

Le concept de multivers – sujet 2

Trous noirs, trous de ver et Big-Bang

David Viennot – Maître de Conférences

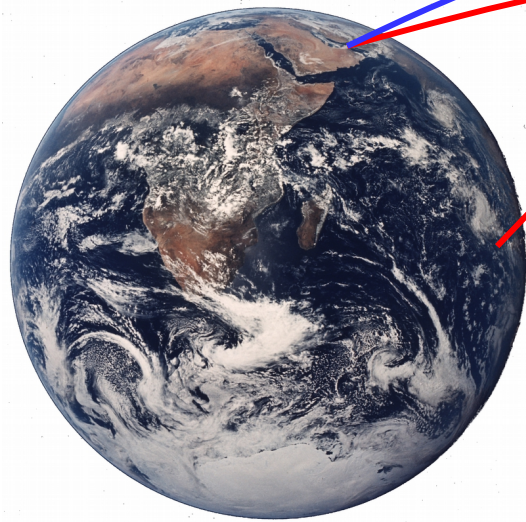
Institut UTINAM (CNRS) / Observatoire de Besançon / UFC





Origine des trous noirs

La vitesse de libération



$v < v_L$

$v > v_L$

m : masse du projectile

M : masse de la Terre

R : rayon de la Terre

Energie cinétique : $\frac{1}{2} mv^2$

Energie potentielle de pesanteur au sol : $- GmM/R$

Pour se libérer de l'attraction terrestre : $\frac{1}{2} mv^2 \geq GmM/R$

$$v_L = \sqrt{2GM/R}$$

$$= 11,2 \text{ km/s} = 40\,300 \text{ km/h}$$

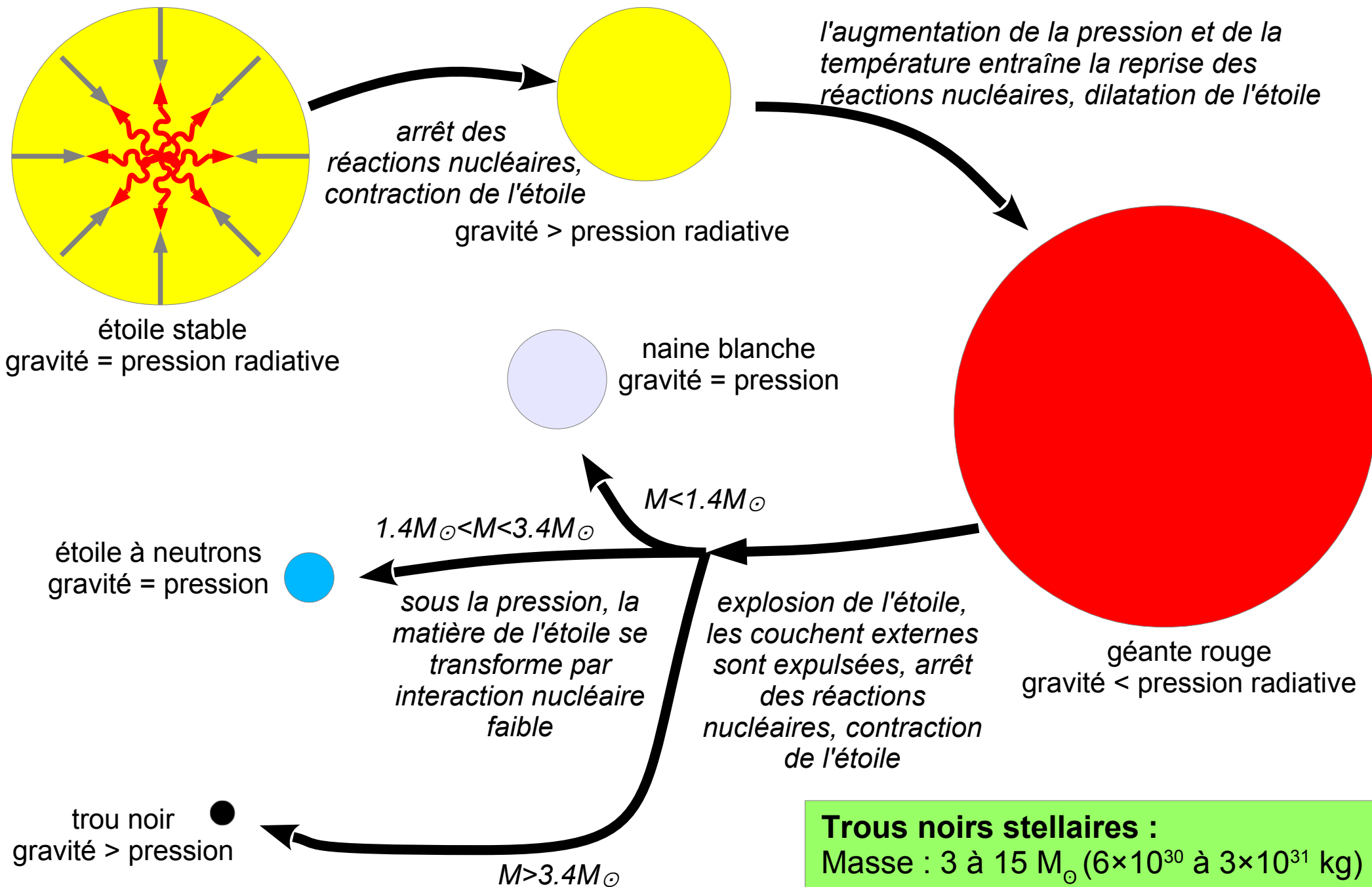
Pour un trou noir (par définition) on a :

$$M/R > c^2/(2G) \Rightarrow v_L > c = 300\,000 \text{ km/s}$$

La vitesse de la lumière étant indépassable, rien ne peut se libérer de l'attraction d'un trou noir en dessous de $R_s = 3 M/M_\odot$.

