# Gravité quantique via un concept invariant de Lorentz pour la gravitation

**René Friedrich, Strasbourg**[1]

Abstract

**La gravitation a été modélisée par Einstein et Grossmann en tant qu'espace-temps courbe, mais tous les essais de quantisation ont échoué. Il s'est avéré que l'espace-temps courbe n'est pas compatible avec la mécanique quantique.**

**Cependant, il existe bien un modèle alternatif pour la gravitation : La dilatation du temps gravitationnelle. Nous démontrerons ici à l'exemple de la métrique de Schwarzschild que la gravitation peut être décrite non seulement comme la courbure de l'espace-temps, mais aussi comme la dilatation du temps gravitationnelle dans l'espace $R^3$ - plane et non courbé - les deux conceptions sont parfaitement équivalentes. Au lieu d'agir sur la variété de l'espace-temps, la dilatation du temps gravitationnelle agit sur les lignes d'univers, et les lignes d'univers deviennent ainsi un élément central de la gravité quantique.**

**Dans la gravité quantique, pour être invariantes de Lorentz, les lignes d'univers doivent se débarrasser de leurs coordonnées d'espace-temps. Pour cela, elles ne doivent pas être paramétrées par le temps selon les coordonnées d'un quelconque observateur, mais par leur temps propre respectif. La dilatation du temps gravitationnelle ralentit ce paramètre de temps propre des lignes d'univers des particules et des systèmes quantiques.**

**Le résultat : Grâce au paramétrage invariant de Lorentz des lignes d'univers, la relativité générale harmonise parfaitement avec la mécanique quantique, ou en bref : "GR likes QM."**

## 1. Introduction

L'impossibilité de la quantisation de l'espace-temps courbe n'implique pas forcément l'incompatibilité de la gravitation avec la mécanique quantique.

Pour cela, il faut distinguer entre les théories de la relativité restreinte et la relativité générale d'un côté et d'un autre côté leur structure mathématique respective : En 1905, Einstein publia la théorie de la relativité restreinte **[1]**, et en 1908, Minkowski proposa une interprétation géométrique pour celle-ci, sous la forme de l'espace-temps **[2]**. Quelques années plus tard en 1913, Einstein et Grossmann développèrent une variété pseudo-Riemannienne en tant que modèle géométrique pour la description des principes de la relativité générale et notamment du principe d'équivalence **[13]**. Dans les deux cas c'était d'abord une idée physique qui avait été développée, et ensuite une structure mathématique appropriée avait été recherchée.

Il sera donc démontré ici à l'exemple de la métrique de Schwarzschild que l'espace-temps courbe n'est pas indispensable pour la description de la relativité générale, et que la gravitation peut être décrite non seulement comme la courbure de l'espace-temps, mais aussi comme la dilatation du temps gravitationnelle dans l'espace plane, non courbé. La dilatation du temps gravitationnelle est parfaitement équivalente avec la gravitation, et elle n'agit pas sur l'espace-temps mais sur les lignes d'univers **(section 3)**.

[1] rene_friedrich@orange.fr

Afin de les rendre compatibles avec la relativité générale et avec la mécanique quantique, ces lignes d'univers doivent recevoir un paramétrage invariant de Lorentz. Concrètement, après leur paramétrage dans un premier temps d'observation par les coordonnées du temps de l'observateur, les lignes d'univers doivent être reparamétrées par leur temps propre respectif **(section 2)**.

La description de l'univers de la gravité quantique est basée sur le fait que la gravitation agit sur le paramètre du temps propre des lignes d'univers **(section 4)**. Il s'avère que la génération du temps et la dilatation du temps gravitationnelle sont deux effets complémentaires de l'action de l'énergie de masse des particules **(section 5)**.

## 2. Le rôle fondamental du temps propre

L'équation du temps propre

$$d\tau = dt\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

est complétée par l'équation inverse de la dilatation du temps

$$dt = d\tau\,\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

Le temps propre est le temps avant dilatation de temps, et le temps coordonnée est le temps après dilatation de temps. Les deux sont liées par le facteur de Lorentz **γ(v)**, et - à ne pas oublier - la dilatation du temps gravitationnelle qui fournit un deuxième facteur de dilatation de temps.

