

Le concept de multivers – sujet 4

Trous de ver everettiens et théorie M

David Viennot – Maître de Conférences

Institut UTINAM (CNRS) / Observatoire de Besançon / UFC



A promotional image for the movie 'Doctor Strange in the Multiverse of Madness'. Doctor Strange, played by Benedict Cumberbatch, is shown from the waist up, wearing his signature blue robe and red cape. He is standing in the center of a large, glowing golden circular portal. The background is a distorted, blue-tinted view of a city, likely New York City, with buildings and streets appearing to be part of a complex, multi-layered structure. The overall scene is dramatic and magical.

Réalités parallèles vs multivers

Mondes multiples \neq Univers parallèles

Un seul espace-temps commun à toutes les branches.

Une copie de tout contenu matériel dans chaque branche.

Une fois les branches séparées par un événement, impossibilité de passer de l'une à l'autre.

Les branches sont des structures émergentes.

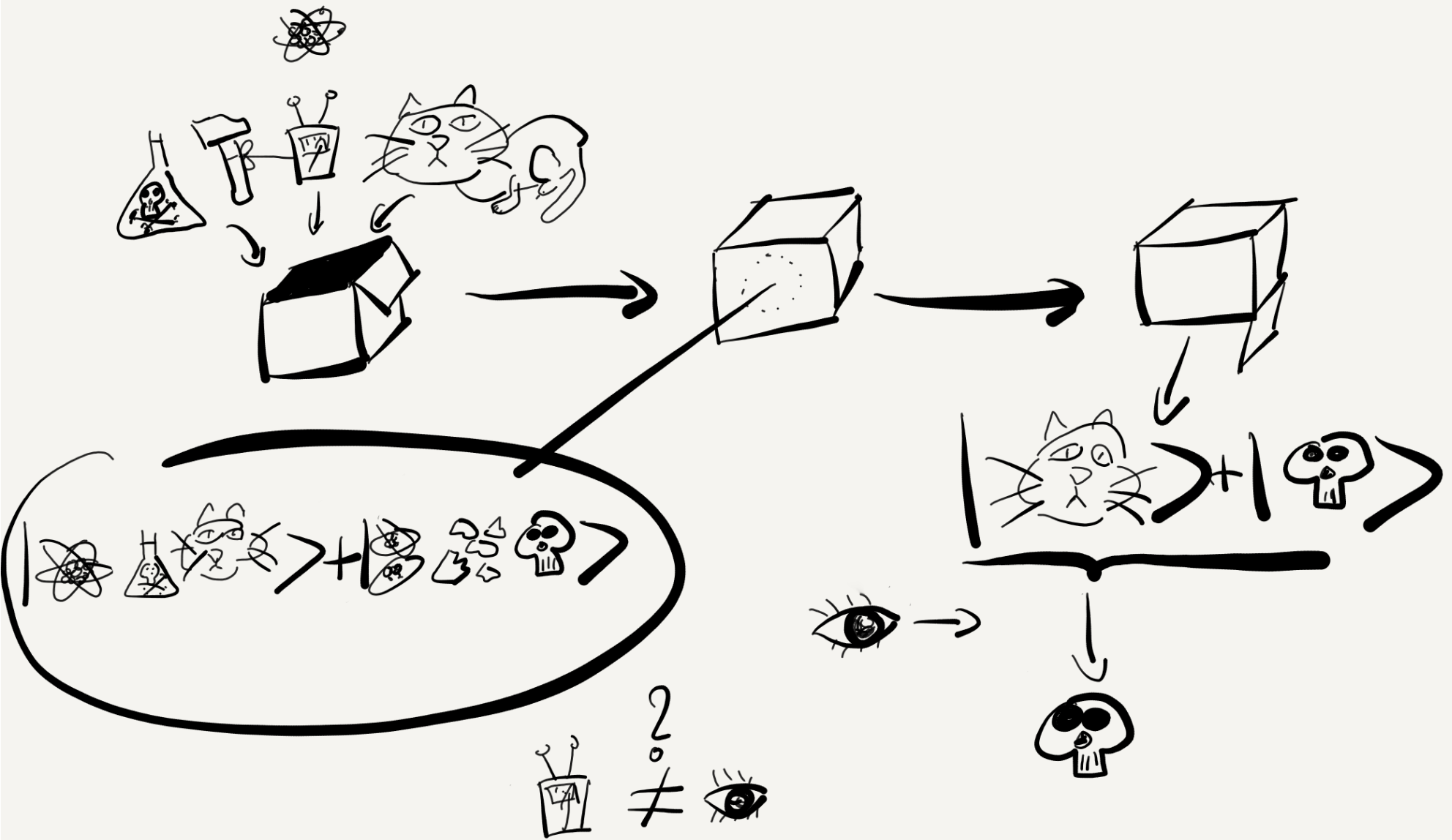
Un espace-temps pour chaque univers parallèle.

Aucune corrélation entre les contenus matériels d'un univers à l'autre.

Divers processus physiques envisageables pour passer d'un univers à l'autre.

La « naissance » d'un univers est un processus exceptionnel.

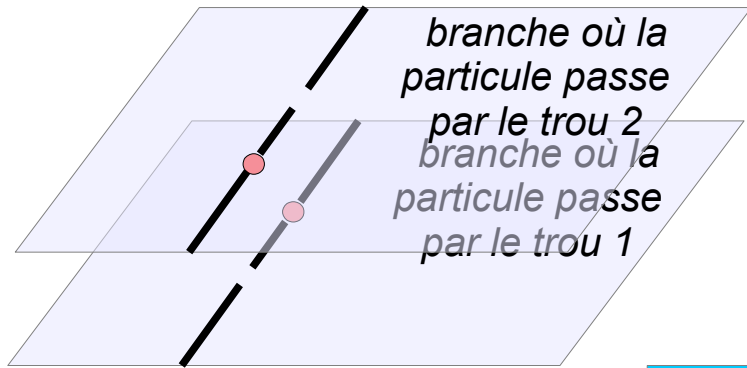
Mécanique quantique : la parabole du chat de Schrödinger



