

# L'évolution des photons sur de très longues distances

Pierre Réal Gosselin

2017-09-30

## Résumé

Nous posons l'hypothèse fondamentale que toute radiation électromagnétique se transforme progressivement, évoluant vers, et atteignant après une distance appropriée, la valeur de la radiation cosmique résiduelle soit une longueur d'onde de  $1,873 \text{ mm}$  ou la fréquence de  $160,2 \text{ GHz}$ . Ainsi nous expliquons le décalage vers le rouge  $Z$  de la radiation provenant des galaxies éloignées moyennant les équations classiques de Maxwell et l'énergie quantique des photons. Cette hypothèse est aussi valable lorsque la radiation émise est de longueur d'onde plus grande, ou de fréquence plus basse que celle de la radiation cosmique résiduelle. La loi de Hubble émerge tout naturellement comme conséquence de cette transformation. Suivant cette hypothèse, nous évaluons la constante de Hubble en utilisant les données fournies par le satellite Pioneer tout en expliquant l'anomalie de comportement attribuée à ce satellite. Nous spéculons sur une composition possible de la constante de Hubble et introduisons la surface de Hubble. Ce modèle permet la résolution de quelques situations inexpliquées par la cosmologie actuelle. Nous discutons de la distance limite d'observation des phénomènes cosmologiques. Nous expliquons l'accélération anormale du satellite Pioneer et montrons qu'elle est une constante universelle, la même pour tout satellite.

## Table des matières

<b>Table des matières</b>	<b>2</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>2</b>
<b>Table des figures</b>	<b>3</b>
<b>1 Introduction</b>	<b>4</b>
<b>2 Theorie</b>	<b>7</b>
2.1 Propagation extrême . . . . .	7
2.2 Décalage cosmique . . . . .	12
2.3 Relation entre Visuel et Radiométrique . . . . .	13
<b>3 La constante de Hubble</b>	<b>14</b>
3.1 Pioneer . . . . .	14
3.2 $k$ and $H_0$ . . . . .	15
3.3 Numérisation . . . . .	16
3.4 Longueur et surface de Hubble . . . . .	16
<b>4 Énigmes résolues</b>	<b>18</b>
4.1 Vitesse de récession des céphéides . . . . .	18
4.2 Radiation cosmique résiduelle et supernova . . . . .	18
<b>5 Distance</b>	<b>20</b>
5.1 Le monde observable . . . . .	20
<b>6 Pioneer</b>	<b>21</b>
6.1 Modèles . . . . .	22
6.1.1 Le modèle expansionniste . . . . .	22
6.1.2 Le modèle transformiste . . . . .	23
6.1.3 Comparaison . . . . .	24
6.2 L'effet Doppler . . . . .	24
6.3 Analyse . . . . .	25
<b>7 Conclusion</b>	<b>26</b>
<b>Références</b>	<b>27</b>
<b>A Constantes</b>	<b>29</b>

## Liste des tableaux

1 Surfaces équivalentes . . . . .	18
2 Distances maximales d'observation . . . . .	21

3	Constantes partie I . . . . .	29
4	Constantes partie II . . . . .	30

## **Table des figures**

1	Diverses valeurs de la constante de Hubble . . . . .	19
---	--	----

# 1 Introduction

Interpréter le décalage vers le rouge de la radiation provenant des galaxies éloignées comme résultant de l'effet Doppler implique que ces galaxies s'éloignent de l'observateur. En 1929, Edwin Hubble [10] [26] a montré que la vitesse de récession  $v$  des galaxies était proportionnelle à leur éloignement  $d$  de l'observateur, que ce phénomène était isotrope et proportionnel selon la constante  $H_o$ . Cette constante est évaluée à 73 kilomètres par seconde par Méga parsecs en utilisant les plus récentes données des Céphéides, Cardona [25], des supernova de type I, Dhawan [21] ou les deux et incluant des sources mega maser, Riess [20]. La loi de Hubble s'écrit

$$v = dH_o \quad (1.1)$$

où  $v$  est la vitesse de récession de la source,  $d$  sa distance de l'observateur et  $H_o$  la constante de proportionnalité. Le décalage vers le rouge  $\mathbb{Z}$  dû à la vitesse  $v$  de récession de la galaxie par rapport à la vitesse de propagation de la lumière dans le vide  $c$  est

$$\mathbb{Z} = \frac{v}{c} \quad (1.2)$$

ce qui donne pour la distance en fonction du décalage vers le rouge

$$d = \frac{c\mathbb{Z}}{H_o} \quad (1.3)$$

En fonction des longueurs d'ondes émises  $\lambda_o$  et observées  $\lambda$ , le décalage vers le rouge est

$$\mathbb{Z} = \frac{\lambda - \lambda_o}{\lambda_o} \quad (1.4)$$

Telle interprétation conduit naturellement à considérer que l'univers est en expansion puisque tout ce qui est observé semble s'éloigner et ce, de plus en plus rapidement selon l'éloignement de l'objet observé. Le corollaire de ce raisonnement implique qu'il y a  $1/H_o$  soit environ 13,7 milliards d'années, NASA [15], tout l'univers était concentré en une singularité, un point ultime qui incidemment explosa pour donner l'univers expansionniste que nous observons présentement.

Comme l'effet Doppler représente le rapport entre la vitesse de la source émettrice et la vitesse de propagation de la lumière, ce rapport ne peut évidemment pas dépasser l'unité, la vitesse de la lumière étant vue comme la limite ultime de propagation des interactions dans l'univers. Or on observe de plus en plus de galaxies dont la valeur de  $\mathbb{Z}$  dépasse l'unité voire des valeurs de 12 selon de récentes observations, Bouwens [4], Brammer [5]. L'interprétation Doppler du décalage vers le rouge de la lumière qui provient de ces galaxies éloignées est alors inappropriée. Et l'inférence qui en est tirée, soit l'explosion de l'univers, ne peut conséquemment tenir.

**T**outefois, depuis Hubble [10] et Lemaître [12] [13] [14] [22], la quasi-totalité des théoriciens de la cosmologie accepte l'idée de l'expansion de l'univers comme base explicative du phénomène. Mais alors l'expansion n'a pas le même sens que précédemment soit une explosion de la masse de l'univers dans l'espace. On fait plutôt appel à un concept plus ésotérique soit celui de l'expansion de l'espace lui-même qui est alors vu par lunette de la Relativité générale. Ainsi, le concept d'expansion de l'espace explique le décalage vers le rouge par l'étirement que subit la lumière durant son périple depuis la source éloignée jusqu'à nous. Supposer que l'espace est élastique est du domaine spéculatif car il n'y a aucune expérience que l'on puisse faire pour en démontrer la véracité. On ouvre alors la porte à l'élaboration de modèles d'univers des plus exotiques. Cela va même à remettre en question les propriétés jusque là connues de la matière : Cameron [6], Terazawa [23]. Pourquoi les photons ou ondes électromagnétiques, eux seuls seraient dépendants de la géométrie élastique de l'espace, alors que les dimensions intrinsèques des atomes, des molécules et des structures matérielles ne le seraient pas ?

**L**'observation de la radiation lumineuse ou des photons dans l'univers local, c'est-à-dire aussi bien dans le laboratoire que dans l'espace qui nous entoure, nous montre que les photons sont comme des particules ou comme des ondes qui conservent leur intégrité indéfiniment. Contrairement aux noyaux atomiques ou à certaines particules élémentaires qui ont des durées de vies mesurables, la durée de vie d'un photon nous semble infinie. On pense qu'il en est ainsi puisque la vitesse de propagation de la lumière est considérée comme la limite ultime de propagation des interactions dans l'univers ce qui implique que le temps ne peut exister pour le photon, c'est-à-dire qu'il est immuable et ne peut se transformer d'aucune manière.

**R**ien ne nous permet de supposer que les lois de la nature soient différentes à des distances extrêmes de ce qu'elles sont dans notre environnement immédiat. Alors en supposant que ce qui se passe à des distances extrêmes est identique à ce qu'on observe localement et à fortiori pour tout ce qui s'y trouve entre, on pourrait admettre que les photons émis à de très grandes distances se transforment lentement durant leur périple jusqu'à nous. Ainsi le décalage vers le rouge se justifie autrement que par l'élasticité de l'espace. Le seul laboratoire qui puisse vérifier telle transformation c'est l'univers lui-même puisque cela nécessite des temps d'expérimentation de l'ordre de plusieurs milliard d'années. Nous proposons d'expliquer le décalage vers le rouge et donc la loi de Hubble en posant comme hypothèse que les photons ou les ondes électromagnétiques se transforment en fonction du temps c'est-à-dire de la distance parcourue. C'est une propriété intrinsèque, ne nécessitant aucun intermédiaire ou catalyseur, aucune interaction avec la matière. Une telle transformation n'est pas décelable au niveau local mais uniquement au niveau de l'univers observé à de très grandes distances. Étant donné que le photon est sujet à transformation, une certaine durée temporelle lui est alors nécessaire ce qui implique que la vitesse de la lumière n'est pas la vitesse maximale de propagation des interactions dans l'univers. Toutefois cette limite doit tout de même être extrêmement proche de celle-ci à cause du temps extrêmement long requis pour la transformation des photons ainsi que le fait que toutes les expériences locales demeurent

bien expliquées en utilisant la valeur actuelle de la vitesse de la lumière comme limite maximale. Le photon est donc soumis, à l'instar des autres habitants du monde atomique, aux transformations structurelles. Une telle proposition nous semble beaucoup plus acceptable et énormément moins ésotérique que l'élasticité de l'espace.

