

L'évolution des photons sur de très longues distances

GOSSELIN P.

2018-07-20

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 \mathbb{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 inexplicables par la cosmologie actuelle. Nous montrons que notre modèle correspond exactement au module de distance des chandelles cosmologiques standards et 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

Table des matières	2
Liste des tableaux	3
Table des figures	3
1 Introduction	4
2 Theorie	7
2.1 Propagation extrême	7
2.2 Variation de la fréquence	10
2.3 Le flux	11
2.4 Décalage cosmique	13
2.5 Relation entre Visuel et Radiométrique	13
3 La constante de Hubble	15
3.1 Pioneer	15
3.2 k and H_0	16
3.3 Numérisation	17
3.4 Longueur et surface de Hubble	18
4 énigmes résolues	20
4.1 Vitesse de récession des céphéides	20
4.2 Radiation cosmique résiduelle et supernova	20
5 Distance	21
5.1 Module de distance	21
5.2 Diagramme de Hubble	25
5.3 De l'usage de la magnitude	26
5.4 Le monde observable	26
6 Pioneer	28
6.1 Modèles	28
6.1.1 Le modèle expansionniste	29
6.1.2 Le modèle transformiste	29
6.1.3 Comparaison	30
6.2 L'effet Doppler	30
6.3 Analyse	31
7 Conclusion	33
Références	34
A Constantes	36

B	Autre dérivation	38
B.1	Selon l'électromagnétisme	38
B.2	Numériquement	40

Liste des tableaux

1	Surfaces équivalentes	19
2	Distance et module de distance selon le décalage cosmique.	24
3	Distances maximales d'observation	27
4	Constantes partie I	36
5	Constantes partie II	37

Table des figures

1	Diverses valeurs de la constante de Hubble	21
2	Modules de distance et distances.	25

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 [11] [30] 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 [29], des supernova de type I, Dhawan [23] ou les deux et incluant des sources mega maser, Riess [22]. 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 λ_o et observées λ , 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 [17], 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.

Toutefois, depuis Hubble [11] et Lemaître [13] [14] [15] [24], 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 [25]. 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.

Rien 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 [21] 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 [10]. 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 ν , phase θ 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 ν 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 ν en fonction de la distance d . Selon notre hypothèse, nous considérons une décroissance de la densité d'énergie ξ 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 η (2.12), (2.13) le produit ηk ne changeant pas.

Puisque le phénomène étudié se produit sur de très longues distances, il est normal de s'attendre à ce que η , 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 η 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)

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

N.B. On trouvera en appendice deux autres manières de parvenir à ces résultats concernant l'environnement local.

2.2 Variation de la fréquence

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 η 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

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

ou encore

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

2.3 Le flux

Soit 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 λ_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 λ_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

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

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

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.

Considérons 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_v comme le rapport du flux à la fréquence

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

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

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

et la densité énergétique est

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

On définit la densité de puissance f_λ comme le rapport du flux à la longueur d'onde

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

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

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

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 subséquentement à la distance d . Le flux spécifique à l'origine est selon (2.52))

$${}^o f_v = {}^o N_o ch \quad (2.59)$$

et à distance d

$${}^d f_v = {}^d N_o ch = {}^o N_o (Z+1) ch = {}^o f_v (Z+1) \quad (2.60)$$

Et pour le flux S (2.58) à l'origine

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

et à la distance d

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

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

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

2.4 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 ($\lambda_o = \infty$).

2.5 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 :

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

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

Il faut faire attention à ne pas confondre ce décalage cosmique radio \mathbb{Z}_r avec le décalage vers le rouge utilisé par les radio astronomes Z_{Radio} lesquels ont une définition

différente de la vitesse de récession et donc du décalage vers le rouge. En effet ils définissent la vitesse radio de la source V_{Radio} comme suit :

$$V_{Radio} = c Z_{Radio} = c(v_o - v)/v_o \quad (2.68)$$

alors que la définition classique de la vitesse de récession optique est :

$$V_{Optique} = c Z_V = c(v_o - v)/v \quad (2.69)$$

Il s'en suit la relation entre ces deux définitions :

$$Z_{Radio} = 1/(1 + (1/Z_V)) \quad (2.70)$$

On constate le lien suivant entre ces deux décalages radio, (2.67) et (2.70), recouvrant des concepts différents :

$$Z_{Radio} = -Z_r \quad (2.71)$$

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 [22] 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 [27]. 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 η , 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 [22] et la valeur locale est proche de la moitié de la racine carrée de trois soit

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

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

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 α est la constante de structure fine, R_∞ 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 [8], Wikipedia [31] 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

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

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

Il s'agit là de la même valeur que celle publiée par Riess [22] 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