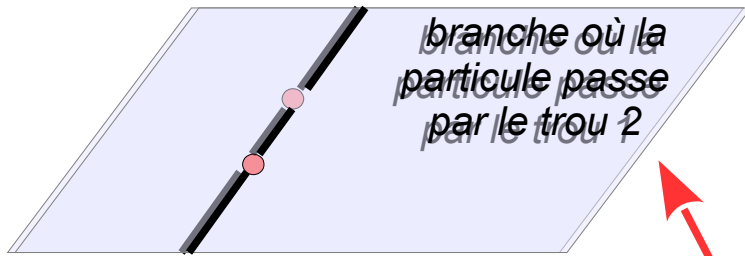
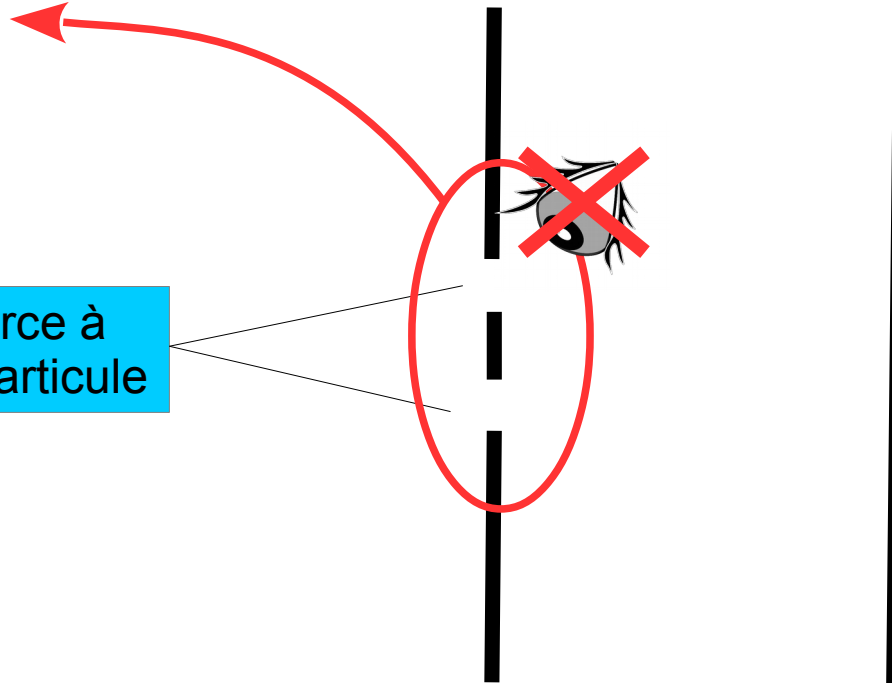
On compte les branches de réalité :
 N_{\heartsuit} branches avec le chat mort
 N_{\blacktriangledown} branches avec le chat vivant

$$P(\heartsuit) = N_{\heartsuit} / (N_{\heartsuit} + N_{\blacktriangledown}) = 1/2$$

L'expérience des trous d'Young

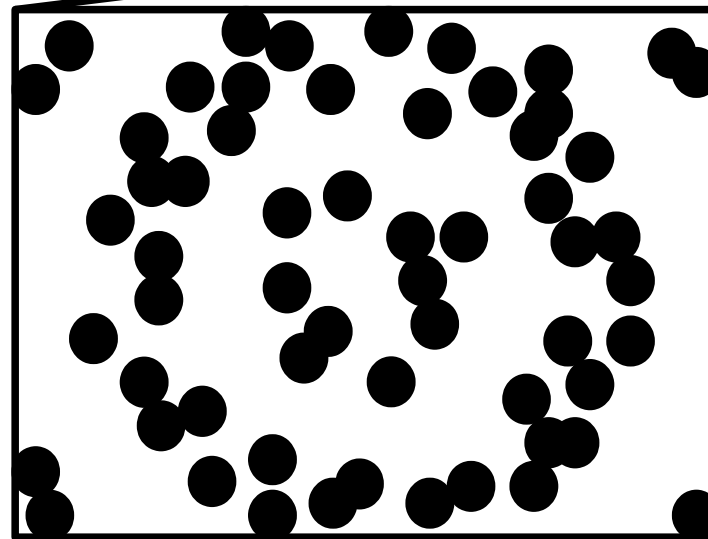


Source à une particule



Tant qu'aucun événement (observation/mesure) ne vient les séparer, les branches indistinguables interfèrent les unes avec les autres.

figure d'interférences

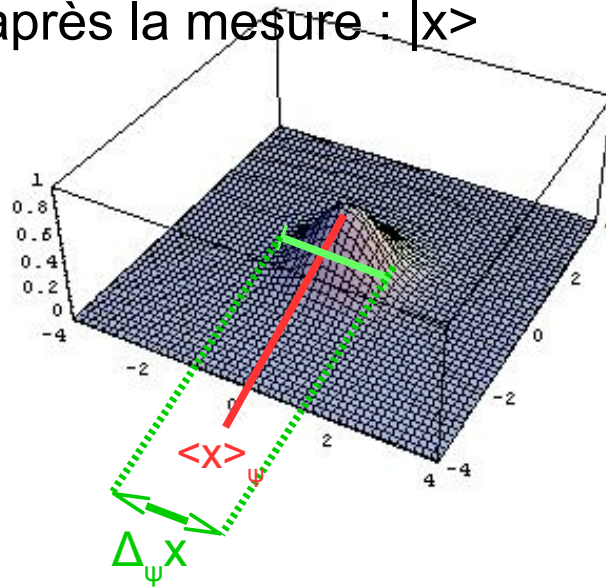


Après de nombreux tirs

État d'une particule en mécanique classique : x [position], v [vitesse]

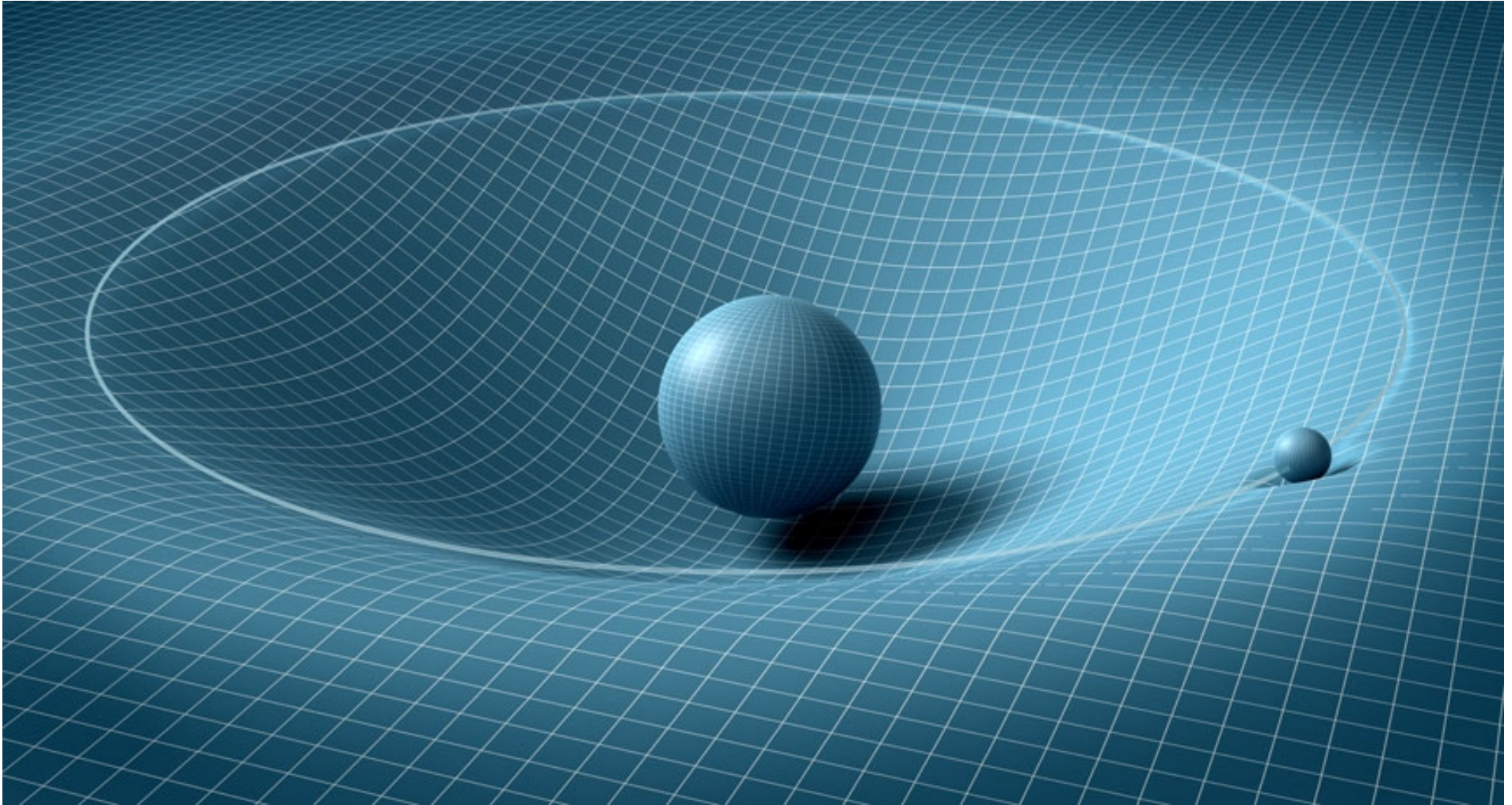
État quantique $|\psi\rangle$:

- mesure de position : probabilité de trouver x : $p_\psi(x)$, valeur moyenne : $\langle x \rangle_\psi$
avec incertitude : $\Delta_\psi x$, état après la mesure : $|x\rangle$



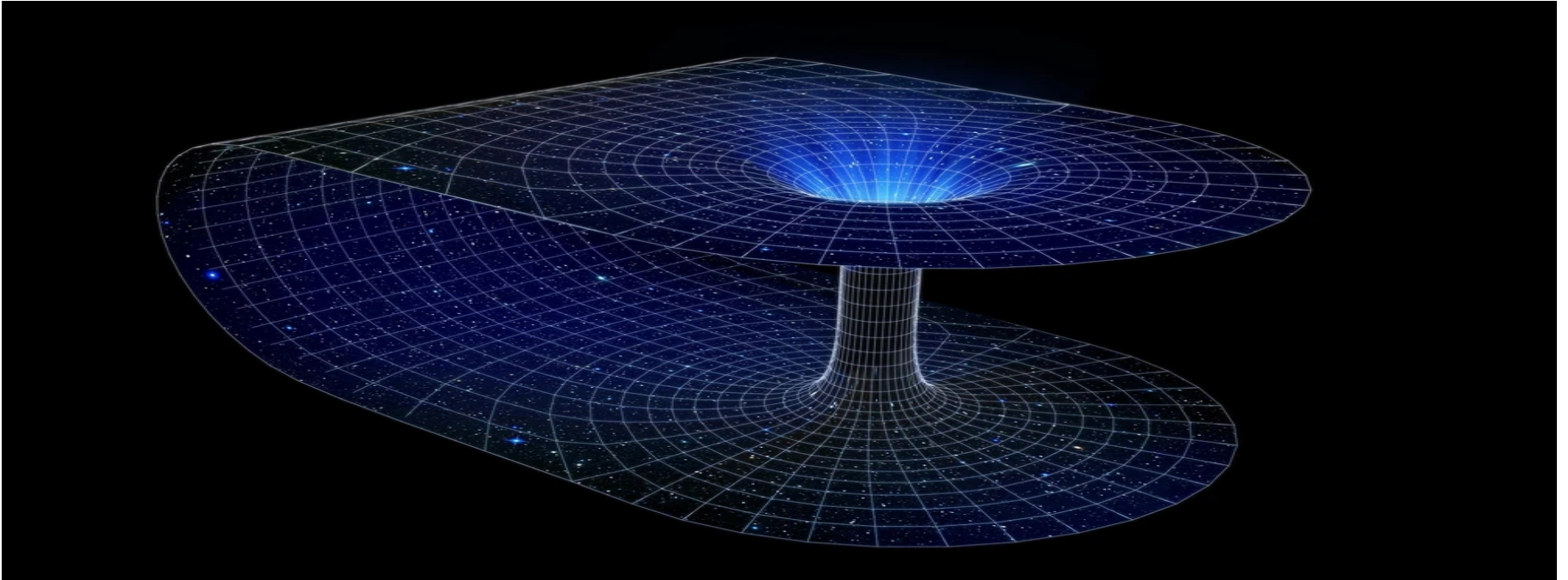
- mesure de vitesse: probabilité de trouver v : $p_\psi(v)$, valeur moyenne : $\langle v \rangle_\psi$
avec incertitude : $\Delta_\psi v$, état après la mesure : $|v\rangle$
- mesure de vitesse après avoir trouvé la position en x : $p_x(v)$, $\langle v \rangle_x$, $\Delta_x v$
- mesure de position après avoir trouvé la vitesse à v : $p_v(x)$, $\langle x \rangle_v$, $\Delta_v x$
- $\rightarrow X \cdot V \neq V \cdot X$ [non-commutativité des observables]
 $\Leftrightarrow \Delta_\psi x \Delta_\psi v \geq \hbar/(2m)$ [Principe d'incertitude de Heisenberg]

La gravité n'est pas une force mais une manifestation de la courbure de l'espace-temps.



Attention, la géométrie observée est relative à l'observateur !

Les trous de ver de Morris-Thorne



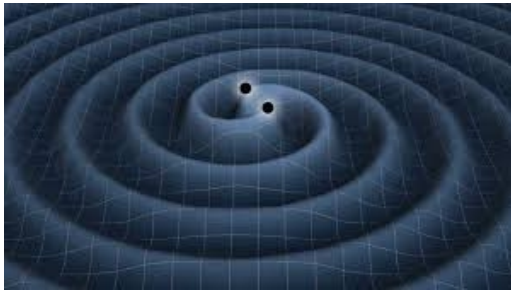
The background of the slide is a complex, multi-colored fractal-like structure. It features a central black circle surrounded by intricate, glowing patterns in shades of purple, blue, green, and yellow. The overall appearance is reminiscent of a complex mathematical or physical structure, possibly related to the theory of M-theory or non-commutative geometry.