L'observation de la radiation électromagnétique qui provient du ciel occupe une très large bande spectrale, bien plus étendue que la partie visible la plus accessible à l'oeil. Tout particulièrement, les radios astronomes A. Penzias et R. Wilson [19] ont découvert en 1964 la présence d'une radiation uniforme et isotrope d'une longueur d'onde de 1,873 mm soit une fréquence micro onde de 160,2 GHz laquelle correspond à la température de 2,72548 °K, Fixen [9]. Cette radiation ne peut être associée à aucun objet particulier et sa présence est expliquée comme conséquence normale du " Big Bang " survenu il y a 13,7 milliards d'années. Les photons très énergétiques au départ de ce processus auraient été étirés progressivement durant leur parcours, et par conséquent refroidis par suite de la dilatation de l'espace. Aujourd'hui nous les observerions comme la radiation résiduelle nommée en anglais " Cosmic Microwave Background " radiation (CMB).

Comme nous proposons que les photons ou ondes électromagnétiques se transforment tout au long de leur périple, nous devons toutefois considérer que ce processus doit aboutir à un point terminal au-delà duquel il ne se produit plus de transformation. Sans quoi, un tel processus continuant indéfiniment produirait une infinité de photons d'énergie nulle : une situation qui ne se conçoit pas dans la nature des choses. Nous proposons donc que cette limite de transformation de la radiation, que ce point ultime correspond justement à cette valeur observée de la radiation résiduelle CMB. Ainsi, l'ensemble des radiations émises par la multitude des sources finit par se fondre dans une sorte de brouillard qui définit l'espace maximal observable.

Puisque l'émission des photons n'est pas limitée aux valeurs supérieures de la radiation résiduelle CMB, les photons dont la longueur d'onde est supérieure à 1,872 mm eux aussi se transformeront vers cette limite, toutefois en sens inverse. Ce phénomène n'a pas encore été observé vu la l'absence d'infrastructures capables de produire des spectrogrammes appropriés dans le domaine de la radio astronomie. Des radio télescopes de plus grande envergure que ceux dont on dispose actuellement sont nécessaires pour y parvenir.

## 2 Theorie

Considérons une source de radiation de fréquence supérieure à celle de la radiation CMB. L'énergie globale du flux émis par telle source diminue en fonction du temps ou de la distance, d'une part, par l'éjection de photon CMB (1,873 mm ou 190,2 GHz) lesquels disparaissent du flux en se confondant avec la radiation CMB et d'autre part, par un réalignement du nombre de photons qui s'accroît ainsi que de leur énergie propre qui diminue. Dans le cas où la radiation émise est de fréquence inférieure à celle de la radiation CMB, le scénario inverse a lieu. D'une part, des photons provenant de la radiation CMB se joignent au flux et, d'autre part, il y a un réalignement du nombre de photons qui diminue et leur énergie propre qui s'accroît. Dans ce contexte, nous utilisons les équations de Maxwell et l'énergie quantique du photon pour construire notre modèle.

### 2.1 Propagation extrême

Les propriétés de propagation d'une onde électromagnétique dans le vide sur d'extrêmes distances nous sont inconnues. Nous supposons qu'elles sont les mêmes localement et à très grandes distances et en ce sens les lois de l'électromagnétisme de Maxwell sont valides en tout lieu. Dans le cas d'une onde plane de fréquence  $\nu$ , phase  $\theta$  se propageant à la vitesse  $c$  dans la direction  $\vec{k}$ , le champ électrique  $\vec{E}$  ainsi que le champ magnétique  $\vec{H}$  est une fonction unique de la distance  $d$  et du temps  $t$ .

$$\vec{E} = \vec{i} E_x(d, t) \quad (2.1)$$

$$E_x = E \exp [j\omega(t - \frac{d}{c}) + \theta] \quad (2.2)$$

$$\vec{H} = \vec{j} H_y(d, t) \quad (2.3)$$

$$H_y = H \exp [j\omega(t - \frac{d}{c}) + \theta] \quad (2.4)$$

Le vecteur de Poynting représente le flux d'énergie se propageant avec l'onde

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} \quad (2.5)$$

lequel vaut pour l'onde plane

$$\vec{S} = \vec{k} \frac{E^2}{\mu_0 c} \quad (2.6)$$

Entre des points extrêmement éloignés, le vecteur de Poynting ne peut représenter adéquatement le principe de conservation de l'énergie. En effet on observe le décalage vers le rouge soit une variation de la longueur d'onde, paramètre absent de l'expression de  $\vec{S}$ . Le vecteur de Poynting représente certainement la moyenne de l'énergie locale des photons qui composent l'onde, chacun d'énergie

$$E = h \nu \quad (2.7)$$

où  $h$  est la constante de Planck et  $\nu$  est la fréquence du photon. Lors du passage à des distances extrêmes, il serait plus approprié de considérer la variation de la densité  $N$  des photons et leur énergie individuelle afin de conserver l'équilibre énergétique. Ainsi la densité d'énergie

$$\xi = N h \nu \quad (2.8)$$

serait plus représentative sur des distances extrêmes autorisant la variation de  $N$  et  $\nu$  en fonction de la distance  $d$ . Selon notre hypothèse, nous considérons une décroissance de la densité d'énergie  $\xi$  selon la distance de parcours laquelle est directement proportionnelle à la densité photonique. La constante de proportionnalité  $k[m^{-1}]$  est le taux de dissipation énergétique normalisé avec l'énergie du photon CMB  $h\nu_{cmb}$ . On écrit

$$\frac{\partial \xi}{\partial d} = -k N_d h \nu_{cmb} \quad (2.9)$$

ce qui donne

$$h \left( N_d \frac{\partial \nu_d}{\partial d} + \nu_d \frac{\partial N_d}{\partial d} \right) = -k N_d h \nu_{cmb} \quad (2.10)$$

$$N_d \left( k \nu_{cmb} + \frac{\partial \nu_d}{\partial d} \right) + \nu_d \frac{\partial N_d}{\partial d} = 0 \quad (2.11)$$

La solution de cette équation différentielle est :

$$N_d = \alpha e^{\frac{d}{\eta}} + C_1 \quad (2.12)$$

$$\nu_d = \beta e^{-\frac{d}{\eta}} + C_2 \quad (2.13)$$

où

$$\frac{\partial N_d}{\partial d} = \frac{\alpha}{\eta} e^{\frac{d}{\eta}} \quad (2.14)$$

$$\frac{\partial \nu_d}{\partial d} = -\frac{\beta}{\eta} e^{-\frac{d}{\eta}} \quad (2.15)$$

substituant dans (2.11), on obtient

$$\alpha k \nu_{cmb} e^{\frac{d}{\eta}} + k \nu_{cmb} C_1 - \frac{\beta C_1 e^{-\frac{d}{\eta}}}{\eta} + \frac{C_2 \alpha e^{\frac{d}{\eta}}}{\eta} = 0 \quad (2.16)$$

Cette équation étant vraie pour tout  $d$  implique que les constantes valent

$$C_1 = 0 \quad (2.17)$$

$$C_2 = -\eta k \nu_{cmb} \quad (2.18)$$

Les conditions aux limites étant à  $d = 0$  :  $N_d = N_o$ ,  $\nu_d = \nu_o$  les coefficients valent

$$\alpha = N_o \quad (2.19)$$

$$\beta = \nu_o + \eta k \nu_{cmb} \quad (2.20)$$



et finalement

$$N_d = N_o e^{\frac{d}{\eta}} \quad (2.21)$$

$$v_d = (v_o + \eta k v_{cmb}) e^{-\frac{d}{\eta}} - \eta k v_{cmb} \quad (2.22)$$

$$v_d = v_o e^{-\frac{d}{\eta}} + \eta k v_{cmb} (e^{-\frac{d}{\eta}} - 1) \quad (2.23)$$

La longueur d'onde est

$$\lambda_d = \frac{\lambda_o}{\frac{\eta k \lambda_o}{\lambda_{cmb}} (e^{-\frac{d}{\eta}} - 1) + e^{-\frac{d}{\eta}}} \quad (2.24)$$

Introduisant le décalage vers le rouge, à la distance  $d$

$$\mathbb{Z}_d = \frac{v_o - v_d}{v_d} \quad (2.25)$$

et à la distance correspondant à la radiation CMB

$$\mathbb{Z}_{cmb} = \frac{v_o - v_{cmb}}{v_{cmb}} \quad (2.26)$$

La longueur d'onde s'écrit

$$\lambda_d = \frac{\lambda_o}{\frac{\eta k}{\mathbb{Z}_{cmb} + 1} (e^{-\frac{d}{\eta}} - 1) + e^{-\frac{d}{\eta}}} \quad (2.27)$$

la fréquence

$$v_d = v_o \left[ \left( 1 + \frac{\eta k}{\mathbb{Z}_{cmb} + 1} \right) e^{-\frac{d}{\eta}} - \frac{\eta k}{\mathbb{Z}_{cmb} + 1} \right] \quad (2.28)$$

et la distance (2.22)

$$d = \eta \ln \frac{v_o + \eta k v_{cmb}}{v_d + \eta k v_{cmb}} \quad (2.29)$$

$$d = \eta \ln \frac{(\mathbb{Z}_{cmb} + 1) + \eta k}{\frac{(\mathbb{Z}_{cmb} + 1)}{(\mathbb{Z}_d + 1)} + \eta k} \quad (2.30)$$

Remarquons que le cas où la fréquence de la source est inférieure à la fréquence CMB, on doit changer dans ces équations le signe de  $k$  (2.9) et de  $\eta$  (2.12), (2.13) le produit  $\eta k$  ne changeant pas.