La question clé : D'un point de vue axiomatique, quel concept de temps est le plus fondamental, le temps coordonnée **dt** ou le temps propre **dτ** ? La réponse à cette question est d'une clarté surprenant, elle résulte de la définition même du temps propre :

> *"Le temps mesuré par une pendule qui suit un objet donné"* **[4]**

Cette définition ne se réfère pas à l'espace-temps mais uniquement à l'objet, la particule. Au lieu de la particule, nous pouvons considérer son énergie de masse $mc^2$ en tant que générateur du temps propre, selon l'action de la particule ponctuelle :

$$S = mc^2\int d\tau$$

Chaque particule génère indépendamment son propre temps propre, son propre vieillissement qui pourra ensuite être observé et synchronisé sous la forme du temps coordonnée de l'observateur :

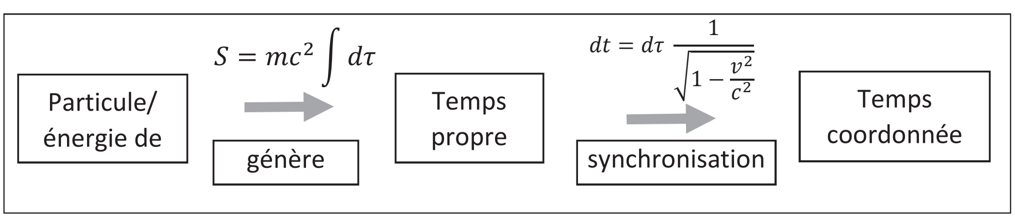


*Fig. 1 : La particule à l'origine de la production du temps*

Inversement, du point de vue de la physique expérimentale, le temps propre n'est pas observable, et il peut être déterminé uniquement par calcul, basé sur le temps coordonnée mesuré, ce qui donne l'ordre suivant :

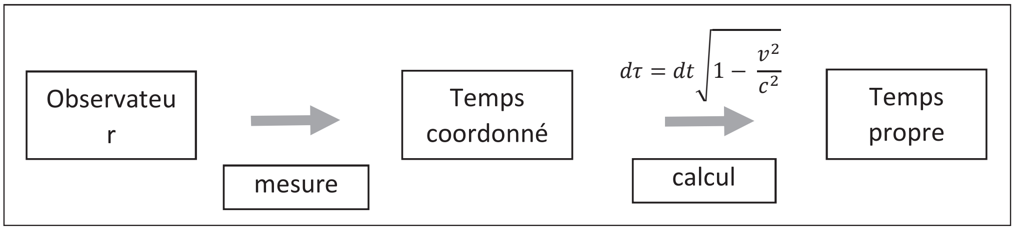


*Fig. 2 : Le point de vue de l'observateur et de la physique expérimentale*

Par conséquent, le temps coordonnée est dérivé du paramètre fondamental du temps propre. Dans un premier temps, l'observateur mesure le temps coordonnée qui lui permettra dans un deuxième temps de calculer le temps propre sous-jacent. Malheureusement, les théories actuelles de la gravité quantique se limitent à la première étape, et c'est la raison pourquoi elles n'aboutissent pas à une solution : Dans les variétés de l'espace-temps, les lignes d'univers sont paramétrées par le temps coordonnée qui correspond à la pendule de l'observateur.

Pour les questions fondamentales telles que la gravité quantique, il est essentiel de réaliser la deuxième étape : Pour cela, les lignes d'univers mesurées doivent être reparamétrées par leur temps propre respectif. Cela donne comme résultat un grand nombre de lignes d'univers, sans aucun système de coordonnées commun, chaque ligne d'univers étant paramétrée par sa propre pendule :

$$S_{cumulée} = \sum_n m_n c^2 \int d\tau_n$$

A premier vue il pourrait paraître que cela n'a aucun sens puisqu'il n'y a pas de pendule de référence. Mais selon la relativité générale, c'est exactement comme ça que l'univers est structuré : Il n'y a pas d'axe de temps universel, et chaque particule vieillit individuellement en fonction de sa propre pendule, et c'est de telle façon que la particule génère son propre temps propre.

