

La vitesse de la lumière, les masses, les dimensions et le temps sont influencés par les champs gravitationnels

Claude Mercier ing., 2 février 2015
Rév. 17 octobre 2015

claudemercier@cima.ca

Le principe de conservation des masses de la mécanique classique est couramment utilisé en physique et en chimie. Cependant, ce principe n'est qu'une bonne approximation de la réalité et n'est valide que dans un cadre spécifiquement donné. En effet, tout comme les équations de Newton, ce principe néglige les effets relativistes. Il est valide à la condition que les vitesses des objets impliqués soient relativement faibles et que les champs gravitationnels environnants soient relativement faibles.

Grâce aux équations de la relativité restreinte, Einstein montra, en 1911, que la vitesse de la lumière pouvait être influencée par un champ gravitationnel [8]. Cependant, même si l'idée qu'il énonça à l'époque était bonne, l'équation qu'il trouva grâce à la relativité restreinte dut être rectifiée d'un facteur 2 suite à ses travaux sur la relativité générale. Grâce à la relativité générale, Schwarzschild montra que la vitesse de la lumière diminue en présence d'un champ gravitationnel intense [5,6]. Ce phénomène est d'ailleurs à la base de l'existence des lentilles gravitationnelles qui fut, depuis, amplement vérifié [10,11].

Sachant que les équations de Newton sur l'énergie potentielle sont valides à faible vitesse et en utilisant l'équation de Schwarzschild [5,6] qui donne la vitesse de la lumière en fonction du champ gravitationnel environnant, il est possible de montrer qu'une masse soumise à un champ gravitationnel voit sa valeur relative (par rapport à la masse hors champ gravitationnel) diminuer en raison de la variation de l'indice de réfraction du vide. Selon nous, ce même phénomène (purement relativiste) s'applique aussi au temps et aux dimensions de l'espace. Nous montrerons que les masses et le temps sont inversement proportionnels à l'indice de réfraction du vide n tout comme la vitesse de la lumière. Les dimensions de l'espace, quant à elles, sont directement proportionnelles à n .

MOTS CLÉS : Vitesse de la lumière, masse, dimensions, temps, champ gravitationnel, indice de réfraction du vide, énergie potentielle

1. INTRODUCTION

Dans ce document, nous partirons de l'équation de Schwarzschild [5,6] qui donne la vitesse de la lumière en fonction du champ gravitationnel environnant et nous modifierons cette équation pour la faire ressembler à l'équation de variation d'énergie potentielle de Newton. Ce faisant, il nous sera possible de montrer que la masse des objets varie en fonction de l'inverse de l'indice de réfraction du vide. Tout comme dans la théorie de la relativité restreinte, nous extrapolerons ce principe aux dimensions de l'espace ainsi qu'au temps.

2. DÉVELOPPEMENT

En 1911, Einstein montra que la vitesse de la lumière dans le vide est influencée par la présence d'un champ gravitationnel [8]. Le potentiel gravitationnel Φ est modulé en fonction de la masse m_1 et de la distance r_1 par rapport à celle-ci. Plus nous sommes proches de la masse m_1 , plus le champ gravitationnel est intense. Tel qu'énoncé à l'équation 3 de son article intitulé "On the Influence of Gravitation on the Propagation of Light", Einstein est arrivé à ce résultat :

$$c = c' \cdot \left(1 + \frac{\Phi}{c^2}\right) \quad \begin{array}{l} \text{(Équation basée sur} \\ \text{la relativité restreinte)} \end{array} \quad (1)$$

Le potentiel gravitationnel Φ est donné par l'équation suivante :

$$\Phi = \frac{G \cdot m_1}{r_1} \quad (2)$$

Selon des travaux publiés précédemment [9], la valeur précise de la constante gravitationnelle est liée à la valeur du rayon classique de l'électron r_e , à la masse de l'électron m_e , à la constante de structure fine α , à la vitesse de la lumière dans le vide c et à β .

$$G = \frac{c^2 \cdot r_e \cdot \alpha^{20}}{m_e \cdot \beta} \approx 6,67323043(30) \times 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2) \quad (3)$$

