Propriétés des cosmologies homogènes en théories tenseur-scalaires

Stéphane Fay

Laboratoire Univers et Théories, CNRS-FRE 2462

Observatoire de Paris-Meudon, F-92195 Meudon Cedex

France

Théorie cosmologique

Une théorie cosmologique est spécifiée par:

- Un Lagrangien décrivant le contenu physique
  $\Rightarrow$ champ scalaire et fluide parfait
- Une métrique décrivant le contenu géométrique
  $\Rightarrow$ modèles homogènes et anisotropes

Contenu physique: champs scalaires

Un champ scalaire, c'est quoi?

Quelques raisons de considérer des champs scalaires:

Contenu physique: champs scalaires

Un champ scalaire, c'est quoi?

Quelques raisons de considérer des champs scalaires:

- Physique des particules : Higgs, supersymétrie

Contenu physique: champs scalaires

Un champ scalaire, c'est quoi?

Quelques raisons de considérer des champs scalaires:

- Physique des particules : Higgs, supersymétrie
- Matière sombre: WIMPS, courbes de rotation galactiques

Contenu physique: champs scalaires

Un champ scalaire, c'est quoi?

Quelques raisons de considérer des champs scalaires:

- Physique des particules : Higgs, supersymétrie
- Matière sombre: WIMPS, courbes de rotation galactiques
- Accélération de l'expansion

Contenu physique: champs scalaires

Un champ scalaire, c'est quoi?

Quelques raisons de considérer des champs scalaires:

- Physique des particules : Higgs, supersymétrie
- Matière sombre: WIMPS, courbes de rotation galactiques
- Accélération de l'expansion
- Problème de la constante cosmologique

Contenu physique: champs scalaires

Un champ scalaire, c’est quoi?

Quelques raisons de considérer des champs scalaires:

- Physique des particules : Higgs, supersymétrie
- Matière sombre: WIMPS, courbes de rotation galactiques
- Accélération de l’expansion
- Problème de la constante cosmologique
- Variation des constantes de la nature

Contenu physique: champs scalaires

Un champ scalaire, c'est quoi?

Quelques raisons de considérer des champs scalaires:

- Physique des particules : Higgs, supersymétrie
- Matière sombre: WIMPS, courbes de rotation galactiques
- Accélération de l'expansion
- Problème de la constante cosmologique
- Variation des constantes de la nature

Contenu physique

Action d'une théorie tenseur-scalaire:

$$S = (16\pi)^{-1} \int [G^{-1}R - (3/2+\omega)\phi^{;\mu}\phi_{,\mu}\phi^{-2} - U]\sqrt{-g}d^4x + S_m$$

Contenu physique

Action d’une théorie tenseur-scalaire:

$$S = (16\pi)^{-1} \int [G^{-1}R - (3/2+\omega)\phi^{;\mu}\phi_{,\mu}\phi^{-2} - U]\sqrt{-g}d^4x + S_m$$

- Scalaire de courbure R

l'Observatoire de Paris LUTH
Laboratoire de l'Univers et de ses Théories

Contenu physique

Action d'une théorie tenseur-scalaire:

$$S = (16\pi)^{-1} \int [G^{-1}R - (3/2+\omega)\phi^{;\mu}\phi_{,\mu}\phi^{-2} - U]\sqrt{-g}d^4x + S_m$$

- Scalaire de courbure R
- Champ scalaire ϕ

Contenu physique

Action d'une théorie tenseur-scalaire:

$$S = (16\pi)^{-1} \int [G^{-1}R - (3/2+\omega)\phi^{,\mu}\phi_{,\mu}\phi^{-2} - U]\sqrt{-g}d^4x + S_m$$

- Scalaire de courbure R
- Champ scalaire ϕ
- Fonction de gravitation G

l'Observatoire de Paris LUTH
Laboratoire de l'Univers et de ses Théories

Contenu physique

Action d'une théorie tenseur-scalaire:

$$S = (16\pi)^{-1} \int [G^{-1}R - (3/2+\omega)\phi^{;\mu}\phi_{,\mu}\phi^{-2} - U]\sqrt{-g}d^4x + S_m$$

- Scalaire de courbure R
- Champ scalaire ϕ
- Fonction de gravitation G
- Fonction de Brans-Dicke ω et potentiel U

l'Observatoire de Paris LUTH
Laboratoire de l'Univers et de ses Théories

Contenu physique

Action d'une théorie tenseur-scalaire:

$$S = (16\pi)^{-1} \int [G^{-1}R - (3/2+\omega)\phi^{;\mu}\phi_{,\mu}\phi^{-2} - U]\sqrt{-g}d^4x + S_m$$

