

Matière, énergie et évolution de l'univers

Relevés optiques, IR, radio ...

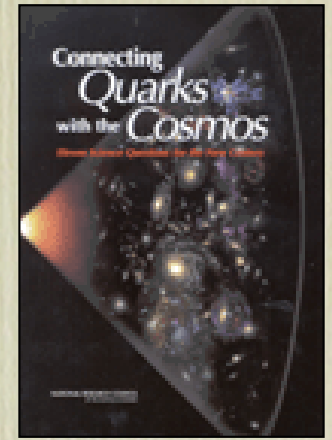
Prospectives en cosmologie (3)
Branville/LAL
R. Ansari - Mai 2006



- Quelques unes des grandes questions ...
- Sondes cosmologiques (autre que le fond diffus)
 - Les supernovae (chandelle standard)
 - Oscillations baryoniques (BAO)
 - Distorsions gravitationnelles (Weak Lensing - WL)
 - Amas de galaxies (CL)
- Projets, développements techniques
 - SNAP (DUNE)
 - SKA
 - LSST (DES)

Extraits de *Connecting Quarks with the Cosmos: Eleven
Science Questions for the New Century* (2003)

<http://www.nap.edu/books/0309074061/html/>



- 1- What Is Dark Matter?**
- 2- What Is the Nature of Dark Energy?**
- 3- How Did the Universe Begin?**
- 4- Did Einstein Have the Last Word on Gravity?**
- 5- What Are the Masses of the Neutrinos, and How Have They Shaped the Evolution of the Universe?**
- 6- How Do Cosmic Accelerators Work and What Are They Accelerating?**
- 7- Are Protons Unstable?**
- 8- What Are the New States of Matter at Exceedingly High Density and Temperature?**
- 9- Are There Additional Space-Time Dimensions?**
- 10- How Were the Elements from Iron to Uranium Made?**
- 11- Is a New Theory of Matter and Light Needed at the Highest Energies?**