Selon le CODATA 2010 [1] :

- Constante de gravitation universelle $G \approx 6,67384(80) \times 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$
- Vitesse de la lumière dans le vide $c \approx 299792458 \text{ m/s}$
- Rayon classique de l'électron $r_e \approx 2,8179403267(27) \times 10^{-15} \text{ m}$
- Masse de l'électron $m_e \approx 9,10938291(40) \times 10^{-31} \text{ kg}$
- Constante de structure fine $\alpha \approx 7,2973525698(24) \times 10^{-3}$

La valeur de β est un nombre irrationnel. Elle exprime le rapport entre la vitesse d'expansion de l'univers matériel et la vitesse de la lumière dans le vide c [4] :

$$\beta = 3 - \sqrt{5} \approx 0,76 \quad (4)$$

La vitesse de la lumière, les masses, les dimensions et le temps sont influencés par les champs gravitationnels

3

De façon plus précise, selon les calculs de Schwarzschild qui utilisent la relativité générale d'Einstein, la vitesse de la lumière c' varie selon l'indice de réfraction du vide n_1 selon l'équation suivante :

$$c' = \frac{c}{n_1} \quad \text{où} \quad n_1 = \sqrt{\frac{1 + \frac{2\Phi}{c^2}}{1 - \frac{2\Phi}{c^2}}} \quad (5)$$

Ce résultat a été amplement vérifié grâce aux lentilles gravitationnelles [10,11] et il est considéré exact par la communauté scientifique.

Pour un potentiel gravitationnel Φ relativement faible, l'indice de réfraction n_1 peut être approximé comme ceci :

$$n_1 \approx 1 + \frac{2\Phi}{c^2} \quad (6)$$

Nous constatons qu'Einstein, se basant uniquement sur la relativité restreinte, est arrivé à un résultat qui ne correspond pas à la réalité physique (contrairement à la relativité générale) d'un facteur 2. En effet, se basant sur les équations (5) et (6), il aurait plutôt dû arriver, en bonne approximation, à l'équation suivante :

$$c \approx c' \cdot \left(1 + \frac{2\Phi}{c^2}\right) \quad (7)$$

Supposons maintenant une masse m_2 relativement légère en présence de la masse imposante m_1 qui génère le potentiel gravitationnel Φ . Essayons d'établir un lien entre la masse m_2 et son énergie potentielle par rapport à la masse m_1 .

Commençons par modifier l'équation (5) de cette manière :

$$n_1^2 = \frac{1 + \frac{2G \cdot m_1}{c^2 \cdot r_1}}{1 - \frac{2G \cdot m_1}{c^2 \cdot r_1}} \quad (8)$$

Nous pouvons réécrire cette équation de la manière suivante :

$$n_1^2 \cdot \left(1 - \frac{2G \cdot m_1}{c^2 \cdot r_1}\right) = 1 + \frac{2G \cdot m_1}{c^2 \cdot r_1} \quad (9)$$

Avec quelques manipulations algébriques, nous avons :

$$\frac{n_1^2 - 1}{n_1^2 + 1} = \frac{2G \cdot m_1}{c^2 \cdot r_1} \quad (10)$$

Comme l'indice de réfraction est toujours supérieur ou égal à 1, nous pouvons dire que :

$$n_1 = 1 + \varepsilon \quad (11)$$

Par conséquent, nous pouvons réécrire la partie gauche de l'équation (10) comme suit :

$$\frac{n_1^2 - 1}{n_1^2 + 1} = \frac{(1 + \varepsilon)^2 - 1}{(1 + \varepsilon)^2 + 1} = \frac{1 + 2\varepsilon + \varepsilon^2 - 1}{1 + 2\varepsilon + \varepsilon^2 + 1} = \frac{2\varepsilon + \varepsilon^2}{2 + 2\varepsilon + \varepsilon^2} \quad (12)$$