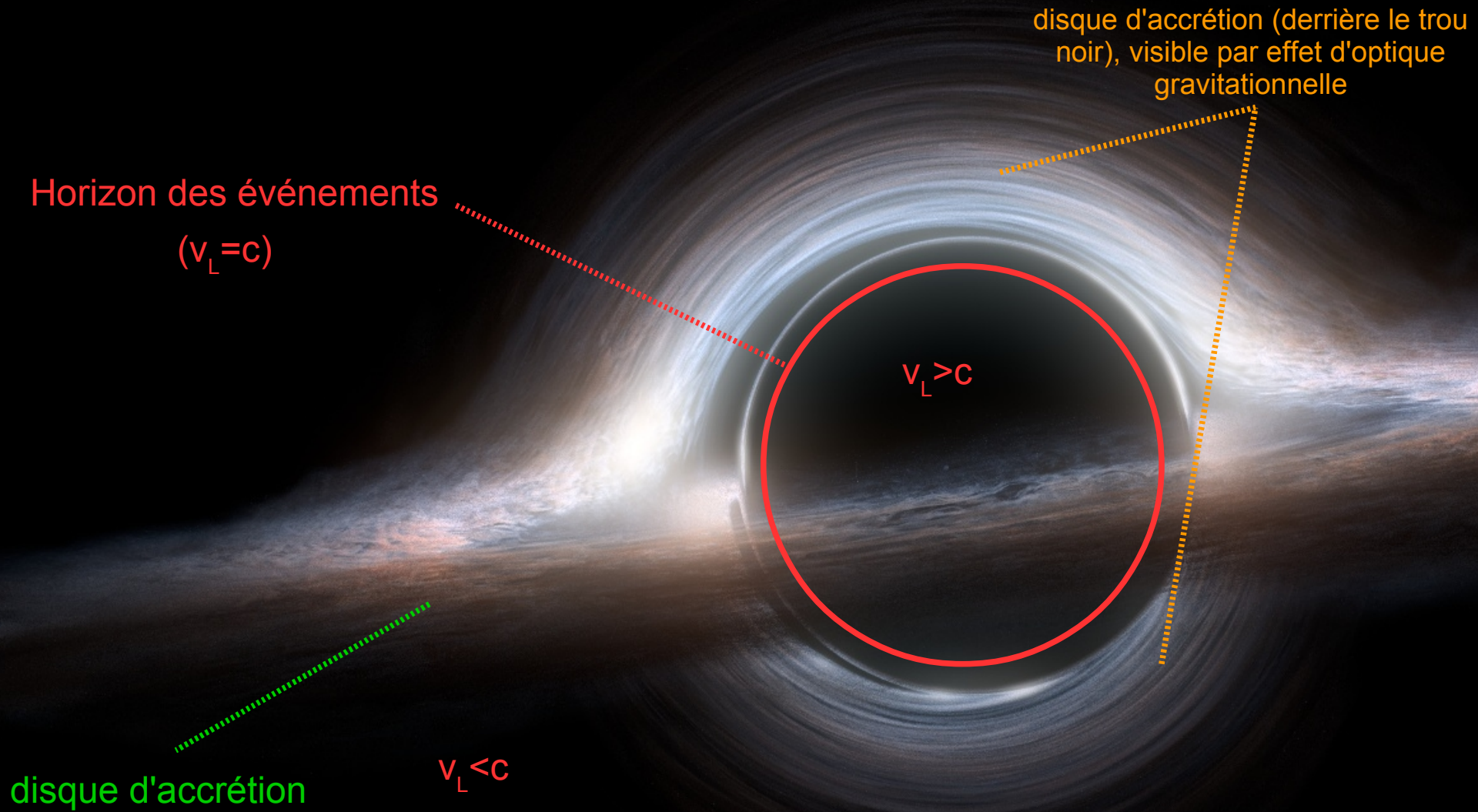


Les trous noirs stellaires : effondrements gravitationnels des étoiles

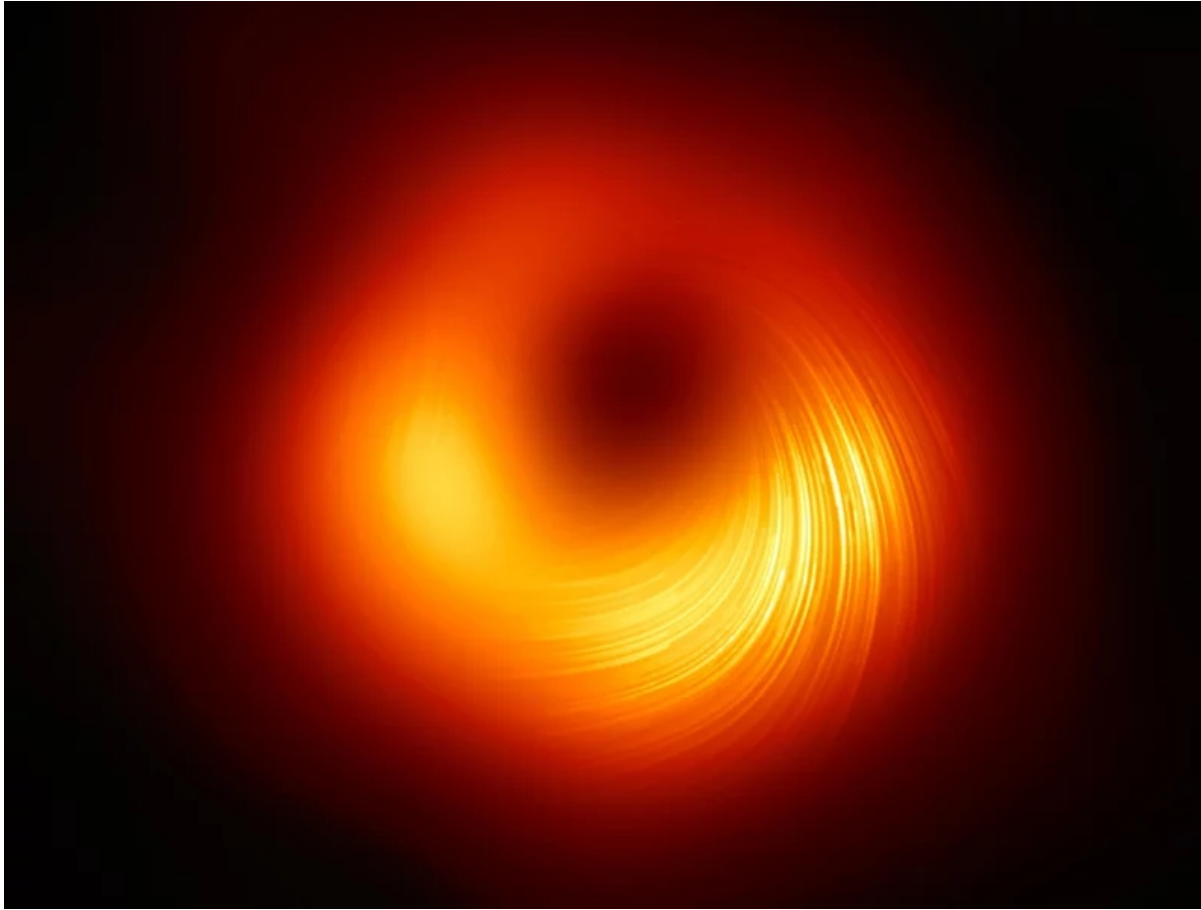


Trous noirs stellaires :
Masse : 3 à 15 M_{\odot} (6×10^{30} à 3×10^{31} kg)
Rayon : 9 km à 45 km
Densité : 2×10^9 t/cm³ à 8×10^7 t/cm³

Allure d'un trou noir



Simulation d'un trou noir (avec son disque d'accrétion) [O. James *et al*, Class. Quant. Grav. **32**, 065001 (2015)].



*Trou noir supermassif au centre de la galaxie M87
(en lumière polarisée, Event Horizon Telescope, 2019)*

Trous noirs supermassifs:

Masse : 10^6 à $10^{11} M_{\odot}$ (2×10^{36} à 2×10^{41} kg)

Rayon : 3×10^9 m à 3×10^{14} m (2×10^{-2} ua à 2×10^3 ua)

Densité : 18 kg/cm^3 à $1.8 \text{ } \mu\text{g/cm}^3$

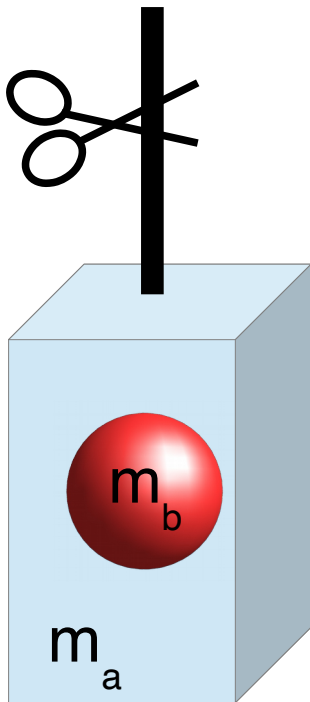
The background of the slide is a black field filled with a grid of thin, light blue lines. These lines are not straight; they are curved and converge towards a central point, creating a visual effect of a gravitational well or a black hole. The lines are more densely packed and curved near the center, and become more widely spaced and straighter towards the edges of the frame. In the center of this grid, there is a dark, circular region that represents the event horizon of a black hole.

Trous noirs relativistes

Le principe d'inertie de Galilée

En l'absence de forces extérieures, un corps suit le chemin minimisant son action (son effort), à savoir reste au repos ou est en mouvement rectiligne uniforme.

L'expérience de l'ascenseur



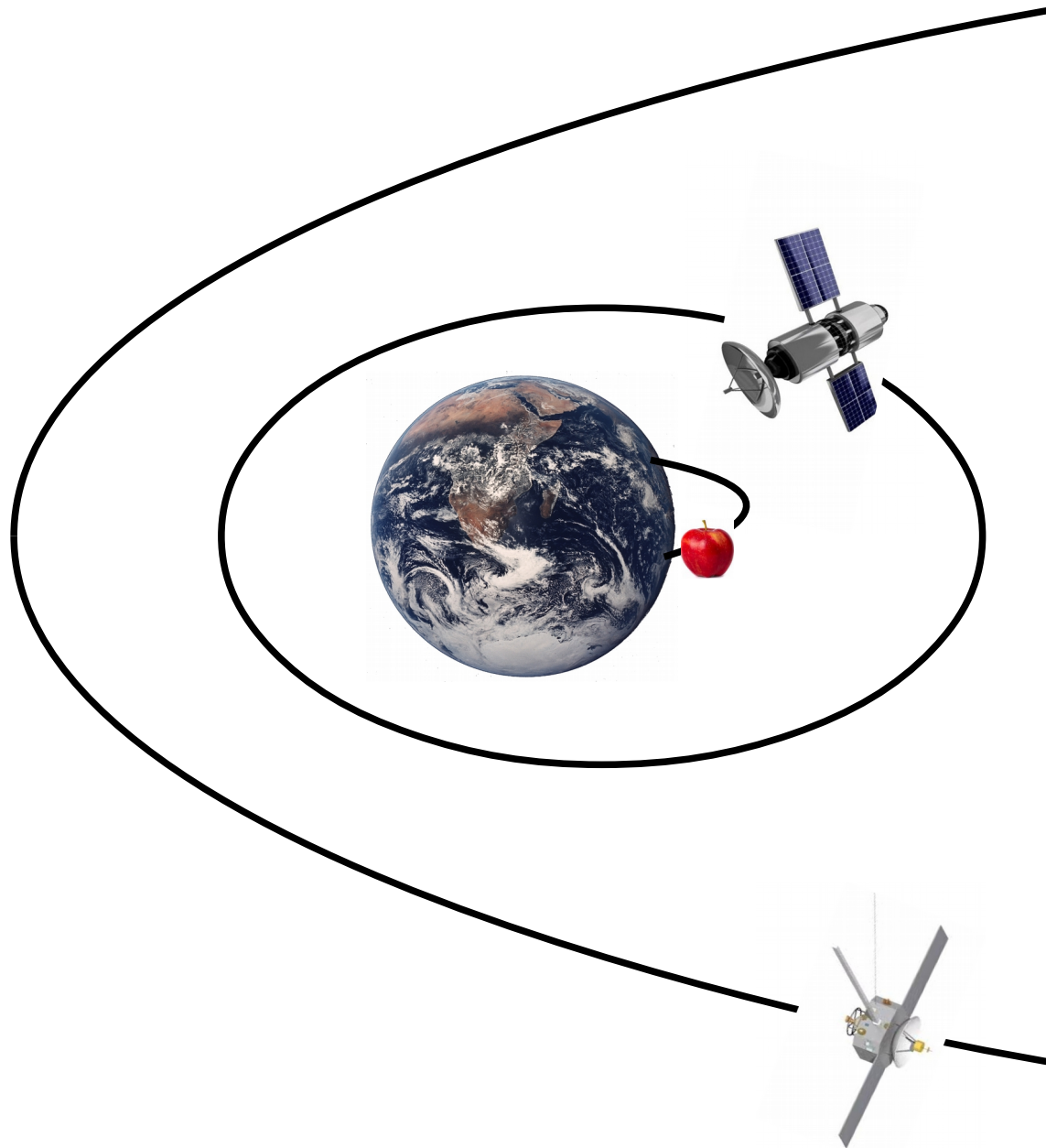
$$m_b a_b = -m_b g$$

$$m_a a_a = -m_a g$$

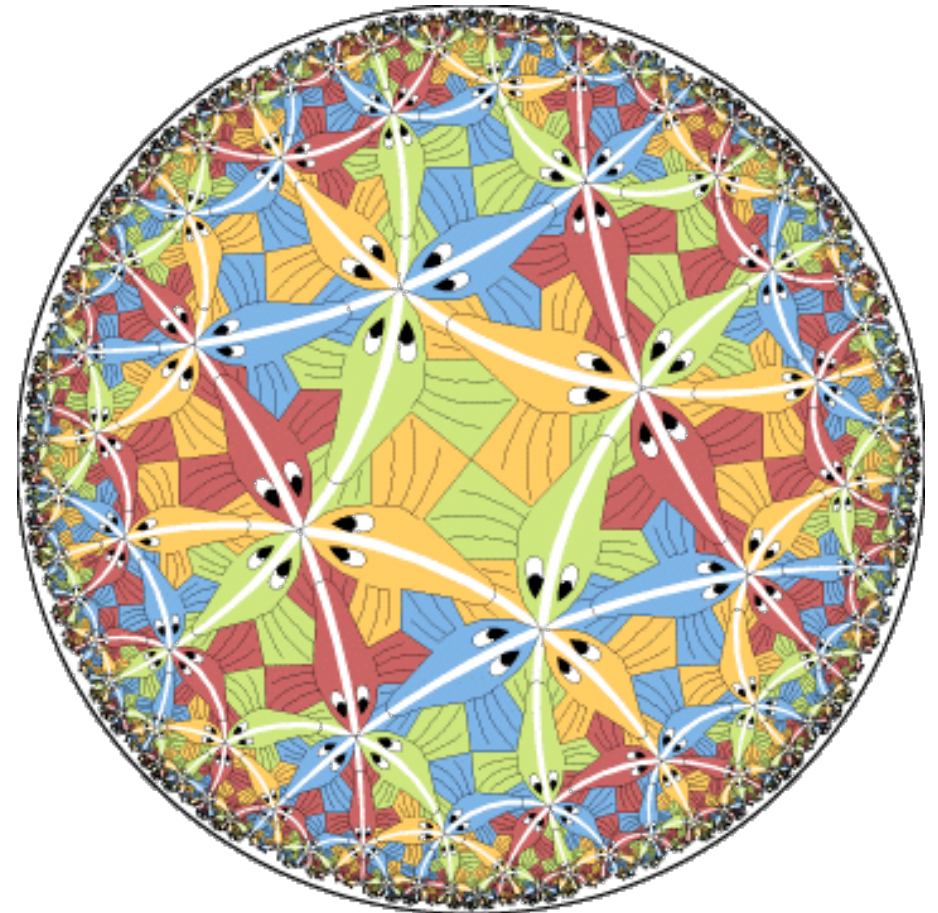
La pesanteur disparaît dans les référentiels en chute libre.