- Scalaire de courbure R
- Champ scalaire ϕ
- Fonction de gravitation G
- Fonction de Brans-Dicke ω et potentiel U
- S_m: action d'un fluide parfait

l'Observatoire de Paris LUTH

Laboratoire de l'Univers et de ses Théories

Contenu physique

Action d'une théorie tenseur-scalaire:

$$S = (16\pi)^{-1} \int [G^{-1}R - (3/2+\omega)\phi^{;\mu}\phi_{,\mu}\phi^{-2} - U]\sqrt{-g}d^4x + S_m$$

- Scalaire de courbure R
- Champ scalaire ϕ
- Fonction de gravitation G
- Fonction de Brans-Dicke ω et potentiel U
- S_m: action d'un fluide parfait

l'Observatoire de Paris LUTH

Laboratoire de l'Univers et de ses Théories

Contenu géométrique: FLRW

- Modèles homogènes et isotropes : FLRW
  $ds^2 = -dt^2 + \frac{a(t)^2}{1-kr^2}(dr^2 + r^2 d\Omega^2)$

  - Homogénéïté et expansion isotrope
  - Rayonnement de fond isotrope (à 10^{-5})

  mais:

  - Modèles très symétriques

l'Observatoire de Paris — LUTH

Laboratoire de l'Univers et de ses Théories

Contenu géométrique: FLRW

- Modèles homogènes et isotropes : FLRW

$$ds^2 = -dt^2 + \frac{a(t)^2}{1-kr^2}(dr^2 + r^2 d\Omega^2)$$

  - Homogénéïté et expansion isotrope
  - Rayonnement de fond isotrope (à 10^{-5})

  mais:

  - Modèles très symétriques

$\Longrightarrow$ Suppression de l'hypothèse d'isotropie

l'Observatoire de Paris — LUTH
Laboratoire de l'Univers et de ses Théories

Contenu géométrique: Bianchi

- Modèles spatialement homogènes de Bianchi
  $ds^2 = -dt^2 + a(t)(\omega^1)^2 + b(t)(\omega^2)^2 + c(t)(\omega^3)^2$
  - Expansion anisotrope: $a(t) \neq b(t) \neq c(t)$

l'Observatoire de Paris — LUTH
Laboratoire de l'Univers et de ses Théories

Contenu géométrique: Bianchi

- Modèles spatialement homogènes de Bianchi
  $ds^2 = -dt^2 + a(t)(\omega^1)^2 + b(t)(\omega^2)^2 + c(t)(\omega^3)^2$

  - Expansion anisotrope: $a(t) \neq b(t) \neq c(t)$
  - 9 types de Bianchi: ω^i
    - Exemple: modèle de Bianchi I plat
      $\omega^1 = dx, \omega^2 = dy, \omega^3 = dz$

l'Observatoire de Paris LUTH

Laboratoire de l'Univers et de ses Théories

Contenu géométrique: Bianchi

- Modèles spatialement homogènes de Bianchi
  $ds^2 = -dt^2 + a(t)(\omega^1)^2 + b(t)(\omega^2)^2 + c(t)(\omega^3)^2$
  - Expansion anisotrope: $a(t) \neq b(t) \neq c(t)$
  - 9 types de Bianchi: ω^i
    - Exemple: modèle de Bianchi I plat
      $\omega^1 = dx, \omega^2 = dy, \omega^3 = dz$
  - Contient les solutions isotropiques des modèles FLRW

