# Décalage des longueurs d'onde du spectre électromagnétique au cours du temps

**Claude Mercier** ing., 25 décembre, 2013 claude.mercier@cima.ca
Rév. 17 octobre 2015

*En 1929, Edwin Powell Hubble constata, par observation des galaxies, que l'univers était en expansion. Les galaxies, indépendamment de leurs mouvements propres, se fuyaient les unes les autres à des vitesses d'autant plus grandes qu'elles étaient éloignées les unes des autres* [1].

*De nos jours, les astrophysiciens mesurent précisément les vitesses d'éloignement relatives des différentes galaxies à l'aide de l'effet Doppler. Un décalage vers le rouge du spectre optique des étoiles signifie que celles-ci s'éloignent de nous. À l'inverse, un décalage vers le bleu du même spectre signifie que celles-ci s'approchent de nous.*

*Dans ce travail, nous montrerons que tout le spectre électromagnétique subit un décalage vers des longueurs d'ondes de plus en plus grandes et ce, quelque soit la longueur d'onde et quelque soit la direction des déplacements relatifs des différentes galaxies. Ce phénomène est directement lié à l'expansion de l'univers et au fait que la lumière accélère au cours du temps. De plus, ce phénomène peut sembler indécelable en raison du fait que les longueurs d'onde sont toujours prises par rapport aux longueurs d'onde émises par notre propre Soleil ou par d'autres sources lumineuses terrestres qui nous servent de référence. De plus, nous verrons que même les longueurs étalons mécaniques ne peuvent pas servir pour mesurer ce décalage puisque ces mêmes longueurs étalons sont affectées par l'expansion de l'univers. Pour l'instant, seules les variations par rapport au spectre de référence peuvent être détectées (par effet Doppler).*

*Étant donné que la fréquence des photons demeure stable dans le temps malgré l'accélération de la lumière et malgré le décalage du spectre électromagnétique au cours du temps, il semble possible de faire une horloge stable dans le temps qui ne soit pas influencée par le changement d'indice de réfraction du vide, pour autant que celle-ci soit uniquement basée sur la fréquence d'oscillation du photon.*

**MOTS CLÉS :** Photon, décalage vers le rouge, spectre électromagnétique

## 1. INTRODUCTION

L'univers est en expansion [1]. Présentement, les astrophysiciens peuvent le constater à l'aide de l'effet Doppler en raison du décalage vers le rouge du spectre lumineux des galaxies qui nous entourent qui peut être interprété comme un éloignement de celles-ci par rapport à nous.

Mais, il semble que ce ne soit pas seulement les longueurs des ondes électromagnétiques des galaxies qui s'éloignent de nous qui augmentent au cours du temps, mais la longueur d'onde de tous les photons de l'univers. Ce phénomène s'ajoute au décalage vers le rouge de l'effet Doppler, mais comme toutes nos sources de référence de longueur varient dans le temps au même rythme, ce phénomène peut sembler indécelable.

Nous commencerons par rappeler quelques résultats provenant de travaux antérieurs pour définir avec plus de précision certains paramètres utiles avant de poser nos hypothèses de base. Ensuite, nous verrons pourquoi le spectre des ondes électromagnétiques semble obligé de décaler lentement vers de plus grandes longueurs d'onde.

## 2. VALEURS DE QUELQUES PARAMÈTRES UTILES

### 2.1. Constante de Hubble théorique $H_0$ provenant de travaux antérieurs

Dans des travaux antérieurs [2], nous avons déjà montré que la constante de Hubble $H_0$ pouvait s'exprimer par une équation dont la précision dépendait de la vitesse de la lumière $c$, de la constante de structure fine $\alpha$ et du rayon classique de l'électron $r_e$.

$$H_0 = \frac{c \cdot \alpha^{19} \cdot \beta^{1/2}}{r_e} \quad \textbf{(1)}$$

$$H_0 \approx 72{,}09548632 \pm 0{,}00000046 \text{ km/}(\text{s} \cdot \text{MParsec}) \quad \textbf{(2)}$$

Selon le CODATA 2010 [3] :

- Vitesse de la lumière dans le vide actuelle $c \approx 299792458$ m/s
- Constante structure fine $\alpha \approx 7{,}2973525698 \pm 0{,}0000000024 \times 10^{-3}$
- Rayon classique électron $r_e \approx 2{,}8179403267 \pm 0{,}0000000027 \times 10^{-15}$ m

