$\gamma = k = \frac{c}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{c^2 - v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (10)$$

Mais bien que cette dernière forme soit généralement mentionnée dans les ouvrages de référence, les calculs avec les calculatrices scientifiques de poche sont énormément simplifiés lorsqu'on utilise la forme suivante, qui laisse une seule fraction dans l'expression :

$$\gamma = \frac{c}{\sqrt{c^2 - v^2}}$$

La notation historique utilisée par Lorentz dans son article de 1904 étant maintenant devenue peu familière pour la plupart, nous allons maintenant convertir les équations (6), (7) et (8) en leur notation moderne équivalente avant de procéder à leur analyse.

La masse au repos de l'électron est maintenant symbolisée par m_0 . Il s'agit de sa masse invariante bien connue lorsque sa vitesse est théoriquement nulle, c'est-à-dire lorsque l'on suppose classiquement que son énergie cinétique est également nulle. Cette masse au repos est établie comme une constante physique avec la valeur $m_0=9.10938188E-31$ kg. L'Équation (8) sera maintenant résolue comme suit lorsqu'elle est calculée du point de vue de l'équation de Coulomb :

$$m_0 = m_1 \text{ (v=0)} = m_2 \text{ (v=0)} = \frac{e^2}{6\pi c^2 R} = \frac{e^2}{4\pi \epsilon_0 r_e c^2}$$

Se résolvant à :

$$m_0 = \frac{e^2}{4\pi \epsilon_0 r_e c^2} = 9.10938188E - 31 \text{kg} \quad (11)$$

Dans laquelle r_e est la constante physique connue sous le nom de *rayon classique de l'électron* ($r_e = 2,817940285E-15$ m), utilisée avec l'équation de Coulomb pour calculer la masse invariante au repos de l'électron.

L'Équation (7) représente ce que Lorentz a identifié comme la masse variable d'un électron accélérant dans une direction perpendiculaire à sa direction de mouvement sur sa trajectoire dans l'espace, et qu'il décrit comme se comportant "comme si" elle était plus grande que sa masse au repos m_0 représentée par l'Équation (11), et qui correspond à la masse au repos de l'électron m_0 plus un incrément de masse $\Delta m = \gamma m_0 - m_0$, ce dernier correspondant à l'incrément de masse transversal lié à la vitesse dont l'énergie a été identifiée en 2003 par Paul Marmet comme causant l'augmentation du champ magnétique \mathbf{B} de l'électron lorsque sa vitesse augmente sur sa trajectoire [12] [46], et qui correspond au second terme de l'équation de la force de Lorentz $F = e (\mathbf{v} \times \mathbf{B})$, comme nous le précisons plus loin :

$$m_2 = \frac{e^2}{6\pi c^2 R} kl = \gamma m_0 = \gamma \frac{e^2}{4\pi \epsilon_0 r_e c^2}$$

Démystification de l'équation de force de Lorentz

Se résolvant pour l'accélération transversale à :

$$m_2 = \gamma m_0 = m_0 + \Delta m = \gamma \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_e c^2} \quad (12)$$

Et enfin, l'Équation (6), représentant ce que Lorentz a identifié comme la "masse" longitudinale variable de l'électron en accélération, c'est-à-dire son inertie mesurable dans sa direction de déplacement, et qu'il décrit se comporter "comme si" elle était plus élevée pour une même vitesse que la masse $m_2=m_0+\Delta m$ représentée par l'Équation (12), elle-même plus grande que m_0 représentée par l'Équation (11). La seule énergie supplémentaire que l'on peut identifier comme agissant longitudinalement sur un électron en mouvement se trouvant être l'énergie de son momentum ΔK .

Notons que le terme "masse" auquel Lorentz se réfère, représenté par le terme m_1 , inclut l'énergie cinétique ΔK du momentum de l'électron en tant qu'incrément de masse car à son époque, il n'était pas encore clairement établi que sa composante d'énergie cinétique de momentum $\Delta K=\gamma m_0 v^2/2$ ne faisait pas partie de sa masse variable réelle $m_2=\gamma m_0=\Delta m+m_0$ [12], bien qu'elle se comporte longitudinalement – mais pas transversalement – avec la même inertie que si elle faisait partie de la masse variable longitudinale, ce qui permet, dans l'attente de précisions ultérieures décrites plus loin, de supposer momentanément que ΔK se comporte comme un "incrément de masse théorique", en le divisant par c^2 pour établir clairement le développement logique de Lorentz :

$$\begin{aligned} m_1 &= \frac{e^2}{6\pi c^2 R} \frac{d(kl\omega)}{d\omega} = \left(\frac{\gamma m_0 v^2}{2c^2} + \gamma m_0 \right) = m_0 + \frac{\Delta K}{c^2} + \Delta m = \\ &= \gamma m_0 \left(\frac{v^2}{2c^2} + 1 \right) = \gamma \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_e} \left(\frac{v^2}{2c^2} + 1 \right) \end{aligned}$$

Se résolvant pour l'accélération longitudinale à :

$$m_1 = \left(\frac{\gamma m_0 v^2}{2c^2} + \gamma m_0 \right) = m_0 + \frac{\Delta K}{c^2} + \Delta m = \gamma \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_e c^2} \left(\frac{v^2}{2c^2} + 1 \right) \quad (13)$$

Bien sûr, des conversions d'équations sans confirmation numérique ne sont jamais garanties sans erreur, donc avant de continuer, nous allons vérifier les équations résultantes avec une vitesse relativiste bien connue pour confirmer que les formes modernisées des équations de Lorentz ont été correctement établies et demeurent conformes à l'intention de Lorentz.

La vitesse relativiste de référence que nous utiliserons est la vitesse relativiste de référence typique liée à l'énergie moyenne $E=4.359743085E-18$ j de l'électron lorsqu'il est stabilisé dans l'état fondamental d'action stationnaire de l'atome d'hydrogène $v=2187647.561$ m/s, dont la longueur d'onde est $\lambda=4.556335261E-8$ m et la fréquence $f=6.579683909E15$ Hz, dont un cycle a été découvert par de Broglie en 1924 comme correspondant exactement à une unité d'énergie représentée par la constante h de Planck,

Démystification de l'équation de force de Lorentz

tel que clarifié dans un article de 2017 [47] et sa réédition finale augmentée de 2021 [48], ce qui explique pourquoi la fréquence de tous les photons émis par les électrons qui se désexcitent en retournant à leur orbitale stable d'état de repos dans les atomes sont des harmoniques de cet état de résonance fondamental.

Bien sûr, le fait que cette quantité moyenne d'énergie porteuse $E=4.359743085E-18$ j induite adiabatiquement dans l'électron lorsqu'il est captif de l'orbitale de résonance stationnaire de moindre action de l'atome d'hydrogène ne signifie en aucun cas que l'électron se déplace sur une orbite fermée autour du proton à cette vitesse relativiste, comme cela est clairement mis en perspective dans la référence [49] et sa réédition finale étendue [50]. Cette question particulière sera clarifiée à la **Section 10**.

Lorsqu'elle est ainsi stabilisée, la composante d'énergie de momentum $\Delta K = m_0 c^2 (\gamma - 1) = 2.179871903E-18$ j de cette énergie porteuse peut être comprise comme appliquant une pression constante dans la direction vectorielle d'application de cette composante d'énergie de mouvement unidirectionnelle de l'énergie porteuse de l'électron si sa vitesse est entravée, sur le point d'appui de l'électron à comportement ponctuel identifié à la référence [26], mathématiquement représentable comme une surface infinitésimale ds , une *pression* qui est égale en valeur numérique à la *force* calculée avec la première composante de l'équation de force de Lorentz, c'est-à-dire la force calculée avec l'équation de Coulomb pour l'électron en mouvement, a_0 étant le rayon de Bohr :

$$P = F = e \mathbf{E} = \frac{e^2}{4\pi \epsilon_0 a_0^2} \quad (14)$$

Mais il a été clairement établi dans toutes les expériences d'accélération d'électrons depuis les premières expériences réalisées par Kaufmann [7] que lorsqu'une telle quantité d'énergie porteuse – énergie cinétique de momentum ΔK plus une quantité égale d'énergie de champ magnétique transversal correspondant à $\Delta \mathbf{B}$ ou à Δm_m est induite dans des électrons en mouvement libre, ces électrons se déplaceront effectivement à cette vitesse sur leurs trajectoires individuelles, tel que vérifié et confirmé par Planck, Poincaré, Bucherer, Newman et Einstein lui-même [43], tel que mis en perspective précédemment. La forme $\Delta \mathbf{B}$ sera expliquée plus loin.

Nous allons maintenant comparer l'augmentation de la masse d'un électron en mouvement par rapport à la masse au repos de référence m_0 formulée par l'Équation (11), en tant que *masse longitudinale* mesurable m_1 et en tant que *masse transversale* mesurable m_2 selon les conclusions de Lorentz à partir des données expérimentales de Kaufmann pour la vitesse relativiste de référence choisie de $v=2187647.561$ m/s.

L'équation de la masse m_0 de l'électron au repos est reportée ici par commodité :

$$m_0 = \frac{e^2}{4\pi \epsilon_0 r_e c^2} = 9.10938188E - 31 \text{ kg} \quad (11)$$

La masse transversale m_2 lorsque l'électron se déplace à la vitesse $v=2187647.561$ m/s – en résolvant le facteur γ avec cette vitesse – sera :

Démystification de l'équation de force de Lorentz

$$m_2 = \gamma m_0 = \gamma \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_e c^2} = 9.109624417E-31 \text{ kg} \quad (15)$$

La masse m_2 fournie par l'Équation (15) implique que l'énergie magnétique transversale de l'électron augmente d'une quantité correspondant à l'augmentation de la masse Δm_m mesurable transversalement [49] [50], et sera égale à :

$$\Delta m_m = \frac{\mu_0 e^2 v^2}{8\pi r_e c^2} = 2.425337715E-35 \text{ kg} \quad (16)$$

Alors:

$$m_0 + \Delta m_m = 9.10938188E-31 \text{ kg} + 2.425434194E-35 \text{ kg} = 9.109624423E-31 \text{ kg}.$$

La "masse" longitudinale m_l mesurable de l'électron se déplaçant à la vitesse $v=2187647.561$ m/s sera alors :

$$m_l = \left(\frac{\gamma m_0 v^2}{2c^2} + \gamma m_0 \right) = 9.109866957E-31 \text{ kg} \quad (17a)$$

Aussi calculable par addition :

$$\begin{aligned} m_l &= m_0 + \left(\Delta K/c^2 + \Delta m_m \right) = 9.10938188E-31 \text{ kg} + 4.850868388E-35 \text{ kg} \\ &= 9.109866957E-31 \text{ kg} \end{aligned} \quad (17b)$$

Nous observons que la "masse" longitudinale m_l est supérieure à la masse transversale m_2 d'une quantité de $2.425402292E-35$ kg, et que la masse transversale m_2 est supérieure à la masse au repos m_0 d'une quantité pratiquement égale de $2,425434576E-35$ kg, pour une quantité totale en excès de la masse au repos m_0 de $4,850836867E-35$ kg. En convertissant cette quantité d'énergie en joules, on obtient $4,359714795E-18$ j, qui est la quantité d'énergie adiabaticquement induite dans l'électron, lorsqu'il est stabilisé à la distance moyenne de l'état fondamental, par rapport au proton dans un atome d'hydrogène, et qui peut être directement calculée à l'aide de l'équation de Coulomb, et qui applique une pression de $P=e^2/4\pi\epsilon_0 a_0^2=8.238721806E-8$ Newtons orientée vers le proton contre la surface infinitésimale ds du point d'appui de l'électron stabilisé en état de résonance axiale à cette distance moyenne du proton, ou alternativement, à la surface infinitésimale ds du point d'appui d'un électron se déplaçant sur trajectoire libre à la vitesse relativiste $v=2187647,561$ m/s.

En résumé, transposé en notation classique/relativiste moderne en remplacement de la notation classique/relativiste archaïque de l'époque de Lorentz, voici ce que Lorentz a calculé à partir des données fournies par Kaufmann, calculs dont la validité a été confirmée par la suite par les physiciens de pointe de son époque, dont Einstein ([43], p.159), et dont l'équation de calcul électromagnétique – l'équation de force de Lorentz – a été utilisée depuis lors par la communauté de l'ingénierie, mais que la décision d'ignorer dans l'établissement de la théorie de la relativité restreinte que ces physiciens de pointe ont prise en 1907, en accord avec l'opinion d'Einstein, a fait en sorte qu'elle n'a pas été mentionnée ni prise en considération par la suite dans la recherche ultérieure de la résolution de la question gravitationnelle.

6. Découvertes faites après la décision déterminante de 1907

En 1923, Louis de Broglie arriva à la conclusion que la seule façon d'expliquer les spectres électromagnétiques des différents atomes était que tous les électrons devaient être stabilisés dans une série d'états de résonance, en observant que toutes les fréquences de leurs spectres électromagnétiques étaient ordonnées selon une séquence de nombres entiers comme les états de résonance macroscopiques connus au niveau macroscopique, et a découvert que cette séquence était liée à l'énergie d'un cycle de l'énergie de l'électron stabilisé dans l'orbite de Bohr de l'atome d'hydrogène, cycle dont la valeur énergétique correspondait exactement à la constante de Planck [47] [48] [49] [50] [51].

Trois ans plus tard, fin 1926, Erwin Schrödinger introduisit l'équation d'onde qui devait rendre compte des états et des volumes de résonance supposés par de Broglie [52].

Un an plus tôt, fin 1925, Werner Heisenberg avait publié le premier article sur sa mécanique matricielle, destinée à rendre compte de la distribution de l'énergie dans les limites des volumes de résonance que de Broglie avait supposés et que l'équation d'onde de Schrödinger devait bientôt définir [53]. Les deux méthodes ont ensuite été fusionnées dans ce qui allait devenir la Mécanique quantique, complétée plus tard par la méthode de l'intégrale du chemin de Feynman [54]. L'idée même que les orbitales électroniques étaient sensée être des volumes de résonance d'un électron localisé en permanence tel que compris par de Broglie et Schrödinger finit par être négligée et oubliée.

L'objectif commun de de Broglie et de Schrödinger était de parvenir à établir la mécanique d'émission des photons électromagnétiques qui constituent le spectre électromagnétique des atomes lorsque les électrons se stabilisent dans les différents états de résonance stationnaires dans lesquels ils deviennent captifs lorsqu'ils sont capturés par des atomes ionisés, ainsi que la mécanique d'absorption de ces photons qui font que les électrons sont éjectés de ces états stationnaires [49] [50] [55] [56]. Nous reviendrons plus loin sur cette mécanique d'émission et d'absorption.

Mais étant donné le fait que la méthode de Heisenberg semblait localiser l'électron de manière plus probable au voisinage du rayon de Bohr, sa méthode a été préférée dans la communauté, et la recherche en vue d'identifier la mécanique d'émission et d'absorption des photons électromagnétiques par les électrons dans leurs processus de capture et d'éjection des états de résonance stationnaires dans les atomes n'a pas soulevé de réel intérêt dans la communauté, tel que mis en perspective dans les Références [49] [50]. Cette mécanique a maintenant été établie [12] [13].

En 1932, Cockcroft et Walton ont réussi à convertir une partie de la masse de quelques nucléons en énergie en bombardant des noyaux de Lithium_{7,3} avec des protons (Hydrogène_{1,1}), ce qui a entraîné la fusion des protons avec les noyaux de Lithium, produisant momentanément des noyaux instables de Béryllium_{8,4} qui ont immédiatement fissionné en deux noyaux d'Hélium_{4,2}, libérant une grande quantité d'énergie électromagnétique pendant le processus. Einstein considéra cette expérience comme la preuve que la masse des particules élémentaires était constituée d'énergie, c'est-à-dire qu'elle prouvait la validité de l'équation $E=mc^2$ [57], prouvant à la même occasion que la masse des noyaux atomiques était constituées d'énergie électromagnétique.

Démystification de l'équation de force de Lorentz

Une nouvelle étape a été franchie un an plus tard, en 1933, lorsque Carl Anderson a prouvé expérimentalement que des photons d'énergie de 1,022 MeV ou plus émis comme sous-produits électromagnétiques du rayonnement cosmique se convertissent spontanément en paires électron/positon massives lorsqu'ils frôlent des noyaux atomiques massifs [58], un processus qui fut appelé "matérialisation". En élargissant notre compréhension de la relation entre "énergie" et "masse", la découverte d'Anderson a confirmé que l'énergie dont la "masse" des électrons et des positon était constituée était aussi de nature "électromagnétique", ce qui a incité de Broglie à formuler en 1937 une première hypothèse sur une éventuelle structure électromagnétique interne des photons en mouvement libre conforme aux équations de Maxwell [24], qui a conduit à l'établissement ultérieur des équations LC et des équations de champ des photons électromagnétiques [25] [26] (Voir les Équations (27) et (28) plus loin).

Au cours des dernières années d'une vie entière de recherche continue sans relâche, au début des années 1950, Einstein était devenu de plus en plus sceptique quant à ses théories de la RR et de la RG et a finalement communiqué l'opinion que la gravitation suit probablement le modèle de l'électromagnétisme. Cependant, toute la communauté orthodoxe a apparemment immédiatement rejeté sa recommandation sans un second regard, tel que rapporté en 1995 par Archibald Wheeler, un leader d'opinion majeur de la communauté des physiciens ([59], p.391) :

"A distinguished physicist even published in his very last years' works, the main point of which is to claim that gravitation follows the pattern of electromagnetism. This thesis, we cannot accept, and the community of physics, quite rightly, does not accept."

Traduction:

"Un éminent physicien a même publié dans ses toutes dernières années, des travaux dont le point principal était d'affirmer que la gravitation suit le modèle de l'électromagnétisme. Cette thèse, nous ne pouvons l'accepter, et la communauté des physiciens, à juste titre, ne l'accepte pas."

En 1969 fut publié le résultat de l'exploration expérimentale des volumes internes des protons et des neutrons, réalisée au moyen de faisceaux d'électrons suffisamment énergétiques pour pénétrer à l'intérieur du volume occupé par des protons et des neutrons individuels pour entrer en collision non destructrice avec tout ce qui pourrait exister physiquement à l'intérieur de leurs volumes, au nouvel Accélérateur linéaire de Stanford (SLAC).

Martin Breidenbach et ses collègues ont rapporté que certains électrons avaient rebondi à rebours de manière hautement inélastique sur des composants collisionnables internes des protons et des neutrons, qui ont ainsi été physiquement détectés [60], ce qui a révélé que ces particules devaient être chargées électriquement et devaient également avoir des masses du même ordre que celle de l'électron, cette dernière caractéristique révélée par le caractère hautement inélastique des rebonds d'électrons observés. Une analyse approfondie a révélé que deux types de ces composants élémentaires internes existaient physiquement avec des masses différentes l'une de l'autre, toutes deux proches de la masse au repos de l'électron, qui ont été nommées quarks up et down, en relation

Démystification de l'équation de force de Lorentz

avec les théories de Gell-Mann et Zweig qui avaient précédemment prédit leur existence.

En 1997, Kirk McDonald et al. ont réussi, à l'installation SLAC, à produire des paires électron/positon en focalisant deux faisceaux de photons vers un seul point de l'espace, l'un des faisceaux comportant des photons d'une énergie supérieure au seuil de découplage de 1,022 MeV, sans qu'aucun noyau lourd ne soit présent à proximité, ce qui a permis d'établir que l'énergie électromagnétique pouvait se convertir en masse par de simples interactions entre photons sans qu'aucune masse ne soit présente à proximité [61].

La même année, bien que les résultats de l'expérience ne furent publiés qu'en 2013, une importante expérience fondatrice fut réalisée à propos de champs magnétiques dont les deux pôles coïncident géométriquement avec le centre du champ [10], ce qui par similitude doit être le cas pour le champ magnétique de l'électron, puisqu'il se comporte toujours de manière ponctuelle lors des expériences de collisions mutuelles, un comportement qui a été confirmé un an plus tard, en 2014, par une expérience réalisée avec de vrais électrons [62], qui confirme que de tels champs interagissent en fonction de l'inverse du cube de la distance qui les sépare, et que leurs deux pôles ne peuvent être simultanément présents à cet endroit ponctuel.

7. Reprise de la recherche fondamentale en électromagnétisme

En fait, c'est la réalisation qu'aucune recherche fondamentale n'avait été menée en électromagnétisme depuis au moins les années 1950, comme l'a révélé Wheeler en 1995 ([59], p.391), malgré la recommandation d'Einstein, qui a déclenché la reprise de ces recherches vers la fin des années 1990. Cette section présente un bref aperçu des différents aspects de l'électromagnétisme abordés dans une série d'articles publiés entre 2000 et 2013, dans le but d'attirer davantage l'attention sur l'aspect électromagnétique de la réalité physique.

Une étude de l'histoire montre clairement que toutes les recherches menées en électromagnétisme au cours du siècle dernier ont été des tentatives de réconciliation de l'électromagnétisme tel qu'il est établi selon la perspective de la jauge de Ludwig Lorenz avec les concepts classiques du Lagrangien et du Hamiltonien, eux-mêmes fondés sur le principe classique de Conservation universelle de l'énergie.

Des recherches plus poussées ont révélé que Maxwell n'était pas d'accord avec le concept de la jauge de Lorenz parce que celui-ci niait la possibilité de l'existence du courant de déplacement qui est partie intégrante de l'équation de Gauss pour le champ électrique \mathbf{E} , qui est en fait l'équation de Coulomb moins une de ses deux charges, puisque dans l'équation de Coulomb, telle qu'analysée aux Références [63] [64], la force, et par conséquent l'énergie $E = d \cdot F = q^2/4\pi\epsilon_0 d$ induite par la force dans chaque charge ne dépend d'aucun autre critère que de l'inverse de la distance d séparant les deux charges, une distance qui ne peut varier que de manière infinitésimalement progressive entre toutes les particules chargées en mouvement, ce qui est incompatible avec le principe même de la conservation universelle de l'énergie qui sous-tend les concepts classiques du Lagrangien et du Hamiltonien lorsqu'ils sont appliqués aux particules chargées, mais sont en harmonie directe avec l'interprétation initiale de Maxwell et, surtout, avec l'hypothèse

Démystification de l'équation de force de Lorentz

de de Broglie concernant une éventuelle structure électromagnétique interne des photons en mouvement libre [24] :

$$F = q\mathbf{E} = q_1 \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0 d^2} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 d^2} \quad (18)$$

Notons ici que l'Équation (18) constitue la forme pleinement développée du premier terme de l'équation de force de Lorentz (voir l'Équation (5) analysée précédemment).

