

À la recherche de l'origine de l'univers

David Bensoussan

L'auteur est professeur de sciences à l'Université du Québec

Les théories scientifiques tentent d'identifier une démarche qui pourrait offrir une tentative d'explication quant à l'origine ou à la finalité de l'univers. Or, les hypothèses relatives à la causalité première sont régulièrement remises en question.

De l'origine de l'univers

La question de l'origine ultime de l'univers est incontournable. Tout esprit curieux ne manque pas de se poser la question : que sait-on de l'origine ultime de l'univers ? S'il y a un créateur de l'univers, il est impossible de ne pas se demander ce qu'il faisait ou ce qui existait avant sa création ou encore s'il est à l'extérieur de l'univers.

L'évolution de l'univers semble suivre une flèche temporelle, souvent explicable par des chaînes de causalité, mais l'origine première reste énigmatique.

Newton s'interrogeait sur la raison pour laquelle la gravitation universelle n'entraînerait pas, à terme, l'attraction mutuelle de tous les astres. Toutefois, il a été démontré que l'univers est en expansion, ou plus précisément que la matière s'éloigne dans l'espace, tendant vers une entropie maximale et une température uniforme dans l'univers. Le fait que les galaxies s'écartent les unes des autres à une vitesse croissante laisse suggérer que l'univers a commencé à partir d'un point unique, une singularité souvent désignée sous le nom de Big Bang. Einstein également a proposé l'existence d'une force répulsive universelle qui garantirait la stabilité cosmique.

Une théorie est un ensemble d'hypothèses interconnectées et cohérentes, testées et validées par l'expérience ou l'observation. La théorie du Big Bang,

soutenue par l'observation que l'univers est en expansion, suggère que tout a commencé par un point unique il y a environ 13,8 milliards d'années. Avant cette singularité, ni espace ni temps n'existaient, rendant inapplicables les lois de la physique. En se fondant sur la relativité élargie tout en omettant les forces non gravitationnelles, il est possible de déduire que la masse, l'énergie et la température auraient été infinies. À cette époque initiale, l'espace était extrêmement comprimé, au point de quasiment disparaître, tout comme le temps. Dans ce cadre de non-existence de l'espace-temps, les lois de la physique ne pourraient s'appliquer. Le temps serait-il né avec le Big bang ?

Le mur de Planck

Dans la vie quotidienne, nous n'avons aucune difficulté pour distinguer le temps de l'espace. Pourtant, ils sont confondus dans la théorie de la relativité. Leur distinction est « ultérieure » au Big Bang et les chercheurs s'accordent pour dater cette distinction au temps de Planck soit 10^{-43} secondes après le Big bang alors que la dimension de l'univers était la distance de Planck soit 10^{-33} centimètres. Ce mur de Planck marque la frontière où nos modèles cessent d'expliquer l'univers, tandis que le Big Bang délimite tout ce qui s'est produit à partir de cet instant et au-delà. Cette transition qui survient au mur de Planck soulève d'autres questions : le temps aurait-il émergé graduellement ou subitement ? L'univers a été créé ou autocréé ? Selon quelle loi physique ou selon quel bleu de travail cela aurait-il pu se concrétiser ?

L'horizon des événements

Un trou noir est une région de l'espace où la gravité est si intense qu'elle absorbe toute matière et empêche même la lumière de s'échapper. Einstein a prédit leur existence en 1915 dans le cadre de sa théorie de la relativité générale. Depuis 1971, des preuves indirectes de l'existence des trous noirs ont été identifiées, et la première image directe d'un trou noir a été obtenue en 2019.

L'horizon des événements correspond à la limite d'une sphère imaginaire entourant le trou noir. Au-delà de cette limite, aucune information, y compris la lumière, ne peut s'échapper. Le rayon de cette sphère, qui dépend de la masse du trou noir, est appelé *rayon de Schwarzschild*, en hommage au scientifique qui a décrit ses propriétés.

Les ondes gravitationnelles

Les ondes gravitationnelles, dont l'existence a également été prédite par Einstein en 1915, sont des ondulations de l'espace-temps causées par l'accélération intense d'objets massifs, comme la fusion de deux trous noirs. Ces ondes précèdent la fusion et se propagent à la vitesse de la lumière, transportant de l'énergie à travers l'espace-temps sans nécessiter de support matériel. Elles existent à l'extérieur des horizons des événements.