Le principe de courbure de l'espace-temps

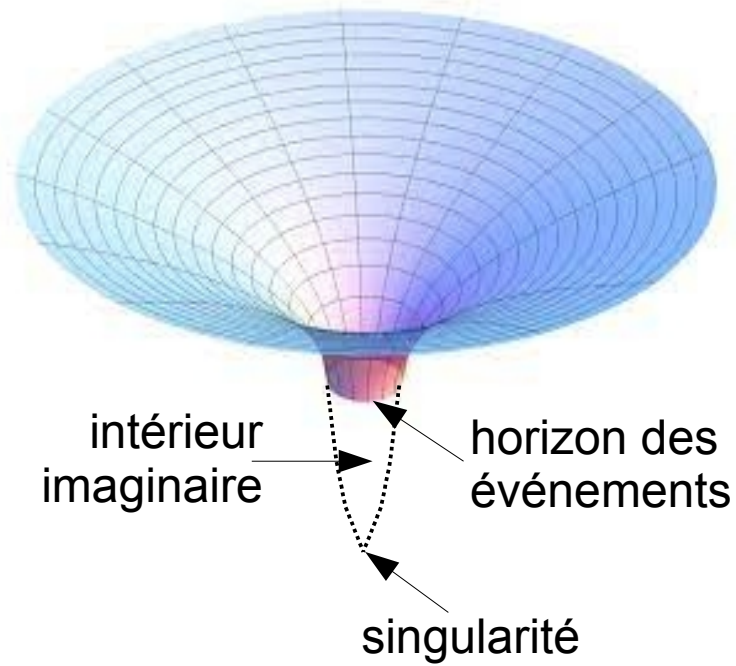
Les trajectoires de chute libre minimisent donc l'action !



Le principe de courbure de l'espace-temps

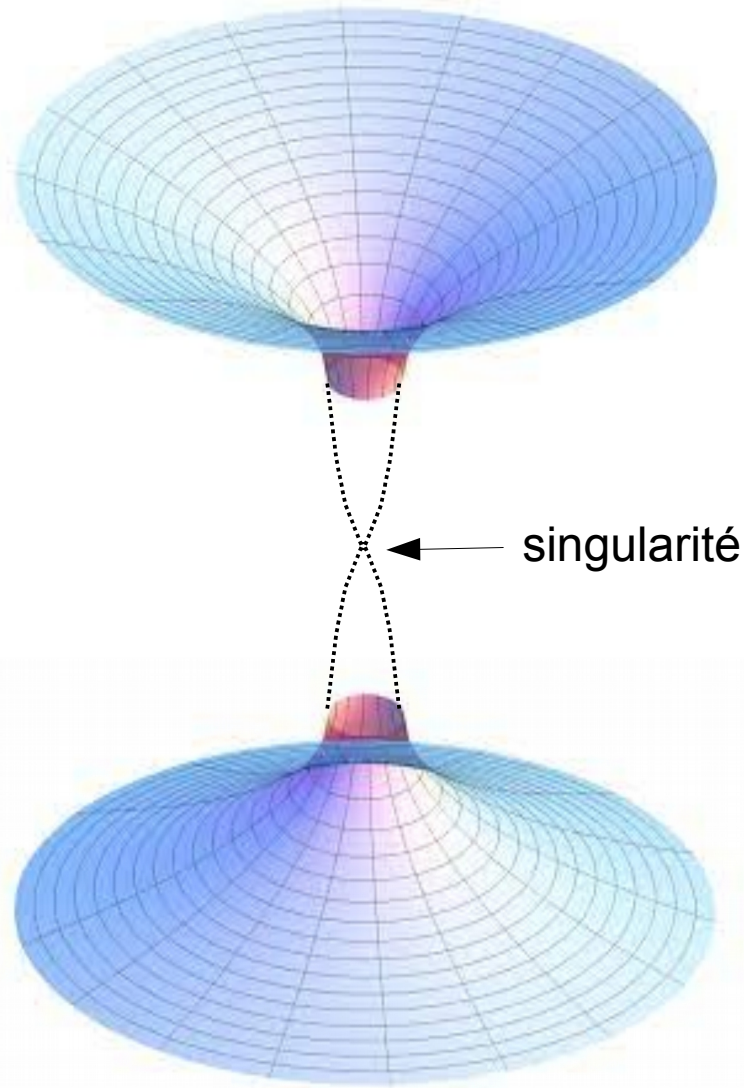


Paraboloïde de Flamm
(feuillelet d'espace courbe d'un trou noir)





Les trous de ver

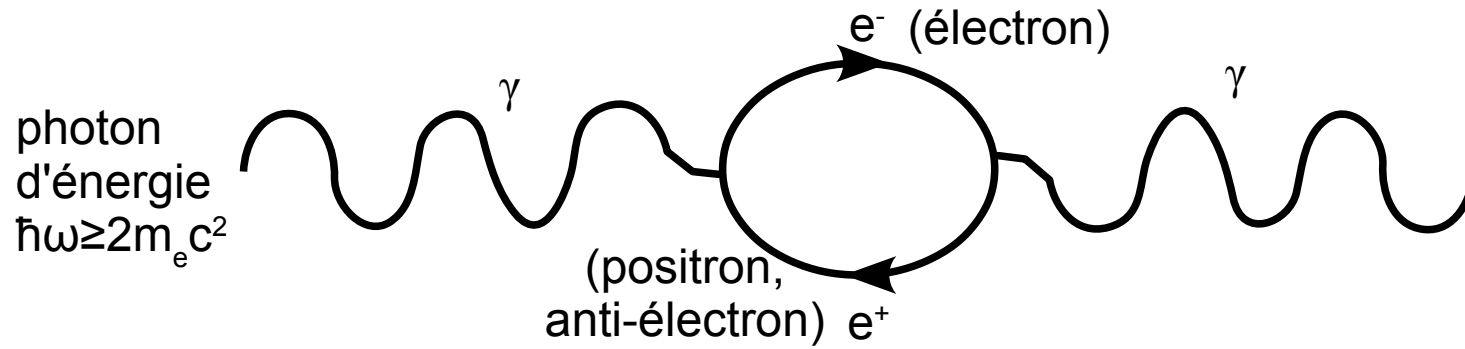


Paraboloïde de Flamm
(feuille d'espace courbe d'un trou noir)

