

# Calcul de la masse de l'univers, du rayon de l'univers, de l'âge de l'univers et du quantum de vitesse

Claude Mercier ing., 19 juillet, 2019

Email: claudemercier@cima.ca

**TRADUCTION AUTORISÉE DE :** "Calculation of the Mass of the Universe, the Radius of the Universe, the Age of the Universe and the Quantum of Speed", *Journal of Modern Physics*, 19 juillet 2019, vol. 10, no. 8, pp. 980-1001.  
<https://doi.org/10.4236/jmp.2019.108065>

---

*L'univers est vaste et lorsque nous regardons le ciel, ses paramètres (dimensions, masses, et âge) semblent sans limites. Lemaître a proposé que l'univers ait commencé d'un atome primaire [1], lequel sera plus tard ironiquement surnommé par Hoyle "Big Bang" dans une émission de la BBC en 1949 [2]. À partir de la relativité, Einstein a proposé un modèle cosmologique [3] avec un univers spatialement fini. Il a assumé une distribution uniforme de la matière dans une grosse sphère en 4 dimensions. Même si ses équations montraient que l'univers était soit en contraction ou en expansion, Einstein a introduit une "constante cosmologique" dans son équation pour forcer l'univers à être statique (en étant consistant avec le courant de pensée de son temps). En 1929, à partir d'observations de galaxies, Hubble a trouvé que l'univers était en expansion. À partir de ce moment, Einstein a écarté sa constante cosmologique comme un facteur arbitraire inutile. Plusieurs modèles cosmologiques ont été construits depuis ce temps. Chacun d'eux excelle dans l'explication de certains aspects de l'univers. Nous considérons que la topologie globale de l'univers n'est pas connue, mais en faisant les assomptions qu'il est relativement homogène et isotrope, sa topologie locale extrapolée nous mène à quelques paramètres "apparents". À partir de notre modèle cosmologique, nous calculons les principaux paramètres de l'univers qui sont la masse apparente  $m_u$ , son rayon de courbure apparent  $R_u$ , son âge apparent  $T_u$  et le "quantum de vitesse"  $\epsilon_v$ . Le quantum de vitesse est une nouvelle notion en physique. Il représente le plus petit incrément de vitesse qui puisse exister. Pour des besoins de métrologie, nous calculons ces paramètres à partir des plus précis paramètres de physique disponibles.*

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

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

$$T_u \approx 13,65 \times 10^9 \text{ ans}$$

$$\epsilon_v \approx 2,38 \times 10^{-14} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

---

**MOTS CLÉS :** Masse de l'univers, rayon de Hubble, âge de l'univers, quantum de vitesse, hypothèse de Dirac sur les grands nombres

## 1. INTRODUCTION

Notre univers possède des dimensions astronomiques (masse, rayon et âge) qui semblent être sans limite pour l'être humain. Il est aussi en expansion [4]. Les astrophysiciens essaient toujours de décrire notre univers plus précisément selon

les observations. Nos télescopes sont de plus en plus puissants, ce qui permet de voir de plus en plus loin chaque jour. Dans un article précédent [5] nous avons conçu un modèle cosmologique duquel nous avons déduit différents paramètres et dimensions. Comme ces différentes dimensions de l'univers sont directement liées à l'infiniment petit à travers les grands nombres de Dirac [6] [7], il est possible de faire différents calculs qui permettent de trouver les valeurs exactes de ces dimensions.

Cet article montre différentes manières de calculer la masse apparente de l'univers  $m_u$ , du rayon de courbure apparent de l'univers  $R_u$  et de l'âge de l'univers. Nous voulons aussi conscientiser le lecteur à propos du fait que ces valeurs sont obtenues à partir d'un observateur au repos, au centre de masse de l'univers. Cependant, si l'observateur voyage sur un photon, son point de vue sera totalement différent. Pour cette raison, nous montrerons la notion du quantum de vitesse. Avec cette notion, nous verrons qu'il y a une très infime différence entre la vitesse réelle de la lumière et la vitesse limite que nous appelons la vitesse de la lumière dans le vide  $c$ . Pour la plupart des applications, la vitesse réelle de la lumière et la vitesse limite sont approximativement la même.

Nous montrerons ensuite les différents liens entre les nombres infiniment grands et les nombres infiniment petits de l'univers grâce aux hypothèses de Dirac [6] [7].

## 2. Valeurs des paramètres de physique

Nous utiliserons la forme compacte de notation pour afficher les tolérances (2,736 (17) °K signifiera  $2,736 \pm 0,017$  °K). Les paramètres suivants proviennent du CODATA 2014 [8].

Vitesse de la lumière dans le vide	$c \approx 299792458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
Permittivité du vide	$\epsilon_0 \approx 8,854187817 \times 10^{-12} \text{ F}\cdot\text{m}^{-1}$
Perméabilité du vide	$\mu_0 \approx 4\pi \times 10^{-7} \text{ N}\cdot\text{A}^{-2}$
Constante de Planck	$h \approx 6,626070040(81) \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$
Longueur de Planck	$L_p \approx 1,616229(38) \times 10^{-35} \text{ m}$
Temps de Planck	$t_p \approx 5,39116(13) \times 10^{-44} \text{ s}$
Masse de Planck	$m_p \approx 2,176\,470(51) \times 10^{-8} \text{ kg}$
Constante gravitationnelle universelle	$G \approx 6,67408(31) \times 10^{-11} \text{ m}^3\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$
Charge de l'électron	$q_e \approx -1,6021766208(98) \times 10^{-19} \text{ C}$
Masse de l'électron	$m_e \approx 9,10938356(11) \times 10^{-31} \text{ kg}$
Rayon Classique de l'électron	$r_e \approx 2,8179403227(19) \times 10^{-15} \text{ m}$
Constante de Rydberg	$R_\infty \approx 10973731,568508(65) \text{ m}^{-1}$

### 3. Masse apparente de l'univers

Énumérons différentes manières de calculer la masse apparente de l'univers  $m_u$ . Cette masse inclut toutes les sortes de masse (baryonique et matière noire) ainsi que la masse associée à tous les types d'énergie (photons, énergie noire, etc.).

Nous préférons parler de "masse apparente de l'univers" au lieu de parler de la "masse de l'univers" parce que sa valeur apparente est vue de notre point de vue dans l'univers. Pour un observateur situé quelque part d'autre, les valeurs observées peuvent être différentes. Bien vouloir se référer à notre section qui parle à propos du quantum de vitesse pour approfondir votre notion "d'apparence" pour les différents paramètres de l'univers.

#### 3.1. Calcul de $m_u$ utilisant le principe de conservation de la quantité de mouvement

Utilisons le principe de conservation de la quantité de mouvement appliquée à l'univers qui dit qu'une force  $F$  appliquée durant un temps  $\Delta t$  déplacera une masse  $m_u$  (la masse apparente de l'univers) en augmentant la vitesse de  $\Delta v$ . L'univers lumineux est en expansion à la vitesse de la lumière  $c$ . Par conséquent, nous pouvons considérer que l'équation (1),  $\Delta v = c$ .

$$F\Delta t = m_u\Delta v \rightarrow F = \frac{m_u\Delta v}{\Delta t} \rightarrow F = \frac{m_u c}{\Delta t} \quad (1)$$

Supposons que l'univers est en expansion durant un temps  $\Delta t$  égal à l'âge apparent de l'univers  $T_u$ . Cette valeur est donnée par l'inverse de la constante de Hubble qui est à peu près  $H_0 \approx 72,1 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{MParsec}^{-1}$  [5] [9]. Prenons note que  $1 \text{ MParsec} = 3,085677581 \times 10^{22} \text{ m}$ .

$$\Delta t = T_u = \frac{1}{H_0} \approx 13,65 \times 10^9 \text{ années} \quad (2)$$

Si nous regardons l'univers dans son entier et si nous utilisons l'équation de la loi de l'attraction universelle de Newton pour calculer la force  $F$  que l'univers de rayon apparent  $R_u$  applique sur sa propre masse  $m_u$ , nous obtenons l'équation (3). La constante  $G$  est la constante de gravitation universelle.

$$F = \frac{Gm_u^2}{R_u^2} \quad (3)$$

Dans l'équation (3), la valeur de  $R_u$  est le rayon de courbure apparent de l'univers.

$$R_u = cT_u = \frac{c}{H_0} \approx 1,28 \times 10^{26} \text{ m} \quad (4)$$

Égalons la force  $F$  de l'équation (1) avec la force de l'équation (3). Une fois que nous avons simplifié et utilisé les équations (2) et (4), nous obtenons l'équation (5).

$$m_u = \frac{c^3}{GH_0} \approx 1,73 \times 10^{53} \text{ kg} \quad (5)$$

Nous obtenons une équation qui est la même que celle de Carvalho [10].