**P** uisque le phénomène étudié se produit sur de très longues distances, il est normal de s'attendre à ce que  $\eta$ , la constante de transformation selon la distance soit numériquement très grande. Nous pouvons alors considérer, que pour de courtes distances,

l'exponentielle puisse être approximée par son développement en série et ne conserver que les deux premiers termes. Partant de l'équation (2.22), on obtient

$$e^{\frac{d}{\eta}} = (v_o + \eta k v_{cmb}) / (v_d + \eta k v_{cmb}) \approx 1 + d/\eta \quad (2.31)$$

$$d = \eta (v_o - v_d) / (v_d + \eta k v_{cmb}) \quad (2.32)$$

$$d = \eta (v_o - v_d) / [v_d(1 + \frac{\eta k v_{cmb}}{v_d})] \quad (2.33)$$

$$d = \frac{\eta \mathbb{Z}_d}{1 + \eta k \frac{\mathbb{Z}_d + 1}{\mathbb{Z}_{cmb} + 1}} \quad (2.34)$$

Dans l'univers local, ce qui veut dire sur de très petites distances, nous pouvons assumer que la densité d'énergie (2.8) est constante et alors la décroissance (2.9) est nulle. Le paramètre de dissipation énergétique  $k$  étant nul, l'expression de la distance (2.34) devient dans cette situation

$$d = \eta \mathbb{Z}_d \quad (2.35)$$

Nous avons ici la loi de Hubble et pour lui donner sa forme classique, il suffit de poser

$$\eta = c/H_o \quad (2.36)$$

Substituant  $k$  et  $\eta$  en (2.30), la distance dans l'environnement local est

$$d = \frac{c}{H_o} \ln(\mathbb{Z}_d + 1) \quad (2.37)$$

La longueur d'onde (2.27) devient

$$\lambda_d = \lambda_o e^{\frac{dH_o}{c}} = \lambda_o (\mathbb{Z}_d + 1) \quad (2.38)$$

et la densité photonique (2.21)

$$N_d = N_o e^{\frac{dH_o}{c}} = N_o (\mathbb{Z}_d + 1) \quad (2.39)$$

Considérons l'expression de la fréquence (2.22) et voyons comment elle varie selon une variation de la distance de parcours. Cette distance est autrement celle du temps de parcours soit  $d = ct$ . Dérivons par rapport au temps

$$\partial v_d / \partial t = (-c/\eta)(v_d + \eta k v_{cmb}) \quad (2.40)$$

$$\partial v_d / \partial t = -c v_d / \eta - k c v_{cmb} \quad (2.41)$$

Remplaçant  $\eta$  par sa valeur  $c/H_o$

$$\partial v_d / \partial t + k c v_{cmb} = -v_d H_o \quad (2.42)$$

on obtient l'expression de la constante de Hubble

$$H_o = -\frac{\partial v_d / \partial t}{v_d} - \frac{k c v_{cmb}}{v_d} \quad (2.43)$$

ou encore

$$H_o = -\frac{\partial v_d / \partial t}{v_d} - k c \frac{(\mathbb{Z}_d + 1)}{(\mathbb{Z}_{cmb} + 1)} \quad (2.44)$$

**S**oit un rayonnement se propageant sans divergence sur une très grande distance où l'énergie est conservée. Considérons un volume initial  $V_o$  recouvrant une densité de photons  $N_o$  identiques de même longueur d'onde  $\lambda_o$  et, à distance  $d$ , les mêmes éléments, un volume  $V_d$  recouvrant une densité de photons  $N_d$  identiques de même longueur d'onde  $\lambda_d$ . Sachant que la longueur d'onde et la densité photonique se transforment selon les équations (2.38), (2.39), l'énergie totale dans chacun de ces deux volumes est

$$E_o = N_o V_o h \nu_o = N_o V_o h c / \lambda_o \text{ [joule]} \quad (2.45)$$

$$E_d = N_d V_d h \nu_d = N_o (\mathbb{Z} + 1) V_d h c / [\lambda_o (\mathbb{Z} + 1)] = N_o V_d h c / \lambda_o \text{ [joule]} \quad (2.46)$$

Alors, des volumes égaux renferment des quantités d'énergie égales. La densité énergétique, l'énergie par unité de volume, est la même dans les deux cas.

$$\rho_o = E_o / V_o = E_d / V_d = \rho_d \text{ [joule/metre}^3\text{]} \quad (2.47)$$

La densité énergétique est conservée alors que la densité photonique croît.

**C**onsidérons un flux de photons  $S$  traversant normalement une surface  $s$ . Après un temps  $t$ , ces photons au nombre de  $n$ , occuperont un parallépipède de volume

$$V = sct \text{ [metre}^3\text{]} \quad (2.48)$$

et la densité photonique y sera

$$N = \frac{n}{sct} \text{ [photons/metre}^3\text{]} \quad (2.49)$$

Chaque photon étant d'énergie  $h\nu$ , l'énergie totale  $E$  ayant traversé la surface et se retrouvant dans le volume  $V$  est

$$E = nh\nu = Nsct h \nu \text{ [joule]} \quad (2.50)$$

Cette énergie traversant la surface  $s$  durant le temps  $t$ , y constitue le flux

$$S = \frac{E}{st} = Nch\nu = \frac{Nhc^2}{\lambda} \text{ [joule/seconde/metre}^2\text{]} \text{ ou [watt/metre}^2\text{]} \quad (2.51)$$

On définit le flux spécifique  $f_\nu$  comme le rapport du flux à la fréquence

$$f_\nu = \frac{S}{\nu} = Nch \text{ [joule/metre}^2\text{]} \quad (2.52)$$

dont l'unité de mesure est le Jansky valant

$$1 \text{ Jansky} = 10^{-26} \text{ [joule/metre}^2\text{]} \text{ ou [watt/metre}^2\text{/hertz]} \quad (2.53)$$

La densité photonique correspondante est

$$N = \frac{f_\nu}{ch} \text{ [photons/metre}^3\text{]} \quad (2.54)$$

et la densité énergétique est

$$\rho = Nh\nu = \frac{\nu f_\nu}{c} = \frac{S}{c} \text{ [joule/metre}^3\text{]} \quad (2.55)$$

On définit la densité de puissance  $f_\lambda$  comme le rapport du flux à la longueur d'onde

$$f_\lambda = \frac{S}{\lambda} = \frac{\nu f_\nu}{\lambda} = \frac{\nu^2 f_\nu}{c} = \frac{c f_\nu}{\lambda^2} = \frac{c\rho}{\lambda} = \nu\rho \text{ [watt/metre}^3\text{]} \quad (2.56)$$

$$f_\nu = \frac{\lambda^2 f_\lambda}{c} = \frac{c f_\lambda}{\nu^2} \quad (2.57)$$

$$S = \lambda f_\lambda = \nu f_\nu \quad (2.58)$$

L'onde électromagnétique se transformant sur de longues distances et par conséquent, le nombre et la fréquence des photons, examinons le comportement des flux sur de longues distances, soit depuis l'origine  $o$  et subséquemment à la distance  $d$ . Le flux spécifique à l'origine est selon (2.52))

$${}^o f_\nu = {}^o N_o c h \quad (2.59)$$

et à distance  $d$

$${}^d f_\nu = {}^d N_o c h = {}^o N_o (\mathbb{Z} + 1) c h = {}^o f_\nu (\mathbb{Z} + 1) \quad (2.60)$$

Et pour le flux  $S$  (2.58) à l'origine

$${}^o S = \nu_o {}^o f_\nu \quad (2.61)$$

et à la distance  $d$

$${}^d S = \nu_d {}^d f_\nu = [\nu_o / (\mathbb{Z} + 1)] [{}^o f_\nu (\mathbb{Z} + 1)] = \nu_o {}^o f_\nu \quad (2.62)$$

Le flux est conservé suivant la distance alors que le flux spécifique s'ajuste. De même, la densité énergétique ne change pas selon la distance mais la densité de puissance s'ajuste

$${}^o S = {}^d S = \nu_o {}^o f_\nu = \nu_d {}^d f_\nu = \lambda_o {}^o f_\lambda = \lambda_d {}^d f_\lambda = {}^o \rho c = {}^d \rho c \quad (2.63)$$