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

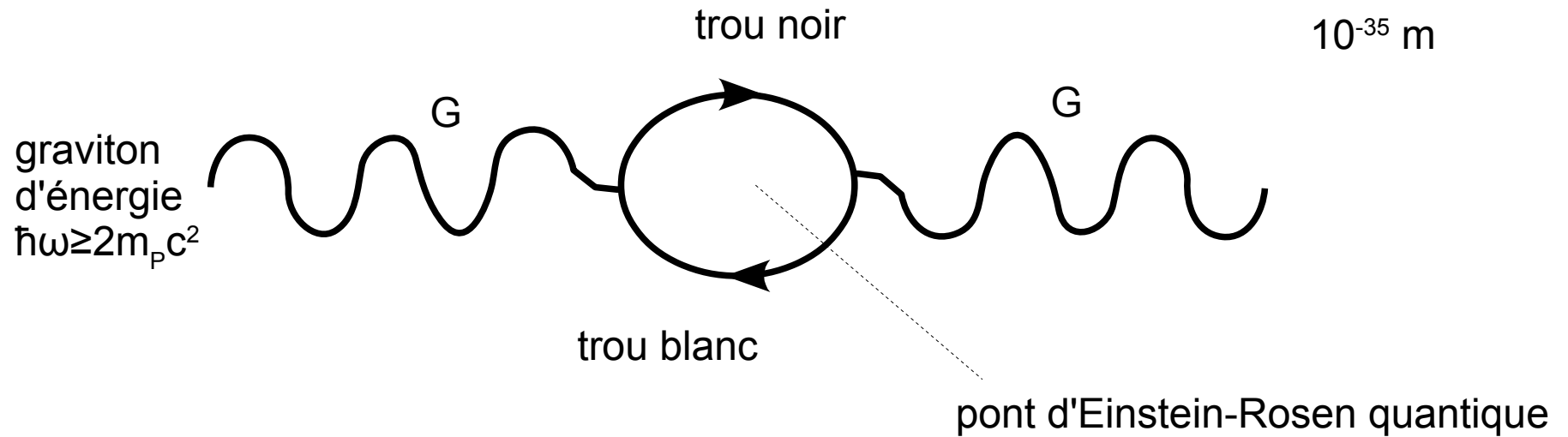
Échelle subatomique

10^{-18} m à 10^{-10} m

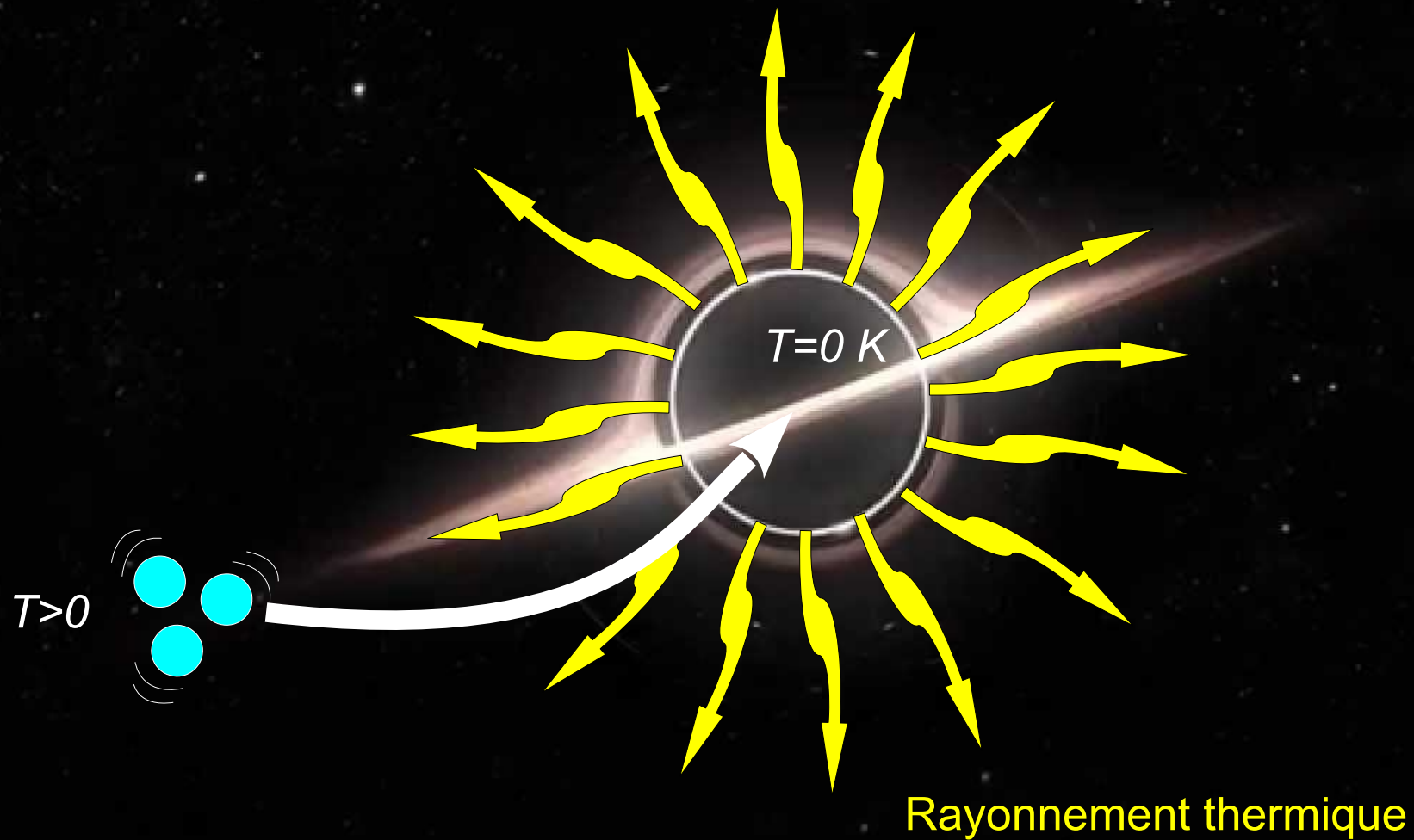


Échelle de Planck

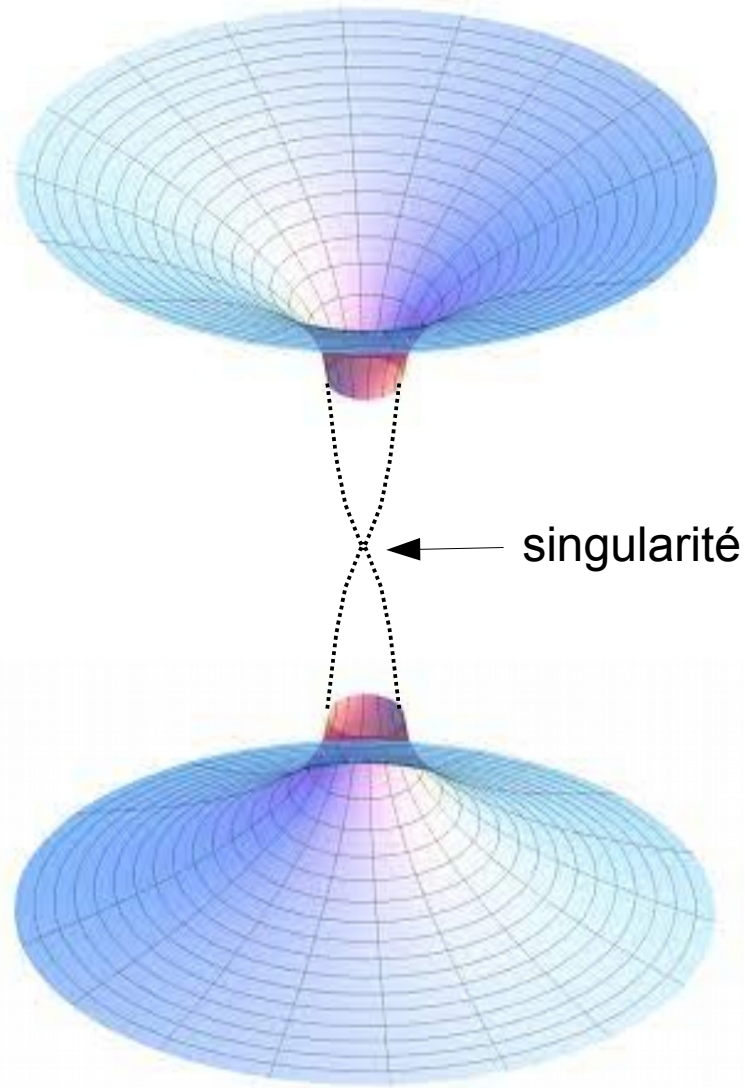
10^{-35} m



Le rayonnement de Hawking



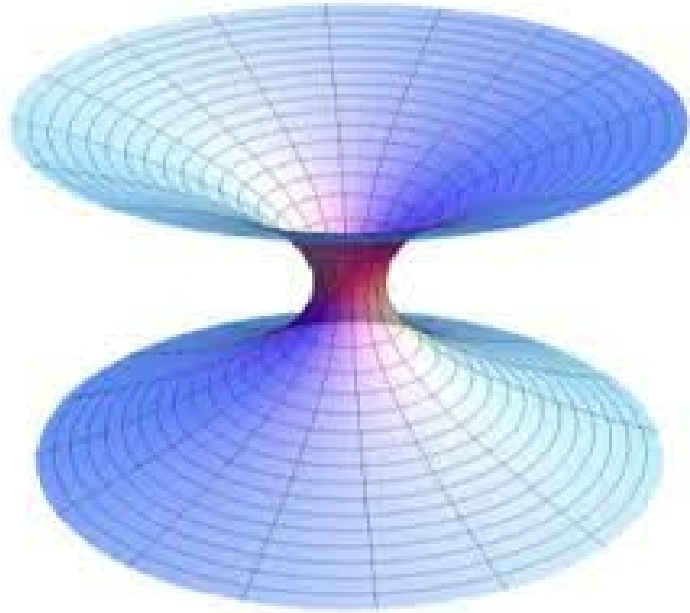
Les trous noirs s'évaporent par rayonnement thermique.



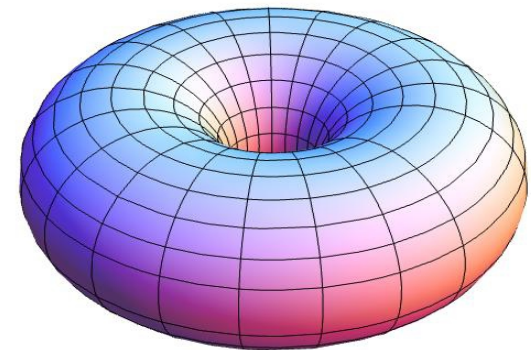
Paraboloïde de Flamm
(feuille d'espace courbe d'un trou noir)

Les ponts d'Einstein-Rosen ne sont pas traversables

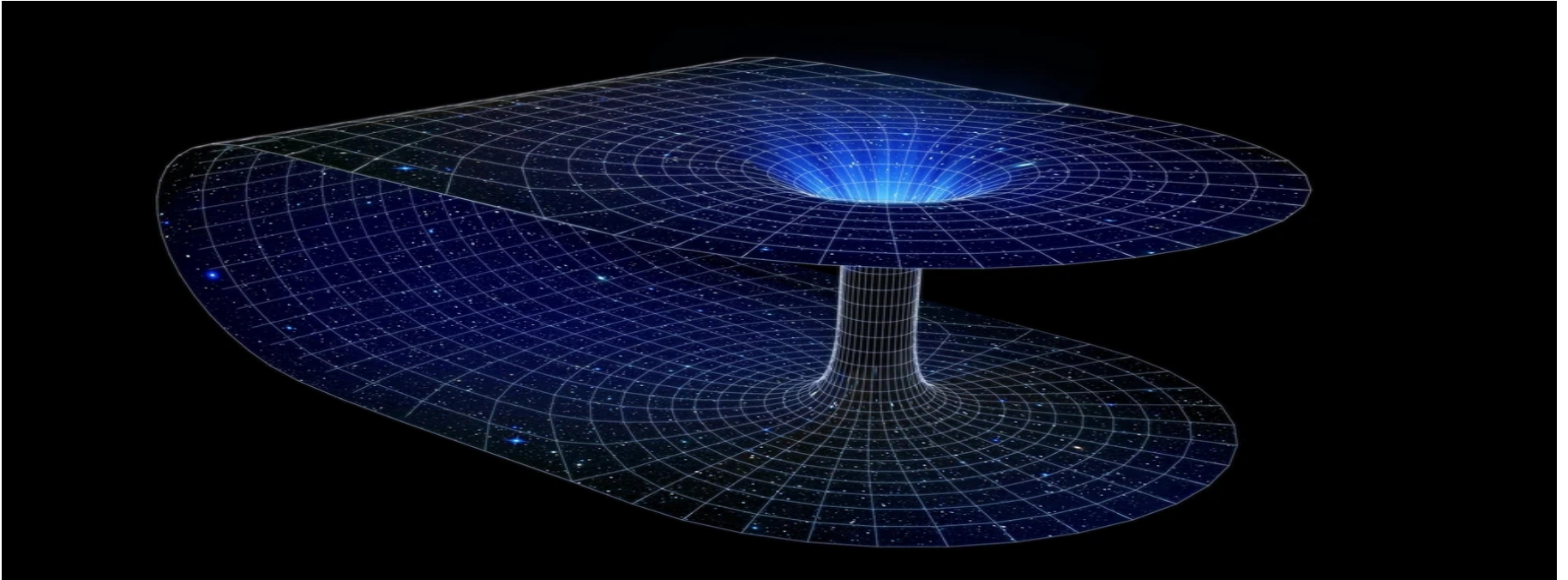
(feuille d'espace courbe d'un trou blanc)