### 3.2. Calcul de $m_u$ utilisant le principe de conservation de l'énergie

Utilisons le principe de conservation de l'énergie pour trouver la masse apparente  $m_u$  de l'univers. Initialement, au moment du Big Bang, il n'y avait pas encore de mouvement. Toute l'énergie contenue dans l'univers était contenue dans la masse  $m_u$  de l'univers. La quantité totale de l'énergie  $E$  contenue dans l'univers est donnée par la formule d'Einstein.

$$E = m_u c^2 \quad (6)$$

Comme l'univers est en expansion, l'énergie initiale est convertie en énergie potentielle par une force gravitationnelle  $F$  appliquée sur une distance  $R_u$  (voir l'équation (4)) à partir du centre de masse de l'univers. Utilisons la loi de Newton.

$$F = \frac{Gm^2}{R_u^2} \rightarrow E = FR_u = \frac{Gm^2}{R_u} \quad (7)$$

En égalant les équations (6) et (7), et en utilisant l'équation (4), nous obtenons l'équation (8).

$$m_u c^2 = \frac{Gm_u^2}{R_u} \quad \text{où} \quad R_u = \frac{c}{H_0} \quad (8)$$

En isolant la masse apparente de l'univers  $m_u$  de l'équation (8), nous obtenons l'équation (9).

$$m_u = \frac{c^2 R_u}{G} = \frac{c^3}{GH_0} \approx 1,73 \times 10^{53} \text{ kg} \quad (9)$$

Il sera noté que c'est la même équation que l'équation (5).

### 3.3. Calcul de $m_u$ utilisant la masse de Planck $m_p$

Calculons la masse apparente de l'univers  $m_u$  en utilisant la masse de Planck  $m_p$ . Par définition, la masse de Planck est définie par l'équation (10) où  $h$  est la constante de Planck,  $c$  est la vitesse de la lumière et  $G$  est la constante de gravitation universelle.

$$m_p = \sqrt{\frac{hc^3}{2\pi G}} \approx 2,18 \times 10^{-8} \text{ kg} \quad (10)$$

Définissons  $m_{ph}$  comme étant la masse associée au photon de plus faible énergie dans l'univers [5]. Lorsque nous regardons l'énergie d'une longueur d'onde  $\lambda$ , l'énergie est à son plus bas niveau lorsque  $\lambda$  est le plus grand. La plus grande dimension de l'univers est la circonférence apparente de l'univers. Nous pouvons alors associer une masse  $m_{ph}$  à un photon de longueur d'onde  $\lambda = 2\pi R_u$  où  $R_u$  est le rayon de courbure apparent de l'univers.

$$m_{ph} = \frac{hc}{\lambda c^2} = \frac{hc}{2\pi R_u c^2} = \frac{hH_0}{2\pi c^2} \approx 2,74 \times 10^{-69} \text{ kg} \quad (11)$$

La masse de Planck  $m_p$  est la moyenne géométrique entre la plus petite masse  $m_{ph}$  associée au photon de plus basse énergie et la plus grosse masse qui est sans nul doute la masse apparente de l'univers  $m_u$ . De ce fait, nous obtenons l'équation suivante.

$$m_p = \sqrt{m_{ph} m_u} \approx 2,17 \times 10^{-8} \text{ kg} \quad (12)$$

En égalisant les équations (12) et (10), et en utilisant l'équation (11), nous obtenons l'équation (13).

$$m_u = \frac{c^3}{GH_0} \approx 1,73 \times 10^{53} \text{ kg} \quad (13)$$

Encore, nous obtenons, sans surprise, la même équation que l'équation (5).

### 3.4. Calcul de $m_u$ utilisant l'énergie d'un photon

Nous calculerons la masse apparente de l'univers  $m_u$  en faisant égaliser l'énergie gravitationnelle d'un photon avec l'énergie de masse contenue dans un photon (vu comme un corpuscule) [5]. Associons une masse  $m_{ph}$  (comme dans l'équation (11)) avec un photon de plus faible énergie [5] qui est en périphérie de l'univers lumineux (avec une longueur d'onde  $\lambda$  égale à la circonférence apparente de l'univers  $\lambda = 2\pi R_u$ ). Ensuite, si nous plaçons ce photon à la périphérie de l'univers lumineux, il aura l'énergie gravitationnelle  $E_g$  suivante.

$$E_g = \frac{Gm_u m_{ph}}{R_u} \quad (14)$$

Selon la relativité restreinte, l'énergie de masse associée à ce photon est  $E_m$ .

$$E_m = m_{ph} c^2 \quad (15)$$

En faisant égaliser les équations (14) et (15), en remplaçant  $R_u$  avec l'équation (4) et en isolant  $m_u$ , nous obtenons la même équation que l'équation (5).

$$m_u = \frac{c^3}{GH_0} \approx 1,73 \times 10^{53} \text{ kg} \quad (16)$$

### 3.5. Calcul de $m_u$ en fonction du rayon classique de l'électron $r_e$

Récemment, à l'aide d'un nouveau modèle cosmologique, la valeur précise de la constante cosmologique  $G$  et la constante de Hubble  $H_0$  ont été trouvées [5] en fonction du rayon classique de l'électron  $r_e$ , de la masse de l'électron  $m_e$ , de la constante de structure fine  $\alpha$ , et  $\beta$  (voir équation (19)). Utilisons les équations (17) et (18) pour évaluer précisément  $m_u$  (pour des besoins de métrologie).

$$G = \frac{c^2 r_e \alpha^{20}}{m_e \beta} \approx 6,673229809(86) \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2} \quad (17)$$

$$H_0 = \frac{c \alpha^{19} \sqrt{\beta}}{r_e} \approx 72,09548580(32) \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{MParsec}^{-1} \quad (18)$$

Dans ces deux équations,  $\beta$  est défini comme étant le ratio entre la vitesse d'expansion de l'univers matériel et de la vitesse d'expansion de l'univers lumineux. Selon notre modèle, l'univers matériel est inclus dans l'univers lumineux, les deux étant sphériques et prenant de l'expansion avec une vitesse proportionnelle à leur rayon [5].

$$\beta = 3 - \sqrt{5} \approx 0,76 \quad (19)$$

À l'aide de la théorie de la relativité restreinte, Einstein a montré que si nous accélérons une quelconque masse au repos à une vitesse  $v$ , son énergie  $E$  augmenterait à cause du facteur de Lorentz (la racine carrée dans l'équation (20)) [11]. Si  $v$  tend vers  $c$ , l'énergie  $E$  tend vers l'infini, ce qui est impossible, car elle ne peut pas avoir plus d'énergie qu'il y en a de disponible dans l'univers. Alors,  $v$  doit être plus lent que  $c$ . Ça implique aussi que la vitesse d'expansion de l'univers matériel est plus lente (expliquant  $\beta$  dans l'équation (19)) que sa contrepartie lumineuse qui est en expansion à la vitesse de la lumière (qui est  $c$  pour l'instant). Dans l'équation (20), nous montrons ce qui arriverait si nous développions la formule d'Einstein en série. Le premier terme de la série est l'énergie au repos et

**Calculs de la masse de l'univers, du rayon de l'univers, de l'âge de l'univers et du quantum de vitesse**

7

le second est l'énergie cinétique qui est utilisée dans la mécanique classique de Newton [12].

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \approx m_0 c^2 + \frac{1}{2} m_0 v^2 + \frac{3}{8} m_0 \frac{v^4}{c^2} + \dots \quad \text{avec } v < c \quad (20)$$

Avec les équations (17) et (18), nous modifions l'équation (5) pour obtenir l'équation (21).

$$m_u = \frac{m_e \sqrt{\beta}}{\alpha^{39}} = 1,728098528(26) \times 10^{53} \text{ kg} \quad (21)$$

Cette équation est une des plus précises de toutes puisqu'elle se base sur des constantes bien connues qui sont définies dans le CODATA 2014 [8]. Ceci met en lumière le fait qu'il y a des liens très forts entre les dimensions de l'univers et ses constituants tel que l'électron.

**3.6. Calcul de  $m_u$  en fonction de la charge de l'électron  $q_e$**

La charge de l'électron  $q_e$  peut être décrite en fonction de la masse de l'électron  $m_e$ , le rayon classique de l'électron  $r_e$  et la perméabilité du vide  $\mu_0$  [5].

$$q_e = -\sqrt{\frac{4\pi r_e m_e}{\mu_0}} \approx -1,60 \times 10^{-19} \text{ C} \quad (22)$$

Si nous isolons la masse de l'électron  $m_e$  de l'équation (22) et si nous mettons cette valeur dans l'équation (21), nous obtenons une équation qui donne la masse de l'univers en fonction de la charge de l'électron  $q_e$ . Sa précision est équivalente à l'équation (21).

$$m_u = \frac{\mu_0 q_e^2 \sqrt{\beta}}{4\pi r_e \alpha^{39}} = 1,728098528(26) \times 10^{53} \text{ kg} \quad (23)$$

**3.7. Calcul de  $m_u$  en fonction de la constante de Rydberg  $R_\infty$**

Utilisons la définition de la constante de Rydberg  $R_\infty$  en fonction de la constante de structure fine  $\alpha$  et du rayon classique de l'électron  $r_e$  pour trouver la masse apparente de l'univers.

$$R_\infty = \frac{\alpha^3}{4\pi r_e} \approx 1,10 \times 10^7 \text{ m}^{-1} \quad (24)$$

Si nous remplaçons le rayon classique de l'électron  $r_e$  de l'équation (23) avec l'équation (24), nous obtenons l'équation (25) qui donne la masse apparente de l'univers  $m_u$  en fonction de la constante de Rydberg  $R_\infty$  et de la charge de l'électron  $q_e$ .

$$m_u = \frac{\mu_0 q_e^2 R_\infty \sqrt{\beta}}{\alpha^{42}} = 1,728098528(27) \times 10^{53} \text{ kg} \quad (25)$$

#### 4. Rayon de courbure apparent de l'univers $R_u$

Énumérons différentes manières de calculer le rayon de courbure apparent de l'univers  $R_u$ .

