

Le concept de multivers – sujet 3

Cosmologie branaire

David Viennot – Maître de Conférences

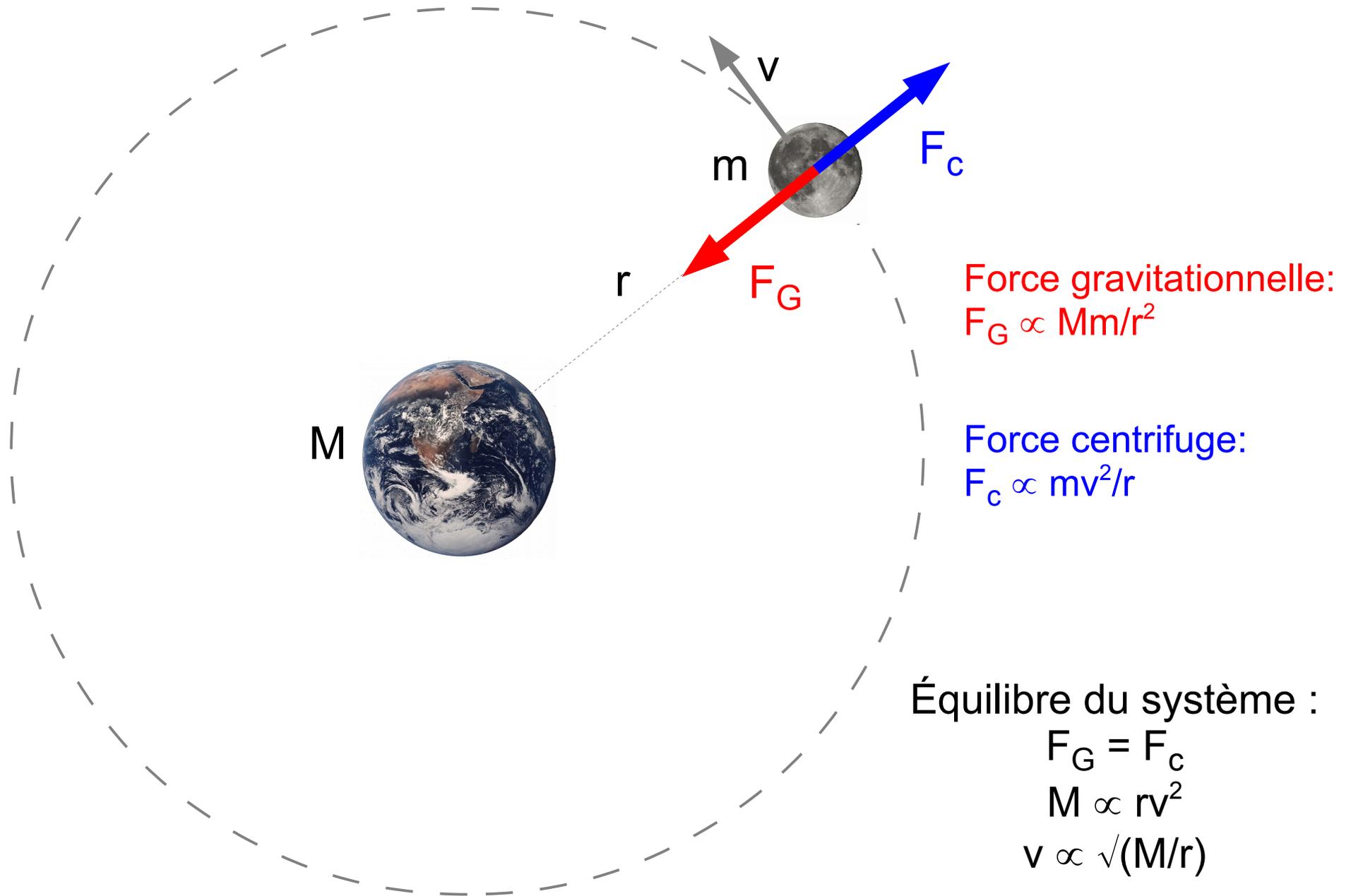
Institut UTINAM (CNRS) / Observatoire de Besançon / UFC



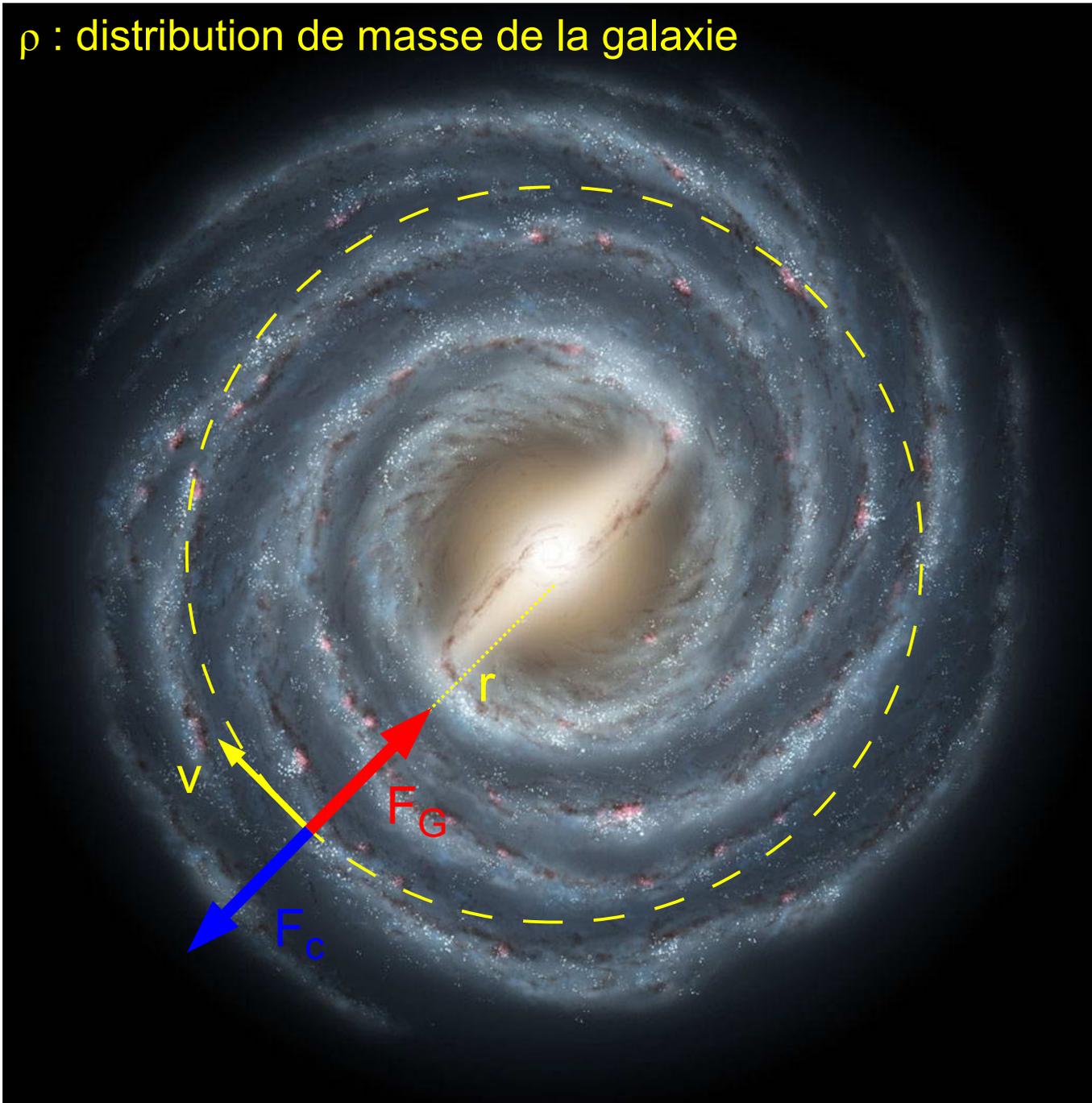
The background of the slide is a map of the Cosmic Microwave Background (CMB) radiation, showing temperature fluctuations across the sky in shades of blue and white. A semi-transparent white rectangular box is centered on the image, containing the title text.

