

Comportement d'une masse dans un champ gravitationnel ¹

Deuxième partie : l'explication

Un nouveau principe est proposé pour résoudre les difficultés rencontrées dans l'application de la relativité générale.

La mécanique quantique est actuellement incapable d'expliquer le changement de rythme des horloges dans un champ de pesanteur.

Le principe d'équivalence, dans lequel on voit le fondement même de la relativité générale, peut être pris en défaut.

Le trou noir pose de si redoutables problèmes aux théoriciens que l'on est en droit de se poser la question même de son existence.

Une réalité physique insoupçonnée semble se cacher derrière ces problèmes. Après avoir remis en cause la constance de la vitesse de la lumière dans la première partie de cette publication, c'est cette réalité que nous tentons de cerner dans la seconde partie.

CYRILLE PAVLIN

Introduction

Dans la première partie intitulée « Le constat », il est prouvé que la vitesse de la lumière, que toutes les mesures donnent comme constante, ne l'est pas en réalité. C'est une quasi-évidence à la surface d'un repère en rotation et cela le reste, par continuité, dans un repère galiléen tangent. L'expérience ne décrit pas la réalité mais seulement les faits observables que la relativité restreinte relie entre eux grâce au formalisme de Lorentz.

En se plaçant dans un repère tournant, il faut retarder les horloges qui ont été déplacées vers l'ouest et avancer celles qui ont été déplacées vers l'est pour avoir partout une définition univoque du temps.

En utilisant ce temps corrigé, il est possible de développer un formalisme analogue à la transformation de Lorentz. On trouve alors deux formulations possibles :

- La *première formulation*, la plus simple et la plus générale, paraît s'imposer sous réserve d'un complément d'analyse. Elle se rapproche beaucoup de la mécanique classique.

• La *seconde formulation*, très proche de la transformation de Lorentz avec quelques avantages en plus, en présente les inconvénients.

Ces formules restent valables dans le repère galiléen tangent (il suffit pour cela d'augmenter à l'infini le rayon du repère tournant en maintenant constante la vitesse circumférentielle).

Il faut alors admettre qu'il existe un repère absolu, origine de toutes les vitesses, même si l'expérience ne nous permet pas aujourd'hui de le matérialiser.

Cette deuxième partie traite le cas de la relativité générale avec, au départ, deux autres constats :

• Le principe d'équivalence sur lequel elle repose peut être pris en défaut.

• On ne sait pas aujourd'hui expliquer ce qui dans un repère en rotation fait physiquement avancer ou retarder les horloges.

Une horloge accélère non seulement lorsqu'on la déplace vers l'ouest, mais aussi lorsqu'on la hisse dans un champ de pesanteur. Cet effet, prédit par la relativité générale, est en effet observé expérimentalement. Tout simple qu'il soit, ce fait est déjà contesté par les spécialistes². Pourtant, il suffit de comparer deux horloges identiques placées à des altitudes différentes pour lever toute équivoque. Que l'on envoie régulièrement des signaux de l'une vers l'autre, ou bien que l'on rapproche les horloges après un temps quelconque, ou qu'on les intervertisse, on trouve toujours le même résultat : l'horloge en altitude prend régulièrement de l'avance sur celle restée au sol, et ceci proportionnellement au temps passé. Inutile de jouer sur les mots, il s'agit clairement d'un changement de rythme pendant tout le temps où elle était plus haut.

Enoncé du principe de variabilité de la masse

La constance de la masse est universellement admise, y compris dans les champs gravitationnels les plus intenses.

Or il existe une incompatibilité entre la théorie de la relativité et la mécanique quantique. La relativité générale affirme que le temps ra-

lentit pour un observateur plongé dans un champ gravitationnel. Les horloges atomiques, les seules assez précises actuellement pour faire de telles mesures, le confirment. Elles fonctionnent sur des transitions d'états d'énergie décrits par la mécanique quantique. Les niveaux d'énergie correspondants, liés aux vitesses orbitales ou aux spins, font intervenir :

- la charge électrique e ;
- la constante de Planck h ;
- la masse de la particule m (au dénominateur).

Pour que la fréquence d'horloge varie, il faudrait que l'une au moins de ces trois grandeurs varie dans un champ de gravitation. Actuellement, les trois sont considérées comme invariantes, de sorte que la fréquence d'horloge ne saurait varier, contrairement à ce qu'affirment la Relativité et l'expérience.

Il faut donc émettre une hypothèse supplémentaire. Seule la masse est susceptible de subir des modifications réelles ou fictives. Regardons de quelle manière et selon quelle loi une telle variation de masse serait possible.

En relativité restreinte, la masse *fictive* qu'il faudrait attribuer à une masse animée d'une vitesse V pour justifier son accélération limitée sous une force F est donnée par la formule :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

m_0 étant la masse au repos.

L'idée défendue ici est que, sous certaines conditions, cet accroissement de la masse pourrait aussi être une réalité.

Soit une masse m soumise à une force F contre laquelle elle lutte, soit par son poids dans un champ de pesanteur, soit par son inertie. Si dans le repère galiléen dans lequel la masse était primitivement au repos, la force appliquée F se déplace de la distance dx , la masse reçoit un travail $dW = F dx$.

On considère habituellement que ce travail augmente soit l'énergie cinétique, soit l'énergie potentielle, mais on peut dire, également, que cet apport d'énergie se trouve stocké sous la forme d'un accroissement dm de la masse, conformément à la formule :

$$dm = dW/c^2 = F dx / c^2.$$

Cas de l'accélération

Selon le principe fondamental de la mécanique, une impulsion – produit de la force par son temps d'application – se traduit par une variation de la quantité de mouvement :

$$F dt = d(mV) = m dV + V dm$$

$$d'où : F V dt = m V dV + V^2 dm$$

$$\text{soit } F dx = m V dV + V^2 dm = c^2 dm.$$

1. Aux vitesses petites devant c , les variations de la masse dm sont insignifiantes

$$F dx = dW \cong m V dV$$

Par intégration, on retrouve bien tout le travail sous forme d'énergie cinétique :

$$W = 1/2 m V^2$$

2. A une vitesse proche de c , l'accroissement de la vitesse dV devient insignifiant. Tout le travail fourni se retrouve sous forme d'énergie de masse. On retrouve ainsi directement, du seul fait que c est une vitesse limite :

$$dE = F dx \cong c^2 dm.$$

Formule qu'Einstein n'a pas hésité à généraliser à l'ensemble de la masse :

$$E = mc^2.$$

3. Dans les cas intermédiaires, on a :

$$(c^2 - V^2) dm = m V dV.$$

Par intégration entre $V = 0$ et V on retrouve bien la masse relativiste :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

Cas de la pesanteur

Lorsque l'on élève la masse m de la hauteur dh , le travail reçu augmente l'énergie potentielle et se retrouve aussi sous forme d'un accroissement de la masse :

$$F dh = mg dh = c^2 dm$$

$$dm/m = g dh/c^2.$$

Par intégration sur une hauteur h , la masse subit un accroissement Δm :

$$\Delta m/m = gh/c^2.$$

Cet accroissement relatif de la masse rend exactement compte de la variation de fréquence de l'horloge.

Le principe est-il réellement nouveau ?

On pourrait le croire, mais de récentes publications peuvent en faire douter.

↳ *Einstein avait retenu un temps cette idée. Pour expliquer pourquoi une radiation émise au sol est reçue en altitude à une fréquence plus basse que la même radiation émise localement, il pensait que la masse fictive liée à l'énergie de la radiation doit travailler pour remonter le champ de gravitation, au détriment de son énergie propre. Il retrouvait ainsi la bonne valeur de l'abaissement de la fréquence.*

Plus étrange encore, pour appuyer son argumentation, Einstein imagine un cycle³ dans lequel il envoie du point haut un rayonnement vers le bas en abaissant simultanément un corps de masse M . Il transfère alors l'énergie du rayonnement, augmentée de la fraction gh/c^2 , à la masse M qui vaut alors M' . Pour remonter M' , il faut dépenser une énergie supplémentaire, correspondant au gain d'énergie que la radiation a acquis pendant sa descente.

Comment Einstein, si prompt à généraliser, n'a-t-il pas appliqué à la masse qui lui sert d'ascenseur le même raisonnement que celui réservé à la masse équivalente à l'énergie ? En fait, Einstein avait bien imaginé une dépendance entre la masse inerte et le potentiel de gravitation mais pour l'abandonner assez vite⁴. Ce qui l'avait arrêté ? Le fait qu'il n'y ait pas indépendance de l'accélération de la chute libre par rapport à la vitesse horizontale. Ceci peut surprendre puisque la vitesse de chute ne dépend pas de la masse. Et ce, d'autant plus que, parallèlement, il démontre que si l'on accroît de E l'énergie d'un corps, on augmente de E/c^2 à la fois sa masse inerte et sa masse pesante, sans que cela paraisse lui poser de problème.

