the general science journal

International Journal of Engineering Research and Development
e-ISSN: 2278-067X, **p**-ISSN: 2278-800X, www.ijerd.com
Volume 7, Issue 4 (May 2013), PP. 32-39

Dérivation de ε_0 et μ_0 à partir des principes premiers et définition de l'ensemble fondamental des équations électromagnétiques

André Michaud

➔ **Click here for English version**
➔ **Haga clic aquí para versión en español**

Abstract:- En 1941, le renommé physicien Julius Adams Stratton écrivait dans son ouvrage séminal "Electromagnetic Theory" [1]: "*Dans la théorie de l'électromagnétisme, les dimensions de* ε_0 *et* μ_0 *qui relient respectivement* ***D*** *et* ***E****, et* ***B*** *et* ***H*** *dans le vide, sont parfaitement arbitraires.*" Cette assertion est toujours valide de nos jours dans le contexte de l'électrodynamique classique, puisque ces deux constantes n'ont jamais été dérivées des principes premiers. Il sera démontré ici que les dimensions des deux constantes ne sont pas arbitraires et que les deux constantes peuvent être dérivées des principes premiers.

Mots clés:- Permittivité, perméabilité, principes premiers, vitesse de la lumière, équations de Maxwell, équation de Lorentz, dimensions électromagnétiques fondamentales Cms.

Cet article a été publié formellement en langue anglaise en 2013::

International Journal of Engineering Research and Development e-ISSN: 2278-067X, **p**-ISSN: 2278-800X. Volume 7, Issue 4 (May 2013), PP. 32-39.

En voici la traduction française:

I. BREF HISTORIQUE

La constante de permittivité électrique du vide ε_0 fut définie pour ensuite être expérimentalement vérifiée avec précision au cours d'une expérience au moyen d'un condensateur à plaques parallèles de surface connue "A" dont les plaques sont séparées par une distance "d" entre lesquelles un voltage connu "V" est maintenu, ce qui permet de calculer avec précision la capacitance "C" correspondante. C'est ce qui a permis un calcul précis de ε_0 en fonction d'un ensemble de quantités connues avec précision, tel que décrit à la référence ([2], Section 30.2):

$$\varepsilon_0 = \frac{Cd}{A}$$

Cependant, en dépit d'avoir été mesurée avec grande précision, ε_0 demeure à ce jour une valeur *ad hoc* qui n'a jamais été dérivée d'une théorie sous-jacente.

La constante de perméabilité magnétique du vide μ_0 pour sa part, fut ajustée à la valeur par défaut $4\pi\cdot10^{-7}$, et le courant utilisé pour définir l'Ampère a l'aide d'une balance à courant fut ajusté par convention de manière à ce que μ_o conserve la valeur par défaut dans l'équation suivante, tel que clairement expliqué aussi dans Halliday & Resnick ([2], Section 34.1 to 34.4):

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 i^2}{2\pi d}$$

Dans ce cas aussi, la constante μ_o n'a jamais été dérivée à ce jour d'aucune théorie sous-jacente, en plus d'avoir été assignée par défaut. Cependant, tous les phénomènes électromagnétiques décrits mathématiquement à l'aide de ces deux constantes démontrent hors de tout doute qu'elles sont exactes et requises, même si aucune théorie actuelle ne peut expliquer leur origine.

De nombreuses tentatives ont été faites pour les dériver de théories connues, mais aucun résultat ne s'est avéré concluant.

II. LA VITESSE DE LA LUMIÈRE TELLE QUE CALCULÉE À PARTIR DES ÉQUATIONS DE MAXWELL

Examinons en premier lieu l'équation qui permet de calculer la vitesse de la lumière ([1], p.689), et qui nous fut donnée par Maxwell lorsqu'il découvrit il y a plus de 150 ans que la réciproque du produit des constantes de permittivité et de perméabilité équivalait au carré de la vitesse de la lumière:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \tag{1}$$

où ε_o est la constante de permittivité du vide, dont la valeur est:

$$\varepsilon_o = 1/(4\pi c^2 \bullet 10^{-7}) = 8.854187817\text{E-}12 \text{ Farad par mètre.}$$

Cette constante fut expérimentalement mesurée ([2], p. 746).

La constante μ_o pour sa part est la constante de perméabilité magnétique du vide et fut calculée de manière très précise comme étant:

$$\mu_o = 4\pi \bullet 10^{-7} = 1.256637061\text{E-}6 \text{ Henri par mètre}$$

À partir de la loi d'Ampère ([2], p. 848):

$$\oint \mathbf{B} \cdot dl = \mu_o i \tag{2}$$

Il est très intéressant de noter ici que la constante de permittivité du vide ε_o est en réalité une mesure de <u>*capacitance transversale par mètre*</u> (habituellement symbolisée par "C"), reliée à la "*présence d'énergie électrique*" en électromagnétisme, et que la constante de perméabilité du vide μ_o est en réalité une mesure d'<u>*inductance transversale par mètre*</u> (habituellement symbolisée par "L"), reliée à la "*présence d'énergie magnétique*" en électrodynamique.