L'action d'une particule ponctuelle

$$S = mc^2 \int d\tau$$

est invariante de Lorentz et compatible avec la mécanique quantique, elle décrit le processus du vieillissement des particules et des systèmes quantiques avec masse : Il n'y a plus de référence à l'espace-temps, et l'espace-temps n'est rien d'autre que l'"interface de l'observateur" qui ouvre à l'observateur l'accès à l'univers de la gravité quantique.

### 3. Gravitation dans l'espace non courbé

Comment peut-on représenter la gravitation dans un tel univers de lignes d'univers invariantes de Lorentz et sans espace-temps ? La réponse est d'une clarté et d'une simplicité surprenante : L'espace-temps courbe n'est qu'un possible modèle pour la description de la gravitation, et on peut aussi décrire la gravitation comme la dilatation du temps gravitationnelle dans l'espace plane et non courbé.

Pour démontrer la pleine équivalence de la gravitation et de la dilatation du temps gravitationnelle, nous considérons la métrique de Schwarzschild de l'espace-temps courbe :[2]

$$ds^2 = -c^2(1 - \frac{2GM}{c^2 r})dt^2 + \frac{dr^2}{1 - \frac{2GM}{c^2 r}} + r^2(d\Theta + sin^2\Theta \, d\phi^2)$$

Maintenant, nous introduisons C qui désigne la dilatation du temps gravitationnelle de la pendule d'une particule dans un champ de gravité avec référence à un observateur éloigné :

$$C = \frac{\tau}{t} = \sqrt{1 - \frac{2GM}{c^2 r}}$$

En insérant C dans l'équation ci-dessus nous obtenons une forme modifiée de la métrique de Schwarzschild :

$$ds^2 = -c^2(Cdt)^2 + \left(\frac{dr}{C}\right)^2 + r^2(d\Theta + sin^2\Theta \, d\phi^2)$$

Maintenant, nous comparons cette équation avec l'équation de la métrique plane de Minkowski **[5]** :

$$ds^2 = -c^2 dt^2 + dr^2 + r^2(d\Theta + sin^2\Theta \, d\phi^2)$$

Nous voyons que la métrique de Schwarzschild et la métrique de Minkowski sont très similaires : Le terme *dt* devient *Cdt* , et le terme *dr* devient $\frac{dr}{C}$ . C est la seule différence entre l'espace-temps courbé et non courbé - entre l'espace-temps avec et sans gravité. Si C = 1, nous obtenons la métrique de Minkowski, et si C est inférieur à 1, cela est un indicateur de la gravitation dans la métrique de Schwarzschild. Cela veut dire que la gravitation peut être complètement décrite en tant que dilatation du temps gravitationnelle, aucun autre élément quelle que soit sa nature peut avoir d'impact sur la gravitation, et la gravitation et la dilatation du temps gravitationnelle sont deux concepts parfaitement équivalents.

En plus, c'est une conséquence de l'équivalence de la gravitation et de la dilatation du temps gravitationnelle que la gravitation peut non seulement être décrite en tant qu'espace-temps courbe, mais aussi sous la forme de la dilatation du temps gravitationnelle dans l'espace plane.

## 4. Gravité quantique

Par conséquent, l'univers de la gravité quantique a les caractéristiques suivantes :

a) Espace : La variété sous-jacente est l'espace $R^3$, et l'espace-temps de la relativité générale sert seulement d'"interface de l'observateur" qui ouvre l'accès à l'univers de la gravité quantique à l'observateur (voir **section 2**).

b) Temps : L'univers de la gravité quantique est dépourvu de temps tant que du temps propre n'est pas défini expressément, en fonction des 4 catégories principales suivantes :

[2] En suivant la convention de signes courante (- + + +)

- Les systèmes quantiques de particules massives génèrent du temps propre.
- L'intervalle d'espace-temps des phénomènes genre lumière tels que des photons dans le vide, des champs électromagnétiques et gravitationnelles est zéro, et également leur temps propre est zéro.**[6][7][8]** Leur ligne d'univers est une ligne d'univers dégénérée de longueur zéro qui est symétrique par rapport au temps parce qu'une ligne d'univers d'une longueur zéro ne pourra pas être asymétrique.
- Le vide entre les lignes d'univers n'est pas défini, il est donc dépourvu de temps.
- Des propriétés spéciales s'appliquent aux interactions des phénomènes genre lumière avec de la masse, tels que des photons propagés à travers un médium.

c) La gravitation agit dans la mécanique quantique sous la forme de la dilatation du temps gravitationnelle en modulant le paramètre du temps des lignes d'univers des systèmes quantiques.