En fait, plutôt que de considérer que la radiation change de fréquence en remontant un champ de gravitation, on peut aussi bien dire qu'elle est émise au départ à une fréquence plus basse parce que la masse de la particule (et par conséquent l'énergie de la transition qui lui a donné naissance) y est plus faible.

Variation de la masse dans un champ d'accélération

Il est assez indifférent de savoir si une masse augmente ou diminue

avec la vitesse tant que l'on considère qu'il s'agit d'un artifice de calcul destiné à justifier la diminution de l'accélération avec la vitesse. Par contre, si l'on cherche à expliquer le changement bien réel du rythme des horloges à partir des changements de masse, il n'en est plus de même. D'autant que le signe de la variation de la masse n'est pas complètement résolu.

Considérons une masse placée sur un rail orienté est-ouest. Il faut lui appliquer la même quantité de mouvement, c'est-à-dire la même force maintenue pendant le même temps (ou sur la même distance), pour annuler la vitesse due à la rotation de la Terre que pour la doubler. Dans le repère tangent, selon la relativité restreinte, la masse augmente dans les deux cas. Or, dans le premier cas, l'horloge qui lui est liée accélère, donc la masse doit augmenter, et dans le second cas, elle ralentit, signe que la masse diminue.

Pour bien comprendre ce qui se passe, il faut se placer dans le champ de gravitation terrestre.

- Partant du centre de la Terre, une masse en contra-rotation, qui donc ne tourne pas, doit remonter intégralement le champ d'accélération. Tout le travail fourni se retrouve sous la forme d'une augmentation proportionnelle de la masse.

- Dans le repère lié à la Terre, il faut retrancher en tout point l'accélération centrifuge à l'accélération de la pesanteur. La masse augmente moins.

- Pour la masse qui va deux fois plus vite que la Terre, l'accélération centrifuge est double. La masse augmente moins encore.

On retrouve ainsi non seulement l'ordre, mais aussi la valeur exacte dont varient les rythmes des horloges placées à la surface de la Terre.

La même explication rend aussi bien compte des variations du temps en fonction de la vitesse dans un repère en rotation que celles dues au potentiel gravitationnel.

Pour des repères galiléens, on doit considérer, par continuité, que la masse augmente lorsque sa vitesse la rapproche du repère fixe absolu et qu'elle diminue si elle s'en éloigne.

Continuant à soutenir le principe de la variabilité de la masse, nous allons en explorer méthodiquement les conséquences.

Systemes d'unités

Si l'on considère la masse comme non invariante dans un champ de pesanteur, sans pour cela renoncer au principe de relativité qui veut que toutes les mesures effectuées dans des repères galiléens donnent les mêmes résultats, toutes les unités se trouvent simultanément modifiées.

Le temps varie naturellement comme l'inverse de la masse, conformément aux variations de fréquence des oscillateurs.

Les distances également. Cela s'explique de deux manières :

1. Augmenter la masse des particules (noyau et électrons périphériques) revient à réduire la taille de l'atome⁵. Le mètre étalon, constitué d'un nombre défini d'atomes mis bout à bout, rétrécit.

2. Définir ce même mètre comme un nombre donné d'une longueur d'onde particulière, ce qui revient au même.

On peut alors ramener toutes les unités à une seule unité fondamentale qui serait la masse, toutes les autres étant des unités dérivées. Si l'on désigne par $[M]$ le rapport de la masse m mesurée dans un champ de pesanteur à cette même masse m_0 mesurée à l'infini hors de tout champ :

$$[T] = [M]^{-1}$$

$$[L] = [M]^{-1}$$

Toutes les grandeurs mesurées avec les unités du système à l'infini auront, par rapport à ces mêmes grandeurs mesurées localement, des valeurs déterminées par leurs équations aux dimensions.

En dehors des constantes adimensionnelles, on trouvera des grandeurs invariantes :

- Les vitesses, et en particulier celle de la lumière c .

$$([V] = [L][T]^{-1} = [M]^0)$$

- La constante de Planck h qui a les dimensions d'un moment cinétique. ($[h] = [M][L^2][T]^{-1} = [M]^0$)

D'autres, par contre, auront des valeurs numériques différentes selon le système d'unités utilisé, par exemple :

- La constante de gravitation universelle G .

$$([G] = [M]^{-1} [L]^3 [T]^{-2} = [M]^{-2})$$

L'intérêt de cette représentation vient de ce que l'on peut remplacer dans les calculs les grandeurs locales

variables en tout point par les grandeurs invariants de l'infini.

Avance du périhélie des planètes

Une trajectoire dans un champ gravitationnel pas trop intense est définie par deux constantes : C_0 , représentative du moment cinétique, et C_1 , représentative de l'énergie cinétique.

Le mouvement est décrit par l'équation de Binet qui relie le rayon vecteur r , exprimé en fonction de $u = 1/r$, et l'angle polaire θ .

• En mécanique rationnelle, elle est :

$$\frac{d^2u}{d\theta^2} + u = u_0$$

• Pour la relativité générale :

$$\frac{d^2u}{d\theta^2} + u = u_0 + 3 \frac{GMu^2}{c^2}$$

• En exprimant le nouveau potentiel en fonction de la masse variable, il vient :

$$\frac{d^2u}{d\theta^2} + u = u_0 e^{\frac{3GMu}{c^2}} + \frac{GM}{c^2} \left[\left(\frac{du}{d\theta} \right)^2 + u^2 \right] \quad (1)$$

En développant au premier ordre, en ne retenant que les termes en u et en u^2 , on trouve une avance du périhélie des planètes proche de celle que donne la relativité générale, bien que légèrement plus faible.

L'une et l'autre des deux dernières équations admettent une solution stationnaire que l'on a tout naturellement tendance à privilégier en raison de la stabilité actuelle des orbites des planètes. Toutefois, la dernière équation qui peut s'écrire :

$$\frac{d^2u}{d\theta^2} + u = u_0 \left(e^{\frac{3GMu}{c^2}} + \frac{V^2}{c^2} \right) \quad (2)$$

montre que la diminution de la masse entraîne une perte de l'énergie cinétique. Il ne faut pas oublier que la conservation du moment cinétique en mécanique rationnelle repose sur la conservation de la masse.

La place nous manque pour examiner toutes les conséquences du principe invoqué. On en citera quelques-unes sans les détailler. Chacune mériterait une discussion approfondie.

La preuve par les sondes spatiales

Nous avons vu que la réduction de la masse dans un champ de gravitation apporte un terme supplémentaire dans l'équation qui régit le mouvement. Les astrophysiciens en ont aujourd'hui la preuve, à leur corps défendant.

Les sondes spatiales lancées dans le système solaire depuis une vingtaine d'années (Pioneer, Voyager, Ulysse, Galileo) ont un comportement qui intrigue les spécialistes. Elles ralentissent plus qu'elles ne le devraient⁶. L'écart est faible, quelque 10^{-9} g, mais supérieur de 2 ordres de grandeur à l'effet cumulé de toutes les causes connues. Comme cela se passe dans toutes les directions de l'espace, y compris hors du plan de l'écliptique, il est exclu qu'un freinage accidentel local puisse être invoqué⁷.

Or ce fait expérimental s'interprète aisément dans le cadre de la présente théorie. On peut le présenter de deux manières :

• Soit en considérant que la masse de la sonde augmentant à mesure qu'elle remonte le champ de gravitation du Soleil, la force d'attraction augmente en valeur relative par rapport à une masse constante.

• Soit en considérant que le produit GM du Soleil n'est pas adimensionnel par rapport à la masse mais varie comme $[M]^{-1}$, ce qui signifie que la valeur numérique à prendre dans les calculs à grande distance est supérieure à celle qui a été mesurée au voisinage du Soleil avec les unités locales. On constate qu'il suffit qu'on ait pris pour GM la valeur mesurée lors d'un passage assez rapproché du Soleil, vers 0,4 unité astronomique (UA), soit à peu près l'orbite de Mercure, pour rendre compte de la décélération de toutes les sondes.

Trajectoire autour d'un centre de masse

Situation antérieure

On devrait, logiquement, constater cet effet au niveau de l'orbite des planètes. En fait, les simulations montrent que l'orbite reste stable. La

seule différence est que la précession de l'axe de l'ellipse est juste un tout petit peu plus grande. L'écart est insignifiant.

