



Mise à jour 13 Avril 2025



CONFÉRENCE de  
Etera LIVINE Astrophysicien

« POURQUOI LA GRAVITATION QUANTIQUE ? »

Organisée par la SAF

En direct du siège et par téléconférence

Le Samedi 22 Mars 2025 à 15H00

À l'occasion de la réunion de la Commission de Cosmologie

Photos : TM et JPM (capture d'écran), pour l'ambiance.

Les photos des slides sont de la présentation de l'auteur. Voir les crédits des autres photos et des animations.

Le conférencier a eu la gentillesse de nous donner sa présentation, elle est disponible [sur ma liaison ftp](#) et se nomme :

[GravitéQuantique-Paris2025.pdf](#), qui se trouve dans le dossier COSMOLOGIE-SAF/ saison 2024-2025.

Ceux qui n'ont pas les mots de passe doivent [me contacter avant](#).

Il est aussi sur [le site de la commission](#).

Les actualités présentées [sont ici](#).

La vidéo de la séance se trouve : en cours de montage

Les enregistrements des commissions cosmologie sont sur le site de la SAF/Cosmologie à l'adresse suivante :

<https://www.youtube.com/playlist?list=PL78ug7UrzPF1GW7iMV42mAx34bmlk8HxD>

CR rédigé par JPM et J Fric, merci pour son aide.



Nous étions une quinzaine dans la salle et 34 sur Zoom.



Etera Livine est né à Marseille mais il est d'origine Tahitienne !

Petit génie matheux, il est bachelier à 14 ans, Normale Sup (Lyon) à 16 ans et Docteur à 22 ans.

Thèse sous la direction de Carlo Rovelli (Marseille) et Lee Smolin (Imp College Londres), son thème : Gravité quantique à boucle et mousse de spin !

Post doc au Canada.

Il est chargé de recherche au laboratoire de physique de l'ENS Lyon.

Il a bien voulu venir nous rencontrer à Paris pour cette réunion de cosmologie.

Le sujet : Pourquoi une gravitation quan-

tique ?

Le résumé qu'il nous propose : La course effrénée des technologies quantiques et la révolution de l'astronomie par ondes gravitationnelles ont remis en lumière la question, déjà vieille de plus d'un siècle, de la gravitation quantique. Censée unifier la mécanique quantique régissant la physique des particules et la relativité générale dirigeant l'évolution du cosmos, la gravité quantique promet un changement radical dans notre compréhension de l'espace-temps et notre univers. Nous explorerons ensemble l'interface gravité <-> quantique, les pistes explorées vers la gravité quantique, et la nouvelle physique à laquelle cette théorie pourrait mener.

Le problème qui se pose depuis de nombreuses décennies est : comment relier les deux grands principes de la physique moderne, à savoir, la Relativité Générale (RG) qui s'intéresse à l'infiniment grand et la Mécanique Quantique (MQ) qui se consacre à l'infiniment petit.

La réponse pourrait être ce que l'on appelle la Gravitation Quantique, de nombreux chercheurs, 20.000, s'y consacrent.

Avant d'aborder la gravitation quantique à boucles, E. Livine, se propose de la situer dans le contexte scientifique de la physique moderne.

## LA GRAVITATION (CLASSIQUE).

Quelques rappels.

Loi de Newton : tout tombe à la même vitesse.

La gravitation fait tomber les choses sur terre et fait tourner les astres.

Deux corps massifs s'attirent.

The image shows a chalkboard with the following equation and annotations:

$$E = \frac{1}{2}mv_r^2 + \frac{mL^2}{2r^2} - \frac{GmM}{r}$$

Arrows point from the terms to their respective labels:

- $\frac{1}{2}mv_r^2$  points to "Energie"
- $\frac{mL^2}{2r^2}$  points to "énergie radiale"
- $-\frac{GmM}{r}$  points to "potentiel gravitationnel"

Below the equation, the terms are summed:

Energie = énergie radiale + force centrifuge + potentiel gravitationnel

La gravitation newtonienne explique plein de phénomènes jusque-là inexplicables : précession de Mercure, Neptune, éclipse de Sorbal, ...

Elle permet aussi de nouvelles découvertes.

## La Gravitation est une propriété de l'espace-temps et non pas des objets

Les masses courbent l'espace-temps. Nous suivons des lignes droites dans une géométrie courbe !

La gravitation dilate le temps.

- Plus le champ de gravitation est fort et plus le temps ralentit !
- Plus la distance est petite, plus la gravité est forte et plus le temps ralentit.

Application : correction pour GPS nécessaire.

Mais aussi :

- La gravitation fait vibrer l'espace-temps (Ondes Gravitationnelles)
- La gravitation fait effondre les étoiles menant au TN stade ultime de l'effondrement.