En juillet 2000, après 160 ans d'oubli, l'attention a été attirée à nouveau, lors de la conférence CONGRESS-2000, sur l'interprétation initiale de Maxwell d'où a émergé la géométrie trispaciale qui offrait une nouvelle perspective de développement potentiel dans l'exploration du niveau de magnitude subatomique, c'est-à-dire une perspective qui était hors de portée de l'approche de la jauge de Lorenz [65].

Trois ans plus tard, en 2003, Paul Marmet, probablement l'expérimentateur et théoricien le plus avancé en électromagnétisme de la fin du 20ème siècle, a brillamment produit l'équation suivante, au moyen d'une dérivation sans faille à partir de l'équation de Biot-Savart, qui révèle que l'énergie en augmentation du champ magnétique transversal de l'électron en cours d'accélération est la même énergie, mesurable comme une augmentation de la masse transversale de l'électron, que Kaufmann avaient mesuré 100 ans auparavant comme augmentant avec la vitesse de l'électron [46], soit l'énergie que Lorentz avait associé à la masse transversale m_2 de l'électron (voir les Équations (7) et (12) analysées précédemment), soit une relation d'identité qui n'avait pas été remarquée à l'époque :

$$\frac{\mu_0 e^2 v^2}{8\pi r_c c^2} = \frac{m_e v^2}{2 c^2} \quad (19)$$

En 2007, une première vague de dérivations à partir de cette équation révolutionnaire a été publiée dans le même journal d'ingénierie de l'*Université d'État de Kazan* qui avait précédemment publié l'article de Marmet [66], qui séparait pour la première fois le champ magnétique \mathbf{B} invariant de la masse au repos invariante de l'électron, du champ magnétique $\Delta\mathbf{B}$ variable de son énergie porteuse, dont la somme s'avère être le champ \mathbf{B} du second terme de l'équation de la force de Lorentz (voir l'Équation (2) analysée précédemment).

Le champ magnétique invariant de la masse au repos de l'électron étant :

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 \pi e c}{\alpha^3 \lambda_c^2} \quad (20)$$

dans laquelle équation λ_c est la longueur d'onde de Compton de l'électron, et le champ magnétique variable de l'énergie porteuse de l'électron étant :

$$\Delta\mathbf{B} = \frac{\mu_0 \pi e c}{\alpha^3 \lambda^2} \quad (21)$$

dans laquelle équation λ est la longueur d'onde de l'énergie porteuse de l'électron. La somme des Équations (20) et (21) fournit le champ \mathbf{B} combiné du second terme de

Démystification de l'équation de force de Lorentz

l'équation de force de Lorentz :

$$\mathbf{B} = \frac{\pi\mu_0 ec}{\alpha^3} \frac{(\lambda^2 + \lambda_c^2)}{\lambda^2 \lambda_c^2} \quad (22)$$

De même, la dérivation de Marmet a permis de séparer le champ électrique \mathbf{E} invariant de la masse au repos invariante de l'électron :

$$\mathbf{E} = \frac{\pi e}{\varepsilon_0 \alpha^3 \lambda_c^2} \quad (23)$$

du champ variable $\Delta\mathbf{E}$ de son énergie porteuse :

$$\Delta\mathbf{E} = \frac{\pi e}{\varepsilon_0 \alpha^3 \lambda^2} \quad (24)$$

dont le *produit vectoriel* constitue le champ \mathbf{E} combiné du premier terme de l'équation de force de Lorentz :

$$\mathbf{E} = \mathbf{E} \times \Delta\mathbf{E} = \frac{\pi e}{\varepsilon_0 \alpha^3} \frac{(\lambda^2 + \lambda_c^2) \sqrt{\lambda_c(4\lambda + \lambda_c)}}{\lambda^2 \lambda_c^2 (2\lambda + \lambda_c)} \quad (25)$$

Dans le cas du champ \mathbf{E} de l'électron en mouvement, l'approche par produit vectoriel est nécessaire étant donné que la géométrie trispatiale révèle que le champ \mathbf{E} invariant de la masse au repos de l'électron est perpendiculaire au champ $\Delta\mathbf{E}$ variable de son énergie porteuse dans l'espace-Y électrostatique [16].

En faisant varier simultanément la longueur d'onde λ de l'énergie porteuse de l'électron des deux Équations (22) et (25) sur la gamme complète des valeurs possibles, on obtient effectivement la même courbe de vitesse relativiste obtenue par Abraham et Bucherer, qu'Einstein a candidement admis "*s'adapter à la courbe observée considérablement mieux que la courbe obtenue à partir de la théorie de la relativité*" cité précédemment de l'ouvrage d'Abraham Pais ([43], p.159) au moyen de cette équation pour le mouvement en ligne droite de l'électron :

$$v = \frac{\mathbf{E}}{\mathbf{B}} \quad (26)$$

On peut noter que les Équations (20) et (23) établissant les champs \mathbf{E} et \mathbf{B} invariants précis correspondant à la masse au repos de l'électron ne sont que des cas particuliers des équations générales (21) et (24) qui peuvent être utilisées pour calculer toute la gamme possible des champs \mathbf{E} et \mathbf{B} pour les photons en mouvement libre.

Les Équations (21) et (24) ont également permis de convertir l'équation LC des photons développée précédemment [67] en l'équation de champs correspondante [25] [26] :

$$E \vec{I} \vec{i} = \left(\frac{hc}{2\lambda} \right)_x \vec{I} \vec{i} + \left[2 \left(\frac{e^2}{4C} \right)_y (\vec{J} \vec{j}, \vec{J} \vec{j}) \cos^2(\omega t) + \left(\frac{L i^2}{2} \right)_z \vec{K} \sin^2(\omega t) \right] \quad (27)$$

Démystification de l'équation de force de Lorentz

$$E \vec{I} \vec{i} = \left(\frac{hc}{2\lambda} \right)_x \vec{I} \vec{i} + \left[2 \left(\frac{\epsilon_0 \mathbf{E}^2}{4} \right)_y (\vec{J} \vec{j}, \vec{J} \vec{j}) \cos^2(\omega t) + \left(\frac{\mathbf{B}^2}{2\mu_0} \right)_z \vec{K} \sin^2(\omega t) \right] V \quad (28)$$

Un deuxième résultat de cette première vague de dérivations à partir de l'Équation (19) de Marmet est la variation suivante de l'équation de Coulomb qui permet de calculer l'énergie de tout photon en mouvement libre en utilisant sa longueur d'onde, sans avoir besoin d'utiliser la constante de Planck :

$$E = hf = \frac{e^2}{2\epsilon_0 \alpha \lambda} \quad (29)$$

Après qu'il soit devenu évident que les équations de LC et de champs de l'énergie porteuse de l'électron étaient identiques aux équations de LC et de champs des photons en mouvement libre, et que même la masse invariante au repos réelle de l'électron pouvait être représentée par ces équations de LC et de Champs [16] [67] [68] :

$$\mathbf{E} \vec{\mathbf{0}} = m_e c^2 \vec{\mathbf{0}} = \left[\frac{hc}{2\lambda_c} \right]_y \vec{\mathbf{J}} \vec{\mathbf{i}} + \left(2 \left[\frac{(e')^2}{4C_c} \right]_x (\vec{\mathbf{I}} \vec{\mathbf{j}}, \vec{\mathbf{I}} \vec{\mathbf{j}}) \cos^2(\omega t) + \left[\frac{L_c i_c^2}{2} \right]_z \vec{\mathbf{K}} \sin^2(\omega t) \right) \quad (30)$$

et

$$m_0 \vec{\mathbf{0}} = \frac{V_m}{c^2} \left\{ \left[\frac{\epsilon_0 \mathbf{E}^2}{2} \right]_y \vec{\mathbf{J}} \vec{\mathbf{i}} + \left[2 \left(\frac{\epsilon_0 V^2}{4} \right)_x (\vec{\mathbf{I}} \vec{\mathbf{j}}, \vec{\mathbf{I}} \vec{\mathbf{j}}) \cos^2(\omega t) + \left(\frac{\mathbf{B}^2}{2\mu_0} \right)_z \vec{\mathbf{K}} \sin^2(\omega t) \right] \right\} \quad (31)$$

il devint possible d'élever l'équation non relativiste de l'énergie cinétique de Newton au rang d'équation électromagnétique relativiste et de développer des équations qui ne nécessitaient que les énergies ou les longueurs d'onde de l'électron et de son photon porteur pour tracer par ce moyen la même courbe de vitesse relativiste que l'Équation (26) et celles d'Abraham et Bucherer [69] :

$$v = c \frac{\sqrt{4EK + K^2}}{2E + K} \quad (32)$$

et

$$v = c \frac{\sqrt{\lambda_c(4\lambda + \lambda_c)}}{(2\lambda + \lambda_c)} \quad (33)$$

Ce développement a permis pour la première fois dans l'histoire de dériver l'équation du facteur γ de Lorentz (Équation (9)) à partir d'une équation électromagnétique dans un article publié en 2013 [69], c'est-à-dire à partir de l'Équation (33) précédemment mentionnée, confirmant ainsi la nature relativiste de l'énergie adiabatique induite dans toutes les particules chargées élémentaires par l'interaction de Coulomb, classiquement représentée via le premier terme de l'équation de force de Lorentz $F=e \cdot E$ ou directement par l'équation de Coulomb (Voir l'analyse de la **Section 5**).

Ensuite, au moyen de la forme générale de l'équation de Coulomb (29) et de cette autre forme encore plus développée, en considérant que $(\epsilon_0 = 1 / (4\pi c^2 \cdot 10^{-7}))$ [70],

Démystification de l'équation de force de Lorentz

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{d^2} = \frac{4\pi c^2 \cdot 10^{-7}}{4\pi} \frac{e^2}{d^2} = \frac{e^2 \cdot 10^{-7}}{d^2} c^2 \quad (34)$$

il devint possible d'unifier toutes les équations de force classiques en dérivant l'équation de force fondamentale $F=ma$ de chacune d'entre elles [70], ce qui démontre mathématiquement que toutes les équations de force classiques, même l'équation d'accélération $F=ma$ si fondamentale de Newton, sont toutes des variations de l'équation de force de Coulomb.

$$F = G_p \frac{M_p \bullet m_e}{r_o^2} = k \frac{e^2}{r_o^2} = ev\mathbf{B} = e\alpha\mathbf{E} = m_e a \quad (35)$$

La géométrie trispatiale qui émerge naturellement de l'interprétation initiale de Maxwell a alors permis d'établir une mécanique cohérente de découplage des photons électromagnétiques d'énergie dépassant le seuil minimal de découplage de 1,022 MeV en paires électron/positon massives lorsque les circonstances requises sont réunies [16].

La mécanique des effets Einstein-de Haas et Barnett pouvait alors être expliquée [11] dans le contexte de la géométrie trispatiale, ainsi que la différence entre les *états d'action stationnaires orbitaux ou de résonance stables compensés en permanence* et les *états orbitaux ou de résonance métastables non compensés* au niveau de magnitude astronomique ainsi qu'au niveau de magnitude subatomique.

L'*anomalie du moment magnétique de l'électron* a ensuite été analysée et expliquée [71] en révélant l'existence d'une *dérive* associée au rayon de giration de l'énergie du photon-porteur de l'électron de l'état électrique ΔE vers l'état magnétique ΔB , et s'est avérée correspondre aux calculs de Julian Schwinger [72] concernant cette soi-disant anomalie qu'il a effectués en 1948, procurant ainsi de manière inattendue le premier indice conduisant à l'explication des charges réduites des quarks up et down.

En fait, lorsqu'on adapte les Équations (32) et (33) pour établir le rayon de giration à la distance moyenne de l'état fondamental de l'électron dans son orbitale d'action stationnaire dans l'atome d'hydrogène, le facteur g de l'électron établi pour la première fois par Schwinger comme étant $\alpha/2\pi$ pour cette orbite émerge naturellement de ces deux équations :

$$\text{Dérive magnetique} = \frac{\delta\mu}{\mu_B} = \frac{\sqrt{4EK + K^2}}{2\pi(2E + K)} = \frac{\alpha}{2\pi} = 1.161386535E-3 \quad (36)$$

$E=8,18710414E-14$ j étant l'énergie de masse au repos de l'électron et $K=4,359743805E-18$ j étant l'énergie porteuse de l'électron dans l'état fondamental de l'atome d'hydrogène, et

$$\text{Dérive magnetique} = \frac{\delta\mu}{\mu_B} = \frac{\sqrt{\lambda_c(4\lambda + \lambda_c)}}{2\pi(2\lambda + \lambda_c)} = \frac{\alpha}{2\pi} = 1.161386535E-3 \quad (37)$$

$\lambda_c=2,426310215E-12$ m étant la longueur d'onde Compton de l'électron et $\lambda=4,556335256E-8$ m étant la longueur d'onde de l'énergie induite au rayon de Bohr de l'atome d'hydrogène.

Démystification de l'équation de force de Lorentz

Pour la première fois dans l'histoire, les constantes du vide ε_0 et μ_0 ont été dérivées des principes premiers dans la Référence [31], et il a été démontré que l'Équation (34), en plus de permettre à toutes les équations de force classiques d'être dérivées les unes des autres, est également au cœur de toutes les équations de l'électrodynamiques, c'est-à-dire qu'elles impliquent toutes une accélération de charges électriques.

En effet, le produit inverse terme à terme – pour tenir compte de l'orthogonalité mutuelle des états électrostatique et magnétostatique – des deux équations vectorielles dérivées des principes premiers dans la Référence [31], qui rendent compte des forces transversales électriques et magnétiques mutuellement opposées qui s'appliquent à un électron en mouvement dans la géométrie trispatale, en accord avec la théorie de Maxwell:

$$\frac{\vec{\mathbf{F}}_{\mathbf{B}}\mathbf{I}}{\vec{\mathbf{F}}_{\mathbf{E}}\mathbf{I}} = \frac{4\pi c^2 \vec{\mathbf{K}} 10^{-7}}{4\pi c^2 \vec{\mathbf{J}} 10^{-7}} \quad (38)$$

a pu être reliée à la valeur constante qui émerge des équations de dérivée partielles secondes des champs magnétique et électrique instantanés d'une onde électromagnétique se propageant dans le vide par rapport à la distance et au temps, initialement dérivées par Maxwell, c'est-à-dire,

$$\frac{\partial^2 \mathbf{B}}{\partial x^2} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{B}}{\partial t^2} \quad \text{et} \quad \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial x^2} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} \quad (39)$$

Étant donné que cette constante est le produit de ε_0 et μ_0 , lequel produit est égal à $1/c^2$ par structure [31], et aussi que $\varepsilon_0 = 1/4\pi c^2 \cdot 10^{-7}$ et que $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$, en convertissant l'Équation (38) vers sa forme scalaire et en remplaçant ces valeurs par leurs symboles standard ε_0 et μ_0 , la relation de vitesse constante qui émerge des équations de dérivées partielles secondes de Maxwell (39) peut être directement obtenue à partir de l'Équation (38) :

$$1 = \frac{4\pi c^2 10^{-7}}{4\pi c^2 10^{-7}} = \left(\frac{1}{4\pi c^2 10^{-7}} \right) (4\pi 10^{-7}) c^2 = \varepsilon_0 \mu_0 c^2 \quad (40)$$

En ce qui concerne le calcul de la vitesse de la lumière pour les photons individuels, en utilisant la longueur d'onde de tout photon comme seule variable requise pour établir leurs champs \mathbf{E} et \mathbf{B} avec les Équations (21) et (24), la vitesse invariante de la lumière peut être systématiquement calculée avec l'équation standard suivante :

$$c = \frac{\mathbf{E}}{\mathbf{B}} \quad (41)$$

À partir de l'équation trispatale de champs qui a pu être établie pour le muon dans la référence [73],

$$m_\mu = \left\{ \left[\frac{\varepsilon_0 \mathbf{E}_e^2}{2} \right]_Y + \left[2 \left(\frac{\varepsilon_0 (\mathbf{V}_e + \mathbf{V}_\mu)^2}{4} \right) \cos^2(\omega t) + \left(\frac{(\mathbf{B}_e + \mathbf{B}_\mu)^2}{2\mu_0} \right) \sin^2(\omega t) \right] \right\} \frac{V_m}{c^2} \quad (42)$$

une mécanique cohérente de séparation des paires de neutrinos qui réduit la masse du

Démystification de l'équation de force de Lorentz

muon métastable à la masse au repos de l'électron a pu être établie.

Et enfin, développement final concernant la nature des particules élémentaires stables au niveau subatomique selon la perspective trispatiale, la conclusion d'Einstein que l'énergie doit être une *substance physiquement existante*, et le fait que l'interaction de Coulomb s'avère être l'agent physique qui induit cette *substance physiquement existante* sous forme d'énergie porteuse électromagnétique dans chaque particule chargée en fonction de l'inverse du carré de la distance qui les sépare, la mécanique de l'établissement adiabatique des états d'énergie d'action stationnaires de plus haute intensité et de moindre action dans l'univers, soit les structures du proton et du neutron, a été analysée, ce qui a permis d'établir à la référence [74] les équations de champs des masses électromagnétiques des quarks up et down,

$$m_U = \frac{E}{c^2} = \frac{V_{m_U}}{c^2} \left\{ S_U \left[\frac{\epsilon_0 \mathbf{E}_U^2}{2} \right]_Y + (2 - S_U) \left[2 \left(\frac{\epsilon_0 v_U^2}{4} \right)_X \cos^2(\omega t) + \left(\frac{\mathbf{B}_U^2}{2\mu_0} \right)_Z \sin^2(\omega t) \right] \right\} \quad (43)$$

et

$$m_D = \frac{E}{c^2} = \frac{V_{m_D}}{c^2} \left\{ S_D \left[\frac{\epsilon_0 \mathbf{E}_D^2}{2} \right]_Y + (2 - S_D) \left[2 \left(\frac{\epsilon_0 v_D^2}{4} \right)_X \cos^2(\omega t) + \left(\frac{\mathbf{B}_D^2}{2\mu_0} \right)_Z \sin^2(\omega t) \right] \right\} \quad (44)$$

qui s'avèrent être, dans la géométrie trispatiale, des électrons et des positons normaux dont les caractéristiques de masse et de charge sont déformées vers ces états modifiés en raison des contraintes extrêmes qui leur sont imposées par l'intensité de leurs interactions mutuelles à de si courtes distances lorsqu'ils atteignent les états d'équilibre électromagnétique ultime dans lesquels ils sont forcés de se stabiliser alors qu'ils établissent la structure interne stable des protons et des neutrons.

Ultimement, la géométrie trispatiale permet d'expliquer mécaniquement la création de protons et de neutrons à partir de triades des deux mélanges possibles d'électrons et de positons lorsque les circonstances électromagnétiques locales font en sorte qu'ils sont suffisamment thermiques pour avoir une énergie insuffisante pour échapper à leurs interactions mutuelles, ce qui les fait accélérer et finir par se stabiliser en tant que protons ou neutrons [74].

Ceci complète sommairement l'aperçu général des principales conclusions tirées dans la première série d'articles publiés de 2000 à 2013 pour établir la structure interne et les interactions individuelles des photons et de l'ensemble des particules électromagnétiques élémentaires chargées stables dont tous les atomes sont constitués, dans la perspective offerte par l'interprétation initiale de Maxwell, à la lumière de la conclusion d'Einstein sur la nature physique de l'énergie en tant que substance, de l'hypothèse de de Broglie à propos d'une possible structure électromagnétique interne des photons, qui, selon Einstein, doivent être continuellement localisés, et de la découverte de Marmet selon laquelle l'augmentation de la masse transversale des électrons en cours d'accélération observée par Kaufmann ne peut être liée qu'à une augmentation simultanée de leur champ magnétique transversal.

8. Les implications immédiates pour les ordres de magnitude atomique, macroscopique et astronomique

Deux autres articles ont été publiés en 2013, qui mettent en perspective les implications immédiates qui émergent, aux niveaux atomique, macroscopique et astronomique, des conclusions tirées au niveau subatomique à propos de la structure électromagnétique interne et des interactions de l'ensemble des particules chargées élémentaires stables, à la lumière de la perspective trispatale [75] [76].

En particulier, l'intensité de l'énergie libérée sous forme de trois photons de bremsstrahlung hautement énergiques – chacun étant estimé être aux environs de 155 MeV – qui doivent être émis lors de l'évacuation de l'énergie cinétique de momentum de chaque particule chargée en accélération lorsque chaque triade électron-positon-électron ou positon-électron-positon se stabilise dans les états d'action stationnaire stables sous forme de neutron et proton à la fin de leur séquence d'accélération [74], a clairement procuré une explication possible aux températures soutenues encore inexplicées de 2 à 3 millions de degrés Kelvin qui sont souvent observées avec des pics plus élevés dans la corona solaire.

Ces températures dépassant le million de degrés dans la corona du soleil sont d'environ 200 fois celles de la photosphère et de la chromosphère du soleil. Cette température moyenne extrême dans la corona s'avère être une *température d'équilibre* [77], ce qui est révélé par le fait qu'elle demeure constante malgré les énormes pertes d'énergie que la corona subit à travers les échanges constants avec la chromosphère d'une part, et les éjections constantes de matière vers l'extérieur via les éjections de masse coronale (CME) d'autre part, ce qui signifie que ces pertes d'énergie et de masse doivent obligatoirement être compensées par un processus coronal interne constant non encore compris.

Il s'avère que selon la mécanique d'augmentation de l'énergie adiabatique procurée par l'interaction coulombienne, qui est fonction de l'inverse des distances décroissantes entre les particules chargées [8], le trio de photons de bremsstrahlung d'environ 155 MeV chacun, émis au moment de la stabilisation ultime de chacune des deux triades initiales possibles dans leur configuration finale hautement énergétique de proton ou de neutron, se trouve à correspondre à une augmentation de 227 fois du niveau d'énergie ambiant, ce qui tombe précisément dans la gamme d'excès d'énergie ambiante observée dans la corona solaire, et pourrait soutenir ces températures de manière constante si des nucléons étaient continuellement générés dans la corona au cours d'une réaction en chaîne continue de bas niveau qui reste à comprendre [75].