I ntroduisant 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

$$\eta = \frac{c}{H_o} = \frac{c}{\sin(\pi/3) {}^{k0}H_o} = \frac{{}^{k0}\eta}{\sin(\pi/3)} \quad (3.19)$$

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 de la longueur de Hubble locale

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

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

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 $1,0973731568539(55) \times 10^7 \text{ m}^{-1}$. 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

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

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

La surface de Hubble locale correspondante est

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

$$\boxed{{}^{k0}\sigma_H = \left(\tilde{\alpha} \tilde{R}_\infty^3 \tilde{\ell}_p \right)^{-1} = 2\pi 10^{19} \text{ m}^2} \quad (3.27)$$

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)

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

la vitesse de récession apparente est

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

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_o . 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_o en fonction de la distance démontrant bien une relation exponentielle.

4.2 Radiation cosmique résiduelle et supernova

Yershov [20] 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 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 augmentation croît avec l'éloignement de la source mesuré par son décalage cosmique.

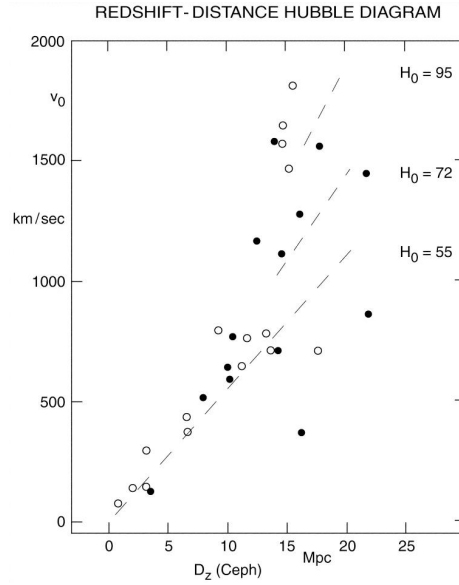


FIGURE 1 – Diverses valeurs de la constante de Hubble

5 Distance

Le comportement de la radiation électromagnétique nécessite de revoir l'expression du module de distance et les distances maximales d'observation du monde puisque ceux-ci dépendent de la radiation observée, la distance de parcours variant selon la fréquence émise.

5.1 Module de distance

Considérons une source ponctuelle de puissance L_0 émettant radialement un flux de photons. Une pellicule sphérique d'épaisseur infinitésimale ε centrée sur cette source, à la distance f contient une densité de photons N_f et une pellicule semblable à la distance d contient une densité de photons N_d . Les photons étant conservés, leur nombre total dans chaque pellicule demeure le même ce qui permet d'écrire

$$4 \pi d^2 \varepsilon N_d = 4 \pi f^2 \varepsilon N_f \quad (5.1)$$

$$N_d = N_f \frac{f^2}{d^2} \quad (5.2)$$

Mais sur de longues distances, les photons se transforment entre f et d comme 2.21 et 2.23, c'est-à-dire

$$N_d = N_f e^{\frac{(d-f)}{\eta}} \quad (5.3)$$

$$v_d = v_f e^{-\frac{(d-f)}{\eta}} - \eta k v_{cmb} (1 - e^{-\frac{(d-f)}{\eta}}) \quad (5.4)$$

Alors, la densité photonique en d est plutôt

$$N_d = N_f e^{\frac{(d-f)}{\eta}} \frac{f^2}{d^2} \quad (5.5)$$

et tenant compte du changement de fréquence, le produit $N_d v_d$ est

$$N_d v_d = N_f [v_f e^{-\frac{(d-f)}{\eta}} - \eta k v_{cmb} (1 - e^{-\frac{(d-f)}{\eta}})] e^{\frac{(d-f)}{\eta}} \frac{f^2}{d^2} \quad (5.6)$$

Le flux d'énergie au niveau de chacune de ces surfaces est

$$S_f = N_f v_f h \quad (5.7)$$

$$S_d = N_d v_d h = N_f [v_f e^{-\frac{(d-f)}{\eta}} - \eta k v_{cmb} (1 - e^{-\frac{(d-f)}{\eta}})] e^{\frac{(d-f)}{\eta}} \frac{f^2}{d^2} h \quad (5.8)$$

Le rapport entre ces deux flux est

$$\frac{S_d}{S_f} = \frac{f^2}{d^2} \cdot [1 + \frac{\eta k v_{cmb}}{v_f} (1 - e^{-\frac{(d-f)}{\eta}})] \quad (5.9)$$

La différence de magnitude apparente d'une telle source vue depuis ces deux points vaut selon la définition de la magnitude

$$m_d - m_f = -2,5 \log \left\{ \frac{S_d}{S_f} \right\} \quad (5.10)$$

$$m_d - m_f = -2,5 \log \left\{ \frac{f^2}{d^2} \cdot [1 + \frac{\eta k v_{cmb}}{v_f} (1 - e^{-\frac{(d-f)}{\eta}})] \right\} \quad (5.11)$$