## LA MÉCANIQUE QUANTIQUE.

Elle a été inventée pour stabiliser les atomes, en commençant par l'Hydrogène.

Pourquoi l'électron qui tourne autour du noyau ne s'écrase pas sur celui-ci ? Or les atomes sont stables.

Bohr et Rutherford imaginent des électrons qui tournent sur des orbites bien précises. Mais sur certaines orbites seulement, pourquoi ?

Schrödinger a la solution, ce ne sont pas des orbites mais des nuages de probabilités qui ont des solutions discrètes.

L'électron est onde ET particule.

Par exemple l'atome d'H n'émet que des fréquences bien caractéristiques qui vont mener à des applications comme le Laser.

Ces fréquences particulières à chaque atome sont leur carte d'identité leur ADN. Les étoiles ont un spectre correspondant à leur composition.

On découvre l'expansion de l'Univers.

Les spectres sont déviés vers le rouge (red shift) c'est l'effet Doppler.

La superposition d'états mène à l'effet tunnel, la radioactivité, l'intrication....

## GRAVITÉ ET QUANTIQUE.

La gravité explose l'espace-temps !

3 constantes fondamentales dominant l'Univers :

**3 constantes fondamentales:** → **3 unités fondamentales:**

- La constante universelle de la gravitation de Newton  
 $G \simeq 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$
- La vitesse de la lumière  
 $c \simeq 300\,000 \text{ km s}^{-1}$
- La constante de Planck  
 $h \simeq 1,05 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-1}$

→

- Temps de Planck  
 $t_P = \sqrt{\frac{hG}{c^5}} \simeq 5,4 \cdot 10^{-44} \text{ s}$
- Longueur de Planck  
 $l_P = ct_P = \sqrt{\frac{hG}{c^3}} \simeq 1,6 \cdot 10^{-35} \text{ m}$
- Masse de Planck  
 $m_P = \frac{h}{cl_P} = \sqrt{\frac{hc}{G}} \simeq 2,2 \cdot 10^{-8} \text{ kg}$

On ne peut rien mesurer de plus petit que la longueur de Planck !

Il va falloir aller plus loin que la MQ.

On connaît, à ce jour, 4 interactions fondamentales.

- 1- L'interaction électromagnétique
- 2- L'interaction faible
- 3- L'interaction forte
- 4- La gravitation

Les 3 premières ont été théorisées dans le cadre de la théorie quantique des champs (QFT) mais le formalisme utilisé n'est pas utilisable pour modéliser la gravitation modélisée par la relativité générale qui, en tant que théorie géométrique « classique » (une variété) de la gravitation utilise des paramètres « continus » qui, donc, n'est pas une théorie « quantifiée ».

Le vide n'est plus vide, il est rempli de particules virtuelles. Effet Casimir.

## Renormalisation : (d'après Chat GPT)

La renormalisation en cosmologie (et plus largement en physique) est une méthode mathématique utilisée pour gérer les infinis qui apparaissent parfois dans les équations, notamment quand on essaie de décrire l'univers à des échelles très petites ou très grandes.

En termes simples :

Imaginons que tu essaies de calculer quelque chose sur l'univers (par exemple, la densité d'énergie du vide), et ton calcul te donne une valeur infinie.

Ce n'est pas réaliste, car dans la nature, on n'observe pas d'infini physique.

La renormalisation permet de « nettoyer » ces infinis en :

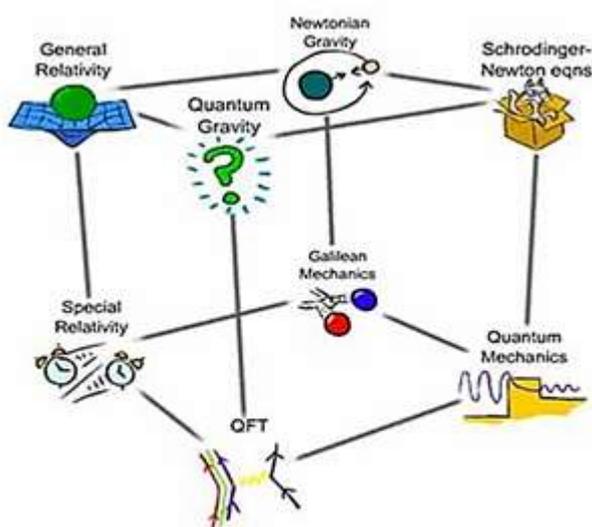
- Séparant ce qui est mesurable (ce que tu peux observer dans la réalité),
- Et en ajustant les paramètres du modèle (comme la masse ou la charge) pour qu'ils donnent des résultats finis et cohérents avec les observations.