Une fois que deux trous noirs ont fusionné, le trou noir résultant est entouré de son propre horizon des événements. À partir de ce moment, aucune information concernant son contenu interne ne peut être transmise, car rien ne peut franchir l'horizon des événements vers l'extérieur.

Du trou noir au Big Bang

Certaines similarités entre le trou noir et le Big Bang ont poussé d'éminents chercheurs¹ à envisager des hypothèses audacieuses. Les deux phénomènes impliquent un point central ou singularité et la gravité y joue un rôle central. Le trou noir a une dimension « locale » dans l'espace tandis que le Big Bang amorce l'expansion de l'espace-temps lui-même au sein de l'univers.

Le rayonnement de Hawking

Hawking a démontré que les trous noirs absorbent la matière, mais émettent également des ondes thermiques dénommées rayonnement de Hawking. Il y a aussi un paradoxe de l'information : d'une part, selon la théorie de la relativité générale, l'information qui passe au travers de l'horizon des événements disparaît : tout ce qui franchit l'horizon des événements d'un

¹ Lee Smolin, Nikodem Popławski, Igor Novikov, Roger Penrose et Carlo Rovelli.

trou noir, l'information incluse, devient inaccessible à l'univers extérieur ; de l'autre, selon la physique quantique, l'information quantique ne peut disparaître. Cette contradiction est désignée par paradoxe de l'information. Se pourrait-il que l'information absorbée à l'intérieur de l'horizon des événements soit codée dans le rayonnement de Hawking ?

Bien que des progrès aient été réalisés pour intégrer la mécanique quantique et la relativité générale, la question de savoir si l'information absorbée par un trou noir est codée dans son rayonnement de Hawking reste partiellement résolue. Cela touche aux fondements mêmes de notre compréhension de l'univers et du lien entre les approches contradictoires de la gravité et de la mécanique quantique. Des expériences futures ou des avancées théoriques (comme une théorie complète de la gravitation quantique) pourraient éclairer ce mystère.

Hypothèses

L'idée d'un univers cyclique, qui alternerait entre contraction et expansion, a séduit plusieurs théoriciens. Alexandre Friedman a démontré que cette hypothèse était une des solutions mathématiques de la théorie de la relativité générale, tout comme celle d'une expansion infinie. Cependant, Thomas Gold a montré qu'accepter l'idée d'un univers se contractant impliquerait un voyage dans le passé, où l'on se souviendrait du futur. Bien que l'expansion de l'univers soit l'hypothèse actuelle dominante, d'autres théories, comme celle de la création continue de matière, explorent d'autres explications possibles.

Parmi les hypothèses avancées, le Big Bang serait un trou noir inversé qui implique une expansion rapide et explosive plutôt qu'une contraction gravitationnelle.

Le télescope James Webb qui étudie les signaux émis dans l'univers il y a de cela 13,5 milliards d'années a fait une découverte inattendue : celle des galaxies « prématurées » qui auraient existé alors que la densité de la matière était insuffisante. Cela vient bouleverser toutes les théories existantes. Y

aurait-il eu plusieurs univers et plus d'un big bang ? Serait-ce le signe que notre univers est en train de fusionner avec un autre univers plus ancien ?

Questionnements métaphysiques

Dans cette quête visant à comprendre l'origine et le destin de l'univers, nous touchons aux limites de la connaissance humaine. Bien qu'extraordinairement puissantes, les théories actuelles laissent encore des zones d'ombre et ne parviennent pas à éclaircir certaines questions existentielles. Les déistes croient en un créateur initial qui aurait joué le rôle de pyrotechnicien ; les théistes admettent l'existence d'un Dieu qui intervient à tout moment ; certains spéculent même que le créateur évolue avec l'univers. Pour les matérialistes, la réalité se limite à ce qui est matériel et physique et la conscience ne serait que le produit d'interactions entre des éléments matériels, n'admettant aucune réalité spirituelle ou immatérielle.