Ainsi, si l'on programme la formule de Binet établie dans le cadre de la relativité générale (ou celle que nous proposons), on peut suivre la trajectoire d'un corps en orbite auquel on donne une excentricité non nulle, par exemple celle de Mercure, mais dans un champ gravitationnel de plus en plus intense. On peut quantifier ce champ par un nombre sans dimensions, par exemple $\epsilon = GM/ac^2$, a étant le demi-grand axe de l'ellipse. On retrouve bien une ellipse dont la forme ne change pas mais dont l'axe tourne d'autant plus au cours d'une révolution que le paramètre ϵ est plus grand (**Figure 1**).

• Pour Mercure, ϵ vaut $2,5 \cdot 10^{-8}$ et la rotation est imperceptible : 43 secondes d'arc par siècle.

• Si l'on augmente ϵ , l'avance du périhélie augmente de plus en plus, au point de faire un tour après quelques révolutions.

• Si l'on augmente encore ϵ , on constate que le corps fait plusieurs tours autour de la masse attractive avant de repartir. Il se dessine ainsi un disque d'accrétion.

• Au-delà d'une valeur critique du paramètre ϵ qui dépend un peu de la valeur de l'excentricité et du point d'injection, mais qui vaut environ 0,07, le corps effectue quelques spires sur un cercle situé un peu au-delà du rayon de Schwarzschild r_s (tel que $GM/r_s c^2 = 1/2$), avant de tomber de manière irrémédiable sur le centre de masse après avoir traversé le cercle de Schwarzschild. Toutefois, si l'on calcule la vitesse de chute en utilisant les relations :

$$V_\theta = r d\theta/dt = C_0 u$$

$$V_r = dr/dt = -C_0 du/d\theta$$

On constate que le corps atteint la vitesse de la lumière en un point compris entre le cercle d'accrétion précédemment défini et le cercle de Schwarzschild. Ainsi, bien que la trajectoire cinématique se poursuive, le corps est censé rester figé pour l'éternité entre ciel et terre puisque son temps devient infini pour nous. Un tel comportement est évidemment inacceptable, et il doit exister un mécanisme qui permette de réduire la vitesse orbitale⁸. De toutes manières, même si pour nous, observateurs extérieurs, le mouvement semble s'arrêter (avant d'avoir franchi la ligne d'horizon, ce qui nous laisserait

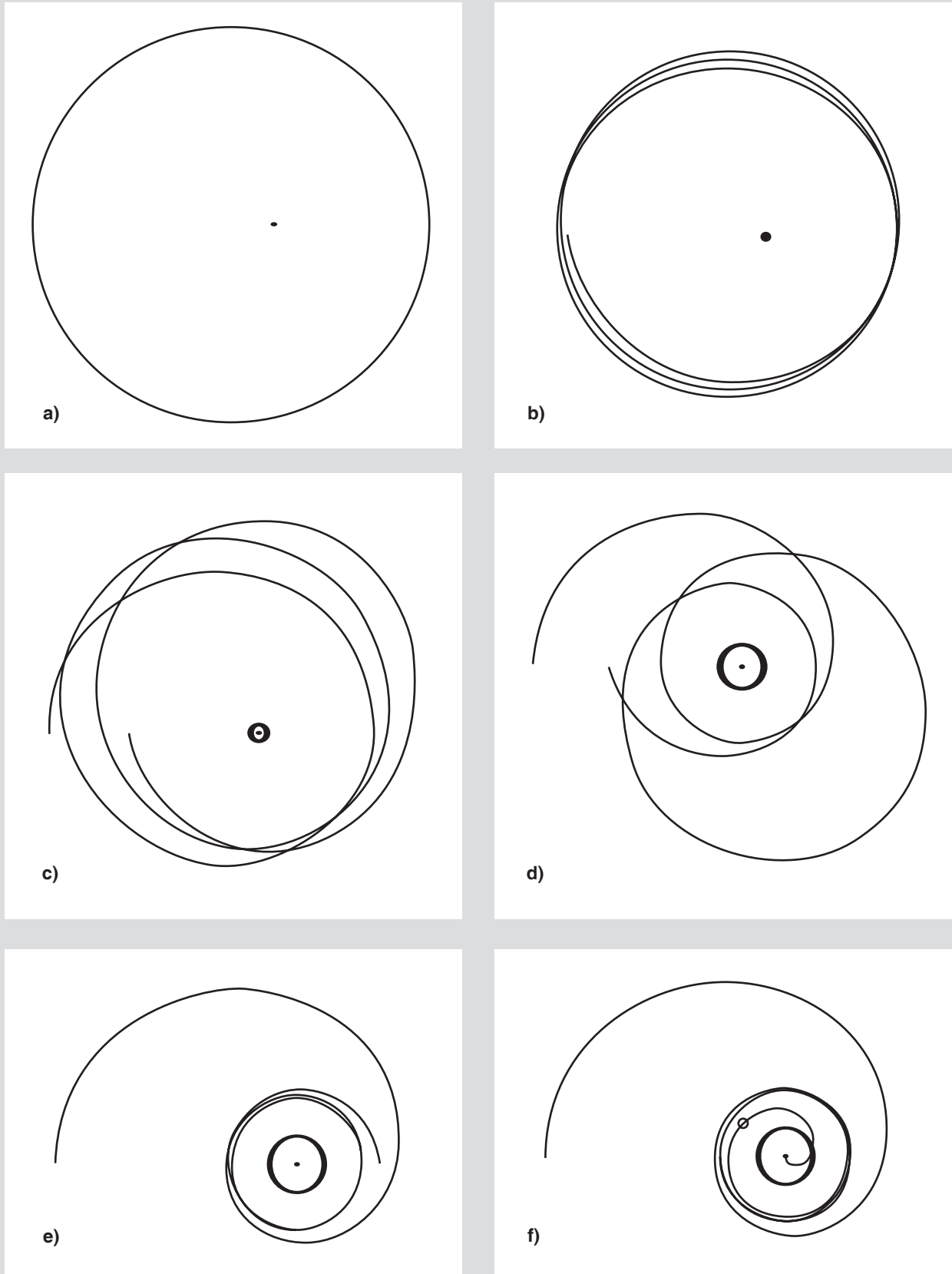


Figure 1. Si l'on programme la formule de Binet établie dans le cadre de la relativité générale (ou celle que nous proposons), on peut suivre la trajectoire d'un corps en orbite auquel on donne une excentricité non nulle, par exemple celle de Mercure, mais dans un champ gravitationnel de plus en plus intense.
 Orbite de Mercure, excentricité = 0,2056. a) $GM/ac^2 = 2,5 \cdot 10^{-8}$, b) $GM/ac^2 = 0,01$, c) $GM/ac^2 = 0,03$,
 d) $GM/ac^2 = 0,066$, e) $GM/ac^2 = 0,071535$, f) $GM/ac^2 = 0,071536$.

le loisir de l'observer), il n'en continue pas moins sur la trajectoire calculée si l'on se place dans le repère du corps en orbite. Dans ce cas, la vitesse dépasse la vitesse de la lumière (1,7 fois au franchissement de la ligne d'horizon) pour augmenter indéfiniment à mesure que l'on s'approche du centre attractif.*

La Relativité tente de contourner cette difficulté en abandonnant le principe d'une action à distance pour remplacer la trajectoire par une « géodésique », ligne de plus courte distance dans un espace à quatre dimensions. La dynamique n'en est pas absente pour autant, puisque la quatrième dimension n'est autre que le temps.

Le problème reste entier car rien n'interdit de prolonger la trajectoire de Schwarzschild jusqu'au centre de masse. Mais alors, la « distance d'Univers » ds , telle que $ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$, valeur qui se conserve dans tous les repères, devient imaginaire. Que devient alors la trajectoire ?

Nouvelle approche

Tout le problème est lié au principe de la conservation du moment cinétique, produit vectoriel de la quantité de mouvement par le rayon vecteur. La transformation intégrale de l'énergie potentielle en énergie cinétique est une approximation qui n'est valable que pour des vitesses petites devant c . Or nous savons qu'une partie de l'énergie est empruntée pour augmenter la masse.

