

Anomalie Pioneer : analyse de la Note 1 de la NR 22

Rémy Galli novembre 2021

Introduction

La lettre NR 22 a été reçue le 13 mars 2009. Elle a été envoyée par NABGAA 112 de l'organisation OUMMOAELEWE.

On trouve dans cette lettre la note 1 reproduite ci-après.

Note 1 : Vous observez vous-mêmes, sans pouvoir encore l'expliquer, ce phénomène de décalage ordinal entre les positions respectives de votre planète Terre et des sondes spatiales situées à grande distance. Il n'existe aucun ralentissement de leur trajectoire, ni aucune variation réelle de la vitesse des ondes émises par ces sondes le long de leur cheminement vers la Terre. Cela est provoqué par le décalage temporel des objets lointains dû à la seule topologie hyperbolique du WAAM. Le « maintenant » de ces objets lointains est situé en avance de plus d'une seconde par rapport au vôtre. La mesure de la vitesse des sondes, basée sur l'analyse des signaux reçus, semble indiquer un ralentissement du mouvement et une position des sondes plus proche que les prévisions théoriques basées sur un mouvement soumis aux seules lois de la mécanique newtonienne dans un espace euclidien. Le chemin tridimensionnel parcouru par le signal est strictement égal au chemin prévu par votre théorie classique, à la vitesse du signal attendue, mais avec un décalage temporel dépendant de la courbure locale - négative - de l'espace-temps qui réduit les distances réelles entre les objets lointains. Vous pouvez d'ores et déjà estimer localement cette courbure en utilisant les données provenant de vos sondes lointaines Pioneer qui font état d'un décalage temporel de $1,23 \pm 0,20$ seconde le long d'un chemin équivalent à 10^{13} mètres. Le chemin spatiotemporel réellement parcouru par le signal est en fait le segment hyperbolique isochrone direct qui sous-tend le chemin tridimensionnel et présente systématiquement une longueur moindre de celle du chemin tridimensionnel apparent.

Cette Note 1 explique ce qu'on appelle l'anomalie Pioneer dans un cadre conceptuel purement Oummain.

Dans notre cadre purement terrestre, je renvoie le lecteur dans un premier temps à ce qu'en dit par exemple Wikipedia. https://fr.wikipedia.org/wiki/Anomalie_Pioneer

Les deux explications étant fondamentalement différentes, il est nécessaire de creuser le sujet afin d'essayer de comprendre les écarts entre elles.

L'objectif de cet article est d'analyser **scientifiquement** les différentes situations aussi bien Oummaines que terrestres.

Préambule épistémologique

Avant de rentrer dans le vif du sujet, il est bon de rappeler ce que signifie **scientifiquement**.

La science progresse grâce à l'expérimentation et aux observations. Les résultats sont sous forme de tableaux numériques, de courbes, etc. Il s'agit alors d'expliquer ces résultats selon une ou plusieurs théories, chacune d'entre elles devant être « falsifiable ». <http://www.implications-philosophiques.org/popper-et-le-critere-de-falsifiabilite>

Un modèle falsifiable dérive en règle générale du corpus de connaissances à un moment donné : il est ensuite comparé aux mesures, puis étendu à d'autres phénomènes qu'il doit aussi expliquer.

L'intérêt d'une théorie falsifiable est d'être ouverte justement à l'apport de preuves expérimentales **qui la contredisent** : c'est comme cela que l'on est passé des lois de Newton à la relativité générale d'Einstein. La théorie de la relativité est falsifiable et pour le moment les mesures expérimentales ne l'ont pas encore mise en défaut.

Une hypothèse ad hoc introduite pour expliquer un phénomène particulier donné, et déconnectée du corpus de connaissances, n'est pas falsifiable : ce n'est pas satisfaisant a priori et il faut rechercher s'il est possible de transformer cette hypothèse ad hoc en théorie falsifiable.

Ce préambule est nécessaire pour expliquer l'analyse qui va suivre, afin de bien différencier l'aspect théorique de l'aspect mesures expérimentales ou prédictions découlant de la théorie.

Analyse de la Note 1

Cette note contient un certain nombre d'assertions et de données, reportées ci-après en italique. Voyons cela de près.