Les problèmes cosmologiques

L'équilibre force gravitationnelle vs force centrifuge



ρ : distribution de masse de la galaxie



Équilibre du système :
 $v = f(r, \rho)$

Observations de la
matière lumineuse

$\rightarrow \rho_{\text{obs}}$

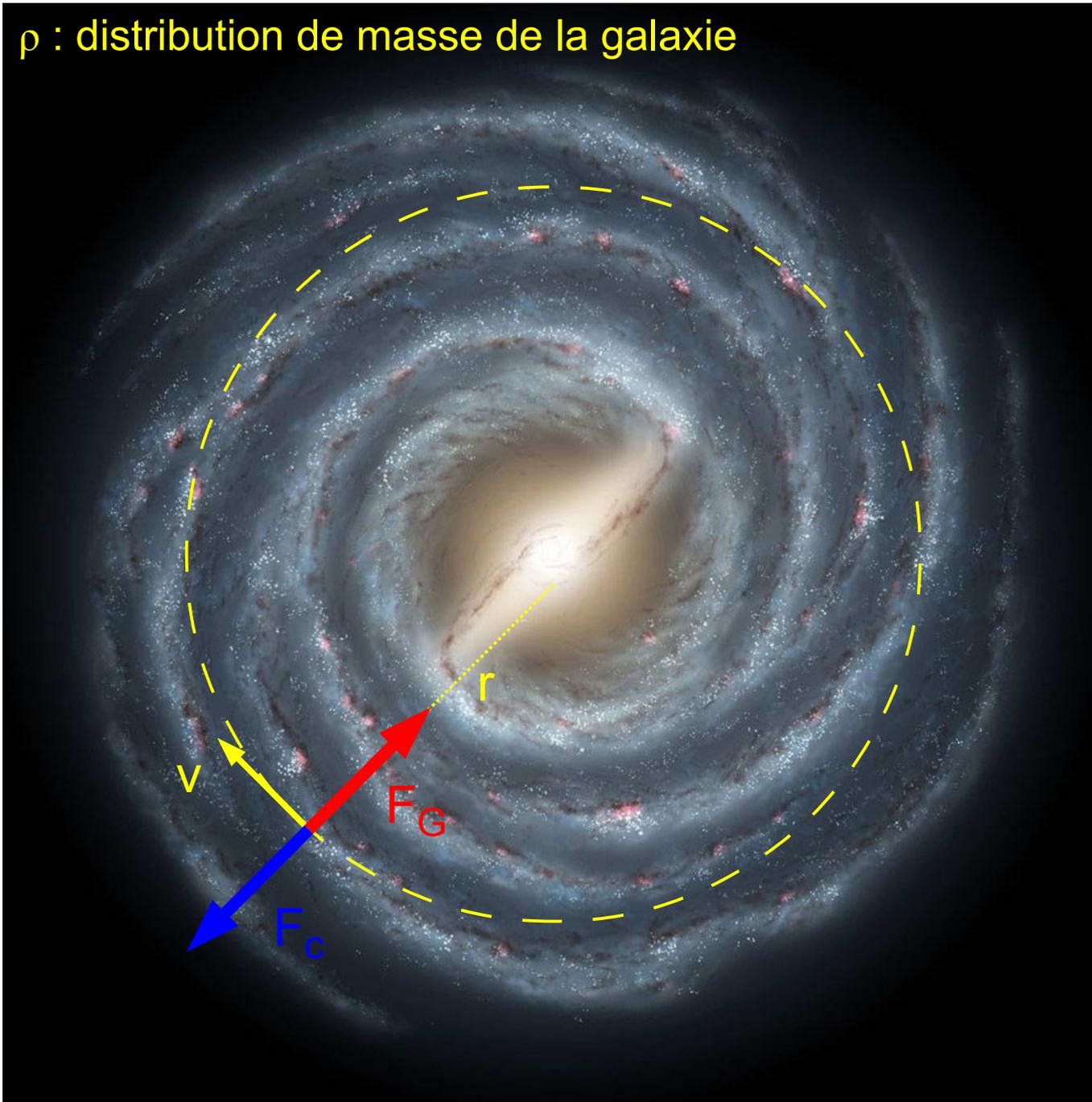
$$v_{\text{th}} = f(r, \rho_{\text{obs}})$$

