

Containtes Cosmologiques déduites des Effets de Lentille Gravitationnelle dans les Amas de Galaxies

Soutenance de Thèse

Ghislain GOLSE

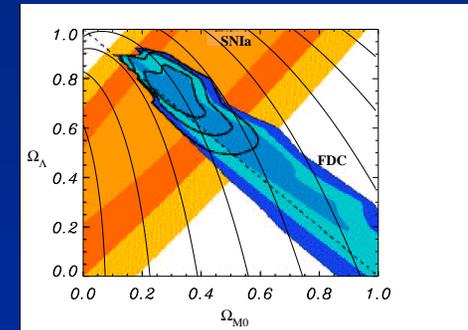
Toulouse, le 16 Octobre 2002

Directeurs de thèse : Geneviève Soucail et Jean-Paul Kneib
Laboratoire d'Astrophysique de l'Observatoire Midi-Pyrénées
14, av. E.-Belin 31400 Toulouse



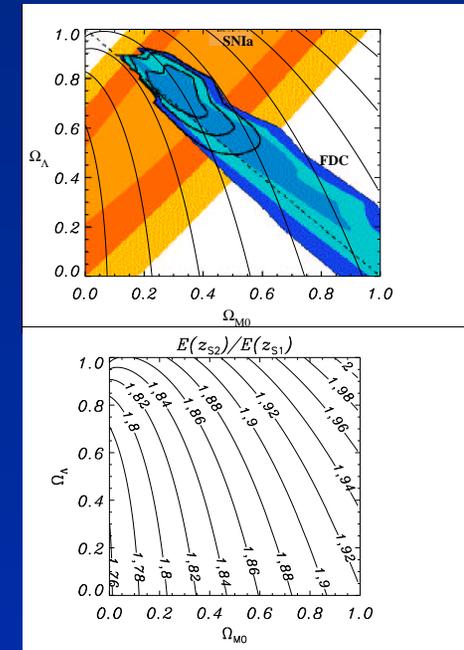
Plan

- Introduction



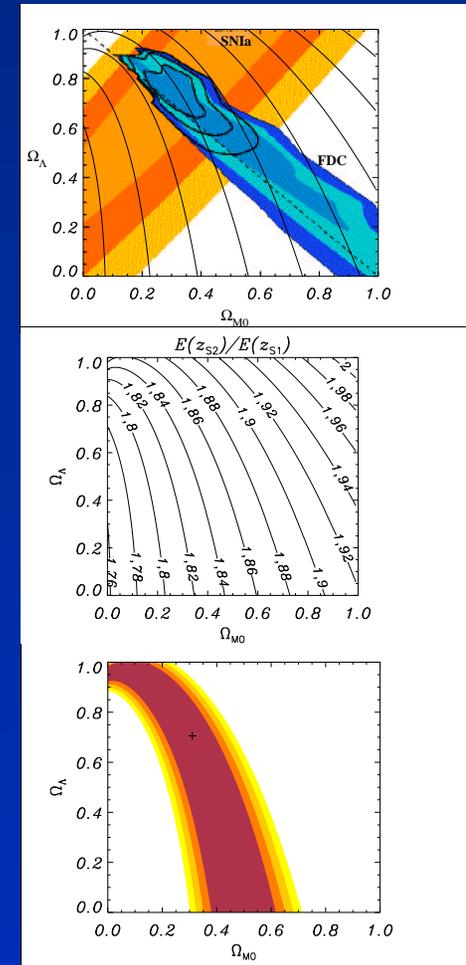
Plan

- Introduction
- Influence de la cosmologie sur la formation des images



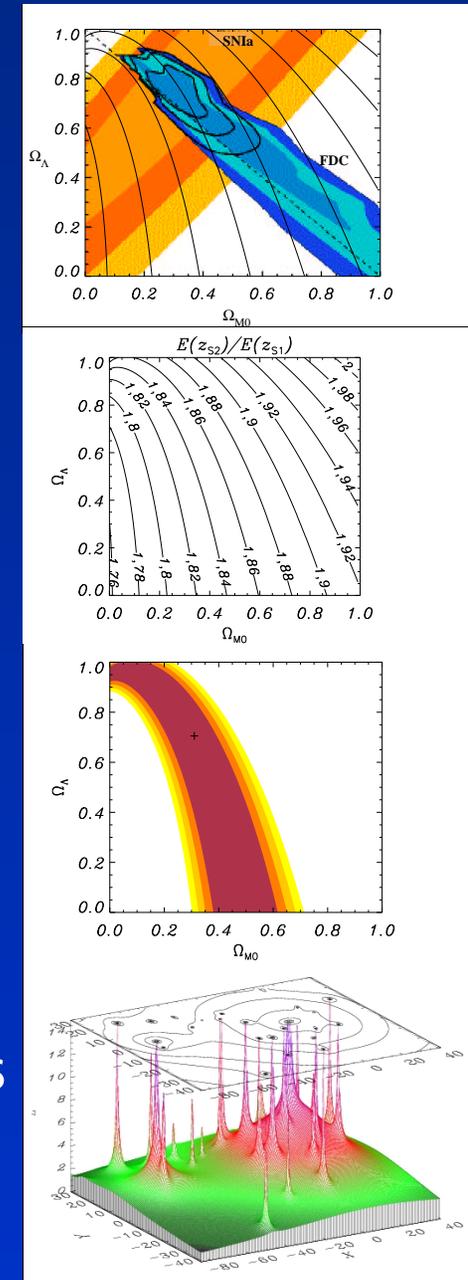
Plan

- Introduction
- Influence de la cosmologie sur la formation des images
- Contraintes cosmologiques : simulations numériques



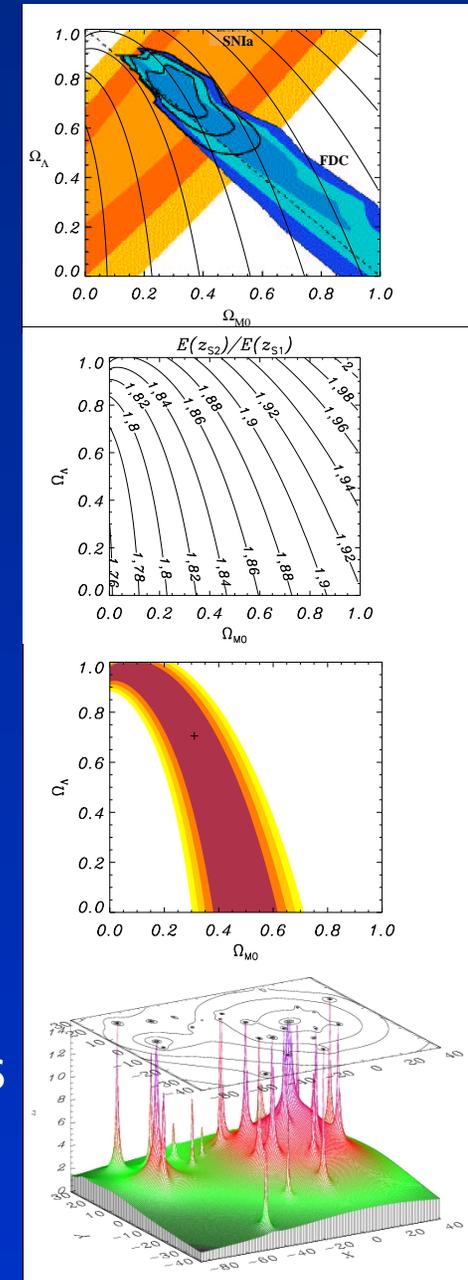
Plan

- Introduction
- Influence de la cosmologie sur la formation des images
- Contraintes cosmologiques : simulations numériques
- Applications à des amas-lentilles observés

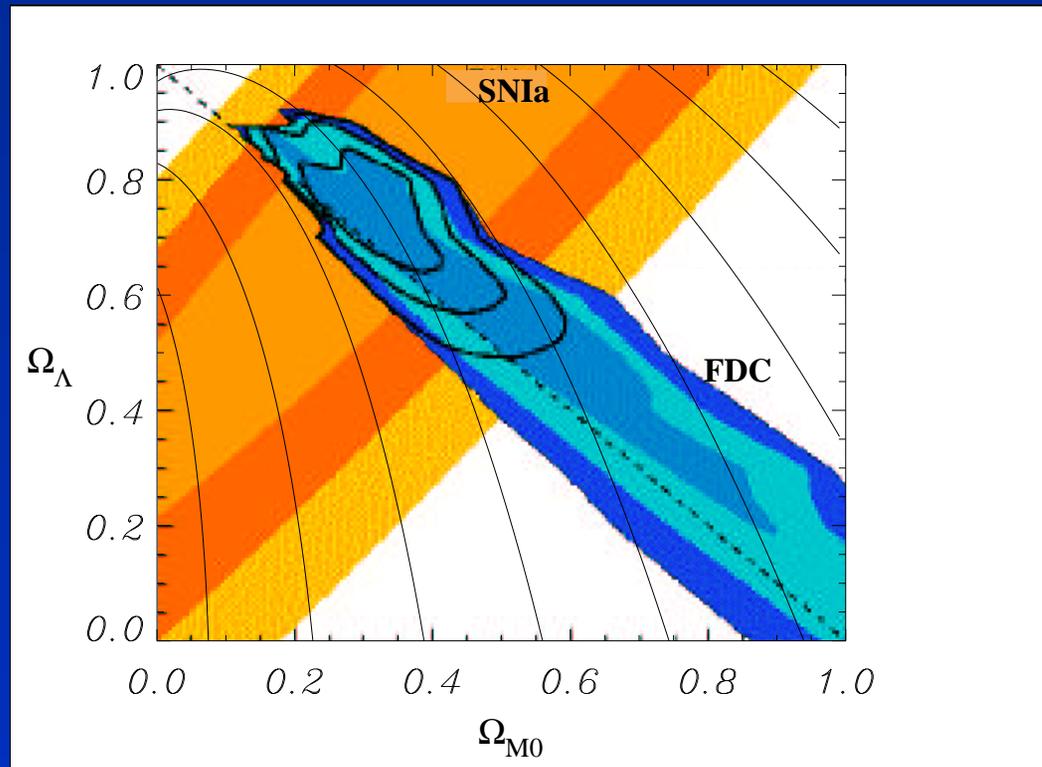


Plan

- Introduction
- Influence de la cosmologie sur la formation des images
- Contraintes cosmologiques : simulations numériques
- Applications à des amas-lentilles observés
- Conclusion



Introduction



Jaffe et al. (2001) *Phys. Rev. Lett.* **86**, 3475

Paramètres cosmologiques

- Cadre cosmologique
 - ★ Relativité Générale
 - ★ Principe Cosmologique
 - ★ Métrique de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker

$$\left(\frac{\dot{R}}{R}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3} (\rho_M + \rho_Q) + \frac{c^2}{3} \Lambda - \frac{c^2}{R^2} k$$

- Paramètres cosmologiques

- ★ densité de matière $\Omega_{M0} = \rho_{M0} / \rho_{\text{crit}}$ $\rho_{\text{crit}} = \frac{3 H_0^2}{8\pi G}$
- ★ constante cosmologique $\Omega_\Lambda = \Lambda c^2 / (3 H_0^2)$
- ★ quintessence : paramètre $w = P_Q / \rho_{Q0}$, densité $\Omega_{Q0} = \frac{\rho_{Q0}}{\rho_{\text{crit}}}$

- Importance

- ★ ils donnent la géométrie et la dynamique de l'Univers
- ★ et précisent le scénario de formation des structures

Paramètres cosmologiques

- Cadre cosmologique
 - ★ Relativité Générale
 - ★ Principe Cosmologique
 - ★ Métrique de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker

$$\left(\frac{\dot{R}}{R}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3} (\rho_M + \rho_Q) + \frac{c^2}{3} \Lambda - \frac{c^2}{R^2} k$$

- Paramètres cosmologiques

- ★ densité de matière $\Omega_{M0} = \rho_{M0}/\rho_{\text{crit}}$ $\rho_{\text{crit}} = \frac{3 H_0^2}{8\pi G}$
- ★ constante cosmologique $\Omega_\Lambda = \Lambda c^2 / (3 H_0^2)$
- ★ quintessence : paramètre $w = P_Q/\rho_{Q0}$, densité $\Omega_{Q0} = \frac{\rho_{Q0}}{\rho_{\text{crit}}}$

- Importance

- ★ ils donnent la géométrie et la dynamique de l'Univers
- ★ et précisent le scénario de formation des structures

Paramètres cosmologiques

- Cadre cosmologique
 - ★ Relativité Générale
 - ★ Principe Cosmologique
 - ★ Métrique de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker

$$\left(\frac{\dot{R}}{R}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3} (\rho_M + \rho_Q) + \frac{c^2}{3} \Lambda - \frac{c^2}{R^2} k$$

- Paramètres cosmologiques

- ★ densité de matière $\Omega_{M0} = \rho_{M0} / \rho_{\text{crit}}$ $\rho_{\text{crit}} = \frac{3 H_0^2}{8\pi G}$
- ★ constante cosmologique $\Omega_\Lambda = \Lambda c^2 / (3 H_0^2)$
- ★ quintessence : paramètre $w = P_Q / \rho_{Q0}$, densité $\Omega_{Q0} = \frac{\rho_{Q0}}{\rho_{\text{crit}}}$

- **Importance**

- ★ ils donnent la géométrie et la dynamique de l'Univers
- ★ et précisent le scénario de formation des structures

Paramètres cosmologiques

- Cadre cosmologique
 - ★ Relativité Générale
 - ★ Principe Cosmologique
 - ★ Métrique de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker

$$\left(\frac{\dot{R}}{R}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3} (\rho_M + \rho_Q) + \frac{c^2}{3} \Lambda - \frac{c^2}{R^2} k$$

- Paramètres cosmologiques

- ★ densité de matière $\Omega_{M0} = \rho_{M0} / \rho_{\text{crit}}$ $\rho_{\text{crit}} = \frac{3 H_0^2}{8\pi G}$
- ★ constante cosmologique $\Omega_\Lambda = \Lambda c^2 / (3 H_0^2)$
- ★ quintessence : paramètre $w = P_Q / \rho_{Q0}$, densité $\Omega_{Q0} = \frac{\rho_{Q0}}{\rho_{\text{crit}}}$

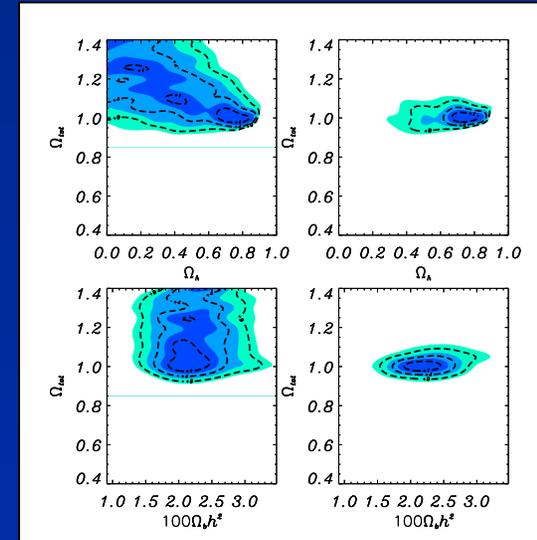
- Importance

- ★ ils donnent la géométrie et la dynamique de l'Univers
- ★ et précisent le scénario de formation des structures

Contraintes cosmologiques actuelles

- Anisotropies du Fond Diffus
Cosmologique \Rightarrow **Univers plat**

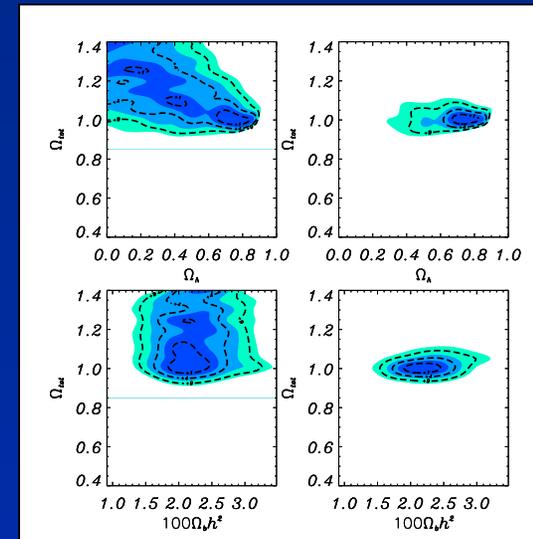
Benoît et al. (2002), astro-ph/0210306



Contraintes cosmologiques actuelles

- Anisotropies du Fond Diffus Cosmologique \Rightarrow **Univers plat**

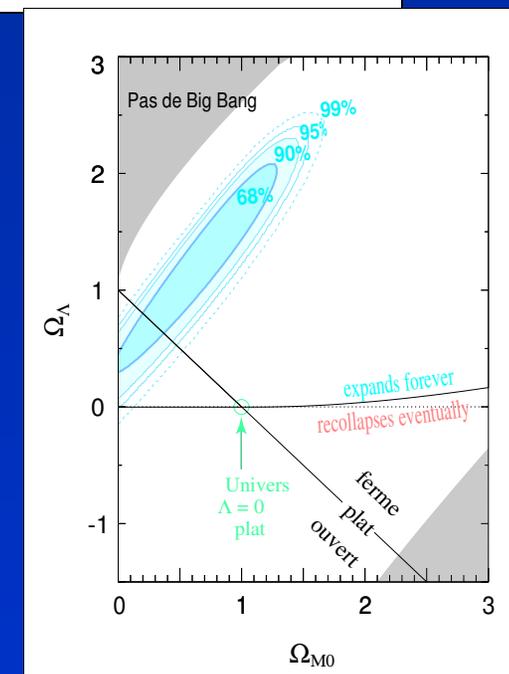
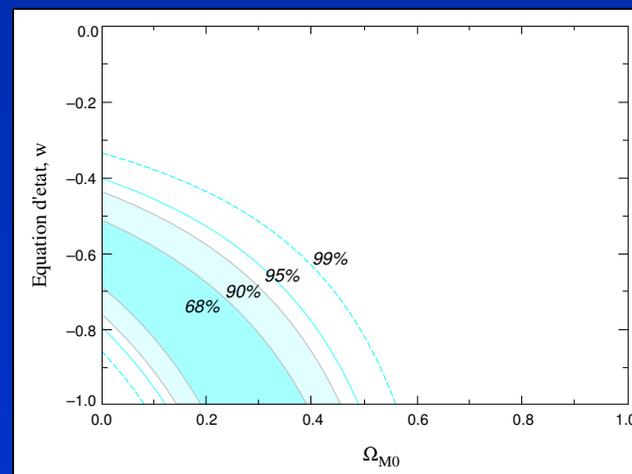
Benoît et al. (2002), astro-ph/0210306



- Supernovæ la distantes \Rightarrow **Univers en accélération**

Perlmutter et al. (1999)

ApJ **517**, 565



Amas de galaxies : généralités

- Objets gravitationnellement liés les plus massifs de l'Univers
 - ★ formation récente ($z \lesssim 1$)
 - ★ $M \simeq 10^{14}/10^{15} M_{\odot}$
 - ★ quelques centaines de galaxies
 - ★ puits de potentiel de matière noire
- Intérêt cosmologique
 - ★ distribution de la densité des amas suivant leur masse (fonction de masse)
 - ★ structure interne de ces halos (profil de masse)

Amas de galaxies : généralités

- Objets gravitationnellement liés les plus massifs de l'Univers
 - ★ formation récente ($z \lesssim 1$)
 - ★ $M \simeq 10^{14}/10^{15} M_{\odot}$
 - ★ quelques centaines de galaxies
 - ★ puits de potentiel de matière noire
- Intérêt cosmologique
 - ★ distribution de la densité des amas suivant leur masse (fonction de masse)
 - ★ structure interne de ces halos (profil de masse)

Amas de galaxies : généralités

- Objets gravitationnellement liés les plus massifs de l'Univers
 - ★ formation récente ($z \lesssim 1$)
 - ★ $M \simeq 10^{14}/10^{15} M_{\odot}$
 - ★ quelques centaines de galaxies
 - ★ puits de potentiel de matière noire
- Intérêt cosmologique
 - ★ distribution de la densité des amas suivant leur masse (fonction de masse)
 - ★ structure interne de ces halos (profil de masse)

Amas de galaxies : profil de masse

- Théorie : singularité centrale (SIS) ou cœur plat (King)

Amas de galaxies : profil de masse

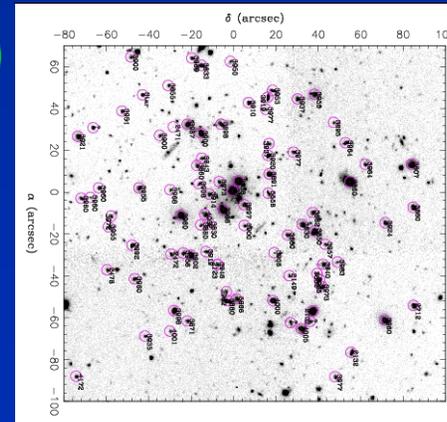
- Théorie : singularité centrale (SIS) ou cœur plat (King)
- Simulations numériques : $\rho \propto \frac{1}{r/r_c(1+r/r_c)^2}$ (NFW 1995), $\rho \propto \frac{1}{r^{3/2}}$ (Moore 1999)