À la distance $f = 10 \text{ pc}$, m_f devient la valeur conventionnelle de référence soit la magnitude absolue M et cette différence de magnitude définit le module de distance μ d'une telle source soit

$$\mu = m - M \quad (5.12)$$

$$\mu_d = m_d - m_{10pc} \quad (5.13)$$

$$\mu_d = -5 \log f + 5 \log d - 2,5 \log \left\{ 1 + \frac{\eta k v_{cmb}}{v_f} (1 - e^{-\frac{(d-f)}{\eta}}) \right\} \quad (5.14)$$

$$\mu_d = -5 + 5 \log d - 2,5 \log \left\{ 1 + \frac{\eta k v_{cmb}}{v_{10pc}} (1 - e^{-\frac{(d-10pc)}{\eta}}) \right\} \quad (5.15)$$

Ainsi qu'il apparaîtra dans une section ultérieure, η est la longueur de Hubble soit $\frac{c}{H_0}$ dont la valeur est de l'ordre du Gpc, ceci rend l'exponentielle $\frac{f[\text{pc}]}{\eta[\text{Gpc}]}$ unitaire. Introduisant le décalage cosmique, (2.25) et (2.26), on écrit

$$\mu_d = -5 + 5 \log d - 2,5 \log \left\{ 1 + \frac{\eta k}{(Z_{cmb} + 1)} (1 - e^{-\frac{d}{\eta}}) \right\} \quad (5.16)$$

où on a posé $\mathbb{Z}_{10pc} = 0$. Usant de l'expression de la distance (2.30), le module de distance se réduit à

$$\begin{aligned} \mu_d &= -5 \\ &+ 5 \log \left\{ \eta \ln \left\{ \frac{(\mathbb{Z}_{cmb} + 1) + \eta k}{\left\{ \frac{(\mathbb{Z}_{cmb} + 1)}{(\mathbb{Z}_d + 1)} + \eta k \right\}} \right\} \right\} \\ &- 2,5 \log \left\{ \frac{(\mathbb{Z}_{cmb} + 1) + \eta k}{(\mathbb{Z}_{cmb} + 1) + \eta k (\mathbb{Z}_d + 1)} \right\} \end{aligned} \quad (5.17)$$

$$\begin{aligned} \mu_d &= -5 \\ &+ 5 \log \eta \\ &+ 5 \log \left\{ \ln \{ (\mathbb{Z}_d + 1) \} + \ln \left\{ \frac{(\mathbb{Z}_{cmb} + 1) + \eta k}{(\mathbb{Z}_{cmb} + 1) + \eta k (\mathbb{Z}_d + 1)} \right\} \right\} \\ &- 2,5 \log \left\{ \frac{(\mathbb{Z}_{cmb} + 1) + \eta k}{(\mathbb{Z}_{cmb} + 1) + \eta k (\mathbb{Z}_d + 1)} \right\} \end{aligned} \quad (5.18)$$

Introduisant les constantes, $H_o = 2,365923 \times 10^{-18} s^{-1} = 73,00 Km sec^{-1} Mpc^{-1}$ (3.11), $\eta = 1,267127 \times 10^{26} m = 4,1065 Gpc$ (3.12), $k = 5/3 \times 10^{-29} m^{-1}$ (3.13), $\eta k = 2,112 \times 10^{-3}$ (3.15), le module de distance vaut

$$\begin{aligned} \mu_d &= -5,0 \\ &+ 48,067359 \\ &+ 5,0 \log \{ \ln [(\mathbb{Z}_d + 1)] + \\ &\quad \ln [(\mathbb{Z}_{cmb} + 1) + 0,002112] - \\ &\quad \ln [(\mathbb{Z}_{cmb} + 1) + 0,002112 (\mathbb{Z}_d + 1)] \} \\ &- 2,5 \log \{ (\mathbb{Z}_{cmb} + 1) + 0,002112 \} \\ &+ 2,5 \log \{ (\mathbb{Z}_{cmb} + 1) + 0,002112 (\mathbb{Z}_d + 1) \} \end{aligned} \quad (5.19)$$

À toutes fin pratiques, négligeant les petites quantités, ce qui correspond généralement à l'espace local où $k = 0$, le module de distance se réduit à l'expression

$$\boxed{\mu_d = 43,067359 + 5 \log \ln (\mathbb{Z}_d + 1)} \quad (5.20)$$

Dans le cas où la source émet une longueur d'onde plus grande que celle de la radiation cosmique résiduelle λ_{cmb} , le décalage cosmique \mathbb{Z}_d est négatif et supérieur à -1. À cette formule, on opposera le module de distance correspondant à la classique loi de Hubble

$$\mu_d = 43,067359 + 5 \log \mathbb{Z}_d \quad (5.21)$$

La figure 2 montre, en fonction du décalage vers le rouge \mathbb{Z} , la distance d , courbes inférieures, et le module de distance μ , courbes supérieures, selon notre modèle et selon la loi de Hubble. La table 2 montre ces valeurs où nous avons ajouté les valeurs correspondant au modèle expansionniste obtenues grâce au calculateur de Nick Gnedin (<http://home.fnal.gov/~gnedin/cc/>) avec $H_o = 73,0$ et $\Omega_o = 0,315$.