Au numérateur, pour un ε de petite valeur, le terme ε^2 est négligeable. En bonne approximation, l'équation (12) donne :

$$\frac{n_1^2 - 1}{n_1^2 + 1} \approx \frac{2\varepsilon}{2 + 2\varepsilon} = \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon} \quad (13)$$

En utilisant l'équation (11), l'équation (13) devient :

$$\frac{n_1^2 - 1}{n_1^2 + 1} \approx \frac{n_1 - 1}{n_1} = \frac{1}{1} - \frac{1}{n_1} \quad (14)$$

Réécrivons l'équation (10) en utilisant l'équation (14).

$$\frac{1}{1} - \frac{1}{n_1} \approx \frac{2G \cdot m_1}{c^2 \cdot r_1} \quad (15)$$

En faisant quelques manipulations algébriques, nous obtenons :

$$\left(\frac{1}{1} - \frac{1}{n_1} \right) \cdot \frac{c^2}{2} \approx \frac{G \cdot m_1}{r_1} \quad (16)$$

Essayons maintenant de faire ressembler le côté droit de l'équation (16) à l'équation de Newton suivante qui donne la variation d'énergie potentielle ΔE d'un objet de masse m_2 qui part d'une distance r_1 par rapport au centre de masse de m_1 et qui est déplacé à une distance infinie r_2 par rapport à la masse m_1 .

La vitesse de la lumière, les masses, les dimensions et le temps sont influencés par les champs gravitationnels

5

$$\Delta E|_r^2 = \lim_{r_2 \rightarrow \infty} \left(\frac{-G \cdot m_1 \cdot m_2}{r_2} - \frac{-G \cdot m_1 \cdot m_2}{r_1} \right) \quad (17)$$

Faisons apparaître dans l'équation (16) la valeur de la masse m_2 de chaque côté de l'équation. Théoriquement, cette manipulation n'a rien changé.

$$\left(\frac{1}{1} - \frac{1}{n_1} \right) \cdot \frac{m_2 \cdot c^2}{2} \approx - \frac{-G \cdot m_1 \cdot m_2}{r_1} \quad (18)$$

Nous savons que dans l'équation (17) la valeur suivante est nulle :

$$\lim_{r_2 \rightarrow \infty} \frac{-G \cdot m_1 \cdot m_2}{r_2} = 0 \quad (19)$$

Par conséquent, nous pouvons l'ajouter sans rien changer au côté droit de l'équation (18).

$$\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{1} - \frac{1}{n_1} \right) \cdot m_2 \cdot c^2 \approx \lim_{r_2 \rightarrow \infty} \left(\frac{-G \cdot m_1 \cdot m_2}{r_2} - \frac{-G \cdot m_1 \cdot m_2}{r_1} \right) \quad (20)$$

Lorsque nous analysons le côté droit de l'équation (20), nous reconnaissons l'équation de variation de l'énergie potentielle qu'un objet de masse m_2 gagnerait en se déplaçant à une distance r_2 qui tend vers l'infini à partir d'une distance initiale r_1 par rapport à une masse m_1 .

Selon la théorie de la relativité restreinte d'Einstein, l'énergie totale d'une masse m_2 au repos est donnée par l'équation de transformation suivante :

$$E = m_2 \cdot c^2 \quad (21)$$

L'indice de réfraction du vide, pour une position hors de tout champ gravitationnel (c'est-à-dire à une distance $r_2 \rightarrow \infty$), est « 1 » et l'indice de réfraction du vide à la position r_1 , par rapport à la masse m_1 , est n_1 . Pour qu'il y ait variation d'énergie potentielle, l'énergie contenue dans la masse m_2 est obligée de changer en fonction de sa distance par rapport au centre de masse de m_1 . En d'autres mots, l'énergie E de la masse m_2 varie en fonction de la moitié de la différence entre l'inverse de l'indice de réfraction du vide à $r_2 \rightarrow \infty$, c'est-à-dire 1, et l'inverse de l'indice de réfraction à r_1 , c'est-à-dire n_1 .