Un tel processus permanent de génération de nucléons par réaction en chaîne de bas niveau, qui aurait été actif depuis que le Soleil s'est allumé, ouvre même la porte à la possibilité que toute la matière composant le système planétaire et autres corps de moindre importance dans le système solaire aurait pu être générée localement, et ouvre également la porte à la possibilité pour nous d'apprendre à contrôler ce processus de génération de nucléons comme source de réaction-masse pour des besoins de propulsion et source d'énergie illimitée à d'autres fins, comme il sera mis plus clairement en perspective à la **Section 12**.

La nature adiabatique de l'augmentation progressive de l'énergie de tous les électrons

Démystification de l'équation de force de Lorentz

captifs des orbitales qui définissent le volume de chaque atome, alors qu'ils sont progressivement forcés de se rapprocher de leur noyau atomique central en raison de la pression mutuelle croissante que les atomes exercent les uns sur les autres à mesure que la profondeur augmente dans les corps célestes, apporte également une explication à l'augmentation adiabatique de la température avec l'augmentation de la profondeur dans la Terre, qui, selon les estimations, atteint 5100 degrés Kelvin au centre de la planète [78], et apporte également une explication mécanique à la cause réelle de l'allumage des étoiles et de la fusion par réaction en chaîne de haute intensité qui s'ensuit pour les masses proto-stellaires lorsqu'elles atteignent le seuil de pression d'allumage en leur centre pendant leur phase initiale d'accumulation d'hydrogène primordial [76].

Ce qui conduit à cette conclusion est que la compression adiabatique subie par les escortes électroniques de tous les atomes lorsque la pression augmente avec la profondeur dans les grands corps célestes tels que les masses stellaires, devient suffisante lorsque la pression critique d'allumage est atteinte dans leurs zones centrales pour que l'énergie adiabatique non libérable induite dans les électrons des atomes d'hydrogène pour que ces photons-porteurs d'électrons atteignent le seuil de découplage de 1,022 MeV à une distance de moins de $0,2E-15$ mètre de leur noyau protonique, qui est le rayon du volume à l'intérieur duquel les structures de protons et de neutrons atteignent l'état stationnaire d'énergie la plus élevée de moindre action pouvant être établi dans l'univers par application naturelle de la force de Coulomb, c'est-à-dire le volume dans lequel la pression appliquée axialement par l'énergie cinétique de momentum ΔK de leurs sous-composants chargés s'équilibre contre la contre-pression mutuellement répulsive exercée entre ces sous-composants par leur énergie magnétique.

Maintenant, l'énergie en excès en plus de la masse au repos d'une particule chargée élémentaire en mouvement, tel l'électron, a été clairement établie à partir des données de Kaufmann et l'analyse de Lorentz, combinés à la découverte de Marmet à la lumière de l'hypothèse de de Broglie, concernant une possible structure électromagnétique interne des photons en mouvement libre, comme ayant les mêmes caractéristiques électromagnétiques que celles de tels photons, comme analysé aux Références [25] [26] [69], la seule différence étant que dans le cas d'un électron en mouvement, cet excès d'énergie doit "transporter", pour ainsi dire, l'électron massif intrinsèquement inerte auquel il est lié, d'où le nom de *photon-porteur* adopté pour qualifier l'énergie porteuse d'un électron.

On peut alors pleinement s'attendre à ce que ce photon-porteur, s'il atteint le seuil de 1,022 MeV, soit également susceptible de se découpler en une paire électron-positon, qui sont totalement thermiques étant donné que toute l'énergie de 1,022 MeV est convertie en leurs deux masses de $0,522 \text{ MeV}/c^2$, sera incapable d'échapper à l'interaction maximale avec l'électron précédemment transporté, lui aussi devenu totalement thermique puisque son énergie porteuse vient de disparaître, le trio commencera immédiatement à accélérer en raison de leurs interactions coulombienne mutuelles pour se convertir en un neutron, libérant les 3 photons de bremsstrahlung hautement énergiques inhérents au processus de création de neutrons, un neutron qui formerait alors immédiatement un noyau de deutérium avec le proton voisin [76].

Ainsi serait initiée la réaction en chaîne à haute énergie qui enflammera la masse d'une

Démystification de l'équation de force de Lorentz

protoétoile, une réaction en chaîne auto-entretenu en raison de la pression maintenant en augmentation au centre de l'étoile naissante, qui créera ensuite des neutrons de plus en plus nombreux à mesure que la masse de l'étoile naissante augmentera.

Un aspect particulier de la compression des orbitales électroniques d'atomes plus grands que l'atome d'hydrogène, due à la pression mutuelle croissante des atomes les uns contre les autres avec l'augmentation de la profondeur dans les corps célestes, est que, contrairement au rétrécissement des distances entre les escortes électroniques et le noyau central de chaque atome impliqué, les nucléons (protons et neutrons) qui composent leurs noyaux sont suffisamment éloignés à l'intérieur de leurs escortes électroniques pour que cette pression adiabatique appliquée depuis l'extérieur de leurs escortes électroniques individuelles soit insuffisante pour forcer une contraction similaire des triades de nucléons situées loin à l'intérieur de leurs escortes électroniques.

Considérant que si le proton d'un atome d'hydrogène était théoriquement agrandi pour atteindre la taille du Soleil, son électron se stabiliserait aussi loin que Neptune si sa distance moyenne à l'état fondamental de l'atome d'hydrogène était étendue dans la même proportion. Alors, à l'inverse, à mesure que la pression augmente avec la profondeur dans les corps célestes contre les escortes électroniques des atomes voisins, les noyaux de ces atomes vont évidemment dériver plus près les uns des autres à mesure que le volume global de chaque escorte électronique se réduit.

Le résultat logique ne peut être qu'une "*traction vers l'extérieur*" augmentant progressivement sur la structure chargée interne de chaque nucléon de tous les noyaux se rapprochant les un des autres, la force de Coulomb augmentant entre eux à mesure que les distances séparant les noyaux diminuent, étant donné que la force induit une énergie cinétique de momentum dans les nucléons orientée vers l'extérieur de plus en plus importante dans chaque quark chargé de chaque triade. Étant donné que chaque triade augmente son rayon interne d'interaction mutuelle, leur vitesse/énergie relativiste ne peut que diminuer en proportion, réduisant leur masse au repos totale en conséquence.

La Référence [76] analyse tous les aspects de cette variation adiabatique des volumes atomiques et nucléoniques – et des masses relativistes dans ce dernier cas – en fonction de l'état local du gradient gravitationnel dépendant de l'interaction coulombienne. Les graphiques 3D de la Section VIII de la Référence [76] sont particulièrement instructifs.

Un autre résultat inattendu et quelque peu surprenant de la réactivité immédiate de toutes les particules élémentaires chargées captives dans les structures atomiques à toute variation de la pression unidirectionnelle appliquée par leur énergie de momentum, est que lorsque de petites masses sont éloignées d'une grande masse comme celle de la Terre, la "*traction vers l'extérieur*" exercée sur leurs escortes électroniques ainsi que sur les sous-composants chargés internes de leurs noyaux par la somme des particules chargées constituant les atomes de la grande masse de la Terre diminuera au fur et à mesure que la petite masse prendra de l'altitude, faisant en sorte que l'interaction coulombienne mutuelle interne entre les particules chargées à l'intérieur de chaque atome de la petite masse en train de s'éloigner contractera leurs orbitales électroniques vers leurs noyaux respectifs, ainsi que celles des nucléons dont leurs noyaux sont constitués, faisant ainsi en sorte que plus d'énergie cinétique de momentum dirigée vers le noyau sera induite dans

Démystification de l'équation de force de Lorentz

chaque électron captifs des orbitales en cours de rapprochement vers leurs noyaux respectifs.

La conséquence, facilement observable dans certains cas, comme dans celui des horloges atomiques dont la périodicité dépend de la fréquence spécifique de 9 192 631 770 Hz – mesurée au niveau du sol – du photon de bremsstrahlung émis lorsqu'un électron saute vers son orbitale électronique hyperfine de repos de référence après avoir été excité pour sauter vers l'autre orbitale électronique métastable de référence, située plus loin du noyau de l'atome de césium 133, est que la fréquence de ce photon de bremsstrahlung augmentera en raison du fait que les deux orbitales de référence se rapprochent des noyaux de césium au fur et à mesure que la distance augmente entre la masse terrestre augmente et l'horloge, un comportement qui, du point de vue de la théorie de la relativité restreinte, implique que le temps s'écoule plus rapidement en altitude, alors qu'en réalité, la fréquence accrue du photon émis lors du saut de référence n'est évidemment due, du point de vue électromagnétique, qu'au fait que le saut de référence est maintenant effectué entre des niveaux de référence qui se trouvent maintenant plus près du noyau de chaque atome de césium. Cette question est également analysée à la Référence [76].

Un autre résultat connexe est la question encore non résolue de la soi-disant "*accélération résiduelle anormale dirigée vers le Soleil*" des sondes spatiales Pioneer 10 et 11 sur leurs trajectoires hyperboliques les conduisant hors du système solaire, un problème qui a été observé comme affectant également d'autres sondes spatiales [79]. Tous ces engins spatiaux se comportent exactement comme s'ils étaient légèrement plus massifs sur leurs trajectoires que ce qui a été mesuré à la surface de la Terre avant leur lancement, ce qui est également cohérent avec l'analyse que nous venons de résumer, et qui a été complètement analysée à la Référence [76].

De nombreuses autres observations "*apparemment inexplicables*" sont également abordées et analysées dans la référence [76] qui propose également une expérience facile à réaliser qui pourrait confirmer la dépendance des masses des nucléons à l'intensité locale du gradient gravitationnel. Voir la **Sous-section 11.1** plus loin à ce sujet.

Il faut mentionner en contexte que la masse au repos de l'électron, pour sa part, ne dépend d'aucune variation du gradient gravitationnel puisqu'il s'agit d'une particule élémentaire confirmée, en ce sens qu'il est clairement établi qu'elle n'est pas constituée de particules plus petites en interactions mutuelles comme les protons et les neutrons, qui ne sont pas des particules élémentaires, mais des systèmes de particules élémentaires captives de leurs interactions électromagnétiques mutuelles, tout comme le système solaire n'est pas un corps céleste, mais un système de corps célestes captifs de leurs interactions électromagnétiques mutuelles. La masse au repos de l'électron s'avère être universellement invariante, quelle que soit l'intensité locale du gradient gravitationnel.

9. Autres développements au niveau général

Sept autres articles ont été publiés de 2016 à 2020, tous sélectionnés pour être republiés dans une version finale de 2017 à 2021 en tant que chapitres dans des collections spécialisées qui présélectionnent les travaux jugés dignes d'intérêt dans l'offre

Démystification de l'équation de force de Lorentz

globale que peu de chercheurs et d'étudiants au doctorat trouvent le temps de fouiller en profondeur pour trouver tous les nouveaux développements pertinents pour leurs disciplines respectives. Un bref aperçu des questions abordées dans chacun de ces articles sera donné dans cette section.

Le premier de ces articles explique les considérations séminales qui ont initialement conduit au développement de la géométrie maxwellienne augmentée de l'espace qui émerge naturellement de l'interprétation initiale de Maxwell, et à l'établissement des équations LC et de champs du photon en mouvement libre selon l'hypothèse de Louis de Broglie sur le photon à double particule [24], que la dérivation de Marmet avait conduit à comprendre qu'il devait obligatoirement posséder la même structure électromagnétique interne que l'énergie porteuse des électrons en mouvement libre [46] [66], initialement publié en 2016 [25], republié en version finale en 2021 [26].

Puis suivit en 2016 un second article [8] qui fut republié en version finale en 2021 [9], analysant en profondeur la nature adiabatique de l'énergie physiquement existante qui est continuellement induite par interaction coulombienne dans toutes les particules chargées en fonction de l'inverse des distances qui les séparent, et dont les quantités varient de manière infinitésimalement progressive à mesure que les distances varient, en addition lorsqu'elles sont en processus de rapprochement, ou en soustraction lorsqu'elles sont en processus d'éloignement. Cet article propose également une expérience de haute technologie destinée à démontrer la nature adiabatique de l'énergie qui résulterait de l'accélération des triades thermiques électron-positon-électron ou positon-électron-positon qui conduirait à la création de neutrons et de protons selon la perspective trispaciale [74]. Voir la **Sous-section 11.2**.

Un article de synthèse a ensuite été publié en 2017 [63], republié en version finale en 2020 [64], destiné à mettre en perspective la somme des analyses séparées présentées dans la série des articles publiés depuis l'an 2000, pour servir de guide dans la monographie publiée en 2017 qui jetait les bases d'une mécanique électromagnétique fondée sur l'interprétation initiale de Maxwell en regroupant l'ensemble de ces articles [80]. Cet article analysait également en profondeur le concept de "force" tel qu'applicable au niveau subatomique à la lumière de la possibilité que l'énergie électromagnétique pourrait être une substance physique tel que le concluait Einstein [23] – voir la **Section 2** à ce sujet – et présente un premier aperçu du gradient gravitationnel universel qui émerge de ces considérations. Voir la **Section 13** pour une analyse finale de la question gravitationnelle selon cette perspective.

En 2017 fut publié l'article [47], republié en version finale en 2021 [48], qui met en perspective la somme de ce que l'ensemble des expériences de collisions expérimentales ont révélé à propos des particules élémentaires stables et métastables. Il donne également un aperçu des tentatives passées d'expansion de la géométrie spatiale pour résoudre les problèmes actuellement non résolus que la géométrie spatiale 3D-4D semblait insuffisante pour résoudre, et explique comment la géométrie trispaciale conduit à une première explication mécanique possible de l'existence de charges. Suit ensuite un aperçu de l'ensemble des nouvelles équations de mécanique électromagnétique qui s'ajoutent en complément de la première équation de mécanique électromagnétique, soit l'équation de force de Lorentz qui fait l'objet de la présente analyse en profondeur.

Démystification de l'équation de force de Lorentz

En 2018 fut publié l'article [49], republié en version finale en 2020 [50], qui analyse de quelle manière la mécanique électromagnétique, la mécanique classique / relativiste et la mécanique quantique peuvent être réconciliées. Par exemple, la toute première définition de masse strictement à partir de paramètres électromagnétiques est proposée :

$$\Delta m_m = \frac{\mu_0 e^2 (\mathbf{E}/\mathbf{B})^2}{8\pi r_e c^2} = 2.425337726E - 35 \text{ kg} \quad (45)$$

qui est en fait l'Équation (16) dans laquelle le paramètre v est remplacé par sa version électromagnétique $v = \mathbf{E}/\mathbf{B}$ – Équation (26) – qui définit la vitesse des électrons en mouvement, prenant comme d'habitude l'exemple standard de l'énergie induite dans l'électron lorsqu'il est stabilisé dans l'état fondamental de l'atome d'hydrogène (la vitesse relativiste $v = 2187647,566 \text{ m/s}$, est utilisé pour résoudre le facteur γ), Δm_m étant la contribution de masse relativiste de l'énergie électromagnétique en oscillation transversale du photon-porteur de l'électron, qui, lorsque combiné avec l'équation suivante pour calculer l'énergie de momentum associée :

$$\Delta K = m_0 c^2 (\gamma - 1) = 2.179784832E - 18 \text{ j} \quad (46)$$

permet d'établir l'équation suivante pour décrire l'énergie totale du photon-porteur de l'électrons :

$$\text{Photon - porteur de l'électron} = \Delta K + \Delta m_m c^2 = 4.359743805E - 18 \text{ j} \quad (47)$$

qui est l'équivalent classique/relativiste direct de l'Équation LC (27) et de l'Équation de champs (28), et lorsqu'elle est adaptée comme suit, fournit la masse longitudinale m_1 mesurée par Kaufmann tel qu'établi par Lorentz :

$$m_1 = \Delta K / c^2 + \Delta m_m + m_0 \quad (48)$$

Alors que m_2 se résout comme suit:

$$m_2 = \Delta m_m + m_0 \quad (49)$$

La première explication mécanique de la stabilité de l'atome d'hydrogène est également proposée dans cet article en contexte de la géométrie trispatale. Elle met en perspective la manière dont l'énergie du momentum de l'électron applique constamment la pression requise sur la surface infinitésimale du point d'appui de l'électron pour maintenir en état de résonance stable les sphères d'énergie magnétique en oscillation constante de l'électron et des sous-composants du proton, qui sont en répulsion mutuelle permanente dû au fait que leurs spins magnétiques sont en alignement parallèle constant par structure, tel qu'établi à la Référence [10].

La simultanéité de la fréquence d'oscillation invariante de l'électron et de la fréquence d'oscillation variable du porteur-photon qui doit être prise en compte pour établir l'équation d'onde de battement variable conforme à la mécanique électromagnétique pour un électron en mouvement libre et la fréquence d'oscillation variable supplémentaire du proton qui doit être ajoutée à l'équation d'onde de battement variable de l'électron en mouvement libre lorsque l'électron est captif en état de résonance axiale dans les orbitales

Démystification de l'équation de force de Lorentz

atomiques sont décrites, bien que les équations d'onde de battement variables correspondantes n'aient pas encore été développées.

Deux ans plus tard, en 2020, fut publié l'Article [12], sélectionné la même année pour être republié en version finale [13], qui résume tous les aspects de la mécanique électromagnétique de l'ensemble des particules électromagnétiques élémentaires stables au niveau subatomique, qui émerge de l'interprétation initiale de Maxwell. Les considérations précédemment mises en perspective dans les références [63] [64] en ce qui concerne la gravitation sont également développées plus en détail, y compris l'établissement de l'équation énergie-momentum trispatiale :

$$E_e = \Delta K + \Delta m_m c^2 + m_0 c^2 \quad (50)$$

La principale caractéristique des références [12] et [13] est l'introduction de la mécanique d'émission d'un photon électromagnétique de bremsstrahlung lorsqu'un électron devient captif en état de résonance orbitale dans un atome ionisé, ainsi que la mécanique d'absorption d'un photon électromagnétique entrant qui excite suffisamment un électron captif pour qu'il saute vers une orbitale métastable plus éloignée d'où il retourne instantanément à son orbitale de repos. Il s'agit de la mécanique d'émission et d'absorption des photons que Schrödinger et de Broglie ont cherché à établir dans les années 1920 [55], tel que mis en perspective dans les Références [49] [50].

En 2020 fut également publié une seconde monographie [81] regroupant et synthétisant ces trois derniers articles [63] [49] [12], comme introduction à l'électromagnétisme selon l'interprétation initiale de Maxwell.

La référence [81] met également en relation les 4 équations électromagnétiques de premier niveau pour l'ordre de grandeur subatomique qui ont été développées pendant la première vague de dérivations après la découverte de Paul Marmet, publiée en 2007 [66], avec les 4 équations de Maxwell telles que synthétisées par Heaviside pour application aux niveaux de magnitude atomique, macroscopique et astronomique. Voir **Annexe A**.

Enfin, un article a été republié en version finale en 2021 [82], initialement publié en 2016 [83], qui proposait l'hypothèse de l'établissement et de la croissance progressive de l'Univers strictement à partir de considérations électromagnétiques, tel que suggéré par Einstein vers la fin de sa vie, décrivant la possibilité d'une augmentation adiabatique progressive de l'énergie dans l'univers à partir d'un hypothétique niveau d'énergie zéro dans le vide au début de l'univers, inspiré de l'interprétation initiale de Maxwell, comme solution alternative au niveau d'énergie du point-zéro conservateur stable dans le vide postulé dans la théorie des champs quantiques (QFT) fondée sur la jauge de Lorenz et à la théorie conservatrice du Big Bang qui émerge de la théorie de la relativité générale d'Einstein.

La fonction du temps dans l'univers est également analysée selon cette nouvelle perspective, et allant un peu plus loin que la Référence [12] dans l'approche de la question gravitationnelle, la référence [82] décrit sommairement le champ vectoriel trispatial universel qui émerge de l'interprétation initiale de Maxwell, comme possible alternative au champ vectoriel universel de Hilbert qui émerge de l'interprétation de Lorenz. Voir également la **Section 13**.

10. Rayon de giration versus distance moyenne de résonance électromagnétique

Dans les Théories de la Relativité Restreinte et Générale, le concept de force n'existe pas en tant que tel et est complètement remplacé par le mouvement inertiel dû à une courbure axiomatiquement supposée de l'espace-temps dans laquelle les masses astronomiques sont sensées toujours suivre la courbe de moindre action de l'espace-temps. Selon cette perspective, le mouvement inertiel ne peut se produire que si un corps n'a pas atteint un état d'action stationnaire le long de la pente d'une ligne géodésique, ce qui établit que toute variation de l'inertie longitudinale des corps massifs est due à leur mouvement, donc à leur vitesse instantanée pendant leur accélération le long d'une telle ligne géodésique. Selon cette perspective, l'inertie transversale des corps en mouvement ne semble pas être considérée, à l'exception de la variation locale de l'inertie de rotation d'un corps en mouvement.

En revanche, pour les particules chargées et massives en électromagnétisme, l'énergie cinétique induite par l'interaction de Coulomb sous-jacente est fondamentale et ne dépend pas du mouvement de la particule, mais strictement de sa distance par rapport aux autres particules chargées. C'est la moitié *momentum* de l'énergie *physiquement présente* qui est induite en plus de l'énergie dont la masse inerte de la particule est constituée qui fait bouger la particule si son mouvement n'est pas entravé d'une manière ou d'une autre par les circonstances électromagnétiques locales, auquel cas cette énergie cinétique de momentum appliquera plutôt une pression équivalente dans la direction vectorielle vers laquelle elle forcerait l'électron à se déplacer si elle n'était pas entravée.

Lorsqu'un électron "chargé" se déplace librement, la masse "relativiste" momentanée, constituée de sa masse au repos m_o plus l'incrément de masse Δm_m fourni par l'autre moitié de l'énergie induite en excès de celle dont est constituée sa masse au repos, peut à première vue être interprétée comme dépendant de la vitesse, mais il faut souligner que sa vitesse instantanée à tout moment ne dépend que de la quantité instantanée d'énergie porteuse de momentum ΔK qui est adiabatiquement induite à cet instant pour l'électron. Voir la Référence [69].