Reprenons la formule qui donne la répartition de l'énergie entre énergie cinétique et énergie de masse :

$$F V dt = F dx = mV dV + V^2 dm = c^2 dm.$$

La force F n'est autre que l'attraction à distance, $(GM m)/r^2$. Si l'on néglige le terme $V^2 dm$, on retrouve bien toute la variation de l'énergie potentielle sous forme d'énergie cinétique :

$$1/2 m V^2 = (GM m)/r, \text{ valeur qui conserve le moment cinétique.}$$

Cependant, si la vitesse augmente, une partie de la variation d'énergie potentielle, qui dans notre analyse se mesure par une diminution de la masse, est partiellement récupérée sous forme d'accroissement de la

masse. Cette partie de l'énergie est soustraite à l'énergie cinétique et donc au moment cinétique.

Or la solution de Schwarzschild reprend intégralement la conservation du moment cinétique (constante C_0) et aussi la conservation de l'énergie cinétique sous forme d'une autre constante.

Par contre, en acceptant le principe d'une diminution de la masse inerte, la perte dm se répartit selon $(1 - V^2/c^2)$ pour l'accroissement de l'énergie cinétique et $(V^2/c^2) dm$ pour la récupération de masse. Lorsque V se rapproche de c , la vitesse n'augmente plus et la masse ne diminue plus. Il est vrai que la masse vue de l'infini est devenue nulle. Or rien ne ressemble plus à un rayonnement qu'une masse nulle qui se propage à la vitesse de la lumière. Sauf que ce rayonnement, sans masse inerte non plus, a aussi une énergie nulle. Très curieusement, nous retrouvons la définition du trou noir tel que le décrit la relativité générale. Citons Jean-Pierre Petit, dont nous saluons l'honnêteté⁹ :

« [...] Cette solution de Schwarzschild décrit un Univers vide, où ne se trouve ni énergie, ni matière. Sans la moindre gêne, les théoriciens entreprirent de décrire grâce à elle le comportement d'un objet hyperdense, l'étoile à neutrons ayant atteint son état de criticité.

« Le trou noir consiste donc à décrire un objet hyperdense à partir d'une solution d'une équation décrivant un Univers vide ! Tous les mathématiciens le savent, mais les spécialistes de cosmologie se gardent bien de le crier sur les toits. »

Dire les choses telles qu'elles sont n'a jamais nui à la science, mais peut contribuer à la faire progresser.

Dans la formule de Binet sous la forme (2), le terme en V^2/c^2 représente la fraction d'énergie potentielle qui a été prélevée sur l'énergie cinétique sous forme de récupération de masse. Elle représente donc bien une perte d'énergie cinétique.

Où est passée la masse perdue ?

La descente d'un corps dans un champ de gravitation s'accompagne

d'une perte de masse $dm = mgdr/c^2$.

Intégrée depuis l'infini jusqu'au rayon R du corps de masse M , la diminution de la masse est :

$$\Delta m = \frac{GMm}{Rc^2}$$

On est en droit de se demander ce qu'elle devient.

L'énergie d'un champ de gravitation dE contenue dans un volume dV (en particulier, celui compris sur un volume de sphère compris entre les distances r et $r + dr$) s'écrit :

$$dE = \frac{g^2}{8\pi G} dV = \frac{GM^2}{2R^2} dr$$

Intégré sur tout le volume, l'énergie du champ est :

$$E = \frac{GM^2}{2R}$$

Par accréation d'une masse supplémentaire m petite devant M , l'énergie du champ gravitationnel s'accroît de :

$$\Delta E = \frac{GMm}{R}$$

C'est exactement l'énergie de masse $c^2 \Delta m$ perdue par la masse m pendant sa chute depuis l'infini sur la masse M . Tout se passe comme si l'énergie de masse se transférait en énergie de champ. De son côté, le champ se comporte comme s'il possédait une masse égale à la somme des masses qui ont été perdues en le traversant. Nous verrons que c'est peut-être l'origine de la mystérieuse « masse manquante » de l'Univers, qui n'est pas là forcément où on la cherche.

Les trous noirs sont-ils gris ?

Le trou noir sous toutes ses formes est l'objet de savantes études et d'une abondante littérature. Il fait le délire des théoriciens, et cela devient du délire lorsqu'en plus il tourne, avec des singularités en forme de voiles percés de myriades de trous de ver faisant communiquer entre eux une multitude de mondes semblables au nôtre, ou bien avec des antimondes où la gravitation est répulsive¹⁰.

Le trou noir est en même temps le cauchemar de l'astrophysicien. Jean-Pierre Petit lui consacre quel-

* Ce calcul est effectué à partir d'une forme approchée de la solution de Schwarzschild. Il se peut que la vitesse c ne soit atteinte qu'au franchissement de la ligne d'horizon, mais cela ne fait que déplacer le problème.

↗ quelques pages ravageuses dont nous ne résistons pas au plaisir de citer quelques extraits en note 11.

Restant dans le cas du trou noir monotone non tournant, nous nous limiterons à une seule question : existe-t-il réellement ?

Selon la solution de Schwarzschild, la valeur du décalage vers le rouge de la fréquence d'émission d'un atome situé à la surface d'une masse M de rayon R est :

$$f = f_0 \sqrt{1 - \frac{2GM}{Rc^2}}$$

Pour $R_s = 2 GM/c^2$, la fréquence devient nulle. Au-dessous de ce rayon de Schwarzschild qui définit la ligne d'horizon il n'y a plus de solution, la valeur sous le radical devenant négative.

Si, maintenant, on accepte le principe d'une diminution de la masse dans un champ de pesanteur, la variation relative d'une masse que l'on descend sans vitesse est :

$$\frac{dm}{m} = -\frac{GMm}{r^2 c^2} dr$$

On admet que la constante de gravitation G est une constante universelle, en ce sens que sa mesure est la même quand on la fait dans n'importe quel système. Appelons G_0 cette valeur. Sa valeur numérique change si l'on en fait la mesure avec les unités importées depuis un autre système, car elle n'est pas adimensionnelle au sens de la masse.

En exprimant les mesures avec les unités du système à l'infini, hors pesanteur, on aura, en donnant l'indice 0 à toutes les valeurs :

$$\frac{dm}{m} = -\frac{G_0 M_0}{r_0^2 c^2} dr_0$$

En intégrant depuis l'infini jusqu'à la distance r , la valeur résiduelle de la masse, devient :

$$m = m_0 e^{-\frac{G_0 M_0}{r_0 c^2}}$$

La masse m ne devient jamais nulle, de sorte qu'une radiation émise depuis la masse M peut toujours être reçue, à moins que cette masse devienne elle-même infinie.

Ainsi, la ligne d'horizon n'existe pas, le trou noir non plus, ni la « censure cosmique », séparant irrémédiablement, mais dans un seul sens, ce qui est au-dessous de la ligne d'horizon de ce qui est au-dessus.

Cela n'empêche pas que, dans le repère de la masse, on aboutisse tout de même à un effondrement de la matière si les forces de gravitation arrivent à supplanter toutes les autres, mais, pour nous, dans le cas du trou noir, cette singularité de densité correspond à une masse nulle.

Ainsi, le principe de variabilité de la masse non seulement respecte la définition du trou noir décrit comme un milieu sans masse ni énergie mais, en faisant disparaître le mythe du trou noir, il élimine toutes ses incohérences.

Déviation de la lumière

Toute la genèse de la relativité générale repose sur le principe d'équivalence entre la masse inerte et la

masse pesante.

En clair, cela implique qu'aucune expérience réalisée dans un système accéléré ne saurait donner un résultat différent de celui de la même expérience effectuée dans un champ de pesanteur de même intensité.

Or on peut imaginer au moins une expérience de pensée qui permettrait de trouver une différence, ce qui suffirait à disqualifier une théorie moins consensuelle que la Relativité.