Amas de galaxies : profil de masse

- Théorie : singularité centrale (SIS) ou cœur plat (King)
- Simulations numériques : $\rho \propto \frac{1}{r/r_c(1+r/r_c)^2}$ (NFW 1995), $\rho \propto \frac{1}{r^{3/2}}$ (Moore 1999)
- Observations

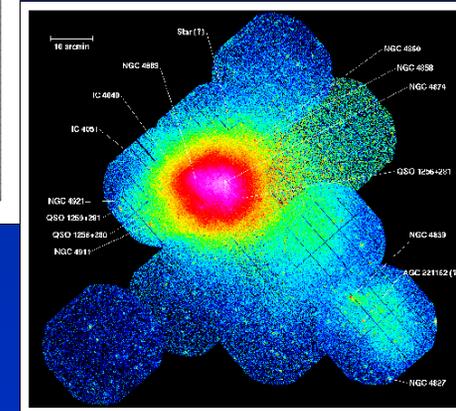
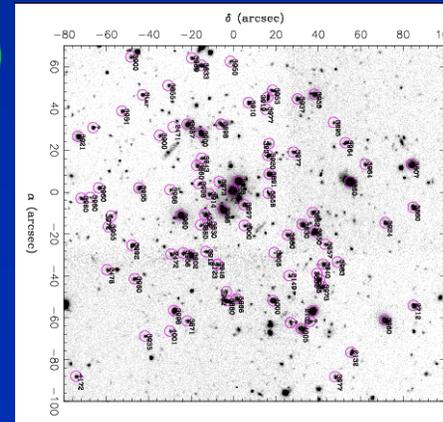
Amas de galaxies : profil de masse

- Théorie : singularité centrale (SIS) ou cœur plat (King)
- Simulations numériques : $\rho \propto \frac{1}{r/r_c(1+r/r_c)^2}$ (NFW 1995), $\rho \propto \frac{1}{r^{3/2}}$ (Moore 1999)
- Observations
 - ★ dynamique des galaxies
Czoske et al. (2001)



Amas de galaxies : profil de masse

- Théorie : singularité centrale (SIS) ou cœur plat (King)
- Simulations numériques : $\rho \propto \frac{1}{r/r_c(1+r/r_c)^2}$ (NFW 1995), $\rho \propto \frac{1}{r^{3/2}}$ (Moore 1999)
- Observations
 - ★ dynamique des galaxies
Czoske et al. (2001)
 - ★ observations du gaz X
Briel et al. (2001)



Amas de galaxies : profil de masse

- Théorie : singularité centrale (SIS) ou cœur plat (King)
- Simulations numériques : $\rho \propto \frac{1}{r/r_c(1+r/r_c)^2}$ (NFW

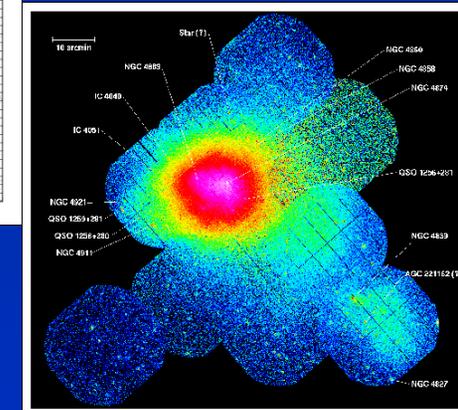
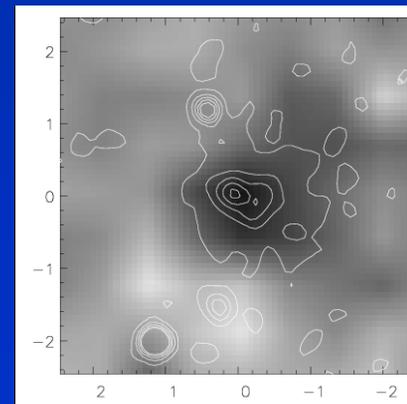
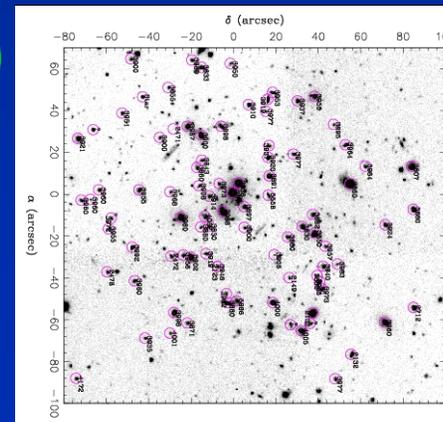
1995), $\rho \propto \frac{1}{r^{3/2}}$ (Moore 1999)

- Observations

- ★ dynamique des galaxies
Czoske et al. (2001)

- ★ observations du gaz X
Briel et al. (2001)

- ★ effet Sunyaev Zeldovich
Pointecouteau et al. (2002)



Amas de galaxies : profil de masse

- Théorie : singularité centrale (SIS) ou cœur plat (King)
- Simulations numériques : $\rho \propto \frac{1}{r/r_c(1+r/r_c)^2}$ (NFW

1995), $\rho \propto \frac{1}{r^{3/2}}$ (Moore 1999)

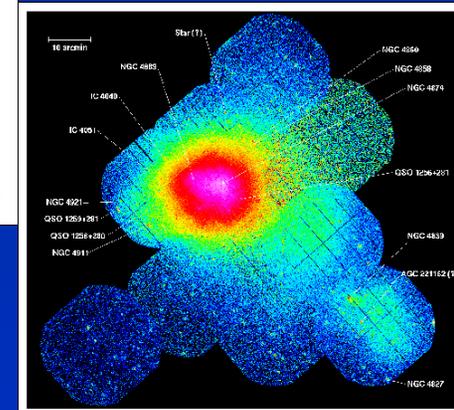
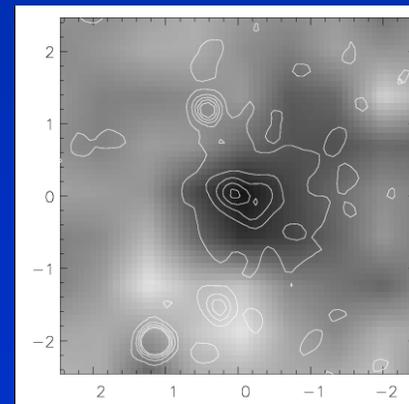
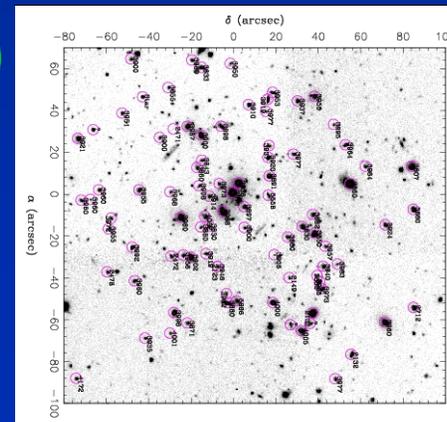
- Observations

- ★ dynamique des galaxies
Czoske et al. (2001)

- ★ observations du gaz X
Briel et al. (2001)

- ★ effet Sunyaev Zeldovich
Pointecouteau et al. (2002)

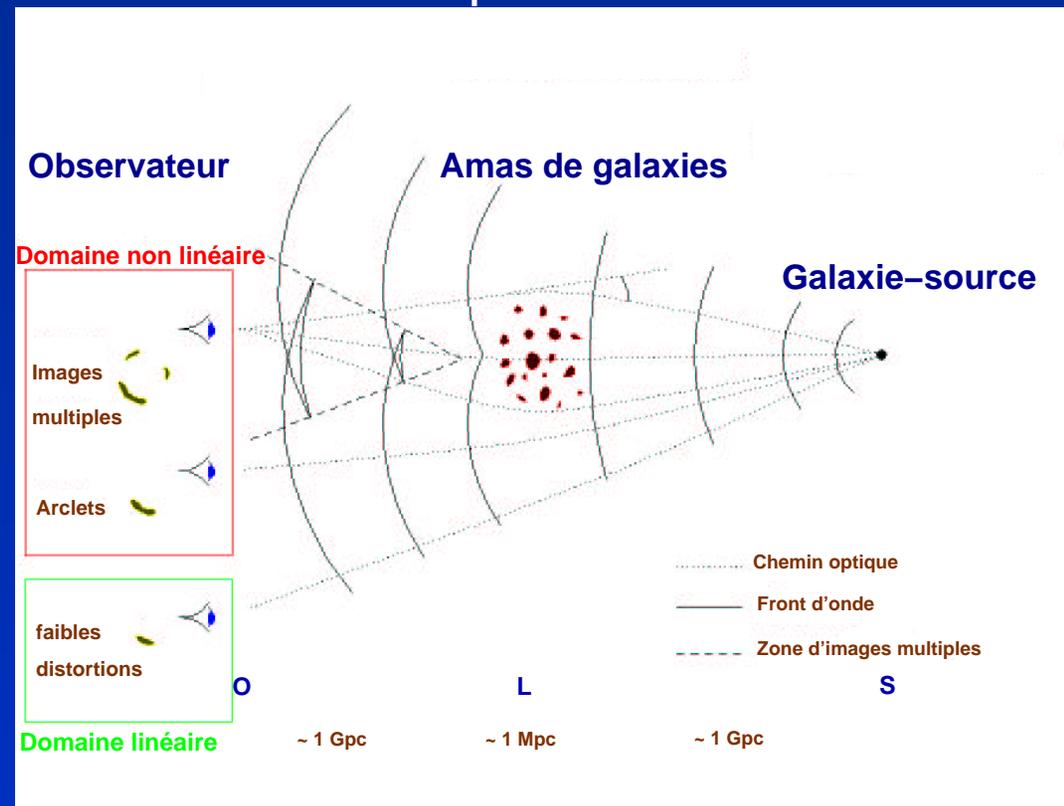
- ★ lentilles gravitationnelles



Lentilles gravitationnelles

- Déformations locales d'une source par une lentille

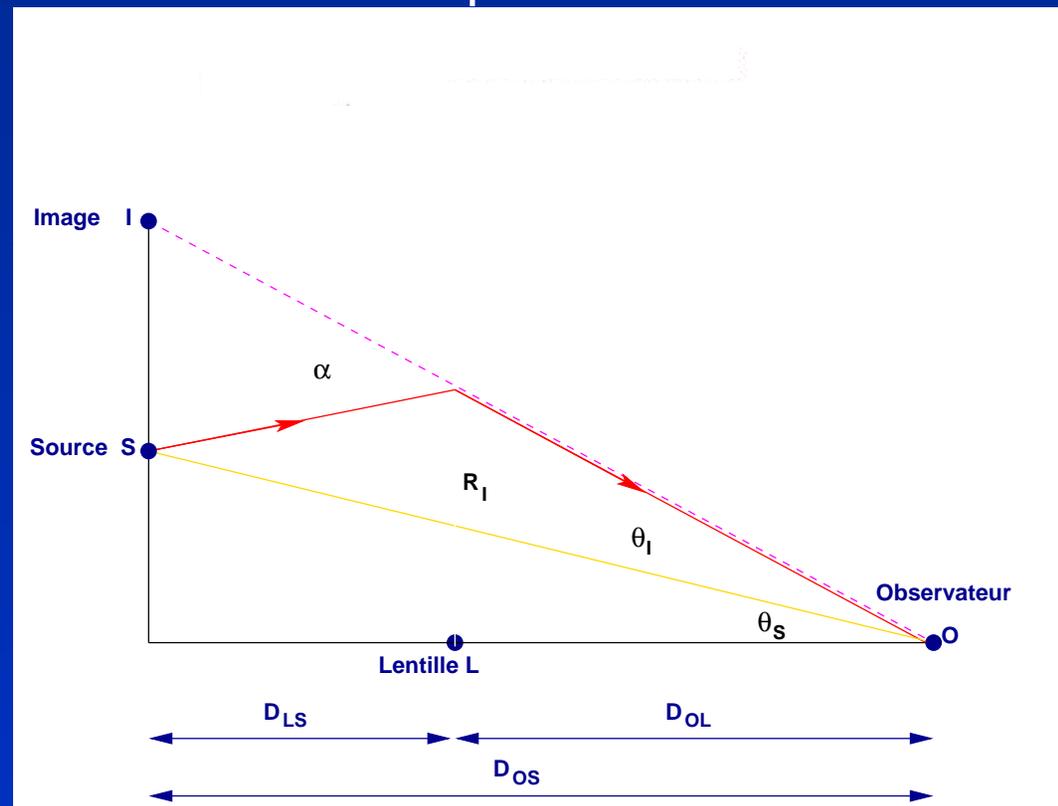
- ★ Amplification
- ★ Déplacement
- ★ Distorsion



Lentilles gravitationnelles

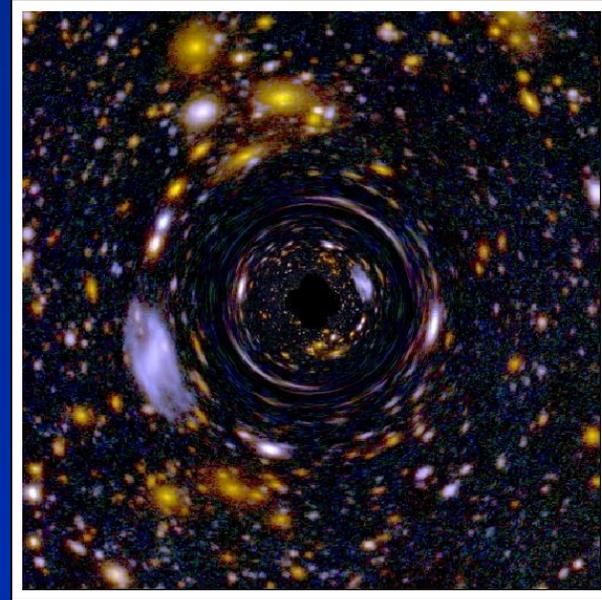
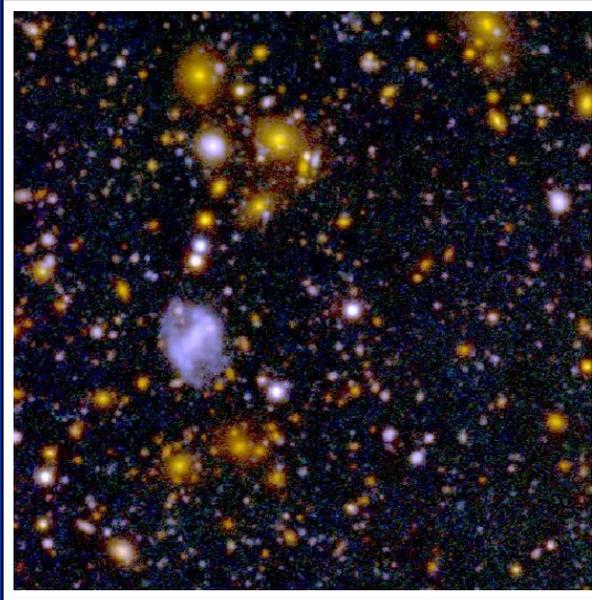
- Déformations locales d'une source par une lentille

- ★ Amplification
- ★ Déplacement
- ★ Distorsion



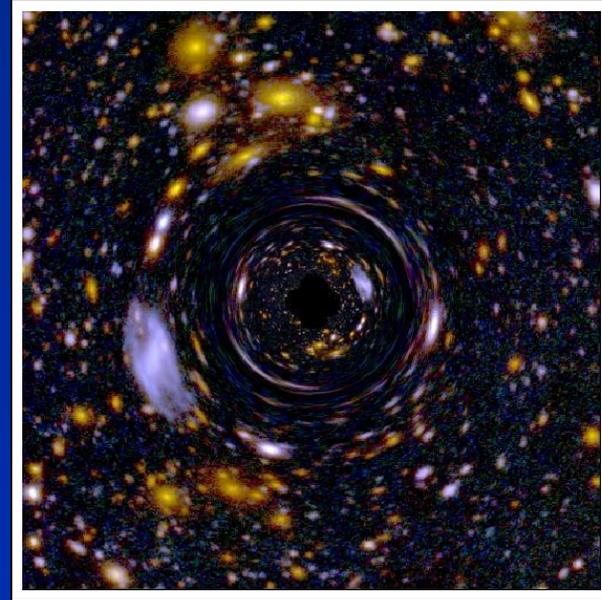
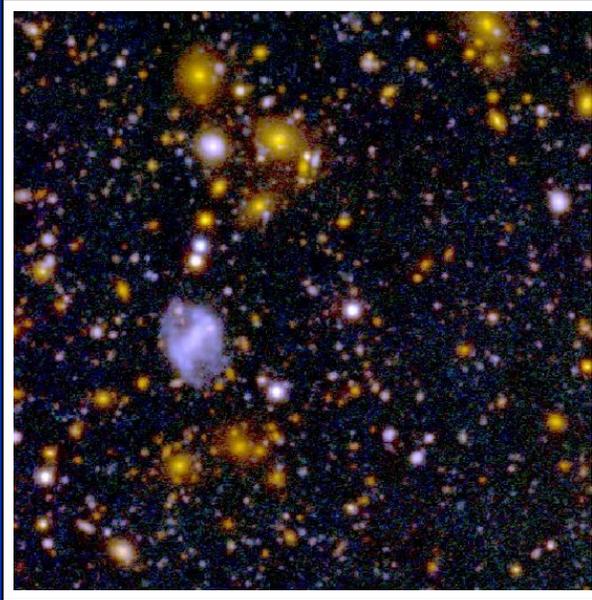
- Équation des lentilles : $\theta_S = \theta_I - \frac{2}{c^2} \frac{D_{LS}}{D_{OS}D_{OL}} \nabla_{\theta} \phi(\theta_I)$

Amas-lentilles



Wittman (2002) astro-ph/0208063

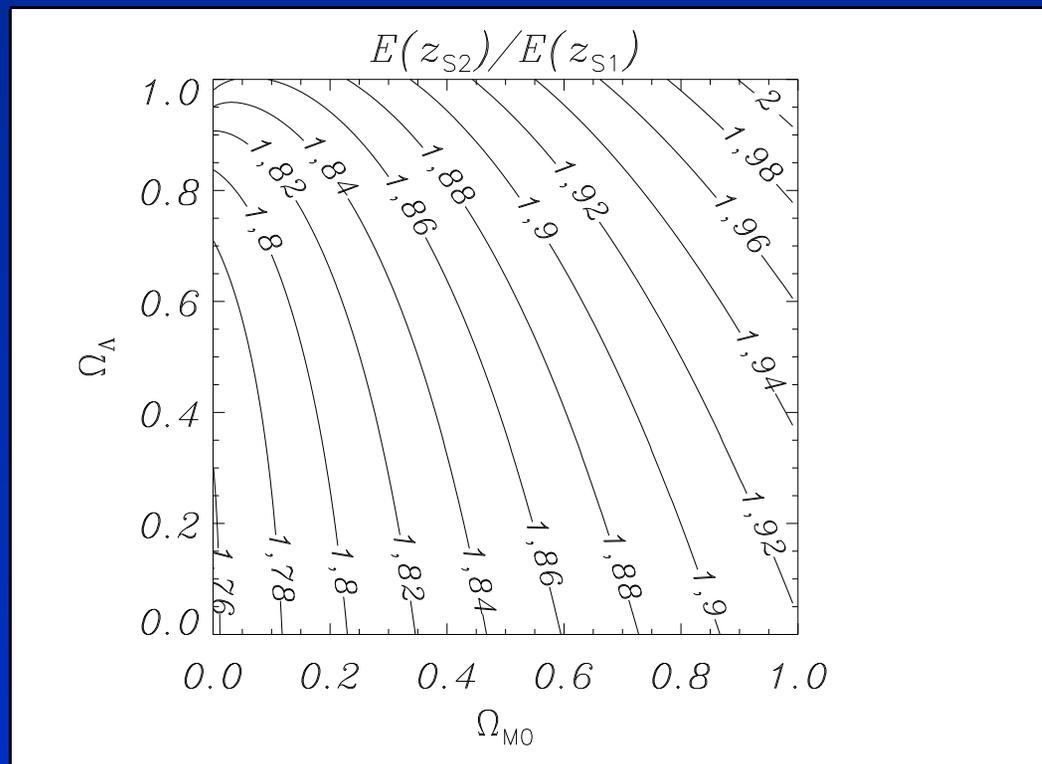
Amas-lentilles



Wittman (2002) [astro-ph/0208063](#)

- Régions caractéristiques des amas et estimateurs de masse
 - ★ Faibles déformations
 - ★ Biais d'amplification
 - ★ Fortes déformations

