



LPT Orsay



Comprendre le monde,
construire l'avenir®

Objets astrophysiques compacts en gravité modifiée

Antoine Lehébel

Thèse préparée au Laboratoire de Physique Théorique

sous la direction de Christos Charmousis

15 novembre 2018

Pourquoi modifier la relativité générale ?

La relativité générale

Distances spatio-temporelles mesurées par

$$ds^2 = \textcolor{red}{g}_{\mu\nu}(x^\rho) dx^\mu dx^\nu$$

Métrique $\textcolor{red}{g}_{\mu\nu}$ dynamique et couplée minimalement à la matière ψ :

$$S = S_{\text{gravité}}[\textcolor{red}{g}, \partial \textcolor{red}{g}] + S_{\text{matière}}[\textcolor{red}{g}, \psi, \partial \psi]$$

Pourquoi modifier la relativité générale ?

La relativité générale

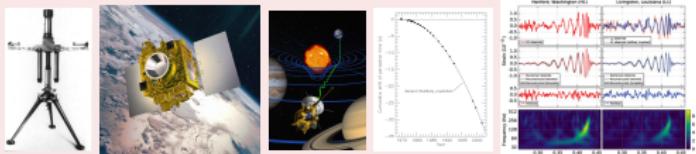
Distances spatio-temporelles mesurées par

$$ds^2 = g_{\mu\nu}(x^\rho) dx^\mu dx^\nu$$

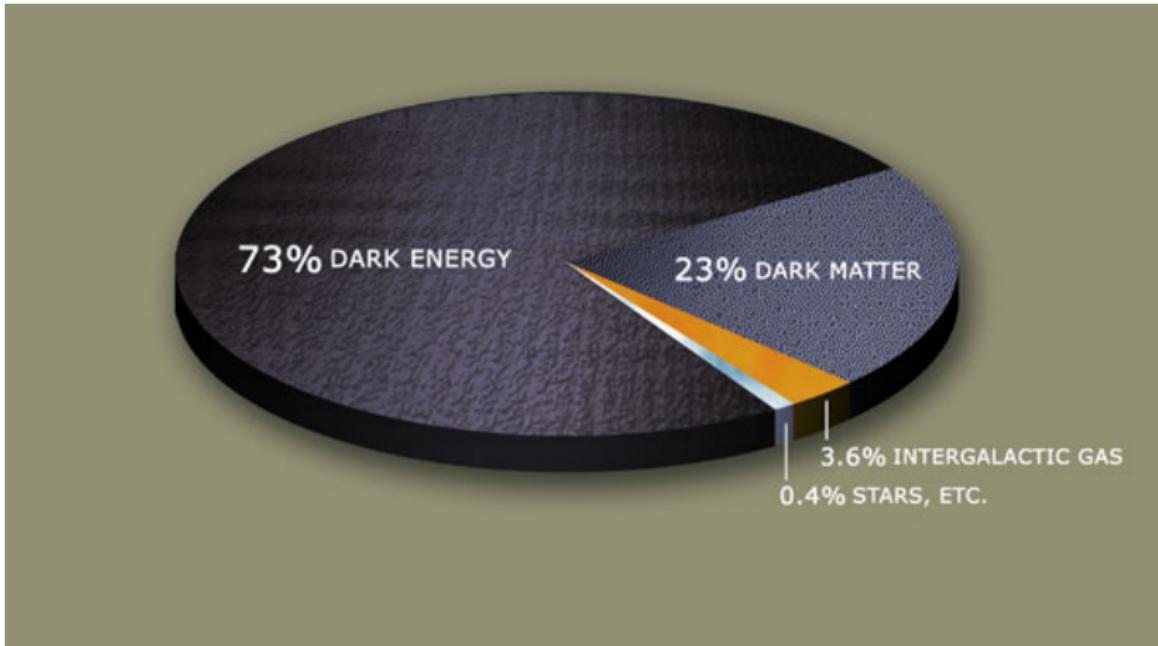
Métrique $g_{\mu\nu}$ dynamique et couplée minimalement à la matière ψ :

$$S = S_{\text{gravité}}[\mathbf{g}, \partial\mathbf{g}] + S_{\text{matière}}[\mathbf{g}, \psi, \partial\psi]$$