Dans l'équation (20), nous avons analysé le cas d'une masse m_2 qui part d'une distance r_1 par rapport à la masse m_1 et qui se déplace à une distance $r_2 \rightarrow \infty$. Cependant, pour un cas plus général, il est possible de montrer mathématiquement que nous pourrions exprimer l'équation (20) comme ceci :

$$\Delta E \Big|_{r_1}^{r_2} = \frac{-G \cdot m_1 \cdot m_2}{r_2} - \frac{-G \cdot m_1 \cdot m_2}{r_1} \approx \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{n_2} - \frac{1}{n_1} \right) \cdot m_2 \cdot c^2 \quad (22)$$

Cette équation nous dit que la variation d'énergie potentielle ΔE , entre les points r_1 et r_2 , de la masse m_2 (qui se déplace par rapport au centre de masse m_1), est approximativement égale à la moitié de la variation de l'énergie contenue dans la matière de la masse m_2 affectée par l'indice de réfraction du vide de son milieu (n_1 pour le point situé en r_1 et n_2 au point r_2).

Pour un événement de courte durée, la vitesse limite de la lumière dans le vide c peut être considérée constante. Bien sûr, ce n'est pas le cas pour des événements de longue durée puisque nous prétendons que la vitesse de la lumière augmente au cours du temps [4] en raison de l'expansion de l'univers [7]. En raison de l'expansion de l'univers, l'indice de réfraction du vide diminue au cours du temps [4]. La vitesse de la lumière tendra éventuellement vers une valeur que nous avons baptisé k pour un rayon de courbure apparent de l'univers R_u qui tendra vers l'infini [4].

$$k = c \cdot \sqrt{2 + \sqrt{5}} \approx 2 \cdot c \quad (23)$$

Le rayon apparent de l'univers varie selon la constante de Hubble H_0 . Selon des travaux réalisés précédemment [12], le rayon apparent de l'univers R_u peut être exprimé plus précisément en utilisant l'équation suivante :

$$R_u = \frac{c}{H_0} = \frac{r_e}{\beta^{1/2} \cdot \alpha^{19}} \approx 1,283107880(81) \times 10^{26} \text{ m} \quad (24)$$

Dans des travaux antérieurs, nous avons déjà montré que la constante de Hubble H_0 pouvait être exprimée par une équation dont la précision dépendait de la vitesse de la lumière c , de la constante de structure fine α , du rayon classique de l'électron r_e et de la constante β (qui est décrite à l'équation (4)).

$$H_0 = \frac{c \cdot \alpha^{19} \cdot \beta^{1/2}}{r_e} \approx 72,0954863(46) \text{ km}/(\text{s} \cdot \text{MPar sec}) \quad (25)$$

La vitesse de la lumière, les masses, les dimensions et le temps sont influencés par les champs gravitationnels

7

La valeur de la constante de Hubble H_0 obtenue en (25) est compatible avec celle de Xiaofeng Wang et son équipe [13] qui ont obtenu la mesure suivante : $H_0 = 72,1 \pm 0,9 \text{ km/(s.MParsec)}$.

Nous pourrions alors être tentés de croire, selon l'équation (21), que si la vitesse de la lumière c augmente au cours du temps, que l'énergie de la matière augmente aussi au cours du temps. Mais il n'en est rien. La loi de conservation de l'énergie continue à s'appliquer et l'énergie demeure la même. D'ailleurs, pour que l'énergie de la matière puisse se maintenir au cours du temps, la masse des objets diminue en conséquence au cours du temps [14].

3. VARIATION DE LA MASSE DES OBJETS EN FONCTION DE L'INDICE DE RÉFRACTION DU VIDE

Essayons de voir quel est l'impact de la variation de l'indice de réfraction du vide sur la masse des objets. Commençons par faire une analogie entre la réaction nucléaire de fusion et l'attraction gravitationnelle. En fait, pour toute force d'attraction, le fait de rapprocher les objets les uns des autres fait perdre de l'énergie potentielle et fait perdre de la masse aux objets. Dans le processus de rapprochement, il y a toujours émission de photons, même en gravitation.