Influence de la cosmologie sur la formation des images



Golse, Kneib & Soucail (2002) *A&A* **387**, 788

Rapport de distances diamètre-angulaire

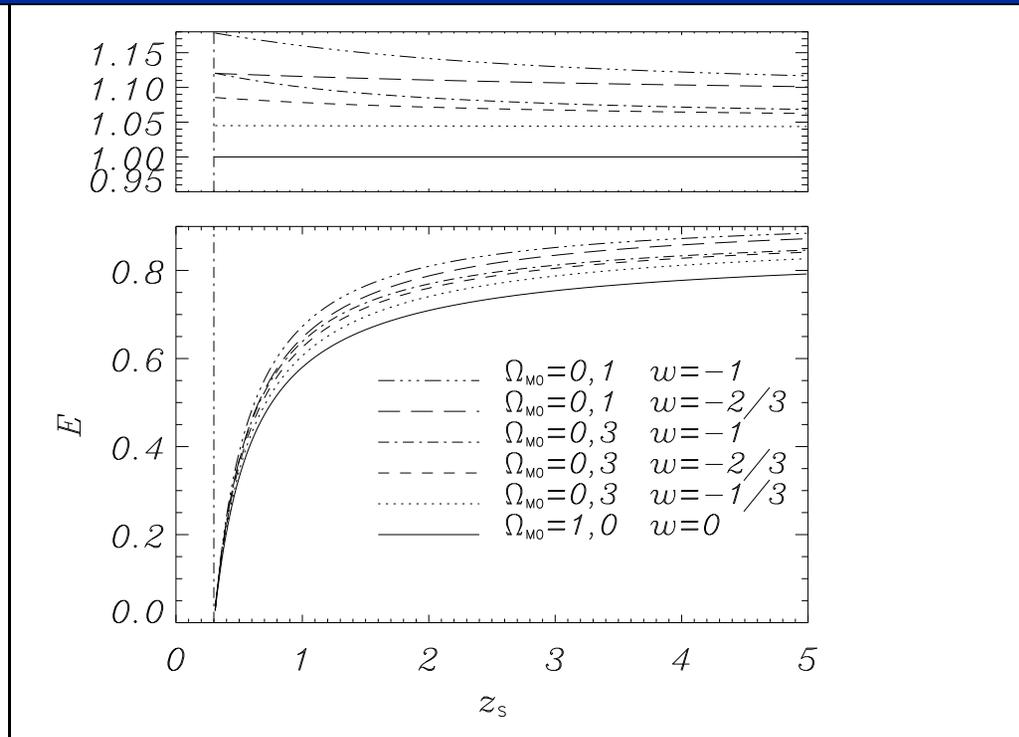
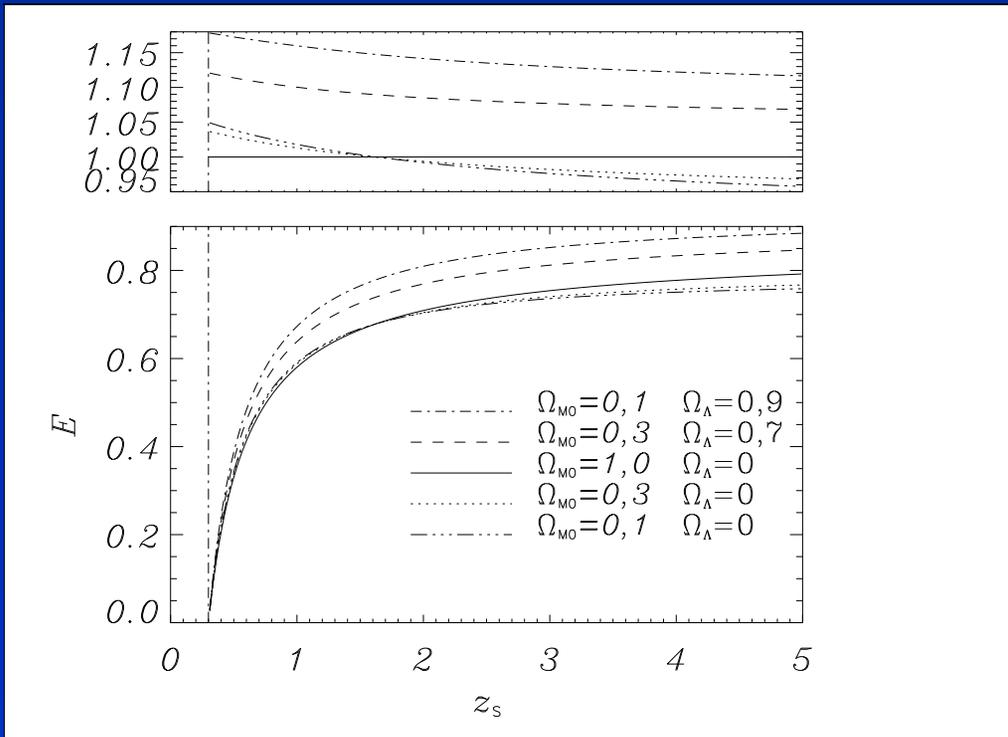
- Équation des lentilles : $\theta_S = \theta_I - \frac{2}{c^2} \frac{D_{LS}}{D_{OS}D_{OL}} \nabla_{\theta} \phi(\theta_I)$

Rapport de distances diamètre-angulaire

- Équation des lentilles : $\theta_S = \theta_I - \frac{2}{c^2} \frac{D_{LS}}{D_{OS} D_{OL}} \nabla_{\theta} \phi(\theta_I)$
- $\nabla_{\theta} \phi(\theta_I) = \sigma_0^2 D_{OL} f(\theta_I; \dots) \Rightarrow E(z_L, z_S, \Omega_{M0}, \Omega_{\Lambda}, w) = \frac{D_{LS}}{D_{OS}}$

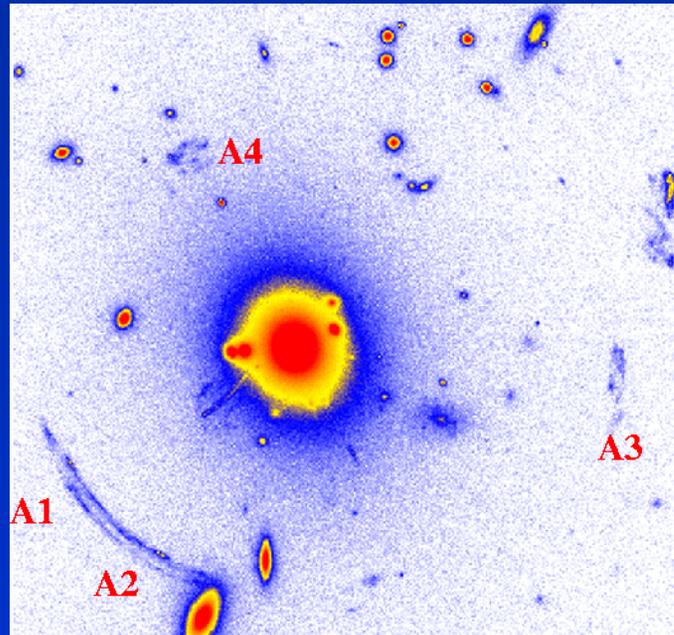
Rapport de distances diamètre-angulaire

- Équation des lentilles : $\theta_S = \theta_I - \frac{2}{c^2} \frac{D_{LS}}{D_{OS}D_{OL}} \nabla_{\theta} \phi(\theta_I)$
- $\nabla_{\theta} \phi(\theta_I) = \sigma_0^2 D_{OL} f(\theta_I; \dots) \Rightarrow E(z_L, z_S, \Omega_{M0}, \Omega_{\Lambda}, w) = \frac{D_{LS}}{D_{OS}}$



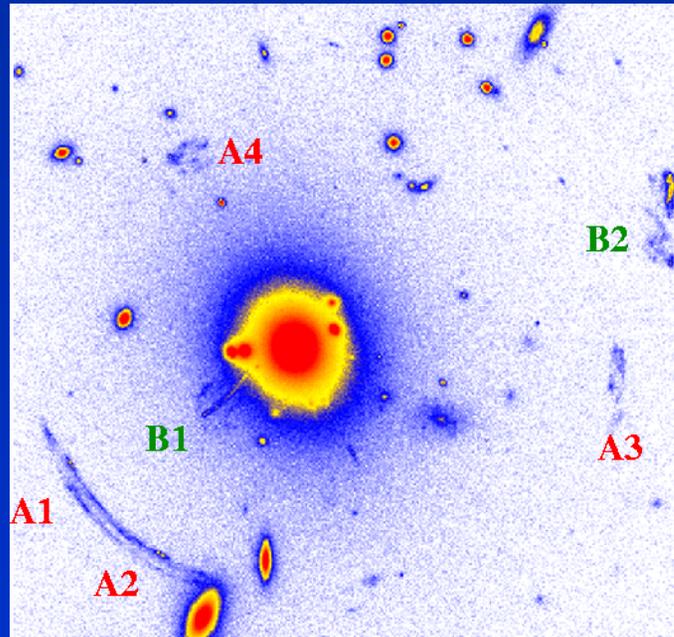
Test cosmologique

- Présence d'un système d'images multiples à z_{S1} :
contrainte de $\theta_{l_2} - \theta_{l_1} = \sigma_0^2 E(z_{S1}) [f(\theta_{l_2}; \dots) - f(\theta_{l_1}; \dots)]$



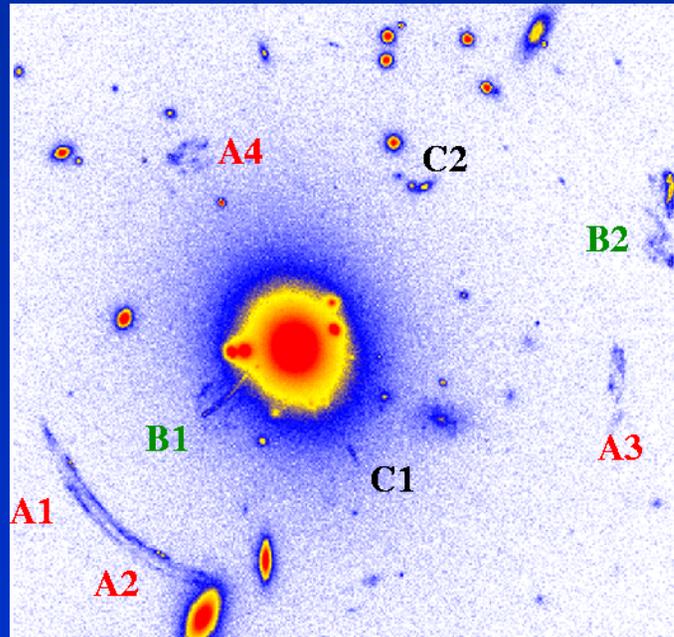
Test cosmologique

- Présence d'un système d'images multiples à z_{S1} :
contrainte de $\theta_{l_2} - \theta_{l_1} = \sigma_0^2 E(z_{S1}) [f(\theta_{l_2}; \dots) - f(\theta_{l_1}; \dots)]$
- Deux systèmes d'images multiples à z_{S1} et z_{S2} :
contrainte de $\frac{\|\theta_{l_1^2} - \theta_{l_2^2}\|}{\|\theta_{l_1^1} - \theta_{l_2^1}\|} = \frac{E(z_{S2}) \|f(\theta_{l_1^2}; \dots) - f(\theta_{l_2^2}; \dots)\|}{E(z_{S1}) \|f(\theta_{l_1^1}; \dots) - f(\theta_{l_2^1}; \dots)\|}$

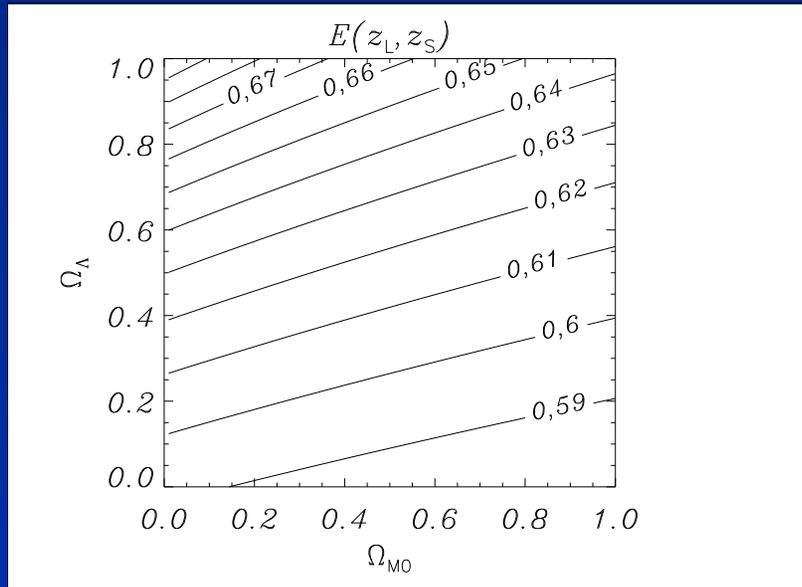


Test cosmologique

- Présence d'un système d'images multiples à z_{S1} :
contrainte de $\theta_{l_2} - \theta_{l_1} = \sigma_0^2 E(z_{S1}) [f(\theta_{l_2}; \dots) - f(\theta_{l_1}; \dots)]$
- Deux systèmes d'images multiples à z_{S1} et z_{S2} :
contrainte de $\frac{\|\theta_{l_1^2} - \theta_{l_2^2}\|}{\|\theta_{l_1^1} - \theta_{l_2^1}\|} = \frac{E(z_{S2}) \|f(\theta_{l_1^2}; \dots) - f(\theta_{l_2^2}; \dots)\|}{E(z_{S1}) \|f(\theta_{l_1^1}; \dots) - f(\theta_{l_2^1}; \dots)\|}$

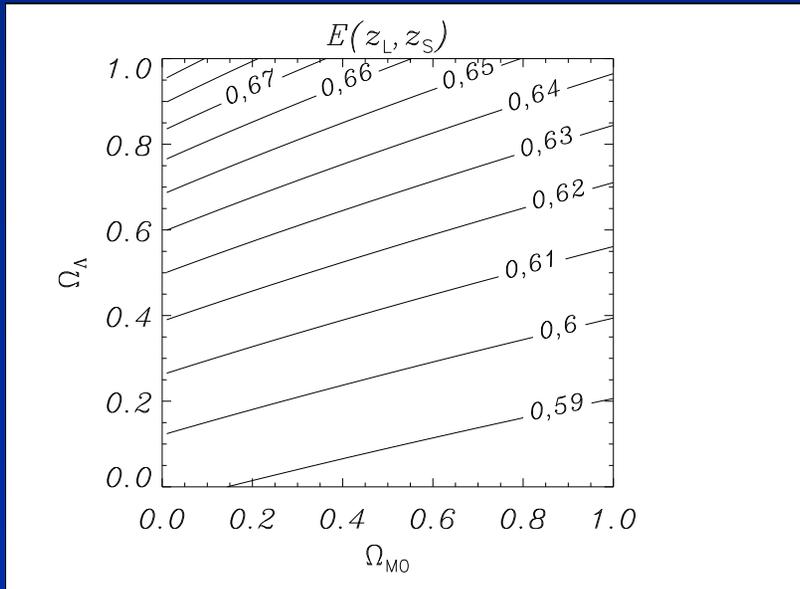


Variations de E avec la cosmologie



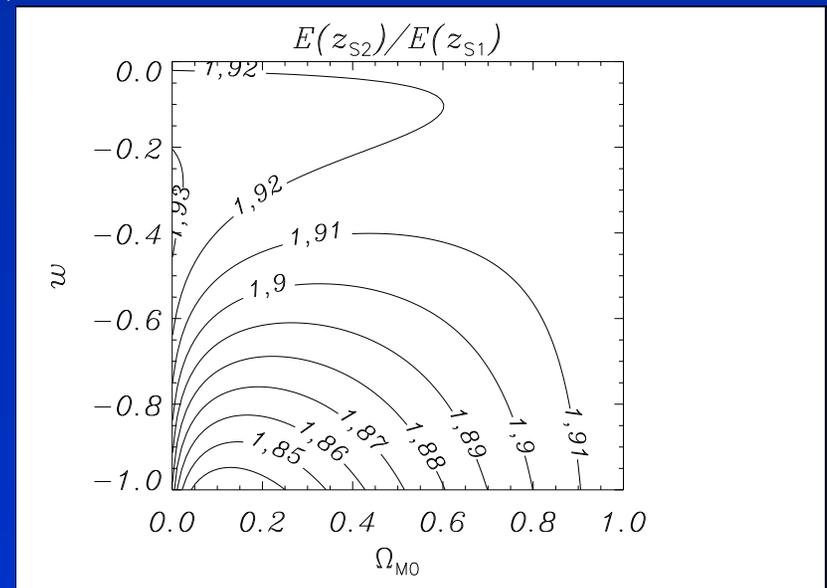
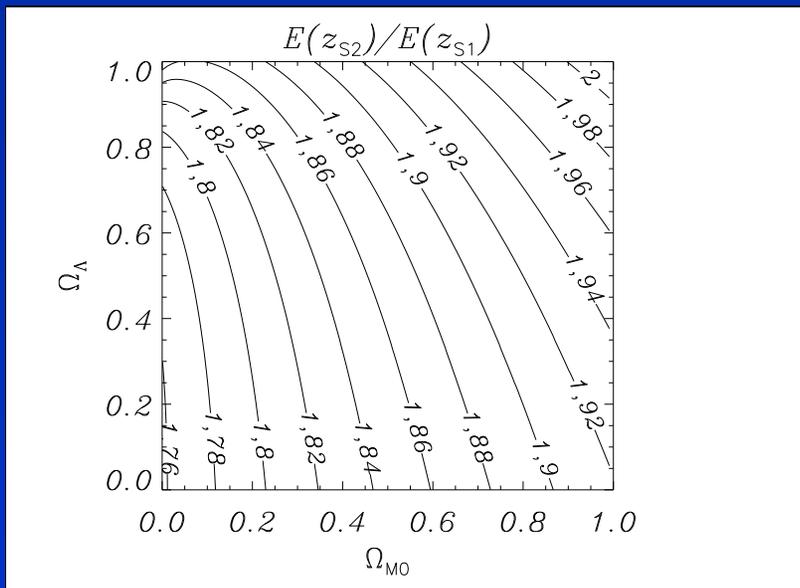
1 système d'images

Variations de E avec la cosmologie



1 système d'images

2 systèmes d'images



Validité du test cosmologique

- Galaxie-lentille avec un système d'images multiples

$$\begin{aligned} \frac{d\alpha}{\alpha} = & 2 \frac{d\sigma_0}{\sigma_0} - 0,0086 \frac{d\theta_c}{\theta_c} + 0,50 \frac{d\theta_t}{\theta_t} - 0,50 \frac{d\theta_l}{\theta_l} \\ & - 0,17 \frac{dz_L}{z_L} + 0,062 \frac{dz_S}{z_S} + 0,012 \frac{d\Omega_{M0}}{\Omega_{M0}} + 0,14 \frac{d\Omega_\Lambda}{\Omega_\Lambda} \end{aligned}$$

\Rightarrow contrainte de Ω_Λ si $\Delta\sigma \lesssim 15 \text{ km s}^{-1}$

Validité du test cosmologique

- Galaxie-lentille avec un système d'images multiples

$$\frac{d\alpha}{\alpha} = 2 \frac{d\sigma_0}{\sigma_0} - 0,0086 \frac{d\theta_c}{\theta_c} + 0,50 \frac{d\theta_t}{\theta_t} - 0,50 \frac{d\theta_1}{\theta_1} \\ - 0,17 \frac{dz_L}{z_L} + 0,062 \frac{dz_S}{z_S} + 0,012 \frac{d\Omega_{M0}}{\Omega_{M0}} + 0,14 \frac{d\Omega_\Lambda}{\Omega_\Lambda}$$

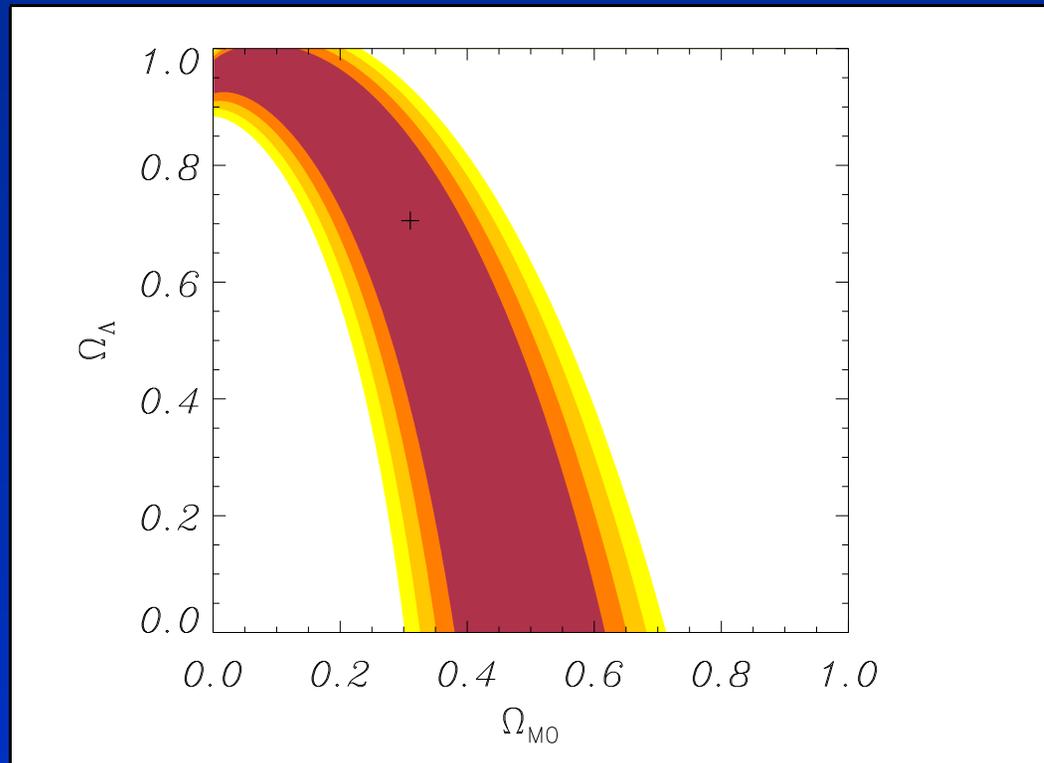
\Rightarrow contrainte de Ω_Λ si $\Delta\sigma \lesssim 15 \text{ km s}^{-1}$