En cosmologie, on l'utilise par exemple :

Quand on parle de l'énergie du vide ou de la constante cosmologique, qui sont reliées à des effets quantiques.

Pour intégrer les effets de la physique quantique dans la description de l'univers à grande échelle (ex : l'inflation cosmique).

## Les gravitations quantiques :



Pourquoi une théorie quantique de la gravitation semble nécessaire ?

La relativité générale utilisée aujourd'hui avec succès pour décrire la gravitation, comporte des singularités, où la théorie ne prédit plus de résultat physique.

Ces cas qui sont rares et extrêmes, en général, sont déroutants et on pense qu'une théorie quantifiée de

la gravitation n'aurait pas ces défauts.

## Les tentatives pour résoudre le problème

- La théorie des (super) cordes (string theory).  
Dans cette théorie, les particules sont modélisées par des minuscules cordes, (ouvertes ou fermées) dont les nombreux modes de vibrations définissent toutes les particules.  
Il existe dans cette théorie une configuration de vibration qui correspondrait à l'hypothétique « graviton » qui serait le quantum des ondes gravitationnelles dans une théorie de la gravitation quantifiée. Pour l'instant les travaux dans ce sens ne semblent pas achevés. À noter que dans cette théorie des supercordes on a étendu le concept de corde (à 1 dimension) à un concept de branes multidimensionnelles. Le tout devant exister dans un espace-temps à 11 dimensions pour des raisons de cohérence et de stabilité.
- La gravitation quantique à boucles (loop quantum theory).  
Cette autre approche vise un objectif plus modeste ne visant qu'à quantifier la gravitation en espérant que si cela est réalisé, alors ce serait un pas important pour l'unification de la théorie quantique des champs et de la gravitation.  
Le point de départ est la relativité générale dont on va par un mécanisme de type ADM [Arnowitt-Deser-Misner] bien connu séparer temps et espace pour ensuite les recombinaison selon ce même mécanisme. À noter que dans cette approche on ne quantifie que l'espace, en petits volumes élémentaires minuscules, un peu à la manière des cristaux dans certains matériaux, ce qui fournit une structure de type « polycristallin », appelée mousse de spin en raison de la modélisation, utilisant des spineurs, adoptée.
- Il existe bien d'autres théories comme indiqué sur la slide.



Ayant défini la structure quantifiée de la géométrie de l'espace, il faut définir son évolution au cours du temps.

L'évolution de cette structure « mousse de spin » (spin foam) en fonction de la coordonnée « temps », comme définie dans le formalisme ADM, sous une contrainte hamiltonienne qu'il convient de préciser.

On espère retrouver la relativité générale comme limite de cette théorie en champ faible.

En effet la relativité générale, si elle décrit, avec une grande précision, la situation physique dans les situations pas trop « exotiques ».

Nous remercions Etera Livine pour sa brillante présentation.

**POUR ALLER PLUS LOIN :**

[Etera Livine, prodige polynésien de la physique quantique](#)

Sur la gravitation à boucles : [un article de C Rovelli](#).

[Le formalisme ADM par J Fric](#).

[La gravitation quantique à boucles, une théorie fascinante](#)

[Loop quantum gravity - Astonishing science](#) YouTube

[Gravité quantique entropique : la clé tant attendue pour unir relativité et mécanique quantique ?](#)

[Cette nouvelle théorie relie gravité et mécanique quantique](#)

**PROCHAINE RÉUNION COSMOLOGIE : Samedi 24 Mai 2025 15h  
AU SIÈGE**

**RETOUR SUR LE PARADOXE D'OLBERS**

Par Thierry Midavaine.

Une invitation sera envoyée deux semaines avant.

**PROCHAINE CONFÉRENCE MENSUELLE DE LA SAF :**

**Prochaine conférence SAF. : le mercredi 14 Mai 2025 (CNAM) 19 H**

**avec Pierre LÉNA Astrophysicien Obs de Paris**

**Académicien des Sciences**

**sur « LES HUMAINS ET LE CIEL : SIX MILLE ANS D'HISTOIRE.**

**À PROPOS DE "L'ATLAS HISTORIQUE DU CIEL"»**

**Réservation comme d'habitude à partir du 10 Avril 9h00 ou à la SAF di-  
rectement.**

**Transmission en direct sur le canal YouTube de la SAF :**

<https://www.youtube.com/channel/UCD6H5ugytjb0FM9CGLUn0Xw/featured>

[Les dernières conférences SAF](#)

Bon ciel à tous

Jean Pierre [Martin](#) Président de la commission de cosmologie de la SAF  
[www.planetastronomy.com](http://www.planetastronomy.com)

[Abonnez-vous gratuitement aux astronews](#) du site en envoyant votre nom et e-mail.