Décalage cosmique	Distance (2.30)	Module distance (5.20)	Distance classique (1.3)	Module classique (5.21)	Distance modèle expansionniste	Module calculateur Nick Gnedin
Z_d	d_{Gpc}	μ	d_{Gpc}	μ	d_{Gpc}	μ
-0,99999	47,28	48,37				
-0,9999	37,82	47,89				
-0,999	28,37	47,26				
-0,99	18,91	46,38				
-0,9	9,46	44,88				
-0,8	6,61	44,10				
-0,7	4,94	43,47				
-0,6	3,76	42,88				
-0,5	2,85	42,27				
-0,4	2,10	41,61				
-0,3	1,46	40,83				
-0,2	0,92	39,81				
-0,1	0,43	38,18				
0,1	0,39	37,96	0,41	38,07	0,44	38,24
0,2	0,75	39,37	0,82	39,57	0,94	39,87
0,3	1,08	40,16	1,23	40,45	1,49	40,87
0,4	1,38	40,70	1,64	41,08	2,09	41,60
0,5	1,67	41,11	2,05	41,56	2,27	42,17
1	2,85	42,27	4,11	43,07	6,32	44,01
2	4,51	43,27	8,21	44,57	14,87	45,86
3	5,69	43,78	12,32	45,45	24,30	43,96
4	6,61	44,10	16,43	46,08	34,25	47,67
5	7,36	44,33	20,53	46,56	44,56	48,24
6	7,99	44,51	24,64	46,96	55,13	48,71
7	8,54	44,66	28,75	47,29	65,92	49,10
8	9,02	44,78	32,85	47,58	76,88	49,43
9	9,46	44,88	36,96	47,84	87,96	49,72
10	9,85	44,97	41,07	48,07	99,16	49,98
20	12,50	45,48	82,13	49,57	215,35	51,67
30	14,10	45,75	123,20	50,45	335,77	52,63
40	15,25	45,92	164,26	51,08	458,37	53,31
50	16,15	46,04	205,33	51,56	582,44	53,83
100	18,95	46,39	410,65	53,07	1214,46	55,42
200	21,78	46,69	821,30	54,57	2503,71	56,99
300	23,44	46,85	1231,95	55,45	3807,23	57,90
400	24,61	46,96	1642,60	56,08	5118,01	58,55
500	25,53	47,04	2053,25	56,56	6433,69	59,04
1000	28,37	44,26	4106,50	58,07	13049,55	60,58
2000	31,22	47,47	8213,00	59,57	26361,82	62,10
3000	32,88	47,58	12319,50 ₂₄	60,45	39719,52	63,00

TABLE 2 – Distance et module de distance selon le décalage cosmique.

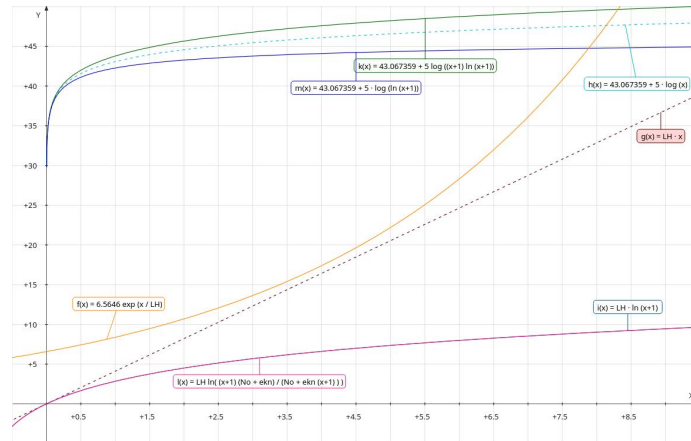


FIGURE 2 – Modules de distance et distances.