Double feuillet d'Univers d'un trou de ver de Morris-Thorne

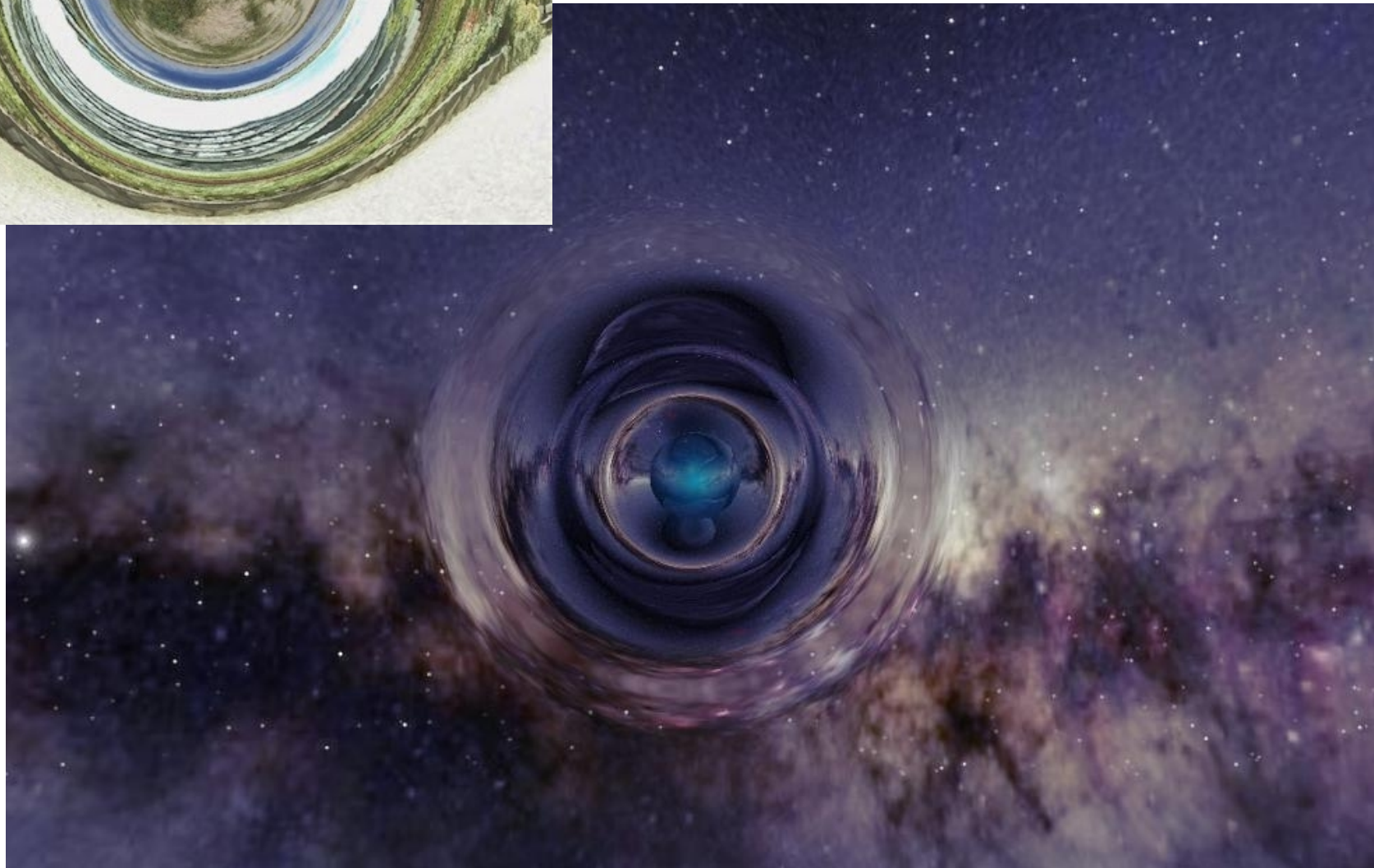


Les trous de ver de Morris-Thorne

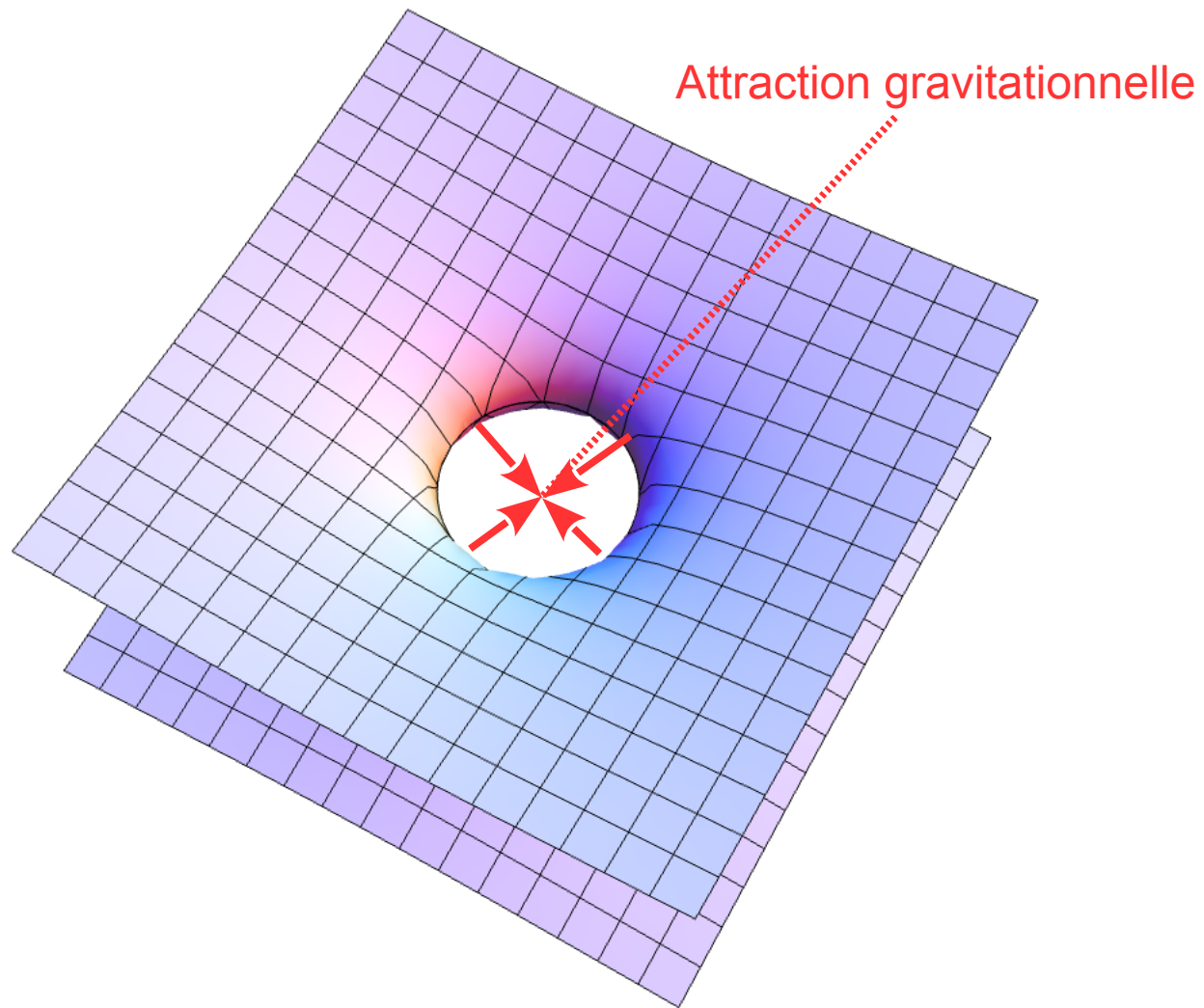


Les trous de ver de Morris-Thorne

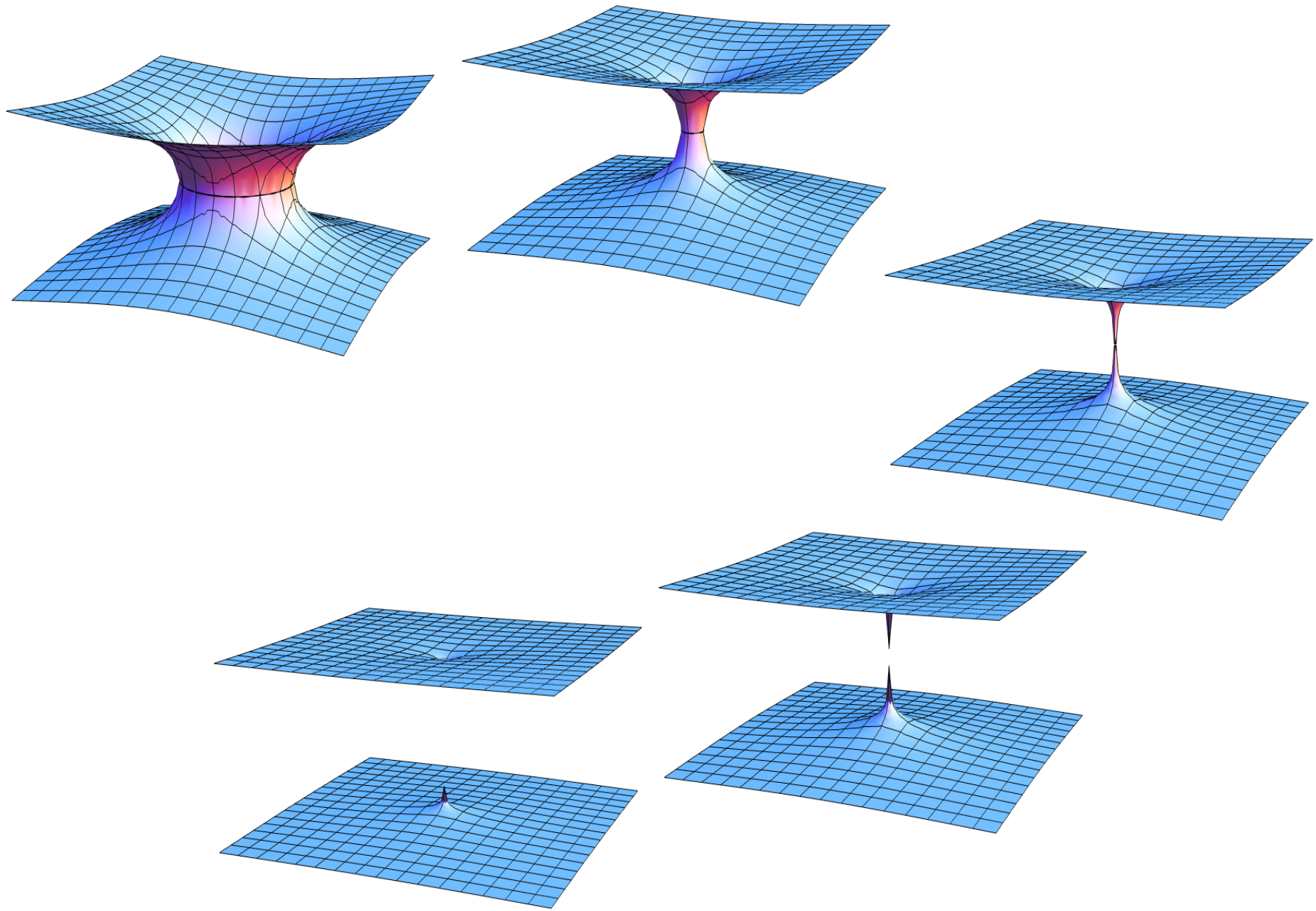
<https://www.youtube.com/watch?v=Gzg5Xrx9Oo0>



Instabilité dynamique des trous de ver de Morris-Thorne



Instabilité dynamique des trous de ver de Morris-Thorne



Réalités parallèles \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.