- Amas-lentille avec deux systèmes d'images multiples

$$\frac{dR_{12}}{R_{12}} = 0,22 \frac{d\theta_c}{\theta_c} + 0,11 \frac{d\theta_t}{\theta_t} - 0,35 \frac{d\theta_{I1}}{\theta_{I1}} - 0,018 \frac{d\theta_{I2}}{\theta_{I2}} + \\ 0,92 \frac{dz_L}{z_L} - 0,99 \frac{dz_{S1}}{z_{S1}} + 0,062 \frac{dz_{S2}}{z_{S2}} + 0,034 \frac{d\Omega_{M0}}{\Omega_{M0}} + 0,037 \frac{d\Omega_\Lambda}{\Omega_\Lambda}$$

$\Rightarrow \Omega_{M0} = 0,30 \pm 0,04$ et $\Omega_\Lambda = 0,70 \pm 0,09$

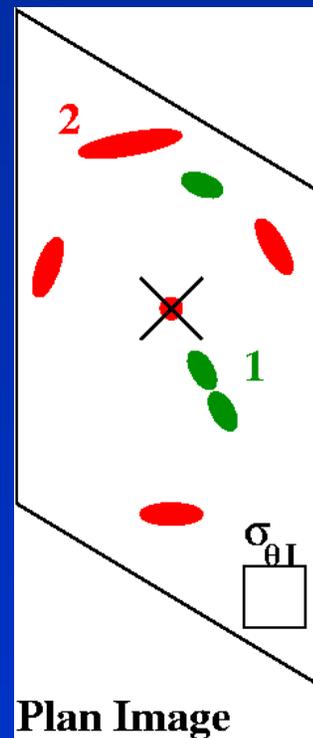
Contraintes cosmologiques : simulations numériques



Golse, Kneib & Soucail (2002) *A&A* **387**, 788
Golse & Kneib (2002) *A&A* **390**, 821

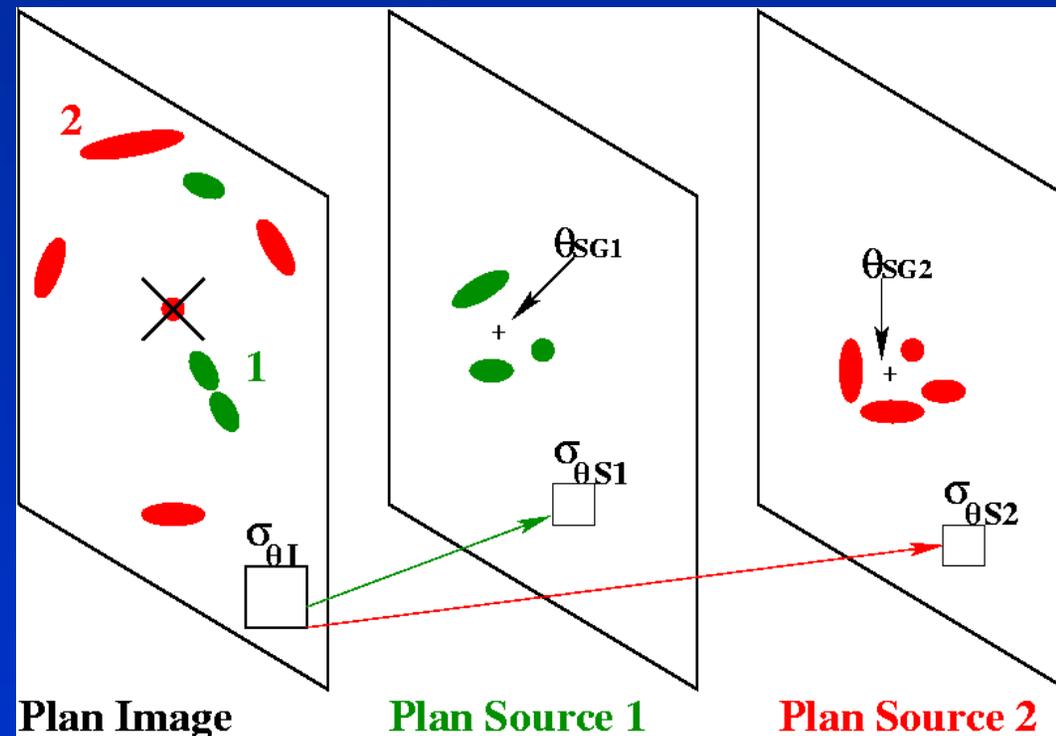
Algorithme

- Génération des images gravitationnelles
 - ★ potentiel gravitationnel de l'amas
 - ★ décalages spectraux z_L et z_{Si}
 - ★ position des sources
 - ★ cosmologie arbitraire $(\Omega_{M0}^0, \Omega_{\Lambda}^0)$ ou (Ω_{M0}^0, w^0)



Algorithme

- Génération des images gravitationnelles
 - ★ potentiel gravitationnel de l'amas
 - ★ décalages spectraux z_L et z_{Si}
 - ★ position des sources
 - ★ cosmologie arbitraire $(\Omega_{M0}^0, \Omega_{\Lambda}^0)$ ou (Ω_{M0}^0, w^0)
- Optimisation du potentiel suivant la cosmologie



Modèles de Lentilles Pseudo-Elliptiques (1)

- Intérêt des modèles de masse pseudo-elliptiques
 - ★ description des amas réels
 - ★ expressions analytiques \Rightarrow rapidité de calcul
- Cas circulaire : φ (ou à défaut α) et Σ sont analytiques
- On introduit le paramètre ϵ dans φ

$$\varphi_\epsilon(\mathbf{x}) = \varphi(\mathbf{x}_\epsilon), \text{ avec } \begin{cases} x_{1\epsilon} = \sqrt{1-\epsilon} x_1 \\ x_{2\epsilon} = x_2 / \sqrt{1-\epsilon} \\ x_\epsilon = \sqrt{x_{1\epsilon}^2 + x_{2\epsilon}^2} \\ \phi_\epsilon = \arctan(x_{2\epsilon}/x_{1\epsilon}) \end{cases}$$

★ $\epsilon_\varphi \simeq \epsilon$, $\epsilon_\Sigma \simeq 2\epsilon$

★ α , κ et γ ont des expressions analytiques

$$\kappa_\epsilon(\mathbf{x}) = \kappa(\mathbf{x}_\epsilon) + \epsilon \cos 2\phi_\epsilon \gamma(\mathbf{x}_\epsilon)$$

Modèles de Lentilles Pseudo-Elliptiques (1)

- Intérêt des modèles de masse pseudo-elliptiques
 - ★ description des amas réels
 - ★ expressions analytiques \Rightarrow rapidité de calcul
- Cas circulaire : φ (ou à défaut α) et Σ sont analytiques
- On introduit le paramètre ϵ dans φ

$$\varphi_\epsilon(\mathbf{x}) = \varphi(\mathbf{x}_\epsilon), \text{ avec } \begin{cases} x_{1\epsilon} = \sqrt{1-\epsilon} x_1 \\ x_{2\epsilon} = x_2 / \sqrt{1-\epsilon} \\ x_\epsilon = \sqrt{x_{1\epsilon}^2 + x_{2\epsilon}^2} \\ \phi_\epsilon = \arctan(x_{2\epsilon}/x_{1\epsilon}) \end{cases}$$

★ $\epsilon_\varphi \simeq \epsilon$, $\epsilon_\Sigma \simeq 2\epsilon$

★ α , κ et γ ont des expressions analytiques

$$\kappa_\epsilon(\mathbf{x}) = \kappa(\mathbf{x}_\epsilon) + \epsilon \cos 2\phi_\epsilon \gamma(\mathbf{x}_\epsilon)$$

Modèles de Lentilles Pseudo-Elliptiques (1)

- Intérêt des modèles de masse pseudo-elliptiques
 - ★ description des amas réels
 - ★ expressions analytiques \Rightarrow rapidité de calcul
- Cas circulaire : φ (ou à défaut α) et Σ sont analytiques
- On introduit le paramètre ϵ dans φ

$$\varphi_\epsilon(\mathbf{x}) = \varphi(\mathbf{x}_\epsilon), \text{ avec } \begin{cases} x_{1\epsilon} &= \sqrt{1-\epsilon} x_1 \\ x_{2\epsilon} &= x_2 / \sqrt{1-\epsilon} \\ x_\epsilon &= \sqrt{x_{1\epsilon}^2 + x_{2\epsilon}^2} \\ \phi_\epsilon &= \arctan(x_{2\epsilon}/x_{1\epsilon}) \end{cases}$$

★ $\epsilon_\varphi \simeq \epsilon$, $\epsilon_\Sigma \simeq 2\epsilon$

★ α , κ et γ ont des expressions analytiques

$$\kappa_\epsilon(\mathbf{x}) = \kappa(\mathbf{x}_\epsilon) + \epsilon \cos 2\phi_\epsilon \gamma(\mathbf{x}_\epsilon)$$

Modèles de Lentilles Pseudo-Elliptiques (1)

- Intérêt des modèles de masse pseudo-elliptiques
 - ★ description des amas réels
 - ★ expressions analytiques \Rightarrow rapidité de calcul
- Cas circulaire : φ (ou à défaut α) et Σ sont analytiques
- On introduit le paramètre ϵ dans φ

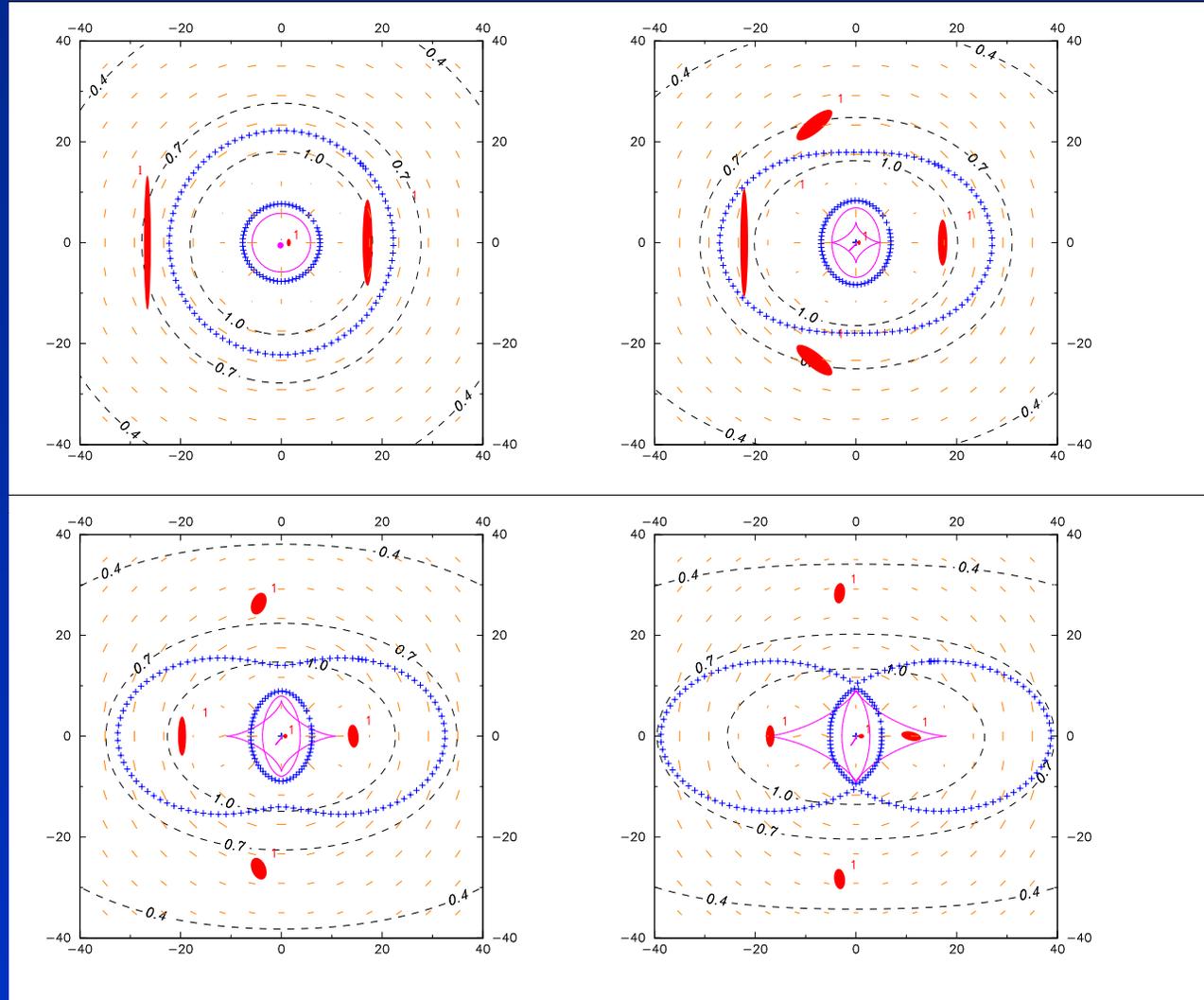
$$\varphi_\epsilon(\mathbf{x}) = \varphi(\mathbf{x}_\epsilon), \text{ avec } \begin{cases} x_{1\epsilon} = \sqrt{1-\epsilon} x_1 \\ x_{2\epsilon} = x_2 / \sqrt{1-\epsilon} \\ x_\epsilon = \sqrt{x_{1\epsilon}^2 + x_{2\epsilon}^2} \\ \phi_\epsilon = \arctan(x_{2\epsilon}/x_{1\epsilon}) \end{cases}$$

★ $\epsilon_\varphi \simeq \epsilon$, $\epsilon_\Sigma \simeq 2\epsilon$

★ α , κ et γ ont des expressions analytiques

$$\kappa_\epsilon(\mathbf{x}) = \kappa(\mathbf{x}_\epsilon) + \epsilon \cos 2\phi_\epsilon \gamma(\mathbf{x}_\epsilon)$$

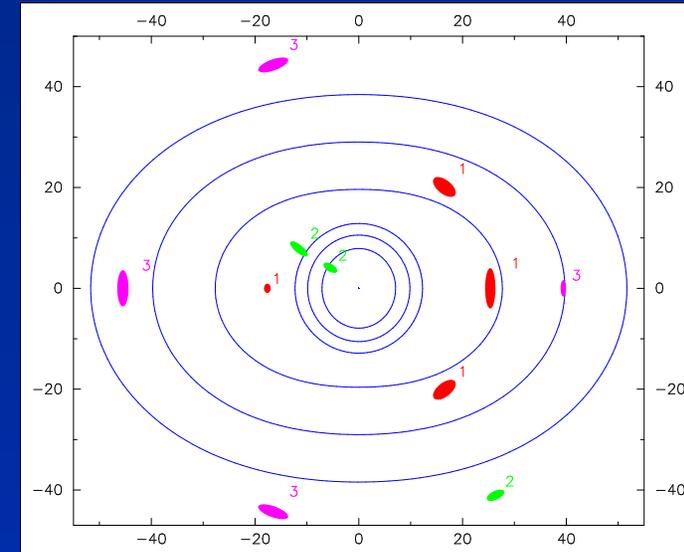
Modèles de Lentilles Pseudo-Elliptiques (2)



- Application au profil NFW \Rightarrow valide pour $\epsilon \leq 0,25$

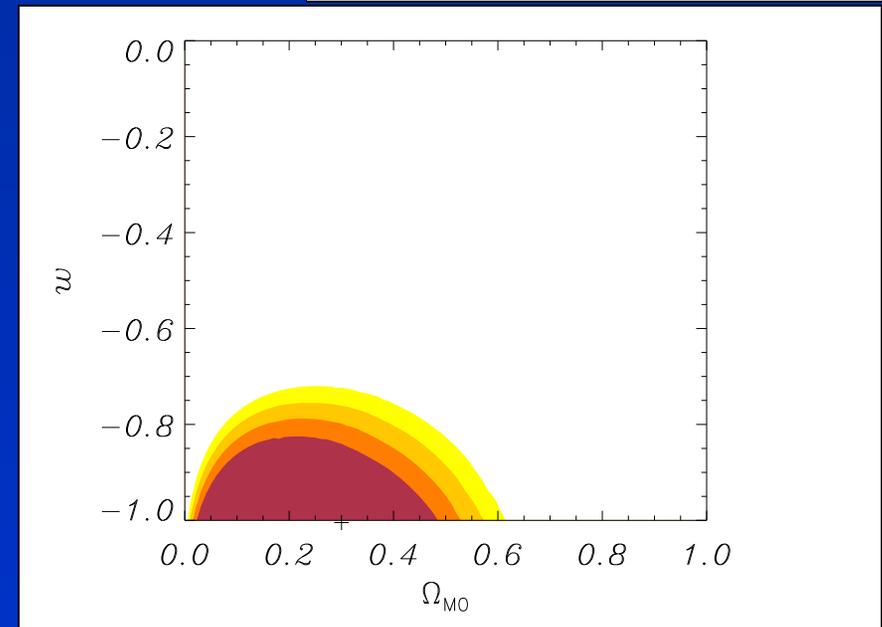
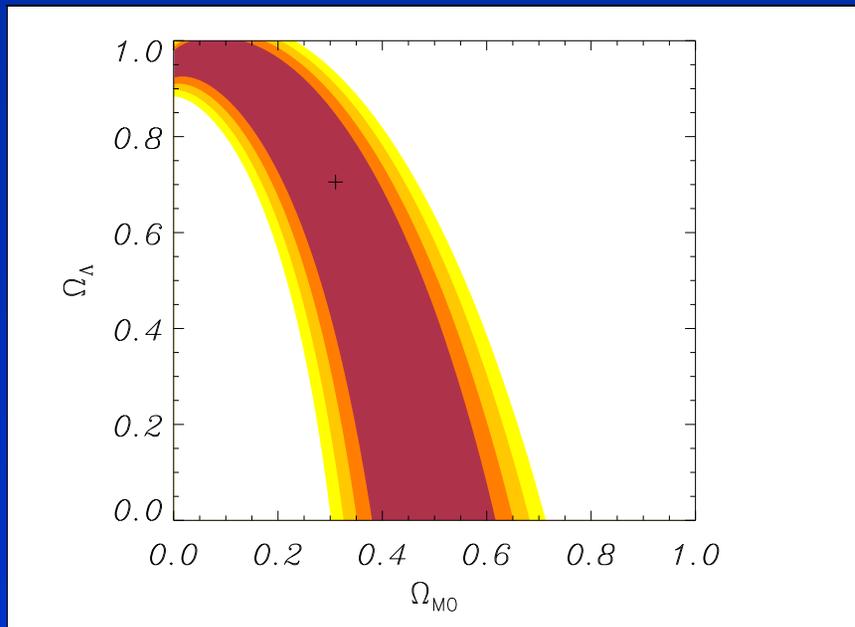
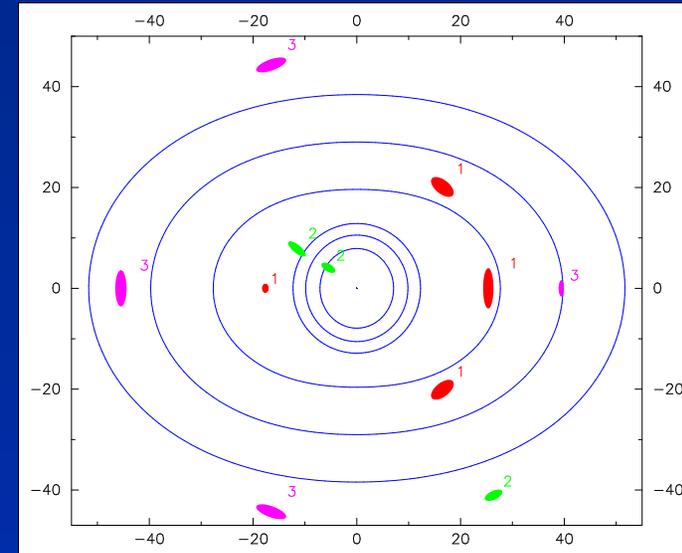
Cas d'un halo simple

- Simulation numérique
 - ★ profil NFW
 - ★ $z_L = 0, 3, z_{S1} = 0, 6$,
 $z_{S2} = 1, 0, z_{S3} = 4, 0$
 - ★ $(\Omega_{M0}^0, \Omega_{\Lambda}^0) = (0, 3; 0, 7), w^0 = -1$

