

Le concept de multivers – sujet 6

L'hypothèse *It from qubit*

David Viennot – Maître de Conférences

Institut UTINAM (CNRS) / Observatoire de Besançon / UFC





Fondements de la théorie de l'information

Les lois de conservation

« ... car rien ne se crée, ni dans les opérations de l'art, ni dans celles de la nature, et l'on peut poser en principe que, dans toute opération, il y a une égale quantité de matière avant et après l'opération ; que la qualité et la quantité des principes est la même, et qu'il n'y a que des changements, des modifications. »
Antoine Lavoisier

Dans les systèmes isolés :

- Conservation de la masse
 - Conservation de l'énergie
 - Conservation de la quantité de mouvement
 - Conservation du moment angulaire
 - Conservation de la charge électrique
 - Conservation du flux magnétique
 - Conservation de la charge de couleur (*charge de l'interaction nucléaire forte*)
 - Conservation des nombres leptonique et baryonique (*nature des particules fondamentales*)
- Conservation de la masse-énergie (*en régime relativiste, $E=mc^2$*)

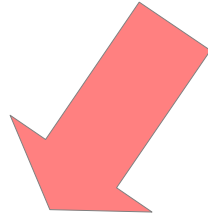
L'information comme quantité physique



séquences de polarisations
magnétiques de la matière



séquences
d'impulsions de
courants
électriques

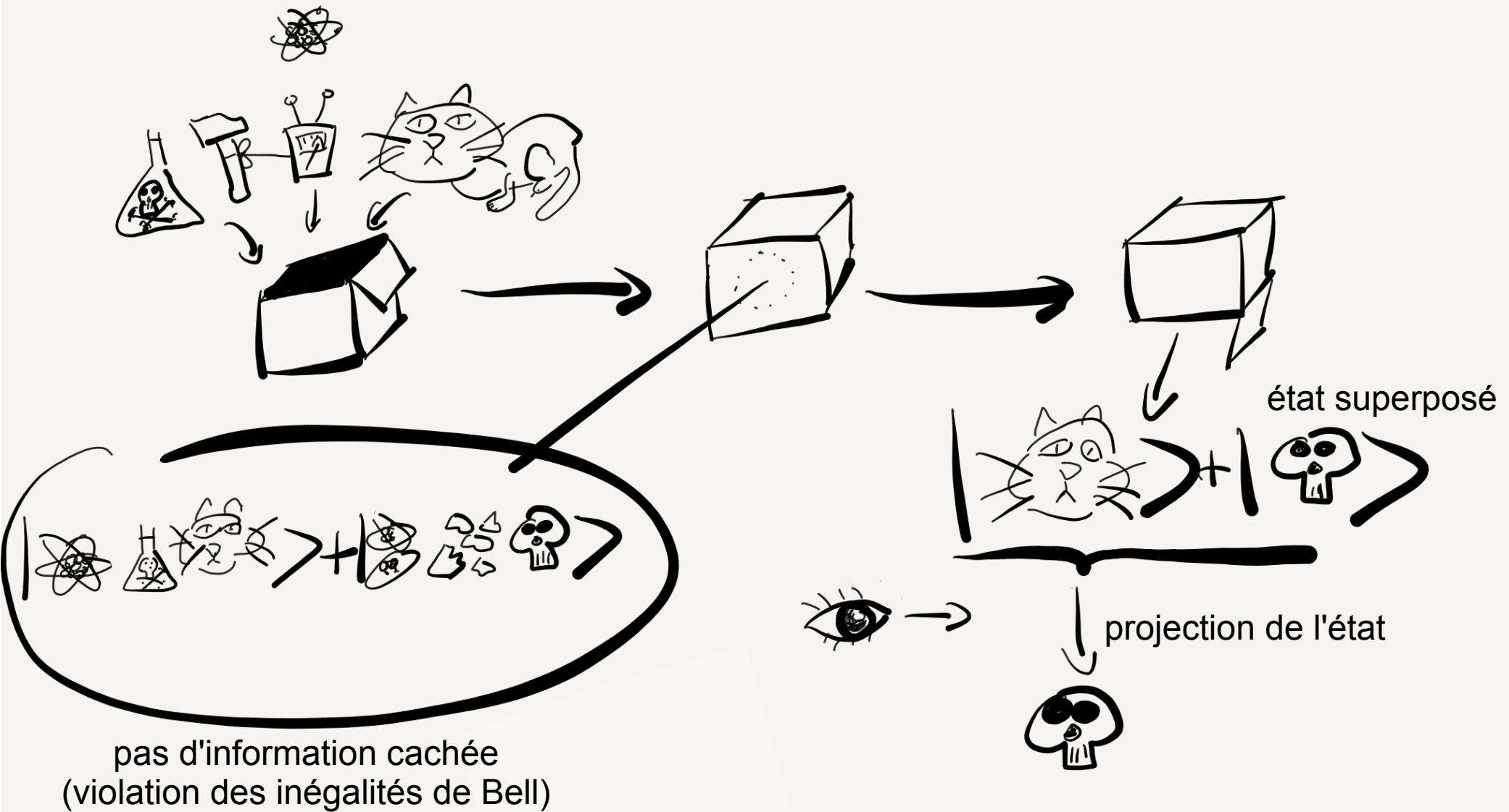


modulations de
flux d'ondes
lumineuses

Il y a bien une quantité
mesurable qui se transmet d'un
support physique à un autre.

...01010001010101001001...

La mécanique quantique : la parabole du chat de Schrödinger



qubit (quantum bit) : unité fondamentale d'information aux échelles atomique et subatomique.

$$|\text{qubit}\rangle = a_0|0\rangle + a_1|1\rangle \quad (\text{superposition de 0 et de 1})$$

$p_0 = |a_0|^2$: probabilité de trouver 0 si l'on mesure le qubit

$p_1 = |a_1|^2$: probabilité de trouver 1 si l'on mesure le qubit

$$\Rightarrow p_0 + p_1 = 1$$

Toute transformation $a_0|0\rangle + a_1|1\rangle \rightarrow a_0'|0\rangle + a_1'|1\rangle$ admissible vérifie donc :

$$|a_0|^2 + |a_1|^2 = |a_0'|^2 + |a_1'|^2 = 1$$

Effacement de l'information : $|0\rangle \rightarrow |0\rangle$ & $|1\rangle \rightarrow |0\rangle$

$$\Rightarrow a_0|0\rangle + a_1|1\rangle \rightarrow (a_0 + a_1)|0\rangle$$

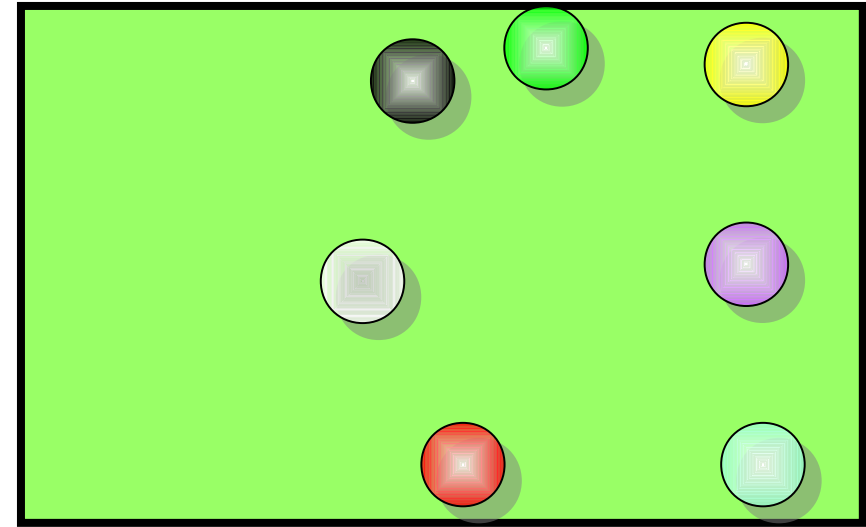
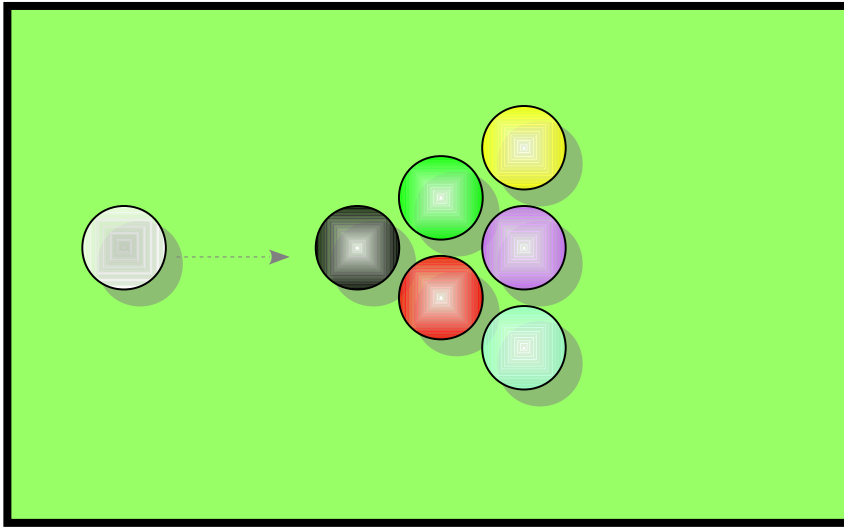
$$\text{or } (a_0 + a_1)^2 = a_0^2 + 2a_0a_1 + a_1^2 = 1 + 2a_0a_1 \neq 1$$