Vous observez vous-mêmes, sans pouvoir encore l'expliquer, ce phénomène de décalage ordinal entre les positions respectives de votre planète Terre et des sondes spatiales situées à grande distance. Il n'existe aucun ralentissement de leur trajectoire, ni aucune variation réelle de la vitesse des ondes émises par ces sondes le long de leur cheminement vers la Terre.

- ⇒ Cette assertion A1 explique que l'anomalie Pioneer ne vient pas d'un réel ralentissement de la trajectoire ni de la vitesse variable des sondes. Une assertion identique sera utilisée lorsque nous aborderons les explications scientifiques élaborées sur Terre.

Cela est provoqué par le décalage temporel des objets lointains dû à la seule topologie hyperbolique du WAAM. Le « maintenant » de ces objets lointains est situé en avance de plus d'une seconde par rapport au vôtre. La mesure de la vitesse des sondes, basée sur l'analyse des signaux reçus, semble indiquer un ralentissement du mouvement et une position des sondes plus proche que les prévisions théoriques basées sur un mouvement soumis aux seules lois de la mécanique newtonienne dans un espace euclidien

- ⇒ Cette assertion A2 indique que la mesure est faite par des ondes électromagnétiques que nous interprétons ensuite dans un référentiel euclidien, avec une position des sondes qui semble plus proche (décalage vers le bleu). Ce ralentissement apparent est dû à la topologie du WAAM. Une assertion identique sera développée lorsque nous aborderons les explications scientifiques élaborées sur Terre.

Le chemin tridimensionnel parcouru par le signal est strictement égal au chemin prévu par votre théorie classique, à la vitesse du signal attendue, mais avec un décalage temporel dépendant de la courbure locale - négative - de l'espace-temps qui réduit les distances réelles entre les objets lointains.

- ⇒ Cette assertion A3 indique à nouveau que l'écart enregistré dépend des propriétés locales de l'espace-temps. Elle est un peu redondante de A2.

Vous pouvez d'ores et déjà estimer localement cette courbure en utilisant les données provenant de vos sondes lointaines Pioneer qui font état d'un décalage temporel de $1,23 \pm 0,20$ seconde le long d'un chemin équivalent à 10^{13} mètres.

- ⇒ Cette assertion A4 indique que l'ensemble des assertions {A1, A2, A3} regroupés en une théorie est capable de restituer le couple de valeurs $\{\Delta t = 1.23 \text{ s}, L = 10^{13} \text{ m}\}$. La valeur d'une seconde de décalage apparaît aussi dans A2.
- ⇒ Cette assertion A4 ne rentre pas dans la théorie mais en est un résultat ou une prédiction : comme expliqué plus haut, il s'agit de données qui peuvent confirmer ou pas la théorie.

Le chemin spatio-temporel réellement parcouru par le signal est en fait le segment hyperbolique isochrone direct qui sous-tend le chemin tridimensionnel et présente systématiquement une longueur moindre de celle du chemin tridimensionnel apparent.

- ⇒ Cette assertion A5 est pour le moins étrange. Ecrire que le signal radar se déplace dans l'espace-temps selon une isochrone n'est pas conforme de nos théories : dans l'espace-temps, la lumière parcourt une géodésique de cet espace-temps (géodésique = chemin spatio-temporel du texte Oummain) et elle est d'ailleurs de distance **nulle**, au sens de la définition des distances dans l'espace-temps. Les isochrones existent, mais elles ont une signification précise: dans un espace-temps cosmologique, une isochrone est une courbe qui peut être hyperbolique et qui représente un ensemble spatialement distribué d'observateurs pour un même temps cosmologique. La lumière peut se propager d'un observateur à un autre, mais elle ne suit pas du tout une isochrone : elle suit une géodésique de longueur nulle.

Devant cette étrangeté, j'ai demandé à un spécialiste indiscutable de ce type de sujet (le Dr Sergei Kopeikin https://en.wikipedia.org/wiki/Sergei_Kopeikin) , ce qu'il pensait de la note 1 (en supprimant le mot WAAM !).