Observations de l'effet
Doppler $\rightarrow v_{\text{obs}}$

$$v_{\text{obs}} > v_{\text{th}}$$

$$\rightarrow \rho_{\text{réel}} > \rho_{\text{obs}}$$

ρ : distribution de masse de la galaxie



Équilibre du système :
 $v = f(r, \rho)$

Observations de la
matière lumineuse

$\rightarrow \rho_{\text{obs}}$

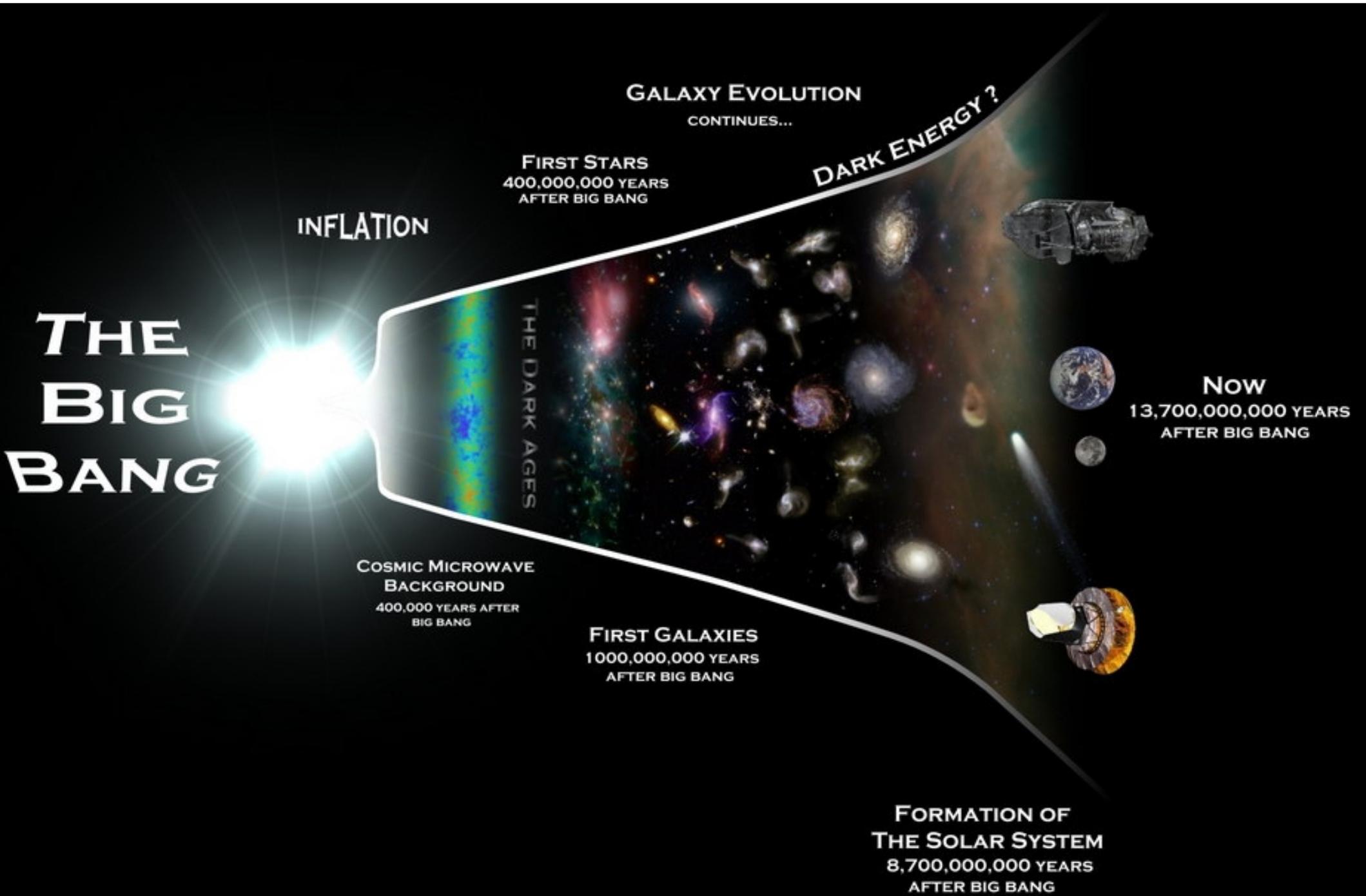
$$v_{\text{th}} = f(r, \rho_{\text{obs}})$$