L'effacement de l'information n'est pas un processus physique !

De même la duplication parfaite de l'information n'est pas un processus physique.

\Rightarrow L'information se conserve.

Le second principe de la thermodynamique



Entropie S = mesure du désordre
= mesure du manque
d'information
 $S_{\text{avant coup de billard}} < S_{\text{après coup de billard}}$

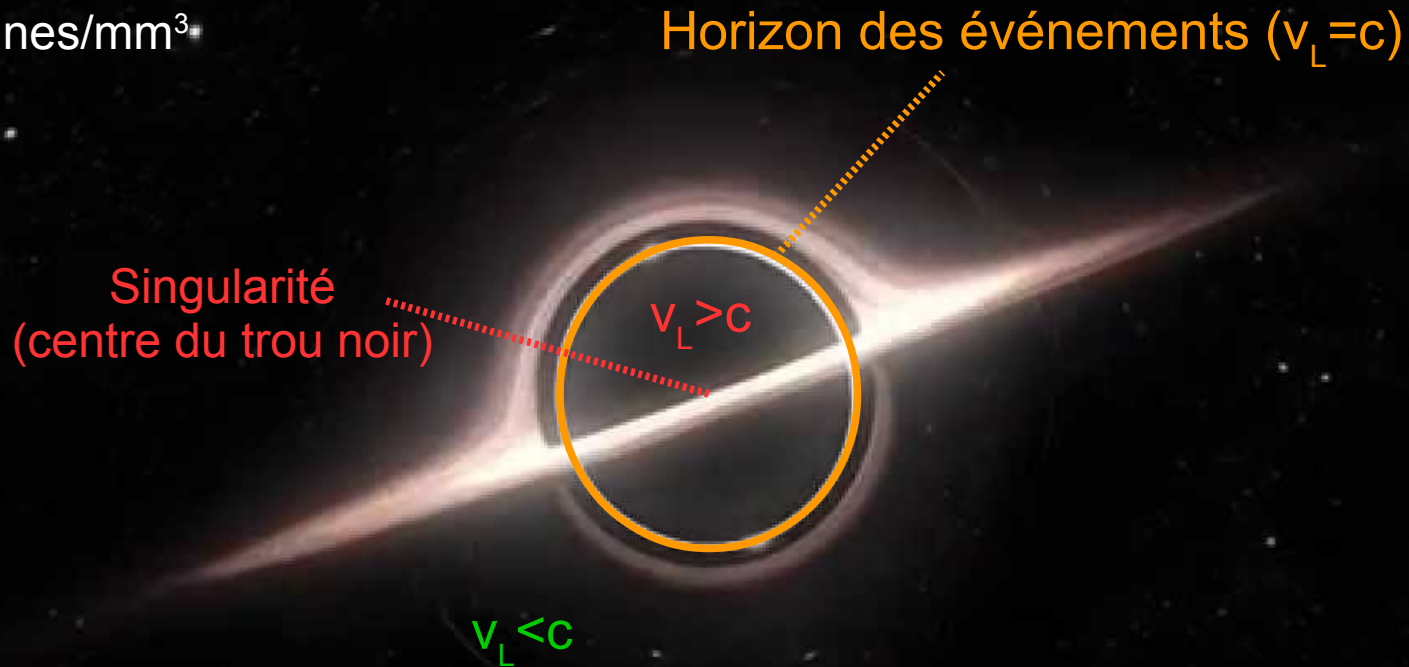
L'entropie d'un système isolé ne peut (probablement) que croître.