Chaque découverte suscite de nouvelles questions, témoignant de la capacité de la pensée humaine à appréhender une partie de l'ordre cosmique à travers des concepts et des lois mathématiques. Cette idée illustre l'intuition d'Einstein selon laquelle « *la pensée pure peut saisir la réalité* ». Pourtant, chaque réponse scientifique laisse subsister une zone d'ombre, rappelant que si notre compréhension du monde s'élargit, elle ne parvient jamais à dissiper complètement le mystère de l'existence.

Le mystère de l'origine première, tout comme celui de la fin ultime de l'univers, demeure hors de portée des capacités d'investigation de l'esprit humain. C'est dans ces espaces d'incertitude que la métaphysique et la spiritualité prennent le relais, en tentant de répondre aux interrogations qui échappent à la rigueur scientifique.

La métaphysique s'intéresse aux grandes questions que la physique ne peut résoudre : la finalité de l'univers, la relation entre l'esprit et la matière, ou encore la question du libre arbitre. Indépendamment des découvertes scientifiques, ces interrogations fondamentales persistent, ce qui montre que la métaphysique continue de nous interpeller.

Il n'en demeure pas moins que la relation entre l'esprit et le monde réel ne fait pas l'unanimité. Hume, par exemple, rejetait les concepts de substance et d'esprit et ne considérait comme réel que ce qui pouvait être observé ou déduit par raisonnement logique. De son côté, Kant pensait que l'esprit humain possédait une connaissance innée, un cadre a priori qui permettait la pensée.

Ces questionnements prennent une acuité particulière lorsque l'on réalise que l'apparition de la vie sur Terre repose sur une improbable série de circonstances. La complexité du monde semble si bien organisée qu'elle fait penser à une gigantesque machine ou un superordinateur, ce qui peut pousser à évoquer un dessein intelligent ou un miracle de la vie.

Le théologien et mystique allemand du 17^e siècle Angelus Silesius disait : « *L'homme a deux yeux : l'un ne voit que ce qui bouge dans le temps qui fuit, l'autre ce qui est éternel et divin.* »

Votre texte est riche et aborde une grande variété de concepts liés à la cosmologie, à la physique théorique et à la philosophie. Il est globalement clair, mais sa densité pourrait le rendre difficile à suivre pour certains lecteurs. Voici quelques observations et suggestions pour le rendre encore plus fluide et accessible tout en conservant sa profondeur :

Points positifs

1. **Clarté des concepts scientifiques** : Les idées complexes, comme le mur de Planck, le Big Bang, et le rayonnement de Hawking, sont expliquées avec précision et dans un langage accessible.
2. **Lien entre science et philosophie** : Le passage des explications scientifiques aux questions métaphysiques est bien intégré.
3. **Structure thématique** : Les sections, bien que nombreuses, suivent une certaine logique en progressant de la cosmologie scientifique à la réflexion métaphysique.

Points à améliorer

1. **Éviter les répétitions** : Certaines idées sont répétées, comme la description des trous noirs et des horizons des événements. Une synthèse ou un regroupement des sections similaires rendrait le texte plus fluide.
2. **Simplification de certaines phrases** : Certaines phrases sont longues et complexes, ce qui peut perdre le lecteur.
3. **Cohérence entre sections** : Le passage entre certains concepts, par exemple entre les trous noirs et les questionnements métaphysiques, pourrait être mieux articulé.
4. **Transition logique** : L'introduction de la philosophie et des approches spirituelles pourrait être davantage mise en lien avec les limites des théories scientifiques.

Version révisée d'un extrait

De l'origine de l'univers
La progression de l'univers semble suivre une flèche temporelle, souvent

expliquée par des chaînes de causalité. Cependant, l'origine première de l'univers reste énigmatique. Tout esprit curieux est naturellement conduit à se demander : que sait-on vraiment de cette origine ultime ?

La théorie du Big Bang, soutenue par l'observation que l'univers est en expansion, suggère que tout a commencé à partir d'un point unique, une singularité, il y a environ 13,8 milliards d'années. Avant cette singularité, ni espace ni temps n'existaient, rendant inapplicables les lois de la physique connues. La masse, l'énergie et la température auraient été infinies, et l'espace-temps, tel que nous le comprenons, n'aurait pas encore émergé. Cette période est souvent qualifiée de "mur de Planck", une frontière théorique située à 10^{-43} secondes après le Big Bang.

