Calcul du moment de l'apparition de la lumière dans l'univers

Claude Mercier ing., 13 août 2016 claude.mercier@gctda.com
Rév. 22 mars 2017

L'univers n'a pas toujours été transparent et n'a pas toujours connu la lumière et plus généralement les ondes électromagnétiques. En effet, à ses débuts, soit avant environ 361 108 ans après le big bang (selon nos calculs), l'univers était trop dense pour permettre aux atomes de se former et d'avoir des électrons qui changent d'orbitales pour émettre des ondes électromagnétiques. Cependant, après ce délai, la lumière fut et l'univers est devenu transparent aux ondes électromagnétiques pour la première fois.

Ce retard dans l'émission des premiers photons fait en sorte que le rayon de courbure apparent de l'univers lumineux est légèrement plus petit que ce qu'il aurait été s'il avait commencé à émettre des photons dès le big bang. Cela fait en sorte que la vitesse tangentielle de rotation de l'univers lumineux n'est pas tout à fait la vitesse de la lumière c dans le vide, mais légèrement moins, ce qui cause l'expansion de l'univers. En effet, nous pouvons montrer qu'une émission de photons dès le début du big bang aurait empêché l'univers d'être en expansion en raison d'effets relativistes.

Nous montrerons également que le retard dans l'émission des photons est lié à la constante de structure fine de l'espace qui peut être interprété comme étant le sinus d'un angle.

MOTS CLÉS : Photons, lumière, transparence de l'univers, constante de structure fine

1. INTRODUCTION

Au début de sa création, l'univers était tellement dense que nous ne pouvions pas vraiment parler de matière telle que nous la concevons aujourd'hui, c'est-à-dire constituée de protons, de neutrons et d'électrons. Or, pour qu'il y ait émission de photons, il faut que des électrons puissent changer d'orbitales.

Pour qu'il y ait émission de photons, il a fallu que l'univers prenne de l'expansion et perde un peu de sa densité. Plusieurs astrophysiciens s'accordent à dire qu'autour de 380 000 ans, l'univers avait les conditions requises pour connaître les premières émissions de photons [13,14].

Dans cet article, nous nous attarderons à trouver un moyen de calculer ce moment où l'univers a commencé à émettre les premiers photons. Nous ferons ce calcul en nous basant sur le fait (selon nous [8]) que la lumière accélère au cours du temps.

2. DÉVELOPPEMENT

2.1. Valeur des paramètres physiques utilisés

Commençons par énoncer tous les paramètres fondamentaux de physique que nous avons l'intention d'utiliser dans cet article. Ces valeurs sont toutes disponibles dans le CODATA 2014 [1].

- Constante gravitationnelle universelle $G \approx 6{,}67408(31) \times 10^{-11}$ m^3/(kg·s^2)
- Constante de structure fine $\alpha \approx 7{,}2973525664(17) \times 10^{-3}$
- Rayon classique de l'électron $r_e \approx 2{,}8179403227(19) \times 10^{-15}$ m
- Temps de Planck $t_p \approx 5{,}39116(13) \times 10^{-44}$ s
- Vitesse de la lumière dans le vide $c \approx 299792458$ m/s

2.2. Calcul de l'accélération de la lumière

Nous voulons faire ici un bref résumé de recherches que nous avons faites par le passé sur l'accélération de la lumière au cours du temps [8].

Einstein a déjà montré qu'une masse imposante faisait augmenter l'indice de réfraction du vide autour d'elle. Basé sur les équations de la relativité générale, Schwarzschild [10,11] est arrivé à quantifier la vitesse de la lumière v_L en fonction d'une distance r du centre de masse m à l'aide de l'équation suivante :

$$v_L(r) = \frac{c}{\sqrt{\dfrac{1+\dfrac{2G\cdot m}{c^2\cdot r}}{1-\dfrac{2G\cdot m}{c^2\cdot r}}}} \qquad \textbf{(1)}$$

Cette équation utilise la constante gravitationnelle universelle G et la vitesse de la lumière dans le vide c.