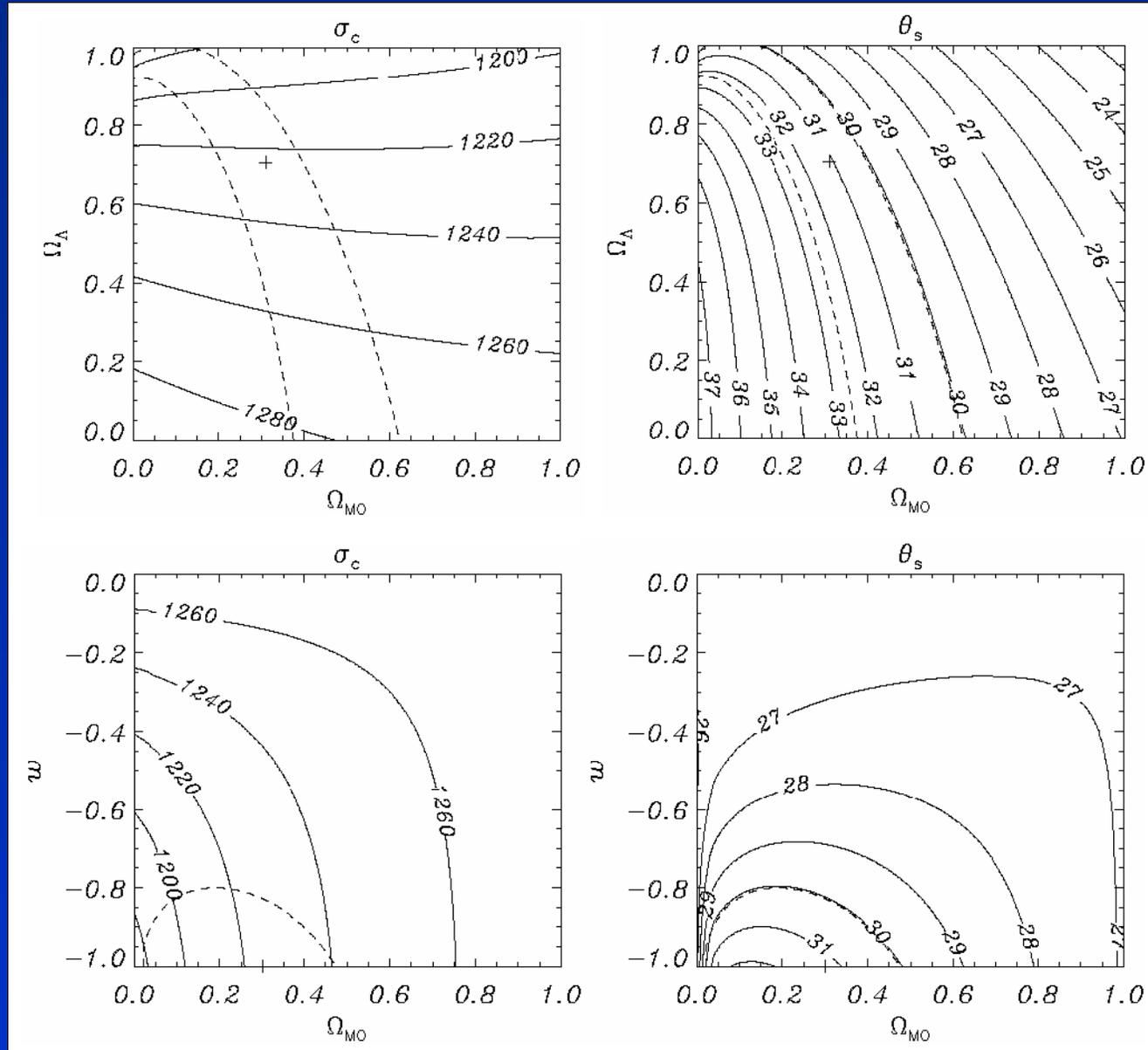


Cas d'un halo simple

- Simulation numérique
 - ★ profil NFW
 - ★ $z_L = 0, 3, z_{S1} = 0, 6, z_{S2} = 1, 0, z_{S3} = 4, 0$
 - ★ $(\Omega_{M0}^0, \Omega_{\Lambda}^0) = (0, 3; 0, 7), w^0 = -1$

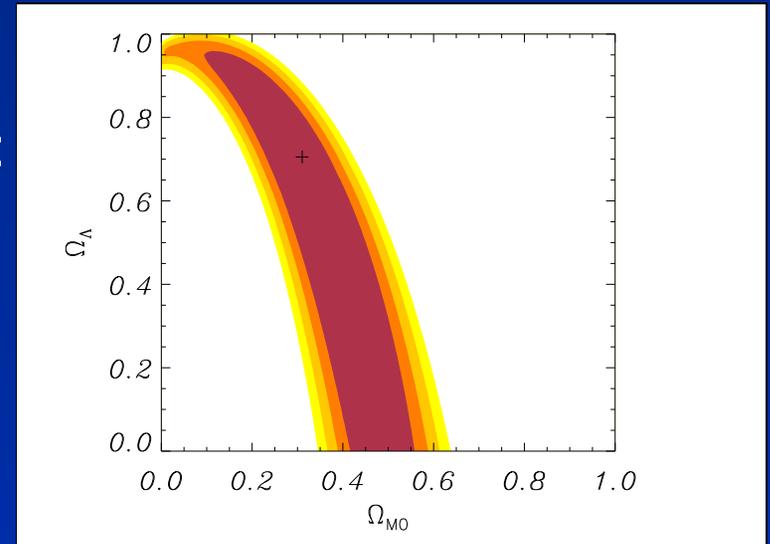


Ajustement des paramètres



Profil différent/Nombre de systèmes

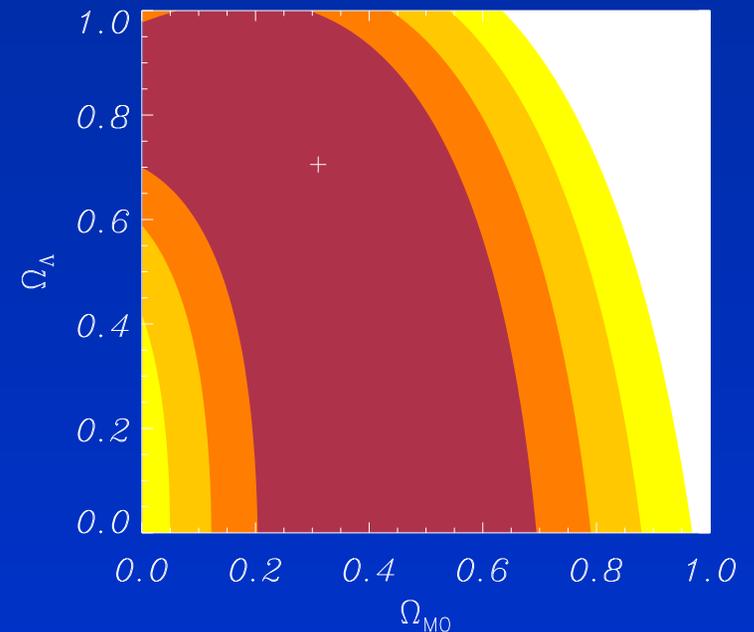
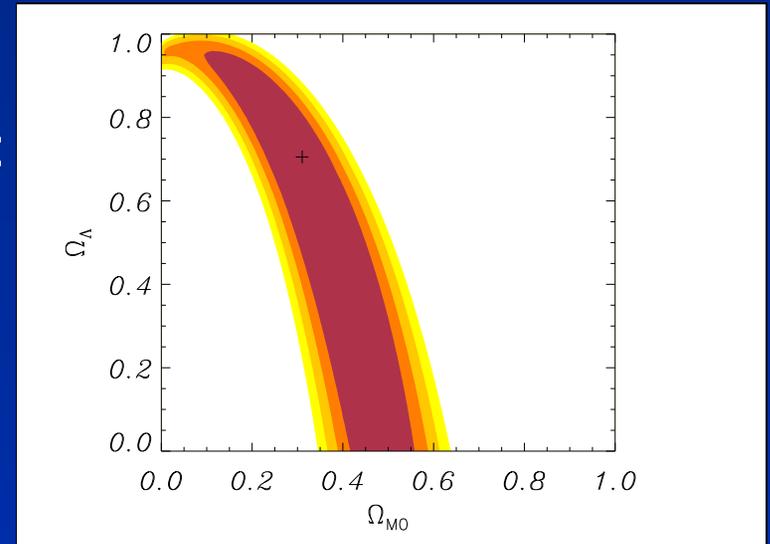
- Ajustement par un profil différent :
utiliser un profil à cœur plat



Profil différent/Nombre de systèmes

- Ajustement par un profil différent : utiliser un profil à cœur plat
- Influence du nombre de systèmes d'images multiples

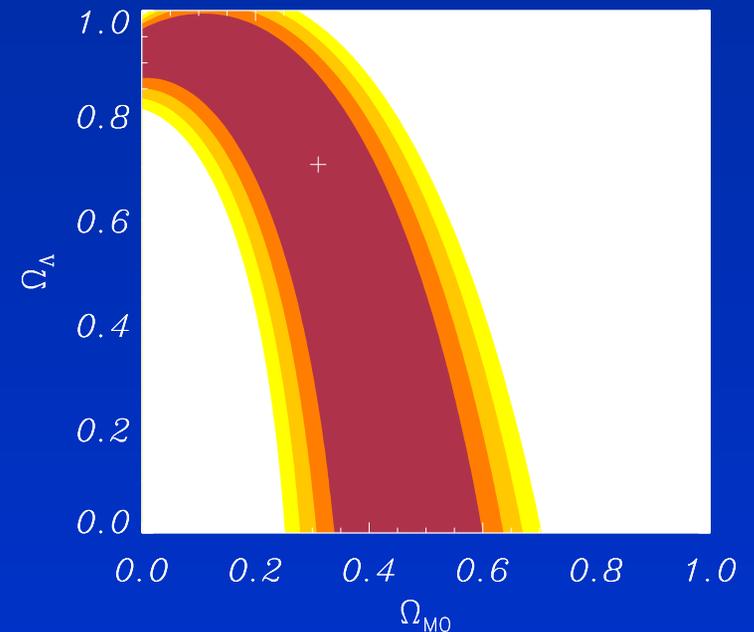
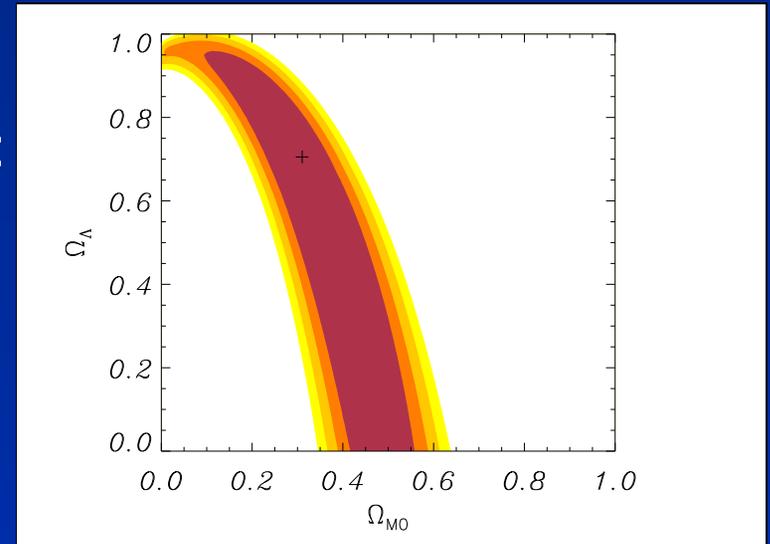
2 systèmes



Profil différent/Nombre de systèmes

- Ajustement par un profil différent : utiliser un profil à cœur plat
- Influence du nombre de systèmes d'images multiples

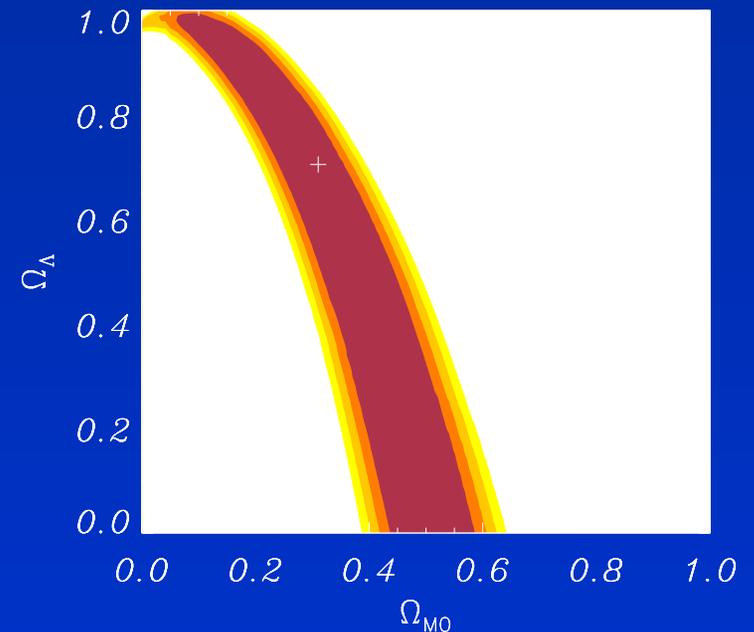
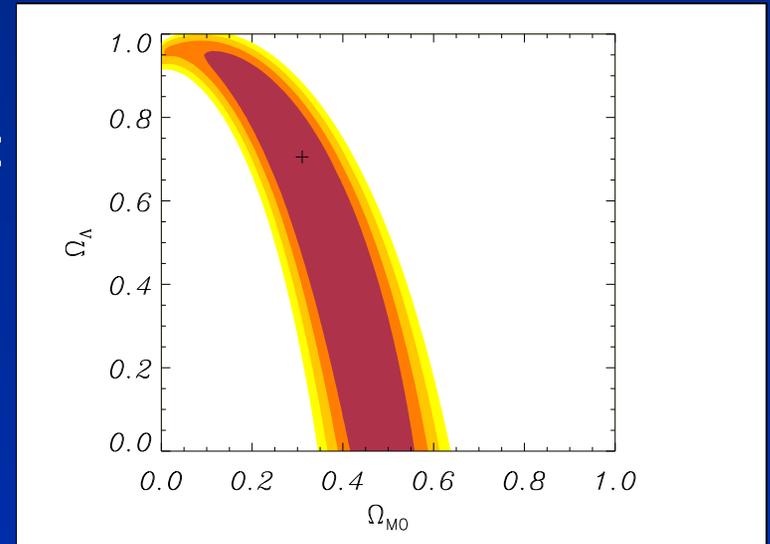
3 systèmes



Profil différent/Nombre de systèmes

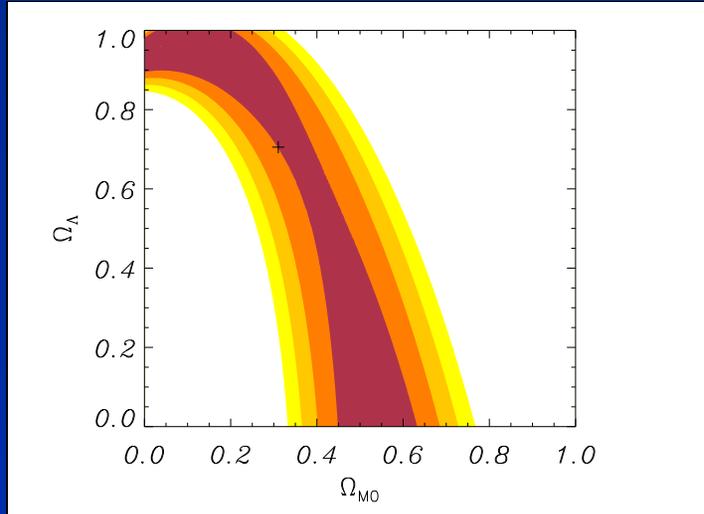
- Ajustement par un profil différent : utiliser un profil à cœur plat
- Influence du nombre de systèmes d'images multiples

4 systèmes



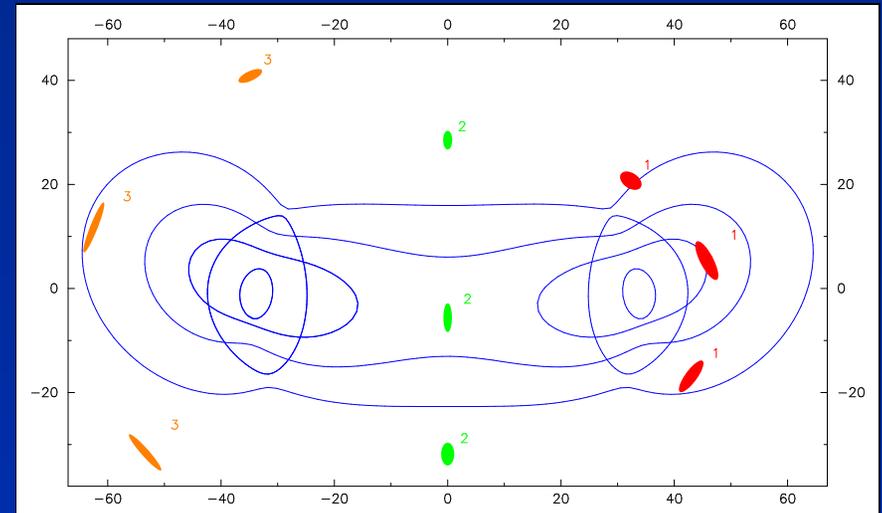
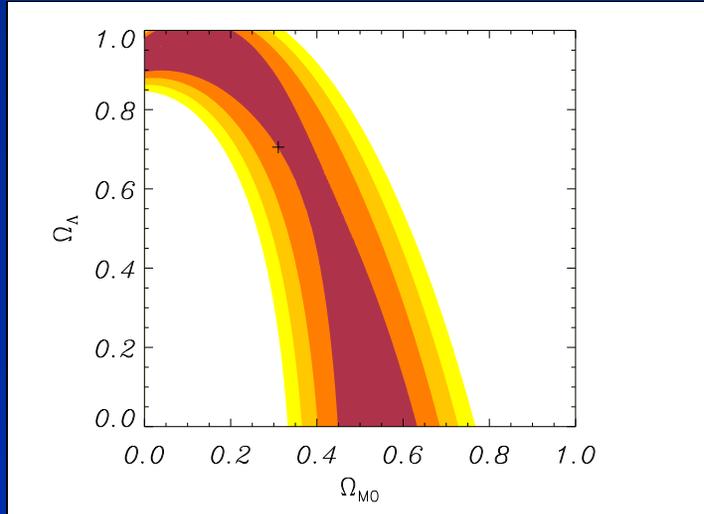
Potentiels complexes

- Influence des galaxies individuelles

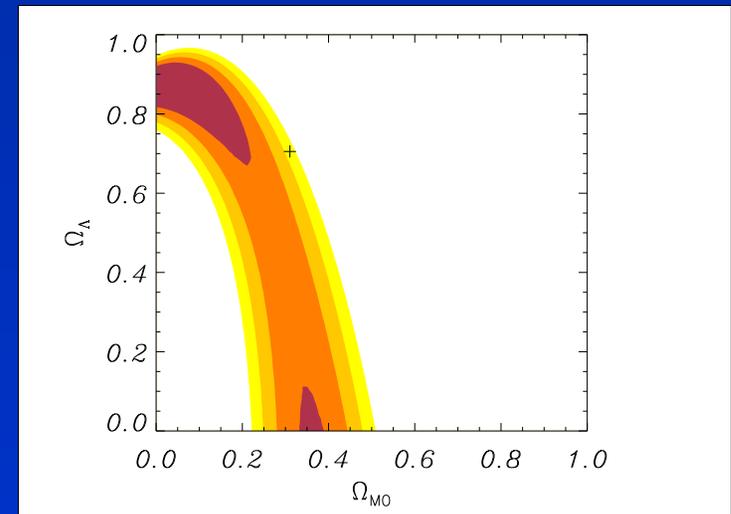
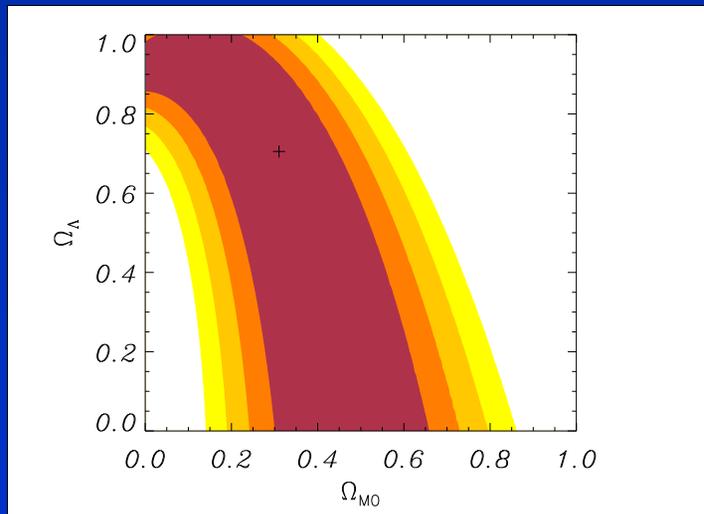