Les mesures expérimentales montrent que la masse d'un noyau atomique est toujours inférieure à celle de ses constituants pris séparément et ajoutés. Prenons un exemple simple au hasard, le carbone ^{14}C . Nous prenons volontairement un isotope du carbone comme exemple afin d'éviter la comparaison avec la masse atomique moyenne figurant dans le tableau de Mendeleïev. En effet, cette valeur reflète une moyenne pondérée en fonction du pourcentage retrouvé naturellement dans la nature.

Tableau 1 : Calcul de la somme des masses des constituants du carbone ^{14}C			
Constituants	Quantité	Masse (kg)/particule	Masse totale (kg)
protons	6	$1,672621777 \times 10^{-25} \text{ kg}$	$1,0035730662 \times 10^{-26} \text{ kg}$
neutrons	8	$1,674927351 \times 10^{-27} \text{ kg}$	$1,3399418808 \times 10^{-26} \text{ kg}$
électrons	6	$9,10938291 \times 10^{-31} \text{ kg}$	$5,465629746 \times 10^{-30} \text{ kg}$
Total de m_c			$2,344061510 \times 10^{-26} \text{ kg}$

Nonobstant le résultat du calcul de la somme des masses des constituants du carbone ^{14}C , la masse totale de cet atome est de $2,325293014 \times 10^{-26} \text{ kg}$. Nous constatons bien, dans cet exemple, que la masse de l'atome est légèrement

inférieure à la somme des masses des constituants pris séparément (voir tableau 1). Le déficit de masse entre la masse de l'atome de ^{14}C (que nous nommons ici m_a) et la masse totale des constituants (que nous nommons ici m_c) est donné par $\Delta m = m_c - m_a \approx 1,8768496215 \times 10^{-28}$ kg. Lorsque nous forçons les constituants à se fusionner pour créer un atome de carbone ^{14}C , il y a une perte de masse Δm et un dégagement d'énergie E sous forme de photons. Cette énergie E peut être évaluée à l'aide de l'équation suivante d'Einstein :

$$E = \Delta m \cdot c^2 \approx 1,686828317 \times 10^{-11} \text{ J} \approx 105,8 \text{ MeV} \quad (26)$$

Nous réalisons que l'atome de carbone est le résultat d'une réaction de fusion nucléaire exothermique. En fait, il en est de même avec tous les atomes du tableau de Mendeleïev.

Dans le processus de fusion nucléaire, tout comme en gravitation, le regroupement des objets se fait de manière naturelle car il y a attraction. Cependant, nous pouvons concevoir que lorsqu'il y a répulsion électrique entre deux particules de même signe, le rapprochement des charges électriques fait augmenter la masse globale des objets et il y a absorption de photons.

En considérant seulement l'influence des indices de réfraction sur la masse m_2 , essayons de créer une équation qui met en évidence la simple différence de masse due aux différents indices de réfraction aux positions r_1 et r_2 . Commençons par modifier légèrement l'équation (22) comme ceci :

$$\frac{-G \cdot m_1 \cdot m_2}{r_2} - \frac{-G \cdot m_1 \cdot m_2}{r_1} \approx \left(\frac{1}{n_2} - \frac{1}{n_1} \right) \cdot m_2 \cdot c^2 - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{n_2} - \frac{1}{n_1} \right) \cdot m_2 \cdot c^2 \quad (27)$$

Bien que cette équation semble plus grosse que l'équation (22), nous n'avons strictement rien changé du point de vue algébrique.

Nous modifions l'apparence de l'équation précédente pour donner :

$$\underbrace{\left(\frac{1}{n_2} - \frac{1}{n_1} \right) \cdot m_2 \cdot c^2}_{\text{Variation d'énergie contenue dans la matière}} \approx \underbrace{\frac{-G \cdot m_1 \cdot m_2}{r_2} - \frac{-G \cdot m_1 \cdot m_2}{r_1}}_{\text{Variation d'énergie potentielle}} + \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{n_2} - \frac{1}{n_1} \right) \cdot m_2 \cdot c^2}_{\text{Apport d'énergie supplémentaire sous forme de photons}} \quad (28)$$

La vitesse de la lumière, les masses, les dimensions et le temps sont influencés par les champs gravitationnels

9

Cette équation dit que la variation d'énergie contenue dans la matière entre les points 1 et 2 est due à deux choses : à une variation d'énergie potentielle et un apport d'énergie sous forme photonique. Si cet apport est négatif, c'est que le processus émet des photons. Lorsque m_2 s'approche de m_1 , c'est d'ailleurs ce qui se passe.