L'équation (1) en fait, s'avère être le seul moyen découvert à ce jour pour calculer la vitesse de la lumière à partir d'une théorie. Cette équation fut obtenue de deux identités tirées l'équation de Faraday et de la quatrième équation de Maxwell:

$$\oint \mathbf{E} \cdot dl = -d\mathbf{\Phi}_B/dt \quad \text{et} \quad \oint \mathbf{B} \cdot dl = \mu_o\left(i + \varepsilon_o d\mathbf{\Phi}_E/dt\right) \tag{3}$$

Sans entrer dans les détails de la dérivation, mentionnons que de ces deux équations, des dérivées partielle secondes équivalentes du champ magnétique instantané d'une onde électromagnétique se déplaçant dans le vide en fonction de la distance et du temps peuvent être mise en équation de la manière suivante (notons que la même relation peut être obtenue pour le champ électrique associé):

$$\frac{\partial^2 \mathbf{B}}{\partial x^2} = \mu_0\, \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{B}}{\partial t^2} \qquad \text{et/ou} \qquad \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial x^2} = \mu_0\, \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} \tag{4}$$

La similarité de cette forme avec l'équation donnant la vitesse d'une onde transversale sur une corde élastique était évidente:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{m_L}{F} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \qquad \text{qui devient, une fois résolu} \qquad \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \tag{5}$$

où F est la tension appliquée à la corde exprimée en Newtons; m_L est la masse linéique (masse par mètre) et y = A cos (kx-ωt + φ), soit, l'amplitude transversale instantanée de l'onde en mouvement. Puisque $F/m_L = v^2$, soit le carré de la vitesse longitudinale de l'onde le long de la corde, le parallèle était évident avec l'équation d'onde dérivée des équations de Maxwell et c'est donc par similarité que l'équation (1) fut définie, puisque le produit $\boldsymbol{\varepsilon_o \mu_o}$ sera de toute évidence toujours égal à l'inverse d'une vélocité, dans ce cas: $1/c^2$.

Par conséquent, puisque les conditions locales qui existent partout dans le vide et qui déterminent les valeurs de $\boldsymbol{\varepsilon_o}$ et $\boldsymbol{\mu_o}$ peuvent être présumées universellement constantes, cet axiome est suffisant à lui seul pour conclure que la vitesse de la lumière peut seulement être constante dans le vide, un état de fait qui a été amplement démontré expérimentalement.

Noter aussi qu'une simple analyse dimensionnelle du ratio m_L/F de l'équation (5) conduit directement au ratio $1/c^2$. Premièrement, de l'équation $E=mc^2$, nous savons que m peut être redéfini comme $m=E/c^2$, ce qui donne à m les dimensions Joules/c^2. Ceci donne pour m_L les dimensions Joules/(c^2 m).

Le Newton pour sa part, qui la dimension de F dans l'équation (5) se résout ultimement à j/m (Joules/mètre). Voici comment j/m peut être dérivé de la définition usuelle du newton, soit $kg{\cdot}m/s^2$. Le kg est une mesure de masse, et de $m=E/c^2$, nous tirons $kg = j/m^2/s^2$, soit $j{\cdot}s^2/m^2$. Si nous remplaçons kg par son équivalent en $kg{\cdot}m/s^2$, nous obtenons $j{\cdot}s^2{\cdot}m/s^2{\cdot}m^2$, ce qui, après simplification devient j/m, soit des joules par mètre.

Les dimensions de m_L/F sont donc $j/(c^2\ m) \div j/m$, soit $(j\ m)/(c^2\ m\ j)$, et en simplifiant: $1/c^2$.

III. ANALYSE DIMENSIONNELLE DE ε_O ET μ_O

De toute évidence, $\boldsymbol{\varepsilon_o}$ et $\boldsymbol{\mu_o}$ sont des valeurs plutôt abstraites et il est assez difficile de prime abord d'imaginer ce qui fait que leur produit demeure constant. L'unité traditionnelle de $\boldsymbol{\varepsilon_o}$ (farad par mètre) et celle de $\boldsymbol{\mu_o}$ (henry par mètre) ne nous informent aucunement sur les dimensions réelles de ces constantes.

Mais si nous les résolvons jusqu'à leurs dimensions en système international (SI), nous découvrons que $\boldsymbol{\varepsilon_o}$ implique la charge en Coulomb, la masse en kg, le temps en secondes et la distance en mètres ($Q^2{\cdot}s^2/kg{\cdot}m^3$). De même, $\boldsymbol{\mu_o}$ implique aussi la charge en Coulomb, la masse in kg, et la distance en mètres ($kg{\cdot}m/Q^2$). En simplifiant, nous obtenons m/s comme résultat final:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{Q^2}{kg}\right) \times \left(\frac{kg}{Q^2}\right) \times \frac{s^2}{m^2}}} = \frac{m}{s} \tag{13}$$

Ce niveau de détail permet de beaucoup mieux comprendre pourquoi la première équation présentée dans ce chapitre permet d'établir une vitesse en mètres par seconde, soit la vitesse de la lumière. Mais il peut sembler surprenant qu'une unité de masse, le kilogramme, fasse partie des dimensions de deux constantes définies pour déterminer la vitesse de l'énergie électromagnétique libre dans le vide!

Mais la question est résolue cependant si nous gardons à l'esprit que, comme nous l'avons vu à la fin de la **Section II**, le kilogramme est lui-même une unité composée qui se résout ultimement à $j{\cdot}s^2/m^2$, soit des Joules (une unité d'énergie) divisés par une vélocité au carré.