Nous utilisons le terme "apparent" parce que la valeur du rayon est vue de notre point de vue dans l'univers. Pour un observateur situé quelque part d'autre, la valeur observée peut être différente. Bien vouloir se référer à notre section qui parle à propos du "quantum de vitesse" (plus loin dans cet article) pour approfondir notre notion "d'apparence" pour différents paramètres de l'univers. Aussi, nous préférons utiliser le terme "rayon de courbure apparent de l'univers" à la place de parler à propos du "rayon de courbure" de l'univers comme mentionné par Einstein [3], du "rayon de l'univers" [13] ou du "rayon de l'espace" [1] [13] comme Lemaître parce que l'univers peut sembler sphérique de notre point de vue (et nous prétendons que c'est probablement le cas). Cependant, ce qui ressemble à une forme sphérique est peut-être simplement local dans l'univers. Qui sait, peut-être que l'univers est en forme d'arachide ou toroïdal? Le "rayon de courbure apparent" est ce que nous pensons que ça pourrait être si nous extrapolons à large échelle les caractéristiques et les comportements locaux de l'univers. Bien sûr, nous assumons ici que l'univers est sphérique, homogène et isotrope. Nous soulignons que le rayon réel de l'univers peut être totalement différent si nous considérons d'autres aspects de l'univers qui pourraient devenir évident à large échelle.

Notons que même si nous obtenons comme résultat la même distance que le rayon de Hubble [14] (qui est vu comme si la Terre était au milieu de cette sphère), nous mesurons ici la distance entre le centre de masse de l'univers et les limites extérieures de l'univers lumineux. Dans notre modèle, la Terre n'est plus le "centre de l'univers". L'univers est en expansion. Alors, cette limite est repoussée plus loin à chaque jour. La distance que la lumière peut voyager en un an est seulement environ  $7 \times 10^{-9}$  % du rayon total  $R_u$ .



#### 4.1. Calcul de $R_u$ en fonction de la constante de Hubble $H_0$

La manière classique de calculer le rayon de courbure apparent de l'univers  $R_u$  consiste à dire que la vitesse de la lumière dans le vide  $c$  était constante et qu'elle a voyagé durant une durée de temps égale à l'âge de l'univers  $T_u$  qui est une fonction de  $H_0$  (voir l'équation (2)).

$$R_u = cT_u = \frac{c}{H_0} \approx 1,28 \times 10^{26} \text{ m} \quad (26)$$

Selon différentes sources,  $H_0$  se situe entre  $67.8(9) \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{MParsec}^{-1}$  [15] et  $77.6^{+4.8}_{-4.3} \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{MParsec}^{-1}$  [16]. La plupart des mesures de la constante de Hubble  $H_0$  reposent sur des méthodes imprécises telles que l'observation d'étoiles. Les incertitudes des différents résultats de mesures ne se recoupent pas toujours. Pour avoir une meilleure précision, nous utiliserons  $H_0$  de l'équation (18). Cette valeur est compatible avec Salvatelli, avec une valeur de  $H_0 \approx 72.1^{+3.2}_{-2.3} \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{MParsec}^{-1}$  [9].

#### 4.2. Calcul de $R_u$ en fonction du rayon classique de l'électron $r_e$

Utilisons l'équation (18) dans l'équation (26) pour évaluer précisément (pour des besoins de métrologie) le rayon de courbure apparent de l'univers  $R_u$ .

$$R_u = \frac{r_e}{\alpha^{19} \sqrt{\beta}} \approx 1,2831078845(57) \times 10^{26} \text{ m} \quad (27)$$

#### 4.3. Calcul de $R_u$ en fonction de la charge électrique $q_e$

Définissons le rayon de courbure apparent  $R_u$  en fonction de la constante de Rydberg  $R_\infty$ . Isolons  $r_e$  de l'équation (22) et utilisons l'équation (27). Nous obtenons l'équation (28) qui donne le rayon de courbure apparent de l'univers  $R_u$  en fonction de la charge électrique de l'électron  $q_e$  et de la masse de l'électron  $m_e$ .

$$R_u = \frac{q_e^2 \mu_0}{4\pi m_e \alpha^{19} \sqrt{\beta}} \approx 1,283107889(13) \times 10^{26} \text{ m} \quad (28)$$

#### 4.4. Calcul de $R_u$ en fonction de la constante de Rydberg $R_\infty$

Comme l'équation (28) qui utilise les paramètres bien connus du CODATA et la constante  $\beta$  qui peut être calculée très précisément, nous pouvons définir le rayon de courbure apparent  $R_u$  en fonction de la constante de Rydberg  $R_\infty$ . Réécrivons

l'équation (27) avec l'équation (24) pour obtenir la méthode la plus précise, jusqu'à maintenant, pour calculer le rayon de courbure apparent de l'univers  $R_u$ .

$$R_u = \frac{1}{4\pi R_\infty \alpha^{16} \sqrt{\beta}} \approx 1,2831078902(48) \times 10^{26} \text{ m} \quad (29)$$

### 5. Âge de l'univers $\Delta t_u$

La NASA estime présentement l'âge de l'univers en utilisant l'inverse de la constante de Hubble [17], c'est-à-dire  $1/H_0$ . La métrique basée sur le travail des physiciens Friedmann [18] [19], Lemaître [1] [13], Robertson [20] et Walker [21] prédit que pour un univers plat dominé par une présence de matière, le véritable âge de l'univers devrait se situer autour de  $2/(3H_0)$  [22]. Notons que parfois le nom de Friedmann ou Lemaître est omis lorsque la métrique est citée. C'est le cas dans le livre de Carroll qui réfère à cette métrique sous le nom de "FRW".

Einstein considérait que l'univers est statique [3], avec une constante des dimensions d'espace-temps constantes. Lorsqu'il a, pour la première fois, noté que sa théorie de la relativité générale menait à un univers en expansion ou en contraction, il ajouta une constante cosmologique dans son équation pour forcer son modèle de l'univers à être statique [3]. Mentionnons que dans sa théorie de la relativité, Einstein prenait pour acquis que la vitesse de la lumière dans le vide était constante [23] [24]. C'était consistant avec sa perception de l'univers. Un univers statique mène à une vitesse de la lumière constante, excepté, bien sûr, aux abords des grosses masses comme montré par Einstein avec la relativité restreinte [24] et Schwarzschild avec la relativité générale [25].

En 1929, Hubble a découvert que l'univers est en expansion [4]. Lorsqu'Einstein a été mis au courant des observations de Hubble, il a été forcé d'admettre, selon George Gamow, que l'ajout d'une constante cosmologique à son modèle de l'univers pour le rendre statique était sa plus grosse gaffe de sa vie [26]. Notons qu'Einstein peut ne jamais avoir utilisé ces mots précis et qu'ils peuvent avoir faussement été rapportés par Gamow. Néanmoins, Einstein a écarté sa constante cosmologique comme un facteur arbitraire inutile. Il semble qu'il n'ait pas vu, à ce moment, que l'accélération de la lumière au cours du temps résultait de l'expansion de l'univers. Selon des travaux récents, nous avons montré qu'il était possible que la vitesse de la lumière n'ait jamais été constante au cours du temps [5].

Avec la relativité restreinte, Einstein a montré qu'un champ gravitationnel généré par une masse ralentit la lumière [24]. Erroné par un facteur 2 comparé à ce qui

arrive en réalité, son équation, est ensuite corrigée par Schwarzschild en utilisant la relativité générale [25]. L'univers est en expansion [4] et sa densité diminue. Par conséquent, l'indice de réfraction diminue et la lumière accélère lentement au cours du temps [5].

Initialement, nous montrerons comment est calculé l'âge approximatif de l'univers. Dans une deuxième étape, nous utiliserons quelques résultats d'un travail que nous avons effectué récemment [5] pour estimer l'âge de l'univers en réalisant une intégrale de l'inverse de la vitesse d'expansion de l'univers matériel par rapport au rayon de l'univers. Finalement, nous approximerons l'âge de l'univers. Nous montrerons que  $1/H_0$  représente actuellement une bonne approximation de l'âge apparent  $T_u$  de l'univers et que  $2/(3H_0)$  représente la partie réelle de l'âge de l'univers. Nous pourrions ensuite comparer les résultats et commenter.