Divisons chaque côté de l'équation (28) par c^2 pour obtenir seulement des variations de masses de chaque côté de l'équation :

$$\left(\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2} \right) \cdot m_2 \approx \frac{-G \cdot m_1 \cdot m_2}{r_2 \cdot c^2} - \frac{-G \cdot m_1 \cdot m_2}{r_1 \cdot c^2} + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2} \right) \cdot m_2 \quad (29)$$

Cette équation veut dire que si nous prenons une masse au repos m_0 située hors de tout champ gravitationnel et que nous la déplaçons pour augmenter son énergie potentielle, en effectuant un travail dans un champ gravitationnel causant un indice de réfraction n , cette même masse deviendra égale à m' :

$$m' = \frac{m_0}{n} \quad (30)$$

Nous n'avons malheureusement pas de balances assez précises pour vérifier la justesse de ce phénomène, mais tout comme en fusion nucléaire, la masse diminue lorsqu'elle est soumise à un champ gravitationnel.

Lorsque nous laissons tomber une masse sur la Terre, la masse en question crée en quelque sorte un lien gravitationnel (tout comme un lien chimique ou nucléaire) avec la Terre. La création de ce lien est exothermique et dégage une énergie, donc une masse (selon l'équation d'Einstein $E = m_0 \cdot c^2$).

En sens contraire, si nous élevons une masse à une certaine hauteur, nous effectuons un travail pour lui donner une certaine énergie potentielle. Ce travail effectué pour augmenter l'énergie potentielle de l'objet est donné à la masse sous forme de photons. Le principe de conservation de l'énergie est alors conservé.

Nous avons passé sous silence, jusqu'à présent, l'influence de l'approche de m_2 vers la masse m_1 . Dans l'équation de départ, c'est-à-dire dans l'équation de Schwarzschild (5), nous avons toujours supposé m_1 beaucoup plus grande que m_2 et avons supposé que la totalité de la variation de masse se faisait dans m_2 . Cependant, même si l'influence de m_2 est faible sur m_1 (et peut souvent être négligée dans les calculs), elle est bien présente.

4. VARIATION DES DIMENSIONS ET DU TEMPS DES OBJETS EN FONCTION DE L'INDICE DE RÉFRACTION DU VIDE

En faisant des analogies avec la relativité restreinte, nous voulons montrer ici qu'en plus de modifier la vitesse de la lumière dans le vide (selon l'équation (5)) et la masse au repos m_0 des objets, l'indice de réfraction du vide modifie aussi la longueur au repos l_0 et le temps au repos t_0 des objets.

Le lecteur constatera que nous faisons un parallèle entre l'indice de réfraction n et le facteur de Lorentz en utilisant l'équation suivante, tout comme si le fait qu'un objet animé d'une vitesse v correspondait à augmenter localement l'indice de réfraction du vide n .

$$n \Leftrightarrow \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (31)$$

Dans le tableau qui suit, l'équation de la relativité restreinte [2,3] se retrouve à gauche et, à droite, l'équation qui lui est associée avec l'indice de réfraction du vide n :

SELON THÉORIE DE LA RELATIVITÉ RESTREINTE	INFLUENCE DE L'INDICE DE RÉFRACTION DU VIDE	
Nous savons que $m' = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$	Alors $m' = \frac{m_0}{n}$	(32)
Nous savons que $t' = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$	Alors $t' = \frac{t_0}{n}$	(33)
Nous savons que $l' = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$	Alors $l' = l_0 \cdot n$	(34)

Tous ces effets sont relativistes. Dans nos calculs, nous supposons un observateur situé à l'infini, ce qui, en définitive, n'existe pas. Cependant, même si l'observateur était situé à la limite observable de l'univers, c'est-à-dire à R_u , il pourrait observer des résultats identiques à ce que nous avons calculé. Dans la pratique, seules les différences entre deux points situés à l'intérieur de notre univers nous intéressent. Il suffit donc de faire la différence entre les caractéristiques des objets entre ces deux points. Il n'est pas nécessaire d'avoir un observateur situé en dehors de notre univers (à l'infini).