En 1929, Hubble a montré que l'univers est en expansion. Suite à ses recherches, il fit ressortir un paramètre de l'univers qu'il nomma « constante de Hubble ». Nous devrions plutôt parler d'une pseudo-constante puisque son inverse représente l'âge apparent de l'univers. Ce paramètre est donc appelé à évoluer au cours du temps. Cependant, pour une courte période de temps par rapport à l'âge de l'univers, ce paramètre peut sembler constant.

La valeur de la constante de Hubble est difficile à mesurer et malgré bien des efforts, les astrophysiciens trouvent encore des valeurs situées entre 67 à 76 km/(s·MParsec). Cependant, la valeur la plus réaliste, selon nous, a été trouvée par l'équipe de Xiaofeng Wang [4] avec une valeur de $H_0 \approx 72{,}1(9)$ km/(s·MParsec).

La valeur de la constante de Hubble H_0 correspond à l'inverse de l'âge apparent de l'univers. Elle correspond aussi à la fréquence de rotation ω de l'univers sur lui-même.

En 1929, Hubble a découvert que l'univers était en expansion [3]. La constante de Hubble permet de calculer le rayon de courbure apparent de l'univers R_u (peut porter plusieurs noms différents [5,6,7]) :

$$R_u = \frac{c}{H_0} \tag{2}$$

Ce rayon de courbure correspond au rayon de courbure qu'aurait une sphère en expansion, si cette dernière se faisait à la vitesse c à partir d'un point d'origine, durant un laps de temps égal à $1/H_0$. Attention, cela ne veut pas dire que l'expansion de l'univers s'est faite à vitesse constante. En effet, en utilisant la vitesse de la lumière actuelle et l'âge « apparent » de l'univers (qui est l'inverse de la constante de Hubble H_0), c'est comme si nous faisions une sorte de moyenne des vitesses d'expansion dans le temps pour obtenir le chemin total parcouru.

Toujours à l'aide de la constante de Hubble H_0 ainsi que de la constante de gravitation universelle G et de la vitesse de la lumière dans le vide c, Carvalho [2] montre qu'il est possible d'évaluer la masse apparente de l'univers à l'aide de l'équation suivante :

$$m_u = \frac{c^3}{G \cdot H_0} \tag{3}$$

Grâce à ses équations de la relativité restreinte de 1905, Einstein a pu nous montrer qu'il est impossible pour un objet quelconque d'atteindre la vitesse de la lumière [12].

Sachant que l'univers est en expansion, il est réaliste de penser que toute la matière de l'univers s'éloigne d'un quelconque centre de masse. Il peut y avoir localement des mouvements de rapprochement entre certains objets tels que des galaxies. Cependant, de manière globale, les galaxies s'éloignent les unes des autres au cours du temps.

Pris dans son ensemble, l'univers est en expansion à la vitesse de la lumière. Bien que la lumière composant l'univers (que nous avons baptisé univers lumineux) puisse s'étendre à la vitesse de la lumière, le mouvement d'expansion de l'univers matériel ne peut pas se réaliser à la même vitesse. Cette vitesse doit obligatoirement être inférieure à la vitesse de la lumière, soit à une vitesse de $\beta \cdot c$. Le facteur β représente le rapport entre la vitesse d'expansion de l'univers matériel versus la vitesse de la lumière c.

Si nous cherchons à savoir où nous nous trouvons par rapport à la périphérie grandissante de l'univers lumineux, nous pouvons calculer le rayon de courbure apparent r_u par rapport au centre de masse de l'univers en faisant :

$$r_u = \beta \cdot R_u = \frac{\beta \cdot c}{H_0} \tag{4}$$

Ce mouvement d'expansion au cours du temps fait prendre conscience qu'en s'éloignant d'un centre de masse, l'indice de réfraction du vide de l'univers en expansion doit obligatoirement diminuer au cours du temps. Cette diminution dans l'indice de réfraction globale de l'univers permettrait à la lumière d'accélérer au cours du temps.