Il faut également préciser que lorsqu'un électron "chargé" se retrouve captif en état de résonance dans une orbitale d'un atome, même si l'équilibre électromagnétique local ne lui permet pas de se déplacer réellement autour du noyau, les deux composantes ΔK et Δm_m de son énergie porteuse demeurent physiquement présentes, augmentant sa masse dans le cas de la composante électromagnétique Δm_m , et appliquant une *pression* en direction du noyau dans le cas de sa composante de momentum ΔK , contre la résistance offerte par les sphères d'énergie magnétique alignées en spin parallèle de l'électron et des sous-composants élémentaires du noyau atomique qui se repoussent mutuellement [49] [50].

C'est en raison de leur incompatibilité avec cette *présence physique permanente* de l'énergie variant adiabatiquement avec la distance du momentum ΔK de l'électron et de son complément électromagnétique transversal Δm_m que les concepts conservateurs classique traditionnels de momentum, du Lagrangien et du Hamiltonien deviennent incapables de rendre compte correctement de la stabilité de l'atome d'hydrogène, car ils

Démystification de l'équation de force de Lorentz

sont fondés sur le concept traditionnel que le momentum dépend de la vitesse, un momentum sensé disparaître au profit d'une "*énergie potentielle*" inexistante lorsque le mouvement des particules est entravé. La référence [63] analyse cette question en profondeur. En contexte électromagnétique, une vitesse exprimée n'est pas une cause, mais un effet dont l'expression dépend la liberté de mouvement permise à une masse "chargée" par l'état d'équilibre électromagnétique local. Voir la Section 10.8 de la Référence [80] à ce sujet.

Un exemple supplémentaire de ce que permet de comprendre le fait de percevoir plus clairement que l'énergie porteuse des particules élémentaires chargées comme étant une *substance existant physiquement* est le suivant. Dans la glace, par exemple, l'énergie du momentum des molécules individuelles est évidemment complètement entravée, mais lorsque le point de fusion est atteint, un certain mouvement des molécules devient possible et la pression appliquée par leur énergie de momentum peut maintenant être exprimée comme un mouvement contre la résistance désormais affaiblie des molécules environnantes, ce qui permet aux molécules de se déplacer facilement les unes par rapport aux autres dans la masse désormais liquide. Cela apporte une explication mécanique au mouvement des particules microscopiques observé dans les liquides, connu sous le nom de *mouvement brownien*, car ces particules microscopiques – relativement géantes par rapport aux molécules individuelles dont le liquide est constitué – sont sans cesse heurtées maintenant par les molécules du liquide environnant qui se déplacent dorénavant plus librement [27] [28]. À l'état gazeux, chaque molécule est maintenant libérée de toute entrave, et l'énergie cinétique de momentum ΔK de chaque molécule peut être entièrement exprimée sous forme de vitesse.

Un autre exemple de l'inversion cause/effet impliquée dans un processus physique bien connu, tel que considéré du point de vue électromagnétique, est le cas de la compression adiabatique des gaz. La compression adiabatique est classiquement définie comme provoquant une augmentation de la température d'un gaz, alors qu'on peut comprendre, du point de vue électromagnétique, que c'est la réduction du volume dans lequel un gaz est captif qui provoque l'augmentation de la température, en faisant en sorte que les molécules de gaz – toutes constituées de particules élémentaires chargées – se rapprochent les unes des autres, chacune d'entre elles subissant en conséquence une augmentation adiabatique de leur énergie porteuse, ce qui augmente leur momentum, donc leur vitesse et leur inertie longitudinale, ce qui à son tour provoque l'augmentation de la pression qu'elles exercent sur les parois de l'enceinte.

Chaque fois que le terme "translation" est utilisé dans cet article pour des raisons de simplicité en ce qui concerne les électrons ou les quarks up et down captifs d'états de résonance électromagnétique stables dans les orbitales à l'intérieur des atomes et des noyaux, il faut garder à l'esprit qu'un tel mouvement de translation est au mieux théorique, et que le terme implique seulement que l'énergie requise pour soutenir potentiellement un tel mouvement de translation est induite en permanence dans la particule, et peut tout aussi bien soutenir une oscillation de résonance axiale de la particule aux environs de la distance moyenne de son volume de résonance orbital par rapport au centre de l'atome, une oscillation axiale maintenue par la *pression* exercée vers le noyau par son énergie de momentum qui empêche les sphères d'énergie de spin

Démystification de l'équation de force de Lorentz

magnétique parallèle en oscillation constante se repoussant mutuellement de l'électron et du noyau de se séparer l'une de l'autre (voir les Références [49] ou [50]).

Ainsi, étant donné que la même quantité d'énergie est induite adiabatiquement dans un électron chargé, qu'il orbite effectivement autour du proton dans un atome d'hydrogène isolé, comme l'a supposé de Broglie, ou qu'il oscille simplement localement en résonance axiale, comme le révèle la perspective de l'électromagnétisme, aucune erreur conceptuelle ou mathématique n'est introduite en se référant à l'électron comme oscillant sur une orbite fermée, sur laquelle l'énergie du momentum s'exprime sous forme d'une *vitesse*, ou oscillant simplement localement de manière axiale vers le noyau, durant laquelle l'énergie du momentum s'exprime sous forme d'une *pression* vers le noyau de l'atome, les deux cas étant les deux cas limites du même processus. Voir la référence [71].

Ainsi, en contexte, même si l'équation de force de Lorentz a été développée avec succès pour rendre compte et contrôler les vitesses et trajectoires relativistes réelles des électrons en mouvement, elle peut tout aussi bien rendre compte du mouvement de résonance axiale des électrons et des sous-composants chargés des nucléons si ceux-ci sont empêchés de se déplacer réellement sur des orbites fermées à l'intérieur des atomes.

La Référence ([44], Équation (3.38)) fournit l'équation standard utilisée dans tous les accélérateurs à haute énergie en circuit fermé existants, y compris le LHC récemment activé, pour calculer le rayon d'une orbite fermée pour une particule chargée (Voir aussi la Référence [71] pour des développements complémentaires). Cette équation a été établie en associant le second terme de l'équation de force de Lorentz, c'est-à-dire l'Équation (2) développée par Heaviside, à l'équation d'accélération fondamentale $F=ma$:

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B}) = ma = \frac{\gamma m_0 v^2}{r} \quad (51)$$

Dans laquelle, en isolant le rayon de l'orbite à établir et en simplifiant, donne l'équation suivante :

$$r = \frac{\gamma m_0 v}{q\mathbf{B}} \quad (52)$$

Dans laquelle le champ magnétique \mathbf{B} de la particule en mouvement peut être calculé avec l'Équation (22). La caractéristique intéressante de cette équation standard, destinée à calculer les orbites circulaires réelles des charges en mouvement libre, est qu'elle est directement adaptable pour calculer la distance moyenne des volumes de résonance des orbitales électroniques par rapport à leurs noyaux centraux, que l'électron se trouve en orbite possible autour du noyau comme dans le cas d'un atome d'hydrogène isolé [84] ou qu'il soit simplement captif localement en résonance axiale, en utilisant la masse au repos invariante et la charge invariante de l'électron :

$$d = \frac{\gamma m_0 v}{e\mathbf{B}} \quad (53)$$

À titre d'exemple de l'utilité potentielle de l'utilisation de cette équation à cette fin, l'**Annexe B** présente dans le **Tableau 1** la liste des rayons atomiques estimés pour tous les atomes isolés du tableau périodique, tels que calculés au moyen de l'Équation (53).

11. Expériences de confirmation

Bien sûr, une analyse menant à la conclusion que même les masses macroscopiques augmentent avec la vitesse, en contradiction avec le fait observé qu'aucune expérience avec des masses macroscopiques réalisée à la surface de la Terre n'a jamais donné le moindre indice de cette possibilité, dû à leur trop faibles vitesses possibles, même si, malgré l'absence de conscience dans la communauté des physiciens actuelle – par manque de référencement – que tous les physiciens du début du 20ème siècle ont vérifié, compris et convenu que la masse de l'électron augmentait effectivement avec la vitesse selon les données recueillies par Kaufmann, exige plus de preuves qu'un simple raisonnement logique et des références aux récits historiques formels de ces événements, qui se sont produits il y a plus d'un siècle.

D'autant plus que le même raisonnement logique révèle que la masse au repos des corps macroscopiques ne peut que varier avec l'intensité du gradient gravitationnel local, et que cette variation, si elle était confirmée, disqualifierait définitivement la conclusion des expériences de Hafele et Keating de 1972 [85], qui affirme que l'augmentation de la fréquence des photons de référence des atomes de césium avec l'augmentation de l'altitude prouve que la "vélocité" de l'"écoulement du temps" augmente avec la distance entre l'horloge et la grande masse de la Terre, mais prouverait plutôt que cette augmentation de la fréquence des photons de référence est simplement due à l'augmentation parfaitement naturelle de la masse des nucléons de césium avec l'augmentation de la distance de la Terre, ce qui à son tour rapproche en réaction toutes les orbitales électroniques des noyaux de césium de l'horloge, provoquant ainsi l'augmentation de l'énergie, donc la fréquence, des photons de référence, laissant l'élément temps complètement hors du tableau.

Il est tout à fait compréhensible que de tels doutes dominant dans la communauté, étant donné que toute augmentation de masse macroscopique mesurable avec la vitesse ne pourrait commencer à être mesurable que si les vitesses réalisables avec des masses macroscopiques étaient bien plus élevées que celles possibles à notre niveau macroscopique, puisqu'elles devraient atteindre les 2000 km/sec pour même devenir mesurables, ce qui est facile pour les électrons au niveau subatomique, comme le révèle les données de Kaufmann. Tout comme il est compréhensible que les physiciens du début du 20ème siècle aient pu conclure qu'une telle augmentation de masse ne concernait que le niveau subatomique, étant donné l'impossibilité de détecter une telle augmentation de masse pour les corps macroscopiques.

Mais nous avons maintenant de tels indices, même à notre niveau macroscopique, qui n'étaient pas disponibles il y a 100 ans, qui ont été fournis par le comportement des sondes spatiales Pioneer 10 et 11 sur leurs trajectoires de sortie du système solaire [86] [87] [88] [89], en partie en raison de leurs vitesses beaucoup plus élevées que celles qui sont possibles ici sur Terre, en relation avec le fait que leur masse a été mesurée avant le lancement ici sur Terre avant qu'ils ne soient élevés en altitude pour ensuite voyager dans l'espace profond, loin de toute grande masse planétaire. Il est à noter que le comportement observé avec les vaisseaux spatiaux Pioneer 10 et 11 caractérise également le comportement de tous les vaisseaux spatiaux, et même des corps naturels dans le système solaire [79].

Démystification de l'équation de force de Lorentz

Une expérience de très faible technicité et facile à réaliser a été proposée en 2013 [76], mentionnée à nouveau en 2016 [8] et en 2021 [9], qui pourrait démontrer simultanément que les masses au repos m_o des atomes augmentent lorsque l'intensité du gradient gravitationnel local diminue, comme lorsque de petites masses macroscopiques sont élevées en altitude loin de la surface de la Terre, et que la vitesse de l'écoulement du temps n'est pas liée au processus, puisqu'il est impossible que les masses les deux types d'atomes prévues comme masses d'essai dans l'expérience augmentent selon des vitesses temporelles différentes alors qu'ils sont simultanément élevés en altitude.

Notons que cette expérience a également été proposée dans un article soumis au *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM) et au *National Institute of Standards and Technology* (NIST) au début du mois de mars 2011 [90].

11.1 L'expérience de la balance à plateaux

Si les protons et les neutrons sont en réalité des triades d'électrons et de positons qui ont accéléré jusqu'à atteindre un état d'équilibre électromagnétique d'action stationnaire stable dans un volume dont le rayon est de l'ordre de $1,2E-15$ m, qui déformerait leurs caractéristiques de masse et de charge en celles observées après qu'ils se soient stabilisés dans l'état de quarks up et down, cela signifierait que la plus grande partie des masses des nucléons ne peut être que de nature relativiste puisque les gammes de masse possibles vérifiées des quarks up et down composant leur structure interne collisionnable ont été confirmées expérimentalement comme s'élevant à peine à 2% de la masse totale du proton et 2.4% de la masse totale du neutron. Voir les Références [74] et [91].

Cette masse relativiste doit alors être associée aux vitesses hautement relativistes ou niveaux d'énergie porteuse – voir **Section 10** – que les quarks up (vraisemblablement des positons accélérés) et les quarks down (vraisemblablement des électrons accélérés) doivent maintenir aux très court rayons de giration axiaux moyen auxquels cet état d'équilibre électromagnétique les oblige à se stabiliser. Ces *vitesses/niveaux-d'énergie-porteuse* et tous les autres paramètres connexes sont analysés dans la Référence [74].

Étant donné que les vitesses relativistes – ou niveaux d'énergie – de leurs sous-composants internes chargés et massifs seraient impliqués, cela signifie que les masses mesurables des protons et neutrons dépendent directement de l'intensité locale du gradient du champ coulombien local qui établit et maintient le niveau d'énergie porteuse de leurs sous-composants chargés.

Par conséquent, si une petite quantité d'atomes s'éloigne d'une grande masse comme celle de la Terre, ces distances entre les quarks chargés à l'intérieur des noyaux de la petite quantité diminueront légèrement à mesure que la distance entre cette petite quantité et la Terre augmentera, en raison de la diminution de l'attraction vers l'extérieur exercée par les quarks chargés des atomes qui constituent la grande masse de la Terre en fonction de l'augmentation de la distance, ce qui entraînera inévitablement une augmentation des *vitesses relativistes / niveaux-de-énergie-porteuse* dans les nucléons de la petite masse en cours d'éloignement, ce qui à son tour se traduira par une augmentation de la composante d'énergie relativiste de cette petite masse, et donc de sa masse mesurable.

Cela signifie également que les noyaux moins denses d'atomes de lithium ou de

Démystification de l'équation de force de Lorentz

magnésium par exemple, sont susceptibles d'avoir un gradient de contraction des nucléons vers la densité maximale dans l'espace lointain – loin de toute grande masse – qui serait plus prononcé que celui des éléments plus denses comme l'uranium ou l'osmium, lorsque l'intensité du gradient du champ coulombien ambiant diminue pendant qu'ils sont simultanément éloignés de la surface de la Terre, étant donné qu'ils contiennent beaucoup moins de nucléons dans des volumes du même ordre. Le diamètre des atomes plus denses étant estimé à seulement environ 3 fois celui de l'hydrogène, ce qui fait que le ratio des volumes entre les métaux de plus faible densité et de plus forte densité sera encore plus faible. Voir **Tableau 1**.

Ceci peut être vérifié d'une manière très simple. Il suffirait d'une balance à plateaux pour réaliser l'expérience, dans laquelle deux masses égales d'éléments de densités très différentes seraient mises en parfait équilibre au niveau du sol, ou mieux encore, au fond du puits de mine le plus profond possible. Cet ensemble serait ensuite soulevé en altitude.

Pourquoi pas 10 km, comme cela a été fait lors de la première expérience avec les horloges atomiques au césium par Hafele et Keating [85] ? Si les gradients de contraction des nucléons sont réellement différents pour les éléments de faible et de forte densité, comme nous l'avons supposé ici, alors le plateau contenant l'élément de faible densité devrait baisser pendant au moins un moment au cours de l'ascension, montrant que cet élément de faible densité devenait au moins momentanément plus massif que l'autre. La preuve serait alors obtenue que les masses au repos des nucléons varient en fonction des variations locales du gradient gravitationnel. La conséquence de cette augmentation de la densité des nucléons avec l'augmentation de l'altitude sera évidemment un resserrement de toutes les orbitales électroniques autour des noyaux maintenant plus massifs.

Le fait que deux types d'atomes de deux densités différentes présentent des taux d'augmentation de la masse au repos différents avec l'augmentation de la distance par rapport à la masse terrestre confirme également que la vitesse de l'écoulement du temps ne peut en aucun cas être impliquée, puisque les deux types d'atomes présentent ces taux d'augmentation de la masse au repos différents tout en étant simultanément élevés en altitude.

Cette expérience prouverait également sans aucun doute possible que des vitesses relativistes variables et/ou des niveaux d'énergie porteuse variables sont impliqués à l'intérieur des nucléons, ce qui donnerait définitivement de la substance à la possibilité que les nucléons puissent être créés au moyen du processus d'accélération adiabatique, en apparence irréversible, autorisé selon la perspective émergente de l'interprétation initiale de Maxwell [74].

11.2 Inversion du processus adiabatique de création de nucléons

Outre l'expérience de basse technologie décrite précédemment, une expérience de haute technologie pourrait également être menée pour confirmer directement que les quarks up et down sont en fait de simples électrons et positons dont les caractéristiques de masse et de charge sont altérées par les contraintes extrêmes qui leur sont imposées par les états d'équilibre d'action stationnaire les plus énergétiques auxquels ils peuvent

Démystification de l'équation de force de Lorentz

potentiellement être contraints par leur interaction électromagnétique mutuelle, soit les états stables de proton et de neutron.

Bien sûr, puisque les protons et les neutrons sont des états stables, le processus d'accélération adiabatique qui provoque l'augmentation de l'énergie qui s'additionne pour finalement constituer leur masse au repos semble ne pas être réversible. Mais, étant donné que l'établissement d'un atome d'hydrogène implique la stabilisation d'un électron dans son orbitale de moindre action autour d'un proton selon le processus adiabatique décrit aux références [8] [9], accompagné de l'éjection d'un photon de bremsstrahlung de 13.6 eV que nous pouvons détecter, et que ce processus peut être inversé en forçant l'éjection de cet électron lorsque la même quantité d'énergie de 13.6 eV est communiquée à l'électron, on peut supposer que l'établissement de structures nucléoniques à partir de triades des deux combinaisons possibles d'électrons et de positons thermiques pourrait être sujet au même processus adiabatique réversible.

Si une combinaison d'un électron thermique et de deux positons thermiques est réellement à l'origine de l'établissement de la structure du proton après leur stabilisation sous forme d'un quark down et de deux quarks up, selon les conclusions tirées de la perspective trispatale, il semblerait logique par similitude qu'ils puissent être éjectés, retrouvant leurs caractéristiques de charge et mass normales, si une quantité d'énergie était communiquée au proton, égale à celle qui a été libérée sous forme de trois photons de bremsstrahlung de haute énergie lorsque la triade s'est stabilisée dans l'état final de proton.

Cela pourrait théoriquement être réalisé en faisant absorber simultanément par un proton immobilisé 3 photons d'une énergie légèrement supérieure à 154,8696007 MeV [74], soit l'énergie de momentum avec laquelle chaque électron et positon entrant possédait adiabatiquement au moment de la stabilisation finale, et qui aurait été libérée sous forme de trois photons de bremsstrahlung, lorsque la triade s'est stabilisée en tant que les sous-composants internes chargés qui ont établi la structure stable du proton.

De même, pour le neutron, l'absorption théorique simultanée de 3 photons d'une énergie légèrement supérieure à 155,2289185 MeV [74] devrait libérer dans ce cas également le positon et les 2 électrons captifs, entraînant la réduction adiabatique à zéro de l'énergie adiabatique non libérable qu'ils avaient accumulée lors de leur accélération initiale.

En pratique cependant, compte tenu de la difficulté inhérente à la production et au guidage de précision de tels photons à haute énergie, il est possible d'envisager l'utilisation d'un plus grand nombre de photons de moindre énergie, équivalents ou supérieurs à l'énergie de libération requise de 465 MeV, absorbés simultanément par un proton cible immobilisé, provenant de réseaux de lasers à haute puissance.

Si elle réussit, une telle expérience qui éjecterait simultanément les trois sous-composants internes collisionables d'un proton sous forme d'un électron et de deux positons détectables en mouvement libre, *accompagné de la disparition de l'énergie non libérable induite adiabatiquement* qui constituait la majeure partie de la masse au repos du proton, constituerait la preuve physique hors de tout doute possible de la réalité des processus décrits dans la présente analyse, et que les quarks up et down ne sont en réalité

Démystification de l'équation de force de Lorentz

que des positons et des électrons normaux dont les caractéristiques de masse et de charge sont altérées par les contraintes qui leur sont imposées par ces états d'équilibre axial d'action stationnaire électromagnétique les plus énergétiques que les électrons et les positons peuvent atteindre dans la nature, et par la même occasion, apporterait la preuve que l'énergie induite par l'interaction coulombienne est de nature adiabatique.

12. De nouvelles sources potentielles d'énergie

Pour en revenir à la description sommaire de ce qui se passe dans la corona solaire présentée à la **Section 8**, la possibilité que les températures de plus d'un million de degrés dans le plasma de la corona solaire soient dues à une sorte de réaction en chaîne lente et permanente qui générerait continuellement des nucléons tel qu'analysé à la Référence [75], l'établissement de chacun d'entre eux libérant l'énergie qui maintient ces températures, amène bien sûr à penser que ce processus, s'il est confirmé, pourrait éventuellement être contrôlé à notre avantage [76].

12.1 Le moteur corona

Il n'est pas difficile d'imaginer ce qui pourrait devenir possible si nous étions capables de fabriquer systématiquement des protons et des neutrons très massifs à partir de paires électron-positron beaucoup moins massifs générés par le découplage de simples photons électromagnétiques sans masse de 1,022 MeV [74], que le modèle des 3 espaces laisse clairement entendre comme étant une possibilité indéniable pour expliquer les températures extrêmes de la corona tel qu'analysé dans la Référence [75], ce qui revient à fabriquer de la matière à partir d'énergie, au lieu d'extraire péniblement de l'énergie de la matière comme cela a été notre seule possibilité jusqu'à présent.

Pour parler franchement, et sans même tenir compte de l'augmentation de 227 fois de l'énergie libre qui résulterait de chaque création de nucléon, contrôler dans une première étape un tel processus de conversion de deux photons de 1,022 MeV en 2,044 MeV/c² de masse (deux paires électron-positon), puis dans une seconde étape, convertir adiabatiquement ces 2 MeV/c² de masse en environ 938 MeV/c² de masse effective, soit un atome d'hydrogène, c'est-à-dire un proton avec son électron associé, ou alternativement un neutron avec un positon libre en réserve) par un processus d'accélération entièrement naturel et irréversible, nous fournirait environ 470 fois notre mise en terme de masse.