L'idée d'un univers cyclique, alternant contraction et expansion, a également été explorée. Alexandre Friedman a démontré que cette hypothèse est compatible avec la relativité générale, bien qu'elle soulève des paradoxes, notamment celui d'un retour dans le passé. D'autres hypothèses, comme celle de la création continue de matière, témoignent de la complexité des modèles proposés pour expliquer l'univers.

Du trou noir au Big Bang

Les similarités entre un trou noir et le Big Bang ont conduit à des hypothèses fascinantes. Tous deux impliquent une singularité où la gravité joue un rôle central. Cependant, alors que le trou noir représente une contraction gravitationnelle locale, le Big Bang marque l'expansion de l'espace-temps lui-même.

Hawking a ajouté une dimension intrigante à notre compréhension des trous noirs en montrant qu'ils émettent un rayonnement, appelé rayonnement de Hawking, bien qu'ils absorbent également de la matière. Cela soulève un paradoxe fondamental : selon la relativité, toute information qui traverse l'horizon des événements disparaît, mais selon la physique quantique, l'information ne peut jamais être détruite. Ce paradoxe de l'information demeure l'un des défis majeurs de la physique théorique.

Questionnements métaphysiques

Face à ces mystères, la science atteint parfois ses limites. La métaphysique et

la spiritualité prennent alors le relais pour explorer des questions qui échappent à la rigueur scientifique. La métaphysique s'interroge sur les grandes questions existentielles : la finalité de l'univers, la relation entre matière et esprit, et l'origine de la conscience.

Ces réflexions trouvent un écho dans la complexité apparente de l'univers. L'apparition de la vie repose sur une série de conditions improbables, presque miraculeuses, qui évoquent une organisation si parfaite qu'elle pourrait sembler le fruit d'un dessein supérieur. Comme le disait Angelus Silesius : « *L'homme a deux yeux : l'un ne voit que ce qui bouge dans le temps qui fuit, l'autre ce qui est éternel et divin.* »

Suggestions générales

- **Regrouper les sections** : Fusionner les parties sur les trous noirs et les horizons des événements pour éviter les redites.
- **Articuler les liens** : Introduire une transition plus claire entre les concepts scientifiques (comme le Big Bang) et les réflexions métaphysiques.
- **Utiliser des encadrés ou exemples** : Pour rendre le texte plus accessible, proposer des illustrations ou analogies concrètes (par exemple, expliquer la singularité avec une image visuelle).

Ce texte, bien structuré et approfondi, a le potentiel de captiver un public à la fois curieux et averti.

. Pour Einstein, « *tout est déterminé, le début comme la fin, par des forces sur lesquelles nous n'avons aucun contrôle. Cela vaut pour l'insecte, tout comme pour l'étoile. Les êtres humains, les végétaux ou la poussière cosmique, nous dansons tous au rythme d'une mélodie mystérieuse, entonnée au loin par un joueur de flûte invisible.* »

Paradoxe de l'information

Le **paradoxe de l'information** est un concept issu de la physique théorique, particulièrement dans le cadre des trous noirs. Il illustre le conflit entre la mécanique quantique et la relativité générale concernant le destin de l'information.

Contexte

En relativité générale classique, on considère que l'information sur la matière ou l'énergie tombée dans un trou noir est perdue à jamais. Cependant, cela entre en conflit avec les principes de la mécanique quantique, qui stipulent que l'information ne peut pas être détruite. Ce conflit constitue l'essence du paradoxe de l'information.

Origine du paradoxe

Le paradoxe a été proposé pour la première fois par Stephen Hawking dans les années 1970. Hawking a démontré que les trous noirs émettent un rayonnement (connu sous le nom de **rayonnement de Hawking**) à cause d'effets quantiques proches de l'horizon des événements. Avec le temps, ce rayonnement provoque une perte de masse du trou noir, qui finit par s'évaporer complètement.

Le problème survient car :

- Le rayonnement de Hawking semble être purement thermique et ne contient aucune information sur la matière qui a formé ou pénétré dans le trou noir.
- Quand le trou noir s'évapore totalement, l'information sur son contenu semble irrémédiablement perdue.