Essayons de visualiser les implications de ces équations dans une expérience relativement simple. Supposons un observateur situé sur le haut d'une montagne de 1000 m au-dessus du niveau de la mer. Pour des fins de calcul, nous supposons que le rayon de la Terre est exactement $r_t = 6378137$ m et que celle-ci possède exactement une masse de $m_t = 5,9736 \times 10^{24}$ kg. Il a avec lui deux règles qui mesurent chacune précisément 1 m de longueur et qui ont chacune une masse de 1 kg. Supposons aussi qu'il possède deux horloges infiniment précises qui battent toutes deux au même rythme de 1 seconde à chaque seconde. Un de ses collègues place une des règles et une des horloges au niveau de la mer. Il conserve l'autre règle et l'autre horloge pour s'en servir, à titre comparatif, comme étalon de mesure. Supposons qu'il est possible d'observer les caractéristiques de la règle et de l'horloge à partir du point d'observation qui est situé sur le haut de la montagne. Dans la réalité, il est très difficile de faire ces observations à distance (voir impossible). N'oublions pas que nous ne pouvons pas utiliser une balance numérique qui se déplace avec l'objet observé, car cela reviendrait à déplacer l'étalon sur le bord de la mer et la différence observée serait alors nulle.

Si toute l'expérience est faite selon les règles, l'observateur constatera que les caractéristiques de la règle et de l'horloge ont changé par rapport aux valeurs qu'il peut mesurer sur la règle et l'horloge étalons. Il constatera que la règle située maintenant au niveau de la mer a une masse inférieure d'environ $2,18 \times 10^{-13}$ kg, que le temps s'écoule plus rapidement de $2,18 \times 10^{-13}$ s/s et que la longueur est supérieure d'environ $2,18 \times 10^{-13}$ m. L'effet est donc minime et tout à fait négligeable à notre échelle.

Dans cette expérience, l'indice de réfraction du vide sur le haut de la montagne est n_0 et celui situé au niveau de la mer est n_1 .

$$n_0 = \sqrt{\frac{1 + \frac{2G \cdot m_t}{c^2 \cdot (r_t + 1000)}}{1 - \frac{2G \cdot m_t}{c^2 \cdot (r_t + 1000)}}} \quad n_1 = \sqrt{\frac{1 + \frac{2G \cdot m_t}{c^2 \cdot r_t}}{1 - \frac{2G \cdot m_t}{c^2 \cdot r_t}}} \quad (35)$$

Alors, la différence de masse observée entre l'observateur situé sur le haut de la montagne et l'autre au niveau de la mer sera :

$$\left(\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_0} \right) \cdot 1 \text{ kg} \approx -2,18 \times 10^{-13} \text{ kg} \quad (36)$$

Pour chaque seconde, la différence de temps entre les horloges sera :

$$\left(\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_0} \right) \cdot 1 \text{ s} \approx -2,18 \times 10^{-13} \text{ s} \quad (37)$$

La différence de longueur sera :

$$(n_1 - n_0) \cdot 1 \text{ m} \approx 2,18 \times 10^{-13} \text{ m} \quad (38)$$

Nous mentionnons que l'effet est relativiste. Par conséquent, si l'observateur descend de la montagne avec ses étalons en même temps que son collaborateur, les différences entre les caractéristiques des étalons et des objets sous observations seront nulles.