Selon toutes les probabilités, la solution consisterait fondamentalement à bombarder des cibles minces de matériaux encore à identifier avec des quantités massives de photons hautement focalisés d'une énergie exacte de 1,021 998 MeV, de sorte que les paires générées soient immédiatement thermiques et n'aient pas d'énergie de momentum à perdre pour s'échapper l'une de l'autre tout en étant produites en des concentrations et une proximité suffisamment élevées pour que les triades aient une chance d'engager le processus d'accélération dû à leurs interactions mutuelles.

En ce qui concerne l'exploration spatiale, il devient possible d'envisager des systèmes de propulsion alimentés par de tels photons sans masse, une sorte de "moteur corona" qui éjecterait de la matière fondamentalement créée à partir d'énergie pure en quantités si

Démystification de l'équation de force de Lorentz

énormes qu'une accélération constante pouvant possiblement atteindre 1g pourrait être envisagée, dans des vaisseaux spatiaux dont la masse ne serait plus un facteur, tel que mis en perspective dans la Référence [76].

Il deviendrait possible de concevoir les coques des navires aussi épaisses que nécessaire, de les profiler et de les magnétiser pour protéger efficacement les équipages contre les rayonnements cosmiques et autres particules, principalement produites lorsque les protons à haute énergie du rayonnement cosmique entrent en collision avec la coque, aux vitesses hautement relativistes qui pourraient être atteintes.

Les voyages vers les régions les plus éloignées du système solaire pourraient être réduits à quelques mois, tandis que les voyages vers Mars à des fins de colonisation seraient réduits à quelques semaines. Les étoiles les plus proches pourraient être atteintes aller-retour dans le délai compatible avec la durée d'une vie humaine.

Il est intéressant de noter que la nouvelle génération de laser à électrons libres ("wigglers" FEL) est déjà un type d'accélérateur qui pourrait éventuellement être modulé pour générer des faisceaux cohérents précis de photons de bremsstrahlung à la fréquence seuil requise pour la production éventuelle de paires lorsqu'ils sont dirigés vers un matériau cible approprié.

En 2009 déjà, des expérimentateurs ont réussi à accélérer de manière stable des faisceaux d'électrons cohérents à des énergies de $\sim 0,8$ MeV en bombardant une cible de dioxyde de silicium avec un système à impulsions laser doubles hautement collimatées à une fréquence de 500 fois par seconde [92].

Cela signifie que si les conclusions qui, selon cette analyse, émergent de l'interprétation initiale de Maxwell, correspondent à la réalité, le jour n'est pas loin où l'on atteindra le seuil magique d'énergie des photons-porteurs de 1,021 998 MeV, générés par des faisceaux d'électrons cohérents avec des dispositifs simplifiés qui seront plus facilement adaptables à la miniaturisation et à la motorisation des engins spatiaux, et nous fourniront une source d'énergie disponible en quantités illimitées lorsqu'elle sera complètement contrôlée.

12.2 Le processus d'ignition des étoiles

La présente analyse révèle que seules deux intensités stables de résonance d'action stationnaire de l'énergie électromagnétique fondamentale peuvent être associées à la masse au niveau subatomique, à savoir le niveau d'intensité énergétique de la masse de l'électron et le niveau d'intensité énergétique des masses des nucléons.

Le premier niveau d'intensité énergétique stable, impliquant l'établissement des masses des électrons et des positons à partir de l'énergie des photons en mouvement libre, est entièrement réversible et n'implique aucune composante adiabatique [16]. Le deuxième niveau d'intensité énergétique stable, impliquant l'établissement de protons et de neutrons, semble théoriquement être entièrement réversible, et implique une composante adiabatique, insoupçonnée jusqu'à présent, qui ouvre une perspective très prometteuse [74].

En ce qui concerne le processus d'allumage des étoiles, également abordé dans la

Démystification de l'équation de force de Lorentz

Section 8, lié au niveau critique de compression des atomes d'hydrogène situés au centre même des accumulations de masse des protoétoiles, qui fait que les photons-porteurs des électrons des atomes d'hydrogène atteignent le seuil précis d'énergie de déclenchement du découplage de 1,021 998 MeV, qui amène le photon-porteur suffisamment près du proton central de chacun de ces atomes pour qu'il soit immédiatement déstabilisé et converti en une paire électron-positon totalement thermique requise, qui peut immédiatement déclencher le processus de création de neutrons pour chaque atome impliqué en se combinant avec l'électron transporté maintenant lui-même thermique, il est douteux qu'une telle pression puisse être maintenue à la valeur exacte requise pour qu'ils demeurent totalement thermiques, sauf de façon fugace, dans toute tentative pour reproduire ce processus de manière continue.

Il existe toutefois un processus en deux étapes, qui est déjà largement à la portée de nos capacités technologiques actuelles et qui consiste à accélérer d'abord des faisceaux d'électrons cohérents jusqu'à la vitesse précise requise pour que leurs photons porteurs atteignent le seuil critique de découplage énergétique de 1,021 998 MeV, ce qui, en joules, équivaut à 1,637420828E-13 J.

Tel qu'analysé à la Référence [76], ce niveau d'énergie du photon-porteur de l'électron est atteint à la vitesse critique fantastique de 259 627 884 m/s, soit 86,6 % de la vitesse de la lumière. Si ces électrons sont ensuite amenés à interagir avec un matériau catalyseur qui simule la proximité des noyaux d'hydrogène dans la zone centrale des étoiles, il devrait en résulter des foules de noyaux de deutérium qui pourraient être utilisés pour entretenir la fusion de l'hydrogène s'ils sont couplés au processus analysé pour la corona.

Les lecteurs familiers avec les accélérateurs à haute énergie savent fort bien que de telles vitesses sont facilement atteintes et même dépassées de loin jusqu'à 99,99...% de la vitesse de la lumière pour des faisceaux d'électrons collimatés dans les anneaux de stockage des accélérateurs synchrotron et dans les accélérateurs Bètatron, et ce depuis les années 1960 pour les synchrotrons et depuis les années 1940 pour la conception du Bètatron [93].

La question suivante vient maintenant à l'esprit : Ne devrions-nous pas avoir observé ce phénomène de génération de neutrons assez souvent pour de telles vitesses critiques et supercritiques ? La production occasionnelle et aléatoire de nucléons a très probablement été observée assez souvent comme un sous-produit fugace d'expériences de collisions menées pour observer des résultats d'expériences menées à d'autres fins!

Il faut bien comprendre à ce stade que le découplage en paires de photons-porteurs d'électrons à haute vitesse ne dépend pas seulement du fait que les électrons aient atteint la vitesse critique. Une certaine condition déstabilisante doit être présente pour déclencher le processus à la vitesse de déclenchement précise requise, sinon cette vitesse sera dépassée, ce qui empêchera immédiatement toute paire générée de demeurer suffisamment thermique pour que les triades se capturent mutuellement et commencent à accélérer. Il est bien connu que les électrons peuvent être poussés aussi loin dans la zone de vitesse supercritique que la technologie permet sans qu'aucun découplage de leur énergie porteuse ne se produise.

Cependant, à la vitesse critique précise requise, la moindre interférence avec la

Démystification de l'équation de force de Lorentz

trajectoire d'un faisceau d'électrons par toute autre particule se trouvant à proximité immédiate du faisceau, qu'elle soit parasite ou planifiée, est susceptible de déclencher le découplage. Les traces explosives de telles occurrences ont dû être enregistrées au cours des cinq dernières décennies et ces enregistrements demeurent disponibles pour une éventuelle ré-étude.

Mais puisque l'objectif traditionnel de toutes les expériences effectuées dans les accélérateurs à haute énergie ont été des tentatives de détecter les partons les plus massifs que la technologie permettait, ces collisions ont traditionnellement été effectuées à la vitesse la plus élevée possible. L'énergie des photons-porteurs des faisceaux de particules dépasse alors systématiquement la quantité précise de 1,021 998 MeV qui doit être maintenue pour que le processus se déclenche, ce qui rend douteux que plus que quelques neutrons errants auraient été produits directement, ce qui semble être précisément ce qui a été observé [94]. Voir aussi la Référence ([67], Section 20.2).

13. Gravitation

Maintenant que tous les aspects de l'équation de force de Lorentz ont été clairement expliqués par rapport à la direction du mouvement dans laquelle l'électron est propulsé par l'énergie de momentum de son photon-porteur, une énergie de momentum qui applique sa pression perpendiculairement contre la surface ds quasi-ponctuelle du point d'appui ds qui la relie à son complément d'énergie longitudinalement inerte des champs \mathbf{E} et \mathbf{B} oscillant transversalement, en plus de contre l'énergie invariante et aussi longitudinalement inerte de la masse au repos de l'électron, la question de la gravitation dans l'univers peut enfin être abordée selon cette perspective.

En fait, Einstein lui-même a préparé le terrain pour que cette question soit résolue du point de vue électromagnétique lorsqu'il a conclu dans son quatrième article de 1905 [23] que lorsqu'un corps émet de l'énergie sous forme de rayonnement, sa masse diminue en conséquence (voir **Section 2**).

Étant donné que, selon le simple bon sens, si la masse d'un corps macroscopique est constituée d'une *substance existant physiquement*, ce qui est prouvé par le fait qu'il occupe de manière vérifiable un volume dans l'espace qu'aucune expérimentation ne permet de démentir, on peut également conclure que si une quelconque quantité de cette substance physiquement existante est retirée de ce corps, ce qui entraîne une diminution de la masse de ce corps, cette quantité enlevée doit continuer à exister en tant que *substance existant physiquement* après son retrait.

La conclusion d'Einstein à cet égard doit être reliée à une conclusion de son article publié précédemment à propos de la création et la transformation de la lumière en énergie cinétique [20] :

"Nach der Auffassung, daß das erregende Licht aus Energiequanten von der Energie $(R/N)\beta v$ bestehe, läßt sich die Erzeugung von Kathodenstrahlen durch Licht folgendermaßen auffassen. In die oberflächliche Schicht des Körpers dringen Energiequanten ein, und deren Energie verwandelt sich wenigstens zum Teil in kinetische Energie von Elektronen. Die einfachste

Démystification de l'équation de force de Lorentz

Vorstellung ist die, daß ein Lichtquant seine ganze Energie an ein einziges Elektron abgibt; wir wollen annehmen, daß dies vorkomme. Es soll jedoch nicht ausgeschlossen sein, daß Elektronen die Energie von Lichtquanten nur teilweise aufnehmen."

Traduction:

"Si l'on considère que la lumière incidente est constituée de quanta d'énergie $(R/N)\beta v$, la génération de rayons cathodiques par la lumière peut être comprise comme suit. Les quanta d'énergie pénètrent dans la couche superficielle du corps et leur énergie est transformée au moins partiellement en énergie cinétique des électrons. L'hypothèse la plus simple est qu'un quantum de lumière transfère toute son énergie à un seul électron ; nous supposons que c'est le cas. Toutefois, il n'est pas exclu que les électrons n'absorbent que partiellement l'énergie des quanta de lumière."

De toute évidence, il considérait que les quanta d'énergie entrants se convertissent en énergie cinétique de momentum d'une manière qui l'ajoute simplement à l'énergie cinétique de momentum que les électrons auraient pu posséder auparavant, c'est-à-dire un processus d'absorption mécanique qui a été analysé et expliqué dans les Références [12] [13] tel que mis en perspective précédemment. Cela signifie que l'énergie cinétique des photons entrants ne peut être que de même nature que l'énergie cinétique de momentum précédemment possédée par l'électron.

Il est maintenant clair que cette énergie cinétique de momentum que l'électron possédait précédemment est induite par l'interaction coulombienne, étant donné que les électrons sont des particules chargées. Et c'est ce qui établit la différence entre le *concept classique de l'énergie cinétique de momentum*, et le *concept électromagnétique de l'énergie électromagnétique de momentum*, une énergie électromagnétique de momentum dont nous savons maintenant qu'elle ne représente que la moitié de la quantité totale d'énergie induite par l'interaction coulombienne, et que *"lorsqu'elle est émise par un corps sous forme de rayonnement, elle provoque une diminution de sa masse[longitudinale]"*, comme Einstein l'a conclu dans son quatrième article de 1905 [23].

Cela signifie à son tour que cette énergie électromagnétique de momentum ne peut être qu'une *"substance existant physiquement"* qui continue à exister pendant que les électrons sont captifs des structures atomiques avant le moment où elle est *émise sous forme de radiation*, une condition qu'Einstein a identifiée en ce qui concerne les corps macroscopiques comme *causant une diminution de la masse du corps* [23], et que lorsque cette énergie électromagnétique de momentum est incapable de manifester son existence en tant que vitesse de l'électron, elle ne peut par conséquent qu'exercer une *pression* correspondante dans la même direction vectorielle.

La question est maintenant : Exercer une *pression* contre quoi exactement ?

Dans le cas de l'électron au comportement quasi-ponctuel, cette pression sera évidemment exercée contre l'emplacement ponctuel que l'électron est connu pour occuper dans l'espace chaque fois qu'il est enregistré comme entrant en collision de manière quasi-ponctuelle avec toute autre particule élémentaire, un emplacement quasi-ponctuel

Démystification de l'équation de force de Lorentz

qui doit logiquement coïncider avec le centre du quantum d'énergie dont est constituée la masse mesurable au repos de l'électron.

Cet emplacement quasi-ponctuel peut être représenté mathématiquement comme une surface infinitésimale ds , telle qu'elle a été présentée pour la première fois à la **Section 3**, une surface infinitésimale idéalisée sensée représenter le point d'appui réel, ou "*point d'application*" sur lequel l'énergie du momentum exerce sa pression contre le centre du quantum d'énergie de l'électron.

Voyons maintenant comment ce point d'application de la pression du momentum d'un photon ou d'un photon-porteur peut être représenté dans la géométrie trispatale.

En référence à la **Figure 1**, le produit vectoriel croisé des champs E et B , résultant en un troisième vecteur perpendiculaire aux deux premiers, est une référence très familière dans la communauté des physiciens (**Figure 1-a**). Pour établir la géométrie trispatale, chacun de ces trois vecteurs linéaires doit être développé en un espace vectoriel 3D complet qui lui est propre (**Figures 1-b** et **1-c**), l'espace-Y représentant un "*espace électrostatique*" idéalisé, dans lequel l'énergie possède les caractéristiques électriques, tandis que l'espace-Z représente un "*espace magnétostatique*" idéalisé, qui sera le siège de toutes les caractéristiques magnétiques de l'énergie, et enfin l'espace X représentant "*l'espace normal*" idéalisé dans lequel l'énergie cinétique de momentum demeure localisée en mode unidirectionnel constant, appliquant une *pression* sur le point central de jonction où les trois espaces vectoriels mutuellement perpendiculaires se rencontrent au centre de tout quantum d'énergie électromagnétique existant physiquement [12] [13] [25] [26].

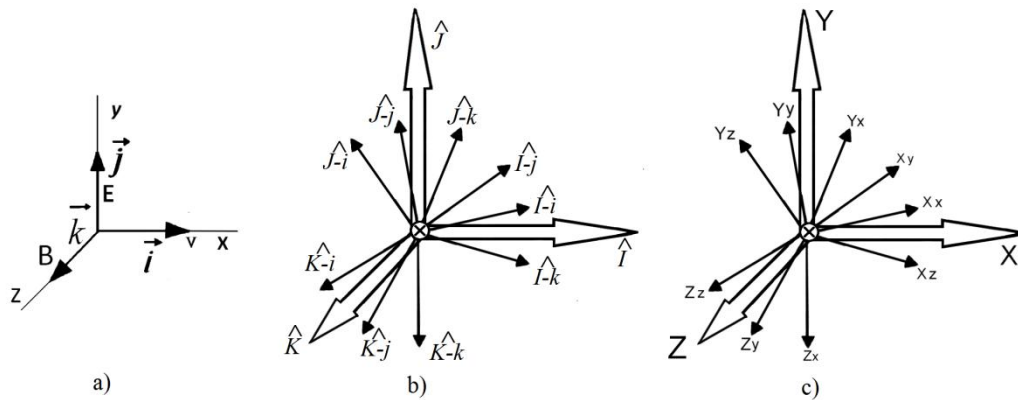


Figure 1: Les ensembles de vecteurs majeurs et mineurs applicables à la géométrie trispatale.

D'un point de vue conceptuel, le vide universel tel que défini dans la théorie quantique des champs (QFT) peut être recouvert par un espace vectoriel de Hilbert qui établit un champ vectoriel continu global [95] [96] [97], dont chaque vecteur individuel nécessite la présence de deux *objets ponctuels*.

De même, dans le concept électromagnétique alternatif d'un vide absolu à énergie nulle tel qu'il aurait pu théoriquement exister au début de l'univers, une énergie nulle aurait augmenté adiabatiquement jusqu'au niveau qui est ambiant dans l'univers

Démystification de l'équation de force de Lorentz

aujourd'hui, un minimum de deux photons électromagnétiques trispaciaux au comportement ponctuel doivent être apparus simultanément pour que la première relation électromagnétique ait pu exister, étant donné que l'existence individuelle de chacun des deux photons dépend de l'existence simultanée de l'autre, puisque cette existence dépend de leur interaction mutuelle. Dans le cas de particules électromagnétiques au comportement quasi-ponctuel, des paires de charges électriques de signes opposés s'imposent par la structure.

Ainsi, une paire de charges de signes opposés donnerait lieu à l'apparition dans l'espace-X d'une paire de vecteurs orientés en opposition, représentant l'énergie cinétique de momentum de chaque membre de la paire, orientés de manière à représenter leur tendance à se déplacer l'un vers l'autre avec une énergie adiabatique progressivement croissante, fonction de l'inverse de la distance décroissante qui les sépare, tandis qu'une paire de charges de même signe donnerait lieu à une paire de vecteurs orientés en opposition, représentant l'énergie cinétique de chaque membre de la paire, orientés de manière à représenter leur tendance à diminuer progressivement leur énergie adiabatique lorsqu'ils s'éloignent l'un de l'autre en fonction de la même règle inverse de la distance.

Pour que la symétrie vectorielle et énergétique soit maintenue, deux autres paires de vecteurs opposés sont établies en mode stationnaire au niveau de chaque particule à comportement quasi-ponctuel, perpendiculairement au vecteur de momentum, à l'intérieur de l'espace-Y pour l'une des paires, et à l'intérieur de l'espace-Z pour l'autre, chaque paire étant par structure perpendiculaire à l'autre, chaque paire inversant et induisant cycliquement l'autre paire perpendiculaire en alternance en mode stationnaire par rapport à l'emplacement ponctuel de la particule à la fréquence de l'énergie de la particule représentée dans la structure vectorielle orthogonale trispaciale.

Ce qui est intéressant à propos de cette structure de vecteurs mutuellement perpendiculaires à trois directions, c'est que si la quantité d'énergie représentée par les deux paires transversales oscillantes est rendue égale par structure à l'énergie représentée par le vecteur de momentum [82], puisqu'ils représentent une *substance énergétique existant physiquement* se déplaçant cycliquement d'un maximum à un autre orienté perpendiculairement, alors par structure, l'énergie oscillant entre les deux paires de vecteurs transversaux est soumise à deux séquences d'accélération perpendiculaires l'une à l'autre, dont la vitesse maximale atteindra mais ne pourra pas dépasser la vitesse de la lumière lorsque la moitié de la *substance* énergétique aura transféré d'une orientation vers l'autre, si la vitesse de la *substance* doit revenir à zéro lorsqu'elle est au maximum dans l'une ou l'autre des orientations perpendiculaires [12] [13] ; l'équilibre moitié-moitié entre l'énergie cinétique de momentum et l'énergie oscillant transversalement étant ce qui garanti que l'énergie cinétique de momentum de la particule établit la vitesse invariante de la lumière du photon dans le vide, ce qui a été mathématiquement confirmé dans les références [31] et [68] pour les vitesses transversales et longitudinales

Tout d'abord sera présentée une série de figures développées pour illustrer l'oscillation interne de l'énergie au sein des particules électromagnétiques élémentaires dans la géométrie trispaciale. Ensuite sera abordée la relation entre les charges des particules élémentaires dont sont constitués tous les atomes et la gravitation.

Démystification de l'équation de force de Lorentz

La représentation de la **Figure 2** est une séquence éclatée des états transversaux successifs que parcourt la moitié oscillante de l'énergie d'un photon électromagnétique au cours de l'un de ses cycles d'oscillation transversale, introduite pour la première fois dans la Référence [68], et du demi-quantum d'énergie unidirectionnelle de momentum qui propulse à la vitesse de la lumière dans le vide la moitié oscillant transversalement.

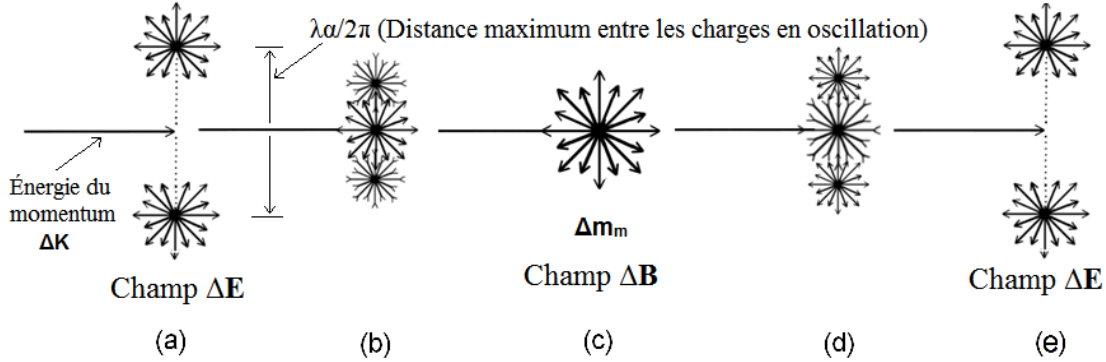


Figure 2: Représentation du cycle d'oscillation transversal du demi-quantum électromagnétique d'un photon ou d'un photon-porteur d'électrons.

La même description s'applique au photon-porteur d'un électron en mouvement libre, à la différence qu'en plus de propulser son autre moitié inerte oscillant transversalement, l'énergie du momentum du photon-porteur doit aussi propulser l'énergie transversale inerte totale de la masse au repos de l'électron – non illustré dans la **Figure 2**, ce qui fait que le ratio *énergie-de-momentum-propulsante / énergie-transversale-propulsée* condamne pour toujours la quantité d'énergie du momentum à constituer moins que la moitié de l'énergie totale de l'ensemble *photon-porteur/électron-transporté*, empêchant ainsi pour toujours que l'électron puisse atteindre la vitesse de la lumière, tel qu'analysé dans la Référence [69].