Observations de l'effet
Doppler $\rightarrow v_{\text{obs}}$

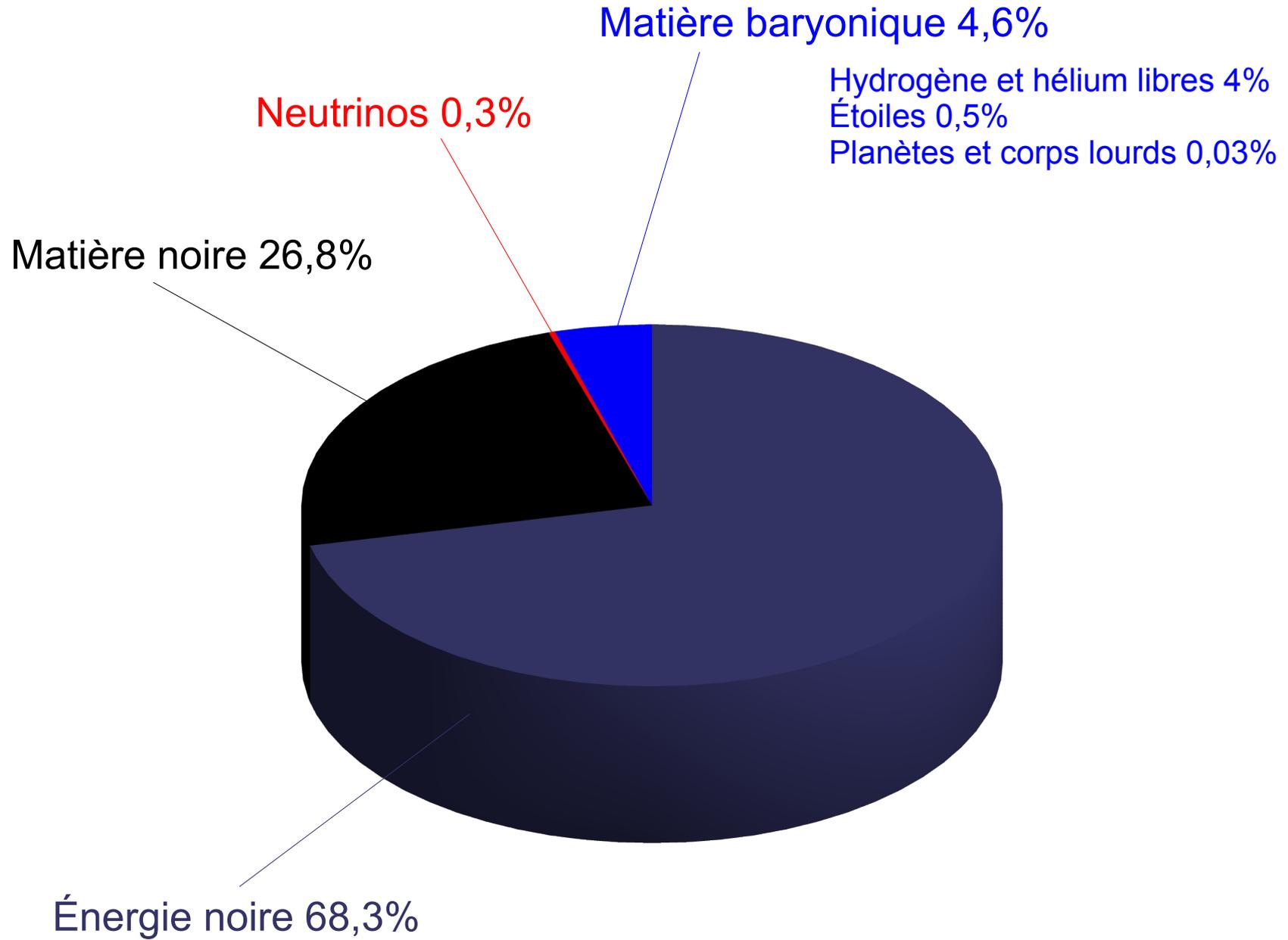
$$v_{\text{obs}} > v_{\text{th}}$$

$$\rightarrow \rho_{\text{réel}} > \rho_{\text{obs}}$$

$$\rightarrow \rho_{\text{réel}} = \rho_{\text{obs}} + \rho_{\text{dark}}$$



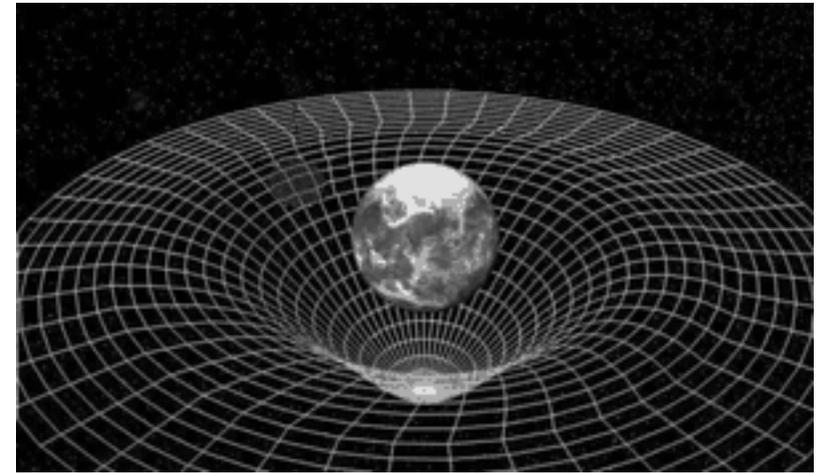
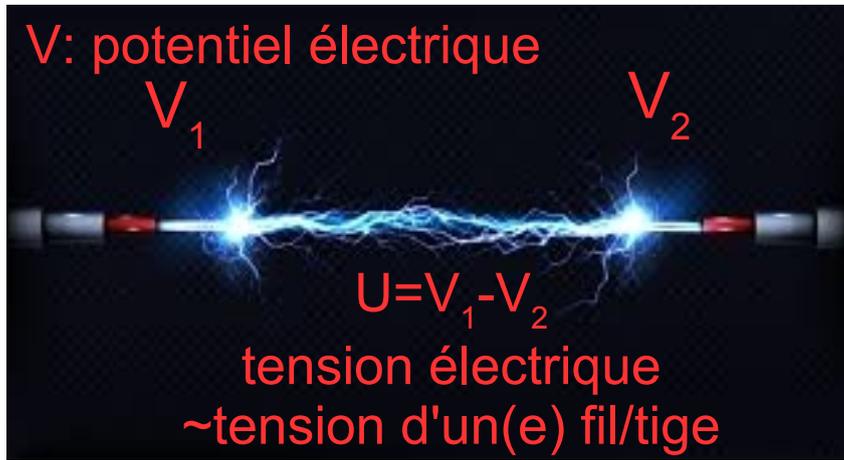
Le modèle Λ CDM





La théorie des cordes

EM vs RG: les interactions fondamentales



g métrique
 gravitationnelle

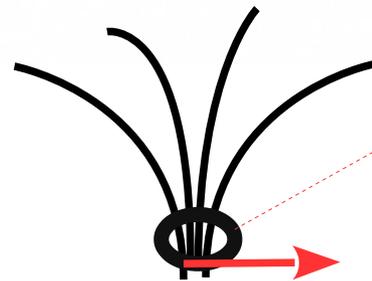
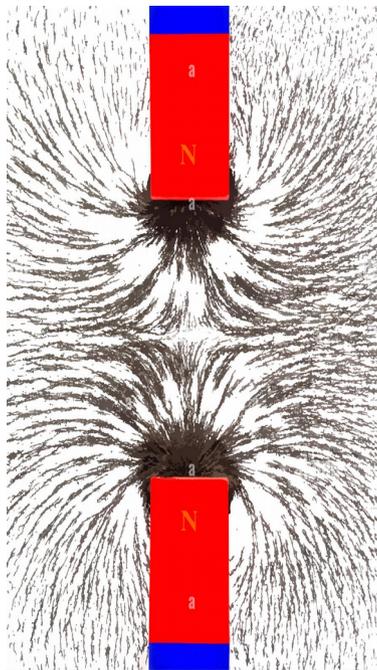
g_{zz}

g_{yy}

g_{xx}

g_{tt}

$g_{tx}, g_{ty}, g_{tz},$
 g_{xy}, g_{xz}, g_{yz}
 (couplages)



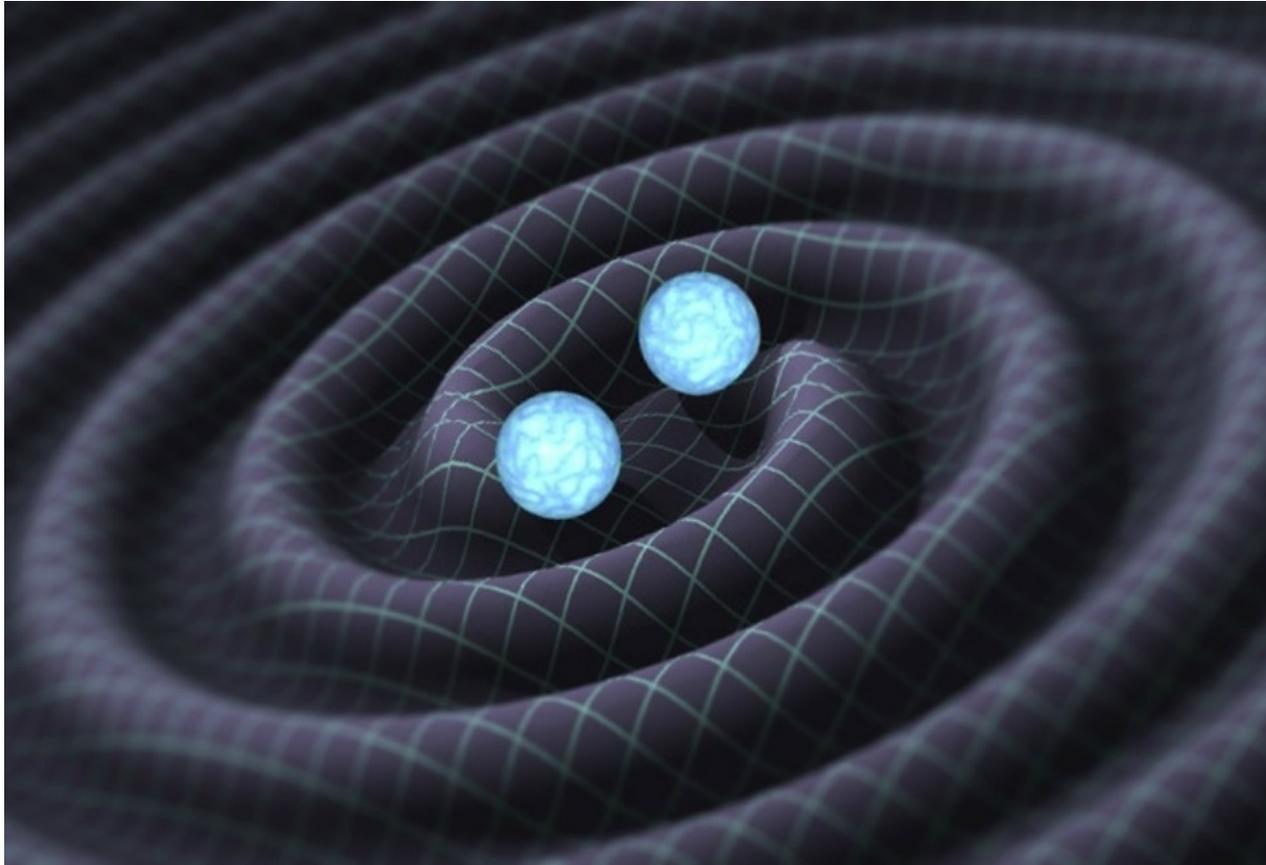
tension magnétique
 de serrage $\int \mathbf{A} \cdot d\boldsymbol{\ell}$

A: potentiel-vecteur
 magnétique

+ champs d'interaction
 nucléaire faible
 + champs d'interaction
 nucléaire forte

Théories de jauge (EM)

Théorie géométrique (RG)



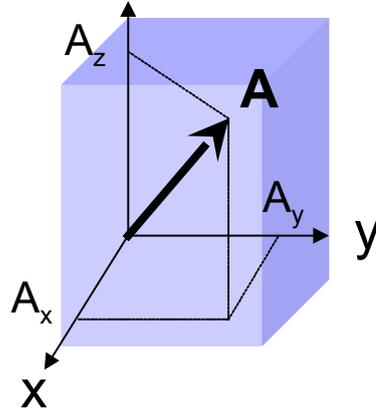
Ondes gravitationnelles = ondes de déformation de l'espace-temps (régime perturbatif de la relativité générale)

Si l'on restreint les effets gravitationnels à ceux descriptibles uniquement avec des ondes gravitationnelles, la gravitation est une pure théorie de jauge de même symétrie que l'électromagnétisme.
→ Même symétrie, une seule et même interaction ?