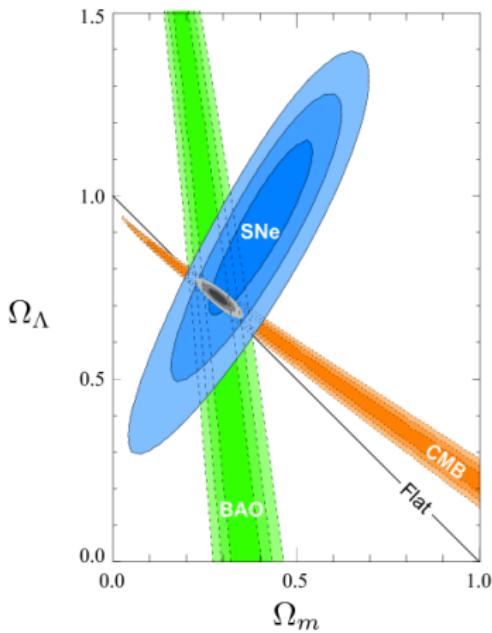
Très nombreux tests

- Sur Terre
 - Système solaire
 - Pulsars binaires
 - Fusion de trous noirs et d'étoiles à neutrons depuis 2015
- 

Matière et énergie noires



L'énergie noire



Explication facile : Λ

$$S_{\text{gravité}}[\mathbf{g}, \partial \mathbf{g}] \longrightarrow S_{\text{gravité}}[\mathbf{g}, \partial \mathbf{g}] + \Lambda$$

Et il existe un candidat naturel pour Λ !

Problème

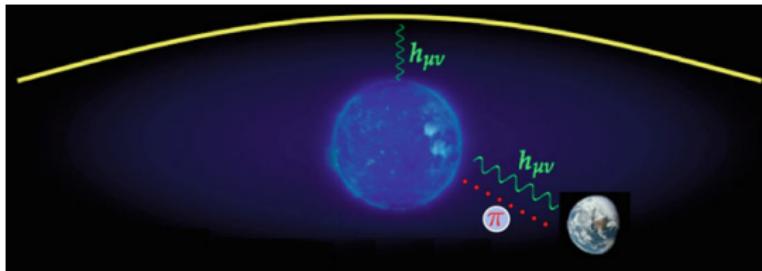
$$\Lambda_{\text{observé}} \simeq 10^{-55} \Lambda_{\text{théorique}}$$

Comment modifier la relativité générale ?

Théories tenseur-scalaire

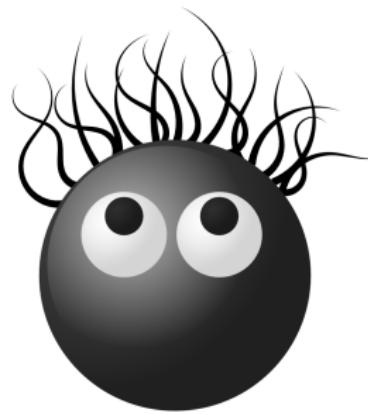
Ajout d'un champ scalaire φ

$$S = S_{\text{gravité}}[\mathbf{g}, \partial\mathbf{g}, \partial\varphi, \partial\dot{\varphi}, \partial\ddot{\varphi}] + S_{\text{matière}}[\mathbf{g}, \psi, \partial\psi]$$