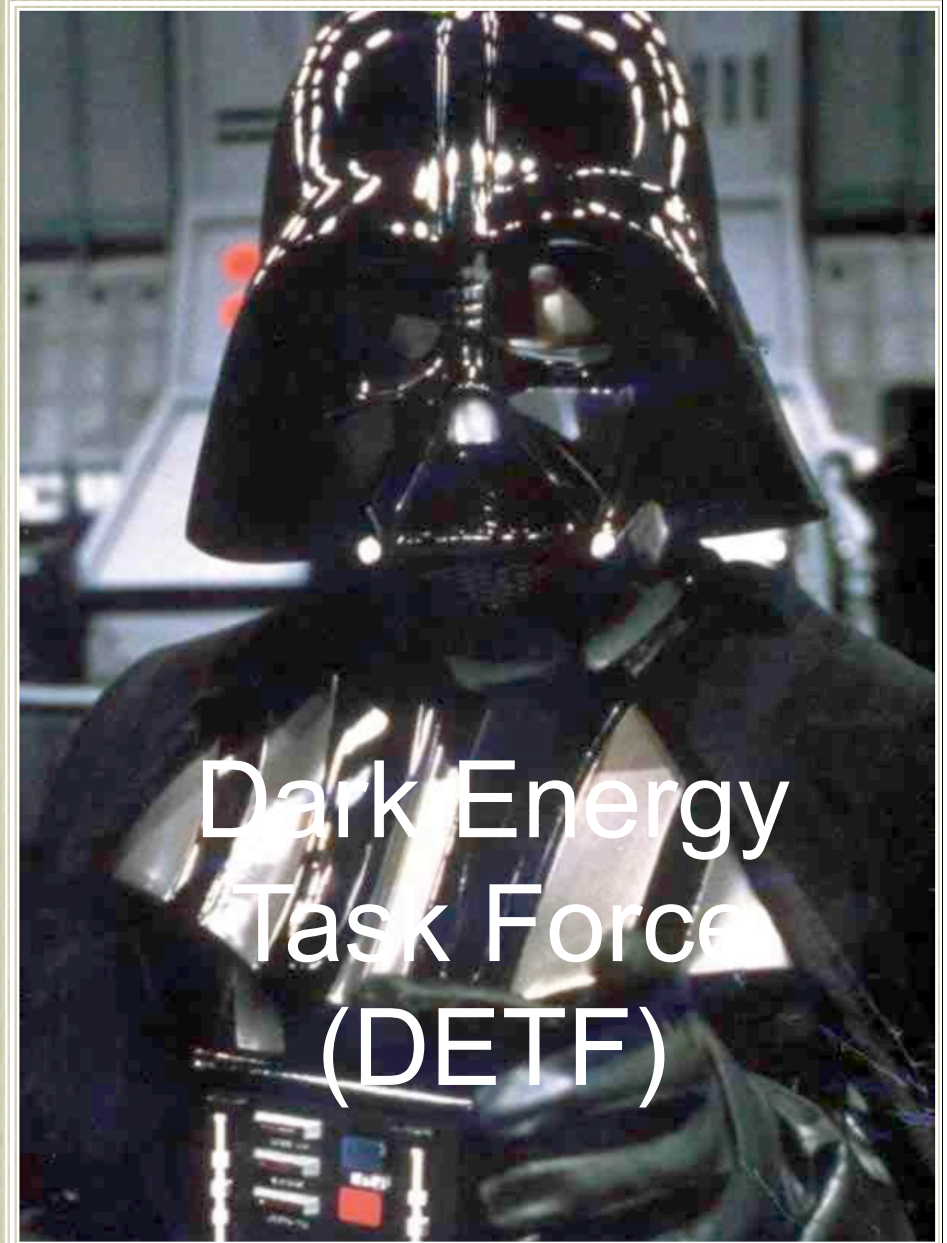
La matière noire

- Recherche directe de matière noire (EDELWEISS ...)
- Recherche indirecte de matière noire (HESS ...)
- La matière noire Galactique (Halo)
- La matière noire baryonique, la répartition cosmique des baryons
- Formation des structures et propriétés de la matière noire

L' énergie noire

- Sujet à la mode
- Grandes variétés de travaux théoriques: Quintessence, dimensions supplémentaires ...
- Affichage comme motivation pour de nombreux programmes d'observation
- Détermination de l'équation d'état $p = w(z) \rho$
- $w(z) = -1$ pour la constante cosmologique (Λ)

<http://www.nsf.gov/mps/ast/detf.jsp>



A Schematic Outline of the Cosmic History

Time since the Big Bang (years)

~ 300 thousand

~ 500 million

~ 1 billion

~ 9 billion

~ 13 billion



← The Big Bang

The Universe filled with ionized gas

← The Universe becomes neutral and opaque

The Dark Ages start

Galaxies and Quasars begin to form
The Reionization starts

The Cosmic Renaissance
The Dark Ages end

← Reionization complete, the Universe becomes transparent again

Galaxies evolve

The Solar System forms

Today: Astronomers figure it all out!

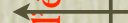
S.G. Djorgovski et al. & Digital Media Center, Caltech



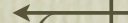
Nucléosynthèse primordiale → BBN
Découplage matière-rayonnement → CMB