Unification de l'électricité et du magnétisme

Electricité
:
V potentiel électrique (tension potentielle)

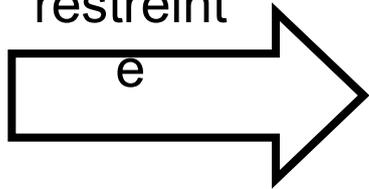
Magnétisme
:



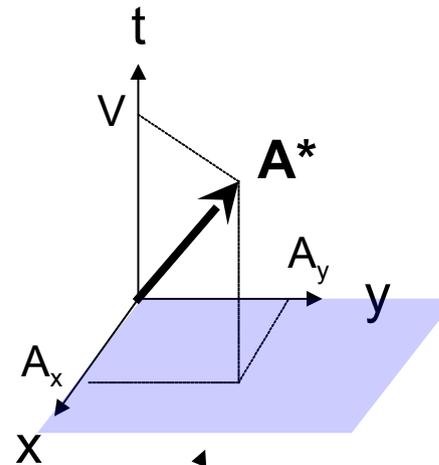
potentiel magnétique
(circulation potentielle)

**espace à
3 dimensions**

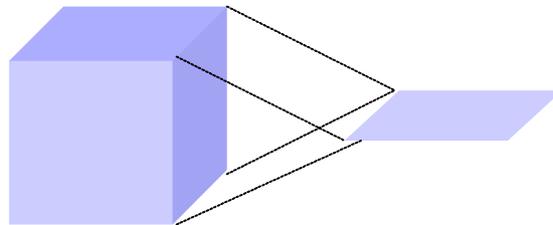
relativité
restreint



électromagnétisme
:

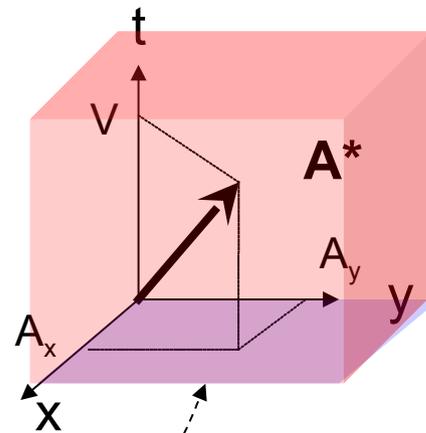


**espace-temps à
4 dimensions**

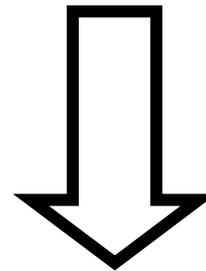
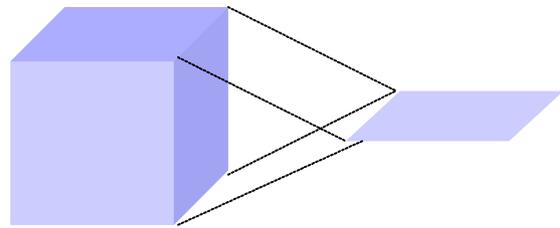


Unification de l'électromagnétisme et de la gravité

électromagnétisme :

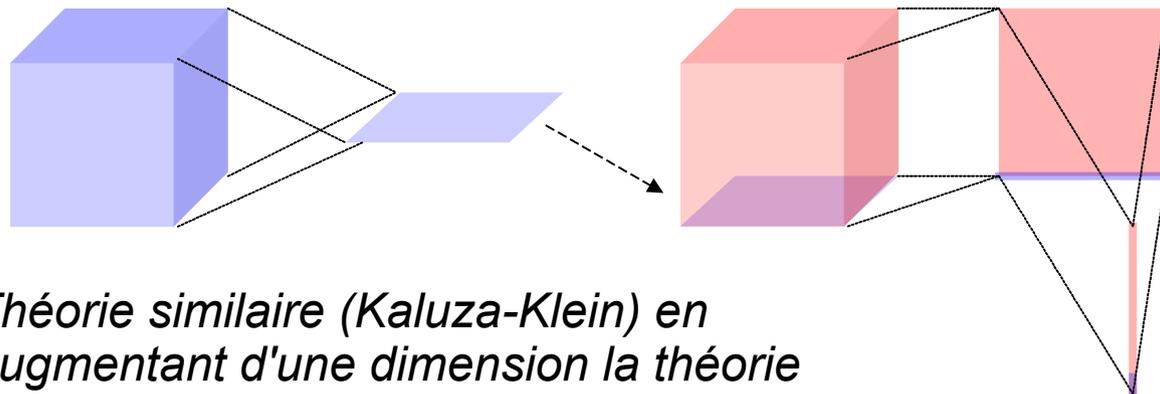


espace-temps à 4 dimensions



théorie de Weyl

espace-temps à 5 dimensions



$\ell_P = 10^{-35} \text{m}$

gravitation :

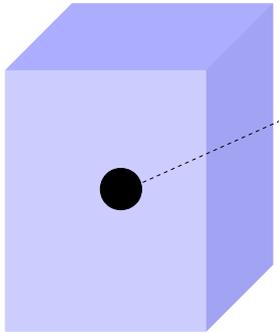
g

(régime perturbatif)

Théorie similaire (Kaluza-Klein) en augmentant d'une dimension la théorie de la gravité.

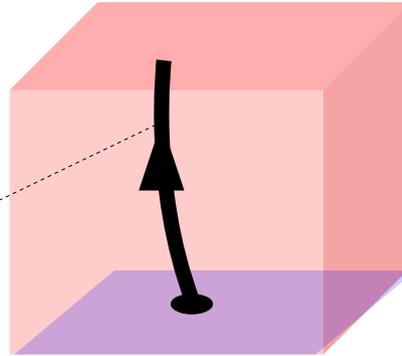
Les cordes

Particule
ponctuelle



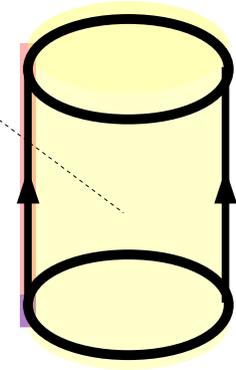
*espace à
3 dimensions*

Ligne
d'univers



*espace-temps à
4 dimensions*

Feuillet
d'univers



*espace-temps à
5 dimensions*

Les particules ponctuelles sont remplacées par des cordes (ouvertes ou fermées).