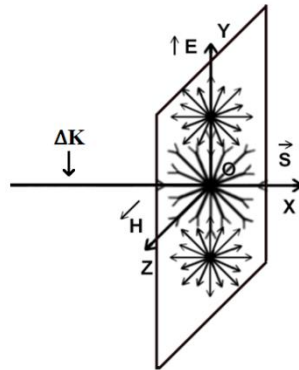


Figure 3: Le concept d'onde plane appliqué à un photon ou photon porteur localisé en permanence.

La représentation de la **Figure 3** montre la même séquence avec les aspects successifs du cycle d'oscillation transversal regroupés sur un même plan transversal par rapport à l'énergie du momentum du quantum, les deux moitiés énergie-du-momentum et énergie-oscillant-transversalement étant unies en un seul quantum à travers la jonction centrale

Démystification de l'équation de force de Lorentz

quasi-punctuelle, contre laquelle l'énergie du momentum applique sa pression, dans cette représentation du traitement par onde plane.

La représentation de la **Figure 4** décrit la structure de l'énergie du champ oscillant interne de la masse au repos de l'électron, de celle du quark up et de celle du quark down, correspondant à l'Équation (31) pour la masse au repos de l'électron, à l'Équation (43) pour la masse au repos du quark up et à l'Équation (44) pour la masse au repos du quark down. L'Équation (31) a été établie dans la Référence [16] et le champ neutrinique a été analysé dans la Référence [73]. Les Équations (43) et (44) ont été établies dans la Référence [74].

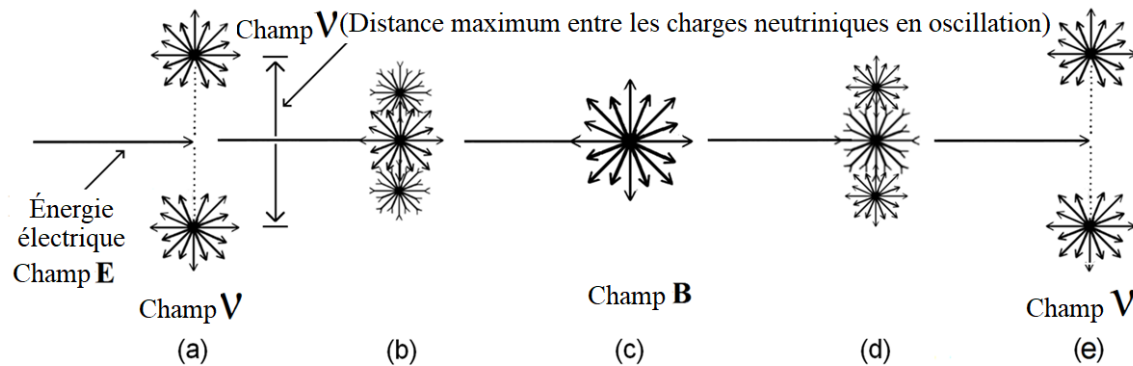


Figure 4: Représentation du cycle d'oscillation transversal du champ magnétique invariant correspondant à la moitié de la masse au repos invariante d'un électron et du champ électrique invariant qui correspond à l'autre moitié de sa masse au repos invariante.

Notons que l'énergie porteuse de l'électron n'est pas représentée dans la **Figure 4**. L'énergie combinée de la masse au repos de l'électron et de son photon-porteur peut être calculée avec l'Équation (32) à partir de leurs valeurs d'énergie séparées, et avec l'Équation (33) à partir de leurs longueurs d'onde distinctes. La combinaison de leurs équations de champs trispaciaux est disponible dans le Tableau I de la Référence [16].

Les champs E de l'électron, du quark up et du quark down correspondent à leurs charges électriques respectives, qui sont les seules charges qui existent à l'intérieur de l'atome d'hydrogène. Par structure, l'électron stabilisé dans l'état fondamental de l'atome d'hydrogène a une charge de $C_e = 1,602176462E-19$ Coulomb, et les trois charges du proton sont deux charges de quark up $C_u = 1,068117641E-19$ Coulomb, et une charge de quark down $C_d = 5.340588207E-20$ Coulomb, pour un total de 4 charges composant la structure interne de l'atome d'hydrogène. De l'énergie porteuse est constamment induite dans ces charges par l'interaction coulombienne sous-jacente présente en permanence, en fonction de l'inverse des distances les séparant, et ces niveaux d'énergie sont susceptibles de varier en fonction de toute variation d'intensité du gradient gravitationnel local qui détermine ces distances.

Par conséquent, du point de vue électromagnétique, l'atome d'hydrogène n'est pas un système de deux corps massifs en interaction mutuelle comme on le considère en mécanique classique/relativiste, mais plutôt un système de quatre particules

Démystification de l'équation de force de Lorentz

électromagnétiques élémentaires chargées en interaction mutuelle, stabilisées en état de résonance électromagnétique d'action stationnaire [63].

La même transposition depuis la perspective traditionnelle de *masses en interaction* vers la perspective des *particules électromagnétiques élémentaires chargées en interaction* semble être requise pour tous les atomes existants ainsi que pour toutes les masses macroscopiques et astronomiques, pour qu'il devienne possible de clairement comprendre de quelle manière le gradient gravitationnel dépend de l'interaction coulombienne.

Cela n'implique nullement que les calculs effectués selon la perspective d'interaction de masses soient inappropriés ou inexacts, seulement que la perspective stricte d'interaction de masses ne permet pas de relier l'interaction universelle de Coulomb au gradient gravitationnel universel, en raison de l'absence de toute référence à la relation intime connue qui existe physiquement entre la charge invariante de l'électron et sa masse au repos invariante, dans toutes les théories actuelles, et ce, malgré le fait que cette relation ait été clairement établie par Einstein lui-même dans son article de 1910 [14], tel qu'analysé aux Références [81] et [82]

"On peut, par exemple, obtenir de cette façon les équations du mouvement d'un point matériel de masse m portant une charge électrique e (par exemple un électron) et soumis à l'action d'un champ électromagnétique. On connaît, en effet, les équations du mouvement d'un point matériel à l'instant où sa vitesse est nulle. D'après les équations de Newton et la définition de l'intensité du champ électrique, on a:"

$$(2) \quad m \frac{d^2x}{dt^2} = e\mathbf{E}_x \quad ([14], \text{ p. 143})$$

Pour analyser un exemple provisoire de procédure pour réaliser cette opération de transposition de la perspective traditionnelle de *masses en interaction* vers la perspective de *charges en interaction* au niveau général, nous utiliserons à la fois la structure de masses interne de l'atome d'hydrogène et sa structure de charges internes comme cas de test.

De ce point de vue, la masse de l'atome d'hydrogène consiste à additionner la masse standard de l'électron à la masse standard du proton ($m_e = 9,10938188E-31$ kg et $m_p = 1,67262158E-27$ kg), soit $m_h = 1,673532518E-27$ kg.

Calculons maintenant la force appliquée à un atome d'hydrogène au niveau du sol terrestre au moyen de la valeur établie de l'accélération due à la gravité au niveau du sol [11] :

$$a = \omega^2 r = \frac{v^2}{r} = g = 9.80665 \text{ m/s}^2 \quad (54)$$

Notons que cette valeur d'accélération standard est la valeur d'accélération moyenne entre l'accélération précise de $9,83208 \text{ m/s}^2$ aux pôles et l'accélération précise de $9,78036 \text{ m/s}^2$ au niveau moyen de la mer à l'équateur [91]. La force obtenue avec la valeur moyenne de l'accélération à la surface de la Terre pour un atome d'hydrogène est :

Démystification de l'équation de force de Lorentz

$$F = m_h \cdot g = 1.641174767 \text{ E} - 26 \text{ N} \quad (55)$$

Étant donné qu'il s'agit de la force moyenne à la surface de la Terre, la multiplication de cette valeur de force par le rayon moyen estimé de la Terre $r = 6378140$ mètres [91] nous donnera la quantité d'énergie porteuse adiabatiquement induite dans l'atome d'hydrogène au niveau moyen du sol :

$$E = F \cdot r = 1.641174767\text{E} - 26 \cdot 6378140 = 1.046764243\text{E} - 19 \text{ j} \quad (56)$$

La conversion de cette valeur en électronvolts pour fins de comparaison en la divisant par la charge unitaire de l'électron ($e=1,602176462\text{E}-19$ Coulombs) donne $0,653338922$ eV. Tel qu'établi pour l'énergie induite par l'interaction coulombienne dans l'électron stabilisé à la distance orbitale moyenne de l'état fondamental de l'atome d'hydrogène, la moitié de cette énergie s'auto-oriente perpendiculairement à l'autre moitié pour osciller entre les états électrique et magnétique, augmentant la masse mesurable de l'atome d'hydrogène tandis que l'autre moitié demeure orientée unidirectionnellement vers le centre de la terre sous forme d'énergie de momentum qui applique sa pression sur l'atome d'hydrogène orientée vers le centre de la Terre.

Or, étant donné que la structure interne de l'atome d'hydrogène comporte 4 particules élémentaires chargées, et que seules deux d'entre elles interagissent en attraction avec les deux autres, seule l'éventuelle attraction entre ces deux charges et les charges de signe opposé de la Terre sera considérée, puisque, tel qu'analysé à la Référence [76], les relations de répulsion entre les charges de même signe deviennent infinitésimales à très courte distance et peuvent être ignorées, tandis que les relations attractives entre les charges de signes opposés augmentent constamment avec la diminution des distances entre elles, de sorte que la quantité d'énergie calculée avec l'Équation (56) sera partagé à parts égales par les deux charges attractives de l'atome d'hydrogène.

Maintenant, tel qu'établi à la Référence [70], il a été prouvé que toutes les équations de force classiques peuvent être dérivées les unes des autres et de l'équation d'accélération fondamentale $F = ma$ – voir l'Équation (35) à la **Section 7** – y compris l'équation de force de Coulomb. Cela signifie que la force qui vient d'être calculée avec l'Équation (55) peut être directement liée à l'équation de force de Coulomb, en accord avec la conclusion d'Einstein dans son article de 1910 précédemment cité [14].

C'est à ce stade que le saut peut être fait de la perspective de *masses en interaction* à la perspective de *charges en interaction* entre les corps se trouvant à la surface de la Terre et la Terre elle-même. Étant donné que les deux charges de l'atome d'hydrogène qui interagiront en attraction avec les charges de signe opposé de la Terre peuvent être supposées être à la même distance du centre de la Terre, étant donné l'angle de parallaxe infinitésimal que le diamètre de l'atome d'hydrogène offre lorsqu'elle est considérée depuis le centre de la Terre, nous supposons également, pour raison de simplicité dans cette démonstration, que les deux ont la même charge électrique, c'est-à-dire la charge de l'électron. Donc, en multipliant ensuite cette charge de l'électron par 2, on obtient la charge de l'atome d'hydrogène que l'on peut mettre en relations attractives de paires de charges avec les charges opposées de la Terre :

$$q_1 = 1.602176462 \text{ E} - 19 \cdot 2 = 3.204352924 \text{ E} - 19 \text{ C} \quad (57)$$

Démystification de l'équation de force de Lorentz

La charge attractive composite de la Terre peut alors être calculée en isolant q_2 dans l'équation standard de Coulomb (voir l'Équation (14)), en utilisant la force calculée avec l'Équation (55), la charge attractive composite de l'atome d'hydrogène calculée avec l'Équation (57) et le rayon de la Terre précédemment donné :

$$q_2 = \frac{F4\pi \varepsilon_0 r_e^2}{q_1} = 2.318254855E-04 \text{Coulomb} \quad (58)$$

Si on divise ensuite q_2 par la charge unitaire, on obtient le nombre de charges attractives qui représentent théoriquement la moitié de la masse de la Terre :

$$A_E = \frac{q_2}{e} = 1.446941027E15 \text{ Charges attractives élémentaires} \quad (59)$$

Multipliant cette valeur par 2 donnera alors le nombre estimé de charges élémentaires dont est constituée la masse entière de la Terre ($A_E \cdot 2 = 2,893882054E15$).

De même, la force d'attraction exercée sur la masse terrestre par le Soleil peut être calculée avec l'équation gravitationnelle traditionnelle [70], dans laquelle M représente la masse estimée du Soleil ($M=1,9891E30$ kg), r représente le rayon moyen de l'orbite terrestre ($r=1,4959787E11$ m), m représente la masse estimée de la Terre ($m=5,9742E24$ kg), G est la constante gravitationnelle ($G=6,673 E-11$ Newton \cdot m²/kg²) [91] :

$$F = G \frac{Mm}{r^2} = 3.543289846E22 \text{ N} \quad (60)$$

Connaissant la charge attractive composite de la Terre établie avec l'Équation (58) et l'utilisant comme charge q_1 dans l'équation de Coulomb, la force attractive du Soleil calculée avec l'Équation (60), et le rayon de l'orbite terrestre, la charge attractive composite du Soleil peut être calculée en isolant la charge q_2 dans l'équation de Coulomb:

$$q_2 = \frac{F4\pi \varepsilon_0 r_e^2}{q_1} = 3.805878467E38 \text{Coulomb} \quad (61)$$

En divisant q_2 par la charge unitaire, on obtient le nombre de charges attractives qui représentent théoriquement la moitié de la masse du Soleil :

$$A_S = \frac{q_2}{e} = 2.375442754E57 \text{ Charges élémentaires attractive} \quad (62)$$

Multiplier cette valeur par 2 donnera alors le nombre estimé de charges élémentaires dont est constituée toute la masse du Soleil ($A_S \cdot 2 = 4,750885508E57$).

La même procédure peut être appliquée à tous les atomes du tableau périodique qui composent toutes les masses situées à la surface de la Terre et de tout autre corps céleste, à toutes les masses en orbite dans le système solaire et à toutes les masses de l'univers, pour calculer le nombre de charges qui les composent et calculer la force gravitationnelle exercée sur chacune d'elles au moyen de l'équation de Coulomb.

En ce qui concerne les corps massifs reposant à la surface de la Terre, qui nous fournissent les premiers indices sur la réalité de la gravitation, le *poids* d'un objet mesuré

Démystification de l'équation de force de Lorentz

à la surface de la Terre ne peut être qu'une mesure de cette *pression* exercée par la somme des énergies de momentum individuelles orientée vectoriellement vers son centre de masse, appartenant à la moitié des charges des atomes qui constituent la masse mesurable de cet objet [12] [13]. Par exemple, lorsque nous montons sur un pèse-personne pour vérifier notre "*poids*", c'est cette pression exercée vers le sol par la somme des énergies de momentum de cette moitié de la foule des particules élémentaires chargées dont est faite la masse de notre corps que nous mesurons. En d'autres termes, ce que nous appelons "*la force de gravité*" peut être vue comme une "*vitesse entravée*" exprimée comme une "*pression*" du fait que l'énergie de momentum unidirectionnelle induite dans les corps orientés vers le sol ne peut pas être exprimée comme un mouvement

Au niveau astronomique, les corps célestes du système solaire semblent être captifs d'états de résonance d'action stationnaire stables à des distances moyennes du Soleil similaires à celui que de Broglie supposait s'appliquer à l'électron dans l'atome d'hydrogène [49] [50], c'est-à-dire un état de résonance axiale des astres sur des orbites fermées, limité par des distances stables minimales et maximales bien précises de l'étoile centrale, qui sont leur périhélie et leur aphélie. Ces deux distances limites combinées au rayon moyen de l'orbite elliptique de chaque astre constituent les trois références stables qui permettent de définir clairement les volumes d'espace parcourus au fil du temps par chaque astre autour de l'astre central.

D'autre part, contrairement au cas de l'atome d'hydrogène, tel qu'analysé aux Références [49] [50], pour lequel l'intensité du niveau d'énergie de momentum induit dans l'électron à la distance moyenne du rayon de Bohr vers le proton, par rapport à la masse de l'électron, favorise clairement une mouvement de résonance axiale à haute fréquence plutôt qu'un mouvement de translation sur une orbite de résonance fermée à la même distance moyenne du proton, le ratio de la quantité d'énergie adiabatique induite dans chaque particule chargée de la masse de la Terre à la distance moyenne de l'orbite de la Terre au Soleil, par rapport à l'énergie constituant la masse de la Terre, étant insuffisant pour générer une telle oscillation axiale à haute fréquence, compte tenu de l'inertie de la masse macroscopique dont chaque particule chargée est captive, favorise plutôt la stabilisation des astres sur des orbites de résonance fermées d'action stationnaire.

Le volume d'espace visité au fil du temps par chaque corps céleste autour d'une étoile centrale peut évoluer vers des formes assez complexes pour les corps célestes qui ont des satellites, ce qui induit des fréquences de battement qui modifient cycliquement les volumes autrement réguliers visités par des corps qui n'ont pas de satellites. En effet, tous les corps stabilisés dans de tels systèmes de résonance axiale influencent mutuellement les trajectoires des autres et la forme des volumes de résonance qu'ils visitent. C'est ce type d'interaction, combiné au processus d'occultation de l'étoile centrale lors du passage de ces corps entre cette étoile et notre position dans l'espace, qui a permis l'identification des nombreuses planètes en orbite autour d'étoiles proches récemment découvertes.

14. La méthode d'analyse

La méthode d'analyse utilisée tout au long du projet *Mécanique électromagnétique des particules élémentaires* est décrite dans la Référence [98], republiée en version finale en

Démystification de l'équation de force de Lorentz

tant que Référence [99], et la méthode mathématique utilisée est décrite dans la Section 27 de la Référence [100], republiée en version finale en tant que Référence [101].

15. Conclusion

Un aspect majeur de l'article de Lorentz de 1904 a été mentionné mais non discuté dans cet ouvrage parce qu'il était hors de contexte direct, puisqu'il se rapporte à la raison pour laquelle Lorentz proposait ses *transformations*, c'est-à-dire *l'apparente impossibilité de prouver le mouvement absolu*. Cette question a été analysée dans le cadre de ce projet, mais nécessiterait une introduction trop longue pour être abordée comme question secondaire dans cet article déjà long. L'analyse finale pertinente est disponible dans la Sous-section 3.5.1 de la Référence [81] et dans la Sous-section 17.8 de la Référence [26], après une analyse préliminaire dans la Référence [25].

Tel que mentionné à la **Section 9**, les équations d'onde trispatiales de ce modèle restent à développer. Ils comprennent au minimum l'équation d'onde variable requise pour décrire le volume de résonance variable visité par un photon en mouvement libre, l'équation d'onde à battement unique variable requise pour décrire le volume de résonance de l'électron se déplaçant librement, et le l'équation d'onde à double battement nécessaire pour décrire le mouvement d'un électron captif en état de résonance axiale dans une orbitale électronique.

Un exemple récemment publié de développement de fonctions d'onde qui illustre l'évolution récente des idées dans de nouvelles directions en physique fondamentale, dont l'approche trispatiale présentée dans cet article fait partie, est le développement par Declan Trail de fonctions d'onde intéressantes pour l'électron et le positon qui sont des solutions stables de l'équation d'onde de Schrödinger [102].

Pour en revenir au modèle trispatial, tel que mentionné dans les conclusions des Références [8] et [9], compte tenu de la simplicité relative de la mise en œuvre des expériences décrites à la **Section 11**, qui pourraient confirmer si la séquence initiale d'accélération irréversible des particules élémentaires nouvellement créées est soumise ou non au Principe de conservation, et la source d'énergie potentiellement illimitée qui pourrait devenir disponible en contrôlant le processus tel que décrit à la **Section 12**, si cette conclusion tirée du modèle trispatial est confirmée, il est à espérer que la communauté de la physique développera un intérêt prochain pour la réalisation de ces expériences.

Annexe A

A.1 Les équations de Maxwell

Les équations de Maxwell			
	Ordres de grandeur atomique, macroscopique et astronomique		Ordre de grandeur subatomique
	Forme intégrale	Forme différentielle	Forme premier niveau
1	$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \frac{q}{\epsilon_0} = \Phi_E$	$\nabla \cdot \mathbf{E} = \rho / \epsilon_0$	$\mathbf{E}_\lambda = \frac{\pi e}{\epsilon_0 \alpha^3 \lambda^2}$
2	$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -d(\int \mathbf{B} \cdot \hat{n} d\mathbf{S}) / dt = -d\Phi_B / dt$	$\nabla \times \mathbf{E} = -\partial \mathbf{B} / \partial t$	$v = \frac{\mathbf{E}_{\lambda_c} \times \Delta \mathbf{E}_\lambda}{\mathbf{B}_{\lambda_c} + \Delta \mathbf{B}_\lambda}$
3	$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$	$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$	$\mathbf{B}_\lambda = \frac{\mu_0 \pi e c}{\alpha^3 \lambda^2}$
4	$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 (\mathbf{i} + \epsilon_0 d(\Phi_E) / dt)$	$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \left(\mathbf{J} + \frac{\epsilon_0 \partial \mathbf{E}}{\partial t} \right)$	$c = \frac{\mathbf{E}_\lambda}{\mathbf{B}_\lambda}$

A.2 Équations pour les ordres de grandeur atomique, macroscopique et astronomique

L'ensemble des équations connues sous le nom d'équations de Maxwell ont été développées en réalité par Gauss, Faraday et Ampère à partir d'expériences menées physiquement. La principale contribution de Maxwell à la science, après avoir analysé le fait observé que les changements de champs magnétiques induisent un courant dans des fils conducteurs, et que réciproquement, tel que précédemment découvert par Oersted, que le courant électrique circulant dans un fil induit un champ magnétique autour du fil, a été son intuition que cette induction mutuelle de champs électriques et magnétiques pouvait se produire dans l'espace sans supports matériels tels que des aimants et des fils électriques.

Cela le conduisit à associer cette hypothèse à l'énigme de la propagation de la lumière après que Faraday l'eut informé que lorsqu'il plaçait une plaque de verre entre les pôles d'un électro-aimant, le champ magnétique faisait tourner le plan de polarisation de la lumière traversant la plaque.