Voici sa réponse :

"It sounds suspicious to me. It does not comply with mathematical model of space-time manifold. Actual mathematical model has not been proposed. This is a kind of undeveloped hypothesis"

« Cela me semble suspect. Cela n'est pas conforme au modèle mathématique d'une variété d'espace-temps différentiable. Aucun modèle mathématique réel n'est proposé : cela ressemble à une conjecture (hypothèse non démontrée) »

Autrement dit, l'assertion A5 contient une information que nous ne savons pas décoder clairement.

Je résume cette analyse de la Note 1 en regroupant les assertions A1, A2, A3 et A5 dans une assertion plus générale, même si A5 semble non conforme de nos théories :

O1 : l'anomalie est d'origine purement cosmologique...

Et l'assertion A4 et conservée en tant que telle, sous l'appellation O2.

O2 : Des valeurs numériques sont proposées découlant de la théorie O1, qui pourraient aider à décider de la falsifiabilité ou non de cette théorie O1. $\{\Delta t = 1.23 \text{ s}, L = 10^{13} \text{ m}\}$.

Nous voici donc en présence d'une théorie Oummaine incomplète, avec des données issues de cette théorie et énoncées sans guère de justifications.

Point sur l'explication de l'anomalie Pioneer vue par nos scientifiques

Ce chapitre permet de mieux comprendre la différence entre théorie et mesures expérimentales, et aussi de montrer qu'il peut exister plusieurs explications très différentes pour le même phénomène.

a) Rappel des faits

L'article suivant de 2002 analyse très soigneusement la situation.

PHYSICAL REVIEW D, VOLUME 65, 082004

Study of the anomalous acceleration of Pioneer 10 and 11

John D. Anderson,^{1,*} Philip A. Laing,^{2,†} Eunice L. Lau,^{1,‡} Anthony S. Liu,^{3,§} Michael Martin Nieto,^{4,¶}
and Slava G. Turyshev^{1,¶}

Résumé de l'article

Nos analyses précédentes, portant sur les données Doppler et de télémétrie provenant d'engins spatiaux éloignés dans le système solaire, ont indiqué qu'une accélération anormale apparente agit sur les sondes Pioneer 10 et 11, avec une magnitude de l'ordre de $a_p = 8 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ et dirigée vers le Soleil. Beaucoup d'efforts ont été consacrés à la recherche d'un éventuel biais systématique, mais aucun n'a été trouvé. Une étude détaillée des effets à la fois externes et internes à l'engin spatial, ainsi que celles dues aux techniques de modélisation et de calcul, est fournie dans cet article. Nous avons aussi discuté des méthodes, des modèles théoriques et des techniques expérimentales utilisées pour détecter et étudier les petites forces agissant sur les engins spatiaux interplanétaires. Cela comprend les méthodes de collecte de données radio Doppler, d'édition de données, et de traitement des données. Il existe maintenant de nouvelles données pour la détermination de l'orbite de Pioneer 10 : l'ensemble de ces données s'étend du 3 janvier 1987 au 22 juillet 1998. Pour Pioneer 11, la période, plus courte, va du 5 janvier 1987 au 1er octobre 1990 (temps de la perte des données). Avec ces ensembles de données et des études plus détaillées de tous les écarts systématiques, nous donnons maintenant un résultat de $a_p = 8.74 \pm 1.33 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$. Les variations annuelles et diurnes, qui ne modifient pas a_p , sont également signalées et discutées.

Le résultat principal obtenu dans cet article de 2002 est le suivant : tout se passe comme si la sonde était soumise à une accélération de freinage a_p de valeur $8.74 \pm 1.33 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^2$ en unités SI.

La mesure n'est pas en réalité une mesure directe d'accélération mais une mesure interprétée comme telle. Car la mesure initiale met en évidence une dérive inexpliquée de la fréquence Doppler, de l'ordre de 1.5 Hz sur 8 ans, et qui *équivalait* à une accélération d'horloge de l'ordre d' $a_t = -2.8 \cdot 10^{-18} \text{ s/s}^2$, qui peut aussi se convertir en *accélération apparente* de $a_p \sim a_t \cdot c \sim 8.4 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^2$.