Le même problème d'obscurité se présente pour l'unité de l'impédance du vide (Z_o), soit l'Ohm. À l'aide des unités SI que nous venons de résoudre, nous pouvons déjà déterminer la valeur de l'Ohm en unités SI:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = \sqrt{\frac{kg\cdot m}{Q^2}\frac{kg\cdot m^3}{Q^2\cdot s^2}} = \sqrt{\frac{kg^2\cdot m^4}{Q^4\cdot s^2}} = \frac{kg\cdot m^2}{Q^2\cdot s} = \Omega\ (\text{Ohm}) \tag{14}$$

Mais réduisant kg à ses unités élémentaires: $kg = j{\cdot}s^2/m^2$, et substituant, nous révèle déjà que nous avons affaire en réalité à des joules · seconde par charge au carré!

$$Z_0 = \Omega = \frac{kg\cdot m^2}{Q^2\cdot s} = \frac{J\cdot s^2}{m^2}\frac{m^2}{Q^2\cdot s} = \frac{J\cdot s}{Q^2} \tag{15}$$

Le mystère s'épaissit encore plus si nous tentons de résoudre Z_o à partir des valeurs reliées à $\boldsymbol{\pi}$ de $\boldsymbol{\varepsilon_o}$ et $\boldsymbol{\mu_o}$:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = \sqrt{16\pi^2c^2}\cdot 10^{-7} = 4\pi c\cdot 10^{-7} = 376.7303135\,m/s = \Omega \tag{15b}$$

Ce qui nous donne l'impédance du vide en ohms comme étant des mètres par seconde, c'est à dire une vélocité! Nous résoudrons cette apparente incompatibilité un peu plus loin, à la **Section IX**.

IV. LA FORCE AU RAYON DE DÉCOUPLAGE DE LA PAIRE ÉLECTRON-POSITON

La manière avec laquelle un photon d'énergie 1.022 MeV peut logiquement se découpler en une paire électron-positon a été exhaustivement analysée à la référence [5].

Étant donné la quantité toujours fixe d'énergie de repos que l'électron présente à la distance de découplage lorsque la séparation devient complète, il n'est pas exclu que la "charge unitaire" de l'électron soit un aspect non encore clarifié du mouvement de l'énergie cinétique en relation avec cette distance de découplage. Cette géométrie tri-spatiale plus étendue [3] semble d'ailleurs le laisser clairement entrevoir.

Nous utiliserons maintenant l'équation classique bien connue de la force F=ma, dans laquelle $a = v^2/r$, pour commencer cette nouvelle étape de notre analyse. Nous connaissons la masse au repos de l'électron, sa vitesse théorique associée à son momentum dans l'espace électrostatique au rayon de découplage (r_d), soit c, ainsi que son rayon de découplage lui-même, tel qu'analysé à la référence [5]:

$$r_d = \frac{\lambda_c}{2\pi} = r_o\alpha = \sqrt{\frac{K}{E_e}} = 3.8615926422\,E-13\,m \tag{16}$$

En accord avec notre hypothèse, calculons donc la force qui s'appliquerait au rayon de découplage de la paire:

$$F_e = \frac{m_e c^2}{r_d} = 0.212013666\,\mathrm{N} \tag{17}$$

V. LA VITESSE TRANSVERSALE MAXIMUM DE DÉCOUPLAGE

Dans un article séparé (**[3], Section 7.5**), nous avons vérifié que la vitesse transversale maximum de la partie de l'énergie d'un photon qui oscille électromagnétiquement entre les espaces électrostatique Y et magnétostatique Z est atteinte lorsque la moitié de cette énergie avait quitté l'un ou l'autre de ces espaces pendant chaque cycle.

Sachant que la partie correspondante de l'énergie de l'électron possède le même mouvement d'oscillation entre les espaces magnétostatique Z et normal X et connaissant maintenant la force qui s'applique au rayon de découplage, nous sommes en position pour calculer la vitesse transversale maximale de l'énergie en oscillation, soit une vitesse transversale maximale qui s'applique par définition à tout photon, étant donné l'identité de structure interne que ce modèle révèle entre les photons et les électrons.

Nous savons de la structure de l'électron dans la géométrie tri-spatiale telle que décrite dans un article précédent (**[5], Section 2**) que seulement la moitié de son énergie oscille dynamiquement, ce qui fait que nous devons utiliser $m = m_e/2$ comme la masse devant être utilisée pour ce calcul.

Comme il est fait traditionnellement avec les constantes $\boldsymbol{\varepsilon_o}$ et $\boldsymbol{\mu_o}$, nous utiliserons la masse comme une représentation commode pour l'énergie de l'électron en relation avec le concept d'accélération transversale, puisque l'équation fondamentale pour l'accélération est sensée s'appliquer à la masse.