La valeur de $\beta$ est un nombre irrationnel. Elle exprime le rapport entre la vitesse d'expansion de l'univers matériel et la vitesse de la lumière dans le vide $c$ [4] :

$$\beta = 3 - \sqrt{5} \approx 0{,}764 \quad \textbf{(3)}$$

La valeur de la constante de Hubble $H_0$ obtenue en **(14)** est compatible avec celle de Xiaofeng Wang et son équipe [5] qui ont obtenu la mesure suivante : $H_0 = 72{,}1 \pm 0{,}9$ km/(s·MParsec). Nous utiliserons donc notre équation dans le présent article pour décrire la constante de Hubble $H_0$.

### 2.2. Constante gravitationnelle universelle $G$ théorique provenant de travaux antérieurs

Dans des travaux antérieurs [2], nous avons déjà montré que la constante de gravitation universelle $G$ peut être décrite avec grande précision en utilisant l'équation suivante qui dépend principalement de la constante de structure fine $\alpha$, du rayon classique de l'électron $r_e$ , de sa masse $m_e$ et de la vitesse de la lumière dans le vide $c$ :

$$G = \frac{c^2 \cdot r_e \cdot \alpha^{20}}{m_e \cdot \beta} \approx 6{,}67323036 \pm 0{,}0000003 \times 10^{-11}\ \mathrm{m}^3 / \left( kg \cdot s^2 \right) \quad \textbf{(4)}$$

Selon le CODATA 2010 [3] :

- Constante gravitation universelle $G \approx 6{,}67384 \pm 0{,}00080 \times 10^{-11}$ m$^3$/(kg·s$^2$)
- La masse au repos de l'électron $m_e \approx 9{,}10938291 \pm 0{,}00000040 \times 10^{-31}$ kg.

Étant donné que la valeur obtenue en **(4)** est compatible à la marge d'erreur du CODATA 2010, nous utiliserons cette valeur dans le présent article pour décrire la constante de gravitation universelle $G$.

### 2.3. Nombre $N$ de Dirac

En 1974, Dirac fit l'hypothèse que certains grands nombres revenaient constamment lorsque nous faisions le rapport de certains nombres [6]. Nous avons établi que tous ces nombres provenaient en fait d'un seul grand nombre $N$ qui est de l'ordre de $10^{121}$ [7]. En appliquant différents exposants rationnels à $N$ (par exemple : ½, ⅓, etc.), nous obtenons des nombres qui ont le même ordre de grandeur que tous les grands nombres de l'hypothèse originale de Dirac.

Dans des travaux antérieurs [7], nous avons montré que si nous associons une masse $m_{ph}$ aux photons qui ont comme longueur d'onde la circonférence apparente de l'univers (c'est à dire $2 \cdot \pi \cdot R_u$), le nombre $N$ correspondait alors au nombre maximal de ces photons pouvant exister dans notre univers de masse apparente $m_u$.

La masse associée à un photon de longueur d'onde $2 \cdot \pi \cdot R_u$ (circonférence apparente de l'univers) est donnée par $m_{ph}$ [7] :

$$m_{ph} = \frac{h}{2 \cdot \pi \cdot R_u \cdot c} = \frac{h \cdot H_0}{2 \cdot \pi \cdot c^2} \approx 2{,}74 \times 10^{-69}\,\mathrm{kg} \quad \textbf{(5)}$$

Selon le CODATA 2010 [3], la constante de Planck $h \approx 6{,}62606957\times10^{-34}$ J·s.

La masse apparente de l'univers est donnée par l'équation suivante [8,9] :

$$m_u = \frac{c^3}{G \cdot H_0} \approx 1{,}73\times10^{53}\text{kg} \tag{6}$$

Dans d'autres travaux que nous avons déjà présentés [2], nous avons fait l'hypothèse que $N$ était intimement relié à la constante de structure fine $\alpha$.

$$N = \frac{m_u}{m_{ph}} = \frac{1}{\alpha^{57}} \approx 6{,}30\times10^{121} \tag{7}$$

Cette conjecture nous a permis de trouver les équations **(1)** et **(4)**. Pour l'instant, nous ne pouvons pas faire la démonstration formelle des équations **(1)**, **(4)** et **(7)** à partir de théories connues. Cependant, la véracité de celles-ci est indirectement démontrée par le fait que nous puissions calculer très précisément [10], à l'aide de ces dernières, la masse de l'électron $m_e$ en obtenant exactement la même valeur de masse de l'électron $m_e$ que le CODATA 2010 [3]. Considérant que la masse de l'électron $m_e$ est décrite avec plus de huit chiffres significatifs et que nous obtenons les mêmes [10], nous considérons que cette situation ne peut statistiquement pas être le fruit du hasard.