La vitesse de la lumière actuelle serait alors une photo instantanée dans le temps d'une lente progression. Nous pouvons alors faire l'hypothèse que cette progression prendra la même forme que l'équation **(1)**, mais avec une vitesse limite autre que c. Prenons arbitrairement la constante k qui représentera cette nouvelle limite. En prenant une expansion de dimension infinie, la vitesse de la lumière atteindra donc, après un délai infini, la valeur de k.

Réécrivons l'équation **(1)** en utilisant la valeur de k :

$$v_L(r) = \frac{k}{\sqrt{\dfrac{1 + \dfrac{2G \cdot m}{k^2 \cdot r}}{1 - \dfrac{2G \cdot m}{k^2 \cdot r}}}} \tag{5}$$

Dans cette équation, pour une valeur $r = r_u$ (c'est-à-dire qui correspond à notre emplacement dans l'univers par rapport au centre de masse de l'univers) et pour une masse égale à la masse apparente de l'univers m_u, nous obtenons nécessairement la vitesse de la lumière dans le vide actuelle qui est c.

$$v_L(r = r_u) = c = \frac{k}{\sqrt{\dfrac{1 + \dfrac{2G \cdot m_u}{k^2 \cdot r_u}}{1 - \dfrac{2G \cdot m_u}{k^2 \cdot r_u}}}} \qquad \textbf{(6)}$$

La vitesse c représente la dérivée de la distance par rapport au temps. Comme nous l'avons mentionné précédemment, les objets matériels de l'univers ne peuvent pas se déplacer à la vitesse de la lumière et auront toujours un retard par rapport à la lumière, d'où le facteur β que nous avons introduit précédemment. Les objets de l'univers se déplacent donc à la vitesse v_m.

Pour obtenir une équation plus générale, tout en étant dans l'univers de masse m_u, remplaçons la distance r_u par une distance quelconque r.

$$v_m(r) = \frac{\beta \cdot k}{\sqrt{\dfrac{1 + \dfrac{2G \cdot m_u}{k^2 \cdot r}}{1 - \dfrac{2G \cdot m_u}{k^2 \cdot r}}}} \qquad \textbf{(7)}$$

En dérivant la vitesse v_m de l'équation **(7)** par rapport à la distance r et en l'évaluant à la distance r_u, nous obtenons exactement la constante de Hubble H_0. En effet, la constante de Hubble est la dérivée de la vitesse d'expansion de l'univers matériel (puisque Hubble a utilisé les objets vus au télescope, ici sur Terre) par rapport à la distance r.

$$H_0 = \left.\frac{dv_m(r)}{dr}\right|_{r=r_u} = \frac{\beta \cdot y \cdot k}{r_u} \cdot \left(\frac{1}{(1+y) \cdot \sqrt{1-y^2}} \right) \quad \text{où} \quad y = \frac{2 \cdot G \cdot m_u}{k^2 \cdot r_u} \qquad \textbf{(8)}$$

Jusqu'ici, les paramètres connus de l'univers que nous avons utilisés sont uniquement la vitesse de la lumière c, la constante de gravitation universelle G et la constante de Hubble H_0. Nous sommes à la recherche de cinq paramètres inconnus, soient le rayon apparent de l'univers R_u, le rayon apparent de l'univers r_u à notre emplacement, la masse apparente de l'univers m_u, la vitesse ultime de la lumière k lorsque l'univers aura un rayon apparent infini et β qui représente le rapport entre la vitesse d'expansion de l'univers matériel et la vitesse d'expansion de l'univers lumineux (qui est présentement égale à la vitesse de la lumière dans le vide c). En ayant cinq inconnus, il nous faut cinq équations pour résoudre. Utilisons les équations **(2)**, **(3)**, **(4)**, **(6)** et **(8)** pour obtenir les résultats suivants :