Le rayon de découplage connu permet aussi de facilement déterminer que la moitié de la distance entre l'amplitude maximale et la jonction tri-spatiale sera:

$$d = r_d/2 = \lambda/4\pi \tag{18}$$

Encore une fois, de $F=mv^2/r$, nous pouvons donc dériver $F=mv^2/d$ et

$$v = \sqrt{\frac{Fd}{m}} = 299{,}792{,}457.8\,\mathrm{m/s} \tag{19}$$

confirmant ainsi de manière très intéressante, que la vitesse transversale maximale de l'énergie d'un photon ou d'un électron pendant son mouvement cyclique d'oscillation interne entre les deux états est précisément la vitesse de la lumière, et que cette vitesse est atteinte à précisément la moitié de son amplitude dans l'un ou l'autre des espaces électrostatique Y et magnétostatique Z.

VI. DÉFINITION DE L'ENSEMBLE DES VECTEURS UNITAIRES MAJEURS TRISPATIAUX REQUIS

Avant d'aller plus loin avec l'actuelle dérivation, il est utile de mettre en perspective les vecteurs unitaires majeurs et mineurs requis dans le complexe géométrique trispatial plus étendu pour permettre une représentation adéquate. Cet ensemble de vecteurs unitaires fut complètement décrit et justifié dans un article précédent [3], mais sera sommairement décrit ici pour référence plus pratique.

L'ensemble des vecteurs unitaires traditionnels déjà mentionnés $\hat{\mathbf{i}}$, $\hat{\mathbf{j}}$ et $\hat{\mathbf{k}}$ ont bien sûr été défini pour décrire l'espace normal puisque jusqu'ici les phénomènes électromagnétiques étaient perçus comme se déroulant entièrement dans l'espace normal. Mais cette géométrie plus étendue de l'espace comporte deux nouveaux espaces qui sont perpendiculaires à l'espace normal, à chacun desquels doit correspondre son propre vecteur unitaire majeur, et son propre ensemble de vecteurs unitaires mineurs subordonnés au vecteur majeur qui lui correspond.

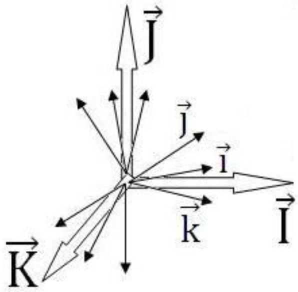

Figure 1: L'ensemble des vecteurs unitaires trispatiaux.

Les trois espaces mutuellement orthogonaux (normal, électrostatique et magnétostatique) ont aussi besoin d'être représentables par leur propre ensemble de vecteurs unitaires spéciaux. Cet ensemble fut défini comme un nouveau sur-ensemble de vecteurs unitaires majeurs qui identifient les trois espaces orthogonaux comme étant $\hat{\mathbf{I}}$, $\hat{\mathbf{J}}$ et $\hat{\mathbf{K}}$, (ou pour rendre la notation plus facile: **I**bar, **J**bar and **K**bar), pour que chaque ensemble local de vecteurs unitaires mineurs $\hat{\mathbf{i}}$, $\hat{\mathbf{j}}$ et $\hat{\mathbf{k}}$ devienne subordonné au vecteur unitaire majeur spécifique à son espace local, les 12 vecteurs unitaires résultants (3 majeurs et 9 mineurs) partageant bien sûr la même origine O.

Chacun des trois sous-ensembles orthonormaux de vecteurs mineurs (montrés dans la Figure 1 comme étant à demi-repliés – (souvenons nous de l'analogie du parapluie), soit **I-i**, **I-j**, **I-k**, pour l'espace normal, **J-i**, **J-j**, **J-k** pour l'espace électrostatique et **K-i**, **K-j**, **K-k** pour l'espace magnétostatique permet de définir la magnitude vectorielle de l'énergie dans chacun des trois espaces orthogonaux coexistants.

VII. DÉRIVATION DE ε_O ET μ_O À PARTIR DE L'ÉQUATION D'ACCÉLÉRATION TRANSVERSALE

Mais revenons maintenant à l'équation $F=mv^2/d$, que nous pouvons maintenant formuler $F=mc^2/d$ dans le cas de l'électron au repos, pour tenir compte que sa vélocité est la vitesse de la lumière dans l'espace-Y électrostatique lorsqu'il atteint le rayon de découplage (équation (17)), soit:

$$F = mc^2/d \tag{20}$$

qui devient après remplacement de d par sa valeur correcte déterminée avec l'équation (18):

$$F = m\,\frac{c^2}{\lambda/4\pi} \quad \text{et finalement} \quad F = m\,\frac{4\pi c^2}{\lambda} \tag{21}$$

Nous avons donc mesuré une force qui s'applique dans l'espace-X normal ($\bar{\mathbf{I}}$), produite par une accélération qui agit perpendiculairement dans l'espace-Y électrostatique ($\bar{\mathbf{J}}$), c'est-à-dire, transversalement par rapport à la direction de mouvement de la particule dans l'espace-X normal:

$$\overrightarrow{\mathbf{F}_e}\,\bar{\mathbf{I}} = m\,\overrightarrow{\frac{4\pi c^2}{\lambda}}\,\bar{\mathbf{J}} \tag{22}$$

L'énergie ayant atteint sa vitesse maximale, c'est-à-dire c, après avoir atteint la moitié de son amplitude dans l'espace-Y électrostatique, elle commencera à décélérer ensuite jusqu'à l'arrêt complet en atteignant son amplitude maximale, tel que décrit à la référence [3].