Cela viole un principe fondamental de la mécanique quantique : **l'unitarité**, qui exige que l'évolution d'un système quantique conserve l'information.

Implications du paradoxe

1. **Effondrement des théories physiques** : Le paradoxe révèle une incompatibilité fondamentale entre la mécanique quantique et la relativité générale, deux théories essentielles de la physique moderne.

2. **Défi pour les lois de conservation** : Si l'information est perdue, cela remet en question le principe de conservation de l'information, central en théorie quantique.

Propositions de résolution

Plusieurs théories ont été avancées pour résoudre ce paradoxe :

1. **Information stockée dans le rayonnement** : Certains physiciens avancent que l'information pourrait être subtilement encodée dans le rayonnement de Hawking, bien que cela reste à démontrer.
2. **Principe holographique** : L'idée que l'information sur l'intérieur d'un trou noir est encodée sur son horizon des événements, en accord avec le principe holographique de la théorie des cordes.
3. **Firewalls** : Une hypothèse controversée selon laquelle une frontière énergétique intense (ou mur de feu) à l'horizon détruirait l'information.
4. **Trous de ver et intrication quantique** : Certaines théories suggèrent que l'intrication quantique ou les trous de ver pourraient jouer un rôle dans la préservation de l'information.
5. **Fin alternative des trous noirs** : Dans certains scénarios, des objets résiduels ou des structures à l'échelle de Planck pourraient contenir l'information après l'évaporation du trou noir.

État actuel

Le paradoxe de l'information reste l'un des problèmes les plus profonds et non résolus de la physique théorique. Des développements récents, tels que l'application de techniques de calcul quantique et des progrès en holographie, apportent des pistes prometteuses, mais une solution définitive reste à trouver.

Unitarité : Conserver l'information dans un système quantique

L'**unitarité** est un principe fondamental de la mécanique quantique qui garantit la conservation de la probabilité et de l'information dans un système quantique. Elle stipule que l'évolution d'un système quantique fermé dans

le temps doit être régi par un **opérateur unitaire**, préservant ainsi l'information totale.

Aspects clés de l'unitarité

1. Définition mathématique :

- Un opérateur unitaire U satisfait la condition $U^\dagger U = U U^\dagger = I$, où U^\dagger est le conjugué hermitien (ou adjoint) de U , et I est l'opérateur identité.
- Cette propriété assure que la norme de l'état quantique reste constante au cours de son évolution, préservant ainsi les probabilités.

2. Équation de Schrödinger :

L'évolution temporelle d'un système quantique est décrite par l'équation de Schrödinger :

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} |\psi(t)\rangle = H |\psi(t)\rangle,$$

où H est l'hamiltonien (opérateur d'énergie) du système.

- La solution implique un opérateur unitaire $U(t) = e^{-iHt/\hbar}$, garantissant une évolution réversible et déterministe.

3. Conservation de la probabilité :

- En mécanique quantique, la probabilité totale de tous les résultats possibles d'une mesure doit être égale à 1. L'unitarité garantit cela en préservant le produit scalaire des états quantiques

$$\langle \psi(t) | \psi(t) \rangle = \langle \psi(0) | U^\dagger U | \psi(0) \rangle = \langle \psi(0) | \psi(0) \rangle.$$

Implications pour la conservation de l'information

• Réversibilité :

L'évolution unitaire implique que, connaissant l'état actuel d'un système, on peut théoriquement reconstituer les états passés du système. Cette réversibilité est une caractéristique fondamentale de la mécanique quantique.

- **Pas de perte d'information :**
L'unitarité assure que l'information encodée dans l'état initial d'un système quantique n'est pas détruite, mais simplement transformée au cours de son évolution. Cela contraste avec les systèmes classiques, où l'information peut sembler se dissiper (par exemple, via le chaos ou la thermalisation).

Lien avec le paradoxe de l'information des trous noirs

Le principe de l'unitarité est en contradiction directe avec l'idée que l'information pourrait être perdue dans un trou noir. Si l'information était irrémédiablement détruite, l'évolution du système (incluant le trou noir et son rayonnement) ne serait plus unitaire, violant ainsi la mécanique quantique.