$$R_u \approx 1{,}28 \times 10^{26}\,\text{m} \tag{9}$$

$$r_u \approx 9{,}80 \times 10^{25}\,\text{m} \tag{10}$$

$$m_u \approx 1{,}73 \times 10^{53}\,\text{kg} \tag{11}$$

$$k = c\sqrt{2+\sqrt{5}} \approx 6{,}17 \times 10^{8}\,\text{m/s} \tag{12}$$

$$\beta = 3 - \sqrt{5} \approx 0{,}76 \tag{13}$$

Intéressons-nous à l'accélération de la lumière a_L au cours du temps évaluée au point $r = r_u$. L'accélération de la lumière a_L à notre emplacement est la dérivée de la vitesse de la lumière (à partir de l'équation **(5)**) par rapport au temps évaluée à $r = r_u$. Mais l'équation **(5)** ne renferme pas la variable de temps, mais plutôt de distance r. Par conséquent, pour obtenir l'accélération a_L , il faut utiliser la dérivée de la vitesse par rapport à la distance r et multiplier celle-ci par la dérivée de la distance r par rapport au temps évaluée ici même à $r = r_u$.

$$a_L\Big|_{r=r_u} = \frac{dv_L}{dt}\Big|_{r=r_u} = \left(\frac{dr}{dt}\cdot\frac{dv_L}{dr}\right)\Big|_{r=r_u} \tag{14}$$

Comme la dérivée de la distance r par rapport au temps évaluée à $r = r_u$ est égale à la vitesse de la lumière dans le vide actuelle c, faisons le remplacement dans l'équation **(9)** :

$$a_L\Big|_{r=r_u} = \left(c\cdot\frac{dv_L}{dr}\right)\Big|_{r=r_u} \tag{15}$$

Comme de fait, nous pouvons évaluer la dérivée de la vitesse v_L par rapport à la distance à l'aide de l'équation **(5)** et nous obtiendrions une équation qui nous permettrait d'évaluer a_L à notre emplacement :

$$a_L\Big|_{r=r_u} = \frac{w\cdot c\cdot k^3}{\sqrt{(x-w)\cdot(x+w)^3}} \approx 9{,}17 \times 10^{-10}\,\text{m/s}^2 \tag{16}$$

$$\text{où } x = r_u \cdot k^2$$

$$\text{et } w = 2G\cdot m_u$$

Il existe cependant une autre méthode plus simple pour évaluer a_L. En effet, la dérivée de la vitesse de la lumière v_L est égale à la dérivée de la vitesse d'expansion de l'univers matériel divisée par le facteur β. Alors, selon l'équation **(8)**, nous obtenons :

$$\left.\frac{dv_L}{dr}\right|_{r=r_u} = \frac{1}{\beta}\cdot\left.\frac{dv_m}{dr}\right|_{r=r_u} = \frac{H_0}{\beta} \tag{17}$$

En utilisant l'équation **(17)**, l'équation **(14)** nous permet de calculer l'accélération de la lumière a_L que l'on peut mesurer ici sur Terre, à un rayon de courbure apparent de l'univers matériel $r = r_u$:

$$\left.a_L\right|_{r=r_u} = \left.\left(c\cdot\frac{dv_L}{dr}\right)\right|_{r=r_u} = \frac{c\cdot H_0}{\beta} \approx 9{,}17\times 10^{-10}\,\mathrm{m/s}^2 \tag{18}$$

Cependant, en périphérie du rayon de courbure apparent R_u de l'univers lumineux, l'accélération de la lumière sera β fois plus petite :

$$\left.a_L\right|_{r=R_u} = \left.\left(c\cdot\frac{dv_L}{dr}\right)\right|_{r=R_u} = c\cdot H_0 \approx 7{,}00\times 10^{-10}\,\mathrm{m/s}^2 \tag{19}$$

2.3. Calcul du moment où les photons ont fait leur apparition

Nous calculerons ici le moment où les premiers photons de lumière ont fait leur apparition dans l'univers.