Cette énergie ré-accélérera ensuite dans l'espace-Z magnétostatique (**Ꝁ**) jusqu'à ce que la vitesse de la lumière soit atteinte dans cet espace, soit lorsque la moitié de l'énergie aura quitté l'espace-Y électrostatique. Nous aurons donc:

$$\overrightarrow{\mathbf{F}_m\text{Ɨ}} = \frac{m\,\overrightarrow{4\pi c^2\text{Ꝁ}}}{\lambda} \tag{23}$$

Nous avons donc identifié deux accélérations dans deux espaces Y et Z mutuellement perpendiculaires (**Ɉ** et **Ꝁ**) qui génèrent chacun une force agissant en opposition transversale l'une à l'autre dans l'espace-X normal (**Ɨ**), qui est perpendiculaire aux deux autres espaces. Voyons ce qui se produit lorsque nous exécutons un produit inverse (pour tenir compte de l'orthogonalité mutuelle des deux espaces électrostatique Y et magnétique Z) de ces deux équations terme pour terme:

$$\frac{\overrightarrow{\mathbf{F}_\mathbf{m}\text{Ɨ}}}{\overrightarrow{\mathbf{F}_\mathbf{e}\text{Ɨ}}} = \frac{\overrightarrow{4\pi c^2\text{Ꝁ}}}{\overrightarrow{4\pi c^2\text{Ɉ}}} \tag{24}$$

Les deux quantités scalaires $\boldsymbol{\lambda}$ et **m** se simplifieront bien sûr terme pour terme à l'unité, mais les quantités vectorielles demeurent.

À la **Section II**, nous avons mentionné les valeurs en termes de $\boldsymbol{\pi}$ des constantes fondamentales $\boldsymbol{\varepsilon_o}$ et $\boldsymbol{\mu_o}$, soit:

$$\boldsymbol{\varepsilon_o} = 1/(4\pi c^2 \bullet 10^{-7}) \qquad \text{et} \qquad \boldsymbol{\mu_o} = 4\pi \bullet 10^{-7} \tag{25}$$

Ne reconnaissons nous pas ici des valeurs ayant la forme d'accélérations identiques à celles que nous venons de dériver à partir de l'équation fondamentale d'accélération? Notons que le facteur 10^{-7} qui fait partie des constantes des équations (25) est un simple facteur de conversion qui fut inclus pour permettre une conversion entre le système d'unités CGS absolu rationalisé et le système d'unités MKS que nous utilisons ici ([1], p24.).

La raison pour laquelle ce facteur de demeure présent dans le système MKS est que contrairement au gramme CGS qui est une fraction naturelle du mètre MKS, l'erg CGS est une unité différente de la joule MKS, ce qui rend impossible son intégration directe (1 erg = 10^{-7} joule).

Ajoutons donc des occurrences mutuellement réductibles de ce facteur à notre équation, puisque nous utilisons le système MKS:

$$\frac{\overrightarrow{\mathbf{F}_\mathbf{m}\text{Ɨ}}}{\overrightarrow{\mathbf{F}_\mathbf{e}\text{Ɨ}}} = \frac{\overrightarrow{4\pi c^2\text{Ꝁ}}}{\overrightarrow{4\pi c^2\text{Ɉ}}}\,\frac{10^{-7}}{10^{-7}} \tag{26}$$

ce qui, lorsque converti au mode scalaire donne:

$$1 = \frac{4\pi c^2 10^{-7}}{4\pi c^2 10^{-7}} \text{, et en réarrangeant: } 1 = \left(\frac{1}{4\pi c^2 10^{-7}}\right)\frac{\left(4\pi 10^{-7}\right)c^2}{} \tag{27}$$

ce qui permet de révéler clairement les définitions en fonction de $\boldsymbol{\pi}$ des constantes fondamentales $\boldsymbol{\varepsilon_o}$ et $\boldsymbol{\mu_o}$, tel qu'expliqué à la **Section II**:

$$1=\left(\frac{1}{4\pi c^2 10^{-7}}\right)\left(4\pi 10^{-7}\right)c^2 = \varepsilon_0\mu_0 c^2 \tag{28}$$

Ce qui, après avoir isolé c^2 et extrait la racine carrée, donne la relation suivante, qui est identique à l'équation (1), qui était auparavant dérivable seulement à partir des équations de Maxwell:

$$c=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} \tag{29}$$

VIII. LES CONSTANTES D'ACCÉLÉRATION TRANSVERSALE CYCLIQUES ε_O ET μ_O

Ne venons-nous pas de clarifier complètement ici l'origine jusqu'alors tout à fait mystérieuse de ces deux constantes? Souvenons-nous de ce que Julius Adams Stratton écrivait en 1941: "*Dans la théorie de l'électromagnétisme, les dimensions de ε_o et μ_o qui relient respectivement **D** et **E**, et **B** et **H** dans le vide, sont parfaitement arbitraires.*" ([1], p. 17).

C'était évidemment le cas dans l'électromagnétisme traditionnel, mais ne venons-nous pas de constater que dans ce modèle, elles ont définitivement la forme d'accélérations mutuellement orthogonales, respectivement dans l'espace électrostatique et dans l'espace magnétostatique, en parfaite harmonie avec le mouvement dynamique interne obligé de tout quantum d'énergie cinétique localisé dans la géométrie tri-spatiale?