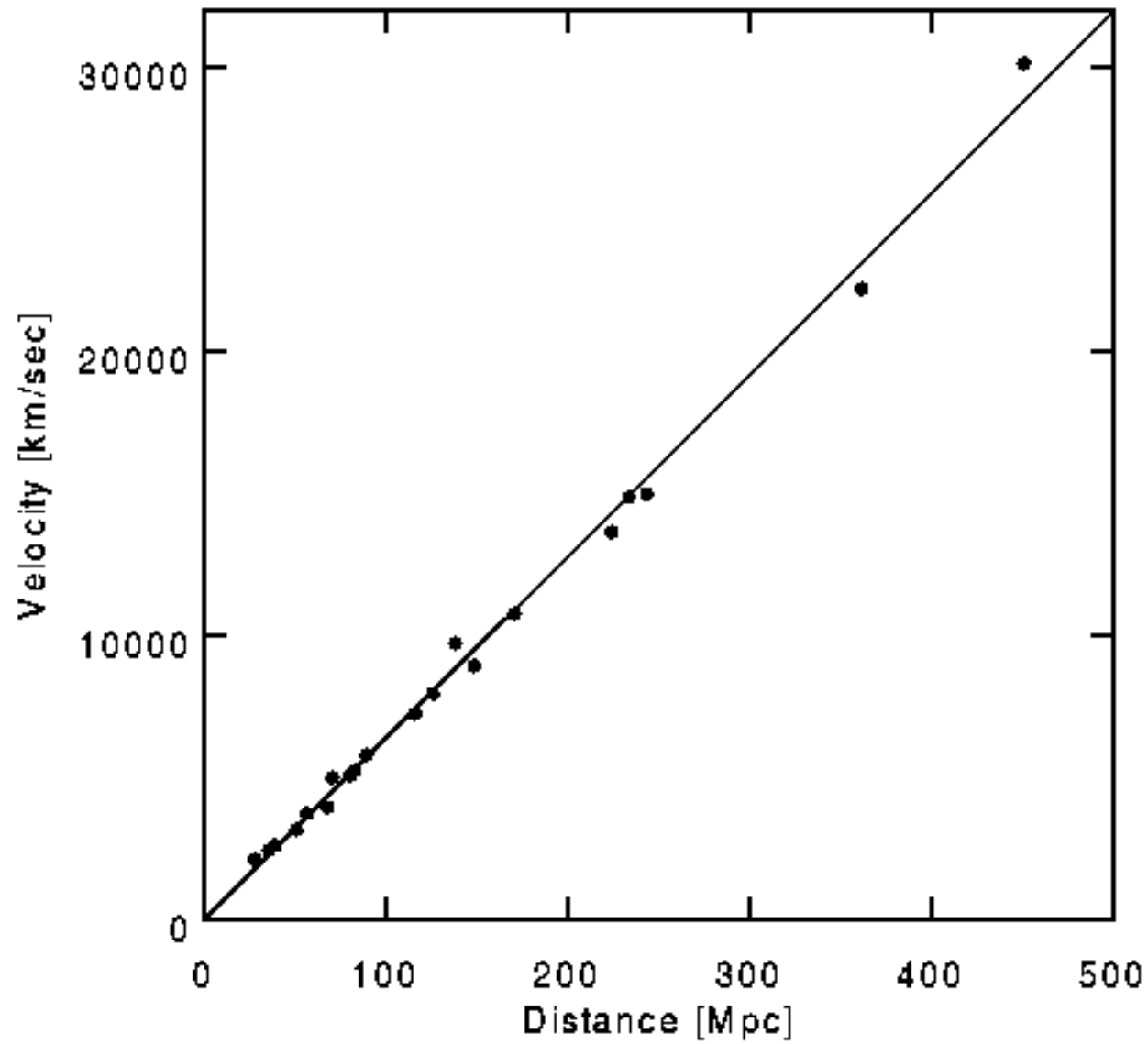
Divers processus physiques envisageables pour passer d'un univers à l'autre.

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



Le Big-Bang

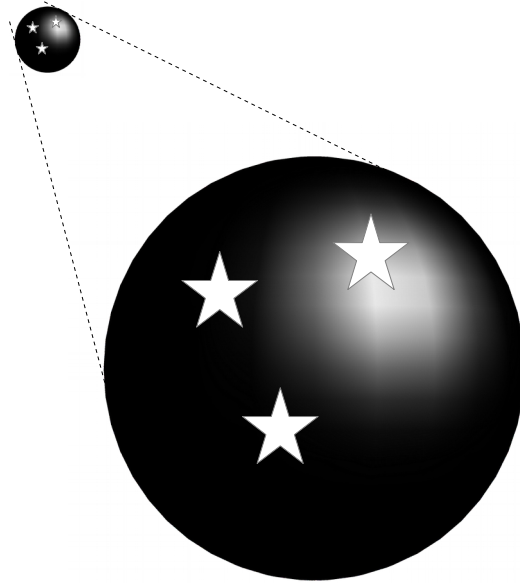
La loi de Hubble



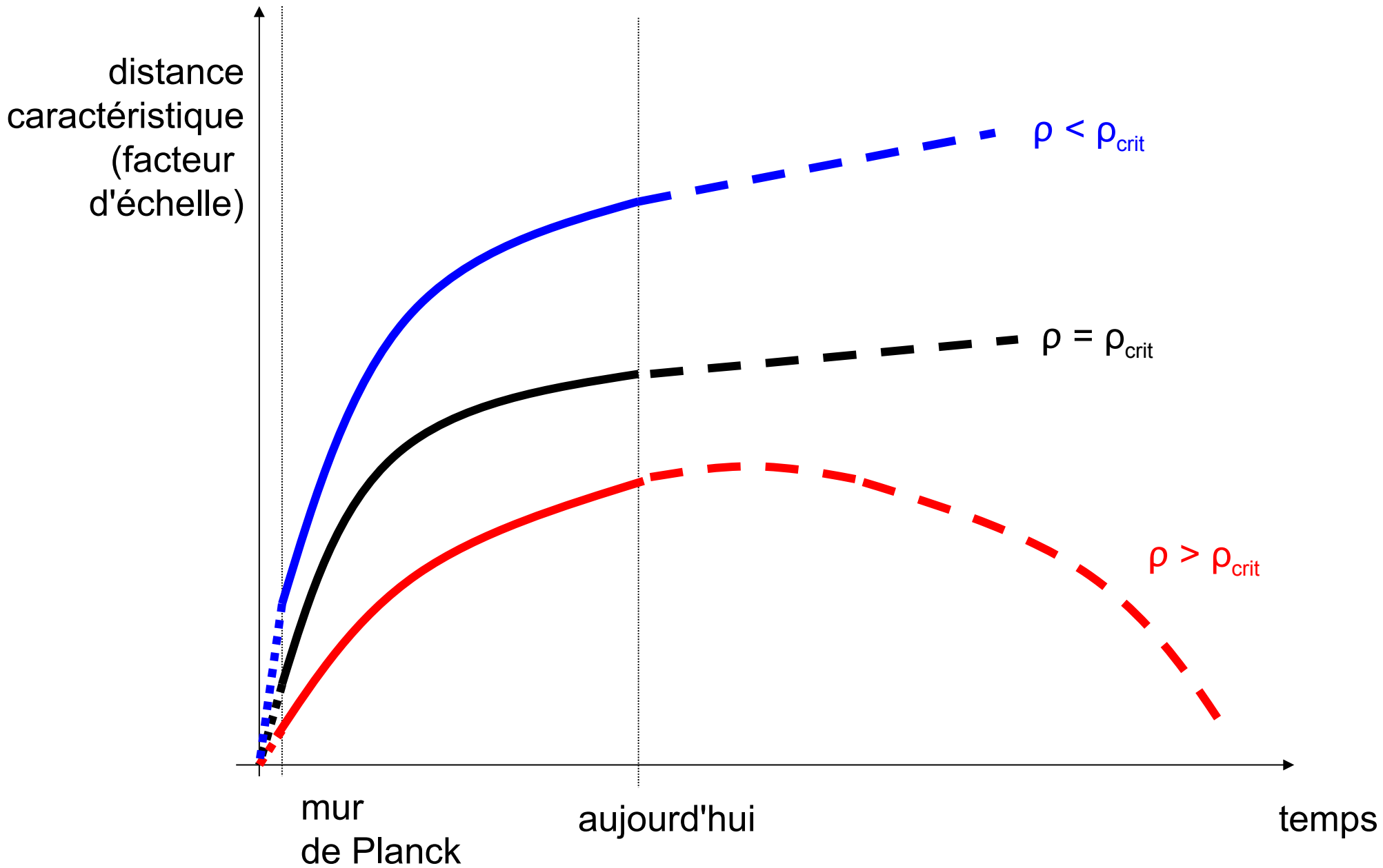
La loi de Hubble :

$$v = Hd$$

La loi de Hubble



Le modèle de Friedmann-Lemaître

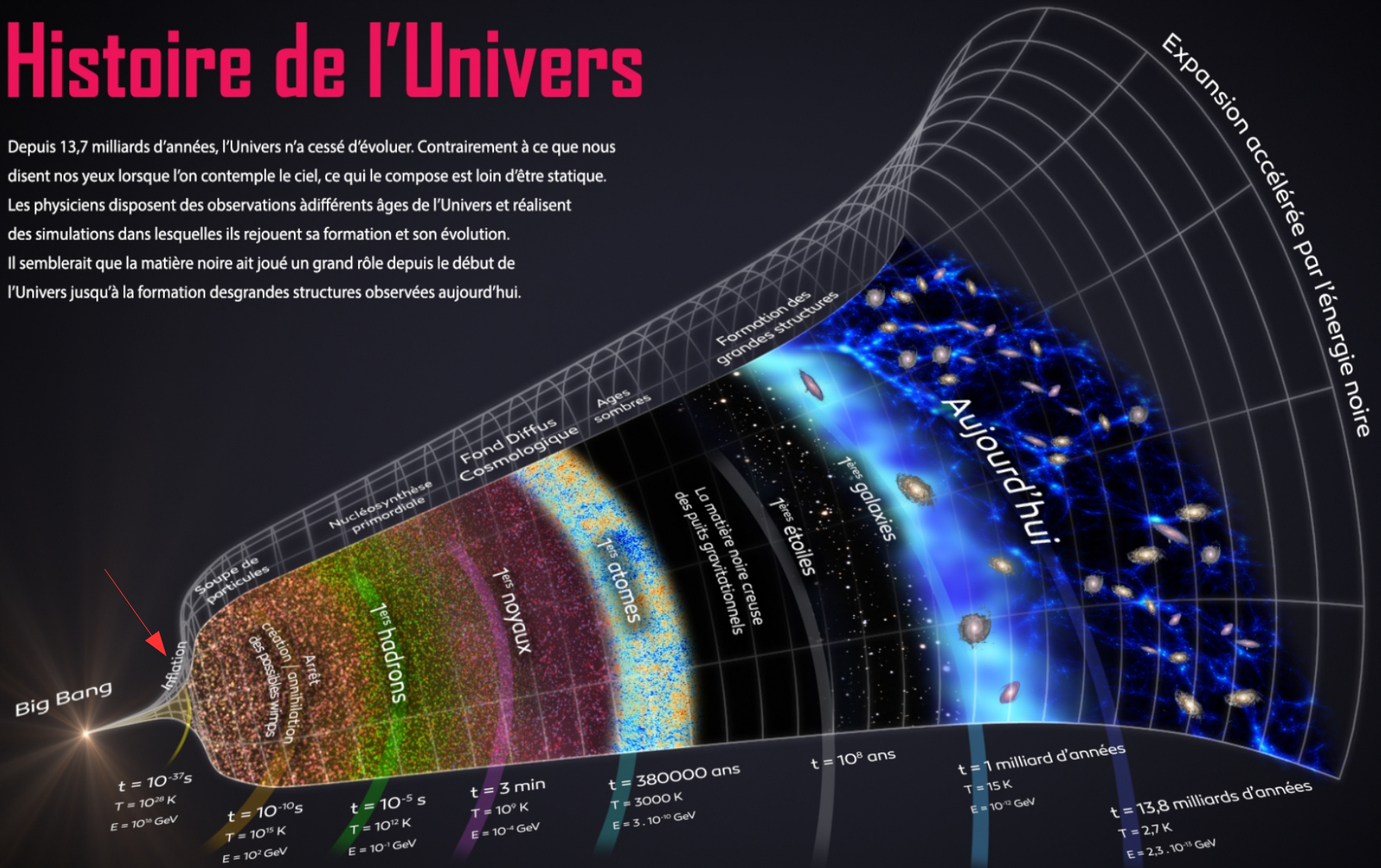


Histoire de l'Univers

Depuis 13,7 milliards d'années, l'Univers n'a cessé d'évoluer. Contrairement à ce que nous disent nos yeux lorsque l'on contemple le ciel, ce qui le compose est loin d'être statique.