Si, de l'extérieur, on mesure la vitesse de la lumière dans un champ de pesanteur, on trouve non seulement qu'elle est plus petite que c , mais, de plus, qu'elle est anisotrope. Elle n'a pas la même valeur selon qu'elle se propage horizontalement (V_H) ou verticalement (V_V) :

$$V_H = c \sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}}$$

$$V_V = c \left(1 - \frac{2GM}{rc^2} \right)$$

C'est cette anisotropie qui est responsable du fait que, dans la relativité générale, la déviation de la lumière est double de la déviation newtonienne. Une théorie comme celle de De Sitter (ou celle d'Einstein à l'origine) dans laquelle la vitesse de la lumière est isotrope ne conduit qu'à une déviation newtonienne. Toutefois, l'expérience prouve que la déviation d'un rayon est bien le double de ce qu'elle serait s'il ne faisait que « tomber » dans le champ de gravitation. On explique ce doublement par la « courbure » de l'espace par la gravitation. Or cette « courbure » n'existe pas dans

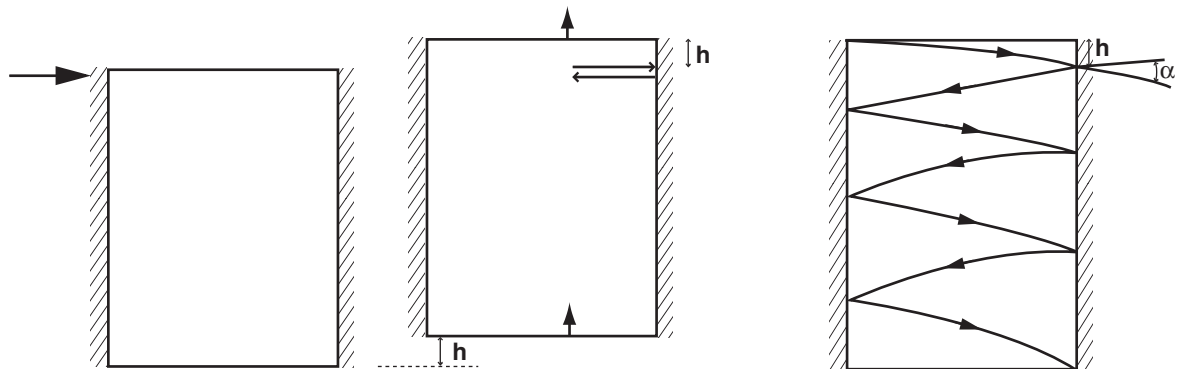


Figure 2a. Champ d'accélération, relativité générale. Vue extérieure et vue intérieure.

un champ d'accélération, ce qui fait la différence.

Imaginons donc une cabine d'ascenseur parallélépipédique dont les faces latérales sont semi-réfléchissantes (**Figure 2**).

Un rayon lumineux arrive perpendiculairement à une face au niveau du plafond à l'instant précis où la cabine, jusque-là immobile, est accélérée. Le rayon fait des aller-retour entre les faces pendant que la cabine monte, jusqu'à ce que le plancher l'intercepte. Un observateur intérieur pourrait noter la position des impacts successifs sur les parois, par un procédé photographique par exemple.

Appelons h la hauteur dont monte la cabine pendant la traversée de la lumière et α l'angle d'incidence apparent lors de la réflexion, combinaison de la vitesse verticale de la cabine avec la vitesse c .

Plaçons la même cabine dans un champ de pesanteur et refaisons la même expérience.

Cette fois, sur le même trajet, le rayon lumineux descend de $2h$ et, comme les plans d'onde sont normaux à la trajectoire de la lumière, l'incidence est de 2α .

Il faudra donc moins d'aller-retour pour que le rayon touche le plancher et si l'observateur note la répartition des points d'impacts et mesure l'accélération g , il saura immédiatement, de l'intérieur de la cabine, si celle-ci se trouve dans un champ d'accélération ou dans un champ de pesanteur.

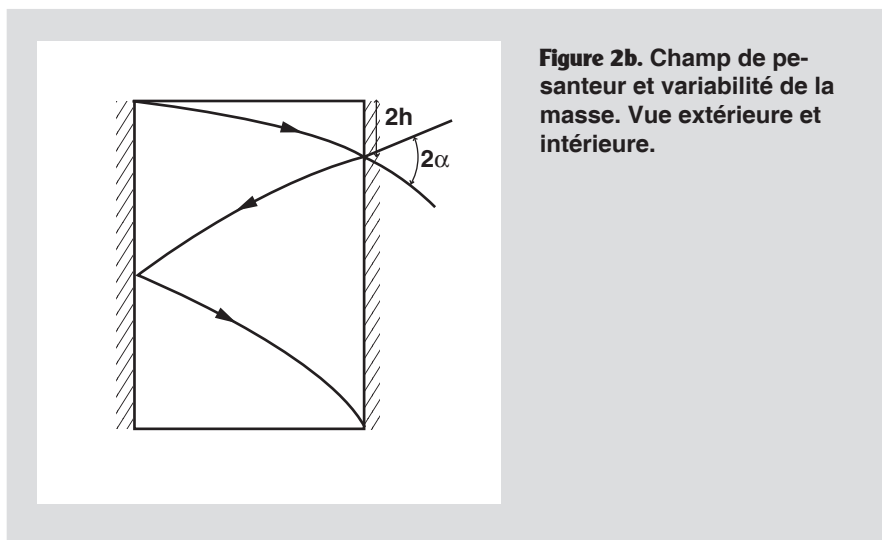


Figure 2b. Champ de pesanteur et variabilité de la masse. Vue extérieure et intérieure.

Doit-on en conclure que la Relativité est inconsistante ?

Certains préféreraient probablement dire que, dans ce cas, le principe d'équivalence serait violé, mais cela ne changerait rien.

Il est tout de même étonnant qu'Einstein, avec le sens physique qu'on lui connaît, n'ait pas vu (ou pas voulu voir) cette objection à ce qu'il appelait la plus belle idée de sa vie : le principe d'équivalence¹².

Comment les choses se présentent-elles si l'on accepte le principe de la variation de la masse, aussi bien dans un champ de pesanteur que dans un champ d'accélération ?

Si la cabine était parallélépipédique avant qu'on l'accélère et

qu'on la mesure ensuite sous accélération, le mètre que l'on utilise s'alourdit quand on le monte. Ses atomes se contractent, sa longueur diminue. Par contre, comme la cabine a été accélérée en bloc, elle est restée parallélépipédique pour un observateur extérieur mais l'observateur intérieur trouve qu'elle est évasée vers le haut. Pour qu'il la mesure parallélépipédique, il aurait fallu qu'avant le départ elle soit pyramidale, pointée vers le haut.

Plaçons-nous dans ce dernier cas et inclinons la cabine de manière à ce que le rayon frappe la face d'entrée perpendiculairement. Compte tenu de l'inclinaison de la cabine, la perpendiculaire au plan d'entrée

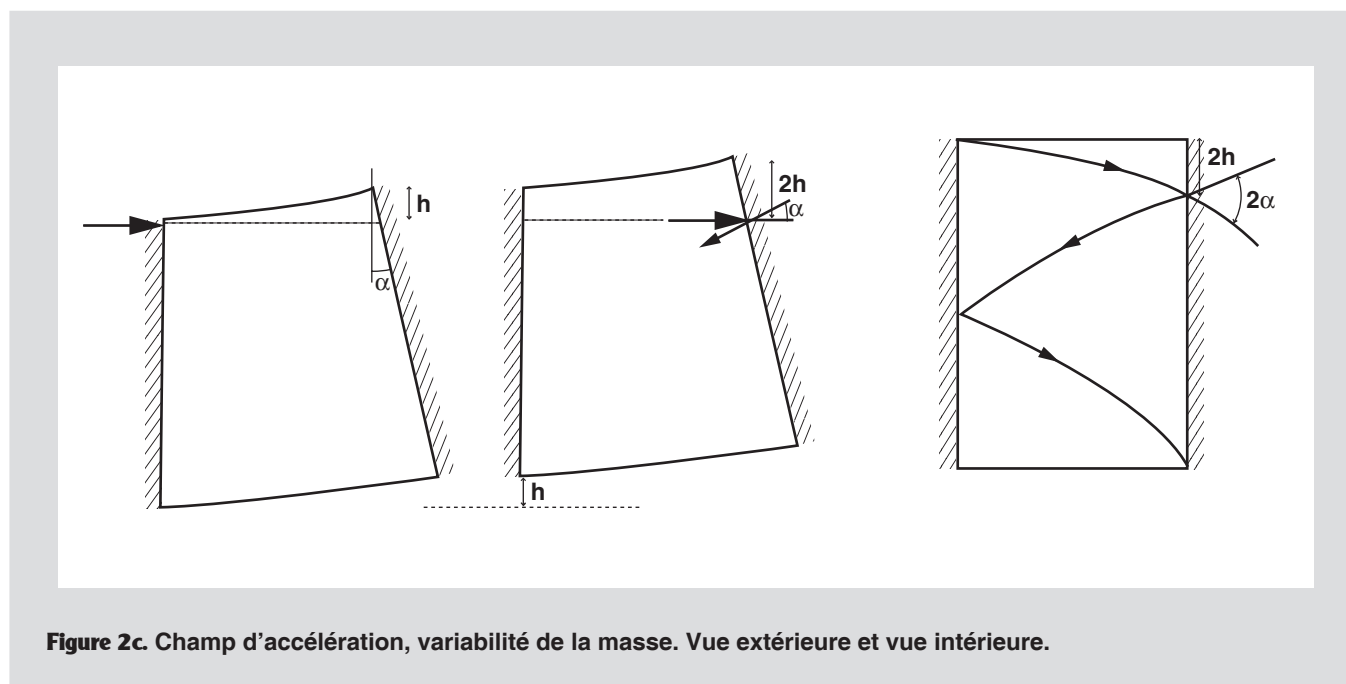


Figure 2c. Champ d'accélération, variabilité de la masse. Vue extérieure et vue intérieure.

perce la face opposée à une hauteur h au-dessous du plafond, et comme la cabine monte de h pendant la traversée de la lumière, le rayon atteint la paroi opposée à la distance $2h$ du plafond. On constate que la face opposée est inclinée d'un angle qui vaut exactement α , de sorte que la déviation apparente du rayon est là aussi de 2α .