5. CONCLUSION

En utilisant une des équations de Schwarzschild donnant l'indice de réfraction du vide, nous avons montré que la variation de l'énergie potentielle d'un objet peut être directement associée à une variation d'indice de réfraction dans le vide. De même, nous avons montré qu'en plus d'affecter la vitesse de la lumière dans le vide, l'indice de réfraction du vide a une influence directe sur la valeur des masses, des dimensions et du temps des objets au repos. Bien sûr, nous devons ajouter l'influence relativiste de la vitesse des objets à l'influence de l'indice de réfraction du vide.

Sachant que les masses, le temps et les dimensions de l'espace peuvent dépendre des conditions des champs gravitationnels dans lesquelles ces observations sont faites, nous serons peut-être plus en mesure de comprendre et de prévoir les phénomènes observés en présence de champs gravitationnels plus intenses, tels qu'aux abords des trous noirs.

6. RÉFÉRENCES

- [1] "Latest (2010) Values of the Constants", NIST Standard Reference Database 121, dernière mise à jour : avril 2012, article Internet à : <http://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html>
- [2] Einstein, Albert, "La relativité", *Petite Bibliothèque Payot*, v. 25, Paris, édition originale de 1956 de Gauthier-Villars reprise intégralement par les éditions Payot & Rivages pour l'édition de 2001, p. 109.
- [3] Einstein, Albert, "On the Electrodynamics of Moving Bodies", *The Principle of Relativity (Dover Books on Physics)*, New York, Dover Publications, 1952 (article original de 1905), pp. 35-65.
- [4] Mercier, Claude, "La vitesse de la lumière ne serait pas constante", *Pragtec*, Baie-Comeau, Québec, Canada, 8 octobre 2011, article disponible sur Internet à : www.pragtec.com/physique/
- [5] Binney, James and Michael Merrifield, "Galactic astronomy", *Princeton University Press*, 1998, p. 733, de l'équation A2.
- [6] Maneghetti, Massimo, "Introduction to Gravitational Lensing, Lecture scripts", *Institut für Theoretische Astrophysik*, Bologna, Italie, 2006, p. 7, de l'équation 1.19, Web. <<http://www.ita.uni-heidelberg.de/~massimo/sub/Lectures/chapter1.pdf>>
- [7] Hubble, E. et Humason, M. L., "The Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae", *The Astrophysical Journal*, v. 74, 1931, p.43.
- [8] Einstein, Albert, "On the Influence of Gravitation on the Propagation of Light", *The Principle of Relativity (Dover Books on Physics)*, New York, Dover Publications, 1952 (article original 1911), pp. 97-108.
- [9] Mercier, Claude, "Calcul de la constante gravitationnelle universelle G ", *Pragtec*, Baie-Comeau, Québec, Canada, 13 mars 2013, article disponible sur Internet à : www.pragtec.com/physique/
- [10] Maneghetti, Massimo, "Introduction to Gravitational Lensing, Lecture scripts", *Institut für Theoretische Astrophysik*, Bologna, Italie, 2006, p. 7, de l'équation 1.19, Web. <<http://www.ita.uni-heidelberg.de/~massimo/sub/Lectures/chapter1.pdf>>
- [11] Matzner, Richard A., "Dictionary of Geophysics, Astrophysics, and Astronomy (Comprehensive Dictionary of Physics)", *Boca Raton: CRC*, 2001.
- [12] Mercier, Claude, "Calcul du rayon de courbure apparent de l'univers", *Pragtec*, Baie-Comeau, Québec, Canada, 9 juin 2013, article disponible sur Internet à : www.pragtec.com/physique/
- [13] Wang, Xiaofeng et al., "Determination of the Hubble Constant, the Intrinsic Scatter of Luminosities of Type Ia SNe, and Evidence for Non-Standard Dust in Other Galaxies", mars 2011, pp. 1-40, arXiv:astro-ph/0603392v3
- [14] Mercier, Claude, "Variation des « constantes de physique » au cours du temps", *Pragtec*, Baie-Comeau, Québec, Canada, 16 mars 2011, article disponible sur Internet à : www.pragtec.com/physique/