Les physiciens disposent des observations à différents âges de l'Univers et réalisent des simulations dans lesquelles ils rejouent sa formation et son évolution.

Il semblerait que la matière noire ait joué un grand rôle depuis le début de l'Univers jusqu'à la formation des grandes structures observées aujourd'hui.



$t = 10^{-37} s$
 $T = 10^{28} K$
 $E = 10^{16} GeV$

$t = 10^{-10} s$
 $T = 10^{15} K$
 $E = 10^2 GeV$

$t = 10^{-5} s$
 $T = 10^{12} K$
 $E = 10^1 GeV$

$t = 3 min$
 $T = 10^9 K$
 $E = 10^{-4} GeV$

$t = 380000 ans$
 $T = 3000 K$
 $E = 3 \cdot 10^{-10} GeV$

$t = 10^8 ans$

$t = 1 milliard d'années$
 $T = 15 K$
 $E = 10^{-12} GeV$

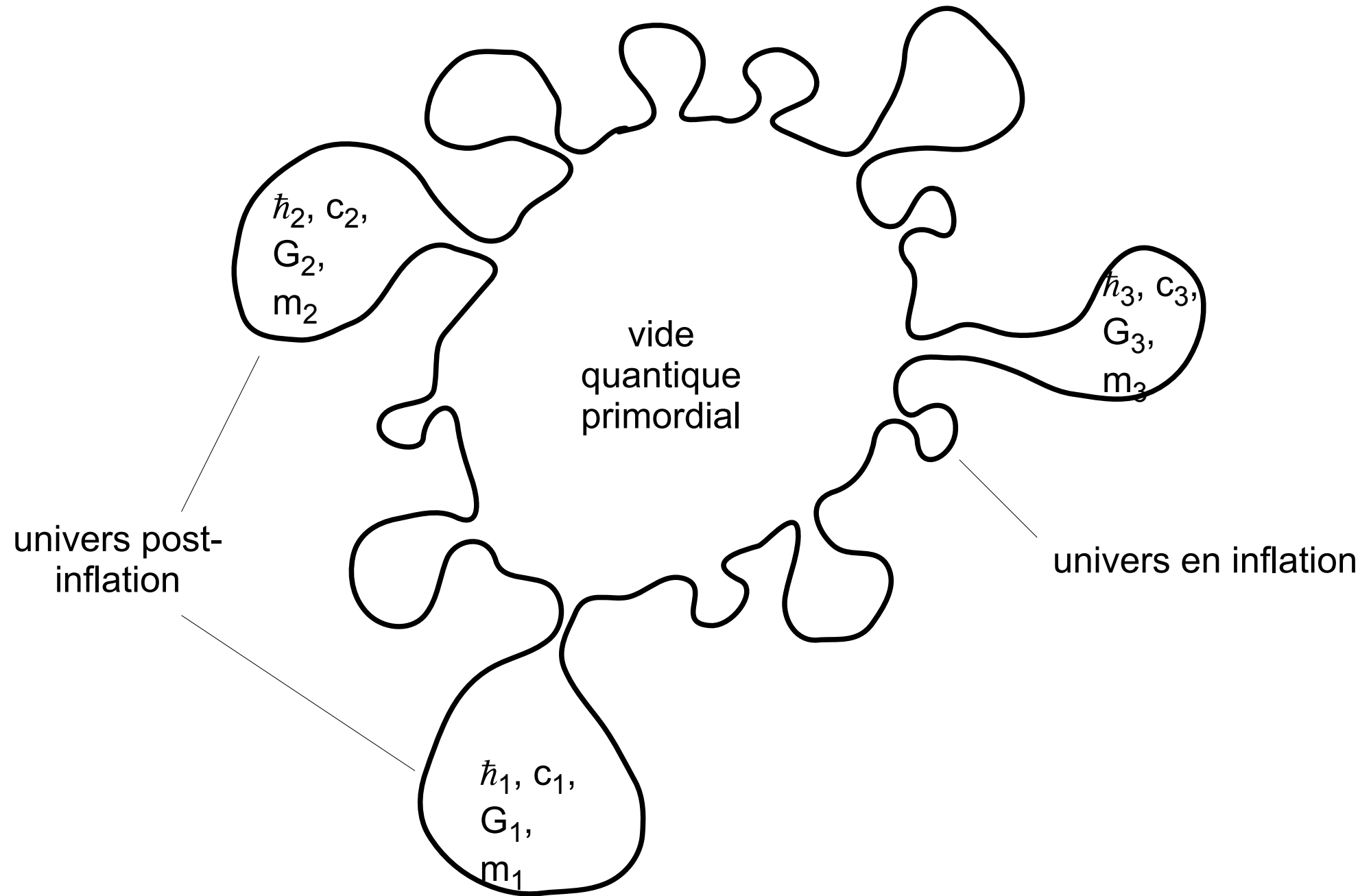
$t = 13,8 milliards d'années$
 $T = 2,7 K$
 $E = 2,3 \cdot 10^{-31} GeV$

0 K = -273 °C

Hadron = Système de quarks liés (proton, neutron etc.)