Le principe holographique

Les trous noirs

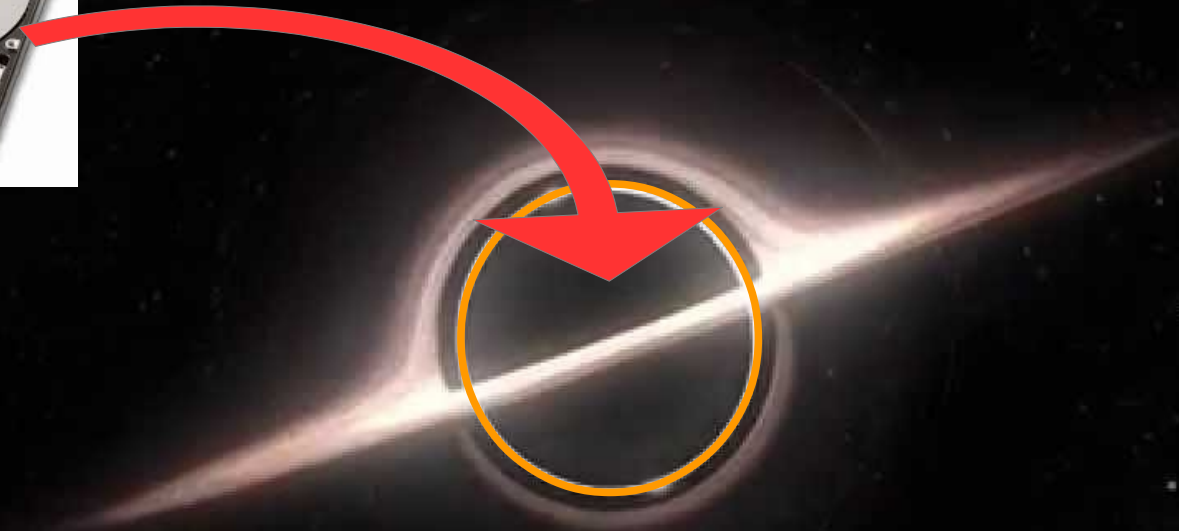
Limite basse de masse :
 $M=3.4M_{\odot}$ $R=10.2\text{km}$
 $1\,500\,000\text{ tonnes/mm}^3$



v_L : vitesse de libération de l'attraction gravitationnelle

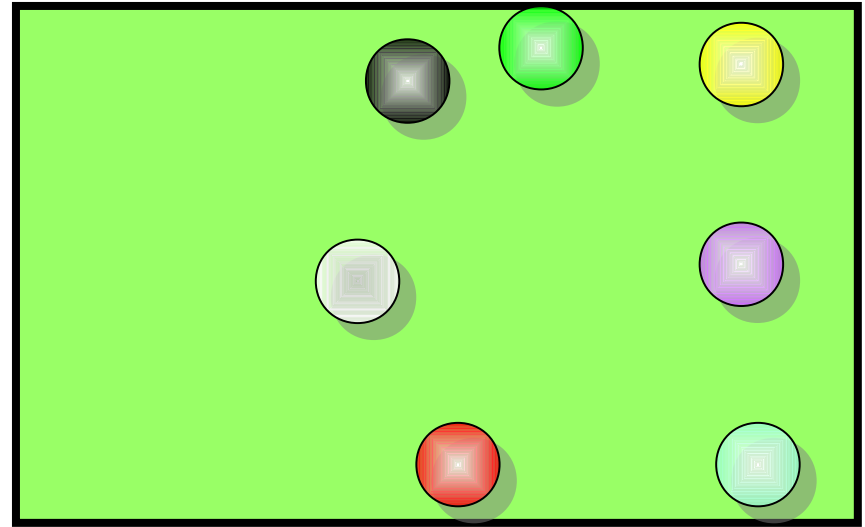
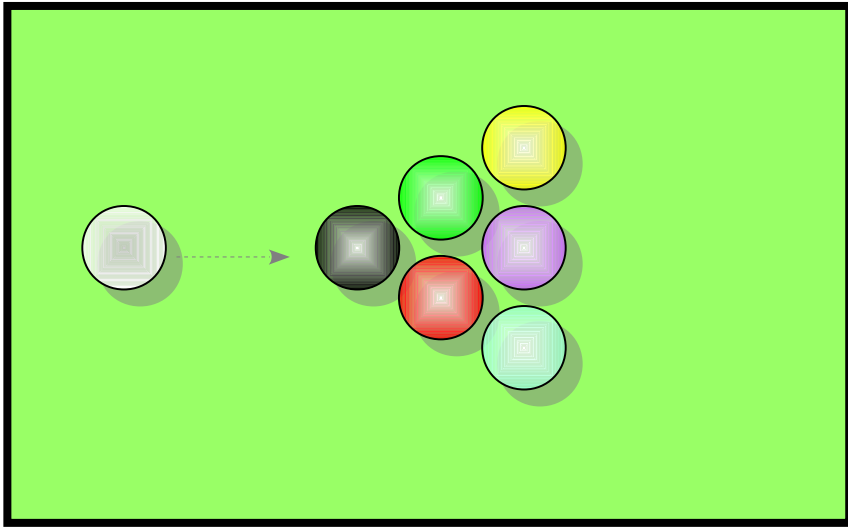
c : vitesse de la lumière (300 000 km/s)

