

Géométrie des trous noirs et information quantique

David Viennot (MCF), Lucile Aubourg (post-doctorante),
Olivia Moro (stagiaire M2)
UTINAM, UFC
&
Frédéric Holweck (MCF)
ICB, UTBM

projet dans le cadre des SRO 2017 et du projet I-SITE-UBFC I-QUINS

8 décembre 2017

1 Les trous noirs & l'effet Hawking

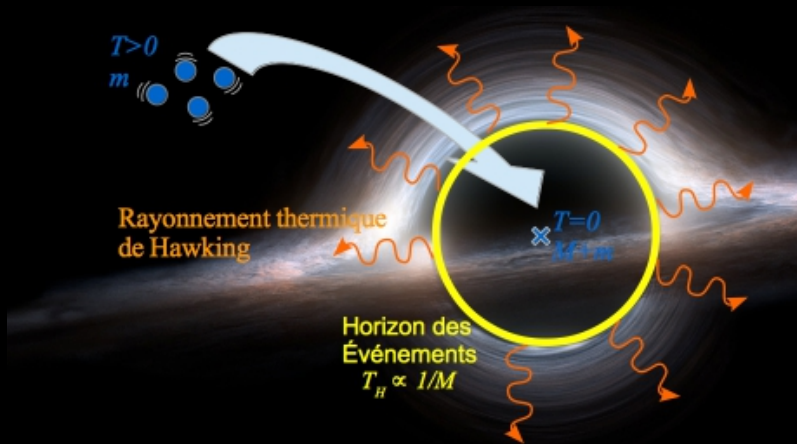
L'horizon des événements

v_{lib} : vitesse de libération de l'attraction gravitationnelle

c : vitesse de la lumière



Le rayonnement de Hawking



2nde loi de la thermodynamique

Questions sur le rayonnement Hawking

- Il n'y a rien sur l'horizon des événements !
⇒ Qu'est-ce qui s'agite pour produire le rayonnement thermique ?
- L'effet Hawking se traduit par une intrication entre les champs de particules de part et d'autre de l'horizon.
⇒ Quel est l'effet de décohérence induit sur l'information quantique au voisinage du trou noir ?

Définition (Intrication quantique)

Corrélation non-locale entre les états de plusieurs particules.

Définition (Cohérence quantique)

Propriété des particules de se présenter dans une superposition d'états classiquement incompatibles (chat de Schrödinger).

Définition (Décohérence quantique)

Perte au cours du temps des propriétés de cohérence quantique sous l'effet du "bruit" environnemental.



2 Position du problème

Incompatibilités GR/QFT

Relativité générale	Théorie quantique des champs
Indépendante d'arrière-fond (espace-temps dynamique)	Dépendante d'un espace-temps plat fixe
Fortement non-perturbative	Perturbative renormalisable dynamique = série "d'événements" émission/absorption de particules
Géométrie (locale)	Non locale
Admet le principe d'équivalence gravité = effet d'inertie \neq force extérieure	Pas de principe d'équivalence

Solutions ?

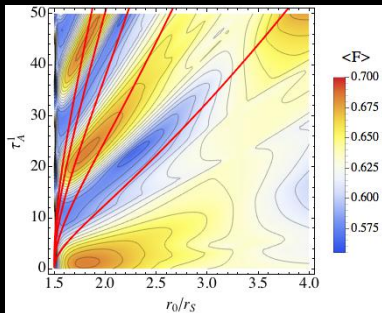
- Construire des modèles approchés qui "masquent" les incompatibilités dans les approximations.
- Utiliser une hypothétique théorie quantique de la gravitation. cette dernière devant être non-locale et admettre le principe d'équivalence.

Le modèle du qubit localisé

Fortes approximations semi-classiques :

- suppression des processus de création/annihilation de paires particule/antiparticule.
- approximation WKB supprimant la délocalisation spatiale de la particule.
- approximation adiabatique sur la dynamique de l'état de spin de la particule.

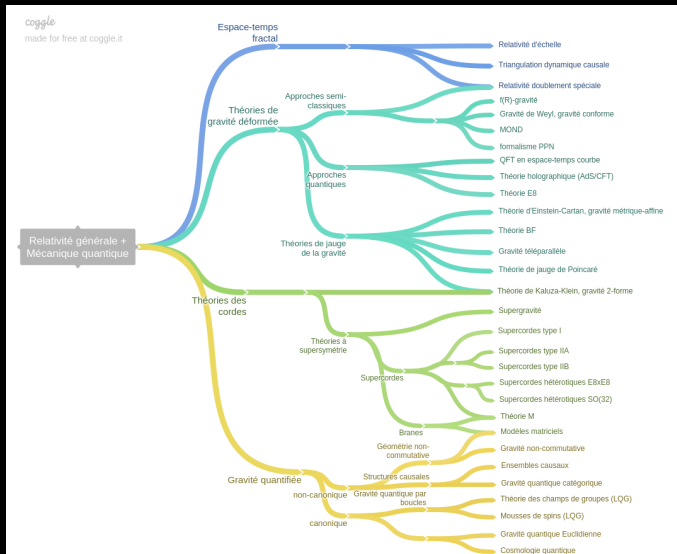
Intrication \rightsquigarrow Dissipation (sur les états de spin).