### 2.4. Relation entre le rayon de courbure apparent de l'univers $R_u$ et le rayon classique de l'électron $r_e$

Le rayon de courbure apparent de l'univers (parfois appelé rayon de Hubble [11], rayon de l'univers [12], rayon de courbure de l'espace-temps [13]) est normalement donné par l'équation suivante :

$$R_u = \frac{c}{H_0} \approx 1{,}28\times10^{26}\text{m} \tag{8}$$

Cependant, grâce à la valeur de la constante de Hubble $H_0$ de l'équation **(14)**, nous sommes en mesure de déterminer précisément la valeur du rayon de courbure apparent de l'univers $R_u$ :

$$R_u = \frac{r_e}{\beta^{1/2} \cdot \alpha^{19}} = \frac{r_e \cdot N^{1/3}}{\beta^{1/2}} \approx 1{,}2831078806 \pm 0{,}0000000081 \times 10^{26}\text{m} \tag{9}$$

Plusieurs autres méthodes sont décrites dans un document que nous avons publié précédemment [14].

## 3. DÉVELOPPEMENT

### 3.1. Longueur d'onde d'un photon en rotation

Nous voulons montrer ici qu'un photon est une particule de rayon égale à la longueur de Planck $L_p$ et que sa longueur d'onde $\lambda$ est une interprétation relativiste de sa circonférence ($2\pi \cdot L_p$) en rotation.

$$L_p = \sqrt{\frac{h \cdot G}{2 \cdot \pi \cdot c^3}} \approx 1{,}6 \times 10^{-35}\,\mathrm{m} \tag{10}$$

Grâce à sa théorie de la relativité restreinte [15,16], Einstein a montré qu'une masse $m_0$ au repos qui est accélérée à une vitesse relativiste $v$ (c'est-à-dire proche de la vitesse de la lumière) voit sa masse augmenter à une valeur $m$ par rapport à un observateur au repos. Le facteur permettant, pour un observateur au repos, d'interpréter la masse en mouvement à la vitesse $v$ est le facteur de Lorentz $\gamma$.

$$m = \frac{m_0}{\gamma} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \tag{11}$$

Dans un article que nous avons déjà présenté par le passé [17], nous avons montré que même la lumière ne pouvait réellement atteindre la vitesse limite $c$ (bien qu'elle en soit vraiment très proche). En fait, la constante $c$ représente une limite de vitesse inatteignable, y compris par la lumière elle-même. La vraie vitesse des photons de lumière est très légèrement sous cette limite et est $c$-$\varepsilon_v$. La valeur du quantum de vitesse (c'est-à-dire, le plus petit incrément de vitesse possible) étant $\varepsilon_v \approx 2{,}34 \times 10^{-114}$ m/s.

Nous comprenons donc que $c$-$\varepsilon_v \approx c$. Pour bien des cas, cette approximation est suffisante et donne un résultat que nous pouvons considérer exact. Cependant, lorsqu'il s'agit de comprendre ce qui est vraiment possible de réaliser à partir de certaines équations d'Einstein, cette approximation n'est pas de mise. En effet, elle laisse croire qu'il est possible de poser $v = c$ , alors qu'il n'en est rien puisque nous obtiendrions un radical qui tendrait vers zéro, ce qui impliquerait une masse $m$ qui tendrait vers l'infini. De fait, c'est impossible d'avoir une masse supérieure à celle de la masse apparente de l'univers. Lorsque nous accélérons un objet quelconque proche de la vitesse limite $c$, nous puisons immanquablement de l'énergie dans l'univers qui nous entoure. Puisque la masse apparente de l'univers $m_u$ est finie, nous convenons, par logique, qu'il est impossible d'accélérer une masse quelconque plus que ce qui est requis pour lui donner la masse apparente de l'univers $m_u$.