5.2 Diagramme de Hubble

La découverte de la loi de Hubble a propulsé à l'avant plan plusieurs modèles cosmologiques visant à en justifier la nature. De linéaire sur de courtes distances cette loi devient exponentielle sur de très longues distances. Bénéficiant du développement des méthodes et outils, s'est élaborée une échelle calibrée des distances reposant sur les céphéides, les supernova SNIa et les impulsions de rayons gamma. L'ensemble des mesures recueillies constituent le diagramme de Hubble dont l'allure globale adopte une forme exponentielle. Ainsi Marosi [16] montre que la fonction qui représente le mieux les observations du module de distance μ , corrigé pour l'extinction, en fonction du décalage vers le rouge \mathbb{Z} pour un ensemble de 280 supernova de type SNIa réparties dans l'intervalle $\mathbb{Z} = 0,0141 - 8,1$, est l'exponentielle

$$\mu = 44,109769 \mathbb{Z}^{0,059883} \quad (5.22)$$

Comme il y a eu subséquemment plusieurs autres propositions de formules analytiques pour décrire les observations de la relation \mathbb{Z}/μ , Vigoureux [28], Traummuller [26], Churoux [7], il s'est avéré que leur comparaison serait mieux servie en considérant le temps de parcours du photon t_s plutôt que le module de distance. Ce faisant, Marosi affirme que le plus important résultat du test du diagramme de Hubble est qu'il conduit exactement à la fonction exponentielle

$$\mathbb{Z} + 1 = e^{2,03 \times 10^{-18} t_s} \quad (5.23)$$

À la vitesse c , quel que soit le modèle employé pour l'évaluer, le trajet parcouru durant le temps t_s est

$$d = c t_s \quad (5.24)$$

$$d = \frac{c}{2,03 \cdot 10^{-18}} \ln (\mathbb{Z}_d + 1) \quad (5.25)$$

$$d = 1,47681 \cdot 10^{26} \ln (\mathbb{Z}_d + 1) \quad (5.26)$$

$$d = 4,786 \ln (\mathbb{Z}_d + 1) \text{ Gpc} \quad (5.27)$$

Cette équation correspond à celle de notre propre modèle (2.37) dans l'environnement local ($k = 0$) où la constante de Hubble correspondante est

$$H_o = 2,03 \cdot 10^{-18} \text{ sec}^{-1} \quad (5.28)$$

$$H_o = 62,6 \text{ Km sec}^{-1} \text{ Mpc}^{-1} \quad (5.29)$$

Il apparaît clairement que l'analyse de Marosi confirme la validité de notre modèle pourvu qu'on utilise la bonne valeur de la constante de Hubble tel que mesuré récemment par Riess [22]. Marosi [16] conclue en affirmant que :

Le test du diagramme de Hubble conduit à la conclusion : (1) soit que l'univers est en expansion exponentielle depuis le début de son expansion historique (au moins dans le domaine $\mathbb{Z} = 0,0141 - 8,1$); ou (2) soit que l'univers est statique et le décalage vers le rouge est causé par un mécanisme inconnu qui est encore à découvrir.

Cet inconnu correspond exactement à notre modèle cosmologique.

5.3 De l'usage de la magnitude

La caractérisation des objets cosmiques et de leurs propriétés reposent sur des éléments offrant stabilité et constance dans le temps et l'espace et la magnitude absolue est un de ces éléments. En effet on utilise les différences de magnitude absolues mesurées dans des bandes spectrales particulières tel que l'ultra-violet, le bleu, le visible, l'infra-rouge car de telles différences sont indépendantes de la distance. En effet des objets faisant partie d'une même catégorie ont des spectres énergétiques semblables et présentent alors des relations identiques dans leur spectre quel que soit la distance de ces objets. La mesure de la magnitude absolue dans une bande de fréquence étroite est à peu près équivalente à la mesure du flux spécifique moyen au niveau de la fréquence centrale du filtre utilisé. Comme on le sait maintenant, le flux spécifique s'ajuste en fonction de l'évolution de la distance, équation (2.63). Il appert conséquemment que toute propriété relative à un objet cosmologique ne tenant pas compte de la transformation photonique influençant la magnitude selon la distance sera entaché d'erreurs.

5.4 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 $H_\alpha = \lambda_o = 6565 \text{ \AA}$, en fin de course est

$$\mathbb{Z}_{cmb} = \frac{\lambda_{cmb} - \lambda_o}{\lambda_o} = \frac{1,873 \times 10^7 - 6565}{6565} = 2853 \quad (5.30)$$

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

$$d = \eta \ln \left\{ \frac{[(\mathbb{Z}_{cmb} + 1) + \eta k]}{[(\mathbb{Z}_{cmb} + 1)/(\mathbb{Z}_d + 1) + \eta k]} \right\} \quad (5.31)$$

à la distance d_{cmb}

$$d_{cmb} = 32,66 \text{ Gpc} = 106 \text{ Gal} \quad (5.32)$$

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_α 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}	$d_{cmb} \text{ [Gpc]}$	$d_{cmb} \text{ [Gal]}$
γ	1	$1,873 \times 10^7$	68,76	224
L_∞	912	20 536	40,77	133
L_α	1 216	15 402	39,59	129
H_∞	3 646	5 136	35,08	114
H_α	6 563	2 853	32,66	106