Potentiers complexes

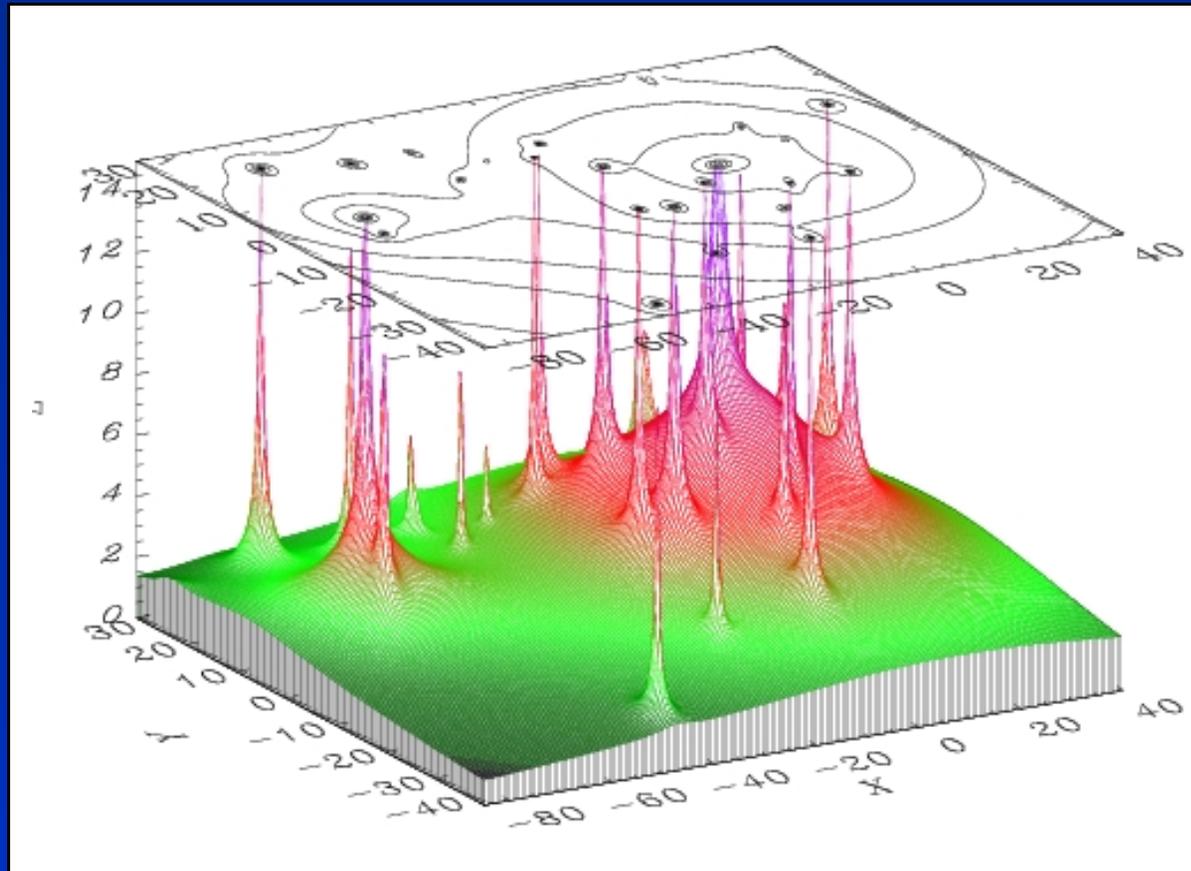
- Influence des galaxies individuelles



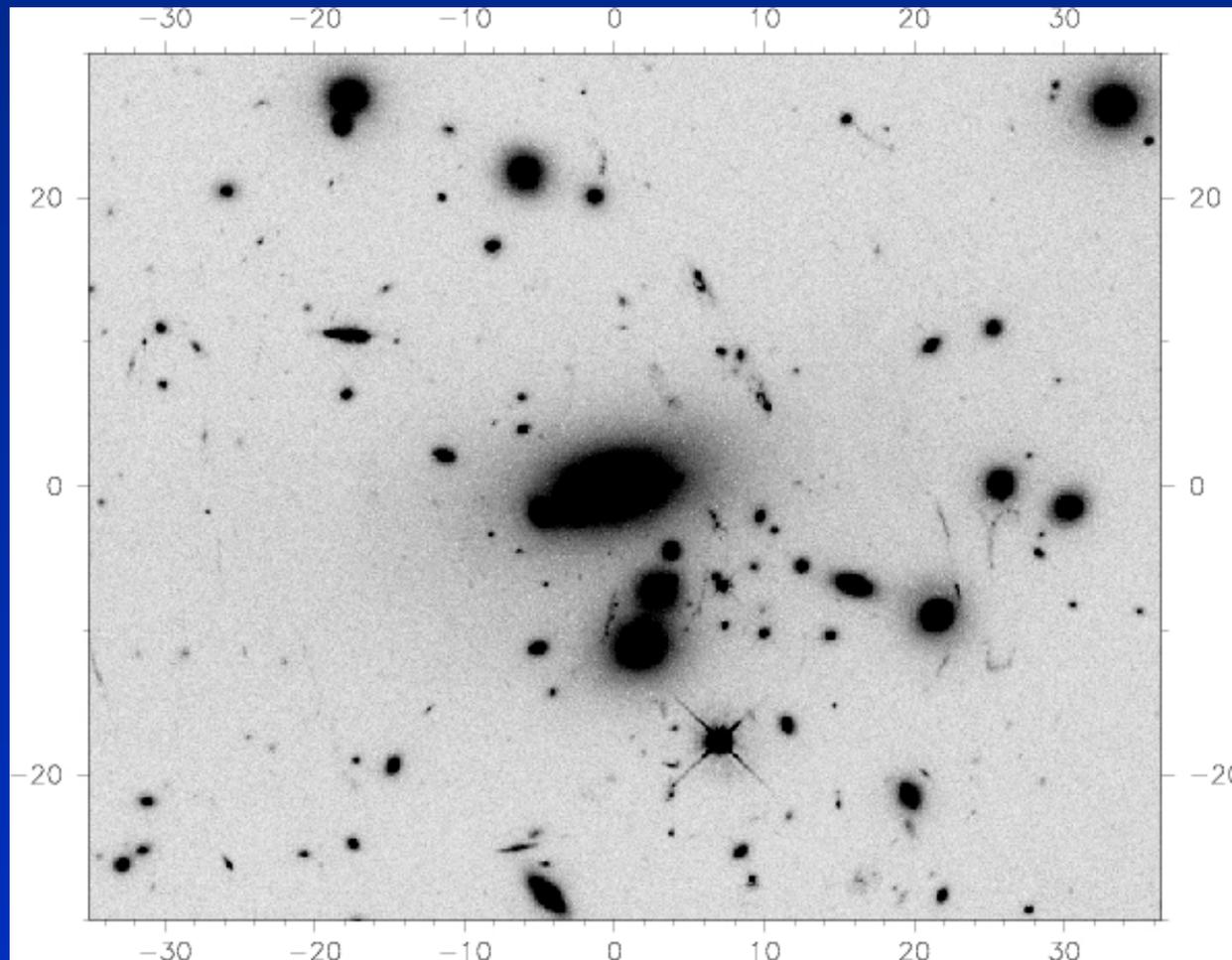
- Potentiers bimodaux



Application à des amas observés

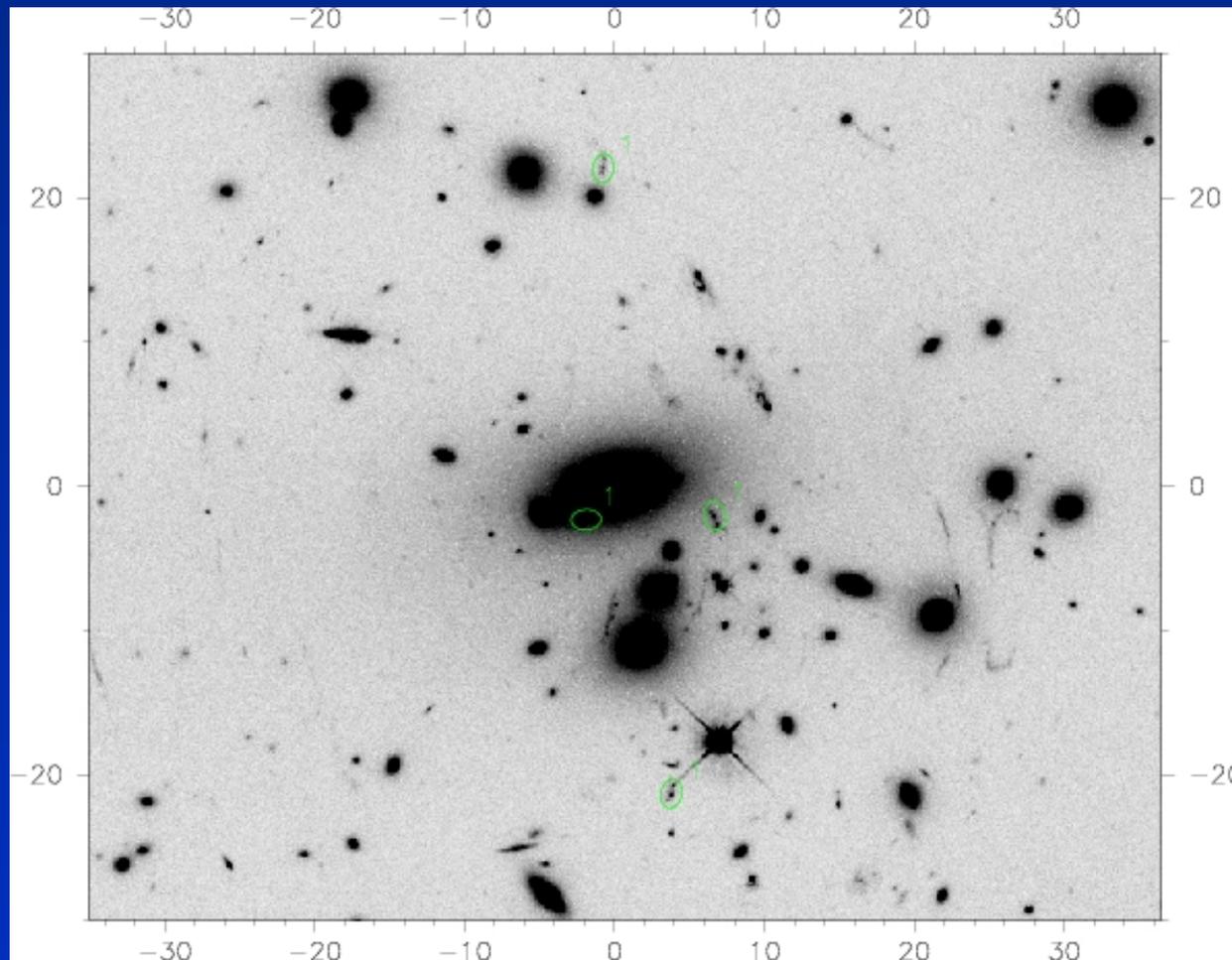


AC 114 : présentation



- $z_L = 0,312$

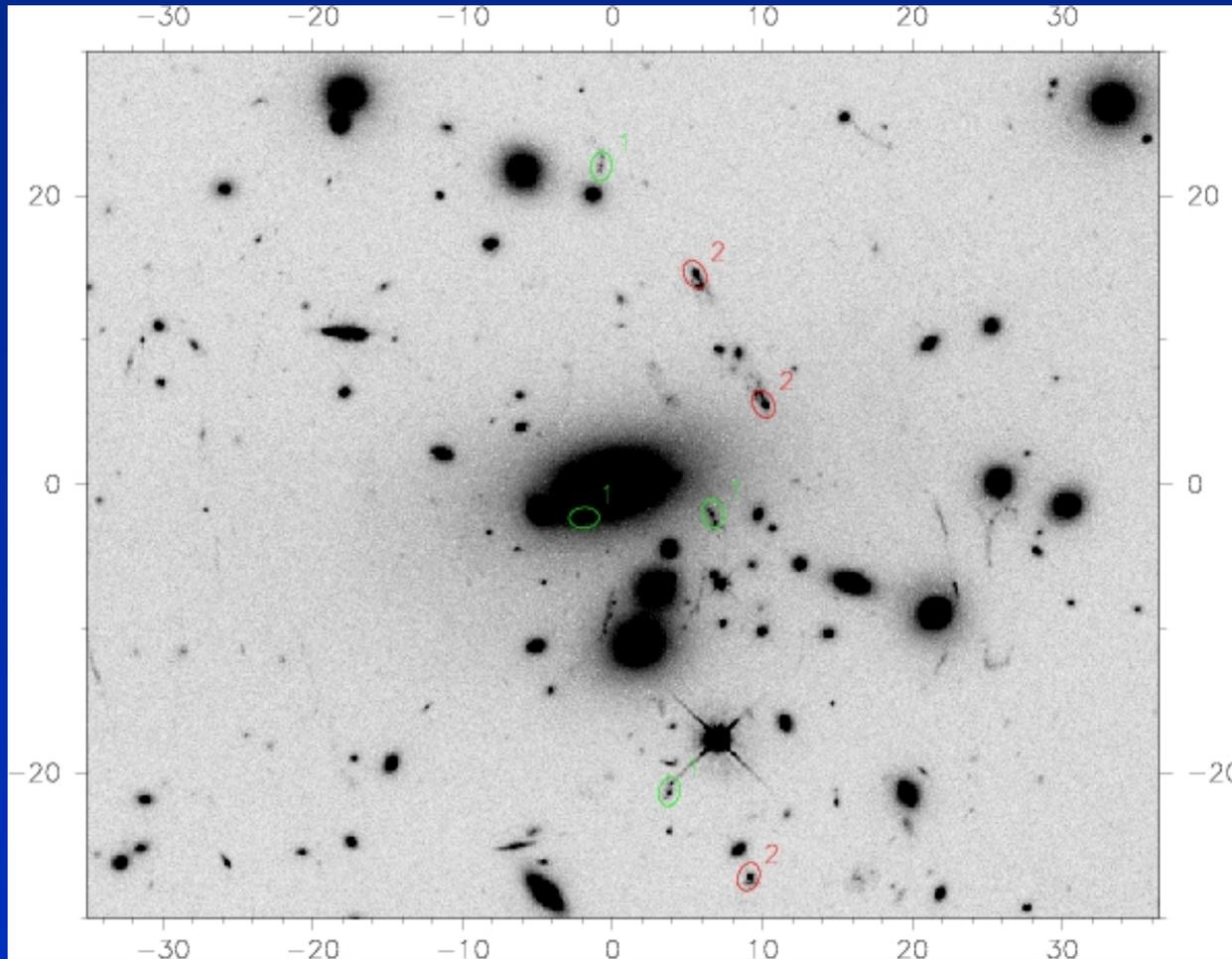
AC 114 : présentation



• $z_L = 0,312$

• $z_{S1} = 1,691$ (4 images)

AC 114 : présentation

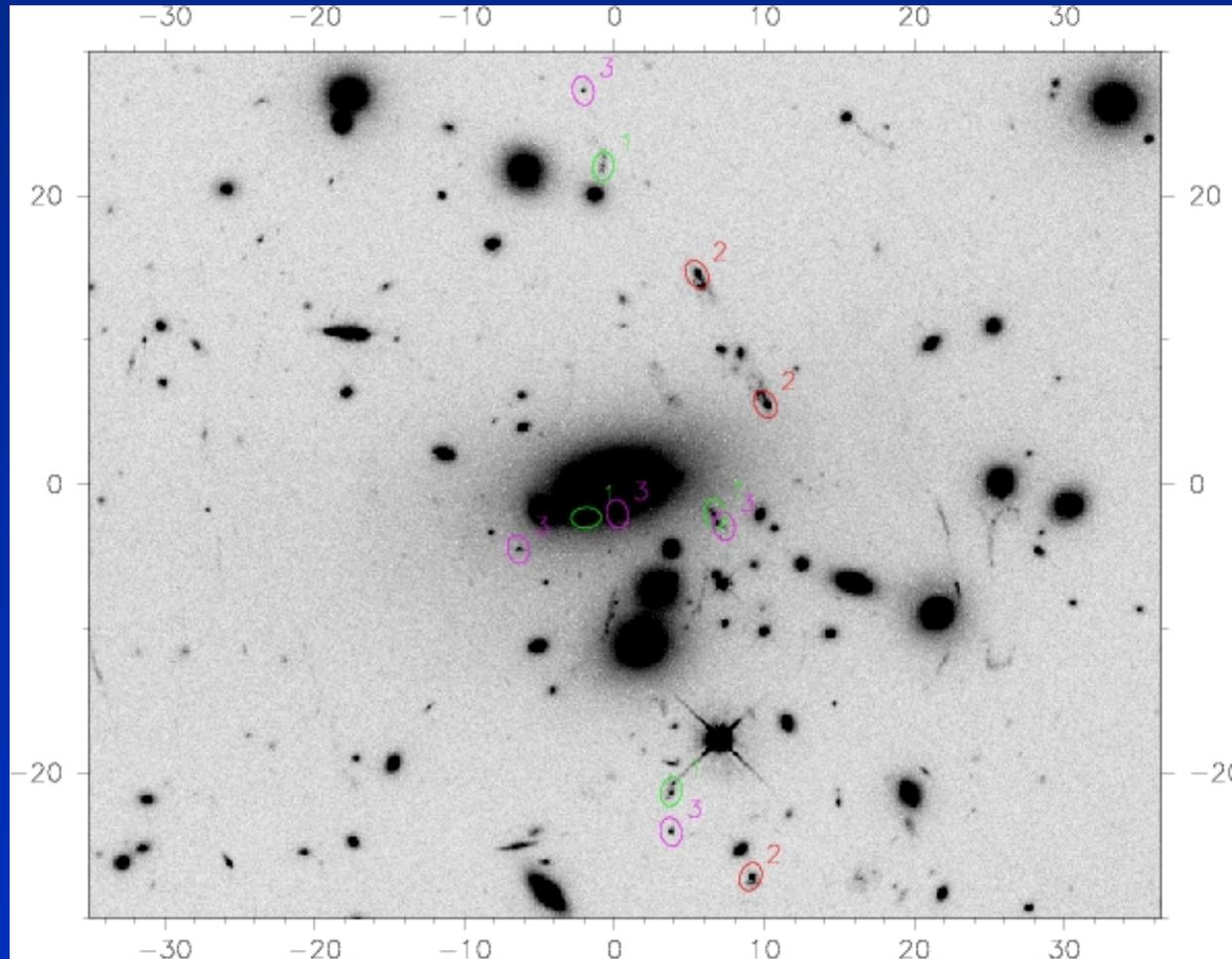


• $z_L = 0,312$

• $z_{S1} = 1,691$ (4 images)

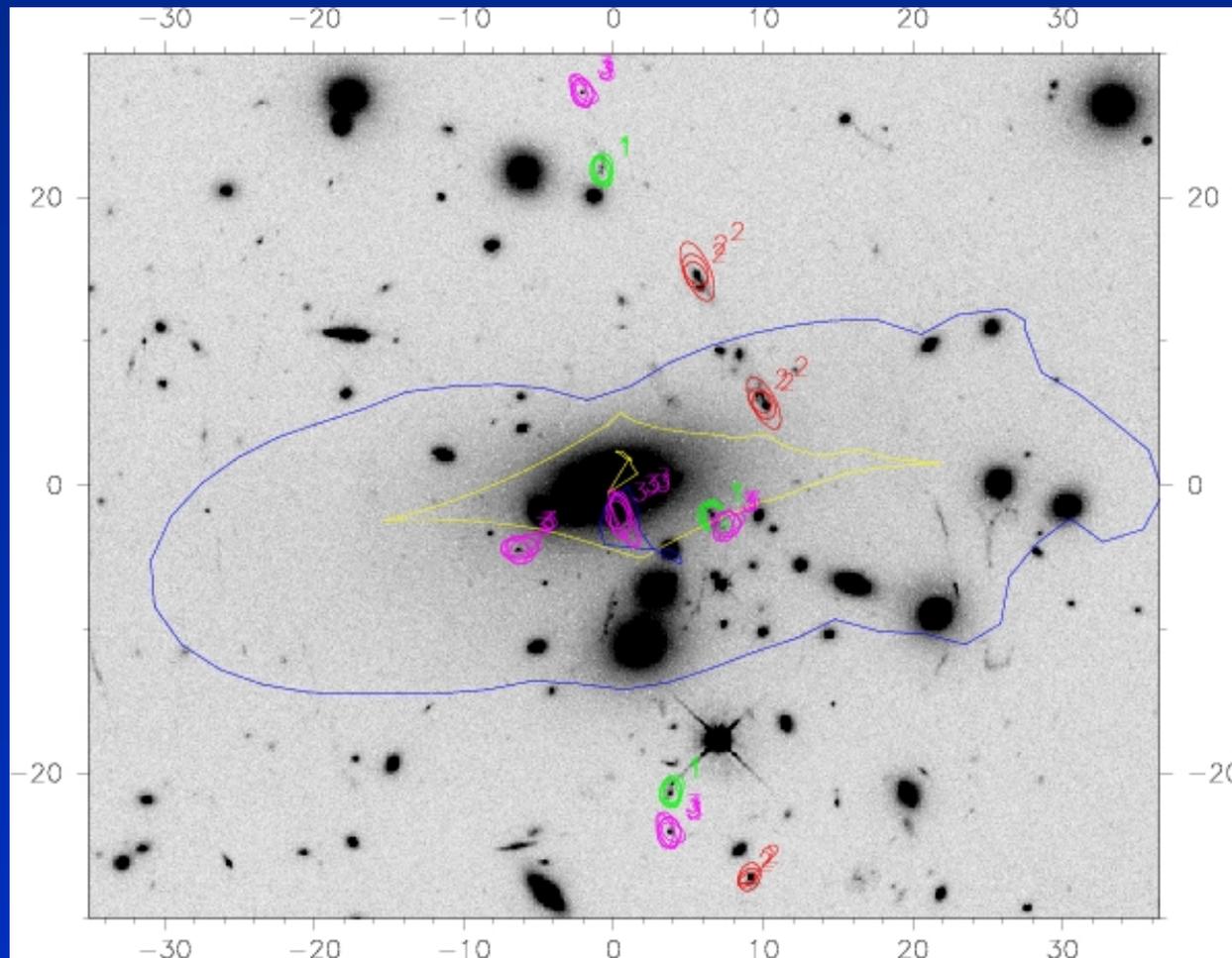
• $z_{S2} = 1,867$ (3 images)