Etude de l’isotropisation

<u>Résultats attendus</u>

1. Contraindre les champs scalaires

Etude de l’isotropisation

Résultats attendus

1. Contraindre les champs scalaires
2. Connaître l’état asymptotique de l’Univers

Laboratoire de l'Univers et de ses Théories

Etude de l'isotropisation

Résultats attendus

1. Contraindre les champs scalaires
2. Connaître l'état asymptotique de l'Univers

Méthodes utilisées

Etude de l'isotropisation

Résultats attendus

1. Contraindre les champs scalaires
2. Connaître l'état asymptotique de l'Univers

Méthodes utilisées

1. Formalisme Hamiltonien

l'Observatoire de Paris — LUTH

Laboratoire de l'Univers et de ses Théories

Etude de l'isotropisation

Résultats attendus

1. Contraindre les champs scalaires
2. Connaître l'état asymptotique de l'Univers

Méthodes utilisées

1. Formalisme Hamiltonien
2. Etude des systèmes dynamiques

Hypothèses et contexte

- 3 classes d'isotropisation: classe 1

Hypothèses et contexte

- 3 classes d'isotropisation: classe 1
- $U > 0$ et $3 + 2\omega > 0$

l'Observatoire de Paris LUTH
Laboratoire de l'Univers et de ses Théories

Hypothèses et contexte

- 3 classes d'isotropisation: classe 1
- $U > 0$ et $3 + 2\omega > 0$
- Convergence suffisamment rapide vers l'isotropie

Hypothèses et contexte

- 3 classes d'isotropisation: classe 1
- $U > 0$ et $3 + 2\omega > 0$
- Convergence suffisamment rapide vers l'isotropie
- $G = 1$

Résultats pour Bianchi I

On définit:

$$\ell = \frac{\phi U_\phi}{U\sqrt{3+2\omega}}$$

$$\Omega_m \propto \frac{\rho}{H^2}$$

	Conditions nécessaires à l'isotropie
$\Omega_m = 0$	$\ell^2 < 3$
$\Omega_m \to 0$	$\ell^2 < \frac{3\gamma}{2}$
$\Omega_m \not\to 0$	$\ell^2 > \frac{3\gamma}{2}$

Résultats pour Bianchi I

Soit R le facteur d'échelle des modèles FLRW. Lors de l'isotropie a, b et c tendent vers R

	Comportements asymptotiques
$\Omega_m = 0$	if $\ell^2 \not\to 0$, $R \longrightarrow t^{\ell^{-2}}$ et $U \longrightarrow t^{-2}$ if $\ell^2 \to 0$, $R \longrightarrow e^t$ et $U \longrightarrow const$
$\Omega_m \longrightarrow 0$	idem
$\Omega_m \not\to 0$	$R \longrightarrow t^{\frac{2}{3\gamma}}$ et $U \longrightarrow t^{-2}$

Résultats pour Bianchi I

Soient p_ϕ et ρ_ϕ, la pression et
la densité du champ scalaire d'équation d'état $p_\phi = w(\phi)\rho_\phi$.

	Equation d'état	Quintessence
$\Omega_m = 0$	$p_\phi = (\frac{2}{3}\ell^2 - 1)\rho_\phi$	Oui si $\ell^2 < 3/2$
$\Omega_m \to 0$	idem	idem
$\Omega_m \not\to 0$	$p_\phi = (\gamma - 1)\rho_\phi$	Non

WMAP $\Rightarrow \ell^2 < 0.33$

l'Observatoire de Paris | LUTH

Laboratoire de l'Univers et de ses Théories

Résultats

Pour les autres modèles de Bianchi sans fluide parfait:

- $\ell^2 < 1$
- Accéleration de l'expansion
- Univers plat

l'Observatoire de Paris LUTH

Laboratoire de l'Univers et de ses Théories

Conclusion

- Contrainte sur le champ scalaire

Conclusion

- Contrainte sur le champ scalaire
- Les fonctions métriques tendent vers des puissances ou des exponentielles du temps propre et le potentiel vers respectivement t^{-2} ou une constante.

l'Observatoire de Paris LUTH
Laboratoire de l'Univers et de ses Théories

Conclusion

- Contrainte sur le champ scalaire
- Les fonctions métriques tendent vers des puissances ou des exponentielles du temps propre et le potentiel vers respectivement t^{-2} ou une constante.
- La courbure favorise l'accélération tardive de l'expansion

Conclusion

- Contrainte sur le champ scalaire
- Les fonctions métriques tendent vers des puissances ou des exponentielles du temps propre et le potentiel vers respectivement t^{-2} ou une constante.
- La courbure favorise l'accélération tardive de l'expansion
- L'univers s'applatit asymptotiquement.

Conclusion

- Contrainte sur le champ scalaire
- Les fonctions métriques tendent vers des puissances ou des exponentielles du temps propre et le potentiel vers respectivement t^{-2} ou une constante.
- La courbure favorise l'accélération tardive de l'expansion
- L'univers s'applatit asymptotiquement.
- Les champs scalaires sont compatibles avec la quintessence.

l'Observatoire de Paris — LUTH
Laboratoire de l'Univers et de ses Théories