Photon, graviton et dilaton

V potentiel électrique

A_x
 A_y
 A_z potentiel magnétique

V
 A_x
 A_y
 A_z quadri-potentiel électromagnétique

g_{tt}	g_{tx}	g_{ty}	g_{tz}
g_{tx}	g_{xx}	g_{xy}	g_{xz}
g_{ty}	g_{xy}	g_{yy}	g_{yz}
g_{tz}	g_{xz}	g_{yz}	g_{zz}

métrique gravitationnelle

hyper-métrique gravi-électromagnétique

g_{tt}	g_{tx}	g_{ty}	g_{tz}	V
g_{tx}	g_{xx}	g_{xy}	g_{xz}	A_x
g_{ty}	g_{xy}	g_{yy}	g_{yz}	A_y
g_{tz}	g_{xz}	g_{yz}	g_{zz}	A_z
V	A_x	A_y	A_z	φ

Photon, graviton et dilaton

V potentiel électrique

A_x
 A_y
 A_z potentiel magnétique

V
 A_x
 A_y
 A_z quadri-potentiel électromagnétique

g_{tt}	g_{tx}	g_{ty}	g_{tz}
g_{tx}	g_{xx}	g_{xy}	g_{xz}
g_{ty}	g_{xy}	g_{yy}	g_{yz}
g_{tz}	g_{xz}	g_{yz}	g_{zz}

métrique gravitationnelle

hyper-métrique gravi-électromagnétique

g_{tt}	g_{tx}	g_{ty}	g_{tz}	V
g_{tx}	g_{xx}	g_{xy}	g_{xz}	A_x
g_{ty}	g_{xy}	g_{yy}	g_{yz}	A_y
g_{tz}	g_{xz}	g_{yz}	g_{zz}	A_z
V	A_x	A_y	A_z	ϕ

photon

graviton

dilaton

nouveau boson de jauge \Leftrightarrow nouvelle interaction se comportant comme une « anti-gravité »

Les supercordes

théories de jauge ~ analogie avec des tensions (fils, tiges, membranes,...)
 → descriptibles par des vibrations de cordes !

photon γ	boson Z^0	Higgs H	
boson W^+	boson W^-	graviton G	dilaton ϕ
gluon g_{rr^*}	gluon g_{bb^*}	gluon g_{rb^*}	gluon g_{rg^*}
gluon g_{bg^*}	gluon g_{br^*}	gluon g_{gr^*}	gluon g_{gb^*}

les bosons de jauge (particules médiatrices des interactions)

électron e^-	muon μ^-	tauon τ^-
neutrino ν_e	neutrino ν_μ	neutrino ν_τ
quark u	quark c	quark t
quark d	quark s	quark b

particules de la matière (objets reliés par les fils, tiges et membranes de l'analogie mécanique)
 → pas de description en vibration de cordes !

les fermions (particules « matérielles »)

Les supercordes

sélectron	smuon	stauon
sneutrino e	sneutrino μ	sneutrino τ
squark u	squark c	squark t
squark d	squark s	squark b

théories de jauge des sfermions

photon γ	boson Z^0	Higgs H	
boson W^+	boson W^-	graviton G	dilaton ϕ
gluon g_{rr^*}	gluon g_{bb^*}	gluon g_{rb^*}	gluon g_{rg^*}
gluon g_{bg^*}	gluon g_{br^*}	gluon g_{gr^*}	gluon g_{gb^*}

les bosons de jauge (particules médiatrices des interactions)

Supersymétrie

électron e^+	muon μ^+	tauon τ^+
neutrino ν_e	neutrino ν_μ	neutrino ν_τ
quark u	quark c	quark t
quark d	quark s	quark b

les fermions (particules « matérielles »)

→ par symétrie avec les théories de jauge des sfermions permet de définir les supercordes fermioniques.

photino	bosino Z^0	Higgsino	
bosino W^+	bosino W^-	gravitino	dilatino
gluino g_{rr^*}	gluino g_{bb^*}	gluino g_{rb^*}	gluino g_{rg^*}
gluino g_{bg^*}	gluino g_{br^*}	gluino g_{gr^*}	gluino

nouvelles particules matériels les WIMPs (Particules Massives Interagissant Faiblement)

Problème : il y a cinq théories des supercordes (en fonction du groupe de symétrie utilisé et du choix d'avoir des cordes ouvertes ou non), qui sont dites de type I, IIA, IIB, Hétérotique O, Hétérotique E.

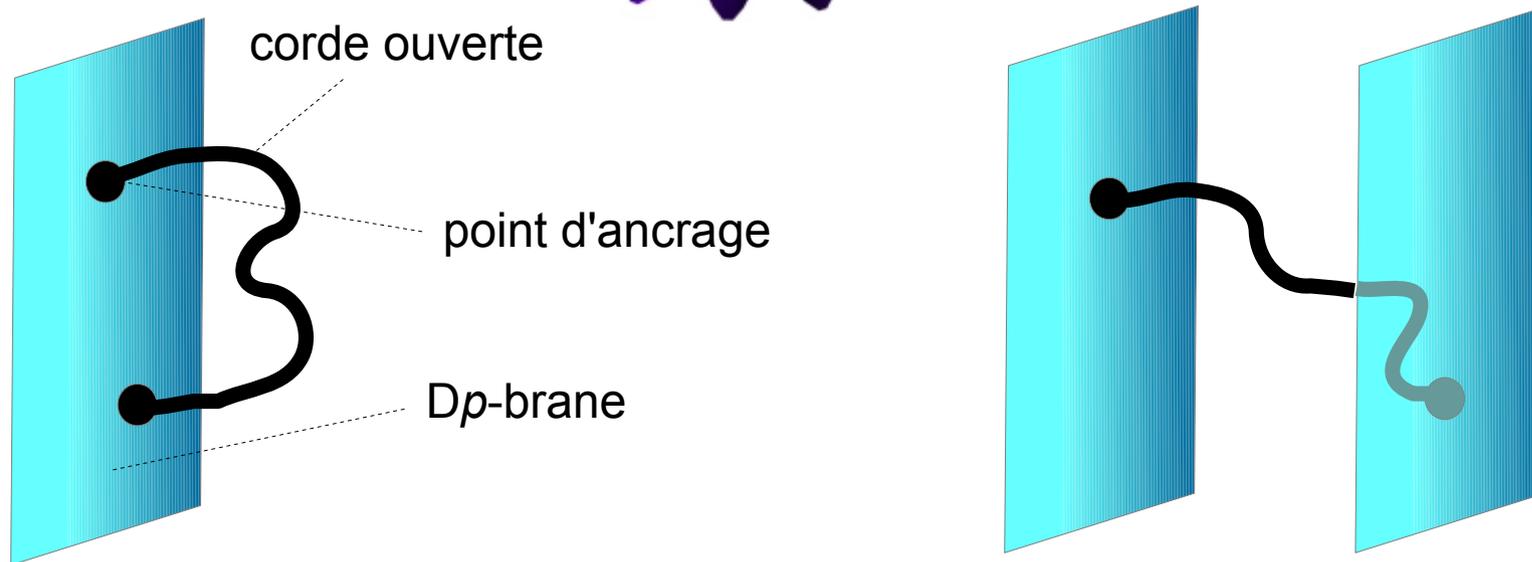


Les branes

L'énergie des « particules » devient l'énergie de vibration des cordes : $E = \hbar\omega$ (ω : fréquence de vibration)