### 5.1. Méthodes courantes pour calculer l'âge de l'univers

En 1929, Edwin Powell Hubble a découvert que la plupart des galaxies s'éloignaient entre elles à une vitesse proportionnelle à la distance qui les sépare [4]. Il en a déduit une loi qui implique une constante appelée  $H_0$ . Elle représente la vitesse moyenne de récession  $v$  des galaxies par unité de distance  $\Delta r$ . Notons que les galaxies possèdent leur propre autonomie de mouvements. Certaines se rapprocheront entre elles et d'autres s'éloigneront des autres. Mais, de manière globale, elles s'éloigneront des autres en raison du mouvement d'inflation de l'univers.

$$\frac{v}{\Delta r} = \frac{1}{\Delta t} = H_0 = 72,1 \text{ km} \cdot \text{MParsec}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \quad (30)$$

Tel que vu dans l'équation (18),  $H_0 \approx 72.1 \text{ km}/(\text{s} \cdot \text{MParsec})$ . Isolons  $\Delta t$ .

$$\Delta t = \frac{1}{H_0} \approx 13,65 \times 10^9 \text{ années} \quad (31)$$

La NASA évalue présentement l'âge de l'univers avec l'équation (31) [17]. Cette méthode de calcul assume que le rythme d'expansion de l'univers est constant. Selon le modèle de Friedmann-Robertson-Walker [22], le véritable âge de l'univers serait autour de 2/3 de l'équation (31).

$$\Delta t = \frac{2}{3 \cdot H_0} \approx 9,04 \times 10^9 \text{ années} \quad (32)$$

## 5.2. Calcul de l'âge de l'univers $\Delta t_u$

La vitesse de la lumière dans le vide et la vitesse d'expansion de l'univers matériel peuvent ne pas avoir été constantes au cours du temps [5]. Notre but ici est de calculer l'âge de l'univers (de type complexe) en simulant un retour dans le passé en faisant l'intégrale de l'inverse de la vitesse d'expansion de l'univers matériel  $v_m(r)$ .

Nous utiliserons quelques résultats cités en [5] pour résoudre l'intégrale de l'inverse de la vitesse d'expansion de l'univers matériel  $v_m(r)$  en fonction du rayon de courbure apparent de l'univers. De cette manière, nous calculerons l'âge de l'univers  $\Delta t_u$ .

Tel que mentionné auparavant, la théorie de la relativité générale prédit que la présence d'un corps massif change l'espace-temps à proximité et augmente l'indice de réfraction  $n(r)$  (qui change en fonction de la distance  $r$  à partir du centre de masse du corps massif) du vide autour de la masse [25]. En s'éloignant de cette masse, l'influence gravitationnelle diminue et la vitesse de la lumière tend vers  $c$ .

Nous appliquons le même principe à l'univers qui est certainement la plus grosse masse existante. Puisque l'univers est en expansion [4], nous nous éloignons d'un certain centre de masse et la densité de l'univers diminue au cours du temps. Comme auparavant, cela force l'indice de réfraction à diminuer au cours du temps et laisse la vitesse de la lumière augmenter lentement au cours du temps en tendant vers une vitesse asymptotique que nous nommons  $k$  [5]. Bien sûr, la vitesse de la lumière est présentement  $c$ . Pour garder l'énergie totale de l'univers constante pendant que la vitesse de la lumière augmente, la masse de l'univers doit décroître au cours du temps. La vitesse asymptotique de la lumière  $k$  (lorsque  $r \rightarrow \infty$ ) est donnée par l'équation (33).

$$k = c\sqrt{2 + \sqrt{5}} \approx 2c \approx 6,17 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (33)$$

Dès que nous essayons de calculer la vitesse de la lumière pour un temps passé ou futur, nous devons prendre en compte que la vitesse de la lumière  $v_L(r)$  change en fonction du rayon de courbure apparent de l'univers  $r$  [5]. La valeur de  $\Theta$  est le potentiel gravitationnel pour l'univers et  $n(r)$  est l'indice de réfraction de l'univers en fonction de  $r$ .

$$v_L(r) = \frac{k}{n(r)} \quad \text{où} \quad n(r) = \sqrt{\frac{1 - 2\Theta/k^2}{1 + 2\Theta/k^2}} \quad \text{et} \quad \Theta = \frac{-Gm_u}{r} \leq 0 \quad (34)$$

Dans cette équation, il y a un rayon de courbure  $r = r_h$  pour lequel la vitesse de la lumière  $v_L(r_h) = 0$ . Cette position  $r_h$  est appelée l'horizon de l'univers. C'est la position pour laquelle le dénominateur de la racine carrée de l'équation (34) devient zéro. D'une manière similaire, dans un trou noir, le rayon de courbure de l'horizon  $r_h$  est obtenu par le rayon de Schwarzschild où nous remplaçons  $c$  par  $k$ :

$$r_h = \frac{2Gm_u}{k^2} \approx 6,06 \times 10^{25} \text{ m} \quad (35)$$

C'est le même principe que pour un trou noir. En fait, l'univers est le plus gros trou noir existant puisqu'il a la plus grande masse.

Notons que pour un trou noir conventionnel, sa masse entière est localisée en son centre de masse. Cependant, pour l'univers, une grosse partie de la masse du trou noir repose à l'extérieur des limites de l'horizon. Le centre de masse de l'univers coïncide avec le centre de masse du trou noir.

La vitesse d'expansion de l'univers est présentement la vitesse de la lumière  $c$  [5]. Basé sur les principes de la relativité, la matière ne peut pas se déplacer à la vitesse de la lumière sans avoir une énergie infinie. Conséquemment, l'affirmation précédente à propos de l'expansion de l'univers ne peut être vraie que pour la lumière (que nous appelons l'univers lumineux). L'univers matériel (contenant les galaxies, les nuages de poussières intergalactiques, etc.) prend de l'expansion plus lentement, à une vitesse égale à  $\beta c$ . Le facteur  $\beta$  doit nécessairement être inférieur à 1 puisque nous ne pouvons pas dépasser la vitesse de la lumière qui représente une vitesse limite infranchissable. Selon notre équation (19), sa valeur est environ 0,76. Le rayon de courbure apparent  $r_u$  de l'univers matériel est alors une fraction  $\beta$  du rayon de courbure apparent  $R_u$  de l'univers lumineux [5].

$$r_u = \beta R_u \approx 9,80 \times 10^{25} \text{ m} \quad (36)$$

La vitesse d'expansion  $v_m(r)$  de l'univers matériel est  $\beta$  fois la vitesse de la lumière  $v_L(r)$  en raison du fait que la matière doit voyager plus lentement que la lumière [11].

$$v_m(r) = \beta v_L(r) = \frac{\beta k}{n(r)} \quad \text{où} \quad n(r) = \sqrt{\frac{1 - 2\Theta/k^2}{1 + 2\Theta/k^2}} \quad \text{et} \quad \Theta = \frac{-Gm_u}{r} \leq 0 \quad (37)$$

Si nous faisons la dérivée de la vitesse d'expansion de l'univers matériel  $v_m(r)$  par rapport à la distance  $r$ , nous obtenons la constante de Hubble  $H_0$  [5].

$$\left. \frac{dv_m(r)}{dr} \right|_{r=r_u} = \frac{k\beta y}{r_u} \left( \frac{1}{(1+y)\sqrt{1-y^2}} \right) = H_0 \quad \text{où} \quad y = \frac{2Gm_u}{k^2 r_u} \quad (38)$$

Il est important de réaliser que nous n'utilisons pas la dérivée de la vitesse

d'expansion de l'univers lumineux pour obtenir  $H_0$  puisque les astronomes ne peuvent pas observer cette limite. À travers leurs télescopes, ils n'observent que les objets comme les étoiles et les galaxies. Par conséquent, quand Hubble a défini sa constante  $H_0$ , elle était basée sur une dérivée de la vitesse d'expansion de l'univers matériel  $v_m(r)$ .

À la périphérie de l'univers lumineux (à une distance  $r = R_u$  du centre de masse de l'univers), la lumière accélère à un rythme  $a_L(R_u) = cH_0$ .

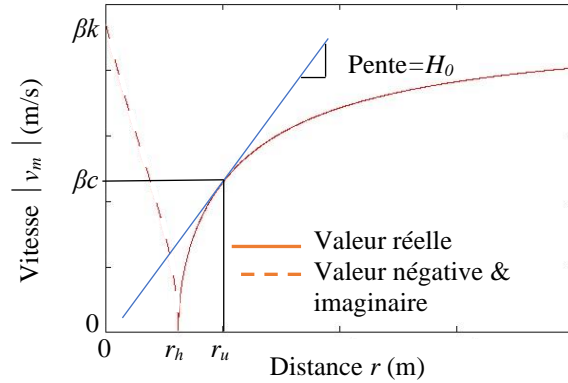
$$a_L(R_u) = \left. \frac{dv_L(r)}{dt} \right|_{r=R_u} = \left( \frac{dr}{dt} \cdot \frac{dv_L}{dr} \right) \Big|_{r=R_u} = c \left( \frac{dv_L}{dr} \right) \Big|_{r=R_u} = cH_0 \quad (39)$$

Cependant, localement, à une distance  $r = r_u$  du centre de masse de l'univers, la lumière accélère lentement à un rythme  $a_L(r_u) = cH_0/\beta$ .

$$a_L(r_u) = \left. \frac{dv_L(r)}{dt} \right|_{r=r_u} = \left( \frac{dr}{dt} \cdot \frac{dv_L}{dr} \right) \Big|_{r=r_u} = c \left( \frac{dv_L}{dr} \right) \Big|_{r=r_u} = c \frac{H_0}{\beta} \quad (40)$$

Localement, à une distance  $r = r_u$  du centre de masse de l'univers, la matière de l'univers matériel accélère lentement à un rythme  $a_m(r_u) = cH_0$ .

$$a_m(r_u) = \beta \left. \frac{dv_L(r)}{dt} \right|_{r=r_u} = \beta \left( \frac{dr}{dt} \cdot \frac{dv_L}{dr} \right) \Big|_{r=r_u} = \beta c \left( \frac{dv_L}{dr} \right) \Big|_{r=r_u} = \beta c \frac{H_0}{\beta} = cH_0 \quad (41)$$



**Figure 1.** Vitesse d'expansion  $|v_m|$  de l'univers matériel en fonction de la distance  $r$

La **Figure 1** montre le module de la vitesse d'expansion  $v_m(r)$  de l'univers matériel calculé à partir de l'équation (37). Elle met aussi en évidence que la constante de Hubble  $H_0$  représente en fait la pente évaluée à la position  $r = r_u$  à

partir du centre de masse de l'univers (at  $r = 0$ ). Entre  $r = 0$  (au moment du Big Bang) et  $r = r_h$  (à l'horizon de l'univers), la partie pointillée de la courbe montre que la vitesse d'expansion de l'univers matériel serait normalement négative et de type imaginaire. Ensuite, entre  $r = r_h$  et l'infini, la vitesse d'expansion de l'univers matériel devient de type réel.