Formation des premières étoiles et quasars → Réionisation



Formation des galaxies



Apparition des hommes / aujourd'hui $z=0$

Domination de l'énergie noire / Λ

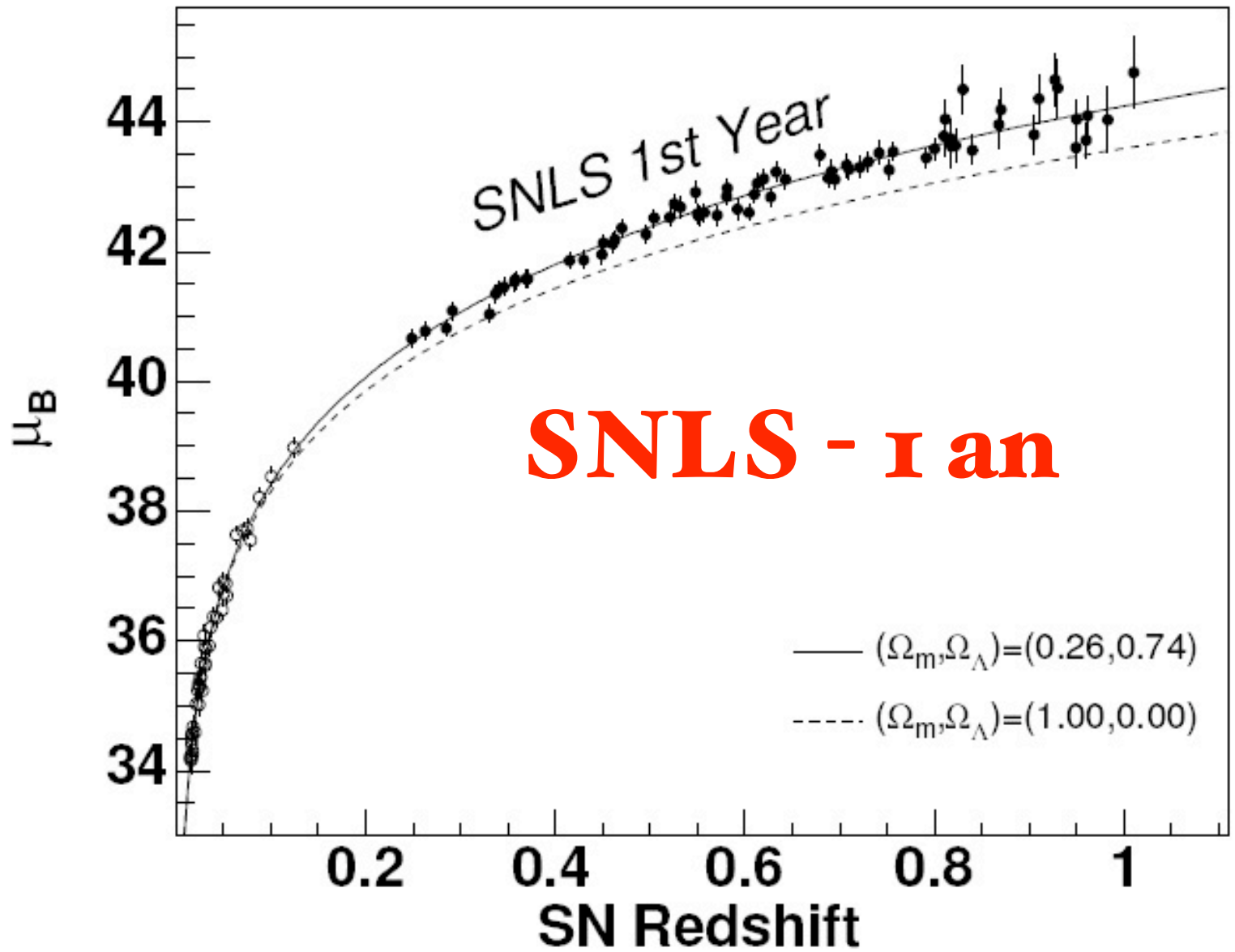
Arpentage de l'Univers

détermination des paramètres de densité

- ◆ Le décalage vers le rouge est mesuré avec les raies d'émission ou d'absorption (atomique, moléculaire) des objets (galaxies...)
- ◆ On peut estimer les distances à l'aide de chandelles standard $d_L(z)$ ou de règle standard $d_A(z)$
 - On mesure la variation de la luminosité apparente d'un objet de luminosité absolue connue ou constante en fonction de z (SNIa ...)
 $d_L(z)$
 - Mesure du diamètre apparent d'un objet de taille connue $d_A(z)$
- ◆ On peut aussi utiliser la variation de l'élément de volume en fonction de z ($V(z)$, dN/dz ...)