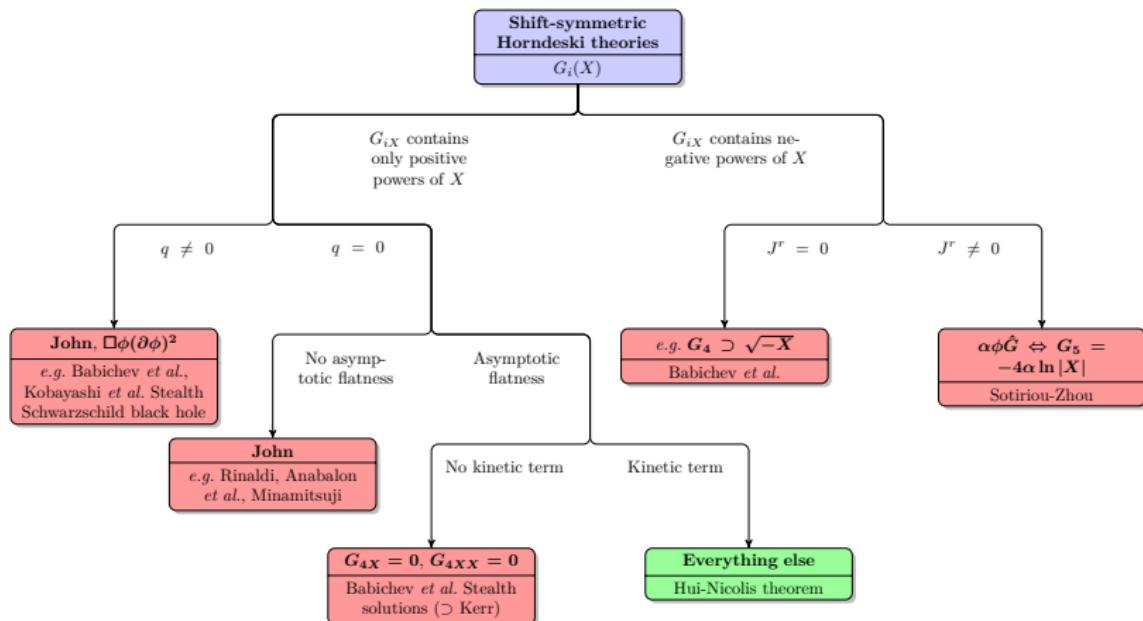
- Plus de liberté qu'avec une constante cosmologique
- (Relativement) simple

Les trous noirs et leur chevelure



- Relativité générale : théorèmes d'absence de chevelure
- Trous noirs décrits par 3 nombres : M , L et Q
- Et pour les théories tenseur-scalaire ?