Exemple : Dans le diagramme ci-dessous, le système quantique à proximité de la source de gravitation a une fréquence de temps propre ralentie.

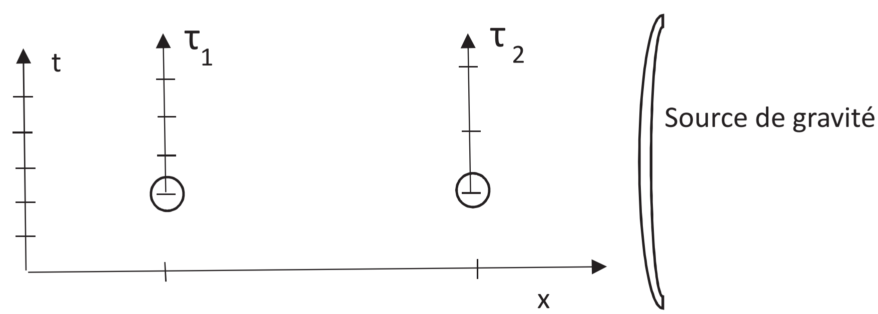


*Fig. 3 : Gravité quantique : Deux systèmes quantiques avec masse et une source de gravitation, avec indication de l'échelle du paramètre de temps propre respectif des particules massives*

## 5. Gravitation en tant que champ de dilatation du temps

Nous avons vu que la gravitation peut être décrite en tant que champ de dilatation du temps gravitationnelle autour des lignes d'univers de particules massives. Aussi, en **section 2** nous avons vu que le temps est généré par des lignes d'univers de particules massives sous la forme de temps propre. Cela veut dire que les particules massives (ou plus précisément : leur énergie de masse) ont un double effet :

- L'énergie de masse des particules massives produit du temps propre,
- Et, en même temps, l'énergie de masse des particules massives ralentit la fréquence du temps propre d'autres particules qui se trouvent dans son champ de gravité. La gravitation et la dilatation du temps gravitationnelle peuvent être considérées comme un effet secondaire autour du processus de génération de temps de la particule.

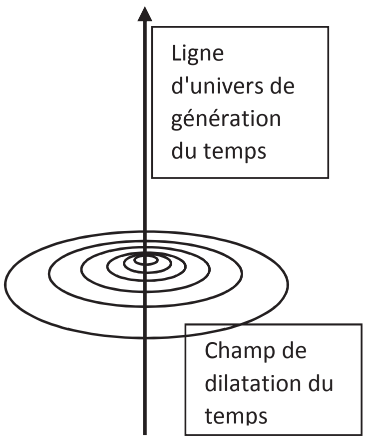


*Fig. 4 : La gravitation en tant que champ de dilatation du temps autour du processus de génération de temps de la particule*

## 6. Références

**[1]** Albert Einstein: On the Electrodynamics of Moving Bodies, Annalen der Physik 1905

**[2]** Hermann Minkowski: Space and Time (1908), in: Space and Time, Minkowski's Papers on Relativity, Minkowski Institute Press 2012

**[3]** Albert Einstein, Marcel Grossmann: Outline of a Generalized Theory of Relativity and of a Theory of Gravitation, 1913

**[4]** Landau/ Lifshitz: The Classical Theory of Fields, 1951, § 1.3. Proper time, p.8

**[5]** Robert M. Wald: General Relativity, 1984, p.271

**[6]** Wolfgang Rindler: Relativity, Special, General, Cosmological, 2001/2006, 3.5 Light cones and intervals

**[7]** Sexl/ Urbantke: Relativity, Groups, Particles, Springer-Verlag Wien 1992/2001, 4.3 Photons: Doppler effect and Compton effect

**[8]** James B. Hartle: Gravity, Addison Wesley 2003, p.91