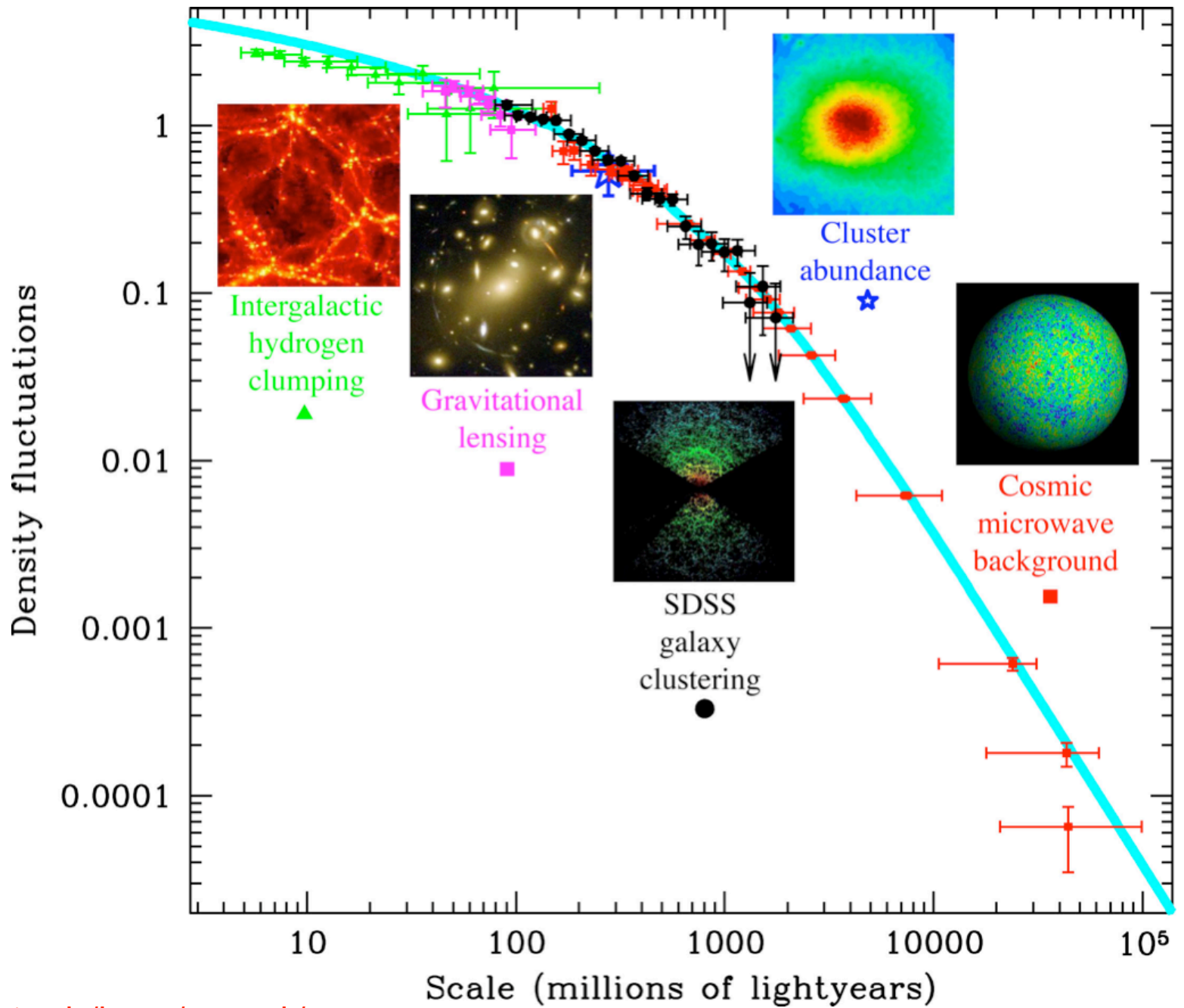
$d_L(z)$ avec les SNIa
(SCP, Highz, SNLS ...)