En particulier :

- Dans la formulation originale de Hawking, le rayonnement émis par les trous noirs est purement thermique et ne transporte aucune information sur la matière qui a formé ou pénétré dans le trou noir.
- Si le trou noir s'évapore complètement, cela suggère que l'information est perdue, menant à une rupture de l'unitarité.

Résoudre cette tension est essentiel pour réconcilier la mécanique quantique avec la relativité générale et comprendre la véritable nature de l'espace-temps et de l'information.

ChatGPT

La relation entre un trou noir et le Big Bang repose sur des similitudes conceptuelles et des hypothèses théoriques, bien qu'il s'agisse de phénomènes très différents dans leur nature et leur rôle cosmologique. Voici un aperçu des liens et distinctions :

1. Similitudes conceptuelles

a) Singularité

Les deux phénomènes impliquent une singularité :

Dans un trou noir, la singularité est un point central où la densité et la courbure de l'espace-temps deviennent infinies.

Dans le Big Bang, l'univers tout entier aurait émergé d'une singularité initiale où la densité et la température étaient infinies.

b) Rôle de la gravité

La gravité joue un rôle central dans les deux cas :

Dans un trou noir, elle est si intense qu'elle empêche toute évasion, y compris celle de la lumière.

Dans le Big Bang, la gravité, combinée à l'expansion initiale, a structuré l'évolution de l'univers.

c) De l'infiniment petit à l'universel

Les deux concepts représentent des extrêmes de la physique :

Un trou noir est une concentration locale extrême de masse.

Le Big Bang est une expansion globale de l'espace-temps lui-même.

2. Différences fondamentales

a) Nature et rôle cosmologique

Trou noir :

Un trou noir est une région localisée dans l'univers, formée par l'effondrement gravitationnel d'une étoile massive ou par l'accrétion de matière.

Il ne crée pas de matière ou d'espace, mais piège tout ce qui passe son horizon des événements.

Big Bang :

Le Big Bang n'est pas un objet ou une région, mais un événement cosmique marquant la naissance de l'univers et l'expansion de l'espace-temps.

Il a créé la matière, l'énergie, le temps et l'espace.

b) Comportement de l'espace-temps

Dans un trou noir, l'espace-temps se contracte vers la singularité.

Lors du Big Bang, l'espace-temps s'étend à partir de la singularité.

3. Hypothèses et spéculations théoriques

a) Les trous noirs comme "mini Big Bangs" ?

Certains théoriciens ont suggéré que l'intérieur d'un trou noir pourrait être relié à un univers parallèle ou à un nouveau Big Bang.

Dans cette hypothèse, la matière qui traverse un trou noir pourrait émerger dans un autre univers via un trou blanc (solution théorique, jamais observée).

b) Le Big Bang, un "trou noir inversé" ?

Le Big Bang pourrait être vu comme un phénomène inverse au trou noir :

Au lieu d'un effondrement gravitationnel, il implique une expansion rapide et explosive.

Les lois physiques sont inversées : la gravité agit comme une force répulsive dans les premiers instants (inflation cosmique).

c) Gravité quantique et unification

Le Big Bang et les trous noirs posent tous deux des défis à la physique moderne. Comprendre la gravité quantique (qui combine relativité générale et mécanique quantique) pourrait résoudre les mystères des deux phénomènes.

Résumé

Similitudes : Singularité, extrêmes de gravité, implications pour la structure de l'espace-temps.

Différences : Le trou noir est une région locale de l'espace-temps piégeant la matière, tandis que le Big Bang est l'origine globale de l'univers.

Ces deux phénomènes, bien qu'apparemment opposés, sont profondément liés par les lois fondamentales de la relativité générale et restent des terrains d'exploration pour la physique théorique.

Onde gravitationnelle et perte d'information

Les ondes gravitationnelles codent des informations sur les masses, les spins et les orbitales des corps en interaction avant la fusion. Cependant, une fois la fusion réalisée et le trou noir final formé, seule l'information extérieure à l'horizon des événements peut encore affecter l'univers extérieur. C'est l'un des éléments qui rend l'information émise par les ondes gravitationnelles cohérente avec la relativité générale, et cette information n'inclut jamais les détails de ce qui pourrait se produire dans l'intérieur inaccessible de l'horizon.