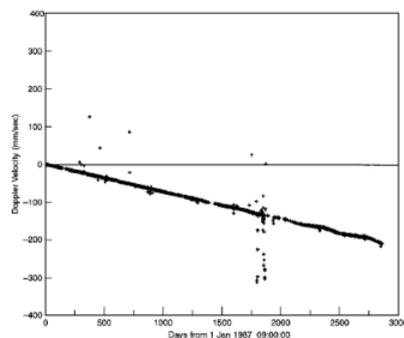


FIG. 8. CHASMP two-way Doppler residuals (observed Doppler velocity minus model Doppler velocity) for Pioneer 10 vs time. 1 Hz is equal to 65 mm/s range change per second. The model is fully relativistic. The solar system's gravitational field is represented by the Sun and its planetary systems [49].

La courbe ci-dessus est en fait à l'origine de l'anomalie Pioneer : c'est grâce à la mesure Doppler corrigée de tous les effets possibles (notamment la vitesse de la sonde) que l'on peut faire cette mesure extraordinaire, reproduite ci-dessus.

b) Hypothèses scientifiques « Terrestres »

Il existe à l'heure actuelle deux théories principales pour expliquer l'anomalie Pioneer.

Chacune de ces théories produit des prédictions, qui doivent à minima expliquer les mesures décrites ci-dessus, qu'elles soient traduites ou non en accélération réelle ou apparente.

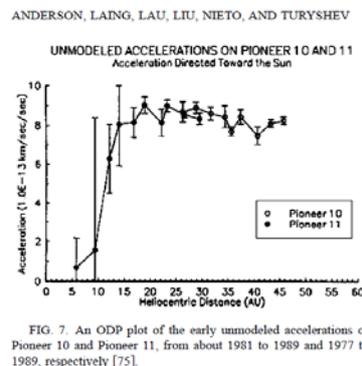
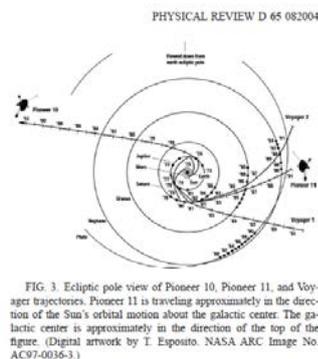
Chaque théorie sera associée également à un ensemble de prédictions numériques.

Première théorie

S1 : l'anomalie vient du fonctionnement des sondes...

L'hypothèse retenue aujourd'hui (et bien résumée sur Ummowiki) est la suivante : la chaleur produite par les générateurs thermoélectriques à radio-isotope (RTG) des sondes est émise de façon isotrope (dans toutes les directions), mais une fraction significative de celle-ci est réfléchiée par le dos de l'antenne parabolique grand gain. La pression de rayonnement résultante exerce une poussée dans la direction opposée c'est à dire dans la direction du Soleil et de la Terre. Il s'agit donc d'une force qui se traduit par une décélération bien réelle.

La courbe ci-dessous à droite donne cette décélération en fonction du temps. Rigoureusement, on ne peut comptabiliser cette décélération que depuis 1980 : les sondes étaient aux environs de l'orbite d'Uranus (20 UA) (figure de gauche), et l'anomalie Pioneer ne devient évidente qu'à cette distance (figure de droite) ...



La poussée supplémentaire due aux RTG ne doit donc être comptabilisée qu'à partir de 1980, soit pendant 29 ans si on fait le calcul en 2009.

L'écart temporel théorique peut donc s'écrire :

$\Delta t = \Delta L/c$ avec $\Delta L = -1/2 \text{ ap } T^2$, T étant ici le temps pendant lequel la poussée constante a lieu.

c est la vitesse de la lumière dans le vide ($3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$).

Application numérique S2 :

Si on prend $T=29$ ans (entre mars 1980 et mars 2009), on obtient $\Delta t = -1.22 \text{ s}$.

On peut traduire cela par un retard spatial $\Delta L = 366000 \text{ km}$. Et évidemment l'accélération ap est bien restituée par construction.