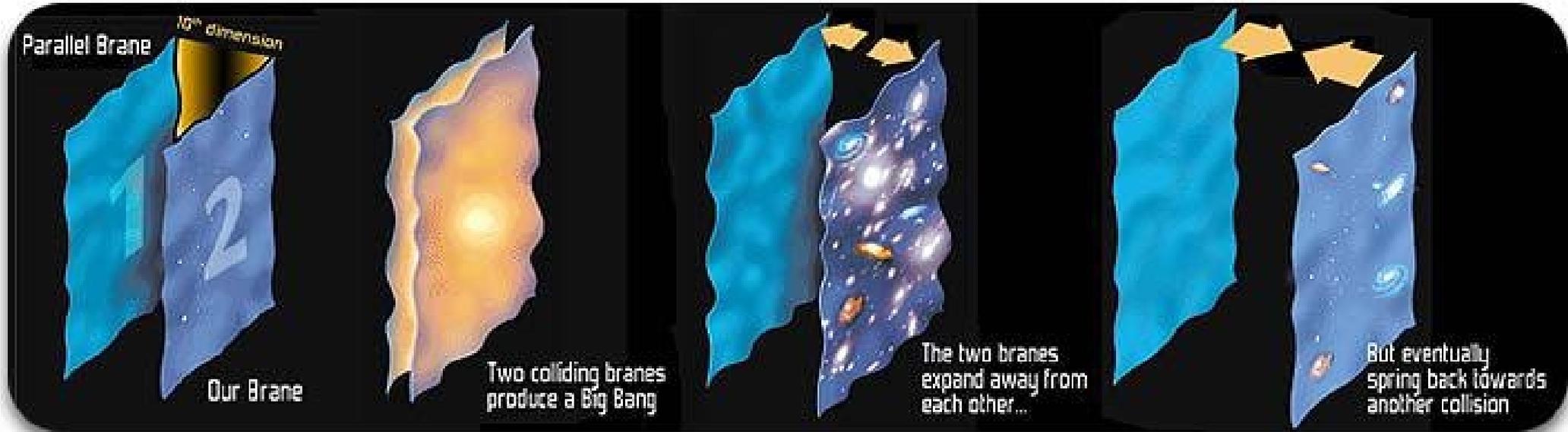


Mais pour vibrer une corde ouverte doit avoir ses extrémités attachées à quelque chose !



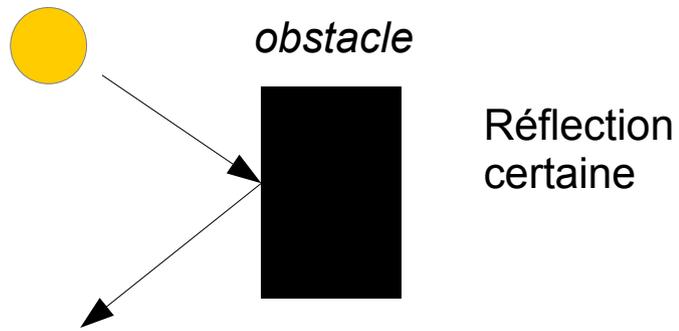
brane : aphérèse de « membrane », 2-brane=membrane, p -brane=brane à p dimensions, ...
D : condition de Dirichlet (condition aux limites mathématique de l'équation des cordes vibrantes)

Cosmologie branaire : l'Univers ekpyrotique

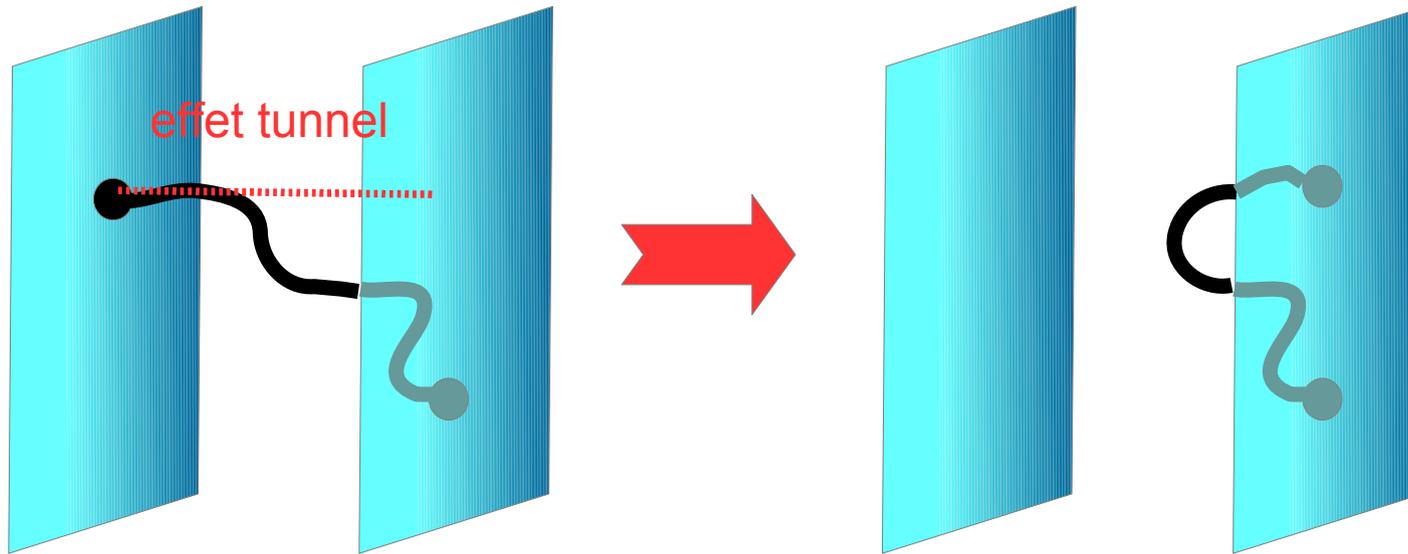
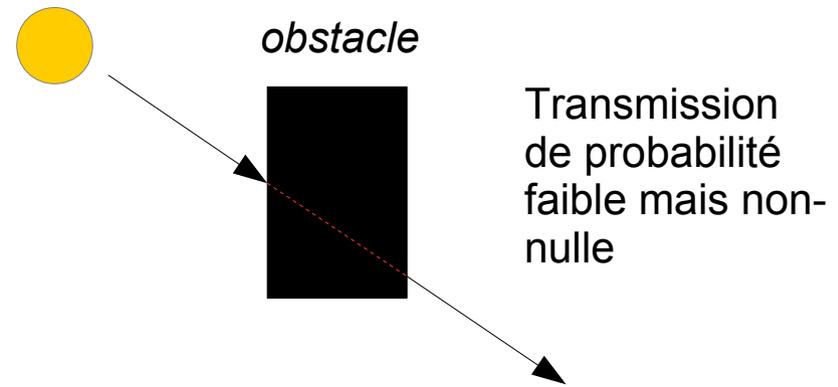