Nous savons depuis Maxwell que l'énergie électromagnétique ne pourrait pas exister sans une intersection des champs électrique et magnétique, et qu'une telle intersection doit être cyclique pour que l'énergie puisse même exister, ce qui implique nécessairement une accélération cyclique, puisque toute vélocité transversale stable empêcherait des intersections à répétition.

IX. LE SOUS-ENSEMBLE FONDAMENTAL DES DIMENSIONS C, M, S

Considérons la nouvelle équation pour calculer l'énergie dérivée dans un article séparé ([6], équation (10)), et donnons lui la forme d'une quantité subissant une accélération, soit en la convertissant en une quantité multipliée par une vélocité au carré et divisée par une longueur en mètres. Ceci requière la conversion de $\boldsymbol{\varepsilon_o}$ en son équivalent relatif à $\boldsymbol{\pi}$:

$$E=\frac{e^2}{2\varepsilon_0\alpha\lambda}=\frac{e^2 4\pi c^2 10^{-7}}{2\alpha\lambda}=\left(\frac{e^2 10^{-7}}{}\right)\left(\frac{2\pi c^2}{\lambda\alpha}\right) \quad \text{avec dimensions} \quad J=\frac{C^2 m}{s^2} \tag{30}$$

En examinant cette relation, nous observons que cette quantité prend naturellement la forme d'une charge unitaire au carré, c'est-à-dire (e^2), avec la dimension C^2 (coulombs au carré), ce qui permet de définir la joule (j), qui est l'unité traditionnelle d'énergie, avec les dimensions "coulombs^2 · mètres par seconde^2 ", ce qui correspond clairement à une paire de charges en train de subir une accélération.

Souvenons-nous que nous avons trouvé deux combinaisons d'unités en apparence contradictoires comme définition de l'Ohm en relation avec l'impédance du vide (Z_o), (voir équations (15) et (15b)), soit:

$$Z_0=\Omega=\frac{J\cdot s}{Q^2}=\frac{m}{s} \tag{31}$$

Si nous substituons ici la nouvelle définition des joules que nous venons d'établir avec l'équation (30), nous pouvons effectivement vérifier que les deux définitions de l'Ohm sont équivalentes:

$$Z_0 = \Omega = \frac{J \cdot s}{Q^2} = \frac{Q^2 \cdot m}{s^2} \frac{s}{Q^2} = \frac{m}{s} \tag{32}$$

Par conséquent, pour réussir à finalement clarifier les relations entre les charges (en Coulombs), l'amplitude d'oscillation de l'énergie d'un photon (mètre) et le temps (seconde), nous utiliserons pour le reste de ce chapitre cette nouvelle définition de la joule, soit C^2m/s^2, ce qui permettra de mettre en évidence un processus d'accélération qui est présent dans toutes les équations associées à l'énergie.

Une autre information que l'analyse de Z_o à la **Section III** nous a procurée est le fait que le facteur de conversion 10^{-7} présent dans $\boldsymbol{\varepsilon_o}$ et $\boldsymbol{\mu_o}$, ne fait pas partie de la valeur dont il faut extraire la racine carrée (voir équation (15b)), mais doit être appliqué au résultat de cette extraction pour que l'impédance correcte soit obtenue. Par la même occasion, cela clarifie que ici aussi, ce facteur est extérieur à la valeur au carré de la charge.

Nous verrons que cette quantité constante infinitésimale (la charge au carré), qui semble être constituée de 2 quantités unitaires, en conformité avec l'hypothèse de de Broglie et que les équations nous présentent sous l'aspect de charges, semble se retrouver au cœur de chaque photon.

X. L'ÉQUATION FONDAMENTALE D'ACCÉLÉRATION DES CHARGES

Pour simplifier la notation, et bien mettre en évidence l'analogie de structure avec l'équation traditionnelle de l'accélération F=ma, identifions la paire de charges au carré par un **X** majuscule, et identifions par **a** l'accélération associée impliquant le carré de la vitesse de la lumière divisée par une distance transversale égale à l'amplitude intégrée de la longueur d'onde de l'énergie associée, qui correspond en contexte à la moitié de cette amplitude intégrée de part et d'autre de l'axe Y-x, qui correspond à la direction de mouvement du photon le long de l'axe X-x de l'espace-X normal dans le vide. À partir ce ce point, nous utiliserons **X** et **a** définis de la manière suivante:

$$X = e^2 \cdot 10^{-7} = 2.5669694 15E-38\ C^2 \cdot 10^{-7} \qquad \text{et} \qquad a = \frac{2\pi c^2}{\lambda\alpha} \tag{33}$$

Nous convertirons ici quelques unes des équations majeures de l'électrodynamique pour percevoir plus facilement la complexification progressive des équations à partir de celle pour l'énergie jusqu'à celle pour la densité d'énergie, et qui contiennent toutes la relation d'accélération transversale "**Xa**" que nous venons d'identifier.

XI. DÉFINITION DE L'ENSEMBLE DES ÉQUATIONS ÉLECTROMAGNÉTIQUES FONDAMENTALES

Avant d'aller plus loin, établissons clairement ce qui doit être compris par "*longueur d'onde transversale*", et "*amplitude d'oscillation transversale*" de l'énergie d'une particule.