En résumé :

S1 : anomalie due aux RTG => **S2** { $\Delta t = 1.22 \text{ s}$, $\Delta L = 366000 \text{ km}$, $\text{ap} \sim 8.74 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^2$, $T=29 \text{ ans}$ }.

Seconde théorie

S3 : l'anomalie est d'origine purement cosmologique...

En cosmologie, tout est basé sur la vitesse de la lumière et les mesurables sont peu nombreux : le décalage Doppler fait partie de ces mesurables.

La cosmologie est une science jeune : son objet, en tant que discipline scientifique, est l'étude de l'univers dans sa globalité. Son étude repose mathématiquement sur la théorie de la relativité générale. L'univers est en expansion, celle-ci se traduisant via une grandeur mesurable, la constante de Hubble H_0 ou plus généralement le paramètre de Hubble $H [t]$. Ce paramètre est également un mesurable : il s'exprime en fonction du facteur d'échelle de l'expansion cosmique $a[t]$, parfois appelé aussi rayon de courbure : ce dernier facteur traduit l'expansion de l'Univers en fonction d'un temps cosmologique t , le même pour tous les observateurs.

Aujourd'hui, $H_0 = H[t_0]$ vaut environ 70 km/s/Mégaparsec, t_0 étant l'âge de l'Univers.

En unités SI, cette constante vaut environ $H_0 = 2.3 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1}$. Rappelons au passage que la vitesse de la lumière dans le vide vaut $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

L'article de 2002 indique une coïncidence numérique bizarre, à savoir :

$$\Rightarrow H_0 \cdot c = 7 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^2, \text{ valeur peu différente de } a_p = 8.74 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^2.$$

Cette coïncidence numérique a incité certains scientifiques à se pencher sur une origine cosmologique de l'anomalie Pioneer.

Si l'anomalie Pioneer provenait de l'expansion de l'Univers, cet effet serait comme une nouvelle expérience de Foucault : cet effet s'apparenterait alors au rôle que joue la rotation de la Terre dans l'expérience de Foucault : dans cette correspondance, l'effet Pioneer ne serait pas un « vrai effet physique » mais le résultat d'un changement de coordonnées dont la bonne prise en compte supprimerait alors entièrement cet effet. On trouvera un peu plus de détails en Annexe.

Tout cela se traduit dans les coordonnées du système solaire par un décalage vers le bleu de la fréquence du radar. Et c'est bien ce qui est observé comme rappelé dans l'article de 2002 une fois ôté le décalage vers le rouge dû à la vitesse d'éloignement de la sonde.

Plusieurs auteurs ont effectué les calculs relatifs à cette théorie.

Citons par exemple :

The "Pioneer effect" as a manifestation of the cosmic expansion in the solar system

J.L. Rosales *
Departamento de Física Moderna, Facultad de Ciencias
Universidad de Cantabria, 39005, Santander, Spain.

Local gravitational physics of the Hubble expansion

Einstein's equivalence principle in cosmology
Sergei M. Kopeikin^{1,2,*}

Ces différents auteurs trouvent un résultat théorique concret, à savoir :

$$\Rightarrow L = L_0 + \Delta L = L_0 - \frac{H_0 L_0^2}{2c}, \text{ avec } \Delta L = -\frac{H_0 L_0^2}{2c}$$

L est la longueur mesurée par le système radar de manière chronométrique comme on le fait habituellement dans notre système de coordonnées, c'est-à-dire que par définition, $L = (t_2 - t_1) / (2c)$, t_1 étant le temps d'envoi du signal et t_2 le temps de réception du signal.

Mais il faut corriger cette valeur de la quantité théorique ΔL pour tenir compte de l'expansion de l'Univers. C'est grâce à la mesure Doppler corrigée de tous les effets possibles (notamment la vitesse de la sonde) que l'on peut faire cette mesure extraordinaire.

D'ailleurs, les auteurs des articles précédents renversent le raisonnement et estiment que l'on pourrait mesurer la constante de Hubble grâce à cet effet « Pioneer » : une sonde dédiée envoyée dans l'espace lointain avec l'équipement adéquat permettrait de faire la mesure de la constante de Hubble !