Supposons que l'univers aurait commencé à émettre des photons dès le big bang (ce qui n'est pas le cas), l'univers lumineux aurait un rayon de courbure apparent égal à R_u. Cependant, nous savons que ça ne pouvait pas être le cas. En effet, au moment du big bang, la densité de l'univers était trop élevée pour permettre la formation d'atomes. Pour que les premiers photons puissent être émis, il a fallu attendre que l'univers prenne un minimum d'expansion, se refroidisse un peu et laisse suffisamment d'espace libre entre les particules pour permettre la formation d'atomes avec leur noyau composé de neutrons et de protons avec des électrons sur des orbitales. À ce moment seulement, les électrons pouvaient émettre les premiers photons en changeant d'orbitales.

Ce retard dans la formation de photons fait en sorte que l'univers lumineux possède en réalité un rayon apparent légèrement inférieur à R_u, ce qui signifie aussi que l'univers lumineux ne peut pas être en rotation avec une vitesse tangentielle égale à celle de la lumière c, mais plutôt avec une vitesse tangentielle légèrement inférieure. Cependant, l'expansion radiale (parallèle au rayon de courbure) de l'univers lumineux se fait à une vitesse égale à celle de la lumière c.

Tout d'abord, montrons comment faire une sommation relativiste de deux vecteurs vitesses $u_{x,y,z}$ et $w_{x,y,z}$. Pour simplifier le problème, nous choisissons un cadre de référence pour exprimer le vecteur vitesse $w_{x,y,z}$ de manière à ce que $w_y = 0$ et $w_z = 0$. Pour ce faire, il s'agit de faire les rotations et les translations qui s'imposent pour superposer le vecteur $w_{x,y,z}$ avec l'axe des abscisses. Il est toujours possible de le faire.

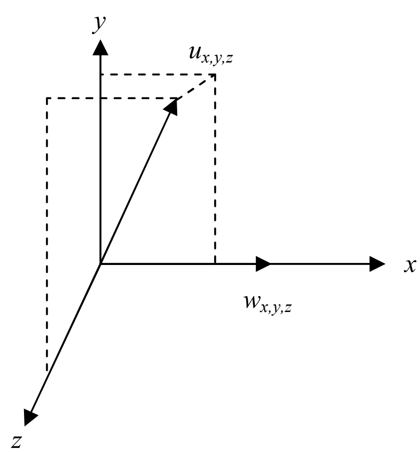

Figure A

Il s'en suit les trois équations suivantes qui donnent le vecteur résultant $v_{x,y,z}$.

$$v_x = \frac{u_x + w_x}{1 + \frac{u_x \cdot w_x}{c^2}} \quad \textbf{(20)}$$

$$v_y = \frac{u_y \sqrt{1 - \left(\frac{w_x}{c}\right)^2}}{1 + \frac{u_x \cdot w_x}{c^2}} \quad \textbf{(21)}$$

$$v_z = \frac{u_z\sqrt{1-\left(\frac{w_x}{c}\right)^2}}{1+\frac{u_x \cdot w_x}{c^2}} \quad \textbf{(22)}$$

Supposons maintenant que localement nous analysons simultanément l'expansion et la rotation de l'univers. Considérons le cas où l'univers lumineux est en expansion à la vitesse de la lumière c sur l'axe des ordonnées, c'est-à-dire $u_x = 0$, $u_y = c$ et $u_z = 0$. Supposons également que, de manière arbitraire, l'univers est aussi en rotation sur l'axe des abscisses avec une vitesse tangentielle w_x et que $u_y = 0$ et $u_z = 0$ (tel qu'expliqué précédemment).

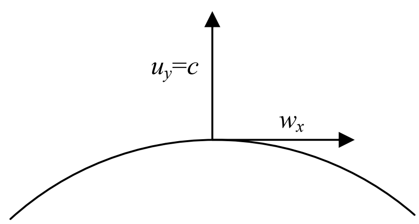

Figure B

Appliquons ces nouvelles données aux équations **(20)**, **(21)** et **(22)**. Les équations se simplifient pour obtenir :

$$v_x = w_x \quad \textbf{(23)}$$

$$v_y = \sqrt{c^2 - w_x^2} \quad \textbf{(24)}$$

$$v_z = 0 \quad \textbf{(25)}$$

Si nous calculons le module $\left|v_{x,y,z}\right|$ du vecteur résultant, nous obtenons :

$$\left|v_{x,y,z}\right| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = c \quad \textbf{(26)}$$

Cela veut dire qu'une sommation relativiste de deux vecteurs vitesses, dont un est quelconque et l'autre est la vitesse de la lumière, donne comme résultat un vecteur vitesse qui se déplace à la vitesse de la lumière c avec une direction influencée par le vecteur vitesse quelconque de départ.