AC 114 : présentation



- $z_L = 0,312$
- $z_{S1} = 1,691$ (4 images)
- $z_{S2} = 1,867$ (3 images)
- $z_{S3} = 3,347$ (5 images)

AC 114 : présentation



- $z_L = 0,312$
- $z_{S1} = 1,691$ (4 images)
- $z_{S2} = 1,867$ (3 images)
- $z_{S3} = 3,347$ (5 images)

AC 114 : procédure d'optimisation

- **Modélisation de la distribution de masse :**
 - ★ 1 halo principal de matière noire de type *PIEMD*
 - ★ 2 halos secondaires à 70'' et 120'' du centre
 - ★ contribution des galaxies centrales les plus brillantes
- **Procédure d'optimisation**
 - ★ détermination des paramètres fixes (en variant la cosmologie)
 - ★ ajustement des paramètres libres (σ_0 et θ_c du halo principal) pour chaque cosmologie

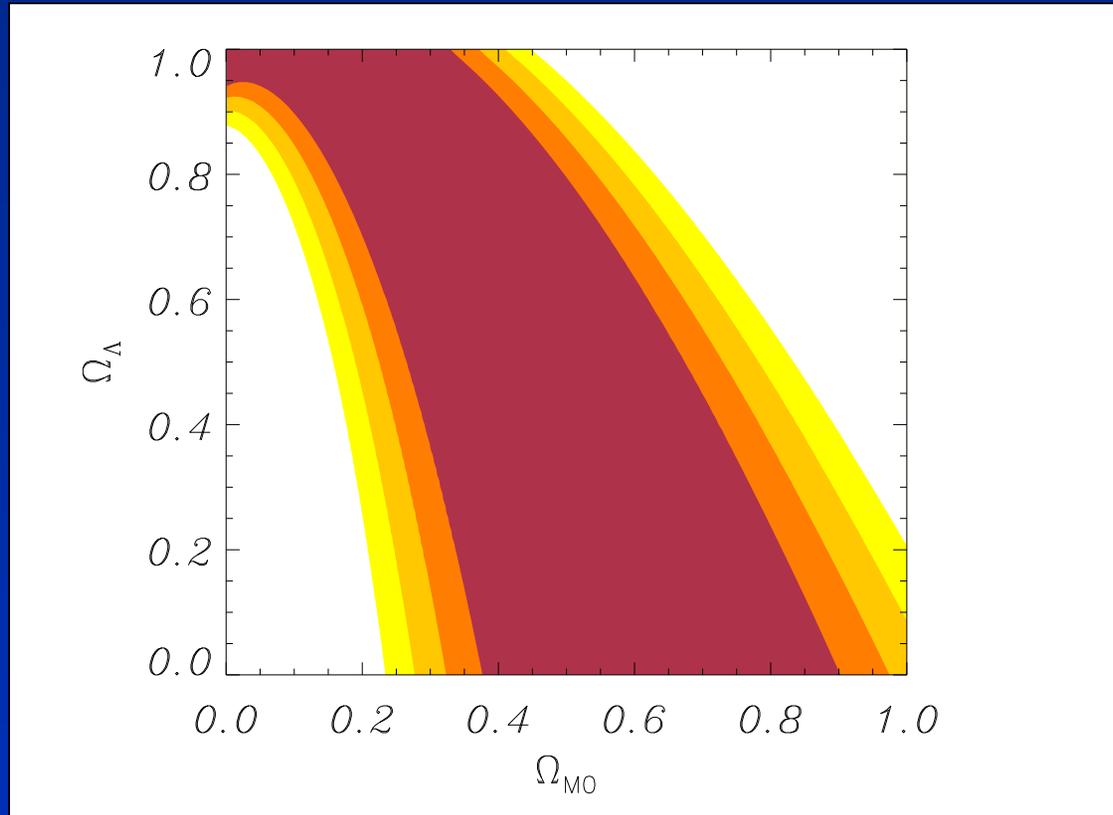
AC 114 : procédure d'optimisation

- Modélisation de la distribution de masse :
 - ★ 1 halo principal de matière noire de type *PIEMD*
 - ★ 2 halos secondaires à 70'' et 120'' du centre
 - ★ contribution des galaxies centrales les plus brillantes
- Procédure d'optimisation
 - ★ détermination des paramètres fixes (en variant la cosmologie)
 - ★ ajustement des paramètres libres (σ_0 et θ_c du halo principal) pour chaque cosmologie

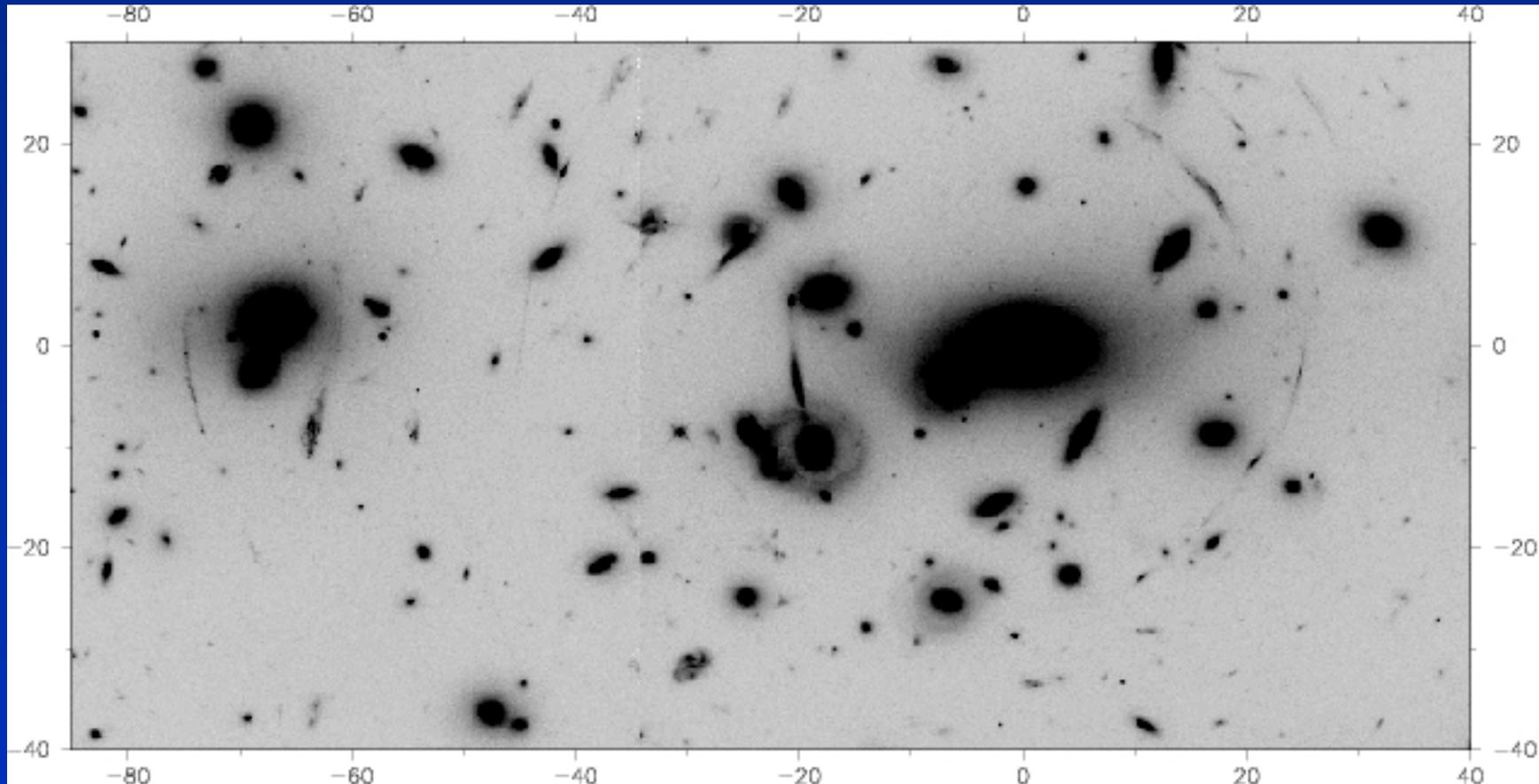
AC 114 : procédure d'optimisation

- Modélisation de la distribution de masse :
 - ★ 1 halo principal de matière noire de type *PIEMD*
 - ★ 2 halos secondaires à 70'' et 120'' du centre
 - ★ contribution des galaxies centrales les plus brillantes
- Procédure d'optimisation
 - ★ détermination des paramètres fixes (en variant la cosmologie)
 - ★ ajustement des paramètres libres (σ_0 et θ_c du halo principal) pour chaque cosmologie

AC 114 : contraintes en $(\Omega_{M0}, \Omega_{\Lambda})$

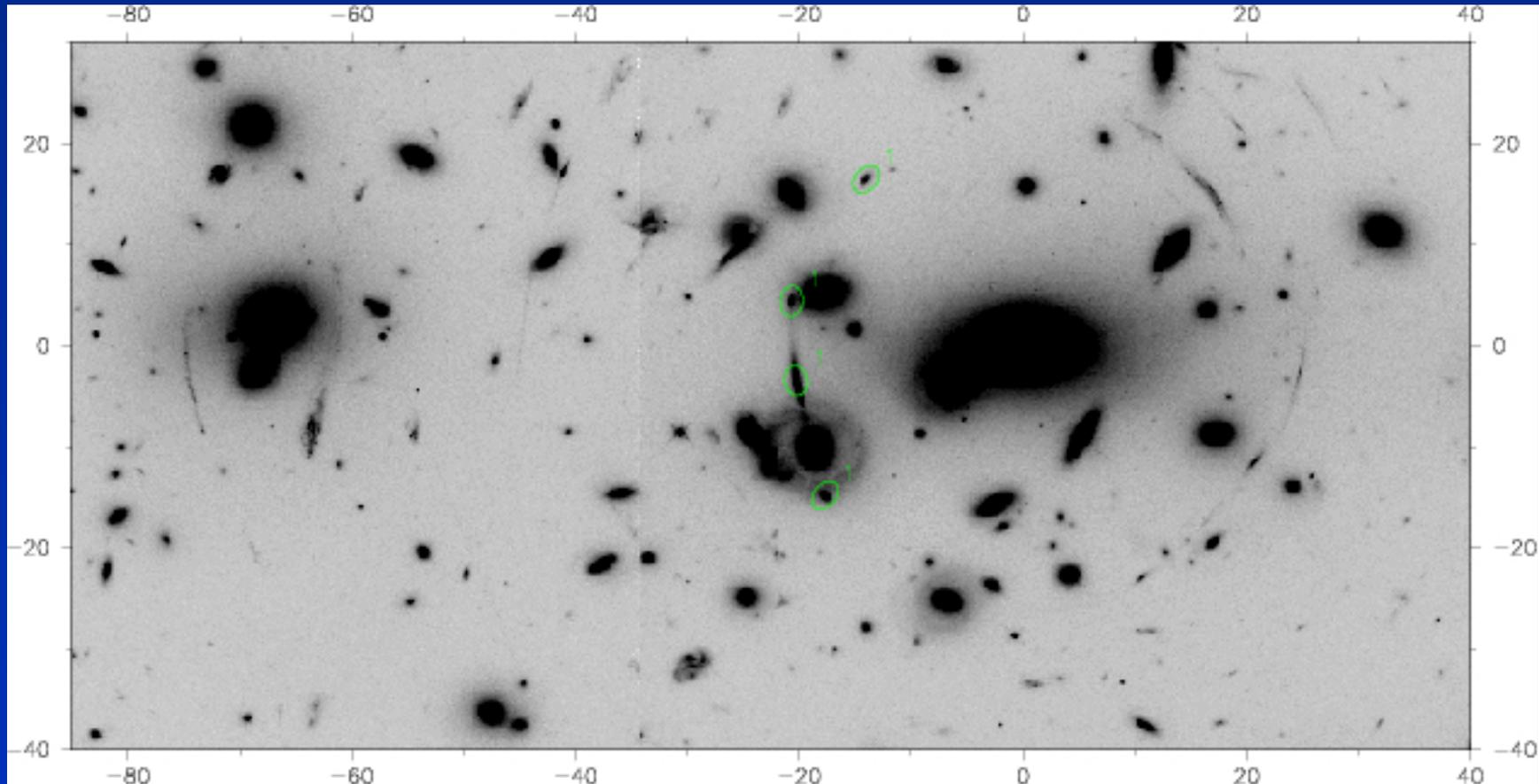


Abell 2218 : présentation



• $z_L = 0,176$

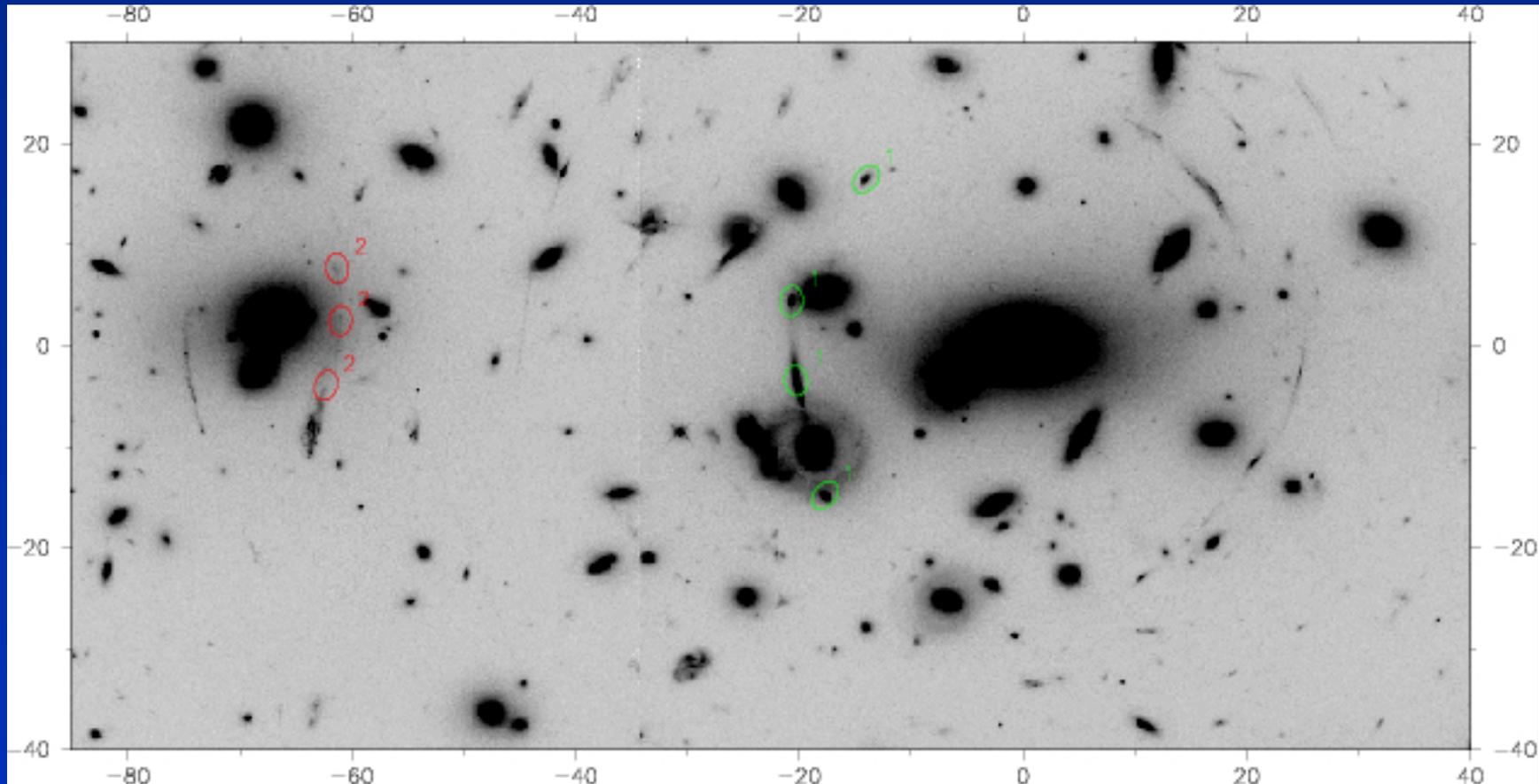
Abell 2218 : présentation



• $z_L = 0,176$

• $z_{S1} = 0,702$ (4 images)

Abell 2218 : présentation

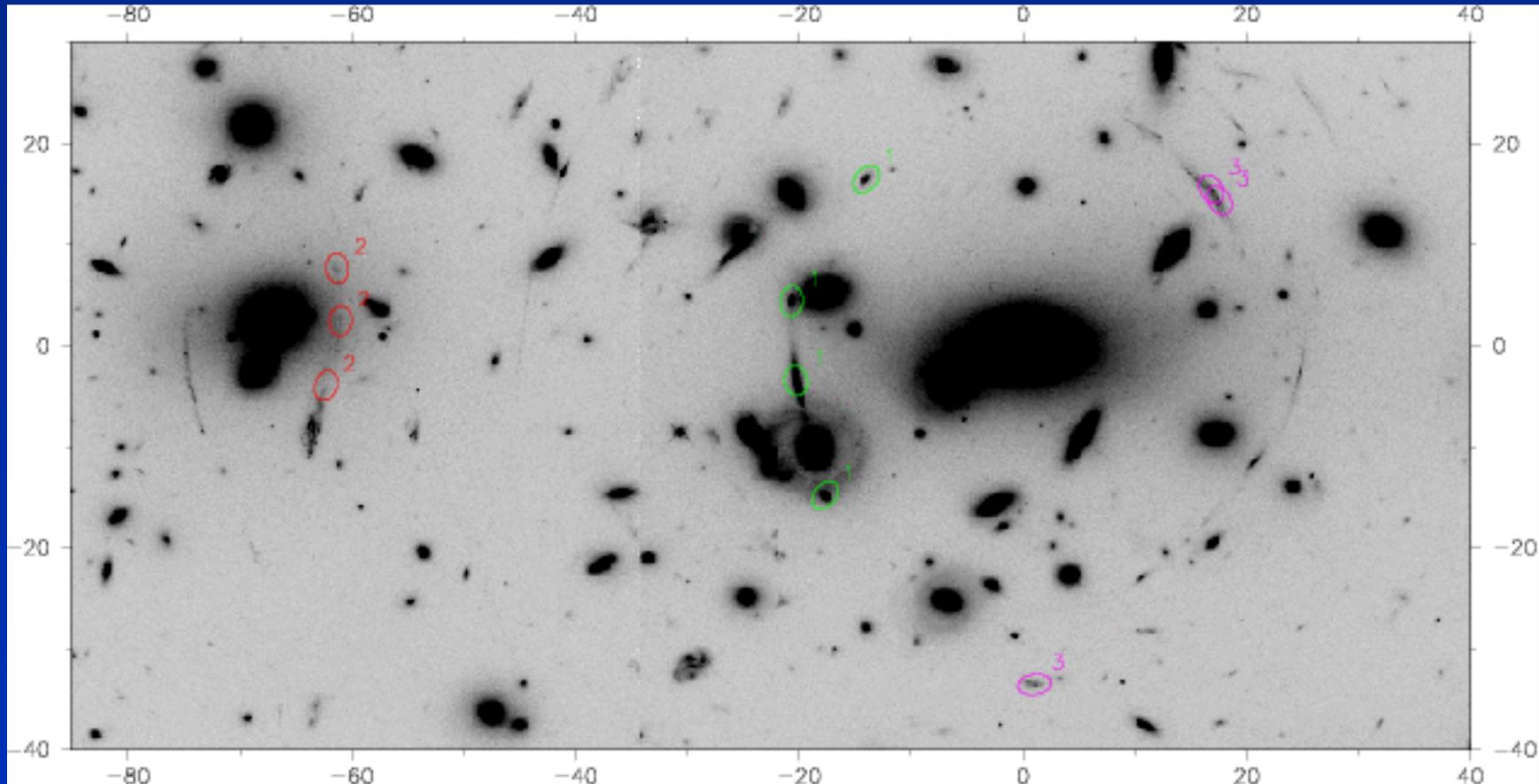


● $z_L = 0,176$

● $z_{S1} = 0,702$ (4 images)

● $z_{S2} = 1,034$ (3 images)