La valeur négative et imaginaire de la vitesse  $v_m(r)$  que nous obtenons avec  $r < r_h$  est une manière mathématique de montrer que dans un monde physique, la matière située à l'intérieur de l'horizon évolue de manière indépendante de celle située à l'extérieur de l'horizon. Ici, nous ne pouvons pas voir ce qui se passe à l'intérieur de l'horizon et vice et versa. Nous pouvons comparer cela à l'enveloppe d'une fibre optique. La lumière peut voyager à l'intérieur de la fibre d'une extrémité à l'autre, mais nous ne pouvons pas voir à travers l'enveloppe (si la fibre est utilisée à l'intérieur de ses limites de courbure). Il est par conséquent impossible de savoir ce qui se passe de l'extérieur de la fibre et vice et versa. Bien sûr, les principes en cause dans une fibre ne sont pas les mêmes. Nous amenons seulement cet exemple pour imaginer la situation qui arrive à l'intérieur de l'horizon d'un trou noir.

En faisant l'intégrale de l'inverse de  $v_m(r)$  par rapport au rayon de courbure  $r$ , il est possible de calculer l'âge de l'univers (dans son entièreté avec la partie réelle et sa partie imaginaire) plus précisément qu'en utilisant une simple projection tangentielle. Dans la **Figure 1**, la pente de la projection tangentielle donne la constante de Hubble  $H_0$  qui peut être mise dans l'équation (31) pour donner l'âge apparent de l'univers.

Trouvons l'âge de l'univers  $\Delta t_u(r)$  en faisant l'intégrale de l'équation (42) entre le centre de masse de l'univers (à  $r = 0$ ) et le rayon de courbure apparent de l'univers matériel  $r_u$ . La valeur résultante  $\Delta t_u(r)$  est de type complexe.

$$\Delta t_u(r) = \int_0^{r_u} \frac{1}{v_m(r)} dr = \Delta t_{hu}(r) + \Delta t_{0h}(r) \quad (42)$$

Dans l'équation (42), la valeur de  $\Delta t_{hu}(r)$  représente le temps passé entre l'horizon et l'âge actuel de l'univers (voir l'équation (43)). Le résultat est de type réel.

$$\Delta t_{hu}(r) = \int_{r_h}^{r_u} \frac{1}{v_m(r)} dr \quad (43)$$

Dans l'équation (42), la valeur de  $\Delta t_{0h}(r)$  représente le temps passé entre le Big Bang et l'horizon (voir l'équation (44)). La valeur résultante est d'un type imaginaire.

$$\Delta t_{0h}(r) = \int_0^{r_h} \frac{1}{v_m(r)} dr \quad (44)$$

En faisant le calcul de l'intégrale de l'équation (42), nous obtenons l'équation (45).

$$\int \frac{1}{v_m(r)} dr = \frac{\left( z(r) + 2G \cdot m_u \ln \left( 2 \left[ k^2 r + z(r) \right] \right) \right)}{\beta k^3} \quad \text{où } z(r) = \sqrt{k^4 r^2 - 4G^2 m_u^2} \quad (45)$$

Par conséquent, la valeur de  $\Delta t_u(r)$  devient :

$$\Delta t_u(r) = \Delta t_{hu}(r) + \Delta t_{0h}(r) \approx (9,50 + 10,47i) \times 10^9 \text{ années} \quad \text{où } i = \sqrt{-1} \quad (46)$$

Ce résultat est de type complexe. Dans l'équation (46), la première partie de l'intégrale (montrée à l'équation (43)) est de type réel (entre  $r_h$  et  $r_u$ ). Cependant, la seconde partie de cette dernière (montrée à l'équation (44)) est de type imaginaire (entre 0 et  $r_h$ ).

Si nous regardons attentivement l'équation (37), pour un rayon plus petit que celui de l'horizon  $r_h$ , la vitesse de la lumière  $v_L(r_h)$  devient de type imaginaire. Pour cette raison, le temps  $T_{0h}$  devient également d'un type imaginaire. Cette situation mathématique signifie seulement que le temps à l'intérieur de l'horizon évolue de manière complètement indépendante en comparaison au temps à l'extérieur de l'horizon, ce qui explique pourquoi personne ne peut voir ce qui arrive à l'intérieur des limites de l'horizon d'un trou noir. Le meilleur exemple que nous pouvons donner est à l'intérieur d'une fibre optique. La manière que la lumière évolue à l'intérieur de la fibre ne peut pas être vue de l'extérieur de la fibre et vice versa. Les mathématiques sont un beau langage qui doit être interprété pour trouver un sens dans la vie réelle.

Lorsque nous désirons considérer le temps passé entre la position 0 du Big Bang et le rayon de courbure de l'horizon  $r_h$ , nous devons calculer le module du temps passé  $|\Delta t_u|$ . Nous définissons cette valeur comme étant l'âge apparent  $T_u$  de l'univers, car il ne représente pas nécessairement le véritable âge de l'univers. Ce nombre représente seulement un âge apparent si le Big Bang a bel et bien existé. Il peut aussi être vu comme le temps qui s'est écoulé si la vitesse de la lumière avait été constante depuis le Big Bang.

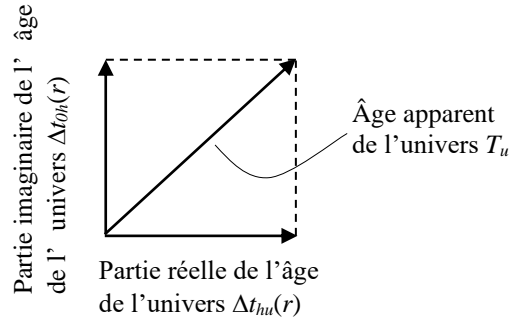
$$T_u = |\Delta t_u| = |\Delta t_{hu} + \Delta t_{0h}| = \sqrt{\Delta t_{hu}^2 + \Delta t_{0h}^2} \approx 14,14 \times 10^9 \text{ années} \quad (47)$$

Nous voyons que la valeur est seulement 4.25 % au-dessus de la valeur estimée par l'équation (31).



### 5.3. Approximation de l'âge de l'univers

Tout comme pour le calcul de la puissance dans des moteurs électriques (avec la puissance réelle, la puissance inductive et la puissance apparente), l'âge de l'univers peut être vu comme suit: la partie « réelle » de l'âge de l'univers, la partie « imaginaire » de l'âge de l'univers et la partie « apparente » de l'âge de l'univers. Le module des deux composantes (réelle et imaginaire) peut être calculé en utilisant le théorème de Pythagore en trouvant la racine carrée de la somme des carrés de la partie réelle et de la partie imaginaire de l'âge de l'univers.



**Figure 2.** Âge complexe  $\Delta t_u$  de l'univers

L'approximation de l'âge de l'univers se fera en 3 parties : l'approximation de la partie réelle de l'âge de l'univers, l'approximation de la partie imaginaire de l'âge de l'univers et le calcul du module de l'âge apparent de l'univers. Dans la **Figure 2**, nous montrons le parallélogramme bâti à partir de ces valeurs.

### 5.4. Approximation de la partie réelle $\Delta t_{hu}$ de l'âge de l'univers

Faisons l'approximation de la partie réelle  $\Delta t_{hu}$  de l'âge de l'univers  $\Delta t_u$ .