Il tira ensuite la conclusion que la lumière devait être de l'énergie électromagnétique réelle et que, étant donné que la gamme des fréquences de la lumière visible était plutôt

Démystification de l'équation de force de Lorentz

limitée, c'est-à-dire d'environ 405 THz pour la lumière rouge jusqu'à environ 790 THz pour la lumière violette, cette gamme limitée devait faire partie d'un spectre potentiellement plus complet, comprenant d'autres fréquences qui seraient invisible pour nous cette fois, et qui s'étaleraient dans les deux directions, c'est-à-dire aux fréquences plus hautes que les 790 THz de la lumière violette et plus basses que les 405 THz de la lumière rouge.

Son hypothèse à cet égard fut confirmée pour la première fois 20 ans plus tard lorsque Hertz confirma l'existence des fréquences radio. Le reste appartient à l'histoire, et sa théorie des ondes continues de l'énergie électromagnétique s'est avérée totalement efficace pour traiter l'énergie électromagnétique du niveau atomique jusqu'au niveau astronomique.

La première équation de Maxwell est en fait l'Équation de Gauss pour le champ électrique, qui est une généralisation de la loi de Coulomb, établissant un champ d'interaction électrique potentiel, en retirant une charge de l'équation de Coulomb.

La deuxième équation, dérivée de la loi de Faraday sur l'induction, signifie qu'une variation d'un champ magnétique est nécessaire pour qu'un champ électrique soit produit. Dans le contexte des champs ponctuels localisés du présent modèle, elle peut être interprétée sans modification comme signifiant que toute variation de l'aspect magnétique d'un événement électromagnétique est obligatoirement accompagnée d'une variation inverse correspondante de son aspect électrique.

La troisième équation correspond à la loi de Gauss pour le magnétisme, qui définit un champ d'interaction magnétique potentiel comme contrepartie du champ électrique potentiel défini avec la première équation, et implique qu'autant d'énergie *magnétique* sort d'un volume donné contenant la source du champ qu'il en entre, d'où la valeur zéro résultante.

La quatrième équation, dérivée de la loi d'Ampère et appelée équation d'Ampère-Maxwell, tenait initialement compte de l'observation selon laquelle un champ magnétique est produit par un courant électrique dans un fil, et que Maxwell étendit à la conclusion qu'un champ magnétique peut être produit par un champ électrique changeant, et réciproquement, même sans support matériel, ce qui constitue la plus grande découverte de Maxwell.

A.3 Équations pour l'ordre de grandeur subatomique

Les quatre équations électromagnétiques de premier niveau de l'ordre de grandeur subatomique ont été développées pendant la première vague de dérivations qui suivit la découverte de Paul Marmet, et ont été publiées en 2007 dans le "*International IFNA-ANS Journal*" de l'Université d'État de Kazan [66].

Le terme "*premier niveau*" fait référence au fait que, contrairement aux équations de Maxwell traditionnelles mentionnées dans tous les ouvrages de référence, et telles que présentées ci-dessus, les équations du niveau subatomique ne sont qu'à une étape de l'affichage de l'ensemble complet des constantes et variables qui peuvent être immédiatement utilisées pour calculer une valeur physique, tout comme l'équation de Coulomb. L'analyse de la raison pour laquelle l'élaboration de telles équations de premier

Démystification de l'équation de force de Lorentz

niveau est nécessaire pour progresser en physique fondamentale a été faite dans la Section 27 de la référence [100].

L'équation électrique de Gauss de premier niveau a été développée en tant qu'Équation (40) dans la Référence [66]:

$$\mathbf{E}_\lambda = \frac{\pi e}{\epsilon_0 \alpha^3 \lambda^2} \quad (\text{A.1})$$

ainsi que l'équation magnétique de Gauss de premier niveau développée en tant qu'Équation (34) dans la même référence:

$$\mathbf{B}_\lambda = \frac{\mu_0 \pi e c}{\alpha^3 \lambda^2} \quad (\text{A.2})$$

L'équation du champ électrique composite \mathbf{E} de premier niveau nécessaire pour calculer la vitesse d'une particule massive chargée, qui est en fait le champ \mathbf{E} entièrement résolu de l'équation de Lorentz $F=q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$, a ensuite été résolue sous forme de l'Équation (58) dans la même référence, et est ici entièrement développée pour commodité:

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_{\lambda_c} \times \Delta \mathbf{E}_\lambda = \frac{\pi e}{\epsilon_0 \alpha^3} \frac{(\lambda^2 + \lambda_c^2) \sqrt{\lambda_c (4\lambda + \lambda_c)}}{\lambda^2 \lambda_c^2 (2\lambda + \lambda_c)} \quad (\text{A.3})$$

L'équation du champ magnétique composite \mathbf{B} de premier niveau nécessaire pour calculer la vitesse d'une particule chargée massive, qui est le champ \mathbf{B} entièrement résolu de l'équation de Lorentz, a été résolue sous forme de l'Équation (49) dans la même référence, et est entièrement développée ici pour commodité:

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_{\lambda_c} + \Delta \mathbf{B}_\lambda = \frac{\pi \mu_0 e c}{\alpha^3} \frac{(\lambda^2 + \lambda_c^2)}{\lambda^2 \lambda_c^2} \quad (\text{A.4})$$

Les Équations (A.3) et (A.4) peuvent alors être utilisées directement pour calculer la vitesse d'une particule massive chargée avec l'équation traditionnelle $\mathbf{v}=\mathbf{E}/\mathbf{B}$. De même, les Équations (A.1) et (A.2) peuvent être utilisées directement pour calculer la vitesse de tout photon en mouvement libre avec l'équation $c=\mathbf{E}_\lambda/\mathbf{B}_\lambda$.

Annexe B

Tableau des rayons atomiques pour les atomes non liés établis au moyen du second terme de l'équation de force de Lorentz (Colonnes D et E), qui est traditionnellement utilisée pour calculer le rayon des orbites circulaires de particules chargées dans les accélérateurs à haute énergie, compte tenu du fait que la même quantité d'énergie est nécessaire pour maintenir un électron sur une orbite de résonance fermée autour du noyau d'un atome d'hydrogène isolé ou pour le maintenir dans un état de résonance axiale à la même distance moyenne du noyau, sans qu'il se déplace nécessairement sur une orbite fermée, tel qu'expliqué à la **Section 10**, par le calcul de la distance moyenne entre le noyau et l'orbitale la plus externe des atomes au moyen de la longueur d'onde de la première énergie d'ionisation de chaque atome (Colonne A).

B.1 Procédure de calcul

Le calcul des valeurs de la colonne E a été effectué avec une calculatrice Texas Instrument TI-89 Titanium.

En prenant la valeur d'énergie de première ionisation de l'atome d'hélium de 24,58741 eV (colonne A du **Tableau 1**) comme exemple, voici comment chaque rayon atomique de la colonne E peut être calculé au moyen de l'Équation (53), répétée ici pour commodité (voir **Section 10**):

$$d = \frac{\gamma m_0 v}{e \mathbf{B}} \quad (53)$$

Premièrement, la première valeur d'ionisation en eV de l'atome – ici celle de l'atome d'hélium – est convertie en joules en la multipliant par la charge invariante de l'électron (1.602176462E-19 C) :

$$E = 24.58741 \bullet e = 3.939336956\text{E} - 18 \text{ j} \quad (\text{B.1})$$

Cette valeur est ensuite doublée pour tenir compte des deux composantes de l'énergie porteuse induite par l'interaction de Coulomb à la distance moyenne correspondante du noyau d'hélium, correspondant aux deux premiers termes de l'Équation (50), correspondant en fait à l'Équation (47), reproduite ici pour plus de commodité :

$$2E = \Delta K + \Delta m_m c^2 = 3.939336956\text{E} - 18 \bullet 2 = 7.878673913\text{E} - 18 \text{ j} \quad (47)$$

La longueur d'onde associée est alors calculée au moyen de l'équation standard :

$$\lambda = \frac{hc}{2E} = 2.521284145\text{E} - 8 \text{ m} \quad (\text{B.2})$$

En utilisant la longueur d'onde de Compton de l'électron ($\lambda_c = 2,426310215\text{E} - 12 \text{ m}$), la vitesse relativiste correspondante est calculée au moyen de l'Équation (33) :

$$v = c \frac{\sqrt{\lambda_c (4\lambda + \lambda_c)}}{(2\lambda + \lambda_c)} = 2940812.243 \text{ m/s} \quad (33)$$

Démystification de l'équation de force de Lorentz

Le terme $\gamma m_0 v$ de l'Équation (53) peut alors être résolu comme suit, en résolvant le facteur γ avec la vitesse obtenue à partir de l'Équation (33) :

$$\gamma m_0 v = \frac{2E}{v} = 2.679080901E - 24 \quad (\text{B.3})$$

La valeur du champ magnétique \mathbf{B} correspondant à la longueur d'onde λ calculée avec l'Équation (B.2) est alors obtenue avec l'équation suivante :

$$\mathbf{B}_{(\lambda)} = \frac{2\pi(2E)}{c e \alpha^2 \lambda} = 7676725.6829\text{T} \quad (\text{B.4})$$

Puis, étant donné que les valeurs variables de l'Équation (53) ont été résolues, elle peut à son tour être résolue pour la première énergie d'ionisation de l'atome d'hélium avec les valeurs fournies par les Équations (B.3) et (B.4) pour fournir le rayon atomique associé :

$$d = \frac{\gamma m_0 v}{e \mathbf{B}_{(\lambda)}} = 2.178341596E - 11\text{m} \quad (\text{53})$$

dans laquelle d serait le rayon approximatif de l'atome d'hélium isolé tel qu'estimé via le deuxième terme de l'équation de force de Lorentz. Cette valeur est répertoriée arrondie en picomètres dans la colonne D du **Tableau 1** pour une comparaison directe avec les valeurs des colonnes B et C, et répertoriée en mètres dans la colonne E en notation physique standard, avec les rayons des autres atomes du tableau périodique.

La colonne A fournit la liste des premières valeurs d'ionisation pour chaque atome du tableau périodique, extraites de la Référence ([91]. p.10-178).

Pour fin de comparaison avec d'autres méthodes de calcul de rayons atomiques, les colonnes B et C répertorient respectivement les valeurs de la *méthode ionique liée empirique* [103] et de la *méthode atomique calculée* [104].

Démystification de l'équation de force de Lorentz

B.2 Tableau 1 – Tableau des rayons atomiques – Non liés

Tableau des rayons atomiques						
		A	B	C	D	E
	Symbole	Énergie d'ionisation en eV	Rayon empirique de l'ion lié	Rayon atomique calculé	Rayon atomique calculé $\gamma m_0 v / eB$ arrondi	Rayon atomique calculé $\gamma m_0 v / eB$
1	H	13.59844	25	53	53	5.296111314E-11
2	He	24.58741	120	31	22	2.178354555E-11
3	Li	5.39172	145	167	212	2.121269975E-10
4	Be	9.3227	105	112	93	9.329866933E-11
5	B	8.29803	85	87	111	1.111027629E-10
6	C	11.26030	70	67	70	7.028526820E-11
7	N	14.53414	65	56	48	4.792998866E-11
8	O	13.61806	60	48	53	5.284670159E-11
9	F	17.42282	50	42	37	3.651871619E-11
10	Ne	21.5646	160	38	27	2.652062202E-11
11	Na	5.13908	180	190	228	2.279592813E-10
12	Mg	7.64624	150	145	125	1.256073509E-10
13	Al	5.98577	125	118	181	1.813451096E-10
14	Si	8.15169	110	111	114	1.141079186E-10
15	P	10.48669	100	98	78	7.820438595E-11
16	Si	10.36001	100	88	80	7.964314704E-11
17	Cl	12.96764	100	79	57	5.687205464E-11
18	Ar	15.75962	71	71	42	4.244959039E-11
19	K	4.34066	220	243	293	2.936643203E-10
20	Ca	6.11316	180	194	176	1.757062959E-10
21	Sc	6.5615	160	184	158	1.580089014E-10
22	Ti	6.8281	140	176	149	1.488458100E-10
23	V	6.7462	135	171	152	1.515645214E-10
24	Cr	6.7665	140	166	151	1.508829806E-10
25	Mn	7.43402	140	161	131	1.310241110E-10
26	Fe	7.9024	140	156	120	1.195497287E-10
27	Co	7.8810	135	152	120	1.200369918E-10
28	Ni	7.6398	135	149	126	1.257662050E-10
29	Cu	7.72638	135	145	124	1.236581941E-10

Démystification de l'équation de force de Lorentz

30	Zn	9.3942	135	142	92	9.223555299E-11
31	Ga	5.99930	130	136	180	1.807319878E-10
32	Ge	7.8994	125	125	119	1.196178377E-10
33	As	9.7886	115	114	87	8.671763745E-11
34	Se	9.75238	115	103	87	8.720118052E-11
35	Br	11.81381	115	94	65	6.540404795E-11
36	Kr	13.99961	Aucune donnée	88	51	5.070106574E-11
37	Rd	4.17713	235	265	311	3.110768884E-10
38	Sr	5.6949	200	219	195	1.954143927E-10
39	Y	6.2171	180	212	171	1.713184965E-10
40	Zr	6.63390	155	206	155	1.554293098E-10
41	Nb	6.75885	145	198	152	1.515645214E-10
42	Mo	7.09243	145	190	140	1.406028113E-10
43	Tc	7.28	135	183	135	1.352040317E-10
44	Ru	7.36050	130	178	133	1.329920826E-10
45	Rh	7.45890	135	173	130	1.303690942E-10
46	Pd	8.3369	140	169	110	1.103266666E-10
47	Ag	7.5762	160	165	127	1.273531683E-10
48	Cd	8.9938	155	161	90	9.037039157E-11
49	In	5.78636	155	156	191	1.907996547E-10
50	Sn	7.3439	145	145	133	1.334432529E-10
51	Sb	8.6084	145	133	105	1.051486981E-10
52	Te	9.0096	140	123	98	9.820408390E-11
53	ln	10.45126	140	115	79	7.860239057E-11
54	Xe	12.1298	Aucune donnée	108	63	6.286506114E-11
55	Cs	3.89390	265	298	346	3.456267612E-10
56	Ba	5.21170	215	253	223	2.232113530E-10
57	La	5.5769	195	Aucune donnée	202	2.016491241E-10
58	Ce	5.5387	185	"	204	2.037388439E-10
59	Pr	5.473	185	247	207	2.074184513E-10
60	Nd	5.5250	185	206	204	2.044971073E-10
61	Pm	5.582	185	205	201	2.013728333E-10
62	Sm	5.6436	185	238	198	1.980848819E-10
63	Eu	5.6704	185	231	197	1.966822380E-10
64	Gd	6.1501	180	233	174	1.741256397E-10
65	Tb	5.8638	175	225	187	1.870325025E-10
66	Dy	5.9389	175	228	183	1.834960997E-10

Démystification de l'équation de force de Lorentz

67	Ho	6.0215	175	226	180	1.797334344E-10
68	Er	6.1077	175	226	176	1.759419570E-10
69	Tm	6.18431	175	222	173	1.726820214E-10
70	Yb	6.25416	175	222	170	1.697980021E-10
71	Lu	5.4259	175	217	210	2.101250604E-10
72	Hf	6.82507	155	208	149	1.489449408E-10
73	Ta	7.5496	145	200	128	1.280268234E-10
74	W	7.8640	135	193	120	1.204264339E-10
75	Re	7.8335	135	188	121	1.211304393E-10
76	Os	8.4382	130	185	108	1.083459614E-10
77	Ir	8.9670	135	180	99	9.890472321E-11
78	Pt	8.9587	135	177	100	9.984220277E-11
79	Au	9.2255	135	174	95	9.477702701E-11
80	Hg	10.43750	150	171	79	7.875787525E-11
81	Tl	6.1082	190	156	176	1.759203544E-10
82	Pb	7.41666	180	154	131	1.314844043E-10
83	Bi	7.2856	160	143	135	1.350481781E-10
84	Po	8.417	190	135	109	1.087555540E-10
85	At	Aucune donnée	Aucune donnée	127	Aucune donnée	Aucune donnée
86	Rn	10.74850	"	120	75	7.536455357E-11
87	Fr	4.0727	"	Aucune donnée	323	3.231179136E-10
88	Ra	5.2784	215	"	219	2.189938850E-10
89	Ac	5.17	195	"	226	2.259173326E-10
90	Th	6.3067	180	"	168	1.676806048E-10
91	Pa	5.89	180	"	186	1.857859566E-10
92	U	6.19405	175	"	172	1.722756745E-10
93	Np	6.2657	175	"	169	1.693291269E-10
94	Pu	6.0262	175	"	180	1.795232080E-10
95	Am	5.9738	175	"	182	1.818904347E-10
96	Cm	5.9915	176	"	181	1.810850279E-10
97	Bk	6.1979	Aucune donnée	"	172	1.721151795E-10
98	Cr	6.2817	"	"	169	1.686826004E-10
99	Es	6.42	"	"	163	1.632614393E-10
100	Fm	6.50	"	"	160	1.602566939E-10
101	Md	6.58	"	"	157	1.573429993E-10
102	No	6.65	"	"	155	1.548652014E-10
103	Lr	4.9	"	"	245	2.448449067E-10

Démystification de l'équation de force de Lorentz

104	Rf	6.0	"	"	181	1.807003608E-10
105	Db	Aucune donnée	"	"	Aucune donnée	Aucune donnée
106	Sg	"	"	"	"	"
107	Bh	"	"	"	"	"
108	Hs	"	"	"	"	"
109	Mt	"	"	"	"	"
110	Ds	"	"	"	"	"
111	Rg	"	"	"	"	"
112	Cn	"	"	"	"	"
113	Nh	"	"	"	"	"
114	Fl	"	"	"	"	"
115	Mc	"	"	"	"	"
116	Lv	"	"	"	"	"
117	Ts	"	"	"	"	"
118	Og	"	"	"	"	"

Bibliographie

- [1] Lorentz, H.A. (1904) *Electromagnetic phenomena in a system moving with any velocity smaller than that of light*, in: KNAW, Proceedings, 6, 1903-1904, Amsterdam, 1904, pp. 809-831.
https://en.wikisource.org/wiki/Electromagnetic_phenomena.
- [2] Michelson, A.A. & Morley, E.W. (1887) *On the Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether*. The American Journal of Science.
<https://history.aip.org/exhibits/gap/PDF/michelson.pdf>
- [3] d'Abro, Aram (1951) *The Rise of the New Physics*. Dover Publications, New York.
- [4] Poincaré, H. (1905) *La dynamique de l'électron*. Comptes rendus d l'Académie des Sciences, t. 140, p. 1504-1508 (5 juin 1905).
https://www.academie-sciences.fr/pdf/dossiers/Poincare/Poincare_pdf/Poincare_CR1905.pdf
- [5] Einstein, A. (1905c) *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*. *Annalen der Physik*, vol. 17, n° 10, 30 juin 1905, p. 891–921 (DOI 10.1002/andp.19053221004,
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/andp.19053221004>
- [6] Kaufmann, W. (1901) Die magnetische und electriche Ablenkbarkeit der Bequerelstrahlen und die Scheinbare Masse der elektronen.
- [7] Kaufmann, W. (1903) *Über die "Elektromagnetische Masse" der Elektronen*, Kgl. Gesellschaft der Wissenschaften Nachrichten, Mathem.-Phys. Klasse, pp. 91-103.
http://gdz.sub.uni-goettingen.de/dms/load/img/?PPN=PPN252457811_1903&DMDID=DMDLOG_0025
- [8] Michaud, A. (2016) *On Adiabatic Processes at the Elementary Particle Level*. J Phys Math 7: 177. doi:10.4172/2090-0902.1000177.
<http://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers/View/6960>

Démystification de l'équation de force de Lorentz

- [9] Michaud, A. (2021) *On Adiabatic Processes at the Subatomic Level*. In: Dr. Jelena Purenovic, Editor. *Newest Updates in Physical Science Research* Vol. 4, 30–62.
<https://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers-Quantum%20Theory%20/%20Particle%20Physics/Download/8812>
- [10] 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.
<http://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers/View/7091>
- [11] Michaud A. (2013) *On the Einstein-de Haas and Barnett Effects*, *International Journal of Engineering Research and Development*. e-ISSN: 2278-067X, p-ISSN: 2278-800X, Volume 6, Issue 12, pp. 07-11.
<https://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers-Quantum%20Theory%20/%20Particle%20Physics/Download/9004>
- [12] Michaud, A. (2020) *Electromagnetism according to Maxwell's Initial Interpretation*. *Journal of Modern Physics*, 11, 16-80. <https://doi.org/10.4236/jmp.2020.111003>.
<https://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers-Mathematical%20Physics/Download/8069>
- [13] Michaud, A. (2020) *Emphasizing the Electromagnetism according to Maxwell's Initial Interpretation*. In: Dr. Thomas F. George, Editor. Chapter 4 In *New Insights into Physical Science* Vol. 10. West Bengal, India: Book Publisher International. 2020.
<https://www.gsjournal.net/Science-Journals/Essays-Quantum%20Theory%20/%20Particle%20Physics/Download/8887>
- [14] Einstein, A. (1910) *Le Principe de relativité et ses conséquences dans la physique moderne*. Traduit de l'allemand par E. Guillaume. *Archives des sciences physiques et naturelle* 29 (1910): 5-28; 125-144.
<https://einsteinpapers.press.princeton.edu/vol3-doc/169>
<https://einsteinpapers.press.princeton.edu/vol3-doc/193>
- [15] Einstein, A. (1910) *The Principle of Relativity and its Implications in Modern Physics*. Translated by André Michaud and Fritz Lewertoff. In: Vesselin Petkov, Editor. *Relativity: Meaning and Consequences for Modern Physics and for our Understanding of the World*. Minkowski Institute Press. Montreal. Canada. 2021.
<http://www.minkowskiinstitute.org/mip/books/einstein2.html>
- [16] 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.
<https://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers-Quantum%20Theory%20/%20Particle%20Physics/Download/8753>
- [17] Lorentz, H.A. (1895) *Versuch einer Theorie der electrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern*, Leiden — E. J. Brill.
<https://archive.org/details/versucheinerthe00loregoog>
https://de.wikisource.org/wiki/Versuch_einer_Theorie_der_electrischen_und_optischen_Erscheinungen_in_bewegten_K%C3%B6rpern
https://en.wikisource.org/wiki/Translation:Attempt_of_a_Theory_of_Electrical_and_Optical_Phenomena_in_Moving_Bodies