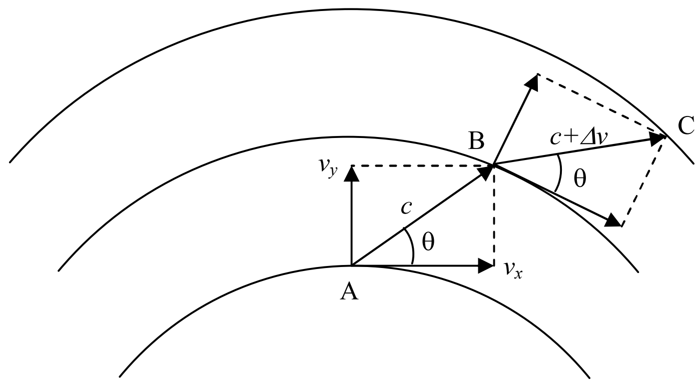

Figure C

Présentement, la vitesse d'expansion de la sphère de l'univers se fait à la vitesse de la lumière c. Mais comme la sphère est aussi en rotation à la vitesse v_x, le point A se retrouvera au point B après un temps égal au temps de Planck t_p. À chaque variation de temps de Planck supplémentaire, la lumière accélèrera un peu, d'une valeur Δv, et le même processus se continuera pour arriver au point C, et ainsi de suite.

Avec l'aide de l'équation **(19)** (car nous sommes à la périphérie de l'univers lumineux), évaluons la valeur de Δv :

$$\Delta v = a_L \cdot t_p = c \cdot H_0 \cdot t_p \approx 3{,}78 \times 10^{-53}\,\text{m/s} \tag{27}$$

C'est une valeur relativement petite, cependant, c'est aussi pour un temps de Planck $t_p \approx 5{,}39\times10^{-44}$ s très petit, ce qui fait que cette valeur influence tout de même la vitesse de la lumière au cours du temps. Au final, la vitesse de la lumière, en périphérie de l'univers lumineux, augmente présentement d'environ 1 m/s tous les 45,24 ans. Cependant, à notre emplacement dans l'univers, la vitesse de la lumière augmente présentement d'environ 1 m/s à tous les 34,56 ans. Il y a bien sûr un facteur β entre ces deux valeurs en raison des équations **(18)** et **(19)**.

Si nous suivons la progression dans le temps et l'espace d'un point donné situé en périphérie de l'univers lumineux, nous constaterons qu'il se déplacera en effectuant une vrille grandissante. Cette vrille grandira en raison de l'angle θ.

Intéressons-nous au sinus de l'angle θ. Dans la figure C, nous constatons que :

$$c \cdot \sin\theta = v_y = \sqrt{c^2 - v_x^2} = c\sqrt{1 - \frac{v_x^2}{c^2}} \quad \textbf{(28)}$$

Par conséquent :

$$\sin\theta = \sqrt{1 - \frac{v_x^2}{c^2}} \quad \textbf{(29)}$$

Par le passé, nous avons comparé l'univers à un électron qui tourne sur lui-même et avons fait l'hypothèse que la constante de structure fine α était exactement égale au facteur de Lorentz pour une vitesse tangentielle de rotation v_x :

$$\alpha = \sqrt{1 - \frac{v_x^2}{c^2}} \quad \textbf{(30)}$$

À l'aide des équations **(29)** et **(30)**, nous constatons que :

$$\sin\theta = \alpha \quad \textbf{(31)}$$

En isolant la vitesse v_x de l'équation **(30)**, nous obtenons :

$$v_x = c\sqrt{1-\alpha^2} \approx 0{,}999973 \cdot c \quad \textbf{(32)}$$

C'est donc dire que la périphérie de l'univers lumineux tourne avec une vitesse tangentielle très proche de la vitesse de la lumière sans que ce soit exactement la vitesse de la lumière.