Pour un rayon de courbure  $r_h$  de l'horizon, la racine carrée de l'équation (48) égale à zéro.

$$z(r_h) = \sqrt{k^4 r_h^2 - 4G^2 m_u^2} = 0 \quad (48)$$

Alors, selon les équations (42) et (45), nous obtenons l'équation (49).

$$\Delta t_{hu} = \frac{z(r_u) + 2 \cdot G \cdot m_u \cdot \ln\left(2 \cdot \left[k^2 \cdot r_u + z(r_u)\right]\right)}{\beta \cdot k^3} - \frac{2 \cdot G \cdot m_u \cdot \ln\left(2 \cdot k^2 \cdot r_h\right)}{\beta \cdot k^3} \quad (49)$$

$$\text{où } z(r_u) = \sqrt{k^4 \cdot r_u^2 - 4 \cdot G^2 \cdot m_u^2}$$

En utilisant l'équation (35) et en faisant quelques simplifications, nous obtenons l'équation (50).

$$\Delta t_{hu} = \frac{1}{\beta \cdot k} \left( \sqrt{r_u^2 - r_h^2} + r_h \ln \left( \frac{\sqrt{r_u^2 - r_h^2} + r_u}{r_h} \right) \right) \quad (50)$$

Sans rien changer, cette même équation peut être réécrite comme suit :

$$\Delta t_{hu} = \frac{r_u}{2 \cdot \beta \cdot c} \cdot \left(1 + \frac{\beta}{2}\right) \cdot y \approx \frac{r_u}{2 \cdot \beta \cdot c} \cdot \left(1 + \frac{\beta}{2}\right) \quad (51)$$

$$\text{où } y = \left[ \frac{2 \cdot c}{k \cdot r_u \cdot \left(1 + \frac{\beta}{2}\right)} \cdot \left( \sqrt{r_u^2 - r_h^2} + r_h \ln \left( \frac{\sqrt{r_u^2 - r_h^2} + r_u}{r_h} \right) \right) \right] \approx 1$$

Tel que montré, le contenu de la parenthèse est approximativement égal à 1. En faisant cette approximation et en utilisant l'équation (36), l'équation (51) devient l'équation (52).

$$\Delta t_{hu} \approx \frac{1}{4H_0} (2 + \beta) \quad (52)$$

Plus loin dans ce document, nous utiliserons l'équation (52) pour faire le calcul de l'âge apparent de l'univers. Pour l'instant, montrons que cette équation peut être approximée pour obtenir une équation communément utilisée par quelques astronomes pour calculer l'âge actuel de l'univers.

Selon l'équation (19), la valeur de  $\beta \approx 0,76$ . Utilisons cette approximation pour réécrire l'équation (52). Après quelques simplifications, nous obtenons :

$$\Delta t_{hu} \approx \frac{1}{4H_0} \left(2 + \frac{76}{100}\right) \approx \frac{1}{H_0} \left(\frac{69}{100}\right) \approx \frac{2}{3H_0} \approx 9.04 \times 10^9 \text{ années} \quad (53)$$

Ce dernier rapport peut être déduit du modèle de Friedmann- Robertson-Walker [22]. Par conséquent, les équations (52) et (53) représentent de bonnes approximations de la partie réelle de l'âge de l'univers.

### 5.5. Approximation de la partie imaginaire $\Delta t_{oh}$ de l'âge de l'univers

Maintenant, trouvons la valeur approximée de la partie imaginaire  $T_{oh}$  de l'âge de l'univers  $T_u$ . À partir des équations (42), (45) et (48) nous obtenons :

**Calculs de la masse de l'univers, du rayon de l'univers, de l'âge de l'univers et du quantum de vitesse** **19**

$$\Delta t_{0h} = \left[ \frac{2 \cdot G \cdot m_u \cdot \ln(2 \cdot k^2 \cdot r_u)}{\beta \cdot k^3} \right] - \left[ \frac{\sqrt{-4 \cdot G^2 \cdot m_u^2} + 2 \cdot G \cdot m_u \cdot \ln(2 \cdot \sqrt{-4 \cdot G^2 \cdot m_u^2})}{\beta \cdot k^3} \right] \quad (54)$$

En utilisant l'équation (35) et en faisant quelques simplifications, nous obtenons l'équation (55).

$$\Delta t_{0h} = \frac{r_h}{\beta \cdot k} \cdot [\ln(-i) - i] \quad \text{où } i = \sqrt{-1} \quad (55)$$

En utilisant la relation dans l'équation (56), nous réécrivons l'équation (55), qui est le résultat de type purement imaginaire, pour obtenir l'équation (57).

$$\ln(-i) = -\frac{\pi}{2} \cdot i \quad (56)$$

$$\Delta t_{0h} = -\frac{r_h}{\beta \cdot k} \cdot \left[ 1 + \frac{\pi}{2} \right] \cdot i \quad (57)$$

Nous pouvons réécrire l'équation (57) de cette manière sans rien changer :

$$\Delta t_{0h} = -\frac{r_u}{2 \cdot \beta \cdot c} \cdot \left( 1 - \frac{\beta}{2} \right) \cdot \left( 1 + \frac{\pi}{2} \right) \cdot x \cdot i \quad \text{où } x = \left[ \frac{2 \cdot c}{k} \cdot \frac{r_h}{r_u \cdot \left( 1 - \frac{\beta}{2} \right)} \right] \approx 1 \quad (58)$$

Comme montré, la valeur de x est approximativement 1. L'équation (58) devient alors:

$$\Delta t_{0h} \approx -\frac{1}{2 \cdot H_0} \cdot \left( 1 - \frac{\beta}{2} \right) \cdot \left( 1 + \frac{\pi}{2} \right) \cdot i \quad (59)$$

### 5.6. Approximation de l'âge apparent $T_u$ de l'univers

Calculons l'âge apparent de l'univers en utilisant l'équation (47) avec les équations (52) et (59). Après quelques simplifications, nous obtenons l'équation (60).

$$|\Delta t_u| = |\Delta t_{hu} + \Delta t_{0h}| = \sqrt{\Delta t_{hu}^2 + \Delta t_{0h}^2} \approx \frac{1}{H_0} \chi \approx \frac{1}{H_0} \quad (60)$$

$$\text{où } \chi = \left( \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\left( 1 + \frac{\beta}{2} \right)^2 + \left( \left( 1 - \frac{\beta}{2} \right) \cdot \left( 1 + \frac{\pi}{2} \right) \right)^2} \right) \approx 1$$

La valeur de  $\chi$  est approximativement égale à 1. Conséquemment, nous avons montré que l'intégrale de l'équation (42) peut être approximé par l'équation (31). Selon nous, basée sur le calcul approximé de l'équation (60), l'équation (31) représente seulement l'âge apparent de l'univers  $T_u$ . En fait, ça vient de notre calcul du module de la somme complexe de la partie réelle et de la partie

imaginaire de l'âge de l'univers. Nous définissons  $T_u$  comme étant l'âge apparent de l'univers.

$$T_u = |\Delta t_u| \approx \frac{1}{H_0} \approx 13,65 \times 10^9 \text{ années} \quad (61)$$

## 6. Le quantum de vitesse $\varepsilon$ ,

Par définition, un quantum (le mot "quanta" est pluriel) représente la plus petite partie indivisible d'une quantité physique quelconque. Par exemple, la longueur de Planck  $L_p$  représente un quantum de distance et le temps de Planck  $t_p$  représente un quantum de temps. Le quantum de vitesse est la plus petite variation de vitesse qui peut être obtenue. Elle est tellement petite qu'elle n'est pas mesurable. Néanmoins, il est possible de la calculer grâce à certaines considérations physiques.

Nous désirons montrer, parmi autres choses, que les différents paramètres (la masse apparente, le rayon apparent et l'âge apparent) de l'univers sont ce qu'ils sont de notre point de vue. Cependant, ils peuvent paraître différents d'un point de vue d'un observateur voyageant à la vitesse de la lumière. Ainsi, tout le monde comprendra pourquoi nous considérons ces paramètres comme étant "apparents". En relativité, la vitesse de la lumière dans le vide  $c$  est considérée comme la vitesse limite. Elle est utilisée dans le facteur de Lorentz. Nous montrerons que même la lumière ne peut pas voyager exactement à la vitesse limite  $c$ , mais légèrement moins. En fait, la vitesse réelle de la lumière est  $c - \varepsilon$ , où  $\varepsilon$ , est ce que nous appelons le quantum de vitesse. C'est la plus petite variation de vitesse qui puisse être mesurée.

Supposons un observateur au repos qui regarde une masse  $m_0$ . Selon la relativité restreinte [11] [27], si nous accélérons la masse à une vitesse  $v$ , pour l'observateur, la masse deviendra  $m'$ .

$$m' = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (62)$$

Nous serions tentés de dire que lorsque  $v \rightarrow c$ , la masse  $m'$  tend vers l'infini. Cependant, ce n'est pas logique puisque c'est impossible d'atteindre une masse plus grande que la masse de l'univers  $m_u$ . Nous ne pouvons pas donner à une masse plus d'énergie qu'il y en a de disponible dans tout l'univers. Ce constat impose une nouvelle limite de vitesse  $v$ .