**La théorie M et la gravitation
non-commutative**

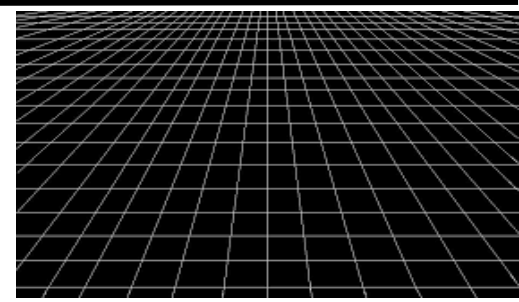
Relativité Générale

Mécanique Quantique

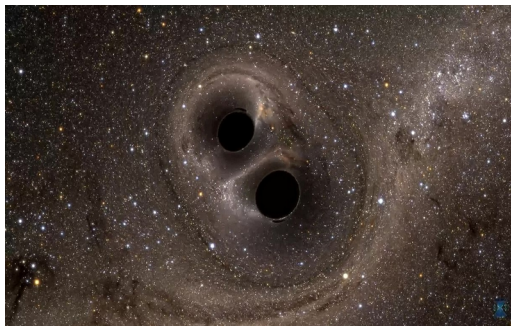
Indépendante d'arrière-fond (espace-temps dynamique)



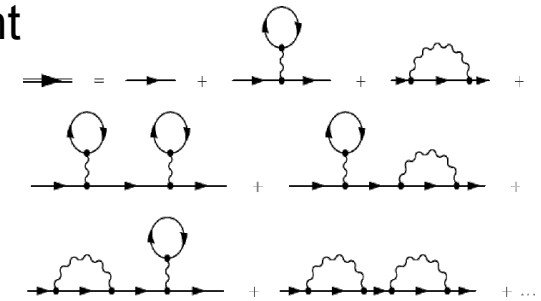
Dépendante d'un espace-temps plat en arrière-fond



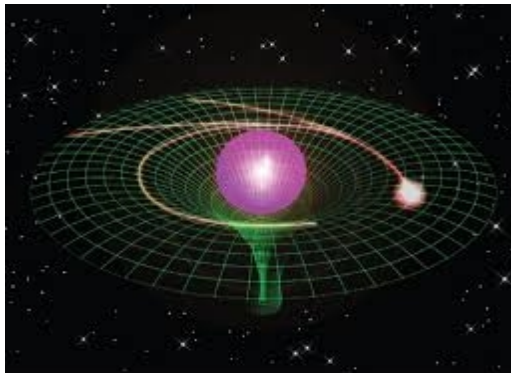
Fortement non-perturbative



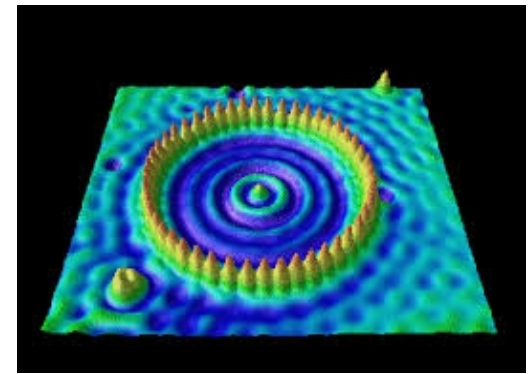
Fondamentalement perturbative renormalisable



Géométrie



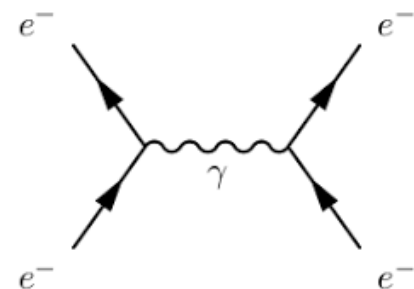
Non-locale (ondulatoire)



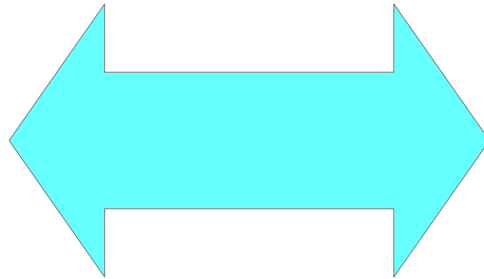
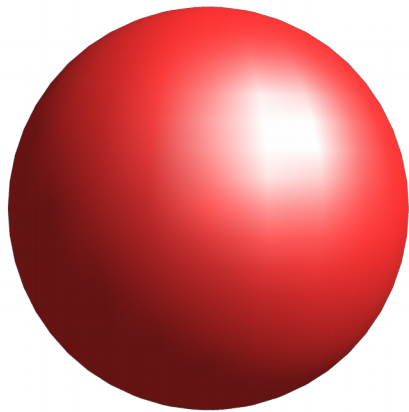
Admet un principe d'équivalence :
Gravité \Leftrightarrow Inertie
 \Leftrightarrow Géométrie



Les interactions sont des théories de jauge : Forces = échanges de particules



sphère classique



Observables :

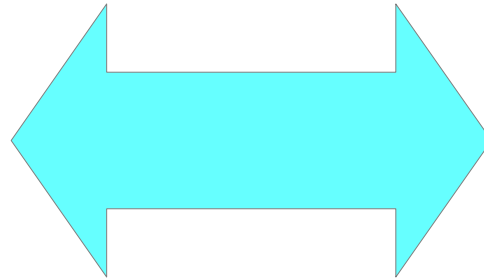
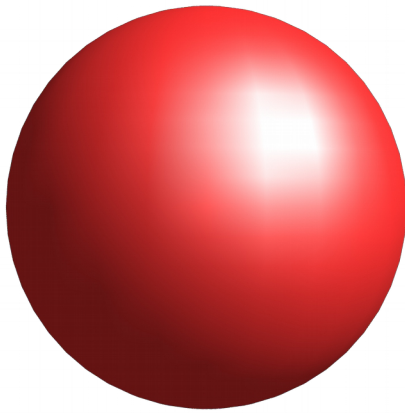
θ : latitude

φ : longitude

$f(\theta, \varphi)$

$$\theta\varphi = \varphi\theta$$

sphère classique



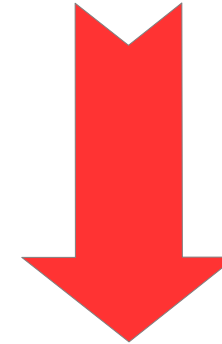
Observables commutatives :

θ : latitude

φ : longitude

$f(\theta, \varphi)$

$$\theta\varphi = \varphi\theta$$



Idée de Connes

Observables non-commutatives:

Θ : latitude

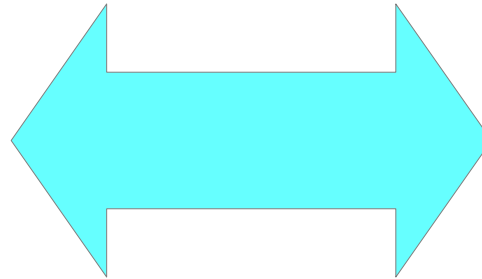
Φ : longitude

$P(\Theta, \Phi)$

$$\Theta \cdot \Phi \neq \Phi \cdot \Theta$$

$$\Leftrightarrow \Delta\Theta\Delta\Phi \geq \frac{1}{2}$$

sphère classique



Observables commutatives :