Les univers-bulles





Processus aléatoire de sélection des constantes de l'Univers



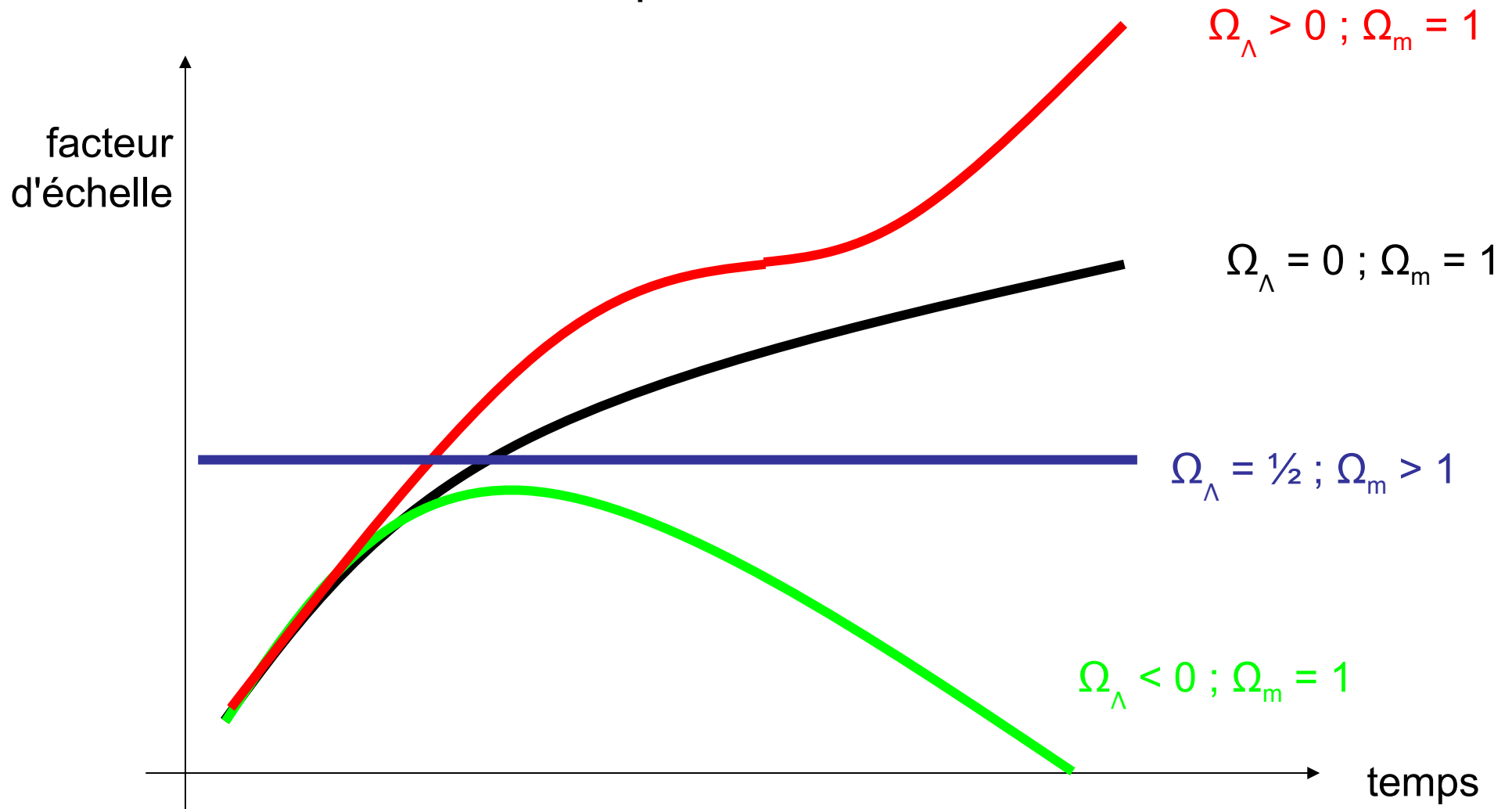
L'énergie sombre

Constante cosmologique

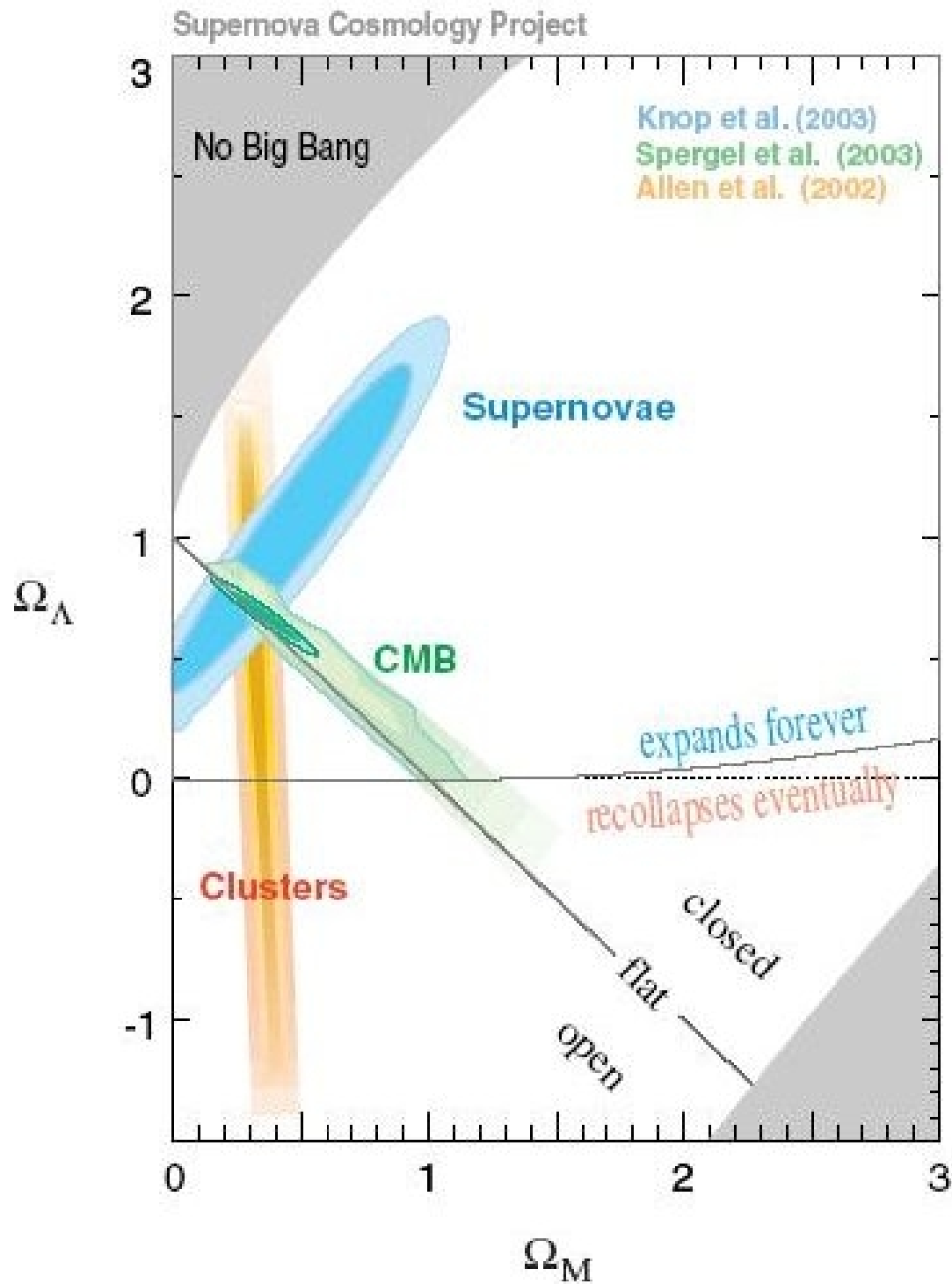
$\Lambda = 0 \rightarrow$ l'évolution de l'Univers ne dépend que de $\Omega_m = \rho/\rho_{\text{crit}}$

$\Lambda > 0 \rightarrow$ accélération de l'expansion

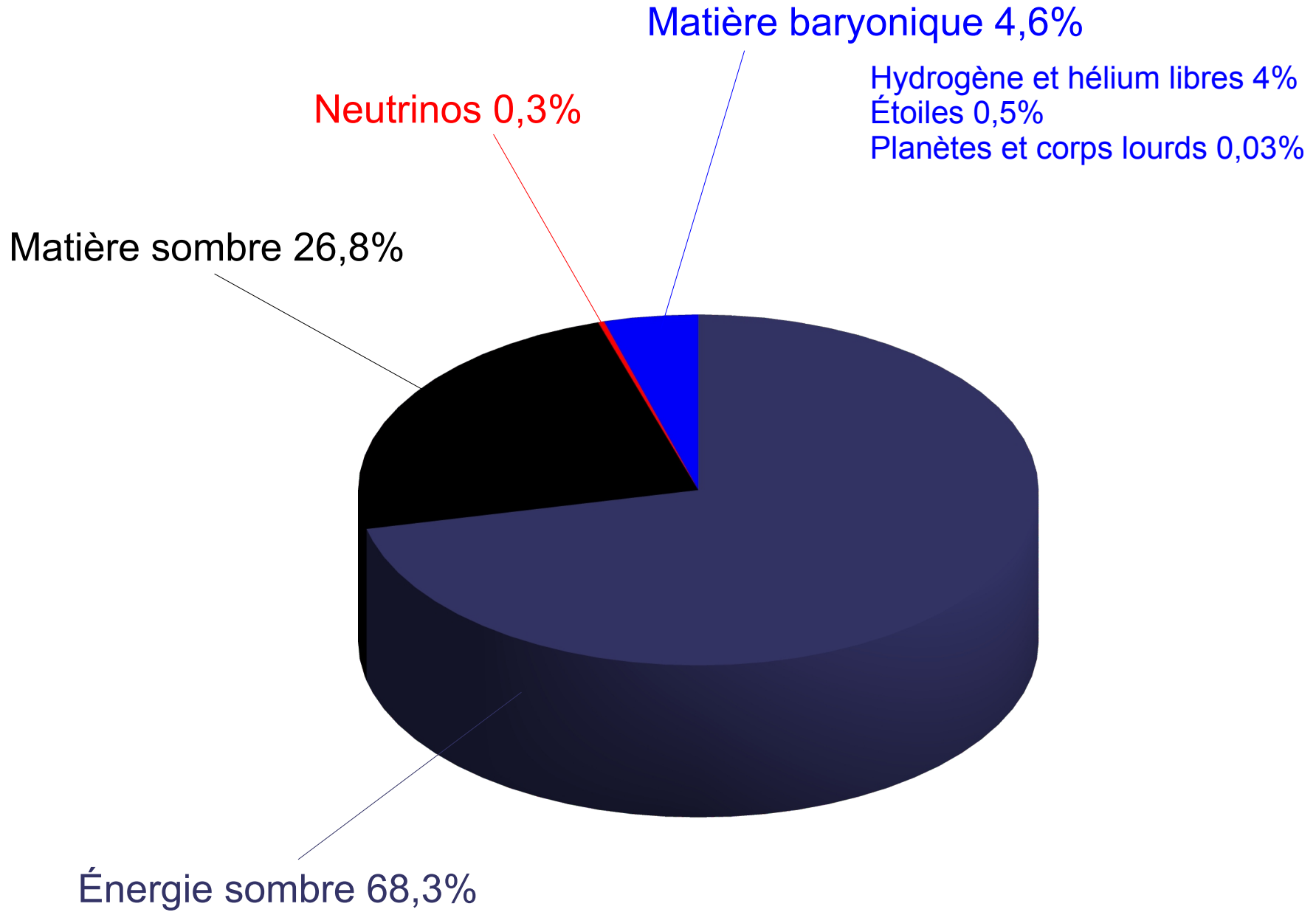
$\Lambda < 0 \rightarrow$ décélération de l'expansion



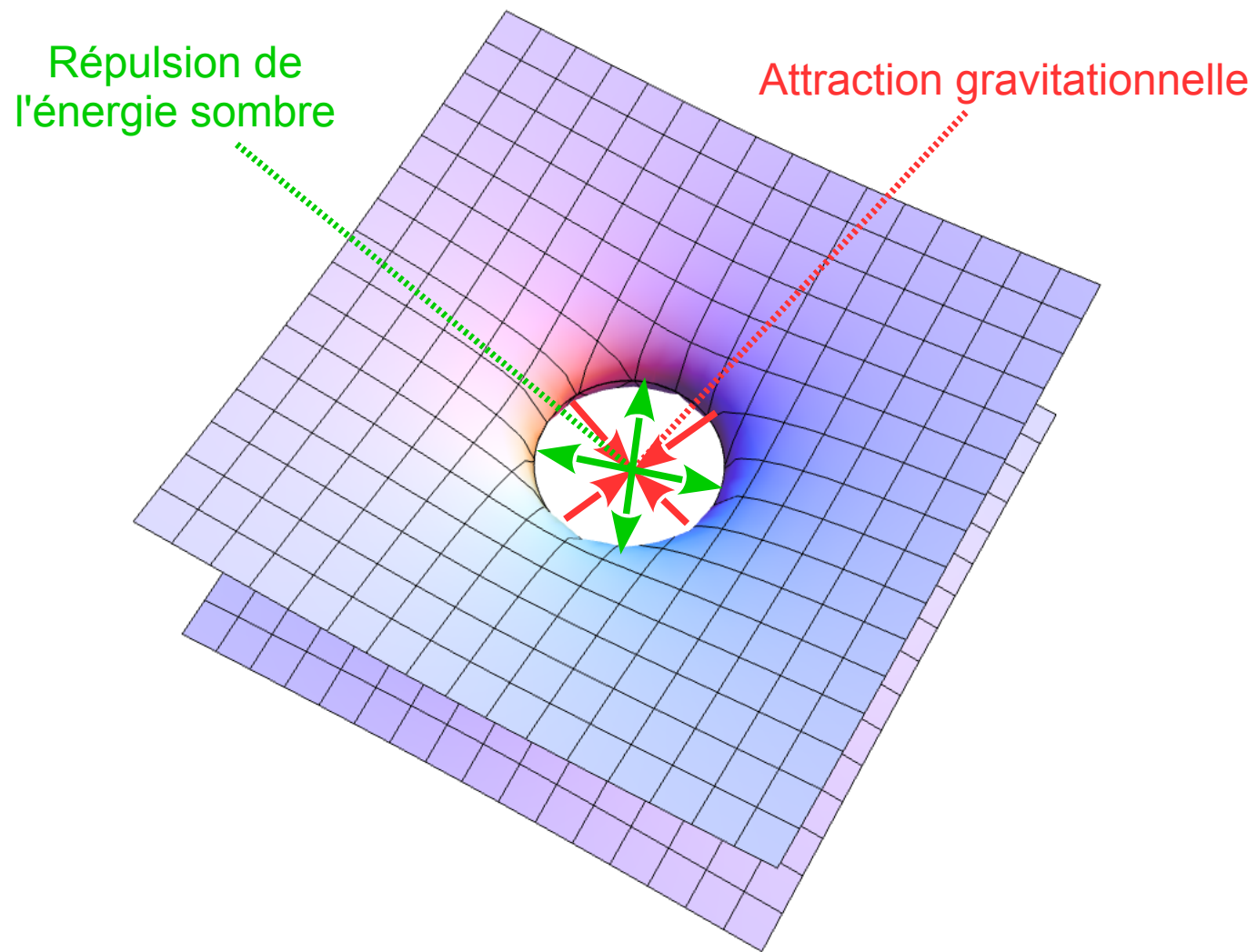
L'accélération de l'expansion



Le modèle Λ CDM



L'énergie sombre





Les trous noirs dans la théorie de la gravitation par boucles

La scène du « tesseract » d'*Interstellar* de C. Nollan

<https://www.dailymotion.com/video/x2rsas2>



Ákos Holcsú