Nous mentionnons que la masse de Planck  $m_p$  représente le plus haut niveau d'énergie que puisse avoir une particule. Il est facile de vérifier cette affirmation en faisant égalier l'énergie d'une masse arbitraire  $m$  avec l'énergie de la plus petite longueur d'onde possible  $\lambda$  (qui est  $2\pi L_p$ , où  $L_p$  est la longueur de Planck). La longueur de Planck  $L_p$  est considérée, dans un monde quantique, comme étant la plus petite unité de longueur possible. Ceci est dû au principe d'Heisenberg qui dit que nous ne pouvons pas mesurer précisément la vitesse d'un objet et sa position précise en même temps [28]. Ici, l'énergie de masse d'une particule (donnée par l'équation d'Einstein [11] [27][27]  $E = mc^2$ ) est associée à l'énergie de l'onde (donnée par l'équation de Planck  $E = hc/\lambda$  [29]).

$$mc^2 = \frac{hc}{\lambda} \quad \text{où} \quad \lambda = 2\pi L_p \quad (63)$$

La définition standard de la longueur de Planck est l'équation (64) qui implique la constante universelle de gravitation  $G$ , la constante de Planck  $h$  et la vitesse de la lumière dans le vide  $c$ .

$$L_p = \sqrt{\frac{hG}{2\pi c^3}} \approx 1,62 \times 10^{-35} \text{ m} \quad (64)$$

Si nous remplaçons  $L_p$  dans l'équation (63) et si nous isolons la masse  $m$ , nous obtenons l'équation (65) qui est exactement la définition standard de la masse de Planck  $m_p$ .

$$m = \sqrt{\frac{hc}{2\pi G}} = m_p \approx 2,18 \times 10^{-8} \text{ kg} \quad (65)$$

De ce constat, nous pouvons calculer la vitesse maximale  $v_m$  à laquelle nous pouvons déplacer une particule qui possède une masse initiale  $m_{ph}$  au repos. Nous donnons à cette masse la même valeur que la masse associée au photon de longueur d'onde  $\lambda = 2\pi R_u$  (la circonférence apparente de l'univers). Puisque cette longueur d'onde est la plus grande que nous puissions atteindre dans l'univers, elle correspond à la plus petite quantité d'énergie que nous pouvons obtenir.

$$\frac{m_{ph}}{\sqrt{1 - \frac{v_m^2}{c^2}}} = m_p \quad \rightarrow \quad v_m = c \sqrt{1 - \frac{m_{ph}^2}{m_p^2}} \quad (66)$$

Puisque  $m_{ph} \ll m_p$ , nous pouvons faire l'approximation suivante :

$$v_m \approx c \left( 1 - \frac{m_{ph}^2}{2m_p^2} \right) \quad (67)$$

Dans l'équation (67),  $m_{ph}$  est définie par l'équation (11).

Dirac a fait l'hypothèse que tous les grands nombres sans dimension qui peuvent être construits à partir des unités naturelles de cosmologie et de la théorie atomique peuvent être interreliés. Appelons  $N$  le rapport entre la masse apparente de l'univers  $m_u$  et la masse  $m_{ph}$  associée aux photons de plus basse énergie (de l'équation (11)).

$$N = \frac{m_u}{m_{ph}} \approx 6,30 \times 10^{121} \quad (68)$$

Montrons que l'équation (67) peut être définie en fonction de  $N$ . Réécrivons l'équation (68) avec les équations (5) et (11). Ensuite, en utilisant la masse de Planck  $m_p$  (donnée par l'équation (10)), nous montrons que  $N$  peut être redéfini en fonction de  $m_p$  et  $m_{ph}$  (au lieu de  $m_u$  et  $m_{ph}$ ).

$$N = \frac{c^3}{GH_0} \cdot \frac{2\pi R_u c}{h} = \frac{hc}{2\pi G} \cdot \frac{4\pi^2 R_u^2 c^4}{h^2 c^2} = \frac{m_p^2}{m_{ph}^2} \approx 6,30 \times 10^{121} \quad (69)$$

Définissons la vitesse  $v_m$  dans l'équation (67) comme étant une fonction de  $N$  avec l'équation (69).

$$v_m \approx c - \frac{c}{2N} \quad (70)$$

Si nous remplaçons  $v_m$  par  $c - \varepsilon_v$ , la valeur de  $\varepsilon_v$  pourrait être définie comme étant le "quantum de vitesse".

$$\varepsilon_v \approx \frac{c}{2N} \approx 2,38 \times 10^{-114} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (71)$$

La variation de vitesse  $\varepsilon_v$  est la plus petite unité de vitesse possible. Dans un but académique, réécrivons l'équation (62) en remplaçant la vitesse  $v$  par  $c - n\varepsilon_v$ , où  $n$  est un nombre entier  $> 0$ .

$$m' = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{où } v = c - n\varepsilon_v \quad \text{et } n = 1, 2, 3, \dots, 2N \quad (72)$$

Nous voyons avec l'équation (72) que nous ne pouvons plus atteindre une masse infinie et que la vitesse réelle est au moins un quantum de vitesse plus petite que la vitesse limite  $c$ . Tout le monde admettra que  $\varepsilon_v$  est une valeur tellement petite en comparaison avec n'importe quelle vitesse qu'elle peut être négligée la plupart du temps. Néanmoins, elle permet de mettre en évidence certaines frontières en termes de vitesse.

L'univers est en expansion à des vitesses relativistes. Pour un observateur voyageant à la vitesse de la lumière ( $c-\varepsilon_v$ ), la masse totale de l'univers serait beaucoup plus petite. En fait, elle serait perçue comme étant seulement la masse de Planck  $m_p \approx 2.18 \times 10^{-8}$  kg. Si nous voyageons à la même vitesse qu'un photon, nous devons annuler le facteur de Lorentz qui se trouve au dénominateur dans la masse apparente de l'univers  $m_u$  pour constater ce qui arriverait d'un point de vue d'un observateur. Nous multiplions  $m_u$  par le facteur de Lorentz en utilisant les équations (70) et (71).

$$m_u \sqrt{1 - \frac{(c - \varepsilon_v)^2}{c^2}} \approx m_u \sqrt{\frac{1}{N}} \approx m_p \approx 2,18 \times 10^{-8} \text{ kg} \quad (73)$$

La masse de Planck  $m_p$  est habituellement définie par l'équation (65).

Similairement, pour un observateur voyageant à la vitesse de la lumière ( $c-\varepsilon_v$ ), le rayon de courbure apparent de l'univers  $R_u$  semblerait n'être que la longueur de Planck  $L_p \approx 1.6 \times 10^{-35}$  m.

$$R_u \sqrt{1 - \frac{(c - \varepsilon_v)^2}{c^2}} \approx R_u \sqrt{\frac{1}{N}} \approx L_p \approx 1,62 \times 10^{-35} \text{ m} \quad (74)$$

La longueur de Planck  $L_p$  est habituellement définie par l'équation (64).

Encore, pour un observateur voyageant à la vitesse de la lumière ( $c-\varepsilon_v$ ), l'âge apparent de l'univers  $T_u$  semblerait être seulement le temps de Planck  $t_p$ .

$$T_u \sqrt{1 - \frac{(c - \varepsilon_v)^2}{c^2}} \approx \frac{1}{H_0} \sqrt{1 - \frac{(c - \varepsilon_v)^2}{c^2}} \approx \frac{1}{H_0} \sqrt{\frac{1}{N}} \approx t_p \approx 5,39 \times 10^{-44} \text{ s} \quad (75)$$

Le temps de Planck  $t_p$  est habituellement défini par l'équation (76).

$$t_p = \sqrt{\frac{hG}{2\pi c^5}} = \frac{L_p}{c} \approx 5,39 \times 10^{-44} \text{ s} \quad (76)$$

D'un autre côté, pour un observateur au repos, s'il n'y avait pas aucune expansion, pas de mouvement et aucune rotation dans l'univers, la masse totale de l'univers serait seulement la masse de Planck  $m_p$ . La grande partie de l'énergie de l'univers (par conséquent, sa masse) provient de différentes sortes de mouvements relativistes. La démonstration devient la même que pour l'équation (73). Évidemment, s'il n'y avait aucune expansion, le rayon apparent de l'univers serait la longueur de Planck  $L_p$ . S'il n'y avait aucune expansion dans l'univers, l'âge apparent de l'univers serait le temps de Planck  $t_p$ .

## 7. Différents liens entre les dimensions de l'univers

Dirac a fait l'hypothèse que tous les grands nombres sans dimensions qui pouvaient être construits à partir des principales unités naturelles de cosmologie et de la théorie atomique étaient interreliés [6] [7]. Voyons quelques-uns de ces liens à propos de  $m_u$  (la masse apparente de l'univers),  $m_p$  (la masse de Planck),  $R_u$  (le rayon apparent de l'univers),  $L_p$  (la longueur de Planck),  $T_u$  (l'âge apparent de l'univers),  $t_p$  (le temps de Planck) et  $H_0$  (la constante de Hubble).

$$N = \frac{m_u}{m_{ph}} = \frac{m_u^2}{m_p^2} = \frac{m_p^2}{m_{ph}^2} = \frac{m_u R_u}{m_p L_p} = \frac{m_p R_u}{m_{ph} L_p} = \frac{m_u T_u}{m_p t_p} = 6,3 \times 10^{121} \quad (77)$$

$$N = \frac{m_p T_u}{m_{ph} t_p} = \frac{m_u}{m_p t_p H_0} = \frac{m_p}{m_{ph} t_p H_0} = \frac{R_u^2}{L_p^2} = \frac{T_u^2}{t_p^2} = \frac{1}{t_p^2 H_0^2} \approx 6,3 \times 10^{121} \quad (78)$$

Rappelons-nous que  $N$  représente le nombre maximal de photons de plus basse énergie qui puisse exister dans l'univers (si nous avons à convertir la masse entière de l'univers en photons qui auraient pour longueur d'onde la circonférence apparente de l'univers  $2\pi R_u$ ).