TABLE 3 – 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

$$\frac{d}{D} = \frac{\ln(1 + 3,638)}{\ln(1 + 2853)} = 0,1929 \quad (5.33)$$

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 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 [18] et Turyshev [27]. Détectée dès 1987, annoncée lors d'un congrès scientifique en 1993, Nieto [19] et depuis la première publication y faisant référence en 1994, Nieto [12], 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 [27]. L'analyse a montré des cycles semi quotidiens, quotidiens, semi annuels et annuels où la base des cycles quotidiens est la journée sidérale, Levy [9]. 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 " λ ", 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 λ 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 Δt . 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

$$\boxed{a_s = c H_o} \quad (6.26)$$

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

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

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 [22], 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 $3,5563 \text{ Giga parsecs}$. 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 $0,015 \text{ UA}$.

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

Nous avons montré que l'analyse statistique des données des chandelles standards faites par Marosi [16] suivait la même loi logarithmique que notre modèle théorique confirmant en cela l'errance des cosmologies expansionnistes.

Nous avons calculé la dimension maximale de l'univers connaissable. Ainsi, l'univers n'est pas physiquement borné à $13,7 \text{ milliards d'années lumières}$ 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. Petitit. 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] P. Churoux. A new interpretation of the hubble law. *Journal of Modern Physics*, 6, 1227-1232, 2015., 2015. <http://dx.doi.org/10.4236/jmp.2015.69127>.
- [8] CODATA. Physical constants. <http://physics.nist.gov/constants>, 2010.
- [9] A. Levy B. Christophe P. Bério G. Métris 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.
- [10] 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>.
- [11] E.P. Hubble. A relation between distance and radial velocity among extragalactic. *Proc. Nat. Accad. Sci.*, 15 :168–173, 1929.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] L.A. Marosi. Modelling and analysis of the hubble diagram of 280 snia supernovae and gamma ray bursts redshifts with analytical and empirical redshiftmagnitide

- functions. *International Journal of Astronomy and Astrophysics*, 6 :272–275, aug 2016.
- [17] NASA. Universe older than previously thought. *NASA Science News*, mar 2013. http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2013/21mar_cmb.
- [18] 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.
- [19] M.M. Nieto. The quest to understand the pioneer anomaly. <https://arxiv.org/abs/gr-qc/0702017v1>, fev 2007.
- [20] 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.
- [21] 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>.
- [22] A.G. Riess and al. A determination of the local value of the hubble constant. <http://arxiv.org/pdf/1604.01424v1.pdf>, apr 2016.
- [23] 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.
- [24] I. Steer. Le Maitre’s limit. <http://arxiv.org/abs/1212.6566>, dec 2012.
- [25] H. Terazawa. Environment dependant fundamental physical constants. <http://arxiv.org/abs/1202.1859>, feb 2012.
- [26] H. Traunmuller. From magnitudes and redshifts of supernovae, their light-curves and angular sizes of galaxies to a tenable cosmology. *Astrophysics and Space Science*, 350 :755–767, apr 2014.
- [27] S.G. Turyshev and V.T. Toth. The pioneer anomaly. *Living Reviews in Relativity*, jan 2010. <http://arxiv.org/abs/1001.3686>.
- [28] J.-M. Vigoureux D. Vigoureux P. Vigoureux and M. Langlois. An analytical expression for the hubble diagram of supernovae and gamma-ray bursts. <https://arxiv.org/pdf/1411.3648v1.pdf>, nov 2014.
- [29] M. Kunz W. Cardona and V. Pettorino. Determining h0 with bayesian hyperparameters. <http://arxiv.org/pdf/1611.06088v2.pdf>, nov 2016.
- [30] Wikipedia. E.P. Hubble. http://en.wikipedia.org/wiki/Edwin_Hubble, 2000.
- [31] Wikipedia. Physical constants. 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	α	$7,2973525698 \times 10^{-3}$	
Structure fine réduite	$\tilde{\alpha}$	$1,161409733 \times 10^{-3}$	
Rydberg	R_∞	$1,0973731568539 \times 10^7$	m^{-1}
Rydberg réduite	\tilde{R}_∞	$1,74652362 \times 10^6$	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 4 – Constantes partie I

Constante	Symbole	Valeur	Unité
Balmer	H_{α}	$6,5646 \times 10^{-7}$	m
Lyman	L_{α}	$1,2157 \times 10^{-7}$	m
Longueur d'onde CMB	λ_{cmb}	$1,873 \times 10^{-3}$	m
Fréquence CMB	ν_{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 5 – Constantes partie II

B Autre dérivation

Nous présentons ici deux autres façons de considérer l'évolution des photons sur de très longues distances. Une première s'appuie sur les équations du champ électromagnétique de Maxwell et la seconde sur une séquence numérique de mutations successives des photons. Toutes deux produisent les mêmes résultats.