En résumé, les ondes gravitationnelles respectent la causalité car elles sont produites à partir de la déformation de l'espace-temps à l'extérieur des horizons des événements et se propagent dans des zones où la causalité s'applique, transportant des informations sur les événements cosmiques sans nécessiter d'accès à l'intérieur des trous noirs.

Et les ondes gravitationnelles ?

ChatGPT said:

ChatGPT

<https://www.zmescience.com/space/a-bunch-of-baby-stars-are-orbiting-around-the-black-hole-at-the-center-of-our-galaxy/>



📷 Artistic impression of a material disc with illuminated gas around Sagittarius A*. (Credit: Wikimedia Commons)

You said:

cohérence entre physique quantique et relativité

ChatGPT said:

1. Différences fondamentales entre les deux théories

Relativité générale : La relativité générale d'Einstein décrit la gravité comme une courbure de l'espace-temps produite par la masse et l'énergie, et elle fonctionne exceptionnellement bien à l'échelle cosmique et pour des objets massifs comme les étoiles et les galaxies. Cette théorie est continue et repose sur une géométrie lisse de l'espace-temps.

2. La gravité quantique et les défis de l'unification

3. Les approches vers une théorie unifiée

Plusieurs théories tentent de réconcilier la mécanique quantique et la relativité générale :

Théorie des cordes : La théorie des cordes propose que les particules élémentaires ne sont pas des points, mais des cordes vibrantes dont les modes de vibration déterminent les particules. Cette théorie introduit des dimensions supplémentaires et offre une formulation mathématique qui pourrait potentiellement unifier toutes les forces fondamentales, y compris la gravité. La théorie des cordes implique également des concepts tels que la "théorie M", qui suggère un univers à onze dimensions.

Gravité quantique à boucles : Cette approche quantifie directement la structure de l'espace-temps, le décrivant comme une série de "boucles" discrètes et minimales, ce qui pourrait éliminer les infinis qui apparaissent en relativité générale. Dans ce cadre, l'espace-temps lui-même est quantifié et existe en unités discrètes plutôt qu'en un continuum lisse.

Approches de l'information quantique et trous noirs : Les recherches récentes utilisent les principes de l'information pour aborder la question de l'information dans les trous noirs et résoudre le paradoxe de la perte d'information. Certains théoriciens suggèrent que l'information pourrait être stockée à l'horizon des événements ou qu'elle pourrait échapper sous une forme cryptée à travers des effets quantiques, comme le rayonnement de Hawking, pour respecter la conservation de l'information.

4. Le paradoxe de la perte d'information dans les trous noirs

Le paradoxe de la perte d'information, causé par l'évaporation des trous noirs par le rayonnement de Hawking, est un exemple où la mécanique quantique et la relativité générale semblent se contredire. La mécanique

quantique stipule que l'information ne peut pas être détruite, tandis que la relativité suggère qu'une fois que quelque chose passe l'horizon des événements d'un trou noir, il ne peut plus influencer l'univers extérieur. Ce paradoxe motive des recherches pour comprendre comment l'information pourrait être préservée dans un cadre de gravité quantique.

5. Les espaces-temps holographiques et la conjecture AdS/CFT

La conjecture AdS/CFT, issue de la théorie des cordes, propose une solution théorique intéressante : elle suggère qu'il existe une correspondance holographique entre une théorie de gravité dans un espace-temps "courbe" et une théorie quantique sans gravité sur une bordure de cet espace. Cela signifie que tout ce qui se passe dans l'espace-temps pourrait être décrit en termes de phénomènes quantiques sur une surface à dimensions réduites, un peu comme un hologramme. Cela pourrait offrir une nouvelle voie pour intégrer la gravité avec la physique quantique en décrivant les interactions gravitationnelles comme des phénomènes émergents d'une théorie quantique sous-jacente.

Conclusion

Malgré ces approches prometteuses, une théorie unifiée et complète de la gravité quantique n'a pas encore été obtenue. Chacune de ces théories fournit des pistes différentes, mais des questions majeures restent ouvertes, **en particulier la compréhension complète de l'espace-temps quantique.** Cette recherche est fondamentale pour comprendre des phénomènes extrêmes comme le Big Bang ou l'intérieur des trous noirs, où les effets quantiques et gravitationnels sont tous deux essentiels.