Prenons un photon. Faisons l'hypothèse que nous pouvons décrire un photon comme étant une particule sphérique de rayon égal à la longueur de Planck $L_p$ et qui tourne sur lui-même tout en se déplaçant de manière rectiligne uniforme (lorsqu'il n'est pas soumis à un champ gravitationnel). Sa rotation est perpendiculaire à son sens de déplacement. La vitesse tangentielle de rotation peut être extrêmement lente (égale à 0) ou extrêmement rapide ($c$-$\varepsilon_v$).

Le quantum de vitesse $\varepsilon_v$ est défini par l'équation suivante [17] :

$$\varepsilon_v = \frac{c}{2 \cdot N} \approx 2{,}34 \times 10^{-114} \text{ m/s} \quad \textbf{(12)}$$

Einstein a montré qu'un observateur au repos situé au centre d'un disque de rayon $r$ pouvait percevoir un accroissement de la circonférence du disque lorsque le pourtour du disque est en rotation à la vitesse $v$ [15]. La circonférence est alors perçue comme étant supérieure à $2\pi \cdot r$ en raison du facteur de Lorentz.

$$\text{Circonférence du disque} = \frac{2\pi \cdot r}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \textbf{(13)}$$

### 3.2. Cas d'un photon tournant à une vitesse $c$-$\varepsilon_v$

Supposons le cas où un photon dont la circonférence est égale à $2\pi$ fois la longueur de Planck $L_p$ tourne sur lui-même avec une vitesse tangentielle égale à celle de la lumière dans le vide $c$ moins le quantum de vitesse $\varepsilon_v$. Vue par observateur au repos au centre du photon, le photon aura une circonférence (longueur d'onde $\lambda$) qui sera celui de la circonférence apparente de l'univers $2\pi \cdot R_u$. La valeur de $R_u$ étant le rayon de courbure apparent de l'univers.

$$\text{Circonférence du photon} = \lambda = \frac{2 \cdot \pi \cdot L_p}{\sqrt{1 - \frac{(c - \varepsilon_v)^2}{c^2}}} = 2 \cdot \pi \cdot R_u \quad \textbf{(14)}$$

Simplifions les termes $2\pi$ , les termes $c^2$ en introduisant l'équation **(12)** dans l'équation **(14)**. Ensuite, faisons une légère approximation en supposant le terme $1/N^2 \approx 0$ :

$$R_u = \frac{L_p}{\sqrt{1 - \left(1 - \frac{1}{N} + \frac{1}{4 \cdot N^2}\right)}} \approx \frac{L_p}{\sqrt{\frac{1}{N}}} \approx L_p \cdot N^{1/2} \quad \textbf{(15)}$$

C'est bien le cas, car nous avons déjà énoncé ce résultat [14] :

$$N = \frac{R_u^2}{L_p^2} \quad \text{ou} \quad R_u = \sqrt{N} \cdot L_p \tag{16}$$

Cette équation est aussi décrite dans le livre de Sidharth [18].

### 3.3. Cas d'un photon tournant à une vitesse nulle

À l'autre extrême des échelles de vitesse de rotation, supposons le cas d'un photon de circonférence $2\pi \cdot L_p$ . Si le photon est à une vitesse de rotation $v$ nulle,

$$\text{Circonférence du photon} = \lambda = \lim_{v \to 0} \frac{2 \cdot \pi \cdot L_p}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 2 \cdot \pi \cdot L_p \tag{17}$$

Cette situation représente le cas d'un photon ayant la plus petite dimension possible, c'est à dire de circonférence $2\pi \cdot L_p$.

### 3.4. Variation de la longueur d'onde des photons au cours du temps

Au fur et à mesure que l'univers prend de l'expansion, il faut qu'il y ait présence de photons qui possèdent une longueur d'onde égale à la nouvelle circonférence apparente de l'univers. De plus, ce phénomène doit se faire instantanément, car l'univers lumineux prend de l'expansion à la vitesse de la lumière. Cette situation pose un dilemme. Soit qu'il y a création de nouveaux photons, soit que les photons existants changent eux-mêmes de longueur d'onde.

Une création perpétuelle de nouveaux photons briserait de manière flagrante le principe de conservation d'énergie, car il y aurait une création continue de matière. Comme cette situation nous semble impossible selon la loi de conservation de l'énergie, nous abandonnons cette voie. De plus, ce phénomène ne serait pas instantané. Ce n'est donc pas la bonne voie à suivre.

