

Black hole & revelations

Transport de qubits autour d'un trou noir

David Viennot¹ & Quentin Ansel^{2,3}

¹ Institut UTINAM (UMR CNRS 6213), Observatoire de Besançon

² Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne (UMR CNRS 6303)

³ Technische Universität München

1 Les trous noirs

Définition d'un trou noir

Définition

Un trou noir est un astre de masse M et de rayon R tel que

$$\frac{M}{R} > \frac{c^2}{2G}$$

où c est la vitesse de la lumière dans le vide et G est la constante de gravitation universelle.

Sous la distance $R_S = \frac{2GM}{c^2}$ on a $v_{lib} > c$.

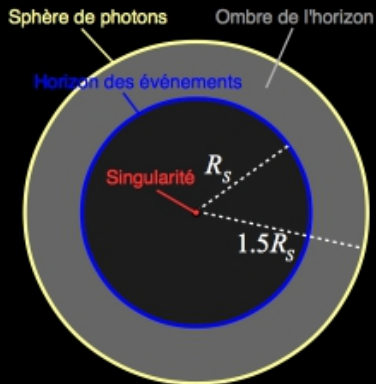
Les trous noirs sont issus d'étoiles "effondrées" de masse $M > 3.4M_\odot$.

$$R_S \simeq 3 \frac{M}{M_\odot} \text{ km}$$

- Détections indirectes par effets gravitationnels.
- Observations directes (2017 ?) : *Event Horizon Telescope* (réseau de radiotélescopes par interférométrie à très longue base) observant *Sagittarius A** (trou noir probable de $M = 4.10^6 M_\odot$).

Morphologie d'un trou noir

Trou noir...



Morphologie d'un trou noir

...avec un disque d'accrétion



O. James *et al*, *Class. Quant. Grav.* **32**, 065001 (2015), *Interstellar* de C. Nolan



2 Les qubits

Qu'est-ce que l'information quantique ?

Le chat classique



L'information classique

$$0 \oplus 0 = 0 \mapsto \boxed{\text{bit}_1}$$

$$0 \oplus 1 = 1 \mapsto \boxed{\text{bit}_2}$$

$$1 \oplus 0 = 1 \mapsto \boxed{\text{bit}_3}$$

$$1 \oplus 1 = 0 \mapsto \boxed{\text{bit}_4}$$

\Rightarrow 4 opérations avec 4 bits de mémoire

Le chat de Schrödinger



L'information quantique

$$\begin{aligned} & (|0\rangle + |1\rangle) \oplus (|0\rangle + |1\rangle) \\ &= |0 \oplus 0\rangle + |0 \oplus 1\rangle + |1 \oplus 0\rangle + |1 \oplus 1\rangle \end{aligned}$$

$$\mapsto \boxed{\text{qubit}_1}$$

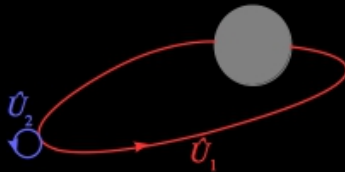
\Rightarrow 1 opération avec 1 qubit de mémoire

Quels liens entre information quantique et trou noir ?

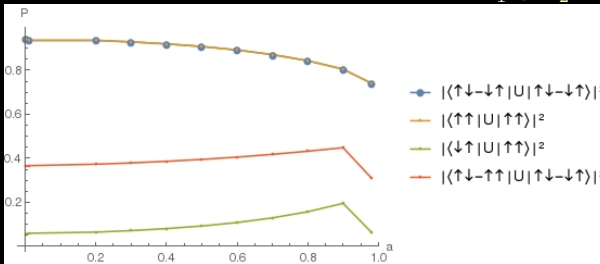
- Comment un trou noir influence l'information quantique ?
 - Peut-on téléporter de l'information quantique depuis une région proche de l'horizon des événements ?
 - Le champ gravitationnel peut-il modifier l'intrication ? (Et donc influencer le résultat d'une expérience avec des qubits).
 - Les trous noirs émettent un rayonnement de particules dit Hawking dont l'origine microscopique est actuellement mal connue.
- Analogie mathématique entre des problèmes de physique des trous noirs et d'information quantique.