Plaçons-nous dans le champ de gravitation et refaisons l'expérience. Dans ce cas, la déviation de la lumière est effectivement de 2α . L'expérience donne donc un résultat identique à celui de la cabine en accélération.

De cette manière, le principe d'équivalence est préservé, mais c'est seulement au prix de l'acceptation du principe de variabilité de la masse qui, une fois de plus, sauve la situation !

Pour le champ de pesanteur, l'explication physique du comportement de la lumière est la suivante.

Un observateur en chute libre peut se croire hors pesanteur. Pour lui, un rayon entrant par une face de sa cabine ressort au même niveau. Pour l'observateur immobile dans le champ de pesanteur, ce même rayon semble « tomber » comme la cabine. Néanmoins, cela ne justifie que la moitié de la déviation. L'autre moitié s'explique par la déformation de l'espace.

Considérons deux cristaux cubiques de même arête, l'un centré (c'est-à-dire avec un atome au centre) et l'autre non centré, c'est-à-dire creux.

Descendons-les ensemble dans un champ de pesanteur. Tous les atomes s'allègent, donc grossissent, et les dimensions du cristal augmentent en proportion, de la même valeur dans les deux cas. Ainsi, le vide à l'intérieur du cristal non centré augmente de ce qu'il faut pour y loger, le cas échéant, un atome.

C'est de cette manière qu'il faut interpréter la « courbure » de l'espace, en réalité un creusement dans les trois dimensions. Et ceci se fait naturellement dans tout le champ de pesanteur à mesure que l'on augmente la masse centrale, et sans qu'il soit nécessaire de repousser le milieu extérieur. Le vide n'ayant aucune raideur peut se dilater autant que l'on veut. Si on laisse pendre en attente jusqu'au centre une chaîne d'arpenteur ou une échelle de corde avant d'entasser de la matière, la longueur de la circonfé-

rence est bien $2\pi R$ au début et le reste tant que l'on s'en tient à l'indication de la chaîne ou au nombre de barreaux de l'échelle. Mais si l'on pouvait promener un mètre indéformable le long du rayon, on constaterait que celui-ci s'allonge alors que la circonférence, hors pesanteur, conserve sa longueur¹³. Ainsi s'explique naturellement l'image que l'on cherche à donner de la « courbure » de l'espace avec l'exemple en deux dimensions de la feuille de caoutchouc sur laquelle on place un poids, une image que l'on a bien de la peine à transposer à un espace à trois dimensions. Elle devient très claire dès que l'on a admis le principe de la variation de la masse.

Un tel espace se comporte comme un prisme. On montre que la déviation de la lumière est exactement le double de la déviation newtonienne, bien que, contrairement aux équations de la relativité générale, la lumière conserve partout une vitesse isotrope et égale à c (et elle vaut encore c si on la mesure avec le mètre et le temps de l'infini puisque la seconde et le mètre varient dans le même rapport).

Par contre, le temps mesuré pour la traversée d'un milieu où règne un champ de gravitation est plus long que pour un autre de même volume extérieur sans champ de gravitation, du moins si on le mesure avec l'horloge placée hors du champ. Ainsi s'explique très simplement l'« effet Shapiro », constaté lorsqu'un signal envoyé par un satellite, partant du côté opposé du Soleil, nous parvient avec un certain retard après l'avoir frôlé.

Cette interprétation de la Relativité nous donne de la gravitation l'image d'un gouffre qui se creuse de plus en plus à mesure qu'on y accumule de la masse.

Problème de la masse manquante

La masse manquante est un autre casse-tête pour les astrophysiciens. La vitesse orbitale des étoiles situées à la périphérie des galaxies, là où la densité de matière devient très faible, devrait suivre la loi de Kepler et diminuer rapidement à mesure que l'on s'éloigne. Au lieu de cela, elle reste relativement constante ou

seulement lentement décroissante.

Tout se passe comme si de la matière supplémentaire s'accumulait en périphérie des galaxies, mais pour expliquer le mouvement, il faudrait une masse dix fois supérieure à celle de la galaxie.

À l'échelle des amas de galaxies, cette masse manquante serait alors cent fois supérieure à la masse visible.

Malgré toutes les recherches, on ne sait toujours pas de quoi est faite cette matière ni même si elle existe réellement.

Quel apport peut-on attendre de la présente théorie à ce problème ?

Au minimum une différence de point de vue : ce n'est pas la périphérie de la galaxie qui tourne trop vite, c'est le centre qui tourne trop lentement !

La diminution de la masse à mesure que la matière est plus proche du centre galactique fait que la masse résiduelle au centre, jointe au creusement de l'espace, réduit les vitesses orbitales.

Par contre, une étude attentive montre que le champ attractif à grande distance est le même que si la masse initiale était effectivement rassemblée au centre, comme si le champ de gravitation avait conservé la masse prélevée. Cela tient au fait que la dilatation de l'espace, responsable de l'allègement de la matière, une fois acquise lors du passage de la matière, se conserve même si celle-ci continue à s'alléger en descendant le champ de pesanteur. L'espace ne peut reprendre ses dimensions d'origine que si l'on fait refaire à la même masse le chemin en sens inverse.

En clair, cela signifie que le champ de pesanteur à la périphérie d'une galaxie est le même que si une masse plus grande que celle dont on observe les effets au centre y était rassemblée.

Il est facile de calculer que pour maintenir le système solaire en équilibre à près de 300 km/s à 30 000 années-lumière du centre galactique, il faudrait rassembler à l'intérieur de son orbite environ 200 milliards de masses solaires, soit à peu près la masse visible de toute la galaxie. Selon les astrophysiciens, il n'y aurait pas assez de matière pour retenir le Soleil et les étoiles du disque galactique qui aurait déjà dû exploser, preuve que le champ gravitationnel de la galaxie est plus intense qu'on

ne l'estime.

Peut-on poursuivre le raisonnement pour les parties les plus externes en suggérant qu'elles ont vu passer une masse cinq à dix fois supérieure à la masse résiduelle qui est nécessaire au Soleil ¹⁴ ?

Toute cette matière devrait se retrouver quelque part. Au centre, peut-être, sous une forte concentration dans ce que l'on appelle communément un trou noir. Cela pourrait ne pas trop se voir car le creusement de l'espace, joint à la perte de masse en cours de route, lui ferait perdre une partie de sa force attractive sur l'environnement proche. Il n'est pas prouvé pour autant qu'une telle accumulation de masse au centre rendrait compte du profil des vitesses orbitales, même en tenant compte de son allègement.

Toutefois, il n'est pas non plus nécessaire qu'une masse aussi importante ait traversé la périphérie de la galaxie. Il suffit en fait de très peu de défaut de masse pour créer le complément de potentiel gravitationnel nécessaire au maintien de la vitesse périphérique – quelques parties par million suffisent. Encore faut-il un mécanisme plausible à l'origine de ce défaut de masse. Ici, la Relativité a déjà largement ouvert la voie en remplaçant l'attraction à distance par une « courbure » de l'espace (courbure que nous assimilons à un creusement). Il faut seulement l'audace d'admettre qu'il peut exister des champs qui n'ont pas la structure d'un champ newtonien, conformément à la règle d'Occam : toujours privilégier l'explication faisant appel au minimum d'hypothèses. Cependant, il semble que l'on ait pas retenu l'enseignement de la Relativité et que l'on s'en tienne strictement à la conception newtonienne, en inventant une matière imaginaire avec un processus *ad hoc* indispensable pour la maintenir en équilibre autour des galaxies, sans qu'elle s'effondre ni sur elle-même ni dans la galaxie.