Mesure de la décohérence par la fidélité moyenne du protocole de téléportation quantique quand l'émetteur est en orbite circulaire autour du trou noir. r_0 rayon de l'orbite, r_S rayon de l'horizon des événements, τ_A^1 est le temps propre de l'émetteur au moment de la réalisation du protocole.

D. Viennot & O. Moro, *Class. Quant. Grav.* **34** 055005 (2017).

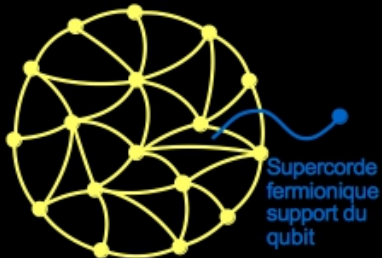
Le maquis des théories quantiques de la gravité



Le modèle matriciel des branes

Idée de base : la structure microscopique de l'espace est un réseau de cordes quantiques en vibration.

Horizon des événements = réseau "sphérique" de cordes (brane) dans un état de vibration thermalisé.



Cordes formant
l'horizon des événements

⇒ Intrication entre le qubit et la
"brane" formant l'horizon.

théorie partiellement indépendante d'arrière-fond, non-perturbative, à géométrie non-locale (géométrie non-commutative) et admettant le principe d'équivalence

Programme de recherche

- Étude des fluctuations quantiques de la brane avec nos outils de la théorie des systèmes dynamiques et simulations numériques du système brane-qubit (pour un micro-trou noir).
- Étude de la possibilité de simuler la gravité quantique par le contrôle laser d'un système ouvert atomique.
- Application de nos outils géométriques pour l'information quantique au qubit intriqué avec la brane.
- Étude de la thermalisation par dérivation d'une équation maîtresse à la limite thermodynamique et liens avec le modèle du qubit localisé.

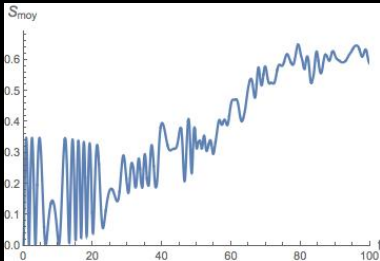
3 Résultats

Fluctuations quantiques de la brane

Théorie des cordes : espace à 9 dimensions (3 dimensions ordinaires + 6 dimensions compactes).



Preuve d'un mécanisme d'émergence des dimensions compactes :
qubit intriqué avec brane dans $\mathbb{R}^3 + \text{fluctuations}$ \iff qubit intriqué avec
brane dans $\mathbb{R}^3 \times \mathbb{T}^6$.



Mesure de la décohérence au cours du temps par l'entropie de von Neumann d'un qubit intriqué avec un micro-trou noir de 9 cordes (sphère floue).

D. Viennot & L. Aubourg, en préparation.

Géométrisation de l'information quantique

- Intrication \Rightarrow décohérence cinématique mesurée par un champ similaire à un champ de Neveu-Schwarz (champ prévu par certaines versions de la théorie des cordes).
 \Rightarrow Émergence d'une géométrie différentielle catégorique (géométrie avec possibilité de "sauts quantiques" d'un point vers un autre éloigné)
Rôle dans la dynamique ??? (nécessite un théorème adiabatique adapté).
- Liens avec la classification des états d'intrication (par géométrie algébrique) ???

Limite thermodynamique

Difficultés à dériver une équation maîtresse pertinente dans le cadre l'approximation adiabatique (problème récurrent en physique des systèmes quantiques ouverts). 😞

Il semble que l'espace-temps à la limite macroscopique présente une "torsion thermique" (alors que la relativité générale d'Einstein suppose une torsion nulle). Possible signature macroscopique de la théorie des cordes ?

Bilan

- Études des fluctuations de la brane ✓
- Simulations par contrôle atomique d'un trou noir ✗
- Géométrie du qubit intriqué avec la brane ⌚
- Limite thermodynamique ⌚