θ : latitude

φ : longitude

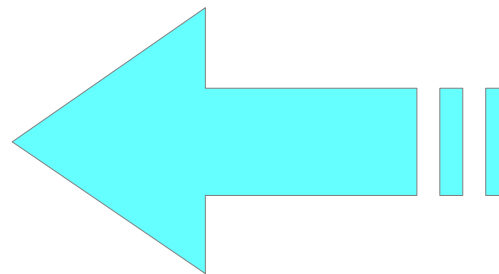
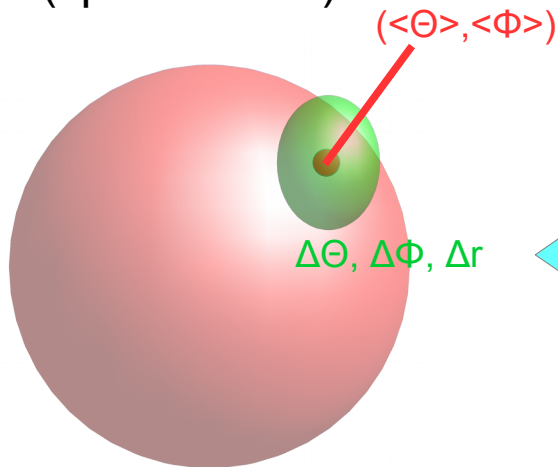
$f(\theta, \varphi)$

$$\theta\varphi = \varphi\theta$$



Idée de Connes

sphère non-commutative
(sphère floue)



Observables non-commutatives:

Θ : latitude

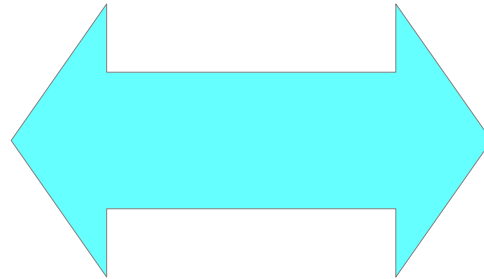
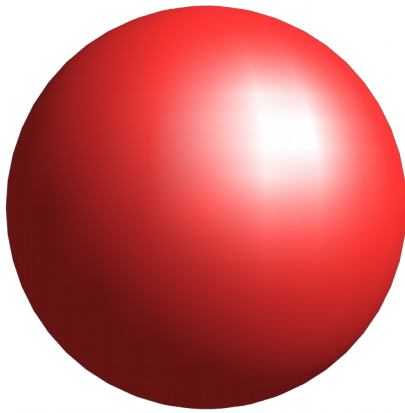
Φ : longitude

$P(\Theta, \Phi)$

$$\Theta \cdot \Phi \neq \Phi \cdot \Theta$$

$$\Leftrightarrow \Delta\Theta\Delta\Phi \geq \frac{1}{2}$$

sphère classique



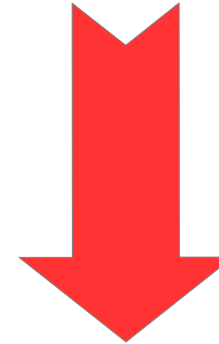
Observables commutatives :

θ : latitude

φ : longitude

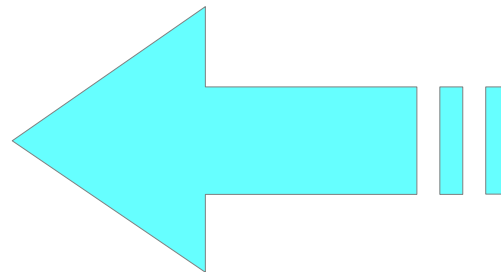
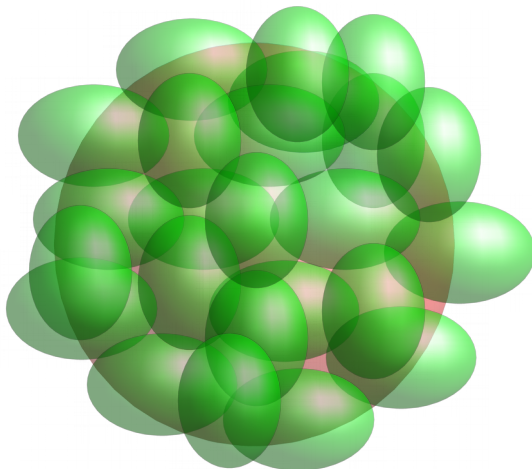
$f(\theta, \varphi)$

$$\theta\varphi = \varphi\theta$$



Idée de Connes

sphère non-commutative
(sphère floue)



Observables non-commutatives:

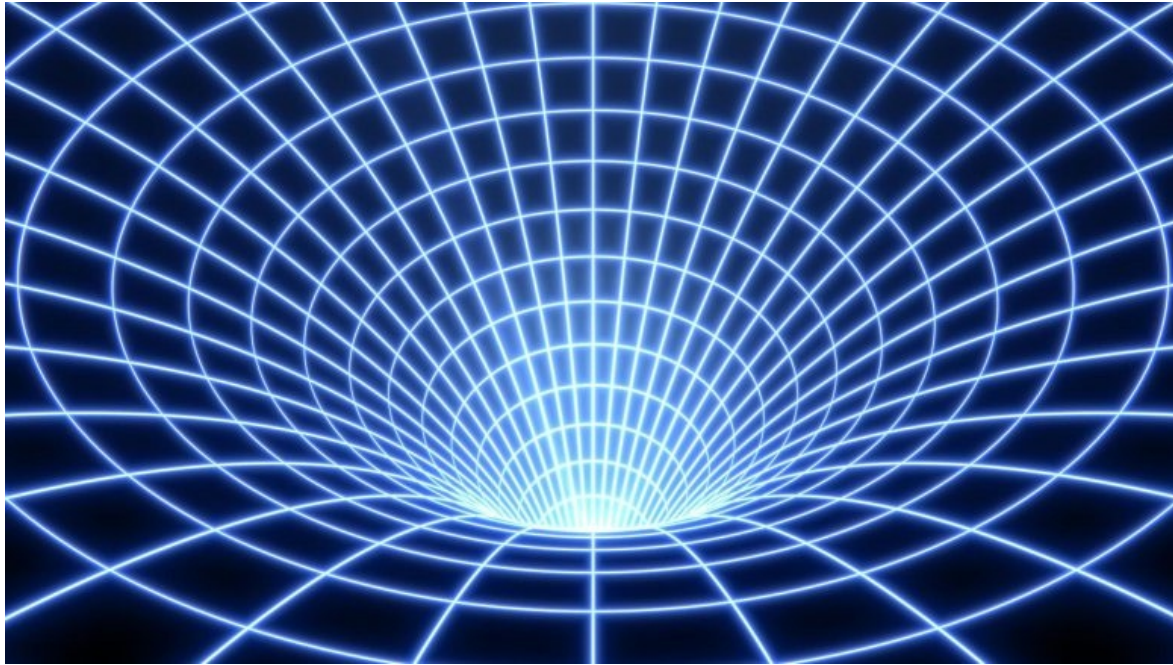
Θ : latitude

Φ : longitude

$P(\Theta, \Phi)$

$$\Theta \cdot \Phi \neq \Phi \cdot \Theta$$

$$\Leftrightarrow \Delta\Theta\Delta\Phi \geq \frac{1}{2}$$



$$\Delta x \Delta y \geq \ell_p^2 / 2$$

$$\Delta y \Delta z \geq \ell_p^2 / 2$$

$$\Delta x \Delta z \geq \ell_p^2 / 2$$

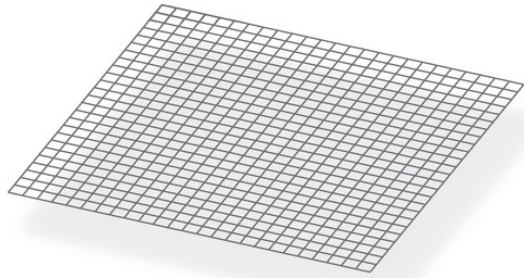
$$c \Delta t \Delta x \geq \ell_p^2 / 2$$

$$c \Delta t \Delta y \geq \ell_p^2 / 2$$

$$c \Delta t \Delta z \geq \ell_p^2 / 2$$

} espace-temps courbe non-commutatif

Les modèles matriciels de la théorie M



$$\begin{aligned} \Delta x \Delta y &\geq \ell_p^2/2 \\ \Delta y \Delta z &\geq \ell_p^2/2 \\ \Delta x \Delta z &\geq \ell_p^2/2 \\ c\Delta t \Delta x &\geq \ell_p^2/2 \\ c\Delta t \Delta y &\geq \ell_p^2/2 \\ c\Delta t \Delta z &\geq \ell_p^2/2 \end{aligned}$$

espace-temps plat non-commutatif

$$X \cdot Y \neq Y \cdot X$$

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} \\ x_{12} & x_{22} \end{pmatrix}$$

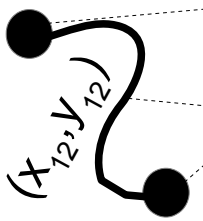
$$Y = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{12} & y_{22} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} \\ x_{12} & x_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{12} & y_{22} \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} x_{11}y_{11} + x_{12}y_{21} & x_{11}y_{12} + x_{12}y_{22} \\ x_{21}y_{11} + x_{22}y_{21} & x_{21}y_{12} + x_{22}y_{22} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x_{11}y_{11} + x_{12}y_{21} & x_{11}y_{12} + x_{12}y_{22} \\ x_{21}y_{11} + x_{22}y_{21} & x_{21}y_{12} + x_{22}y_{22} \end{pmatrix}$$

(x_{11}, y_{11})



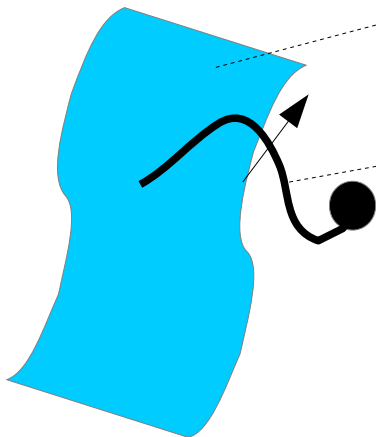
(x_{22}, y_{22})

D0-branes

corde bosonique

Dp-brane non-commutative
(pile de D0-branes)

supercorde fermionique



~ espace-temps courbe

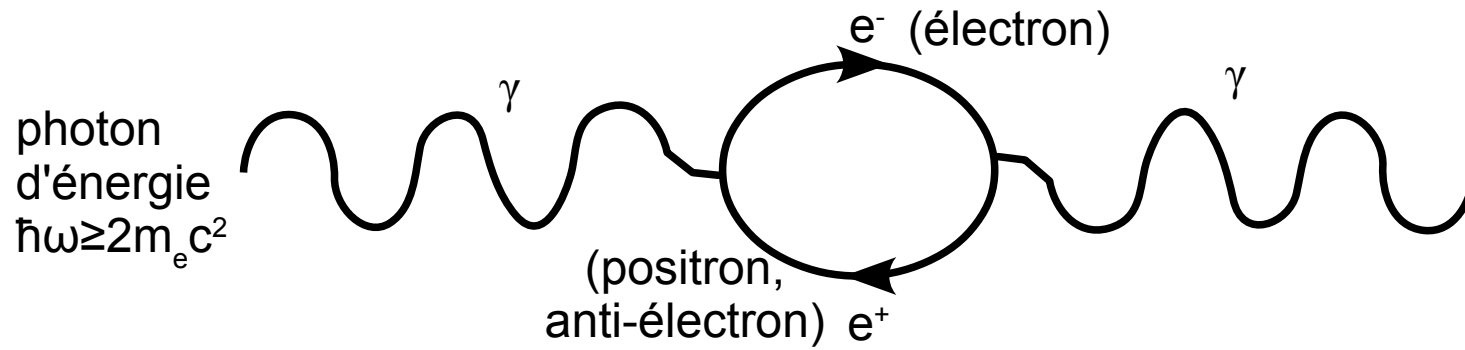
La gravité émerge par effet collectif de la non-commutativité lorsque le nombre de D0-branes devient très grand.