Au lieu de cela, on pourrait imaginer que l'espace a commencé à se « creuser » autour de la galaxie au début de sa formation. Toute la matière qui a traversé ensuite la périphérie y a perdu une partie de sa masse, amplifiant le phénomène qui peut prendre une allure divergente. Ainsi se forme un « puits de potentiel » qui retient prisonnier les masses qu'il enferme. Un tel scénario

donne au moins une piste, peut-être moins hypothétique que la matière exotique ou la matière-ombre qui ont le fâcheux inconvénient de ne se manifester que par leur effet gravitationnel. Autant admettre alors, devant l'évidence, que c'est simplement le champ gravitationnel qui a la forme qui convient.

Un aspect pourrait intéresser les adeptes inconditionnels du Big Bang, toujours à la recherche de l'antimatière qui aurait dû être créée en même temps que la matière et (presque) en même quantité. Imaginons matière et antimatière s'effondrant simultanément sans se rencontrer avant leur accrétion. Il se crée un champ gravitationnel dans lequel l'une et l'autre perdent une partie de leur masse. Lorsqu'elles s'annihilent, elles dispersent intégralement leur masse résiduelle sous forme de rayonnement, mais la masse évaporée, qui n'a pas de contrepartie, pourrait rester imprimée sous forme d'un champ gravitationnel indélébile tout comme si une partie des masses qui lui ont donné naissance y était encore.

Il ne reste plus qu'à l'expansion de l'espace de modeler ce champ.

Pure spéculation, bien entendu, mais guère plus hasardeuse que les hypothèses actuelles.

L'improbable Big Bang

L'hypothèse de l'expansion de l'Univers repose sur un certain nombre d'arguments bien connus : *redshift*, nucléosynthèse primordiale, durée de vie limitée des étoiles, paradoxe d'Olbers, rayonnement fossile.

Naturellement, il ne manque pas d'objections à ce schéma : origine, horizon des événements, nécessité d'une superinflation, etc.

On prétend qu'aucune explication concurrente valable n'a pu être trouvée. Est-ce si sûr ?

• Comment pourrait-on expliquer autrement que par effet Doppler le rougissement de la lumière ? Le ralentissement éventuel de l'expansion de l'Univers se justifie en considérant chaque point comme un centre de masse avec un potentiel de gravitation qui augmente à mesure que l'on s'en éloigne. L'expansion accroît ce potentiel au détriment de l'éner-

gie cinétique. Or ce potentiel existe tout aussi bien sans expansion. La lumière qui s'écarte de son point d'émission remonte donc elle aussi le puits de potentiel correspondant au volume de matière compris dans la sphère de rayon égal à sa distance au point d'émission. Ainsi, la fréquence de la lumière reçue en un point est plus basse que celle que l'on peut y émettre localement, et ce proportionnellement à la distance. Et que l'on ne réfute pas ce point de vue au prétexte que la lumière serait partout en équilibre sous l'action de la gravitation, car cela serait vrai aussi pour les masses.

• La constante de Hubble mesure alors directement la densité moyenne de la matière ¹⁵. L'Univers est naturellement « plat », ce qui comble les vœux des astrophysiciens.

• La vitesse apparente de récession, constante jusque vers 10⁹ années-lumière, ne croît pas indéfiniment mais devient, au plus, égale à la vitesse de la lumière. Les dimensions observables de l'Univers, pour une densité moyenne de 25.10⁻³⁰ g/cm³, seraient de 100 milliards d'années-lumière. Au-delà de cette limite, l'Univers peut continuer à s'étendre mais sa lumière est éteinte et, sa masse apparente étant nulle, il n'exerce plus sur nous d'action gravitationnelle.

• Selon Fred Hoyle, l'abondance des éléments légers s'expliquerait si l'Univers avait effectivement 100 milliards d'années, information que les cosmologistes auraient accueillie avec une « indifférence polie ». Le doute ne serait plus permis si des mesures photométriques indiscutables montraient que la lumière nous parvient de 20 ou 50 années-lumière. Peut-être le successeur du télescope Hubble le permettra-t-il.

• Le rougissement de la lumière par effet gravitationnel suffit à lever le paradoxe d'Olbers aussi aisément que l'expansion de l'Univers, et pour une raison identique.

• Le « rayonnement fossile » pourrait s'expliquer comme le résidu, intégré sur de grandes distances, d'un rayonnement à 20 K ayant subi un *redshift* moyen d'un peu moins de 10. Il se trouve que les galaxies émettent effectivement un bruit de fond à environ 20 K avec le niveau d'énergie qui convient : la valeur moyenne du maximum d'intensité de ce bruit de fond, intégrée sur une distance de

↗ 100 milliards d'années-lumière, est proche du maximum du spectre du rayonnement fossile.

- Selon le modèle proposé, toute la masse de l'Univers rassemblée en un seul point aurait dû « creuser » l'espace de telle sorte que, mesurées avec notre mètre, ses dimensions seraient quasiment infinies. Avec nos unités, vu l'énormité du champ de gravitation, sa masse serait quasiment nulle, son temps presque infini et sa température, mesurée en termes d'énergie, proche du zéro absolu : un Univers vide de matière et d'énergie, comme le veut la Relativité. Loin des dimensions, du temps et de la température de Planck. Le monde au moment de sa création aurait été aussi vaste que de nos jours. Si on l'estime tout petit, c'est parce que son mètre était aussi long que l'Univers. Si tout a pu s'y passer en un temps extrêmement bref c'est que son horloge était presque arrêtée¹⁶. Force est de reconnaître que le Big Bang et la Relativité sont des concepts inconciliables. Si l'on en retient un, il faut rejeter l'autre, en bloc, et pas seulement juste à l'instant où l'Univers émerge d'une singularité qui n'est pas physique.

Recherche de la preuve

Tout au long de cet exposé, on a admis le principe d'une variation de la masse de la matière lorsqu'on la déplace dans un champ de gravitation.

Il aurait été plus probant d'en apporter la vérification expérimentale.

Or il y avait une expérimentation qui, éventuellement, aurait permis de trancher :

Si l'on regarde comment s'est formée la Terre par accréation, il s'est trouvé à l'origine une masse située au centre de gravité autour de laquelle sont venues s'agglomérer progressivement d'autres masses jusqu'à ce qu'il ne reste plus rien d'important dans son environnement.

A mesure de l'accréation, le champ gravitationnel, nul à l'origine, s'est progressivement renforcé jusqu'à atteindre sa valeur actuelle.

Si l'on en croit le principe invoqué, la matière d'origine avait sa propre masse alors que les masses successives s'allégeaient en tombant.

Dès lors, deux interprétations s'affrontent :

- *Ou bien la matière a conservé la masse qu'elle avait au moment de son accréation, les dernières arrivées étant les plus légères.*

- *Ou bien les déformations de l'espace liées à la gravitation ont produit simultanément une dilatation des atomes déjà en place qui sont devenus identiques aux nouveaux arrivés.*

En se plaçant dans le premier cas, il devenait possible de discriminer l'ordre et la séquence d'arrivée des apports successifs.

En effet, les matériaux issus des profondeurs, plus lourds que ceux de surface, s'alourdissent encore lorsqu'on les remonte.

Or il existe un moyen suffisamment sensible pour effectuer de telles mesures sans mobiliser des moyens très lourds : l'effet Mössbauer

Le spectre d'absorption de l'isotope 57 du fer est composé de six raies hyperfines que l'on peut balayer en donnant à l'émetteur ou au récepteur un mouvement d'avant en arrière. Des vitesses aussi faibles qu'un centième de millimètre par seconde sont mesurables, soit des variations relatives de fréquence par effet Doppler de quelques 10^{-13} .

Les raies sont même si fines que l'on a même pu, par ce moyen, mesurer une variation de fréquence gamma dans le champ de gravitation terrestre sur une hauteur de 22 mètres soit une variation relative de $2,5 \cdot 10^{-15}$ (expérience de Pound et Rebka).

Avec une sensibilité de 10^{-13} , une différence de diamètre de la Terre de 1 kilomètre au moment de l'accréation devient mesurable.

L'auteur a pu se procurer gracieusement auprès du Muséum d'histoire naturelle et de l'université de Montpellier des échantillons de minéraux contenant du fer (olivine, périclote, harzburgite) dont certains sont issus de très grandes profondeurs, plus de 100 kilomètres. Ils ont été complétés par du fer provenant du Meteor Crater, donc reçus en surface, ainsi que d'autres échantillons de provenances diverses.

Du fer en a été extrait après purification par des moyens chimiques classiques et réduction par l'hydrogène. Le laboratoire de magnétisme de l'université de Rouen, un des meilleurs dans cette discipline, s'est prêté obligeamment à l'expérimentation.