Nous pourrions aussi calculer cette vitesse en faisant apparaître l'accélération de la lumière a_L en périphérie de l'univers lumineux. En effet, la vitesse v_x est égale à la vitesse de la lumière moins l'accélération qu'elle a subit durant un temps Δt. Nous devons utiliser l'équation **(19)** pour déterminer l'accélération a_L en périphérie de l'univers lumineux :

$$v_x = c - a_L \cdot \Delta t = c \cdot \left(1 - H_0 \cdot \Delta t\right) \quad \textbf{(33)}$$

Faisons égaler les équations **(32)** et **(33)** pour obtenir :

$$\sqrt{1-\alpha^2} = 1 - H_0 \cdot \Delta t \quad \textbf{(34)}$$

Isolons la valeur de temps Δt pour obtenir :

$$\Delta t = \frac{1-\sqrt{1-\alpha^2}}{H_0} \tag{35}$$

Dans cette équation, la constante de structure fine α est connue très précisément. Cependant, la valeur de la constante de Hubble H_0 est présentement un paramètre de l'univers qui est malheureusement évalué avec assez peu de précision. Dans des travaux antérieurs [9], nous avons cependant montré que la constante de Hubble pouvait être déterminée avec précision à l'aide de l'équation suivante que nous avons réévaluée à l'aide du CODATA 2014 [1] :

$$H_0 = \frac{c \cdot \alpha^{19} \cdot \beta^{1/2}}{r_e} \approx 72{,}09554815(32)\ \text{km/(s·MParsec)} \tag{36}$$

Cette valeur est en partie vérifiée par l'équipe de Xiaofeng Wang [4] qui a mesuré une valeur de $H_0 \approx 72{,}1(9)$ km/(s·MParsec).

À l'aide de l'équation **(36)**, évaluons l'équation **(35)** :

$$\Delta t = r_e \cdot \left(\frac{1-\sqrt{1-\alpha^2}}{c \cdot \alpha^{19} \cdot \beta^{1/2}} \right) \approx 361108\ \text{ans} \tag{37}$$

Nous pouvons approximer les équations **(35)** et **(36)** comme ceci :

$$\Delta t \approx \frac{\alpha^2}{2H_0} = \frac{r_e}{2c \cdot \alpha^{17} \cdot \beta^{1/2}} \tag{38}$$

Cette équation veut dire que si nous remontons dans le passé, au tout début de l'expansion de l'univers, il aura fallu 361 108 ans (de notre temps actuel) pour que les premiers photons de lumière puissent être émis.

Cette valeur est approximativement égale aux 380 000 ans proposés par plusieurs articles de physique [13,14].

Nous savons maintenant que l'univers est en expansion et que cette expansion est la cause principale de l'accélération de la lumière au cours du temps. Le calcul du rayon apparent de l'univers lumineux nous donne la valeur R_u. Cependant, cette valeur nous donne le rayon apparent de l'univers si l'émission des photons avait commencé dès le début du big bang. Pour un rayon R_u, la vitesse tangentielle serait exactement la vitesse de la lumière c. Mais comme il y a un retard dans l'émission des photons, le véritable rayon apparent de l'univers est légèrement plus petit que R_u et la vitesse de rotation est inférieure à la vitesse de la lumière, soit environ 0,999973·c.