Abell 2218 : présentation



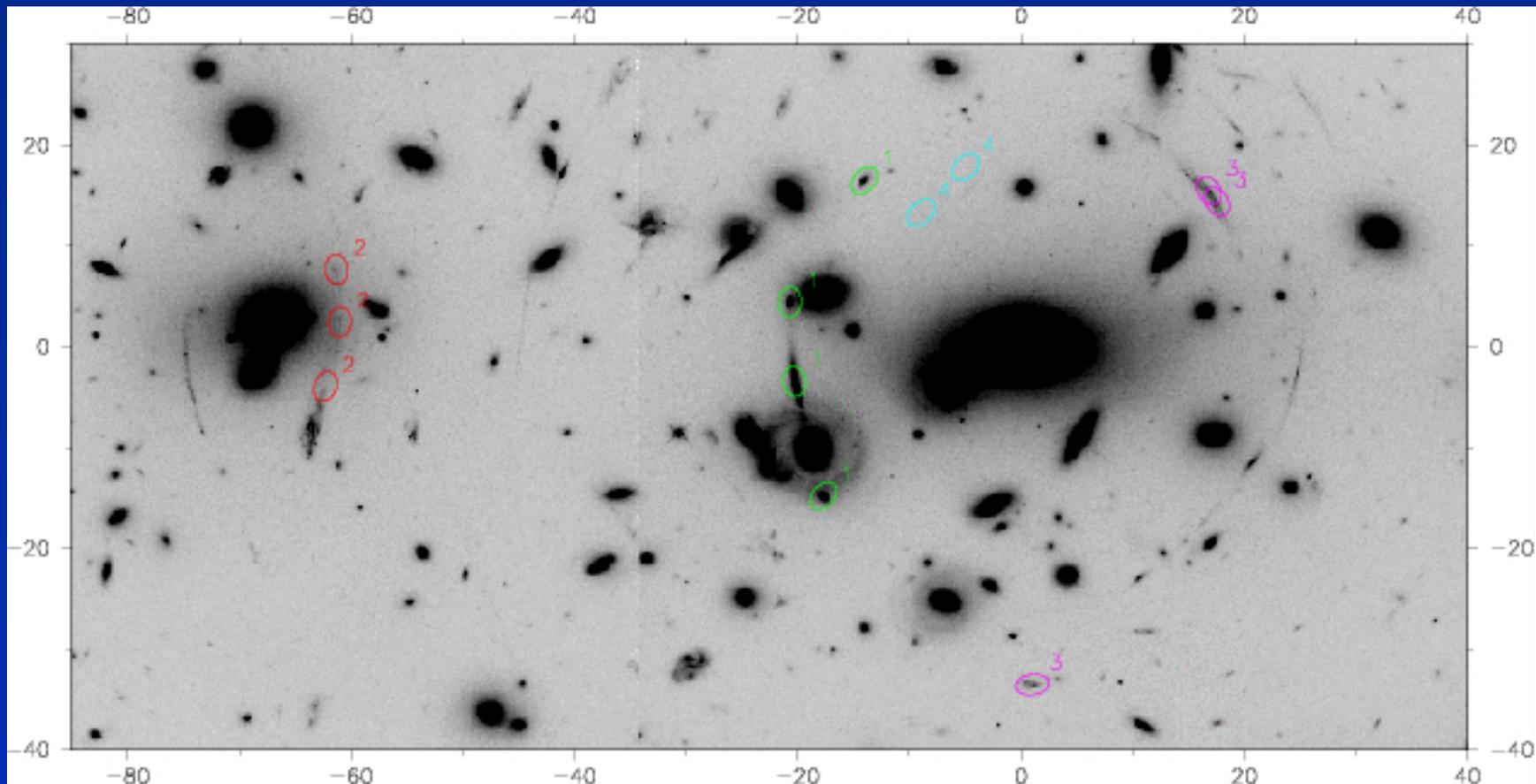
● $z_L = 0,176$

● $z_{S1} = 0,702$ (4 images)

● $z_{S2} = 1,034$ (3 images)

● $z_{S3} = 2,515$ (3 images)

Abell 2218 : présentation



● $z_L = 0,176$

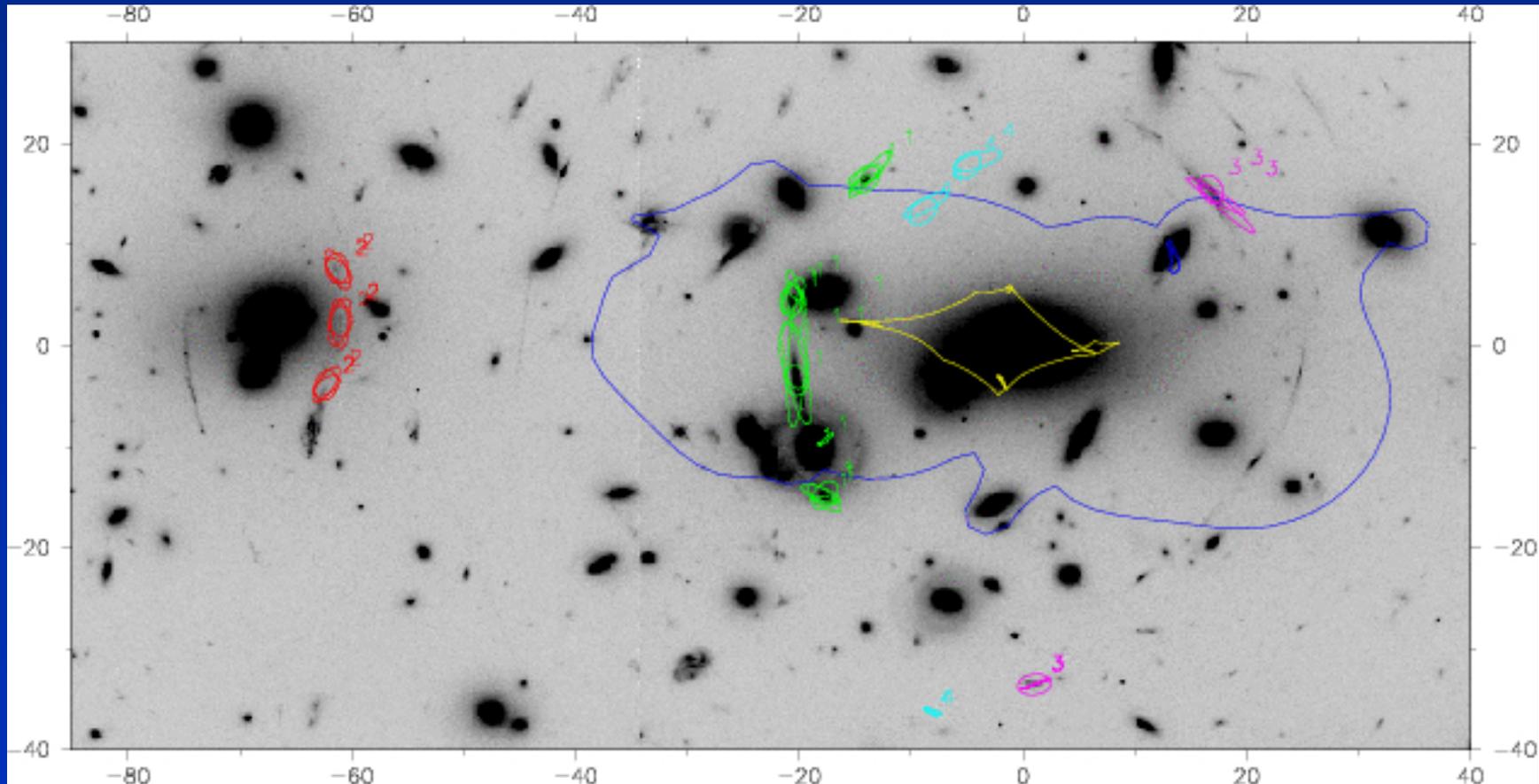
● $z_{S1} = 0,702$ (4 images)

● $z_{S2} = 1,034$ (3 images)

● $z_{S3} = 2,515$ (3 images)

● $z_{S4} = 5,576$ (2 images)

Abell 2218 : présentation



● $z_L = 0,176$

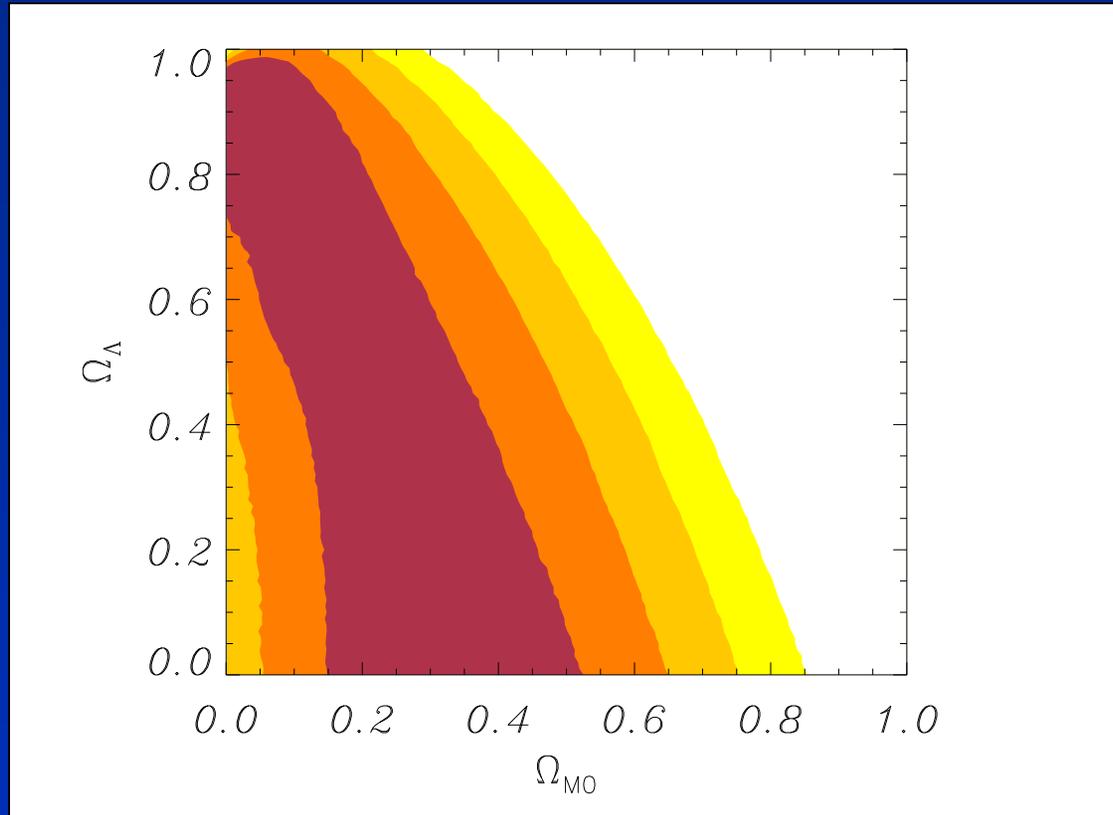
● $z_{S1} = 0,702$ (4 images)

● $z_{S2} = 1,034$ (3 images)

● $z_{S3} = 2,515$ (3 images)

● $z_{S4} = 5,576$ (2 images)

Abell 2218 : contraintes en $(\Omega_{M0}, \Omega_{\Lambda})$



- Univers de courbure quelconque

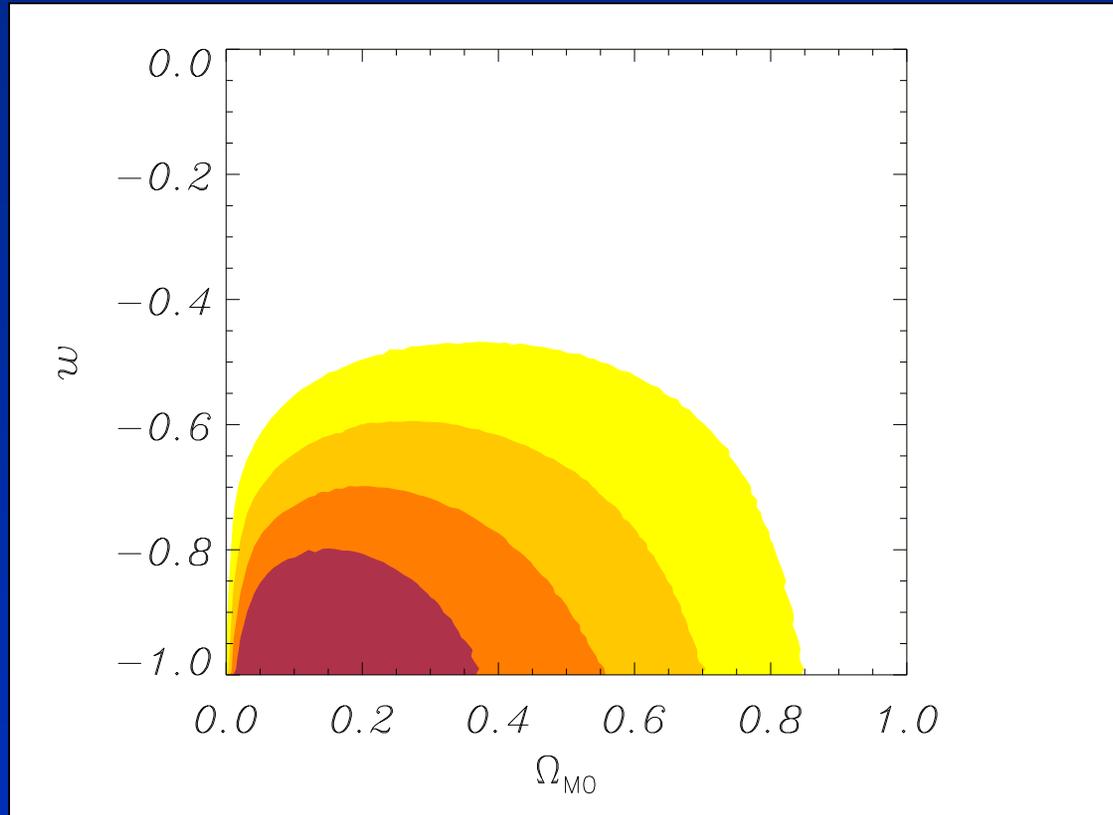
★ $0 \leq \Omega_{M0} \leq 0,54$

- Univers plat

★ $0,01 \leq \Omega_{M0} \leq 0,22$

★ $0,78 \leq \Omega_{\Lambda} \leq 0,99$

Abell 2218 : contraintes en (Ω_{M0}, w)



- Univers plat

- ★ $0,01 \leq \Omega_{M0} \leq 0,37$

- ★ $0,63 \leq \Omega_{Q0} \leq 0,99$

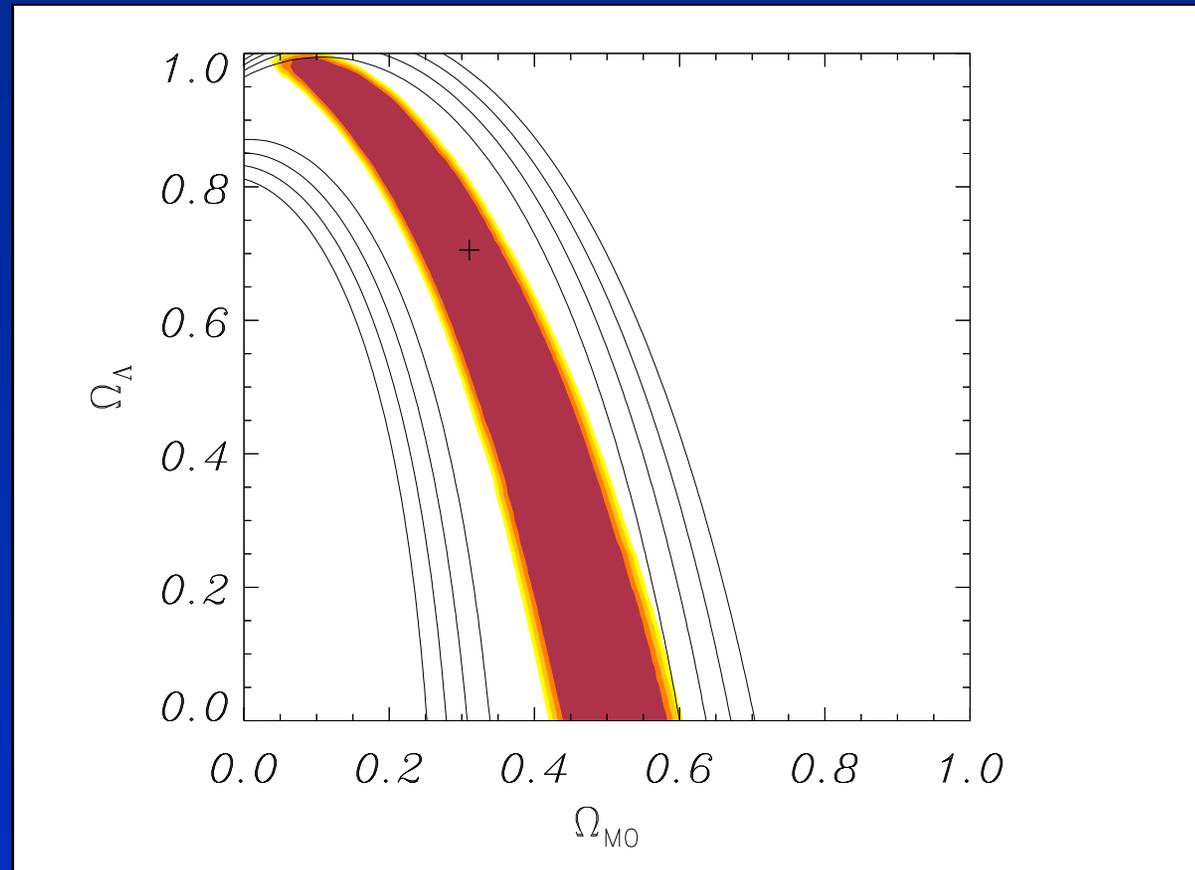
- ★ $w \leq -0,80$

Abell 2218 : distribution de masse

- Halo principal : $\sigma_0 = 1\,039_{-20}^{+76} \text{ km s}^{-1}$, $r_c = 61,6_{-2,0}^{+4,3} \text{ kpc}$.
- Halo étendu pour les galaxies (typiquement 40 kpc), $M/L \propto L^{0,4}$.
- Composantes de masse

élément	masse ($10^{14} M_{\odot}$)	fraction de masse
halo principal	3,053	91,1 %
halo secondaire	0,172	5,1 %
galaxies	0,128	3,8 %
total	3,353	100 %

Conclusion



Test cosmologique

- **Méthode mise en œuvre**
 - ★ mesure géométrique *indépendante* de la cosmologie
 - ★ dégénérescence propre
 - ★ effets distribution de masse / cosmologie séparés
 - ★ possibilité de combiner les contraintes de plusieurs amas
- **Avenir**
 - ★ autres amas : A 370, A 383, MS 2137, MS 0440, A 1689
 - ★ proposition au Keck pour 5 autres systèmes dans A 2218
 - ★ relevé MACS d'amas lumineux en X
 - ★ instrument VIMOS/IFU sur le VLT : spectroscopie

Test cosmologique

- Méthode mise en œuvre
 - ★ mesure géométrique *indépendante* de la cosmologie
 - ★ dégénérescence propre
 - ★ effets distribution de masse / cosmologie séparés
 - ★ possibilité de combiner les contraintes de plusieurs amas
- Avenir
 - ★ autres amas : A 370, A 383, MS 2137, MS 0440, A 1689
 - ★ proposition au Keck pour 5 autres systèmes dans A 2218
 - ★ relevé MACS d'amas lumineux en X
 - ★ instrument VIMOS/IFU sur le VLT : spectroscopie

Test cosmologique

- Méthode mise en œuvre
 - ★ mesure géométrique *indépendante* de la cosmologie
 - ★ dégénérescence propre
 - ★ effets distribution de masse / cosmologie séparés
 - ★ possibilité de combiner les contraintes de plusieurs amas
- Avenir
 - ★ autres amas : A 370, A 383, MS 2137, MS 0440, A 1689
 - ★ proposition au Keck pour 5 autres systèmes dans A 2218
 - ★ relevé MACS d'amas lumineux en X
 - ★ instrument VIMOS/IFU sur le VLT : spectroscopie

Plan	1
Introduction	2
Paramètres cosmologiques	3
Contraintes cosmologiques actuelles	4
Amas de galaxies : généralités	5
Amas de galaxies : profil de masse	6
Lentilles gravitationnelles	7
Amas-lentilles	8
Influence de la cosmologie sur la formation des images	9
Rapport de distances diamètre-angulaire	10
Test cosmologique	11
Variations de E avec la cosmologie	12
Validité du test cosmologique	13
Contraintes cosmologiques : simulations numériques	14
Algorithme	15
Modèles de Lentilles Pseudo-Elliptiques (1)	16
Modèles de Lentilles Pseudo-Elliptiques (2)	17
Cas d'un halo simple	18
Ajustement des paramètres	19

Profil différent/Nombre de systèmes	20
Potentiels complexes	21
Application à des amas observés	22
AC 114 : présentation	23
AC 114 : procédure d'optimisation	24
AC 114 : contraintes en $(\Omega_{M0}, \Omega_{\Lambda})$	25
Abell 2218 : présentation	26
Abell 2218 : contraintes en $(\Omega_{M0}, \Omega_{\Lambda})$	27
Abell 2218 : contraintes en (Ω_{M0}, w)	28
Abell 2218 : distribution de masse	29
Conclusion	30
Test cosmologique	31
Table des matières	32