## 2.2 Décalage cosmique

Selon notre modèle, les photons dont la fréquence est supérieure à celle de la radiation cosmique résiduelle perdent leur énergie progressivement en fonction de la distance, leur fréquence diminue ou ce qui revient au même, leur longueur d'onde augmente jusqu'à atteindre celle de la radiation cosmique résiduelle. On observe dans ce cas un décalage vers le rouge de la radiation. À l'inverse les photons dont la fréquence est inférieure à celle de la radiation cosmique résiduelle gagnent de l'énergie progressivement en fonction de la distance et leur fréquence augmente ou ce qui revient au même, leur longueur d'onde diminue jusqu'à atteindre celle de la radiation cosmique résiduelle. On observera alors un décalage vers le bleu de la radiation. Afin de bien distinguer cet

effet cosmologique de l'effet Doppler dû au mouvement intrinsèque des sources, on considérera un "décalage cosmique" plutôt qu'un "décalage vers le rouge ou vers le bleu". Ce décalage cosmique sera  $> 0$  ou  $< 0$  selon qu'il est vers le rouge ou le bleu. On réservera le "décalage vers le rouge ou le bleu" pour un effet intrinsèque dépendant de la vitesse de l'objet. Pour les longueur d'ondes plus petites que la radiation CMB, le décalage cosmique  $\mathbb{Z}_d$  est une valeur comprise entre zéro et la valeur du décalage  $\mathbb{Z}_{cmb}$ , lequel peut atteindre une valeur maximale infinie ( $\lambda_o = 0$ ). Pour les longueur d'ondes plus grandes que la radiation CMB le décalage cosmique  $\mathbb{Z}_d$  qui est une valeur négative est compris entre zéro et la valeur du décalage cosmique  $\mathbb{Z}_{cmb}$  lequel peut atteindre la valeur minimale de -1 ( $\lambda_o = \infty$ ).

### 2.3 Relation entre Visuel et Radiométrique

Considérons une source émettant des radiations sous une longueur d'onde plus courte que celle de la radiation cosmique résiduelle, par exemple, visible,  $\lambda_{o,v}$ . Considérons de même qu'elle émet aussi des radiations sous une longueur d'onde plus grande que celle de la radiation cosmique résiduelle, par exemple, radiométrique,  $\lambda_{o,r}$ . Dans l'univers local, ces deux radiations, après avoir parcouru une distance commune  $d$ , se seront transformées selon l'expression (2.38) comme suit :

$$\lambda_{d,v} = \lambda_{o,v} e^{\frac{dH_o}{c}} \quad (2.64)$$

$$\lambda_{d,r} = \lambda_{o,r} e^{-\frac{dH_o}{c}} \quad (2.65)$$

Éliminant la distance dans ces deux équations, nous obtenons la relation suivante :

$$\lambda_{o,v} \lambda_{o,r} = \lambda_{d,v} \lambda_{d,r} = \text{Constante} \quad (2.66)$$

Introduisant la définition du décalage cosmique, on obtient la relation suivante entre les décalages cosmiques visuels  $\mathbb{Z}_v$  et radiométriques  $\mathbb{Z}_r$  de ces deux radiations, soit :

$$\mathbb{Z}_r = \frac{-1}{1 + \frac{1}{\mathbb{Z}_v}} \quad (2.67)$$

Cette expression est symétrique et les  $\mathbb{Z}$  peuvent être interchangés.

### 3 La constante de Hubble

Depuis sa découverte, la constante de Hubble a fait l'objet d'une polémique concernant sa valeur probable à savoir une valeur basse ou une valeur élevée. La plage concernée s'étend de  $50 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$  à  $100 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ . La mesure de cette constante dépend essentiellement de la détermination de la distance de la source observée laquelle est assez difficile à mesurer. L'observation des Céphéides est toujours le moyen le plus approprié dont on dispose pour effectuer cette mesure. Ces étoiles dont la luminosité varie de façon périodique atteignent une luminosité maximale selon la loi de Leavitt. Pour cette raison elles constituent dans l'univers local des chandelles standard définissant ainsi une échelle de distance. Pour l'observation au delà de l'univers local, c'est à dire hors de notre galaxie, on utilise les propriétés d'autres objets cosmiques comme les supernova de type Ia (SNIa), les sources d'eau Maser ou encore les étoiles binaires éclipsantes. Ces autres objets permettent l'extension de l'échelle de distance dont la précision s'affine au fur et à mesure que les techniques de mesure se précisent. Les plus récentes mesures faites par Riess [20] pointent vers la valeur de  $H_0 = 73,02 \pm 1,79 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$  ou  $2,366417 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}$

#### 3.1 Pioneer

On a constaté que le satellite Pioneer 10 subissait une décélération constante depuis qu'il a quitté le système solaire et ce jusqu'au moment où on a cessé de communiquer avec sans qu'aucune explication satisfaisante n'ait été formulée, Turyshev et Toth [24]. En effet le signal destiné à mesurer la vitesse d'éloignement du satellite par rapport au système solaire en utilisant l'effet Doppler montre une dérive constante de cet effet. Alors que le satellite poursuit sa course en s'éloignant du soleil, l'explication de cette dérive conduit à considérer que la vitesse du satellite diminue tout comme s'il subissait une force le ralentissant de façon constante alors qu'il n'y a aucun objet qui ne puisse l'influencer.

La distance et la vitesse du satellite sont déterminées de manière très précise par l'usage de deux signaux dans la bande S soit de fréquence  $\sim 2,1 \text{ GHz}$  vers le satellite et de  $\sim 2,3 \text{ GHz}$  pour la réception alors que la stabilité et la précision du signal est indépendante des équipements de bord du satellite. Puisque le satellite est hors du système solaire, il devrait poursuivre sa course de façon balistique selon les lois de la mécanique classique. Durant cette phase du parcours du satellite, on a observé une variation de la fréquence de  $5,99 \pm 0,01 \times 10^{-9} \text{ Hz s}^{-1}$  soit une dérive vers une fréquence plus élevée. Interprétée comme un effet Doppler, elle représente une décélération du satellite de  $8,74 \pm 1,33 \times 10^{-10} \text{ m s}^{-2}$ . Nous considérons que cette dérive n'est nulle autre que l'effet de la transformation du signal électromagnétique selon le mécanisme que nous avons développé.

Il est clair que si le satellite ralentit, on observera un décalage vers le bleu du signal Doppler déjà décalé dans le rouge parce que le satellite s'éloigne de nous. Nous savons suivant la logique de la mécanique classique Newtonienne que le satellite ne ralentit pas

mais vogue toujours à vitesse constante. La distance aller-retour du signal entre la terre et le satellite s'accroît constamment produisant ainsi la dérive qui réduit le décalage vers le rouge de manière constante. Or la fréquence moyenne du signal électromagnétique que nous estimons à  $\sim 2,19 \text{ GHz}$  est bien inférieure à la fréquence de la radiation cosmique résiduelle CMB qui est de  $160,2 \text{ GHz}$ . C'est pourquoi la transformation photonique augmente la fréquence du signal ou de façon équivalente diminue sa longueur d'onde vers celle de la radiation cosmique résiduelle. De là la dérive vers le bleu et la fausse impression du ralentissement du satellite. Le comportement énigmatique du satellite Pioneer s'explique et confirme notre hypothèse de la transformation spatiale de l'onde électromagnétique.

### 3.2 k and $H_o$

La dérive observée du signal du satellite Pioneer nous permet d'évaluer le coefficient de dissipation  $k$ . Tenant compte du changement de signe de  $k$  et  $\eta$ , l'expression (2.41) donne

$$k = (\partial v_d / \partial t - v_d H_o) / (c v_{cmb}) \quad (3.1)$$

Le coefficient de dissipation vaut

$$k = \frac{5,99 \times 10^{-9} - 2,19 \times 10^9 \times 2,366417 \times 10^{-18}}{2,997925 \times 10^8 \times 1,602 \times 10^{11}} \quad (3.2)$$

$$k = 1,681453 \times 10^{-29} m^{-1} \quad (3.3)$$

Dans l'univers local, soit sur de très petites distances, ce qui est le cas pour le satellite Pioneer, avec le coefficient de dissipation  $k = 0$ , l'équation (3.1) nous donne comme valeur de la constante de Hubble locale

$${}^k H_o = \frac{\dot{v}_d}{v_d} \quad (3.4)$$

$${}^k H_o = \frac{5,99 \times 10^{-9}}{2,19 \times 10^9} = 2,735159 \times 10^{-18} s^{-1} = 84,39 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1} \quad (3.5)$$

Cette valeur est très proche de  $85 \pm 5 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$  trouvée par Willick [3] selon une autre mesure obtenue à partir des Céphéides.

On remarque que le rapport entre la valeur mesurée par Riess [20] et la valeur locale est proche de la moitié de la racine carrée de trois soit

$$H_o / {}^k H_o = 2,366417 \times 10^{-18} / 2,735159 \times 10^{-18} = 73,02/84,39 \quad (3.6)$$

$$H_o / {}^k H_o = 0,865184 \sim \sqrt{3}/2 \quad (3.7)$$

Il semble donc que la polémique concernant la valeur de la constante de Hubble serait simplement dûe au fait de mesures locales ou découlant de mesures faites à de plus grandes distances.