B.1 Selon l'électromagnétisme

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 ici et là-bas. Dans le cas d'une onde plane se propageant 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".

$$\vec{E} = \vec{i} E_x(d, t) \quad (\text{B.1})$$

$$E_x = E \exp [j \omega (t - \frac{d}{c}) + \theta] \quad (\text{B.2})$$

$$\vec{H} = \vec{j} H_y(d, t) \quad (\text{B.3})$$

$$H_y = H \exp [j \omega (t - \frac{d}{c}) + \theta] \quad (\text{B.4})$$

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

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} \quad (\text{B.5})$$

lequel vaut pour l'onde plane

$$\vec{S} = \frac{E^2}{\mu_0 c} \vec{k} \quad (\text{B.6})$$

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

$$E = \hbar \omega \quad (\text{B.7})$$

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 quantité

$$\xi = N \hbar \omega \quad (\text{B.8})$$

serait conservée sur des distances extrêmes pendant que N et ω varient en fonction de la distance d . En rapprochant telle quantité de celle du vecteur de Poynting

$$\mathbb{S} = \xi \quad (\text{B.9})$$

$$\frac{E^2}{\mu_o c} = \hbar N(d) \omega(d) \quad (\text{B.10})$$

$$E = (\mu_o c \hbar N(d) \omega(d))^{\frac{1}{2}} \quad (\text{B.11})$$

l'amplitude du champ électrique E varie alors en fonction de la densité photonique N et de la fréquence circulaire ω lesquels sont tous deux dépendants de la distance d . Les composantes de l'onde électromagnétique sont alors :

$$E_x = (\mu_o c \hbar N(d) \omega(d))^{\frac{1}{2}} \exp[j\omega(d)(t - \frac{d}{c}) + \theta] \quad (\text{B.12})$$

$$H_y = (\frac{\hbar N(d) \omega(d)}{\mu_o c})^{\frac{1}{2}} \exp[j\omega(d)(t - \frac{d}{c}) + \theta] \quad (\text{B.13})$$

où nous avons posé $H = \frac{E}{\mu_o c}$. Réécrivons ces deux équations comme suit

$$E_x = F_d \exp [j\omega_d(t - \frac{d}{c}) + \theta] = F_d \exp [\cdot] \quad (\text{B.14})$$

$$H_y = G_d \exp [j\omega_d(t - \frac{d}{c}) + \theta] = G_d \exp [\cdot] \quad (\text{B.15})$$

et se rappelant que

$$\frac{\partial E_x}{\partial d} = -\mu_o \frac{\partial H_y}{\partial t} \quad (\text{B.16})$$

on obtient

$$\frac{\partial E_x}{\partial d} = \frac{\partial F_d}{\partial d} \exp [\cdot] + jF_d \exp [\cdot] \left\{ \frac{\partial \omega_d}{\partial d} (t - \frac{d}{c}) - \frac{\omega_d}{c} \right\} \quad (\text{B.17})$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial t} = G_d \exp [\cdot] \{ j\omega_d \} \quad (\text{B.18})$$

Puisque localement et en tout endroit de l'espace on a

$$\frac{E}{H} = \frac{F_d}{G_d} = \mu_o c \quad (\text{B.19})$$

$$\therefore G_d = \frac{F_d}{\mu_o c} \quad (\text{B.20})$$

alors

$$\frac{\partial F_d}{\partial d} + jF_d \frac{\partial \omega_d}{\partial d} (t - \frac{d}{c}) = 0 \quad (\text{B.21})$$

Vu que

$$E = F = |(\mu_o c \hbar N_d \omega_d)^{\frac{1}{2}}| \quad (\text{B.22})$$

on déduit

$$\left\{ N_d \frac{\partial \omega_d}{\partial d} + \omega_d \frac{\partial N_d}{\partial d} \right\} + j \left\{ 2N_d \omega_d \frac{\partial \omega_d}{\partial d} \left(t - \frac{d}{c} \right) \right\} = 0 \quad (\text{B.23})$$

La partie réelle entre accolades s'obtient autrement en considérant que la quantité ξ (2.8) est conservée et donc constante quel que soit le parcours et par conséquent la dérivée en fonction de la distance est nulle

$$\frac{\partial \xi}{\partial d} = N_d \frac{\partial \omega_d}{\partial d} + \omega_d \frac{\partial N_d}{\partial d} = 0 \quad (\text{B.24})$$

Nous sommes maintenant au niveau de l'équation (2.10) où $k = 0$ ce qui conduit bien évidemment aux résultats connus.