La relation entre la longueur d'onde d'une particule localisée et le calcul de son énergie par intégration sphérique de son l'énergie est étudiée en détail dans un article séparé [6]. L'analyse faite dans ce chapitre a permis de définir la *longueur d'onde intégrée* d'une particule électromagnétique comme correspondant à la longueur d'onde absolue de l'énergie de cette particule (λ=hc/E, ou λ=h/mc) multipliée par la constante de structure fine (α). L'*amplitude d'oscillation transversale* de l'énergie d'une particule électromagnétique élémentaire sera donc, à partir de l'équation (33):

$$A\alpha = \frac{\lambda\alpha}{2\pi}, \quad \text{où} \quad \mathbf{a} = \frac{c^2}{A\alpha} = \frac{2\pi c^2}{\lambda\alpha} \text{ tel que défini à l'équation (33)} \qquad (34)$$

Nous pouvons maintenant définir une équation générale équivalente aussi bien à E=mc^2 (pour l'énergie d'une particule massive au repos) qu'à E=h*f* (pour l'énergie d'un photon), étant donné la similarité de structure interne des deux particules, soit:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} = mc^2 = Xa = \left(\frac{e^2 10^{-7}}{}\right)\frac{2\pi c^2}{\lambda\alpha} \quad \text{avec dimensions} \quad J = \frac{C^2 m}{s^2} \qquad (35)$$

Contrairement aux deux équations traditionnelles cependant, la nouvelle équation met clairement en évidence l'accélération électromagnétique transversale de deux charges unitaires, tel que déjà mentionné.

Le lecteur avisé verra immédiatement la relation avec l'équation de Coulomb, qui calcule justement la force entre 2 charges séparées, et l'énergie associée lorsqu'on divise cette force par la distance entre les deux charges, et qui devient directement applicable à l'intérieur même d'un photon, puisqu'il peut maintenant être vu comme contenant l'équivalent de 2 charges unitaires.

Si l'on considère en contexte deux charges unitaires, nous obtenons donc:

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q^2}{r^2} = \frac{Xa}{d} = \left(\frac{e^2 10^{-7}}{}\right)\frac{4\pi^2 c^2}{\lambda^2\alpha^2} \quad \text{avec dimensions} \quad N = \frac{J}{m} = \frac{C^2}{s^2} \qquad (36)$$

L'interaction associée à la force magnétique impliquant deux particules électromagnétiques peut aussi s'exprimer sous cette forme ([8], équation (1)). À l'aide de la définition du moment dipolaire magnétique établi à la référence ([6], équation (35a)), soit, μ=E/2**B**=ec$\alpha^2\lambda/4\pi$, nous pouvons écrire:

$$F = \frac{3\mu_0}{4\pi r^3}\frac{\mu^2}{r} = \frac{Xa}{d}\frac{3\alpha^2}{4} = \left(\frac{e^2 10^{-7}}{}\right)\frac{3\pi^2 c^2}{\lambda^2} \quad \text{avec dimensions} \quad N = \frac{J}{m} = \frac{C^2}{s^2} \qquad (37)$$

De l'équation (35) pour l'énergie, la masse devient bien sûr l'énergie divisée par c^2:

$$m = \frac{X}{A\alpha} = \left(\frac{e^2 10^{-7}}{}\right)\frac{2\pi c^2}{\lambda\alpha c^2} = \left(\frac{e^2 10^{-7}}{}\right)\frac{2\pi}{\lambda\alpha} \quad \text{avec dimensions} \quad kg = \frac{C^2}{m} \qquad (38)$$

Cette dernière redéfinition de la masse est particulièrement importante puisque c'est cette forme qui a permis l'unification de toutes les équations de force classiques dans un article séparé [7].

L'équation générale du calcul des masses respectives du quark down, du quark up et de l'électron, qui sera établie dans un article à venir, et est complètement analysé à la référence ([9], Section 17.10) se formulera donc ainsi:

$$m_{[d,u,e]} = \frac{X}{A_C\alpha}\frac{9}{n^2} = \left(\frac{e^2 10^{-7}}{}\right)\frac{2\pi}{\lambda_C\alpha}\frac{9}{n^2} \quad \text{où (n=1,2,3)} \qquad (39)$$

où λ_C est la longueur d'onde de Compton de l'électron.

La constante de Planck se définit pour sa part ainsi:

$$h = \frac{X2\pi c}{\alpha} = \left(\frac{e^2 10^{-7}}{}\right)\frac{2\pi c^2}{\alpha}\frac{1}{c} \qquad \text{avec dimensions} \quad J\cdot s = \frac{C^2 m}{s} \quad (40)$$

Nous pouvons aussi observer que l'expression pour ħ (hbar) nous éloigne encore plus de la forme d'une quantité subissant une accélération:

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = \frac{Xc}{\alpha} = \left(\frac{e^2 10^{-7}}{}\right)\frac{2\pi c^2}{\alpha}\frac{1}{2\pi c} \qquad \text{avec dimensions} \quad J\cdot s = \frac{C^2 m}{s} \quad (41)$$

La constante alternative fondée sur la distance nommée temporairement ***constante d'intensité électromagnétique*** lorsque définie dans l'article ([3], Section J) devient:

$$H = hc = \frac{X2\pi c^2}{\alpha} = \left(\frac{e^2 10^{-7}}{}\right)\frac{2\pi c^2}{\alpha} \qquad \text{avec dimensions} \quad J\cdot m = \frac{C^2 m^2}{s^2} \quad (42)$$

Nous pouvons comprendre que H est en réalité la ***constante d'accélération électromagnétique transversale***. Possiblement la plus fondamentale constante qu'il soit possible de définir en électromagnétisme. Il suffit de la diviser par la longueur d'onde absolue de n'importe quelle particule élémentaire, massive ou non, pour obtenir son énergie.