### 3.3 Numérisation

Lorsque possible, il est intéressant d'exprimer un paramètre important en fonction de constantes fondamentales bien établies. Nous exprimons ainsi la constante de Hubble locale comme une combinaison de constantes fondamentales, respectant en cela les unités et recherchant la valeur mesurée. La composition de cette constante apparaît alors comme

$${}^{k0}H_o = \frac{\alpha R_\infty^2 \left(\frac{\hbar G}{c}\right)^{\frac{1}{2}}}{(2\pi)^4} \quad (3.8)$$

où  $\alpha$  est la constante de structure fine,  $R_\infty$  est la constante de Rydberg,  $\hbar$  est la constante réduite de Planck,  $G$  est la constante de gravitation universelle et  $c$  est la vitesse de la lumière. Utilisant les valeurs publiées par CODATA [7], Wikipedia [27] et qu'on retrouve à l'appendice A, on obtient pour la constante de Hubble locale

$${}^{k0}H_o = 2,731933 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1} = 84,2987 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1} \quad (3.9)$$

Se référant aux équations (3.6) et (3.7), nous définissons la constante de Hubble comme

$$H_o = \frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{\alpha R_\infty^2 \left(\frac{\hbar G}{c}\right)^{\frac{1}{2}}}{(2\pi)^4} \quad (3.10)$$

$$H_o = 2,365923 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1} = 73,00 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1} \quad (3.11)$$

Il s'agit là de la même valeur que celle publiée par Riess [20] soit  $73,02 \pm 1,79 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ,

vu que la valeur des fréquences de communication avec le satellite Pioneer n'est pas connue très précisément, l'évaluation du coefficient de dissipation (3.2), peut varier quelque peu, alors nous fixons arbitrairement sa valeur à

$$k = \frac{5}{3} \times 10^{-29} \text{ m}^{-1} \quad (3.12)$$

Dans ce contexte, la longueur de Hubble vaut

$$\eta = 1,267127 \times 10^{26} \text{ m} = 4,1065 \text{ Gpc} \quad (3.13)$$

et les produits

$$k c = 5 \times 10^{-21} \text{ s}^{-1} \quad (3.14)$$

$$\eta k = 2,112 \times 10^{-3} \quad (3.15)$$

$$\eta k v_{cmb} = 338,3 \text{ MHz} \quad (3.16)$$

### 3.4 Longueur et surface de Hubble

Introduisant la longueur de Planck

$$\ell_p = \left(\frac{G\hbar}{c^3}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.17)$$



dans l'expression précédente (3.8), on écrit la longueur de Hubble locale comme

$${}^{k0}\eta = \frac{c}{{}^{k0}H_o} = \frac{(2\pi)^4}{\alpha R_\infty^2 \ell_p} \quad (3.18)$$

et la longueur de Hubble

$$\eta = \frac{c}{H_o} = \frac{c}{\frac{\sqrt{3}}{2} x {}^{k0}H_o} = \frac{2\sqrt{3}}{3} x {}^{k0}\eta \quad (3.19)$$

Nous définissons les valeurs réduites suivantes

$$\tilde{\alpha} = \frac{\alpha}{2\pi} \quad (3.20)$$

$$\tilde{R}_\infty = \frac{R_\infty}{2\pi} \quad (3.21)$$

$$\tilde{\ell}_p = \frac{\ell_p}{2\pi} \quad (3.22)$$

lesquelles offrent une présentation plus élégante

$${}^{k0}\eta = \left( \tilde{\alpha} \tilde{R}_\infty^2 \tilde{\ell}_p \right)^{-1} \quad (3.23)$$

La longueur de Hubble vaut  $1,267127 \times 10^{26}$  mètres ou  $4,1065$  Gpc alors que la longueur locale de Hubble vaut  $1,097364 \times 10^{26}$  mètres ou  $3,5563$  Gpc.

**O**n remarque que les chiffres significatifs de la longueur locale de Hubble correspondent à peu de chose près à ceux de la constante de Rydberg soit  $1,0973731568539(55) \times 10^7 m^{-1}$ . Nous définissons la surface réduite de Hubble locale  ${}^{k0}\tilde{\sigma}_H$  comme le rapport de la longueur de Hubble locale à la constante de Rydberg soit

$${}^{k0}\tilde{\sigma}_H = \frac{{}^{k0}\eta}{R_\infty} \quad (3.24)$$

$${}^{k0}\tilde{\sigma}_H = 10^{19} m^2 \quad (3.25)$$

La surface de Hubble locale correspondante est

$${}^{k0}\sigma_H = 2\pi {}^{k0}\tilde{\sigma}_H \quad (3.26)$$

$${}^{k0}\sigma_H = \left( \tilde{\alpha} \tilde{R}_\infty^3 \tilde{\ell}_p \right)^{-1} \quad (3.27)$$

$${}^{k0}\sigma_H = 2\pi 10^{19} m^2 \quad (3.28)$$

Afin de fixer les idées, considérons des équivalences géométriques simples de la surface locale de Hubble. En particulier, celle-ci correspond à celle d'une sphère d'un rayon  $\sqrt{5}$  Gigamètres ou  $2\,236\,068$  kilomètres ou  $0,015$  UA soit  $3,21$  fois le rayon solaire.

Unité de mesure	Symbole	Valeur	Carré (côté)	Disque (rayon)	Sphère (rayon)
Mètre	m	1	$7,93 \times 10^9$	$4,47 \times 10^9$	$2,24 \times 10^9$
Terre-Lune	TL	$3,84 \times 10^8$	20,62	11,63	5,82
Rayon solaire	RS	$6,96 \times 10^8$	11,39	6,43	3,21
Unité astronomique	UA	$1,496 \times 10^{11}$	0,053	0,03	0,015

TABLE 1 – Surfaces équivalentes

## 4 Énigmes résolues

De plus en plus on découvre des déviations ou des effets non encore explicables dans le contexte d'une cosmologie expansionniste. Ces phénomènes sont très bien résolus par notre modèle.

### 4.1 Vitesse de récession des céphéides

Substituons la définition du décalage vers le rouge (1.2) dans l'expression de la distance selon l'équation (2.37)

$$d = \frac{c}{H_0} \ln\left(\frac{v}{c} + 1\right) \quad (4.1)$$

la vitesse de récession apparente est

$$v = c \left( e^{\frac{dH_0}{c}} - 1 \right) \quad (4.2)$$

Puisque la vitesse apparente de récession est exponentielle, si l'on applique une relation linéaire (1.1). pour l'observation d'objets de plus en plus éloignés on sera conduit à mesurer des valeurs de plus en plus élevées de la constante de Hubble  $H_0$ . C'est ce qui explique l'écart entre les mesures obtenues pour des Céphéides proches et éloignées tel que relevé et discuté dans la publication de Arp [2]. Celui-ci y cherche une explication par un excès de décalage vers le rouge pour les Céphéides éloignées. Sur la figure 4 du document original, on observe des valeurs progressivement plus grandes de  $H_0$  en fonction de la distance démontrant bien une relation exponentielle.

### 4.2 Radiation cosmique résiduelle et supernova

Yershov [18] a montré une forte corrélation entre l'augmentation locale de la température de la radiation cosmique résiduelle  $T_{sn}$  correspondant à la position de supernova et le décalage vers le rouge  $Z_{sn}$  de ces mêmes supernova. Considérant des SN de type Ia, cette étude trouve pour l'augmentation de la température du fond cosmique en de tels

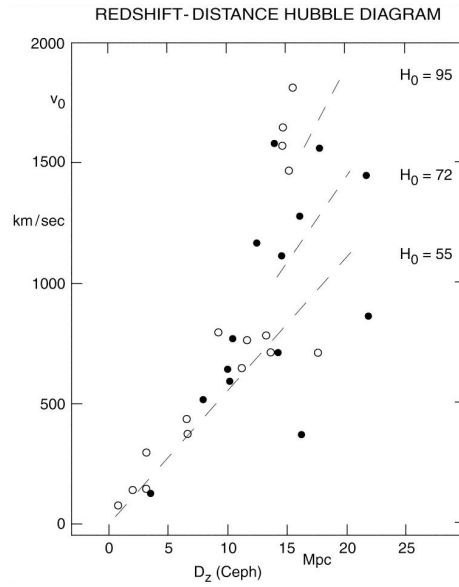


FIGURE 1 – Diverses valeurs de la constante de Hubble

endroits la régression  $T_{sn} = 58,0 \pm 9,0 Z_{sn} [\mu K]$ . Ce surplus énergétique ponctuel est proportionnel au décalage cosmique des sources associées. Le modèle expansionniste ne fournit aucune explication à ce phénomène. Par contre cet effet confirme exactement ce que notre modèle prévoit soit la transformation progressive de la radiation en radiation cosmique résiduelle. Nous avons en ces endroits particuliers, une augmentation de la température du fond cosmique, toujours vis-à-vis de sources qui, malgré leur éloignement, sont encore visibles. Cette augmentation de température est proportionnelle à l'éloignement de la source car plus elle est éloignée, une plus large fraction du spectre énergétique peut se transformer en radiation cosmique résiduelle. En effet, les photons d'une longueur d'onde donnée ne peuvent parcourir une distance supérieure à leur distance  $d_{cmb}$  propre. Alors toute l'énergie spectrale émise ayant une distance  $d_{cmb}$  inférieure à la distance de cette galaxie se trouve transformée en radiation cosmique résiduelle. Il s'en suit pour ce point d'observation précis une augmentation ponctuelle de la radiation CMB laquelle augmente croît avec l'éloignement de la source mesuré par son décalage cosmique.