Trous de ver quantiques

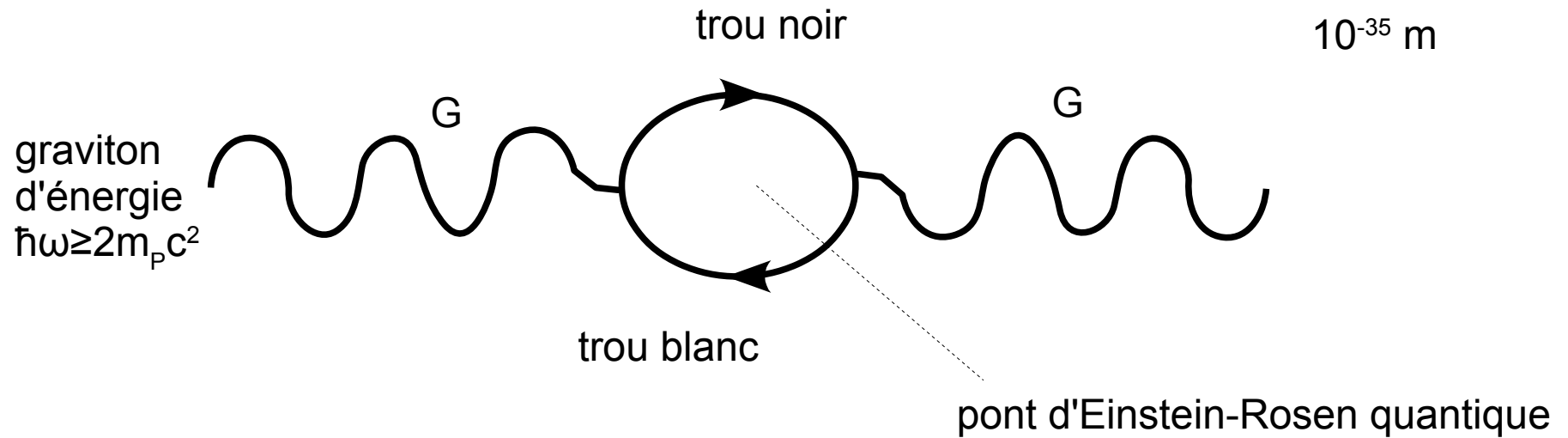
Échelle subatomique

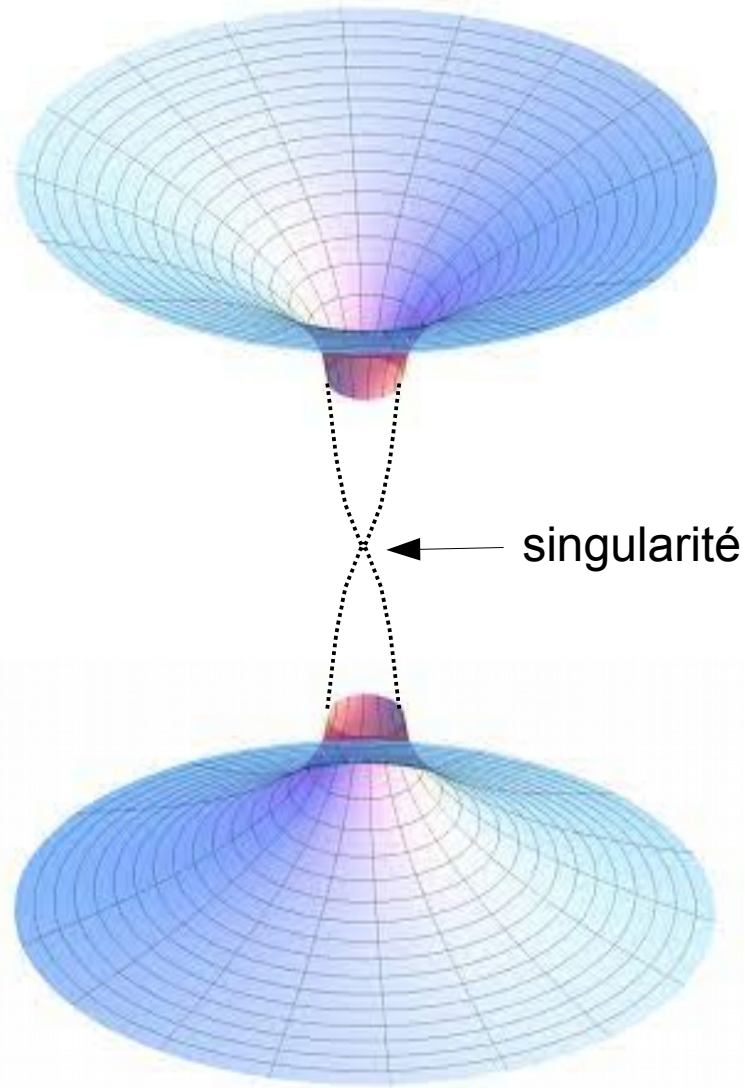
10^{-18} m à 10^{-10} m



Échelle de Planck

10^{-35} m





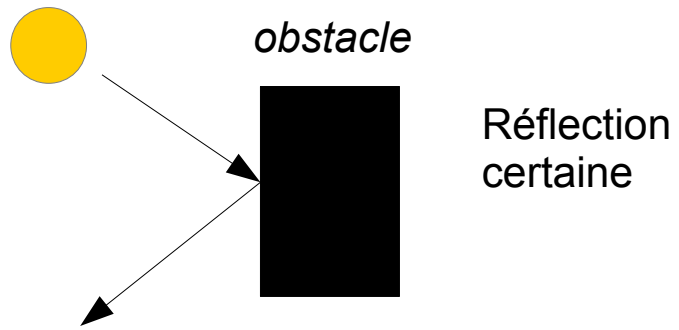
Paraboloïde de Flamm
(feuillelet d'espace courbe d'un trou noir)

Les ponts d'Einstein-Rosen ne sont pas traversables

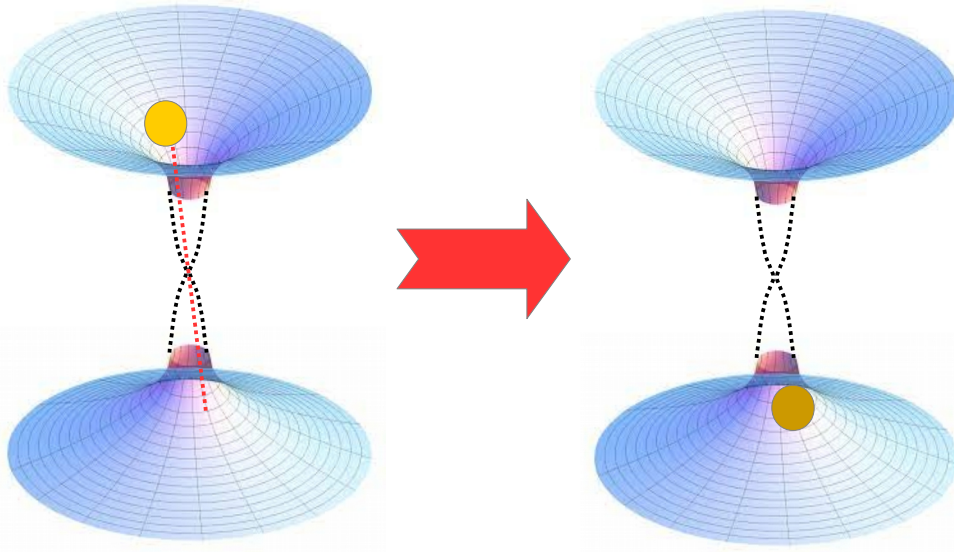
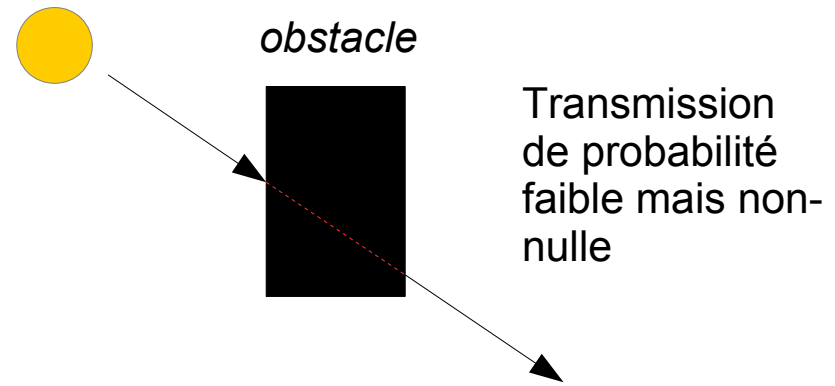
(feuillelet d'espace courbe d'un trou blanc)