Le résultat est sans appel : aucune trace de déplacement des raies Mössbauer n'a pu être détectée. La conclusion que l'on en tire n'a rien de bien surprenant : dans un référentiel donné, à une altitude donnée, un atome donné ne peut avoir qu'une seule masse.

Cela ne veut pas dire pour autant qu'à une altitude différente la masse de l'atome soit encore la même mais on ne saurait le prouver. Toutefois, au moins, le fait que l'atome prenne la masse que lui assigne le référentiel dans lequel il se trouve ne peut être contesté.

A la réflexion, la diminution simultanée de la masse déjà accrétée avec celle de la masse nouvelle semble une nécessité. En effet, la masse qui tombe conserve sous forme d'énergie cinétique toute l'énergie potentielle due au champ de gravitation. Cette énergie se transforme en chaleur qui, si l'on attend suffisamment longtemps, peut être entièrement évacuée par radiation. Où serait alors prise l'énergie supplémentaire du champ de gravitation, sinon sur la diminution simultanée d'une masse équivalente ?

De la sorte, en admettant que l'on soit capable de récupérer à très grande distance toute l'énergie rayonnée et la transformer intégralement en énergie mécanique, on pourrait remonter une à une toutes les masses, à l'aide d'un treuil par exemple, en leur restituant sous forme d'accroissement de masse toute l'énergie qu'elles ont dépensée, pour revenir à la situation d'origine où le champ de gravitation n'existait pas.

En conclusion

Faute de preuve directe, le principe d'une variation de la masse de la matière lorsqu'on la déplace dans un champ de gravitation, ne peut être vérifié que par ses conséquences. On peut aussi le refuser, conformément à la Relativité orthodoxe. Dans ce cas, il faut expliquer le désaccord entre la théorie de la relativité et la mécanique quantique sur le problème des horloges. Aucune synthèse sérieuse entre ces deux théories ne peut être attendue tant que ce problème n'aura pas été résolu.

La violation du principe d'équivalence, évoquée dans le cas de la

déviations de la lumière, ne doit pas non plus être traitée avec légèreté ou indifférence. Sacrifier le contenu physique d'une théorie, c'est courir le risque d'en faire une coquille vide.

Le principe proposé complète harmonieusement la relativité générale en résolvant ses problèmes, en éclairant certaines zones d'ombre

et en ouvrant de nouvelles perspectives qui n'ont pu être présentées que succinctement.

Il laisse, par exemple, en suspens une question : de quelle manière un atome donné pourrait-il changer de masse ? On invoque actuellement un « couplage » avec l'hypothétique boson de Higgs pour expliquer l'origine de la masse. A la lumière de ce qui

vient d'être dit, n'y aurait-il pas une autre explication ?

Et encore cette autre question : pourquoi une masse primitivement au repos commence-t-elle à tomber dans un champ de pesanteur ? Une question que les spécialistes esquivent généralement en la transformant en « comment... ? ».

Notes

1. Cyrille Pavlin, Rosay le 28 septembre 2000.

Email : cyrille.pavlin@wanadoo.fr

Site : <http://perso.wanadoo.fr/cyrille.pavlin>

2. Philippe Tourrenc, *Relativité et Gravitation*, Armand Colin, 1992. Avant-propos : « [...] Dans le second article, il [Einstein] pose le problème du comportement des horloges dans une certaine confusion du langage et peut-être de la pensée. Selon Einstein, "les horloges vont plus lentement lorsqu'elles sont situées au voisinage d'une masse pesante". Une telle interprétation suppose l'existence d'une chronologie de référence dont on ne sait rien, qui permettrait d'apprécier les modifications du comportement des horloges. Une telle interprétation est contraire à la compréhension actuelle de la relativité générale [...] »

Une horloge de référence n'est pas nécessaire, il suffit d'en prendre une quelconque comme étalon. Qui est confus, finalement ?

3. Albert Einstein, *Œuvres choisies 2. Relativités I Relativités restreinte et générale*, Source du savoir, Seuil, CNRS.

4. « [...] parce que la masse inerte d'un corps pouvait dépendre du potentiel de gravitation – il fallait même s'y attendre en raison du principe de l'inertie de l'énergie [...]. Ces recherches me conduisirent à un résultat qui me rendit extrêmement méfiant [...]. Je rejetais alors comme inadéquat l'essai mentionné plus haut de traitement du problème de la gravitation dans le cadre de la théorie de la relativité restreinte. », Albert Einstein, *ibid.*

5. Au même titre que les « muo-atomes » dans lesquels on remplace un électron par un muon pour rapprocher les noyaux et favoriser ainsi la fusion nucléaire dite « tiède ».

6. La sonde Cassini, en route pour le monde de Saturne, devrait en donner confirmation.

7. Il est intéressant de noter à ce sujet l'attitude du milieu scientifique selon qu'un effet est attendu ou non. Lorsque Penzias et Wilson ont découvert une réception millimétrique anormale sur leur radiotélescope et qu'ensuite le satellite Cobe a pu mesurer toute la partie du spectre électromagnétique de ce signal que l'on ne pouvait recevoir au sol, les scientifiques se sont empressés d'y voir le rayonnement du fond du ciel, résidu du Big Bang, qu'ils attendaient comme le Messie, sans même s'interroger sur une autre origine possible.

Une seule expérience a suffi et personne n'a émis le moindre doute ni sur sa réalité ni sur son interprétation. Par contre, ici, une expérience renouvelée une demi-douzaine de fois depuis de nombreuses années n'a toujours pas reçu de reconnaissance officielle, car personne ne sait comment l'interpréter. Remettre en cause les lois universelles de la gravitation semble exclu car cela aurait été observé au niveau du mouvement des planètes. Encore faudrait-il prouver que cela in uencerait leurs orbites de manière mesurable.

8. Les ondes de gravitation qui transportent à la fois de l'énergie et du moment cinétique ne sont pas émises dans ce

cas. Elles sont émises par un champ gravitationnel intense non stationnaire, comme celui créé par deux masses rapprochées tournant autour de leur centre de gravité (par exemple deux étoiles à neutrons).

9. Jean-Pierre Petit, *On a perdu la moitié de l'Univers*, Albin Michel, 1997.

10. Jean-Pierre Luminet, *Les trous noirs*, Editions Belfond, 1992.

11. Jean-Pierre Petit, *On a perdu la moitié de l'Univers*, *op cit.*

- « Les trous noirs possèdent un horizon qu'on ne peut franchir que dans un sens [...]. A l'intérieur de cette frontière, pour un physicien, c'est l'horreur absolue [...] »

- « La masse devient imaginaire et la vitesse de chute supérieure à celle de la lumière [...] »

- « On a suggéré que la distance radiale se transformait en temps et le temps en distance radiale [...] »

- « A l'intérieur d'un trou noir, ce n'est pas la matière qui s'effondre, c'est la physique [...] »

- « Cette pauvreté observationnelle est sans doute, au-delà de l'incohérence physico-mathématique, l'argument le plus défavorable à l'existence de tels objets. »

- « Le trou noir brille par son absence. La croyance en son existence relève plus de la foi pure et simple, non de véritables observations. »

12. Aujourd'hui, il semble que l'on n'y attache plus la même importance. On veut y voir plus un guide que le principe fondateur de la théorie (Philippe Tourrenc, *op cit.*).

13. L'observateur qui se déplace à l'intérieur du champ de gravitation, et dont les dimensions se déforment comme son propre mètre, s'estime en tout point dans un espace euclidien. Par contre, un observateur extérieur qui projette *par la pensée* un mètre supposé indéformable dans ce champ lui trouvera une géométrie riemannienne. Une telle géométrie n'existe pas réellement dans la nature. Elle existe seulement dans la tête du mathématicien.

14. Selon certaines publications, la masse de la galaxie serait de 1 900 masses solaires. Tout change dans ce domaine, à moins que l'on y ait adjoint la « masse manquante ».

15. La constante de Hubble calculée de cette manière croît comme la racine carrée de la densité ρ et vaut 25 km/s par million d'années-lumière pour une densité de $25 \cdot 10^{-30}$ g/cm³. La masse apparente d'un émetteur situé à la distance r est $m = m_0 e^{-\alpha r}$ avec $\alpha = 2\pi\rho G/3c^2$. A rapprocher du fait que la densité critique, selon la Relativité, correspond à $\rho_c = 3H^2/8\pi G$ et vaut environ 10^{-29} g/cm³.

16. Au même titre que si l'on se place dans le repère du rayon lumineux qui traverse tout l'Univers réduit à un point en un temps nul. Son système d'unités ne permet pas d'apprécier les réelles dimensions de l'Univers ni le temps qu'il faut effectivement à la lumière pour le traverser.