Le paradoxe de l'information



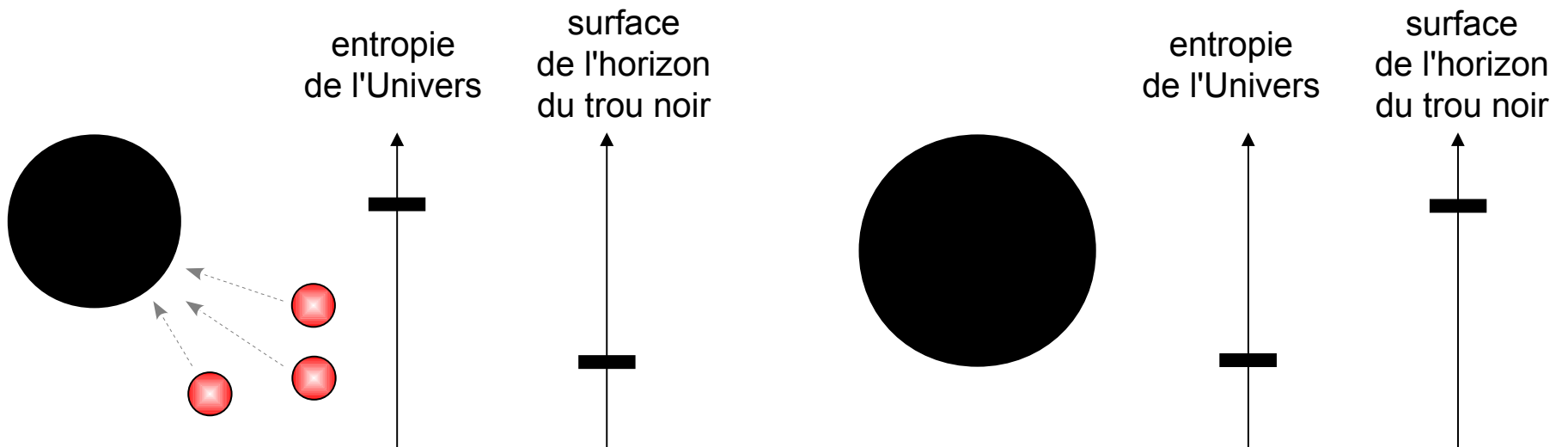
Du point de vue de l'observateur, l'information disparaît totalement.