L'effet tunnel

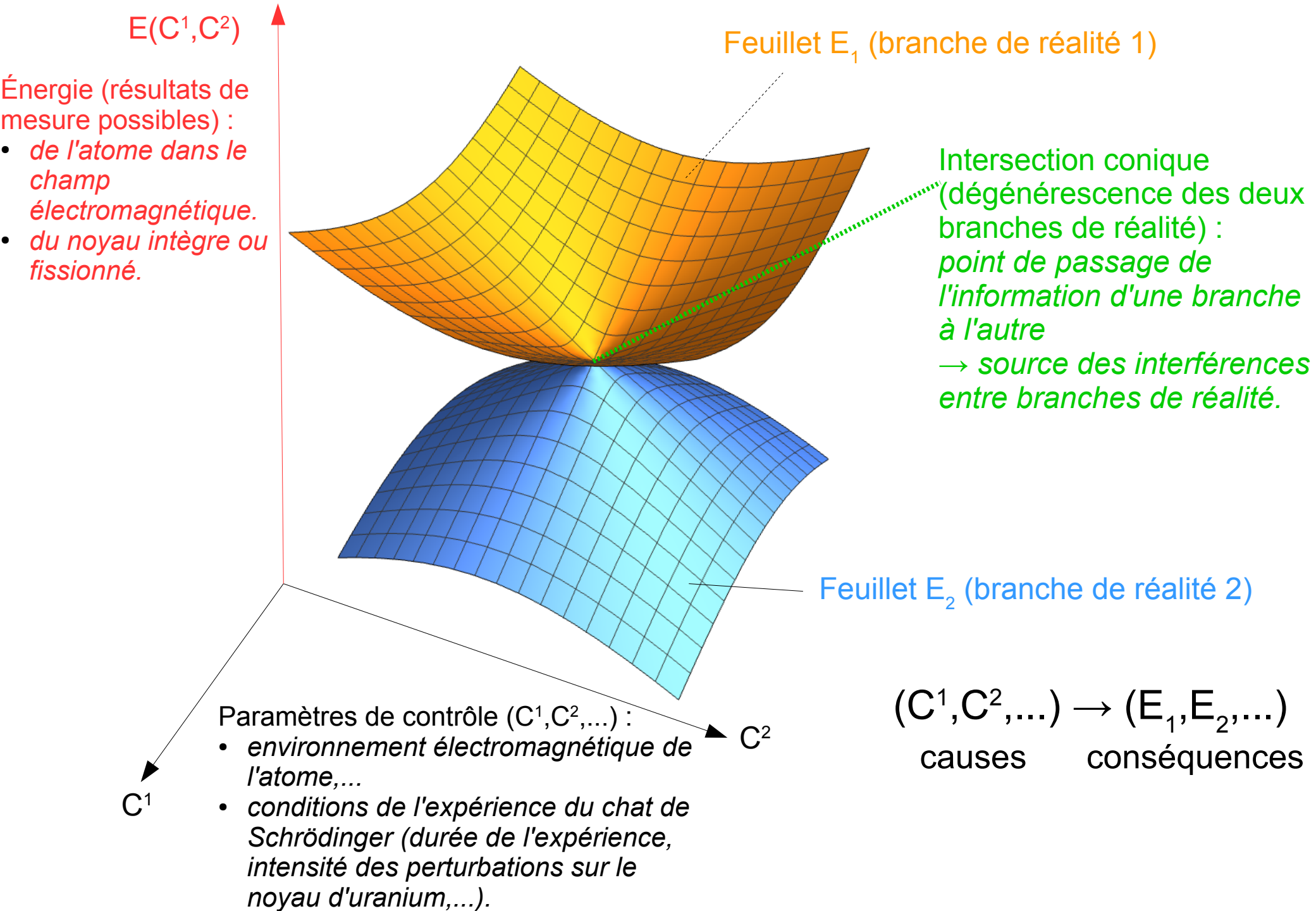
À l'échelle macroscopique :



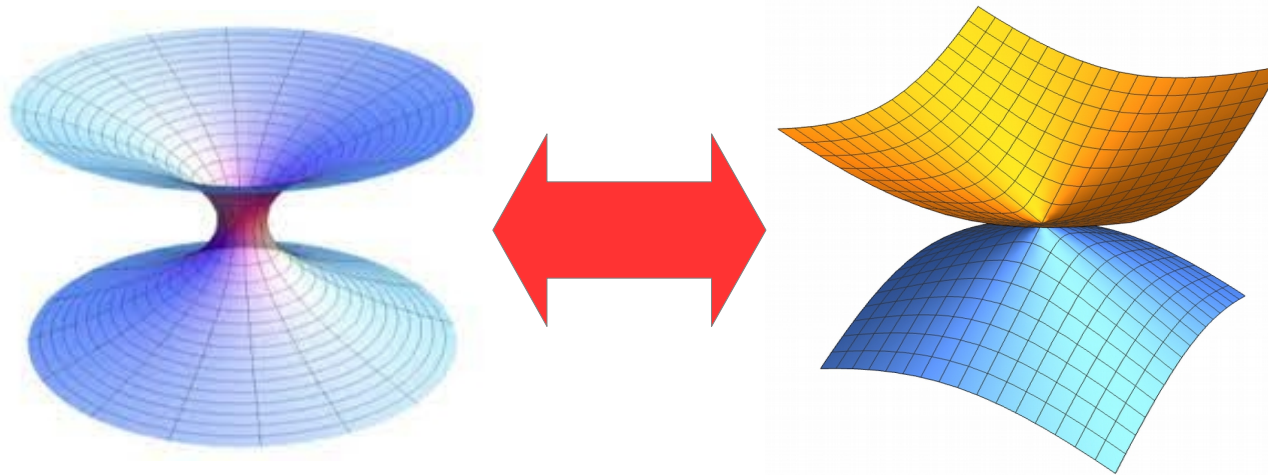
Aux échelles atomiques et subatomiques :



Réinterprétation de la théorie d'Everett



Application à un trou de ver de Morris-Thorn quantique



Feuillets d'Univers ↔ Branches de réalité

Borge du trou de ver ↔ Intersection conique



Passer d'un univers à l'autre par un trou de ver pour y trouver une réalité parallèle ?

OK à l'échelle de Planck 10^{-35}m (si la théorie des trous de ver non-commutatif est valide)