## 5 Distance

Il est intéressant d'estimer la distance maximale d'observation du monde. En effet celle-ci dépend de la radiation observée puisque la distance de parcours varie selon la fréquence émise.

### 5.1 Le monde observable

Selon notre modèle, les photons se transforment le long de leur parcours et ce processus se termine lorsqu'ils atteignent l'énergie minimale correspondant à la radiation cosmique résiduelle CMB et à ce moment, c'est une onde de  $1,873 \times 10^7 \text{ \AA}$  correspondant à une température de  $2,72548 \text{ }^\circ\text{K}$ . Le décalage cosmique d'un photon de la raie  $H_\alpha = \lambda_o = 6563 \text{ \AA}$ , en fin de course est

$$\mathbb{Z}_{cmb} = \frac{\lambda_{cmb} - \lambda_o}{\lambda_o} = \frac{1,873 \times 10^7 - 6563}{6563} = 2853 \quad (5.1)$$

L'équation (2.30) donne la distance de transformation en fonction du décalage cosmique

$$d = \eta \ln \left\{ \frac{[(\mathbb{Z}_{cmb} + 1) + \eta k]}{[(\mathbb{Z}_{cmb} + 1)/(\mathbb{Z}_d + 1) + \eta k]} \right\} \quad (5.2)$$

À la distance  $d_{cmb}$

$$d_{cmb} = 32,66 \text{ Gpc} = 106 \text{ Gal} \quad (5.3)$$

En d'autres termes, la radiation cosmique résiduelle représente la véritable limite de l'univers qu'il ne sera jamais possible de connaître c'est à dire la dimension maximale de l'univers observable et non celle de l'univers physique. Cette distance varie selon l'énergie initiale des photons et se situe autour de 106 Giga années lumières si l'on considère la raie  $H_\alpha$  et de 224 Giga années lumières si l'on considère des rayons Gamma. Le tableau suivant fait état de quelques valeurs qui sont bien différentes de la valeur maximale classique de 13,7 années lumière qui elle, représente la dimension physique de l'univers. Cette valeur est près de quinze fois plus petite que ce qui peut être possible de connaître.

Ligne	$\lambda_o \text{ [\AA]}$	$\mathbb{Z}_{cmb}$	$d_{cmb} \text{ [Gpc]}$	$d_{cmb} \text{ [Gal]}$
$\gamma$	1	$1,873 \times 10^7$	68,76	224
$L_\infty$	912	20 536	40,77	133
$L_\alpha$	1 216	15 402	39,59	129
$H_\infty$	3 646	5 136	35,08	114
$H_\alpha$	6 563	2 853	32,66	106

TABLE 2 – Distances maximales d'observation

**P** our fixer les idées, considérons les quasars qui sont d'une grande luminosité et sont des objets très lointains. On a mesuré  $Z = 3,638$  pour le quasar Q0201+113 ce qui le place à une distance relative

$$\frac{d}{D} = \frac{\ln(1 + 3,638)}{\ln(1 + 2853)} = 0,1929 \quad (5.4)$$

C'est donc dire qu'il se situe visuellement à environ  $1/5$  de la limite théoriquement observable soit  $6,3 \text{ Gpc}$  ( $20,5 \text{ Gal}$ ). De même ULAS J1120+0641 avec  $Z = 7,1$  est relativement situé à  $26\%$  soit  $8,59 \text{ Gpc}$  ou  $28 \text{ Gal}$

## 6 Pioneer

L' anomalie des satellites Pioneer a fait l'objet de nombreuses études. Jusqu'à présent, elle est devenue une énigme par l'incapacité d'y trouver une explication rationnelle. Les deux documents les plus complets faisant le point sur la situation, sont ceux de Anderson [16] et Turyshev [24]. Détectée dès 1987, annoncée lors d'un congrès scientifique en 1993, Nieto [17] et depuis la première publication y faisant référence en 1994, Nieto [11], elle a suscité une pléthore de propositions et de publications. Pour la plupart, toutes les explications suggérées concluent à un effet inertiel, c'est à dire la présence d'éléments non considérés dans les programmes de navigation des satellites, traduisant une force causant l'accélération du satellite. Le plus populaire et fréquent de tous les éléments mis en cause est la radiation thermique. C'est une erreur car la puissance disponible sur le satellite décroît avec le temps alors que cette accélération demeure constante. Chose étonnante, les publications et études font pratiquement toujours référence à l'anomalie de Pioneer comme une accélération du satellite et rarement comme une dérive de la fréquence du signal Doppler.

Plus récemment et hors de la voie inertielle, Allan Joel Anderson [1] considère plutôt une influence sur le rayonnement électromagnétique, c'est à dire, le lien de communication entre le satellite et les stations terrestres. Il introduit un nouvel effet, nommé "Cosmic redshift", lequel se fonde sur l'hypothèse d'un univers en expansion suivant le modèle FLRW (Friedman, Lemaître, Robertson, Walker). Il considère que la constante de Hubble, " $H_0$ ", est un facteur d'échelle représentant le taux de changement de la longueur d'onde des photons par unité de temps. Cette explication ne peut tenir la route puisque l'expansion de l'univers ne peut que produire un allongement des radiations soit un décalage vers le rouge, contrairement à ce qui est observé. Toutefois elle a le mérite d'attirer l'attention vers une cause agissant directement sur le signal électromagnétique lui-même.

On a déjà remarqué la présence de très légères fluctuations périodiques dans le signal Doppler, Turyshev [24]. L'analyse a montré des cycles semi quotidiens, quotidiens, semi annuels et annuels où la base des cycles quotidiens est la journée sidérale, Levy [8]. Ces fluctuations cycliques sont de plus en plus faibles avec la distance d'éloignement du satellite. N'y a-t-il pas là matière à éveiller les soupçons quant à la dépendance de la dérive du signal Doppler en fonction de la distance, entre l'observateur et le satellite ?

### 6.1 Modèles

Il existe deux modèles cosmologiques susceptibles d'avoir une influence sur l'onde électromagnétique et pouvant expliquer la dérive du signal Doppler. Ce sont, d'une part, le modèle "expansionniste" du Big Bang et, d'autre part, le modèle "transformiste" de la transformation de l'onde électromagnétique sur de longues distances. Selon ces deux modèles, la longueur d'onde du signal observé varie en fonction de la distance parcourue par l'onde ou, ce qui est équivalent, en fonction du décalage vers le rouge correspondant.

### 6.1.1 Le modèle expansionniste

Considérons l'espace géométrique comme isotrope et en expansion. Alors toutes les distances  $d$ , entre des points quelconques, fixes et immobiles, demeurent proportionnelles. L'expansion étant décrite par une fonction dépendante du temps  $a(t)$ , celle-ci agit comme un facteur multiplicatif sur toutes les dimensions. Toutefois, même si ces dimensions changent avec le temps, l'isotropie implique que les valeurs relatives des taux de changement soient conservées, c'est à dire que

$$\dot{a}(t)/a(t) = \text{constant} \quad (6.1)$$

Considérant la distance " $d$ ", la longueur d'onde " $\lambda$ ", la fréquence " $f$ ", leurs taux relatifs de changement sont

$$\dot{a}/a = \dot{d}/d = \dot{\lambda}/\lambda = -\dot{f}/f \quad (6.2)$$

Dans un tel univers en expansion, on peut considérer la vitesse intrinsèque des galaxies comme nulle. La loi de Hubble reflétant cette expansion, moyennant la constante dite de Hubble  $H_o$ , leur associe une vitesse  $v$ , linéaire et proportionnelle à leur distance d'éloignement  $d$ . Cette association s'écrit :

$$v = H_o d \quad (6.3)$$

Dans ce contexte expansionniste, on peut alors exprimer la constante de Hubble comme suit

$$H_o = v/d = \dot{d}/d = \dot{\lambda}/\lambda \quad (6.4)$$

Usant de la définition du décalage vers le rouge,

$$\mathbb{Z} = (\lambda - \lambda_o)/\lambda_o \quad (6.5)$$

$$\lambda = \lambda_o(\mathbb{Z} + 1) \quad (6.6)$$

$$\dot{\lambda} = \lambda_o \dot{\mathbb{Z}} \quad (6.7)$$

$$\dot{\lambda}/\lambda = \dot{\mathbb{Z}}/(\mathbb{Z} + 1) \quad (6.8)$$

$$H_o = \dot{\lambda}/\lambda = -\dot{f}/f = \dot{\mathbb{Z}}/(\mathbb{Z} + 1) \quad (6.9)$$

Les longueurs d'ondes émises par les sources sont, un moment plus tard, postérieurement, toujours plus longues. De même, pour les fréquences, celles-ci sont toujours moins élevées.