L'effet tunnel

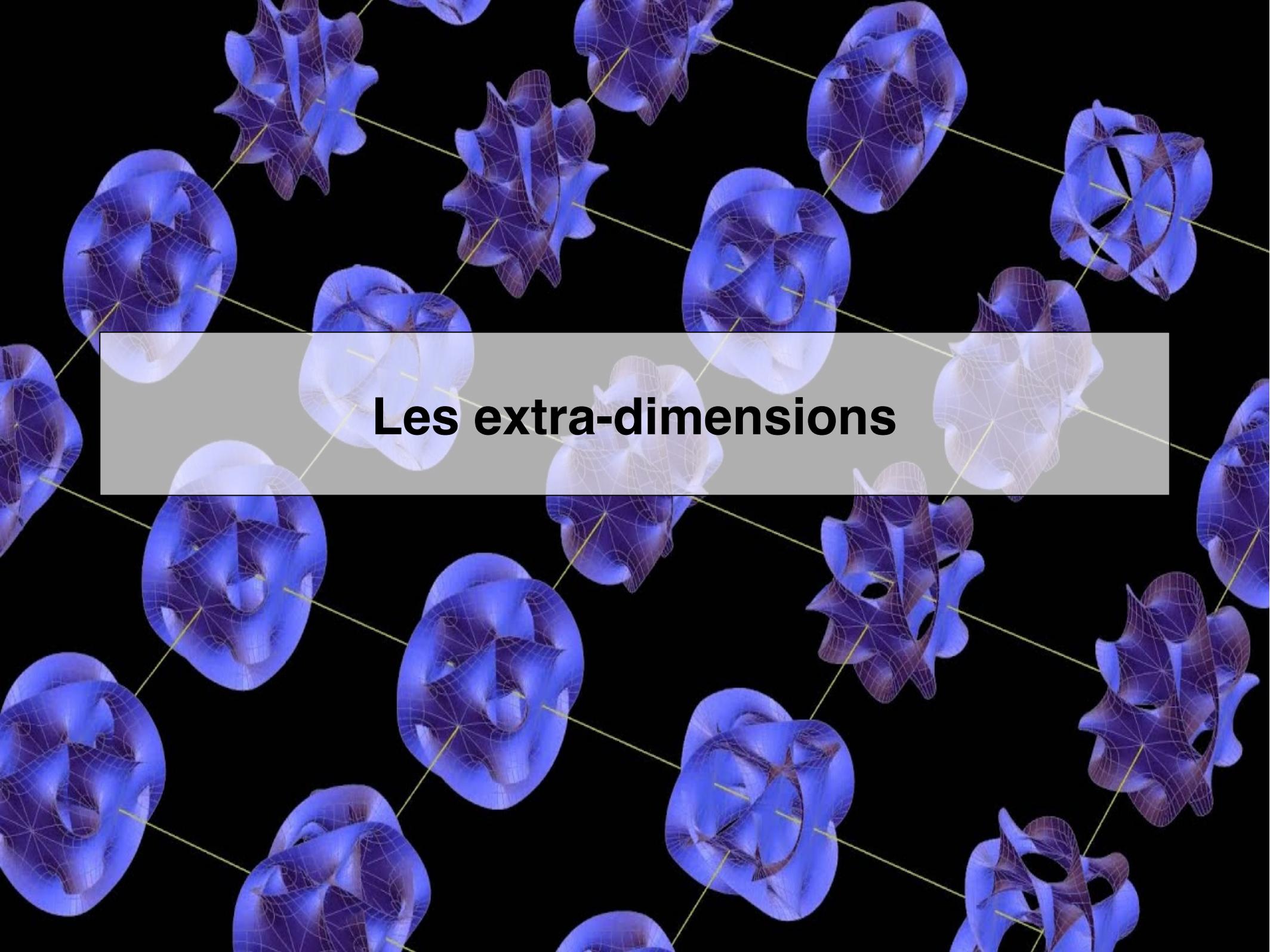
À l'échelle macroscopique :



Aux échelles atomiques et subatomiques :



Disparition
« mystérieuse » de
particules de notre
brane



Les extra-dimensions

Les extradimensions

Pour unir l'électromagnétisme et la gravité, il faut 1 dimension supplémentaire. Mais à l'échelle subatomique (10^{-18}m), l'électromagnétisme et l'interaction nucléaire faible sont indistinguables (modèle de Glashow-Salam-Weinberg). Dans le cadre du modèle GSW il faut **6 dimensions supplémentaires**.



1 dimension ouverte



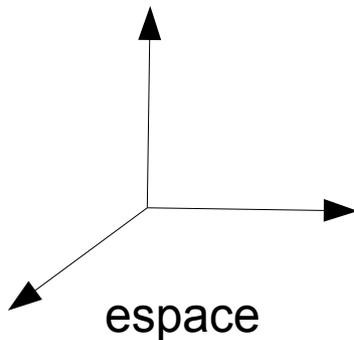
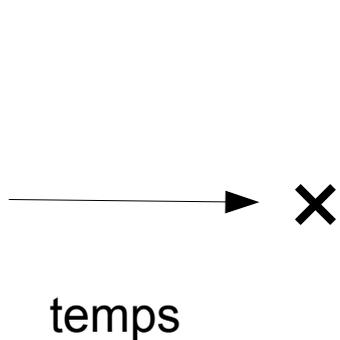
1 dimension fermée



1 dimension fermée + 1 dimension ouverte



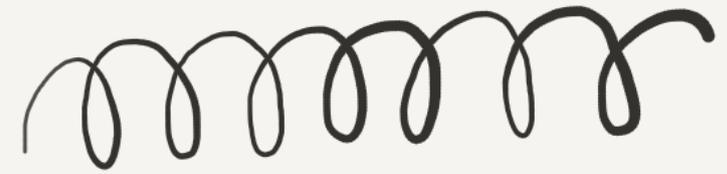
2 dimensions fermées



**Rayon de courbure
des extradimensions
fermées $\sim 10^{-33}\text{cm}$**

La théorie des extradimensions émergentes des fluctuations du vide

Dimension spatiale sans fluctuation

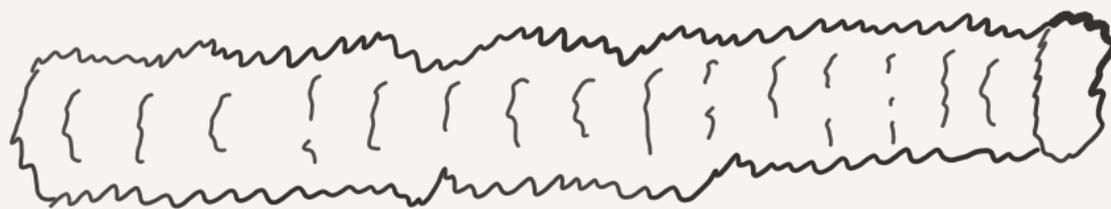


Dimension spatiale avec fluctuations

Fluctuations basses fréquences



Fluctuations hautes fréquences



Dimension spatiale + extradim. avec fluctuations hautes fréquences



Dimension spatiale + extradim.



Fluctuations hautes fréquences

Les fluctuations d'une dimension spatiale engendrent deux extradimensions.