Classification suivant l'existence ou non de chevelure

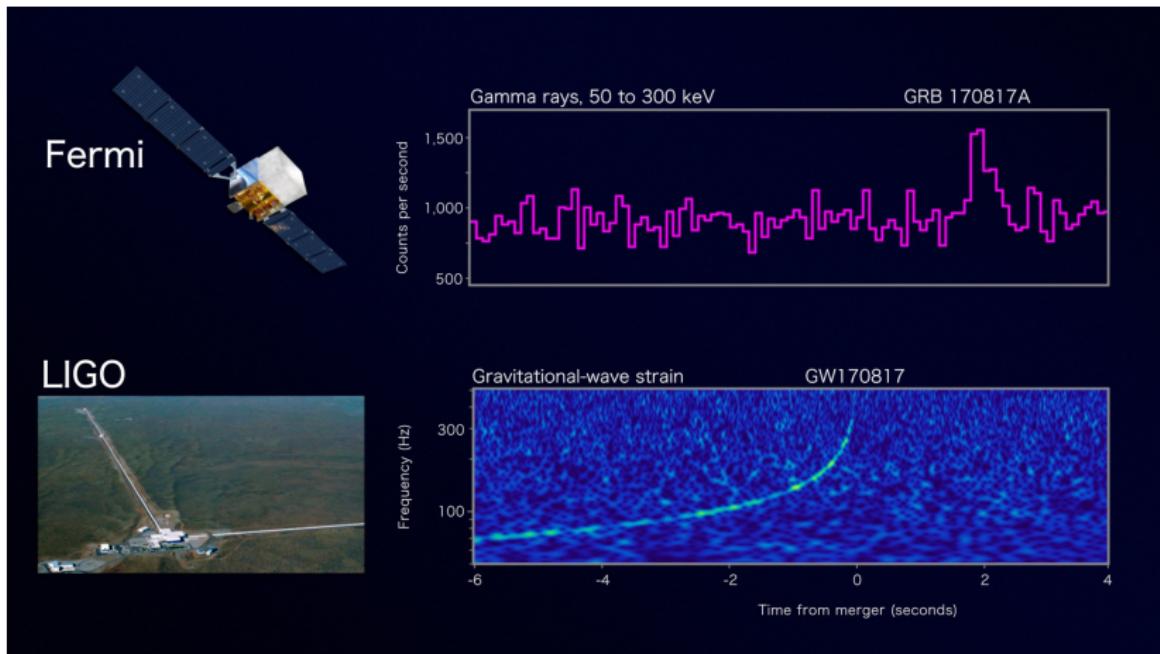


Théories tenseur-scalaire
oooo

Trous noirs
oo

Ondes gravitationnelles
●oo

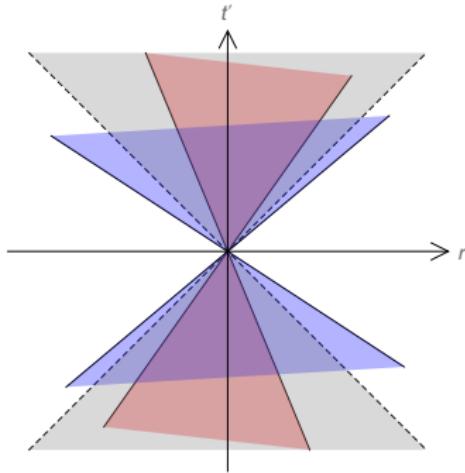
GW170817 : Lumière et gravité voyagent à la même vitesse



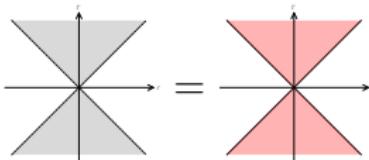
$$|c_{\text{gravité}}/c_{\text{lumière}} - 1| < 10^{-15}$$

Comment caractériser la vitesse des ondes ?

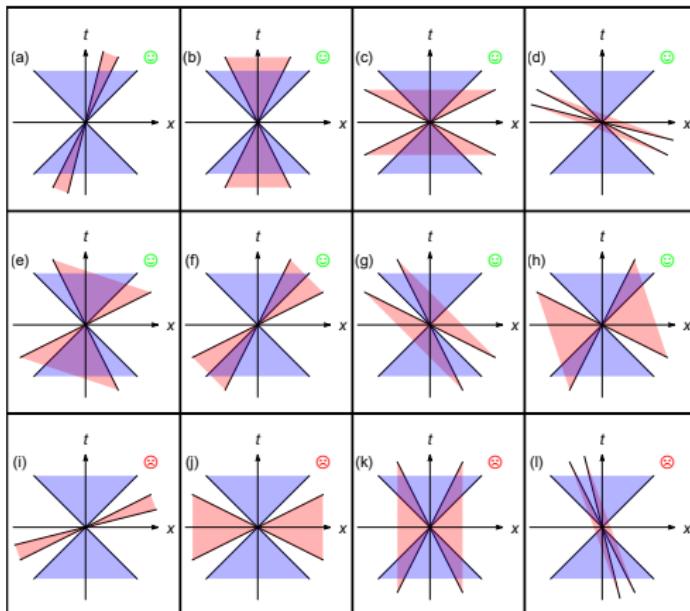
- Localement, propagation le long d'un cône de causalité
- 3 cônes : **métrique = ondes gravitationnelles, scalaire, matière**
(\supset lumière)



- Même cône pour gravité et matière



- Orientations compatibles des cônes métrique et scalaire



Conclusions

- Solutions qui passent les tests du système solaire
- Modèle potentiel pour l'expansion accélérée de l'Univers
- Tri des théories satisfaisant $c_{\text{gravité}} = c_{\text{lumière}}$

Perspectives

- Modèles avec une histoire cosmologique complète ?
- “Problème bien posé” ?

Merci !