Il nous reste une deuxième possibilité. Les photons existants sont obligés de changer de longueur d'onde au cours du temps au rythme de l'expansion de l'univers. Ce phénomène est graduel et s'effectue partout de manière instantanée et de manière uniforme. Cela nous semble donc la bonne hypothèse à suivre.

Les photons en périphérie de l'univers lumineux possèdent une longueur d'onde $\lambda$ égale à la circonférence apparente de l'univers, c'est-à-dire $2\pi \cdot R_u$ :

$$\lambda = 2\pi \cdot R_u = 2\pi \cdot \frac{c}{H_0} \tag{18}$$

La lumière accélère au cours du temps [4]. Aux abords de l'univers lumineux [4] et au bout d'un délai $\Delta t$, la vitesse de la lumière $v_L$ devient :

$$v_L = c \cdot (1 + \Delta t \cdot H_0) \tag{19}$$

L'âge apparent de l'univers $T_u$ est donné par :

$$T_u = \frac{1}{H_0} \tag{20}$$

Le produit entre $\Delta t$ et la constante de Hubble $H_0$ représente donc un rapport entre $\Delta t$ et l'âge apparent de l'univers $T_u$.

Sur un court laps de temps $\Delta t$, l'accélération de la lumière en fonction du temps peut être vue comme un segment de droite. Pour connaître le déplacement total durant ce délai, il s'agit de prendre la moyenne des vitesses et de la multiplier par le $\Delta t$. Si $\lambda_1$ est la longueur d'onde des photons actuels et $\lambda_2$ est la longueur d'onde des photons après un délai $\Delta t$, nous avons :

$$\lambda_2 - \lambda_1 = 2\pi \cdot \left( \frac{c + c \cdot \left(1 + H_0 \cdot \Delta t\right)}{2} \right) \cdot \Delta t \tag{21}$$

En réarrangeant cette équation, nous obtenons :

$$\lambda_2 - \lambda_1 \approx 2\pi \cdot c \cdot \Delta t + 2\pi \cdot c \cdot H_0 \cdot \Delta t^2 \tag{22}$$

Comme le deuxième terme de cette somme est très petit par rapport au premier, nous pouvons approximer le résultat comme suit :

$$\lambda_2 - \lambda_1 \approx 2\pi \cdot c \cdot \Delta t \tag{23}$$

La variation annuelle (1 an = 31557600 s) de la longueur d'onde $\Delta\lambda$ devient :

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{1\,\text{an}} \approx \frac{2\pi \cdot c \cdot 31557600\,\text{s}}{1\,\text{an}} \approx 5{,}9 \times 10^{16}\,\text{m/an} \tag{24}$$

Pour connaître la variation de longueur d'onde $\Delta\lambda'$ d'une longueur d'onde quelconque $\lambda'$, il suffit de la diviser par $\lambda$ pour obtenir une proportion et d'appliquer cette fraction en la multipliant par la variation $\Delta\lambda$ :

$$\Delta\lambda' \approx \frac{\lambda'}{\lambda} \cdot \Delta\lambda \tag{25}$$

Grâce aux équations **(18)** et **(24)**, nous constatons que le rayon apparent de l'univers lumineux $R_u$ s'accroît annuellement de :

$$\Delta R_u \cdot 1\,\text{an} = c \cdot 31557600\text{s} \approx 9{,}5 \times 10^{15}\text{m} \tag{26}$$

Sachant que le rayon réel d'un photon est la longueur de Planck $L_p$ et que sa longueur d'onde dépend de sa vitesse de rotation, nous en concluons que la vitesse de rotation d'un photon augmente au cours du temps pour faire en sorte que sa longueur d'onde augmente.

Nous mentionnons que la lumière d'une étoile verra tout son spectre décaler lentement vers le rouge au cours du temps, simplement par le fait que l'univers est en expansion. En effet, au fur et à mesure que l'univers prend de l'expansion, l'ensemble de l'univers s'éloigne de son centre de masse. L'indice de réfraction du vide diminue et permet une augmentation de la vitesse de la lumière dans le vide. Ce phénomène a d'ailleurs été décelé à l'aide de l'effet Doppler. C'est ce qui a permis à Hubble de faire l'hypothèse que l'univers était en expansion.

Selon le principe de conservation de l'énergie, l'énergie d'un photon $E_{ph}$ doit demeurer constante dans le temps. Le produit de la masse associée aux photons $m_{ph}$ par le carré de la vitesse de la lumière doit donc demeurer constant :

$$E_{ph} = m_{ph} \cdot c^2 = \text{constante} \tag{27}$$

Comme la vitesse de la lumière augmente au cours du temps, la masse $m_{ph}$ est obligée de diminuer.