Du même souffle, cette relation fait clairement percevoir que h, la constant de Planck, agit aussi transversalement et est en réalité une *constante d'action électromagnétique transversale*!

Donc, si nous redéfinissons les première et seconde constantes du rayonnement de Planck en utilisant cette *constante d'accélération électromagnétique transversale* (H), elles deviennent:

$$c_1 = 2\pi hc^2 = 2\pi Hc \qquad \text{et} \qquad c_2 = hc/k = H/k,$$

et il devient beaucoup plus évident que l'équation du rayonnement du corps noir de Planck mentionnée précédemment est très directement liée aux équations de Maxwell puisque H est obtenu directement de considérations électromagnétiques.

Nous pouvons aussi facilement reformuler la ***constante d'induction d'énergie électrostatique*** (K) de l'électron précédemment en termes de la constante H et aussi l'associer à l'accélération électromagnétique :

$$K = m_0 c^2 \left(\frac{\lambda_C}{2\pi}\right)^2 = H\frac{\lambda_C}{4\pi^2} = \left(\frac{e^2 10^{-7}}{}\right)\frac{c^2}{\alpha}\frac{\lambda_C}{2\pi} \qquad \text{avec dimensions} \quad J\cdot m^2 = \frac{C^2\cdot m^3}{s^2} \quad (43)$$

L'expression du champ électrique local pour photon individuel localisé décrit à la référence [6], tirée de l'équation de Lorentz devient:

$$\mathbf{E} = \frac{F}{\alpha e} = \frac{Xa}{A\alpha^2 e} = \left(\frac{e^2 10^{-7}}{}\right)\frac{2\pi c^2}{\lambda\alpha}\frac{2\pi}{\lambda\alpha}\frac{1}{\alpha e} \qquad \text{avec dimensions} \quad \frac{J}{Cm} = \frac{C}{s^2} \quad (44)$$

L'expression du champ magnétique local correspondant sera:

$$\mathbf{B} = \frac{Xa}{A\alpha^2 ec} = \left(\frac{e^2 10^{-7}}{}\right)\frac{2\pi c^2}{\lambda\alpha}\frac{2\pi}{\lambda\alpha}\frac{1}{\alpha ec}\ T \qquad \text{avec dimensions} \quad T = \frac{Js}{Cm^2} = \frac{C}{sm} \quad (45)$$

Et l'expression de la densité de l'énergie d'un photon localisée dans le volume (V), telle que définie à la référence ([6], équation (40i)) devient:

$$U = \frac{Xa}{V_{\lambda\alpha}} = \left(\frac{e^2 10^{-7}}{}\right)\frac{2\pi c^2}{\lambda\alpha}\frac{2\pi}{\lambda\alpha}\frac{1}{\alpha e}\frac{\pi e}{\alpha^2\lambda^2} \qquad \text{avec dimensions } \frac{J}{m^3} = \frac{C^2}{s^2 m^2} \quad (46)$$

Notons aussi que:

$$U = \varepsilon_0 \mathbf{E}^2 = \frac{\mathbf{B}^2}{\mu_0} = \frac{F\pi}{\lambda^2\alpha^4} \quad J/m^3 \qquad (47)$$

XII. Conclusion

Nous pouvons donc observer de manière concluante que les constantes $\boldsymbol{\varepsilon_o}$ et $\boldsymbol{\mu_o}$ sont directement liées à l'accélération transversale interne des quanta d'énergie libre dans cette géométrie tri-spatiale plus étendue, qui permet de plus de définir l'ensemble des équations électromagnétiques fondamentales.

XIII. Bibliographie

[1]. Julius Adams Stratton. **Electromagnetic Theory,** McGraw-Hill, 1941.

[2]. Robert Resnick & David Halliday. **Physics**. John Wyley & Sons, New York, 1967.

[3]. André Michaud. **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 (April 2013), PP. 31-45.

[4]. André Michaud. **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 (March 2013), PP. 01-10.

[5]. André Michaud. **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 (April 2013), PP. 36-49.

[6]. André Michaud. **Field Equations for Localized Individual Photons and Relativistic Field Equations for Localized Moving Massive Particles**. International IFNA-ANS Journal, No. 2 (28), Vol. 13, 2007, p. 123-140, Kazan State University, Kazan, Russia.

[7]. André Michaud. **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.

[8]. André Michaud. **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 (June 2013), PP.50-66.

[9]. André Michaud. **Electromagnetic Mechanics of Elementary Particles - 2nd Edition"** (2017). Scholar's Press. Saarbrücken, Germany. 2017. ISBN: 978-3-330-65345-0.

Autres articles du même auteur

http://www.gsjournal.net/Science-Journals/Essays/View/2460