3 Simulations du transport de qubits autour d'un trou noir

Qubits autour d'un trou noir en rotation rapide (Kerr)

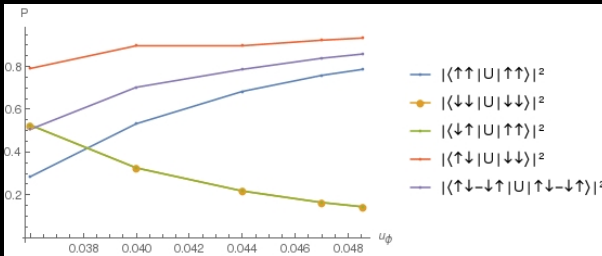


$$\hat{U} = \hat{U}_1 \otimes \hat{U}_2$$



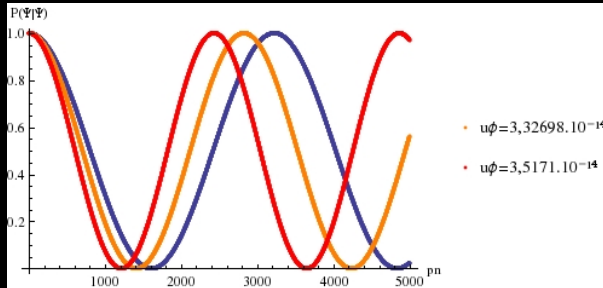
Probabilités de transition d'états des deux qubits en fonction de a le moment cinétique adimensionné du trou noir.

Effet de la vitesse de transport



Probabilités de transition d'états des deux qubits en fonction de u_ϕ la vitesse orthoradiale initiale du qubit tournant autour du trou noir.

Effets dans un satellite artificiel autour de la Terre ?

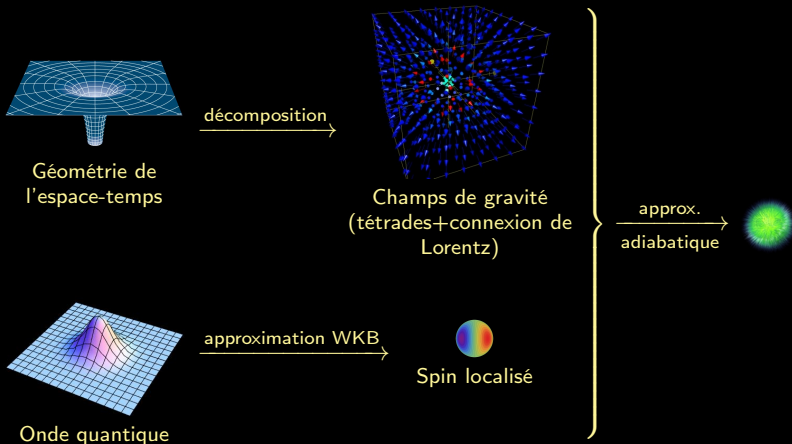


Probabilité de survie de l'état d'un qubit en fonction de pn le nombre de périodes de rotation autour de la Terre (sur l'orbite de l'ISS).

1000 pn représentent 32 jours, "l'espérance de vie" d'un qubit (avant décohérence) est de 1 ms .

4 Formalisme géométrique unifié

Comment traiter plus formellement le problème ?



Un fibré de base l'espace des champs gravitationnels et des champs de vecteurs tangents à l'espace-temps, et de fibre type l'orientation du spin.

Analyse

- Trou noir statique (Schwarzschild) : fibré construit, pas de décohérence dynamique dans la téléportation, une décohérence géométrique dans la téléportation (amplitude à étudier).
- Trou noir à rotation lente (Kerr linéarisé) : fibré en cours de construction...
- Autres trous noirs "à géométries simples" (Morris-Thorne, anti-de Sitter) : en projet.
- Trou noir à rotation rapide (Kerr) : difficile à traiter analytiquement.
- Formalisme général : en projet.

5 Liens avec les théories de gravité quantique

Relier ces études aux théories de gravité quantique ?

- Gravité quantique par boucles : la théorie du transport de qubits en espace courbe est-elle la limite semi-classique de la gravité quantique par boucle ?
→ il semble que non.
- Théorie des cordes : la structure géométrique unifiée est-elle une “solution” d’une équation propre de D-branes ?
→ en projet...