Ajoutons que ΔL peut s'écrire aussi sous la forme d'une « accélération » :

$$\Delta L = -H_0 L^2 / (2c) = -\frac{1}{2} H_0 c \cdot (L^2/c^2) = -\frac{1}{2} H_0 c \text{ Tradar}^2.$$

On retrouve cette « accélération » de l'ordre de a_p qui vaut $(H_0 \cdot c)$ comme évoqué précédemment.

La grosse différence dans ce calcul est que cette pseudo-accélération n'est appliquée que pendant le temps de trajet de l'onde radar Tradar et non pendant 29 ans : peu importe que l'objet ait mis 29 ans, ou plus pour arriver à l'endroit où il sera rejoint par l'onde radar.

Application numérique S4 :

Avec $L = 10^{13}$ m, comme $\Delta L = -H_0 L^2 / (2c)$, on obtient $\Delta L = -0.38$ m.

Cette valeur obtenue peut être traduite en écart de chronométrie :

$$\Delta t = -0.38 / (3 \cdot 10^8) = -1.27 \cdot 10^{-9} \text{ secondes} = -1.27 \text{ nanosecondes.}$$

En résumé :

S3 : anomalie cosmologique \Rightarrow **S4** : $\{\Delta t = -1.27 \text{ ns}, \Delta L = -38 \text{ cm}, a_p \sim 6.9 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^2, \text{ Tradar} \sim 9 \text{ h}\}$.

c) Synthèse des deux analyses scientifiques « Terrestres »

L'anomalie Pioneer est un fait et l'explication de son origine n'est pas totalement close.

Deux explications Terrestres très différentes sont possibles, le seul point commun entre les deux étant l'apparition d'une accélération a_p , réelle pour S1, de type pendule de Foucault pour S3.

L'application numérique dépend du processus considéré ; pour S1, il faut appliquer une certaine accélération pendant 29 ans ; pour S3, seul le temps de propagation de l'onde radar jusqu'à la sonde compte, et donc la distance de la sonde à la Terre.

S1 : anomalie due aux RTG \Rightarrow **S2** : $\{\Delta t = 1.22 \text{ s}, \Delta L = 366000 \text{ km}, a_p \sim 8.74 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^2, T = 29 \text{ ans}\}$.

S3 : anomalie cosmologique \Rightarrow **S4** : $\{\Delta t = 1.27 \text{ ns}, \Delta L = 38 \text{ cm}, a_p \sim 6.9 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^2, \text{ Tradar} \sim 9 \text{ h}\}$.

Ces deux explications restituent la valeur du même observable a_p détecté par les mesures Doppler : ceci est satisfaisant à première vue, bien que ces restitutions soient accompagnées d'autres valeurs numériques très différentes, étant donnée la nature fondamentalement différente des deux théories.

Personne ne sait trancher en fait entre ces deux explications aussi plausibles l'une que l'autre, et parfois il est proposé un mélange des deux explications. Dans la suite, nous allons conserver l'explication cosmologique Terrienne pour la comparer à l'explication cosmologique Oummaine, afin de rapprocher les comparaisons dans un même cadre conceptuel cosmologique.

Comparaison des théories cosmologiques Oummaine et Terrienne

Cette comparaison me semble légitime, car les bases explicatives de O1 sont exactement les mêmes que celles de S3, à l'assertion près A5. Je rappelle ces bases ici pour plus de clarté :

- Les théories O1/S3 rejettent la réalité d'un vrai ralentissement et l'imputent à la géométrie de l'espace-temps.
- Les théories O1/S3 reposent sur une mesure Doppler faite par des ondes électromagnétiques dans un référentiel local et qui montrent un décalage vers le bleu (ou un retard).
- Les théories O1/S3 indiquent que dans un référentiel « cosmologique », ce décalage est explicable.

Les éléments explicatifs d'origine Oummaine sont presque tous cohérents d'une théorie cosmologique équivalente développée sur Terre.

Mais il reste deux points en écart après ce que j'espère avoir été une analyse soignée :

- L'assertion suivante est jugée non conforme de nos théories et/ou nous ne savons pas encore l'interpréter :

Le chemin spatiotemporel réellement parcouru par le signal est en fait le segment hyperbolique isochrone direct qui sous-tend le chemin tridimensionnel et présente systématiquement une longueur moindre de celle du chemin tridimensionnel apparent.