La restauration du 2nd principe de la thermodynamique



$$S_{\text{avant coup de billard}} < S_{\text{après coup de billard}}$$

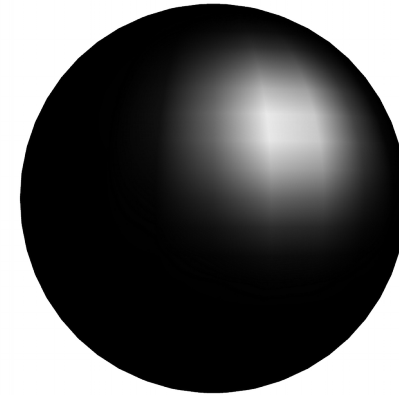
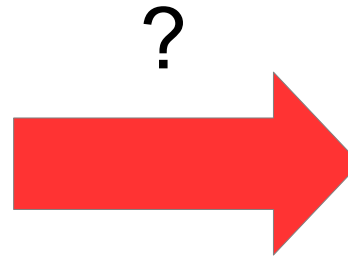
surface de l'horizon d'un trou noir ~ entropie



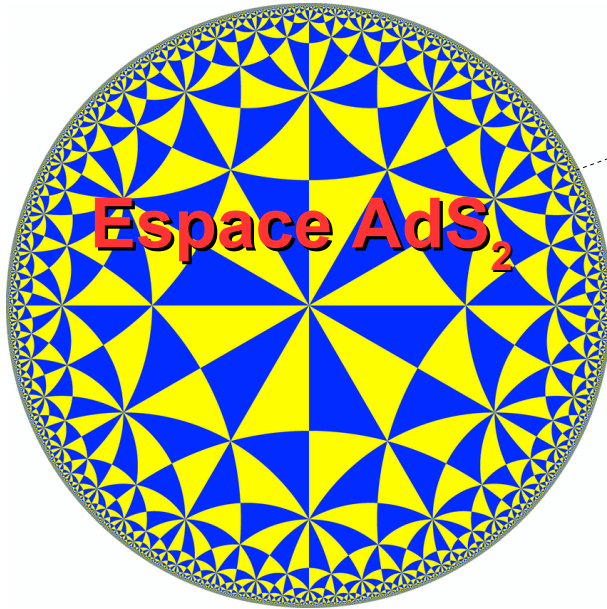
L'information serait donc encodée sur l'horizon des événements.