Résultats SNLS (2005)
(1 an, 71 SNIa + 44 à bas z)
astro-ph/0510447



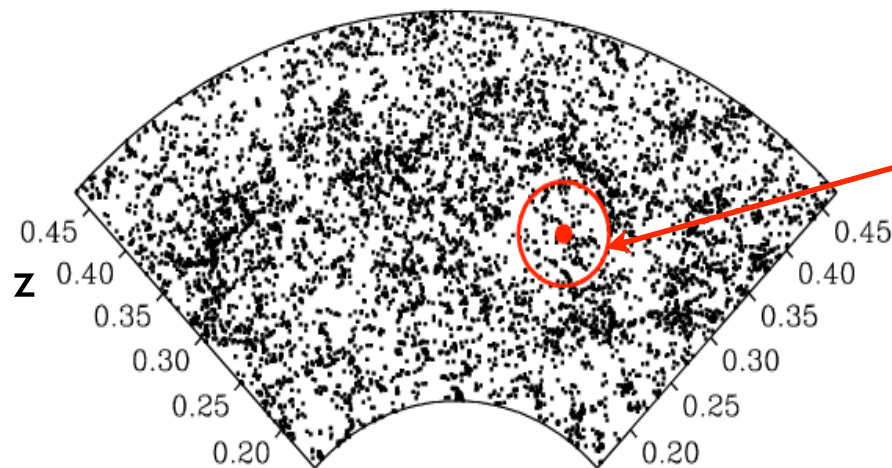
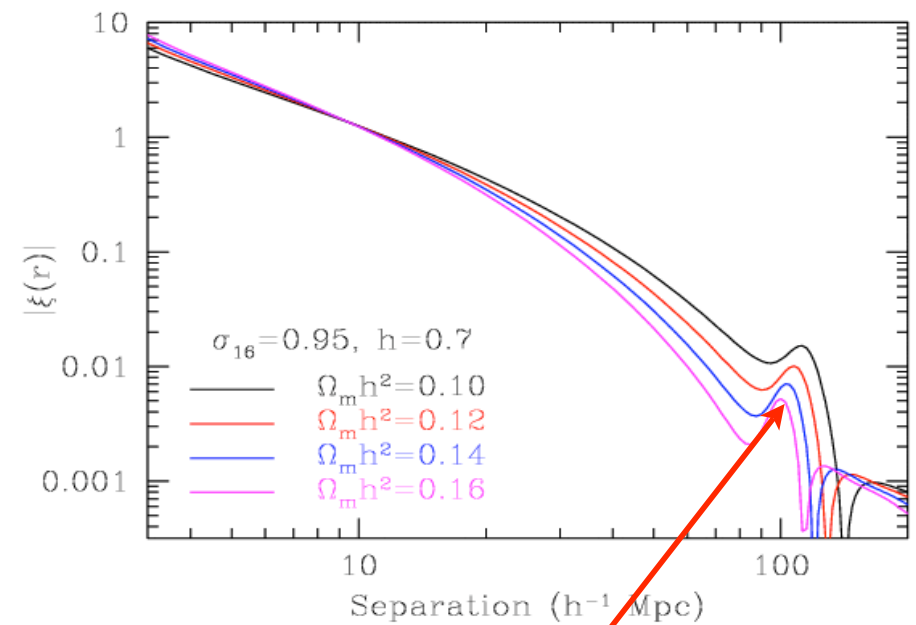
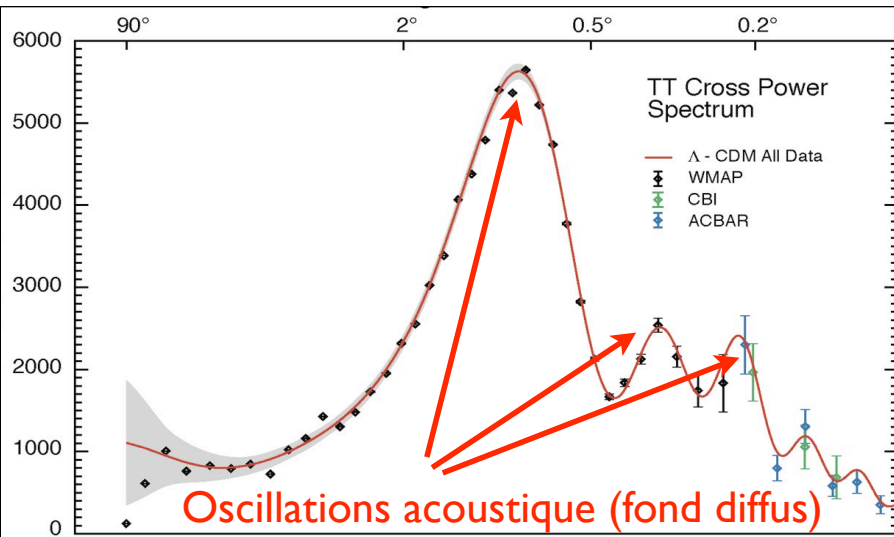
SDSS - PRD / astro-ph/0310723

merci à Max Tegmark !