B.2 Numériquement

Nous connaissons les propriétés spectrales des atomes dans le laboratoire. Lorsque éloignés de nous par d'immenses distances, l'observation nous les montre comme ayant subi une altération énergétique se traduisant par un décalage du spectre vers le rouge. Considérons donc des photons individuels de longueur d'onde λ_o et d'énergie E_o liés par la relation :

$$E_o = \frac{hc}{\lambda_o} \quad (\text{B.25})$$

Considérons une cohorte de N_o photons par unité de volume représentant une énergie globale G_o :

$$G_o = N_o E_o \quad (\text{B.26})$$

Considérons la même cohorte après un temps T où l'on compte $N_k > N_o$ photons par unité de volume, chacun d'énergie $E_k < E_o$. L'énergie totale de la cohorte G_k vaut

$$G_k = N_k E_k \quad (\text{B.27})$$

et le principe de conservation de l'énergie implique

$$N_k E_k = N_o E_o \quad (\text{B.28})$$

Nous supposons que la transformation de la cohorte se fait par bonds successifs. Une première transformation fait apparaître un photon supplémentaire rééquilibrant l'énergie de chaque photon de la cohorte. Il en est de même pour toutes les transformations subséquentes. L'énergie des $N_o + k$ photons après k transformations est

$$E_k = \frac{N_o E_o}{N_o + k} \quad (\text{B.29})$$

Le nombre de nouveaux photons après k transformations est

$$k = N_o \left\{ \frac{E_o}{E_k} - 1 \right\} \quad (\text{B.30})$$

$$k = N_o \left\{ \frac{\frac{hc}{\lambda_o}}{\frac{hc}{\lambda_k}} - 1 \right\} \quad (\text{B.31})$$

$$k = N_o \frac{\lambda_k - \lambda_o}{\lambda_o} \quad (\text{B.32})$$

$$k = N_o \mathbb{Z}_k \quad (\text{B.33})$$

où \mathbb{Z}_k est le décalage vers le rouge après k transformations. La densité des photons est alors :

$$N_k = N_o + k \quad (\text{B.34})$$

$$N_k = N_o + N_o \mathbb{Z}_k \quad (\text{B.35})$$

$$N_k = N_o (\mathbb{Z}_k + 1) \quad (\text{B.36})$$

On a pour l'énergie des photons

$$E_k = \frac{E_o}{\mathbb{Z}_k + 1} \quad (\text{B.37})$$

et pour la longueur d'onde

$$\lambda_k = \lambda_o (\mathbb{Z}_k + 1) \quad (\text{B.38})$$

Entre deux transformations successives, la cohorte se déplace d'une distance Δd . Durant ce parcours, sans élaborer de mécanisme particulier, nous supposons que la tension imposée aux photons à muter est directement proportionnelle à la densité N_k . Le nombre de nouveaux photons Δk par unité de parcours est alors proportionnel à cette tension

$$\frac{\Delta k}{\Delta d} \propto N_k \quad (\text{B.39})$$

et inversement pour la distance par unité de transformation

$$\frac{\Delta d}{\Delta k} \propto \frac{1}{N_k} \quad (\text{B.40})$$

Autrement dit, la longueur des parcours durant lesquels les transformations s'effectuent est inversement proportionnelle à la densité photonique qui s'accroît constamment. Usant de la constante de proportionnalité b et avec $N_k = N_o + k$ on pose pour de très petits intervalles

$$\frac{\partial d}{\partial k} = \frac{b}{N_o + k} \quad (\text{B.41})$$

Intégrant

$$d = b \ln(N_o + k) + Cte \quad (\text{B.42})$$

Au départ $d = 0$ et $k = 0$ d'où

$$Cte = -b \ln N_o \quad (\text{B.43})$$

et alors la distance est

$$d = b \ln \frac{N_o + k}{N_o} \quad (\text{B.44})$$

Substituant (2.52) on obtient

$$d = b \ln (\mathbb{Z} + 1) \quad (\text{B.45})$$

dont on tire le décalage vers le rouge et la longueur d'onde en fonction de la distance

$$\mathbb{Z} = e^{\frac{d}{b}} - 1 \quad (\text{B.46})$$

$$\lambda_d = \lambda_o e^{\frac{d}{b}} \quad (\text{B.47})$$

Développant l'exponentielle en série, rejetant les termes d'ordre supérieur et pour de faibles distances

$$\mathbb{Z} = \frac{d}{b} \quad (\text{B.48})$$

On reconnaît là la loi de Hubble soit la relation linéaire entre la distance et le décalage vers le rouge; on la retrouve sous sa forme classique en posant

$$b = \frac{c}{H_o} \quad (\text{B.49})$$

À partir de ce point, on retrouve les mêmes résultats que précédemment (2.37).