Démystification de l'équation de force de Lorentz

- [18] Heaviside, O. XXXIX. On the electromagnetic effects due to the motion of electrification through a dielectric. <https://doi.org/10.1080/14786448908628362>.
<https://zenodo.org/record/1431195#.YR-God9KthF>
- [19] Abraham, M. (1902) *Dynamik des Elektrons*, Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse, 1902, S.20.
http://gdz.sub.uni-goettingen.de/dms/load/img/?PPN=PPN252457811_1902&DMDID=DMDLOG_0009.
- [20] Einstein, A. (1905a) *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt*. *Annalen der Physik*, vol. 17, n° 6, 1905, p. 132–148. (DOI 10.1002/andp.19053220607,
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/andp.19053220607>
http://users.physik.fu-berlin.de/~kleinert/files/eins_lq.pdf
- [21] Planck, M. (1900) *Über das Gesetz der Energieverteilung im Normalspectrum*. In: *Ann. Phys.* Band 4, Nr. 3, 1901, S. 553–563, doi:10.1002/andp.19013090310.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/andp.19013090310>
- [22] Wien, W. (1898) Ueber die Fragen, welche die translatorische Bewegung des Lichtäthers betreffen. In: *Annalen der Physik*. Band 301, Nr. 3, 1898, S. I–XVIII.
https://de.wikisource.org/wiki/Translatorische_Bewegung_des_Licht%C3%A4thers
- [23] Einstein, A. (1905d) *Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?* *Annalen der Physik*, vol. 18, n° 13, 1905, p. 639–641. DOI 10.1002/andp.19053231314.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/andp.19053231314>
http://www.fourmilab.ch/etexts/einstein/E_mc2/www/
- [24] De Broglie, L. (1993) *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.
- [25] Michaud, A. (2016) *On De Broglie's Double-particle Photon Hypothesis*. *J Phys Math* 7: 153. doi:10.4172/2090-0902.1000153.
<http://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers/View/5834>
- [26] 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://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers-Quantum%20Theory%20/%20Particle%20Physics/Download/8808>
- [27] Einstein, A. (1905b) *Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen*. *Ann. d. Phys.* 17. P. 549. 1905. <https://doi.org/10.1002/andp.19053220806>
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.19053220806>
- [28] Smoluchowski, M. (1906) *Zur kinetischen Theorie der Brownschen Molekularbewegung und der Suspensionen*. In: *Annalen der Physik*. Band 326, 1906, S. 756–780.
<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k15328k/f770.chemindefer>
- [29] Perrin, J. (1912) *Les Preuves de la réalité moléculaire (Étude spéciale des émulsions)*. Rapport lu au Congrès Solvay en novembre 1911 in *La théorie du rayonnement et des quanta* (Gauthier-Villards, 1912, pp. 153-251).
- [30] Maxwell, J.C. (1965) *A dynamical theory of the electromagnetic field*. *Philos. Trans. Roy. Soc. Lond.* for the year 1865, 1865, CLV, 459-512. Received 27.10.1864. Read 8.12.1864.
<http://www.bem.fi/library/1865-001.pdf>

Démystification de l'équation de force de Lorentz

- [31] Michaud, A. (2013) *Deriving ϵ_0 and μ_0 from First Principles and Defining the Fundamental Electromagnetic Equations Set*. International Journal of Engineering Research and Development e-ISSN: 278-067X, p-ISSN: 2278-800X, Volume 7, Issue 4 (May 2013), PP. 32-39.
<http://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers/View/7114>
- [32] Kaufmann, W. (1902a) *Über die electromagnetische Masse des Elektrons*. Göttinger Nachrichten (5): 291–296.
<http://www.digizeitschriften.de/dms/img/?PID=GDZPPN002499444>
- [33] Kaufmann, W. (1902b) *Über die electromagnetische Masse des Elektrons*. Physikalische Zeitschrift, **4** (1b): 54–56
https://wikilivres.org/wiki/Die_elektromagnetische_Masse_des_Elektrons
- [34] Abraham, M. (1902) *Dynamik des Elektrons*, Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse, 1902, S. 20.
http://gdz.sub.uni-goettingen.de/dms/load/img/?PPN=PPN252457811_1902&DMDID=DMDLOG_0009
- [35] Poincaré, H. (1905) *La valeur de la science*, France, Flammarion, 1994 Edition.
- [36] Ernst A. & Hsu J.P. (2001) *First Proposal of the Universal Speed of Light by Voigt in 1887*, Chinese Journal of Physics, Vol. 39, No. 3.
http://adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-data_query?bibcode=2001ChJPh..39..211E&link_type=ARTICLE&db_key=PHY&high=
- [37] Bucherer, A. H. (1908) Messungen an Becquerelstrahlen. Die experimentelle Bestätigung der Lorentz-Einsteinschen Theorie., Physikalische Zeitschrift, **9** (22): 755–762.
- [38] Neumann, G. (1914) "Die träge Masse schnell bewegter Elektronen". Annalen der Physik. **350** (20): 529–579.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.19143502005>
- [39] Planck, M. (1906) *Die Kaufmannschen Messungen der Ablenkbarkeit der β -Strahlen in ihrer Bedeutung für die Dynamik der Elektronen*. Physikalische Zeitschrift 7 (21): 753–761.
https://de.wikisource.org/wiki/Die_Kaufmannschen_Messungen_der_Ablenkbarkeit_der_%CE%B2-Strahlen_in_ihrer_Bedeutung_f%C3%BCr_die_Dynamik_der_Elektronen
https://en.wikisource.org/wiki/Translation:The_Measurements_of_Kaufmann
- [40] Poincaré, H. (1908) *La dynamique de l'électron*. Rev. Gén. Sci. **19**, 386, 1908.
<http://henripoincarepapers.univ-lorraine.fr/chp/hp-pdf/hp1908rg.pdf>
- [41] Purcell, E.M. (1980) in *Proceedings of Einstein Centennial Symposium at Princeton 1979*. p.106. Addison-Westley, Reading, Mass. 1980.
https://catalog.library.vanderbilt.edu/discovery/fulldisplay/alma991006105249703276/01VAN_INST:vanui
- [42] Einstein, A. (1907) *Über das Relativitätsprinzip und die aus demselben gezogenen Folgerungen*. Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik. Jahrb. Rad. Elektr. **4**, 411 (1907).
[https://books.google.ca/books?id=CNA-AQAAMAAJ&pg=PA411&lpg=PA411&dq=Jahrb.+Rad.+Elektr.+4,+411+\(1907\)&source=bl&ots=dvMN7pmLL&sig=ACfU3U1iXIAK9G0lqtCIPrFTINyTBqG1CA&hl=fr&sa=X&ved=2ahUKewjC8qugn632AhXPjokEHVCHAlsQ6AF6BAGcEAM#v=onepage&q=Jahrb.%20Rad.%20Elektr.%204%2C%20411%20\(1907\)&f=false](https://books.google.ca/books?id=CNA-AQAAMAAJ&pg=PA411&lpg=PA411&dq=Jahrb.+Rad.+Elektr.+4,+411+(1907)&source=bl&ots=dvMN7pmLL&sig=ACfU3U1iXIAK9G0lqtCIPrFTINyTBqG1CA&hl=fr&sa=X&ved=2ahUKewjC8qugn632AhXPjokEHVCHAlsQ6AF6BAGcEAM#v=onepage&q=Jahrb.%20Rad.%20Elektr.%204%2C%20411%20(1907)&f=false)
- [43] Pais, A. (2008) *Subtle is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein*. Oxford University Press. 2008.

Démystification de l'équation de force de Lorentz

- [44] Humphries, S. Jr. (1986) *Principles of Charged Particle Acceleration*, John Wiley & Sons.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.382.7882&rep=rep1&type=pdf>
- [45] Lawrence, E.O. & Livingston, M.S. (1932) The Production of High Speed Light Ions Without the Use of High Voltages. *Phys. Rev.* 40, 19
<https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.40.19>
<https://journals.aps.org/pr/pdf/10.1103/PhysRev.40.19>
- [46] Marmet, P. (2003) *Fundamental Nature of Relativistic Mass and Magnetic Fields*. International IFNA-ANS Journal, No. 3 (19), Vol. 9. Kazan State University.
<http://www.newtonphysics.on.ca/magnetic/index.html>
- [47] Michaud, A. (2017) *The Last Challenge of Modern Physics*. *J Phys Math* 8: 217. doi: 10.4172/2090-0902.1000217.
<http://www.gsjournal.net/Science-Journals/Essays/View/3353>
- [48] Michaud, A. (2021) *The Last Challenge of Modern Physics: Perspective to Concept and Model Analysis*. In: Dr. Jelena Purenovic, Editor. *Newest Updates in Physical Science Research* Vol. 4, 1–29.
<https://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers-Quantum%20Theory%20/%20Particle%20Physics/Download/8816>
- [49] Michaud, A. (2018) *The Hydrogen Atom Fundamental Resonance States*. *Journal of Modern Physics*, 9, 1052-1110. doi: 10.4236/jmp.2018.95067.
<http://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers-Quantum%20Theory%20/%20Particle%20Physics/Download/7277>
- [50] Michaud, A. (2020) *An Overview of The Hydrogen Atom Fundamental Resonance States*. In: Dr. Mohd Rafatullah, editor. *New Insights Into Physical Science* Vol. 6. West Bengal, India: Book Publisher International. 2020.
<https://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers-Quantum%20Theory%20/%20Particle%20Physics/Download/8941>
- [51] De Broglie, L. (1923) *Ondes et Quanta*. *Comptes rendus*. T.177 (1923) 507-510.
http://www.academie-sciences.fr/pdf/dossiers/Broglie/Broglie_pdf/CR1923_p507.pdf
- [52] Schrödinger, E. (1926) *An Undulatory Theory of the Mechanics of Atoms and Molecules*. *Phys. Rev.* 28, 1049 – Published 1 December 1926.
<https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.28.1049>
- [53] Heisenberg, W. (1925) *Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen*. *Zeitschrift für Physik*. **33** (1): 879–893.
<https://link.springer.com/article/10.1007/BF01328377>
- [54] Brown, L.M. (2005) *Feynman's Thesis – A New Approach to Quantum Theory*. World Scientific.
- [55] Einstein, A., Schrödinger, E., Pauli, W., Rosenfeld, L., Born, M., Joliot-Curie, I. & F., Heisenberg, W., Yukawa, H., et al. (1953) *Louis de Broglie, physicien et penseur*. Éditions Albin Michel, Paris.
- [56] Schrödinger, E. (1952) *Are there quantum jumps?* *Brit. J. Philos. Sci.* 3 109,233.
<https://philpapers.org/rec/SCHATQ-3>
- [57] Cockcroft, J.D. & Walton, E.T.S. (1932) *Disintegration of Lithium by Swift Protons*. *Nature* volume 129, page 649 (1932).
<https://www.nature.com/articles/129649a0>

Démystification de l'équation de force de Lorentz

- [58] Anderson, C.D. (1933) *The Positive Electron*, California Institute of Technology, Pasadena, California (Received February 28, 1933).
<https://journals.aps.org/pr/pdf/10.1103/PhysRev.43.491>
- [59] Ciufolini, I. & Wheeler, J.A. (1995) *Gravitation and Inertia*, Princeton University Press.
- [60] Breidenbach M. et al. (1969) *Observed Behavior of Highly Inelastic Electron-Proton Scattering*, Phys. Rev. Lett., Vol. 23, No. 16, 935-939.
<http://www.slac.stanford.edu/pubs/slacpubs/0500/slac-pub-0650.pdf>
- [61] McDonald, K., et al. (1997) *Positron Production in Multiphoton Light-by-Light Scattering*, Phys.Rev.Lett.79,1626.
<http://www.slac.stanford.edu/exp/e144/>.
<http://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.79.1626>.
- [62] 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.
https://www.nature.com/articles/nature13403.epdf?referrer_access_token=yoC6RXrPyxwvQviChYrG0tRgN0jAjWeI9jnR3ZoTv0PdPJ4geER1fKVR1YXH8GThqECstdb6e48mZm0qQo2OMX_XYURkzBSUZCrXM8VipvnG8FofxB39P4lc-1UIKEO1
- [63] Michaud, A. (2017) *Gravitation, Quantum Mechanics and the Least Action Electromagnetic Equilibrium States*. J Astrophys Aerospace Technol 5: 152. doi:10.4172/2329-6542.1000152
<http://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers/View/6880>
- [64] Michaud, A. (2020) *Gravitation, Quantum Mechanics and the Least Action Electromagnetic Equilibrium States*. In: Amenosis Lopez, editor. Prime Archives in Space Research. Hyderabad, India: Vide Leaf. 2020.
<https://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers-Unification%20Theories/Download/8260>
- [65] Michaud, A. (2000) *On an Expanded Maxwellian Geometry of Space*. Proceedings of Congress-2000 – Fundamental Problems of Natural Sciences and Engineering. (2000) Volume 1, St.Petersburg, Russia, pages 291-310.
https://www.researchgate.net/publication/357526948_A_propos_d'une_geometrie_maxwellienne_augmentee_de_l'espace
- [66] 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.
<http://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers/View/6650>
- [67] Michaud, A. (2012) *Expanded Maxwellian Geometry of Space*. SRP Books. Smashwords. ISBN: 9780988052741.
<https://www.smashwords.com/books/view/180869>
- [68] Michaud, A. (2013) *The Expanded Maxwellian Space Geometry and the Photon Fundamental LC Equation*. International Journal of Engineering Research and Development, e-ISSN: 2278-067X, p-ISSN: 2278-800X. Volume 6, Issue 8, pp. 31-45.
<http://www.gsjournal.net/Science-Journals/Essays/View/2265>
- [69] 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.
<http://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers/View/6591>

Démystification de l'équation de force de Lorentz

- [70] Michaud, A. (2013) *Unifying All Classical Force Equations*, International Journal of Engineering Research and Development, e-ISSN: 2278-067X, p-ISSN: 2278-800X, Volume 6, Issue 6 (March 2013), PP. 27-34.
<http://www.gsjournal.net/Science-Journals/Essays/View/3354>
- [71] 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.
<https://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers-Quantum%20Theory%20/%20Particle%20Physics/Download/9044>
- [72] Schwinger, J. (1948) *On Quantum-electrodynamics and the Magnetic Moment of the Electron*. Phys. Rev. 73, 416-417 (1948).
<https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.73.416>
- [73] 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.
<https://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers-Quantum%20Theory%20/%20Particle%20Physics/Download/8984>
- [74] 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.
<https://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers-Quantum%20Theory%20/%20Particle%20Physics/Download/8967>
- [75] Michaud, A. (2013) *The Corona Effect*. International Journal of Engineering Research and Development e-ISSN: 2278-067X, p-ISSN: 2278-800X, Volume 7, Issue 11(July2013), PP. 01-09.
<http://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers/View/7075>
- [76] Michaud, A. (2013) *Inside planets and stars masses*. International Journal of Engineering Research and Development. e-ISSN: 2278-067X, p-ISSN: 2278-800X. Volume 8, Issue 1. pp. 10-33.
<http://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers/View/3630>
- [77] Aschwanden, M. (2006) *Physics of the Solar Corona*, Springer, 2006.
- [78] Lowrie, W. (2007) *Fundamentals of Geophysics*, Second Edition, Cambridge University Press.
- [79] Kühne, R.W. (1998) *Remark on "Indication, from Pioneer 10/11, Galileo, and Ulysses Data, of an Apparent Anomalous, Weak, Long-Range Acceleration"*. arXiv:gr-qc/9809075v1 28 Sep 1998.
<https://arxiv.org/pdf/gr-qc/9809075.pdf>.
- [80] Michaud, A. (2017) *EMécanique électromagnétique des particules élémentaires. 2^e édition*. Scholar's Press. Saarbrücken, Germany. 2016. ISBN: 978-3-330-65345-0.
<http://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers-Mechanics%20/%20Electrodynamics/Download/6976>
- [81] Michaud, A. (2020) *Introduction à l'électromagnétisme selon Maxwell – Mécanique électromagnétique*, Generis Publishing, ISBN 978-9975-3238-3-3.
<https://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers-Mechanics%20/%20Electrodynamics/Download/8321>

Démystification de l'équation de force de Lorentz

- [82] Michaud, A. (2021) *Our Electromagnetic Universe*. In: Dr. Mohd Rafatullah, Editor. *Newest Updates in Physical Science Research* Vol. 12. 23 July 2021, Page 64-82.
<https://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers-Unification%20Theories/Download/8865>
- [83] Michaud, A. (2016) *On the Birth of the Universe and the Time Dimension in the 3-Spaces Model*. *American Journal of Modern Physics*. Special Issue: Insufficiency of Big Bang Cosmology. Vol. 5, No. 4-1, 2016, pp. 44-52. doi: 10.11648/j.ajmp.s.2016050401.17.
<http://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers/View/5695>
- [84] Stodolna, A.S., Rouzée, A. et al. (2013) *Hydrogen Atoms under Magnification: Direct Observation of the Nodal Structure of Stark States*. *Physical Review Letters*. Volume 110, Issue 21, e213001, (2013).
<http://prl.aps.org/abstract/PRL/v110/i21/e213001>
- [85] Hafele, J.C. and Keating, R.E. (1972) *Around-the-World Atomic Clocks: Predicted Relativistic Time Gains*. *Science*, New Series, Vol. 177, No. 4044, pp. 166-168. DOI: 10.1126/science.177.4044.166.
http://www.personal.psu.edu/rq9/HOW/Atomic_Clocks_Experiment.pdf.
- [86] Anderson, J.D., Laing, A., Lau, E.L., Liu, A.S., Nieto, M.M. et al. (1998) *Indications from Pioneer 10/11, Galileo, and Ulysses Data, of an Apparent Anomalous, Weak, Long-Range Acceleration*, gr-qc/9808081, v2, 1 Oct 1998.
<http://arxiv.org/pdf/gr-qc/9808081v2.pdf>.
- [87] Nieto, M.M., Goldman, T., Anderson, J.D., Lau, E.L., Perez-Mercader, J. (1994) *Theoretical Motivation for Gravitation Experiments on Ultra low Energy Antiprotons and Antihydrogen*, hep-ph/9412234, 5 Dec 1994.
<http://arxiv.org/pdf/hep-ph/9412234.pdf>.
- [88] Anderson, J.D., Campbell, J.K., Nieto, M.M. (2006) *The energy transfer process in planetary flybys*, astro-ph/0608087v2, 2 Nov 2006.
<http://arxiv.org/pdf/astro-ph/0608087.pdf>.
- [89] Anderson J.D. et al. (2005). *Study of the anomalous acceleration of Pioneer 10 and 11*, gr-qc/0104064.
<https://arxiv.org/abs/gr-qc/0104064>
- [90] Michaud, A. (2011) *Proposal of an invariant mass reference for the kilogram*. *ResearchGate*. DOI: [10.13140/RG.2.2.25904.02563/1](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25904.02563/1)
<http://www.gsjournal.net/Science-Journals/Essays/View/2250>
- [91] Lide, D.R., Editor-in-chief (2003) *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 84th Edition 2003-2004, CRC Press, New York. 2003.
- [92] Mordovanakis, A.G. et al. *Quasimonoenergetic Electron Beams with Relativistic Energies and Ultrashort Duration from Laser-Solid Interactions at 0.5 kHz*, *Phys. Rev. Lett.* 103, 235001, 2009.
<https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.103.235001>
- [93] Blewett, J.P. (1946) *Radiation Losses in the Induction Electron Accelerator*, *Phys. Rev.* 69, 87.
<https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.69.87>
- [94] Hanson, G., Agrams, G.S., et al. (1975) *Evidence for Jet Structure in Hadron Production by e+ e- Annihilation*. *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 35, No. 24, 1609-1612.
<https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.35.1609>

Démystification de l'équation de force de Lorentz

- [95] Hassani, S. (1999) *Mathematical Physics*. Springer-Verlag. USA. ISBN 0-387-98579-4.
- [96] Van Leunen, H. (2021) *The Standard Model of Particle Physics and the Hilbert Repository*. The Hilbert Book Model Project. DOI: [10.13140/RG.2.2.24853.04325](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24853.04325)
<https://vixra.org/abs/2103.0188>
- [97] Van Leunen, H. (2021) *Elemental and Structured Spaces*. The Hilbert Book Model Project.
<https://vixra.org/abs/2102.0087>
- [98] Michaud, A. (2017) *On the Relation between the Comprehension Ability and the Neocortex Verbal Areas*. J Biom Biostat 8: 331. doi:10.4172/2155-6180.1000331
<https://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers-Education/Download/6825>
- [99] Michaud, A. (2021) *Relating the Comprehension Ability to the Neocortex Verbal Areas: A brief study*. In: Dr. Slawomir Borek, Editor. *New Visions in Biological Science* Vol. 1. 10 August 2021, Page 136-164.
<https://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers-Education/Download/8880>
- [100] Michaud, A. (2019) *The Mechanics of Conceptual Thinking*. *Creative Education*, 10, 353-406.
<https://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers-Education/Download/7668>
- [101] Michaud, A. (2020) *Advancement on the Mechanics of Conceptual Thinking*. In: Dr. Sachin Kumar Jain & Dr. Alina Georgeta Mag, Editors. *New Horizons in Education and Social Studies* Vol. 6. West Bengal, India: Book Publisher International. 2020.
<https://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers-Education/Download/8925>
- [102] Trail, D. (2022) *Wave Functions for the Electron and Positron*. *Applied Physics Research*; Vol. 14, No. 1; 2022 ISSN 1916-9639 E-ISSN 1916-9647 Published by Canadian Center of Science and Education. <https://doi.org/10.5539/apr.v14n1p59>
<https://ccsenet.org/journal/index.php/apr/article/view/0/47058>
- [103] Slater, J.C. (1964) *Atomic radii in Crystals*. *J. Chem. Phys.* **41**, 3199 (1964).
<https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.1725697>
- [104] Clementi, E., Raimondi, D.L., Reinhardt, W.P. (1967) *Atomic Screening Constants from SCF Functions. II. Atoms with 37 to 86 Electrons*. *J. Chem. Phys.* **47** (4): 1300–1307.
<https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.1712084>