quantité d'information $\sim R^3$



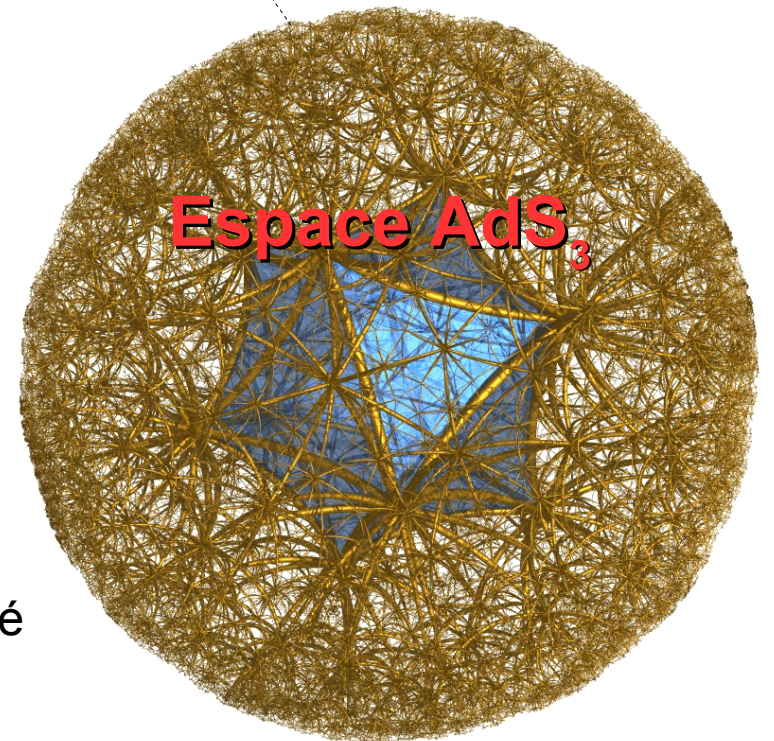
aire de l'horizon = $4\pi R^2$



Théorie de l'information CFT₁

Disque de Poincaré

Théorie de l'information CFT₂



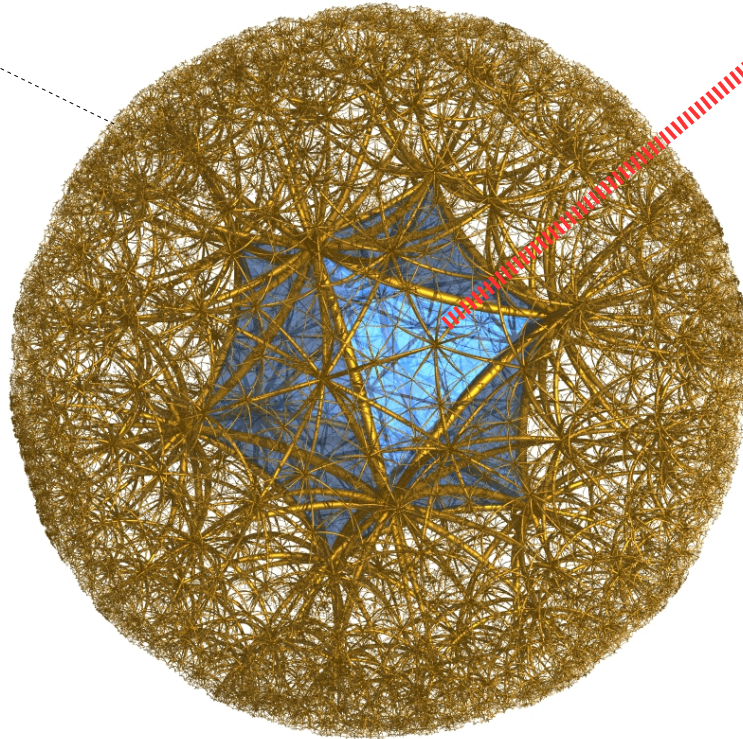
Boule de Poincaré

AdS : Anti de Sitter (cosmologie hyperbolique)

CFT : théorie de champ conforme (exemple : théorie des champs électromagnétiques)

Le principe holographique

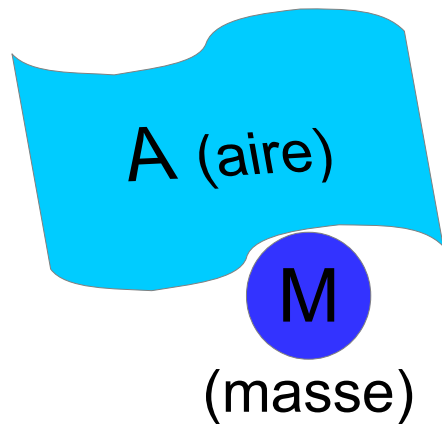
horizon des événements
du trou noir encodant
l'information dans une
théorie CFT_2



hologramme de l'information
3D dans un espace anti de
Sitter (**pas l'intérieur du
trou noir!!!**)

It from qubit

À l'origine (échelle de Planck $\ell_p = 10^{-35}$ m) : ni gravité, ni espace-temps
seulement de l'information (des qubits : bits d'information quantique)



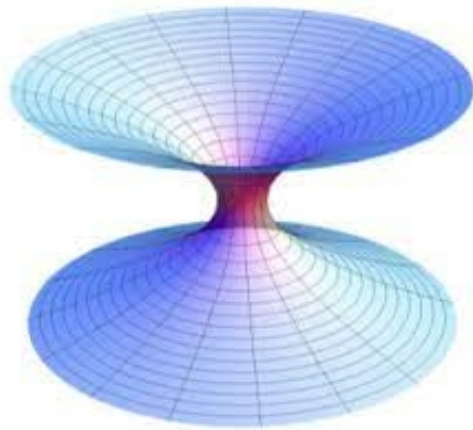
$$A = N \ell_p^2$$

$$Mc^2 = \frac{1}{2} N k_B T$$

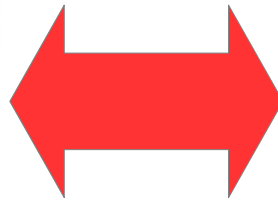


La gravité (l'espace-temps) émerge des effets thermodynamiques collectifs des qubits à grande échelle, comme la pression d'un gaz résulte des collisions des atomes agités par les fluctuations thermiques.

À l'échelle de Planck, ni espace-temps ni force gravitationnelle, mais seulement la structure causale des « calculs » entre qubits.