### 6.1.2 Le modèle transformiste

Dans le présent modèle transformiste, nous considérons que les photons se transforment naturellement, en tant que propriété intrinsèque, sans aucune interaction avec d'autres éléments de l'univers. Ainsi, l'énergie des photons diminue avec leur parcours alors que leur nombre augmente. Cette transformation opère jusqu'à ce que la longueur d'onde soit égale à celle de radiation cosmique résiduelle (CMB). Cette transformation

opère inversement pour les photons dont la longueur d'onde est supérieure à celle de la radiation cosmique résiduelle CMB. Ce modèle fait apparaître la constante de Hubble naturellement, dont la relation avec la distance est logarithmique plutôt que linéaire, comme c'est le cas dans la relation classique ( $d = c/H_o \cdot \mathbb{Z}$ ). Elle s'écrit dans l'approximation de l'univers local selon l'équation (2.37)

$$d = \pm c/H_o \cdot \ln(\mathbb{Z} + 1) \quad (6.10)$$

On se rappellera que le décalage cosmique est négatif et plus grand que -1 pour les longueurs d'ondes plus grandes que celle de la radiation CMB ou positif dans le cas contraire. Quelques manipulations de cette équation, où les variables sont le temps  $t$ , la distance  $d$ , la constante de Hubble  $H_o$ , la célérité de la lumière  $c$ , le décalage cosmique  $\mathbb{Z}$ , la longueur d'onde  $\lambda$  la fréquence  $f$  nous conduisent à

$$\mathbb{Z} = \exp(\pm H_o d/c) - 1 \quad (6.11)$$

$$\dot{\mathbb{Z}} = \pm H_o(\mathbb{Z} + 1) \quad (6.12)$$

$$H_o = \pm \dot{\mathbb{Z}}/(\mathbb{Z} + 1) \quad (6.13)$$

$$\lambda = \lambda_o \exp(\pm H_o d/c) \quad (6.14)$$

$$\dot{\lambda} = \pm \lambda H_o \quad (6.15)$$

$$f = f_o \exp(\pm (-H_o d/c)) \quad (6.16)$$

$$\dot{f} = \pm (-f H_o) \quad (6.17)$$

$$H_o = \pm \dot{\lambda}/\lambda = \pm (-\dot{f}/f) = \pm \dot{\mathbb{Z}}/(\mathbb{Z} + 1) \quad (6.18)$$

### 6.1.3 Comparaison

Ces deux modèles développent au signe près les mêmes équations. Le modèle expansionniste prédit toujours un accroissement de la longueur d'onde ou ce qui est la même chose, une diminution de la fréquence. Le modèle transformiste montre deux comportements différents selon que la longueur d'onde est plus grande ou plus petite que la longueur d'onde de la radiation cosmique résiduelle CMB. Lorsque qu'elle est plus petite, il y a accroissement de façon identique au modèle expansionniste. Lorsqu'elle est plus grande, l'onde se comporte de façon inverse tel que l'exprime le signe négatif et la valeur négative du décalage cosmique.

## 6.2 L'effet Doppler

Considérons une source au repos, émettant une onde de fréquence  $f_s$  vers un observateur au repos, lequel mesure cette onde comme ayant la fréquence  $f_o = f_s$ . Si cette source était animée d'un mouvement uniforme  $v_s$ , vers cet observateur immobile, celui-ci observerait une fréquence différente dû à l'effet Doppler.  $c$  étant la vitesse de



propagation de l'onde dans le milieu, la fréquence observée est

$$f_o = f_s \cdot c / (c - v_s) \quad (6.19)$$

$$f_s / f_o = 1 - v_s / c \quad (6.20)$$

$$(f_s - f_o) / f_o = -v_s / c \quad (6.21)$$

$$\Delta f / f_o = v_s / c \quad (6.22)$$

Imaginons que cette source, immobile, accélère subitement durant un court intervalle de temps  $\Delta t$ . Ainsi elle passe à la vitesse  $v_s$  et subit une accélération  $a_s = v_s / \Delta t$ . Alors cette source est maintenant animée d'un mouvement uniforme et ses ondes seront observées à la fréquence  $f_o$  selon l'effet Doppler. On écrit alors

$$\Delta f / f_o = a_s \Delta t / c \quad (6.23)$$

$$a_s / c = (\Delta f / \Delta t) / f_o \quad (6.24)$$

$$a_s / c = \dot{f} / f_o \quad (6.25)$$

Dans l'expression précédente, indépendamment du signe, le membre de droite correspond à la constante de Hubble, tel que défini par le modèle expansionniste ou par le modèle transformiste. L'accélération du satellite Pioneer est alors

$$a_s = c H_o \quad (6.26)$$

Nous avons là le produit de deux constantes naturelles de l'univers. Par conséquent, l'accélération attribuée au satellite est un invariant. La situation du satellite Pioneer est on ne peut plus locale et usant de la valeur de la constante de Hubble locale, soit  $H_o = 2,731933 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1}$ , on trouve pour l'accélération universelle virtuelle associable à un quelconque satellite

$$a_s = 8,19 \cdot 10^{-10} \text{ m s}^{-2} \quad (6.27)$$

laquelle est proche de l'accélération anormale de Pioneer  $8,74 \pm 1,33 \cdot 10^{-10} \text{ m s}^{-2}$ . C'est là l'explication de l'étrange coïncidence numérique entre la vitesse de la lumière, la constante de Hubble et l'anomalie de Pioneer. Il n'y a donc là aucun mystère. Il s'agit d'une association erronée entre une force inertielle inexistante et un phénomène cosmologique. C'est une substitution, une interversion de causes, basées sur le fait qu'elles ont toutes les deux le même effet en commun.

### 6.3 Analyse

Comme nous l'avons indiqué précédemment, les deux modèles présentés conduisent tous deux à la même expression de la constante de Hubble sauf en ce qui concerne le signe. Ces deux modèles prédisent un même décalage cosmique tant que la longueur d'onde est supérieure à celle de la radiation cosmique résiduelle. Pour le modèle expansionniste, il n'y a aucune limite alors que pour le modèle transformiste, la radiation cosmique résiduelle CMB constitue la finalité des transformations. De façon complémentaire cette finalité impose, aux longueurs d'onde plus grandes que celle de

la radiation cosmique résiduelle, une transformation inverse. Or c'est exactement le contexte dans lequel se trouvent les satellites. La fréquence du signal utilisé entre les satellites et les stations terrestres est justement inférieure à celle de la radiation CMB. C'est pourquoi, avec la distance croissante, la dérive de l'effet Doppler se fait vers le bleu. Il est impossible pour le modèle expansionniste de prédire un tel raccourcissement de la longueur d'onde. Puisque le satellite vogue à vitesse constante " $v_P$ ", posons " $d = v_P t$ " dans l'équation (6.11) et dérivons par rapport au temps :

$$\mathbb{Z} = \exp(-H_o v_P t/c) - 1 \quad (6.28)$$

$$\dot{\mathbb{Z}} = -(\mathbb{Z} + 1) (H_o/c) v_P \quad (6.29)$$

On est à même de constater que la dérive de l'effet Doppler est proportionnelle à la vitesse d'éloignement du satellite. Remarquons que " $\mathbb{Z}$ " est une quantité négative qui devient de plus en plus négative au fur et à mesure que le satellite s'éloigne de la terre.

**I** l faut retenir que la distance d'éloignement en ligne de vue entre le satellite et la station terrestre, c'est à dire le chemin optique est fondamentale dans l'analyse des données. La fluctuation importante de la dérive du signal Doppler au moment de la rencontre avec une planète (flyby) s'explique par un changement abrupt de la direction de parcours et de la vitesse du satellite occasionnant un nouveau rythme de changement au chemin optique soit dans la ligne de vue du satellite.

## 7 Conclusion

Le modèle expansionniste aussi appelé " Big Bang " est toujours un modèle spéculatif. Au lieu de composer avec une métrique d'un espace relativiste élastique et des paramètres d'ajustement ad hoc, nous croyons tout aussi plausible notre modèle qui se fonde uniquement sur l'électromagnétisme et le quantique. Contrairement aux modèles dits de la lumière fatiguée, notre modèle ne brouille pas les images mais les rougis.

Nous avons montré que les distances cosmologiques suivent une loi logarithmique. Ce faisant, notre modèle fait apparaître la constante de Hubble et un facteur de dissipation énergétique. Selon la valeur de ce facteur dissipatif, nous observons deux constantes de Hubble. D'une part, la constante de Hubble locale, avec le facteur de dissipation nul, vaut  $84,3 \text{ km sec}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ . D'autre part, la constante de Hubble dont la valeur de  $73,02 \text{ km sec}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$  évaluée par Riess [20], correspond à un facteur dissipatif  $k = \frac{5}{3} \times 10^{-29} \text{ m}^{-1}$ .

Nous avons exprimé la constante de Hubble en fonction de trois constantes fondamentales et défini une constante de Hubble locale. Nous avons retrouvé les mêmes valeurs que celles mesurées et obtenues à partir du satellite Pioneer.

Nous avons défini une nouvelle quantité soit la longueur de Hubble locale dont la valeur es 3,5563 Giga parsecs. De même, nous avons défini la surface de Hubble locale  ${}^{k0}\sigma_H$  qui vaut exactement  $2\pi \cdot 10^{19} \text{ m}^2$  laquelle correspond à celle d'une sphère de rayon  $\sqrt{5} \text{ Gm}$  ou 0,015 UA.