BAO : Oscillations Acoustiques Baryoniques

- Empreintes laissées par les oscillations du fluide baryons-photons dans la distribution de la matière ordinaire (lumineuse) au cours de la formation des structures
- Modulation de la distribution de matière baryonique, qui suit essentiellement la matière sombre, dans des structures formées par croissance des fluctuations de densité et effondrement gravitationnel
- Sonde cosmologique de type règle standard - avec une mesure @ $z \sim 1100$ en prime (anisotropies du fond diffus micro-ondes)

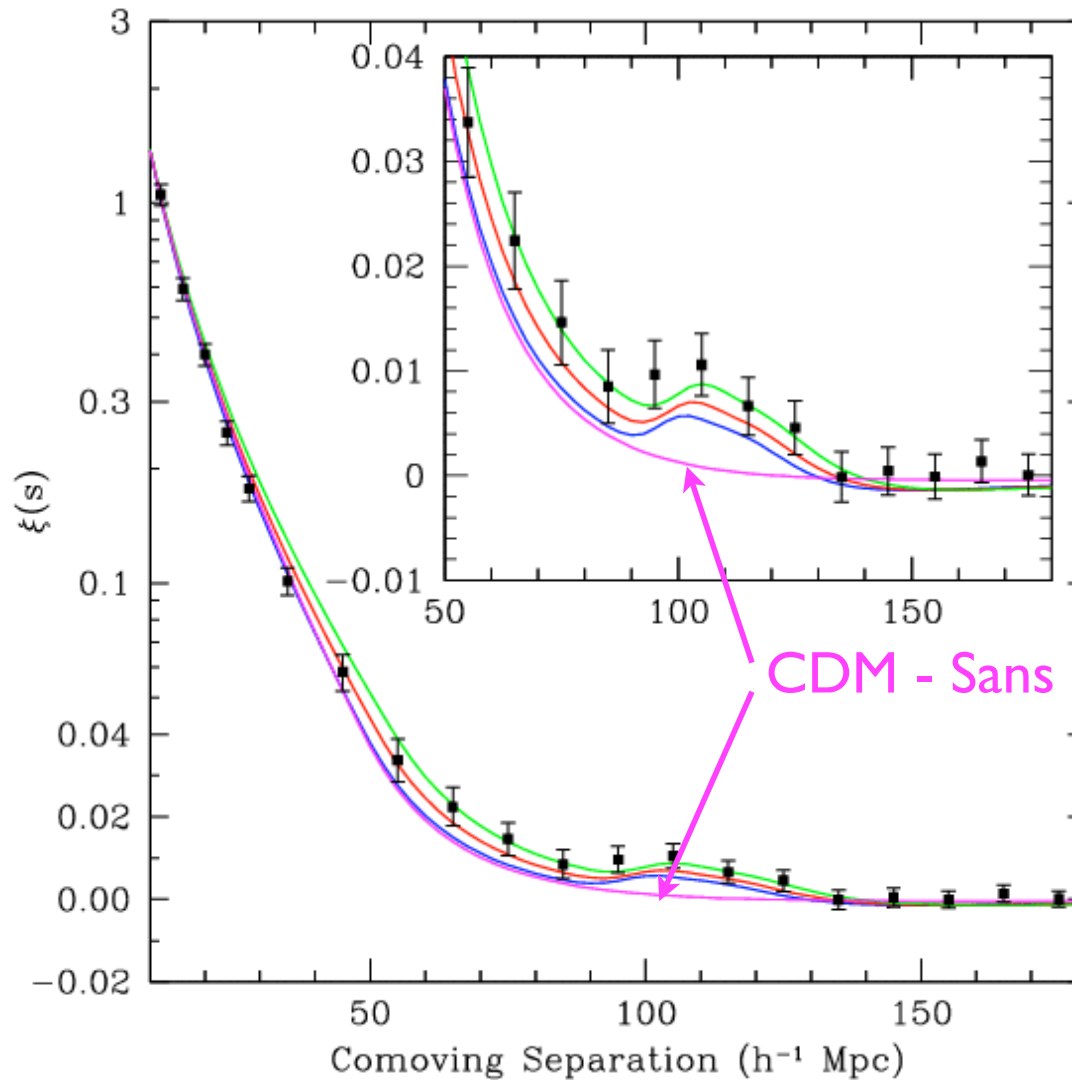


Distribution galaxies
plan (z , angle (α, δ))