Trous de ver
(passage entre deux
feuilletts d'Univers)



$$(|00\rangle + |11\rangle) / \sqrt{2}$$

État quantique
intriqué de 2 qubits

Unité d'information : le qubit (quantum bit)

bit classique : états possibles 0 ou 1

qubit : $a|0\rangle + b|1\rangle$ (avec $|a|^2 + |b|^2 = 1$, $|a|^2$ poids de l'état 0 dans la superposition)

violation du principe du tiers exclu en physique quantique

Parabole du chat de Schrödinger

Interprétation de l'École de Copenhague

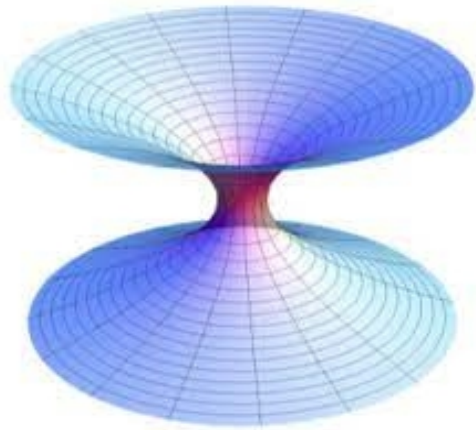
Tant qu'on ne le mesure pas, le qubit est à la fois dans l'état 0 et l'état 1.

Tant que l'on n'ouvre pas la boîte, le chat est à la fois mort et vivant.

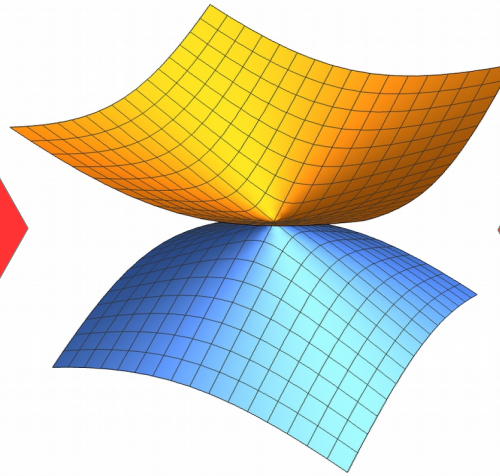
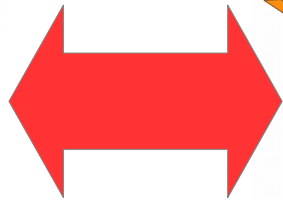
Interprétation des mondes multiples d'Everett

Il existe plusieurs réalités parallèles, certaines dans lesquelles le qubit est dans l'état 0 et d'autres dans lesquelles il est dans l'état 1, qui interfèrent tant qu'elles ne sont pas séparées par la mesure.

Il existe plusieurs réalités parallèles, certaines dans lesquelles le chat est vivant et d'autres dans lesquelles il est mort, qui interfèrent tant qu'elles ne sont pas séparées par l'ouverture de la boîte.

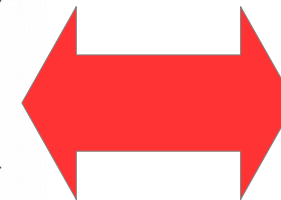


Trous de ver
(passage entre deux
feuilletts d'Univers)



Intersection conique
(connexion entre
deux branches de
réalité de la structure
causale)

*[dans l'interprétation
d'Everett étendue aux
modèles matriciels de la
gravité quantique]*



$$(|00\rangle + |11\rangle) / \sqrt{2}$$

État quantique
intriqué de 2 qubits

- les probabilités quantiques deviennent des statistiques :
 $p(\text{chat vivant}) = (\text{Nombre de réalités où le chat est vivant}) / (\text{Nombre total de réalités})$
- calculs « parallèles » des qubits \Leftrightarrow réalités parallèles
- mesure = décohérence liée à la température des qubits
 - \Leftrightarrow intrication entre réalités parallèles
 - \Leftrightarrow manque d'information de notre réalité concernant les autres.
- phénomène gravitationnel émergent

- Théorie de l'Univers informatique de John Wheeler (*It from bit*, 1990) :
« *Je crois que ma vie en physique se divise en trois périodes (...) J'ai d'abord cru que tout était fait de particules (...). Dans ma seconde période que tout était fait de champs (...) Dans cette troisième, mon impression est que tout est fait d'information* »
- La théorie *It from qubit* (2000) :
La gravitation quantique est équivalent à la théorie de l'information quantique (principe holographique, théorème ER=EPR).
- La théorie de la gravitation émergente (2010) :
L'espace-temps et la gravitation émerge de la dynamique de qubits à l'échelle de Planck.