Hypothétiquement, s'il y avait eu émission de photons dès le big bang, l'univers lumineux aurait été en expansion à la vitesse de la lumière c sur l'axe des ordonnées, c'est-à-dire $u_x = 0$, $u_y = c$ et $u_z = 0$ et que l'univers aurait aussi été en rotation à la vitesse de la lumière c sur l'axe des abscisses avec une vitesse tangentielle $u_x = c$, $u_y = 0$ et $u_z = 0$. Nous aurions alors constaté que le vecteur vitesse résultant aurait été :

$$v_x = c \tag{39}$$

$$v_y = 0 \tag{40}$$

$$v_z = 0 \tag{41}$$

Par conséquent, sans une constante de structure fine non-nulle, nous aurions eu un univers en rotation qui n'est pas en expansion, quelque soit la valeur de la vitesse d'expansion u_y utilisée. Bien sûr, s'il n'a jamais pu être en expansion, c'est qu'un tel univers serait de la plus petite dimension qui soit, c'est-à-dire avec un rayon apparent de la dimension de la longueur de Planck L_p. Cela peut sembler extrêmement bizarre comme résultat, mais c'est un effet relativiste.

Comme les particules constituant les atomes semblent être toujours de mêmes dimensions, c'est que les variations de dimensions au cours du temps sont très infimes. En fait, les particules sont en rotation sur elles-mêmes avec une vitesse angulaire tellement grande que leur rayon apparent est de très petite valeur. Tout comme l'univers, elles tournent avec une vitesse tangentielle qui est proche de celle de la lumière. Cependant, toutes proportions gardées, l'angle θ de ces particules est beaucoup plus petit, ce qui explique que l'expansion des particules élémentaire au cours du temps se fait à un rythme beaucoup plus lent que celui de l'univers. En effet, si l'univers est en expansion, c'est que dans l'infiniment petit, tous les constituants de l'univers sont aussi en expansion à un rythme qui est proportionnel à leur grosseur relative par rapport à l'univers. C'est un peu comme lorsqu'une éponge qui était écrasée se détend lentement. La grosseur totale de l'éponge est en rapport direct avec la grosseur des bulles qui la constituent.

3. CONCLUSION

À l'aide de notre modèle de l'univers [8], nous avons calculé l'accélération de la lumière au cours du temps. Cette même valeur a permis d'évaluer le moment où l'univers a commencé à être transparent et à émettre les premiers photons peu après le big bang, soit 361 108 ans.

Cet article met en évidence qu'il y a un lien entre le moment de la première émission de photons (et de la transparence de l'univers) et la constante de structure fine α. En effet, nous pouvons considérer que la première émission de photons est en retard par rapport au début de l'expansion de l'univers. Ce retard fait en sorte que l'univers a un rayon apparent légèrement inférieur à R_u, ce qui fait que sa vitesse de rotation tangentielle est un peu moins à celle de la lumière c.

Peut-être qu'en creusant davantage les raisons du pourquoi la constante de structure fine est non-nulle et qu'elle est associée aux premiers instants de transparence de l'univers, nous serions capables de déterminer exactement la constante de structure fine α en trouvant une raison géométrique. Cet article permettra certainement de jeter un éclairage nouveau sur la raison d'être de la constante de structure fine ainsi que de sa valeur exacte.

4. RÉFÉRENCES

[1] "CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2014", Cornell University Library, juillet 2015, article Internet à : http://arxiv.org/pdf/1507.07956v1.pdf

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

[3] Hubble, E. et Humason, M. L., "The Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae", *The Astrophysical Journal*, v. 74, 1931, p.43.

[4] 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

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

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

[7] 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.

[8] 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/

[9] 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/

[10] Binney, James et Michael Merrifield, "Galactic astronomy", *Princeton University Press*, 1998, p. 733, de l'équation A2.

[11] Maneghetti, Massimo, "Introduction to Gravitational Lensing, Lecture scripts", *Institut für Theoretische Astrophysik*, Bologna, Italie, 2006, p. 7, de l'équation 1.19, Web. <http://www.ita.uni-heidelberg.de/~massimo/sub/Lectures/chapter1.pdf>

[12] 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.
[13] I. F., Mirabel et al., "Stellar Black Hole at the Dawn of the Universe ", *Astronomy & Astrophysics*, avril 2011, vol. 528, id. A149, 7 p.
[14] Scott, Dodelson, Vesterineau Mike, "Cosmic Neutrino Last Scattering Surface", *Physical Review Letters*, octobre 2009, vol. 103, no 17, id. 171301, 4 p.