- L'explication Oummaine ne fournit pas la clé permettant de faire des calculs numériques. L'écart temporel fourni par les Oummaines $\{\Delta t = 1.23 \text{ s}\}$ est différent d'un facteur de l'ordre de 1 milliard de l'écart temporel fourni par la théorie cosmologique terrestre $\{\Delta t = 1.27 \text{ ns}\}$.

Ce dernier point est particulièrement préoccupant : comment un tel écart peut-il être possible dès lors que l'on suppose que les lois de la physique sont les mêmes partout dans l'univers, et que les prémisses utilisées par les deux approches semblent cohérentes, *sauf l'une d'entre elles* ?

En guise de conclusion

Si la Note 1 s'avérait correcte, elle jetterait alors un gros pavé dans la mare de nos connaissances actuelles : elle conduirait à un écart catastrophique de prédiction d'un facteur de l'ordre de 1 milliard, catastrophe qui ressemblerait par exemple à ce qu'on appelait la catastrophe ultraviolette au siècle dernier (https://fr.wikipedia.org/wiki/Catastrophe_ultraviolette)...

Cette situation très troublante pourrait être clarifiée, mais il faudrait en savoir plus pour échafauder une approche réconciliant les écarts. Je suggère de poser une question dans ce but :

« Vos explications concernant l'anomalie Pioneer s'appuient sur une physique et un développement mathématique que nous aimerions mieux comprendre : pourriez-vous nous instruire sur ce point ? »

ANNEXE 1 Extrait explicatif de l'article de 2012 de S.Kopeikin

PHYSICAL REVIEW D 86, 064004 (2012)

Celestial ephemerides in an expanding universe

Sergei M. Kopeikin*

Dans son article, S Kopeikin utilise deux systèmes de coordonnées.

Les y_i sont des coordonnées globales ou cosmologiques, qui expriment les propriétés d'expansion de l'Univers via une métrique dite « conforme » : cette métrique cosmologique n'est pas encore une métrique de Minkowski mais cela s'en rapproche.

Tout le travail de S Kopeikin a consisté à trouver comment raccorder localement cette métrique conforme à une métrique de type Minkowski de coordonnées x_i , qu'il appelle aussi coordonnées gaussiennes locales.

Un peu comme l'expérience du pendule de Foucault, il prédit à partir de là l'existence d'un effet cosmologique qui semble exercer dans le référentiel x_i une force sur la lumière (cela n'est pas incompatible avec la relativité générale, comme le montre par exemple la déviation de la lumière des étoiles lointaines passant près du Soleil et mesurée lors d'une éclipse). Localement, tout se passe comme si une force « accélérât » la vitesse du faisceau de lumière, mais il n'y a là aucune contradiction.

Il applique alors cela à l'effet Doppler utilisé dans le système x_i et montre que cet effet cosmologique se traduit par un décalage vers le bleu dans le repère x_i .

J'ai traduit en français son explication, après avoir rappelé sa formule (43).

For static emitter and receiver we have $v_1 = v_2 = 0$,
and the Doppler shift equation (42) drastically simplifies

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = 1 + H(t_2 - t_1) . \quad (43)$$

« La relation (43) montre que le décalage cosmologique Doppler mesuré par l'observateur statique local est bleu car $t_2 > t_1$ et, par conséquent, $\omega_2 > \omega_1$. Cela fonctionne de manière opposée au décalage cosmologique classique vers le rouge pour les quasars lointains mais il n'y a pas de contradiction ici.

Le décalage cosmologique vers le rouge est mesuré dans un système de référence commun à tous les observateurs, avec des coordonnées globales cosmologiques, y_i , tandis que le décalage Doppler local (43) est mesuré par rapport aux observateurs statiques ayant des coordonnées gaussiennes fixes x_i . Ainsi, les mesures de décalage Doppler dans l'espace-temps cosmologique global et dans l'espace-temps tangent local renvoient à deux ensembles différents d'observateurs de référence se déplaçant les uns par rapport aux autres avec la vitesse du flux de Hubble. »