Nous avons analysé quelques cas d'espèce, problématiques pour le modèle expansionniste, et montré qu'il s'expliquaient naturellement par notre modèle.

Nous avons calculé la dimension maximale de l'univers connaissable. Ainsi, l'univers n'est pas physiquement borné à 13,7 milliards d'années lumières mais connaissable à plus d'une centaine de milliards d'années lumières.

Nous avons montré que l'anomalie de Pioneer n'en n'est pas une mais simplement la substitution d'une accélération inexistante de la source à une réelle transformation du signal de communication. Cette pseudo accélération de Pioneer, est une constante universelle et la même pour tout satellite.

Le contenu de ce document est aussi disponible sur le site internet <http://www.phrenocarpe.org>

## Références

- [1] A.J. Anderson. The measurement of the hubble constant  $H_0$  in the solar system. <https://arxiv.org/abs/1011.1944v1>, nov 2010.
- [2] H. Arp. Arguments for a Hubble constant near  $H_0=55$ . *The Astrophysical Journal*, 571 :615–618, jun 2002. <http://iopscience.iop.org/0004-637X/571/2/615/fulltext/15433.text.html>.
- [3] Jeffrey A. Willick Puneet Batra. A determination of the hubble constant from cepheid distances and a model of the local peculiar velocity field. <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0005112>, feb 2001.
- [4] R.J. Bouwens and al. Photometric constraints on the redshift of  $z=10$  candidate UDFJ-39546284 from deeper WFC3/IR+ACS+IRAC observations over the HUDF. <http://arxiv.org/abs/1211.3105>, feb 2013.
- [5] G.B. Brammer and al. A tentative detection of an emission line at  $1,6 \mu\text{m}$  for the  $z=12$  candidate UDFJ-39546284. <http://arxiv.org/abs/1301.0317>, jan 2013.
- [6] E. Cameron and T. Petit. On the evidence for cosmic variation of the fine structure constant : a Bayesian reanalysis of the quasar dataset. <http://arxiv.org/abs/1207.6223>, jul 2012.
- [7] CODATA. Physical constants. <http://physics.nist.gov/constants>, 2010.
- [8] A. Levy B. Christophe P. BÃ©rio G. MÃ©tris J-M. Courty and S. Reynaud. Pioneer 10 doppler data analysis : disentangling periodic and secular anomalies. <https://arxiv.org/pdf/0809.2682v2.pdf>, jan 2009.
- [9] D.J. Fixsen. The temperature of the cosmic microwave background. *IOP Science*, 707 :916, dec 2009. <http://iopscience.iop.org/0004-637X/707/2/916>.
- [10] E.P. Hubble. A relation between distance and radial velocity among extragalactic. *Proc. Nat. Accad. Sci.*, 15 :168–173, 1929.
- [11] M.M. Nieto T. Goldman J.D. Anderson E.L. Lau and J. Perez-Mercader. Theoretical motivation for gravitational experiments on ultra-low energy antiprotons and anti hydrogen. <https://arxiv.org/abs/hep-ph/9412234>, mar 1994.
- [12] G. Lemaître. The gravitational field in a fluid sphere of uniform invariant density, according to the theory of relativity. *PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology*, 1927.
- [13] G. Lemaître. Un univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques. *Ann. Soc. Sci. Brux.*, 47 :49–59, dec 1927.
- [14] G. Lemaître. Expansion of the universe, a homogeneous universe of constant mass and increasing radius accounting for the radial velocity of extra-galactic nebulae. *MNRAS*, 91 :483–490, 1931.

- [15] NASA. Universe older than previously thought. *NASA Science News*, mar 2013. [http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2013/21mar\\_cmb](http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2013/21mar_cmb).
- [16] J.D. Anderson P.A. Laing E.L. Lau A.S. Liu M.M. Nieto and S.G. Turyshev. Study of the anomalous acceleration of the Pioneer 10 and 11. <https://arxiv.org/abs/gr-qc/0104064v5>, mar 2005.
- [17] M.M. Nieto. The quest to understand the pioneer anomaly. <https://arxiv.org/abs/gr-qc/0702017v1>, fev 2007.
- [18] V.N. Yershov V.V. Orlov and A.A. Raikov. Possible signature of distant foreground in the planck data. <http://arxiv.org/pdf/1410.5814v1.pdf>, 10 2014.
- [19] A.A. Penzias and R.W. Wilson. A measurement of excess antenna temperature at 4080 mc/s. *Astrophysical Journal*, 142 :419–421, 1965. <http://adsabs.harvard.edu/abs/1965ApJ...142..419P>.
- [20] A.G. Riess and al. A determination of the local value of the hubble constant. <http://arxiv.org/pdf/1604.01424v1.pdf>, apr 2016.
- [21] S.W. Jha S. Dhawan and B. Leibundgut. Measuring the hubble constant with type ia supernovae as near-infrared standard candles. <http://arxiv.org/pdf/1707.00715v1.pdf>, jul 2017.
- [22] I. Steer. Le Maitre’s limit. <http://arxiv.org/abs/1212.6566>, dec 2012.
- [23] H. Terazawa. Environment dependant fundamental physical constants. <http://arxiv.org/abs/1202.1859>, feb 2012.
- [24] S.G. Turyshev and V.T. Toth. The pioneer anomaly. *Living Reviews in Relativity*, jan 2010. <http://arxiv.org/abs/1001.3686>.
- [25] M. Kunz W. Cardona and V. Pettorino. Determining h0 with bayesian hyperparameters. <http://arxiv.org/pdf/1611.06088v2.pdf>, nov 2016.
- [26] Wikipedia. E.P. Hubble. [http://en.wikipedia.org/wiki/Edwin\\_Hubble](http://en.wikipedia.org/wiki/Edwin_Hubble), 2000.
- [27] Wikipedia. Physical constants. [http://en.wikipedia.org/wiki/physical\\_constant](http://en.wikipedia.org/wiki/physical_constant), 2000.

## A Constantes

C onstantes et valeurs utilisées dans ce document.

Constante	Symbole	Valeur	Unité
Célérité de la lumière	$c$	$2,99792458 \times 10^8$	$m^{-1}$
Gravitationnelle	$G$	$6,67384 \times 10^{-11}$	$kg^{-1} m^3 s^{-2}$
Planck	$h$	$6,62606957 \times 10^{-34}$	$kg m^2 s^{-1}$
Planck réduite	$\hbar$	$1,054571726 \times 10^{-34}$	$kg m^2 s^{-1}$
Structure fine	$\alpha$	$7,2973525698 \times 10^{-3}$	
Structure fine réduite	$\tilde{\alpha}$	$1,161409733 \times 10^{-3}$	
Rydberg	$R_\infty$	$1,0973731568539 \times 10^7$	$m^{-1}$
Rydberg réduite	$\tilde{R}_\infty$	$1,74652362 \times 10^6$	$m^{-1}$
Longueur de Plank	$l_p$	$1,616199 \times 10^{-35}$	$m$
Longueur de Plank réduite	$\tilde{l}_p$	$2,57226059 \times 10^{-36}$	$m$
Unité astronomique	$UA$	$1,495979 \times 10^{11}$	$m$
Parsec	$pc$	$3,085678 \times 10^{16}$	$m$
Parsec	$pc$	$2,062648 \times 10^5$	$AU$
Parsec	$pc$	3,261507	$al$
Année lumière	$al$	$9,460895 \times 10^{15}$	$m$
Année sidérale	$as$	$3,155815 \times 10^7$	$s$

TABLE 3 – Constantes partie I

Constante	Symbole	Valeur	Unité
Balmer	$H_{\alpha}$	$6,5646 \times 10^{-7}$	$m$
Lyman	$L_{\alpha}$	$1,2157 \times 10^{-7}$	$m$
Longueur d'onde CMB	$\lambda_{cmb}$	$1,873 \times 10^{-3}$	$m$
Fréquence CMB	$\nu_{cmb}$	$1,602 \times 10^{11}$	$Hz$
Température CMB	$T_{cmb}$	2,72548	$K$
Boltzmann	$B$	$1,380660 \times 10^{-23}$	$J K^{-1}$
Constante de dissipation	$k$	$(5/3) \times 10^{-29}$	$m^{-1}$
Constante de Hubble	$H_o$	$2,365923 \times 10^{-18}$	$s^{-1}$
Constante de Hubble	$H_o$	73,0	$km s^{-1} Mpc^{-1}$
Constante de Hubble locale	${}^{k0}H_o$	$2,731933 \times 10^{-18}$	$s^{-1}$
Constante de Hubble locale	${}^{k0}H_o$	84,3	$km s^{-1} Mpc^{-1}$
Longueur de Hubble	$l_H$	$1,267127 \times 10^{26}$	$m$
Longueur de Hubble	$l_H$	4,1065	$Gpc$
Longueur de Hubble locale	${}^{k0}l_H$	$1,097364 \times 10^{26}$	$m$
Longueur de Hubble locale	${}^{k0}l_H$	3,5563	$Gpc$
Surface de Hubble locale	${}^{k0}\sigma_H$	$2\pi \times 10^{19}$	$m^2$

TABLE 4 – Constantes partie II