Rappelons que le nombre $N$ est défini comme étant la masse de l'univers $m_u$ divisée par la masse associée à un photon $m_{ph}$ [7].

$$N = \frac{m_u}{m_{ph}} \tag{28}$$

Comme la masse de l'univers est, à la base, elle-même composée de photons, il s'en suit que la masse apparente de l'univers $m_u$ diminue elle aussi au cours du temps au même rythme que $m_{ph}$. Les variations, en proportion, étant identiques au numérateur et au dénominateur de l'équation **(28)**, il s'en suit que la valeur de $N$ est constante au cours du temps. Comme la valeur de $N$ est liée à la constante de structure fine, la constante de structure fine $\alpha$ est constante au cours du temps.

La constante de structure fine $\alpha$ est une des rares constantes à ne pas avoir d'unité. C'est qu'en fait, elle représente un rapport. Elle peut être définie comme étant le rapport entre le rayon classique de l'électron $r_e$ et le rayon de Compton $r_c$ de l'électron.

$$\alpha = \frac{r_e}{r_c} \tag{29}$$

Tout comme la constante $N$, les variations potentielles dans le temps du numérateur sont annulées par les mêmes variations au dénominateur.

### 3.5. Variation des dimensions des particules au cours du temps

Suite au fait que les longueurs d'onde du spectre électromagnétique décalent vers de plus grandes longueurs d'onde, une question se pose. Est-ce que nous sommes en mesure de détecter la variation de longueur d'onde de tout le spectre électromagnétique? La réponse peut dépendre de la procédure utilisée.

Si nous mesurons les longueurs d'onde à l'aide de raies hyperfines de référence, la réponse est non car ces raies sont elles-mêmes affectées par le changement d'indice de réfraction au cours du temps.

Est-ce qu'un mètre de référence mécanique peut réellement servir de référence? Peut-être pas car le changement de vitesse au cours du temps pourrait peut-être affecter la dimension des atomes au cours du temps. En effet, comme nous l'avons mentionné à l'équation **(9)**, le rayon de courbure apparent de l'univers peut être défini en fonction du rayon classique de l'électron comme suit [14] :

$$R_u = \frac{r_e}{\beta^{1/2} \cdot \alpha^{19}} \tag{30}$$

Comme $\beta$ et $\alpha$ sont réellement constants dans le temps et que le rayon de courbure apparent de l'univers $R_u$ s'accroît au cours du temps, il devient évident que le rayon classique de l'électron $r_e$ est obligé de s'accroître au cours du temps. Indirectement, cela implique que le neutron est lui aussi obligé de voir ses mensurations augmenter au cours du temps puisque selon le modèle standard, le neutron se désintègre comme suit :

$$\text{neutron} \Leftrightarrow \text{proton} + \text{electron} + \text{antineutrino} \tag{31}$$

Le neutron est donc lui-même constitué d'un électron. Il y aurait donc fort à parier que le proton et toutes les autres particules de l'univers prennent aussi de l'expansion au cours du temps. C'est d'ailleurs à la base de la théorie du Big Bang. Autrement dit, l'univers est en expansion, car tous ses constituants, dont la matière, sont en expansion.

Alors, un mètre de référence mécanique ne peut pas réellement servir d'étalon pour de telles mesures de précision puisqu'il est lui-même affecté par l'expansion de l'univers. Comme Dirac l'a si bien mentionné, plusieurs "constantes" de physiques pourraient en fait varier au cours du temps et fausser notre interprétation des dimensions de l'univers.

## 4. CONCLUSION

Dans ce document, nous montrons qu'un photon est une particule de rayon égal à la longueur de Planck $L_p$ et que sa longueur d'onde $\lambda$ peut être considérée comme étant une interprétation relativiste de sa circonférence ($2\pi \cdot L_p$) en rotation. La longueur d'onde $\lambda$ associée à un photon dépend uniquement de sa vitesse de rotation.