BAO
**Empreinte des oscillations acoustiques
dans la distribution des galaxies**

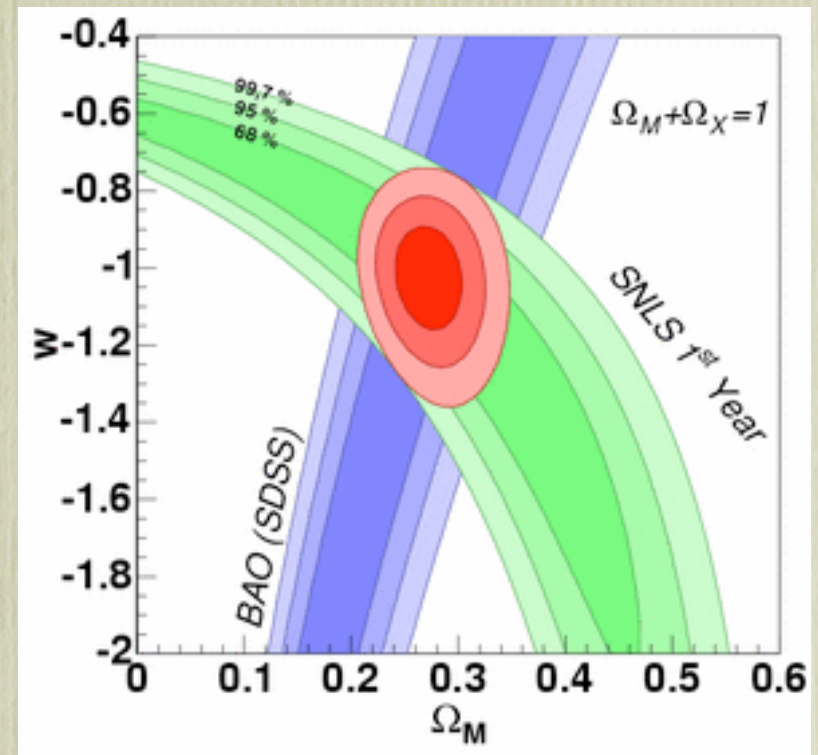
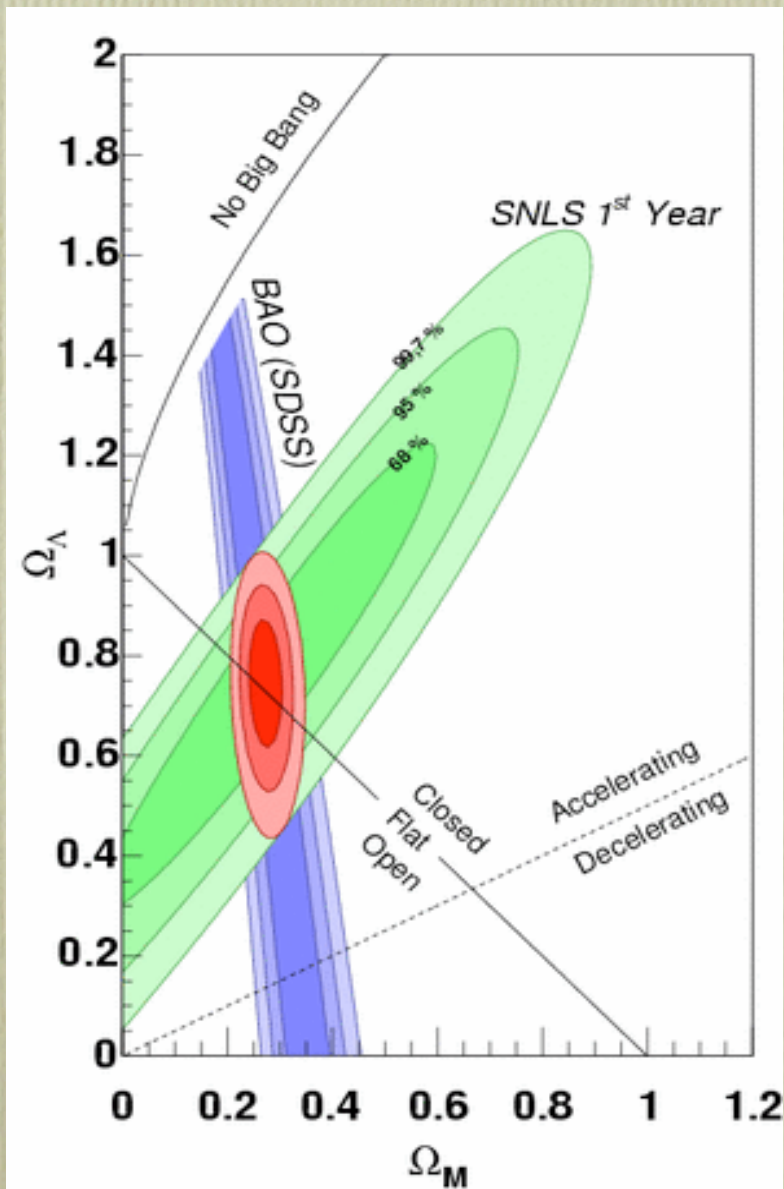
Observation des oscillations acoustiques dans la distributions des galaxies ($z \sim 0.35$)