Dans les équations (77) et (78), les valeurs des différents paramètres de l'univers peuvent être obtenus de sources imprécises. Un lien précis peut être fait entre le grand nombre  $N$  [5] et la constante de structure fine  $\alpha$ .

$$N = \frac{1}{\alpha^{57}} \approx 6,303419702(84) \times 10^{121} \quad (79)$$

En montrant les équations (77), (78), et (79), notre but était de mettre en évidence le fait qu'il y a des liens étroits entre l'infiniment grand et l'infiniment petit. Une fois que nous sommes au courant de ces liens intéressants, nous pouvons trouver d'autres liens précis avec le grand nombre  $N$ . Plus d'une centaine d'autres équations peuvent être bâties concernant ce grand nombre  $N$  et différents paramètres de l'univers (température, charge, etc.) [30]. D'une manière inverse, nous pouvons trouver des valeurs précises pour différents paramètres de l'univers en égalant l'équation (79) avec d'autres équations donnant  $N$ .

## 8. Conclusion

Dans cet article, nous avons montré différentes manières de calculer la masse apparente de l'univers, le rayon de courbure apparent de l'univers et l'âge de l'univers. Nous avons aussi fait le calcul du quantum de vitesse. Avec ces



paramètres, nous avons utilisé l'hypothèse sur les grands nombres de Dirac pour montrer qu'il y a des liens entre tous ces paramètres.

Nous avons défini un nouveau concept que nous pensons qui doit être introduit en physique : le "quantum de vitesse"  $\varepsilon_v$ . La notion de "quantum de vitesse" nous a rendus conscients qu'il y a une petite différence entre la vitesse réelle de la lumière et la vitesse limite. Pour la plupart des applications, ça ne fait aucune différence de dire que ces deux vitesses sont égales. Malgré tout, dans certains cas spéciaux, il est nécessaire de mettre en évidence la différence. En utilisant le bon sens, nous montrons qu'il est évident qu'on ne peut pas donner plus d'énergie à une masse quelconque qu'il y a d'énergie dans tout l'univers (qui est  $m_u$ ). Aussi, puisque la masse de Planck  $m_p$  est associée au niveau d'énergie le plus haut pour une particule, nous ne pouvons pas donner plus d'énergie à une particule quelconque qu'il y en a de contenue dans la masse de Planck  $m_p$ . Suite à ces découvertes, le "quantum de vitesse"  $\varepsilon_v$  est naturellement introduit.

Il était nécessaire d'introduire "le quantum de vitesse" pour être capable de calculer ce que pourrait être la masse apparente de l'univers, le rayon de courbure apparent de l'univers et l'âge de l'univers d'un point de vue d'un observateur qui voyagerait à la vitesse de la lumière. De manière surprenante, les résultats sont totalement différents à ce que le bon sens pourrait nous paraître. Seule la relativité nous permet d'interpréter correctement les résultats selon le point de vue de l'observateur.

D'un point de vue métrologique, nous atteignons notre but en obtenant précisément des valeurs précises pour différentes dimensions de l'univers. En utilisant ces valeurs, il sera plus facile de voir les différents liens que nous pouvons faire entre les grands nombres de Dirac et l'infiniment petit. Avec des valeurs imprécises, nous pouvons passer à côté de belles occasions de faire ressortir de nouvelles théories.

## 9. Conflits d'intérêt

L'auteur déclare n'avoir aucun conflit d'intérêt en relation avec la publication de cet article.

## 10. Références

- [1] Kragh H (2012) "'The Wildest Speculation of All': Lemaître and the Primeval-Atom Universe", *Astrophysics and Space Science Library*, v. 395, pp. 23-38.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-32254-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-32254-9_3)

- [2] Kragh H (2013) "Big Bang: The Etymology of a Name", *Astronomy & Geophysics*, v. 54, no 2, pp. 2.28–2.30. <https://doi.org/10.1093/astrogeo/att035>
- [3] Einstein A (1917) "Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie", *Springer Link*, pp. 130-139. [https://doi.org/10.1007/978-3-663-19510-8\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-663-19510-8_9)
- [4] Hubble E (1929) "A Relation Between Distance and Radial Velocity Among Extra-Galactic Nebulae", *Proc. N.A.S.*, v. 15, pp. 168-1973. <https://doi.org/10.1073/pnas.15.3.168>
- [5] Mercier C (2019) "Calculation of the Universal Gravitational Constant, of the Hubble Constant, and of the Average CMB Temperature", *Journal of Modern Physics*, v.10, no. 6., pp. 641-662. <https://doi.org/10.4236/jmp.2019.106046>
- [6] Dirac PAM (1938) "A New Basis for Cosmology", *Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, v. 165, no 921, pp. 199-208. <https://doi.org/10.1098/rspa.1938.0053>
- [7] Dirac PAM. (1974) "Cosmological Models and the Large Numbers Hypothesis", *Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, v. 338, no 1615, pp. 439-446. <https://doi.org/10.1098/rspa.1974.0095>
- [8] Mohr PJ, Newell DB et Taylor BN (2016) "NIST-CODATA Internationally Recommended 2014 Values of the Fundamental Physical Constants", *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, v. 45, no 4. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.961r2015>
- [9] Salvatelli V, Andrea M, Laura L-H et Olga M (2013) "New constraints on Coupled Dark Energy from the Planck Satellite Experiment", *Physical Review, D* 88.023531, v. 88, no 2, pp. 9. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.88.023531>
- [10] Carvalho JC (1995) "Derivation of the Mass of the Observable Universe", *International Journal of Theoretical Physics*, v. 34, no 12, pp. 2507-2509. <https://doi.org/10.1007/BF00670782>
- [11] Einstein A (1956) "The Meaning of Relativity", *Physics Today*, v. 9, no 10, p.30. <https://doi.org/10.1063/1.3059795>
- [12] Newton I (1686) "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica", *S. Pepys, Reg. Soc. Praeses*, London, pp. 510. <https://doi.org/10.5479/sil.52126.39088015628399>
- [13] Lemaître G (2013) "Republication of: A homogeneous universe of constant mass and increasing radius accounting for the radial velocity of extra-galactic nebulae", v. 45, no 8, pp. 1635-1646. <https://doi.org/10.1007/s10714-013-1548-3>
- [14] Zichichi A (2000) "From the Planck Length to the Hubble Radius ", *Proceedings of the International School of Subnuclear Physics*, v. 36, pp. 708. <https://doi.org/10.1142/4318>
- [15] Ade PAR et al (2016) "Planck 2015 Results XIII. Cosmological Parameters", *Astronomy & Astrophysics manuscript no. Planck parameters 2015*, v. 594, pp. 1-67. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201525830>

- [16] Bonamente M, Joy MK, La Roque SJ, and Carlstrom JE (2005) "Determination of the Cosmic Distance Scale from Sunyaev-Zel'dovich Effect and Chandra X-ray Measurements of High Redshift Galaxy Clusters", *The Astrophysical Journal*, v. 647, no 1, pp. 1-62. <https://doi.org/10.1086/505291>
- [17] Jarosik N (2011) "Seven-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP\*) Observations: Sky Maps, Systematic Errors, and Basic Results", *The Astrophysical Journal Supplement Series*, v. 192, no 2, pp. 1-15. <https://doi.org/10.1088/0067-0049/192/2/14>
- [18] Friedmann A (1922) "Über die Krümmung des Raumes", *Springer Link*, v. 10, no 1, pp. 377-386. <https://doi.org/10.1007/BF01332580>
- [19] Friedmann A (1924) "Über die Möglichkeit einer Welt mit konstanter negativer Krümmung des Raumes. In: Zeitschrift für Physik", *Springer Link*, v. 21, no 1, pp. 326-332. <https://doi.org/10.1007/BF01328280>
- [20] Robertson HP (1933) "Relativistic cosmology", *Reviews of Modern Physics*, v. 5, no 62, pp. 62-90. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.5.62>
- [21] Walker AG (1937) "On Milne's theory of world's structure", *Proceedings of the London Mathematical Society*, v. 42, no 1, pp. 90-127. <https://doi.org/10.1112/plms/s2-42.1.90>
- [22] Carroll SM (2004) "Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity", *Addison Wesley*, pp. 513. ISBN 0-8053-8732-3
- [23] Einstein A (1916) "The Foundation of the General Theory of Relativity", *Annalen der Physik*, 49. <https://doi.org/10.4324/9780203198711>
- [24] Einstein A (1911) "On the Influence of Gravitation on the Propagation of Light" (Über den Einfluß der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichtes), *Annalen der Physik*, 35, pp 898-908. <https://doi.org/10.1002/andp.19113401005>
- [25] Grøn, Øyvind (2016) "Celebrating the centenary of the Schwarzschild solutions", *American Journal of Physics*, v. 84, no 7, pp. 537. <https://doi.org/10.1119/1.4944031>
- [26] Weinberg S (2005) "Einstein's Mistakes", *Physics Today*, pp. 31-35. <https://doi.org/10.1063/1.2155755>
- [27] Einstein A (1905) "On the Electrodynamics of Moving Bodies" (Zur Elektrodynamik bewegter Körper), *Annalen der Physik*, v. 322, no 10, pp. 891-921. <https://doi.org/10.1002/andp.19053221004>
- [28] Heisenberg W (1927) "Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik", *Springer-Verlag*, vol. 43, no 3-4, pp.172-198. <https://doi.org/10.1007/BF01397280>
- [29] Planck, M. (1899) "Naturliche Masseinheiten", *Der Königlich Preussischen Akademie Der Wissenschaften*, p. 479.
- [30] Mercier C (2016) "Plus d'une centaine de manière d'obtenir le grand nombre N", *Hypothèses et réflexions sur l'univers*, pp. 14, non-publié. <http://www.pragtec.com/physique>