L'univers est en expansion et tous les photons qui le composent voient leur longueur d'onde augmenter au cours du temps. Il en va de même des dimensions des particules qui composent la matière et de tous nos étalons servant à déterminer les unités de distance. Cependant, comme les étalons eux-mêmes sont affectés par le même phénomène, personne ne peut "mesurer" le phénomène. Pour l'instant, à moins de trouver une nouvelle manière de mesurer les distances qui ne soit pas influencée par l'expansion de l'univers, il peut être difficile de faire des mesures d'une telle précision de manière adéquate. En identifiant bien les "constantes" de physique qui sont réellement constantes au cours du temps, il sera peut-être possible de trouver une méthode de mesure indépendante insensible au fait que l'univers est en expansion. Il s'agit de bien être conscient des variations des différents paramètres dans le temps.

## 5. RÉFÉRENCES

[1] Hubble, E. et Humanson, M. L., "The Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae", *The Astrophysical Journal*, v. 74, p. 43.

[2] Mercier, Claude, "Calcul de la constante gravitationnelle universelle *G*", *Pragtec*, Baie-Comeau, Québec, Canada, 13 mars 2013, article disponible sur Internet à : www.pragtec.com/physique/

[3] "Latest (2010) Values of the Constants", NIST Standard Reference Database 121, dernière mise à jour : avril 2012, article Internet à : http://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html

[4] Mercier, Claude, "La vitesse de la lumière ne serait pas constante", *Pragtec*, Baie-Comeau, Québec, Canada, 8 octobre 2011, article disponible sur Internet à : www.pragtec.com/physique/

[5] Wang, Xiaofeng et al., "Determination of the Hubble Constant, the Intrinsic Scatter of Luminosities of Type Ia SNe, and Evidence for Non-Standard Dust in Other Galaxies", mars 2011, pp. 1-40, arXiv:astro-ph/0603392v3

[6] Dirac, P. A. M., "Cosmological Models and the Large Numbers Hypothesis", *Proceedings of the Royal Society*, Grande-Bretagne, 1974, pp. 439-446.

[7] Mercier, Claude, "Hypothèse sur les grands nombres de Dirac menant à la constante de Hubble et à la température du fond diffus de l'univers", *Pragtec*, Baie-Comeau, Québec, Canada, 4 février 2013, article disponible sur Internet à : www.pragtec.com/physique/

[8] Carvalho, Joel C., "Derivation of the Mass of the Observable Universe", *International Journal of Theoretical Physics*, v. 34, no 12, décembre 1995, p. 2507.

[9] Mercier, Claude, "Calcul de la masse apparente de l'univers", *Pragtec*, Baie-Comeau, Québec, Canada, 5 mai 2012, article disponible sur Internet à : www.pragtec.com/physique/

[10] Mercier, Claude, "Solution à la mystérieuse équation de Weinberg", *Pragtec*, Baie-Comeau, Québec, Canada, 2 avril 2013, article disponible sur Internet à : www.pragtec.com/physique/

[11] Vargas, J. G. et D.G. Torr, "Gravitation and Cosmology: From the Hubble Radius to the Planck Scale", *Springer*, v. 126, 2003, pp. 10.

[12] Sepulveda, L. Eric, "Can We Already Estimate the Radius of the Universe", *American Astronomical Society*, 1993, p. 796, paragraphe 5.17.

[13] Silberstein, Ludwik, "The Size of the Universe: Attempt at a Determination of the Curvature Radius of Spacetime", *Science*, v. 72, novembre 1930, p. 479-480.

[14] Mercier, Claude, "Calcul du rayon de courbure apparent de l'univers", *Pragtec*, Baie-Comeau, Québec, Canada, 9 juin 2013, article disponible sur Internet à : www.pragtec.com/physique/

[15] Einstein, Albert, "La relativité", *Petite Bibliothèque Payot*, v. 25, Paris, édition originale de 1956 de Gauthier-Villar reprise intégralement par les éditions Payot & Rivages pour l'édition de 2001, pp. 220.

[16] Einstein, Albert, "On the Electrodynamics of Moving Bodies ", *The Principle of Relativity (Dover Books on Physics)*, New York, publications Dover, 1952 (article original de 1905), pp. 35-65.

[17] Mercier, Claude, "Calcul du quantum de vitesse et de la vitesse limite des objets", *Pragtec*, Baie-Comeau, Québec, Canada, 14 janvier 2013, article disponible sur Internet à : www.pragtec.com/physique/

[18] Sidharth, B. G., "The Thermodynamic Universe ", *World Scientific Publishing Co.*, New Jersey, USA , 2008, p. 96.