SDSS - D. Eisenstein et al.
ApJ, astro-ph/0501171



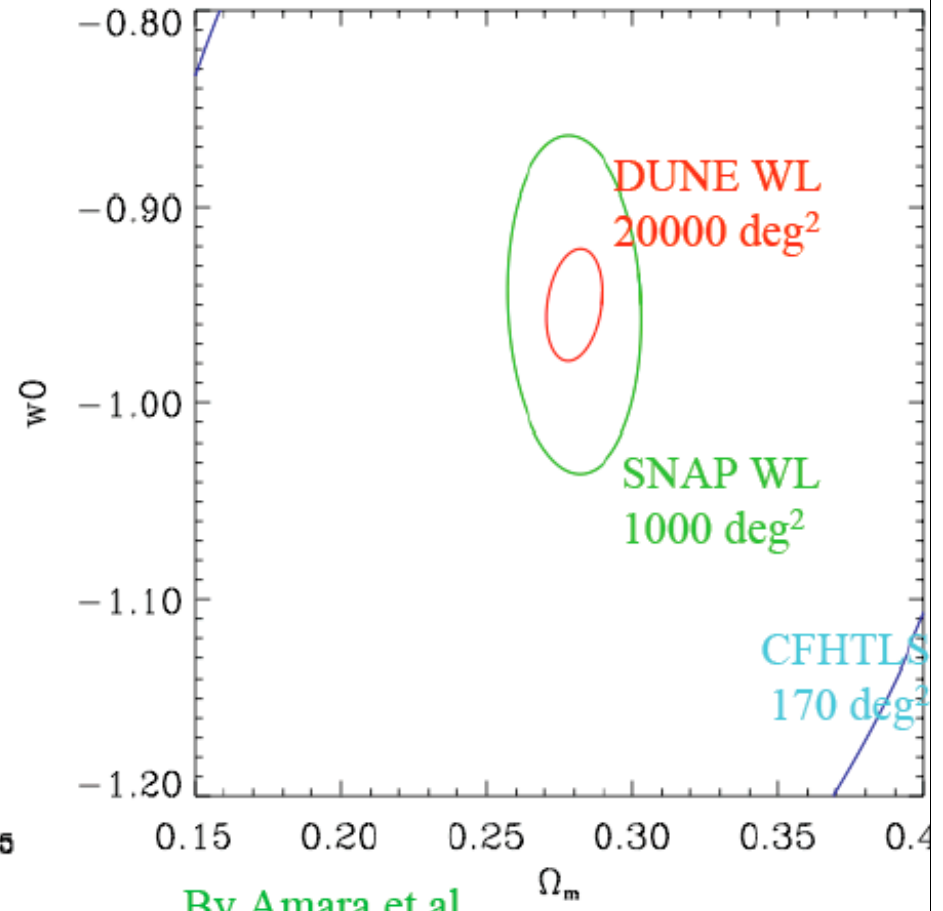
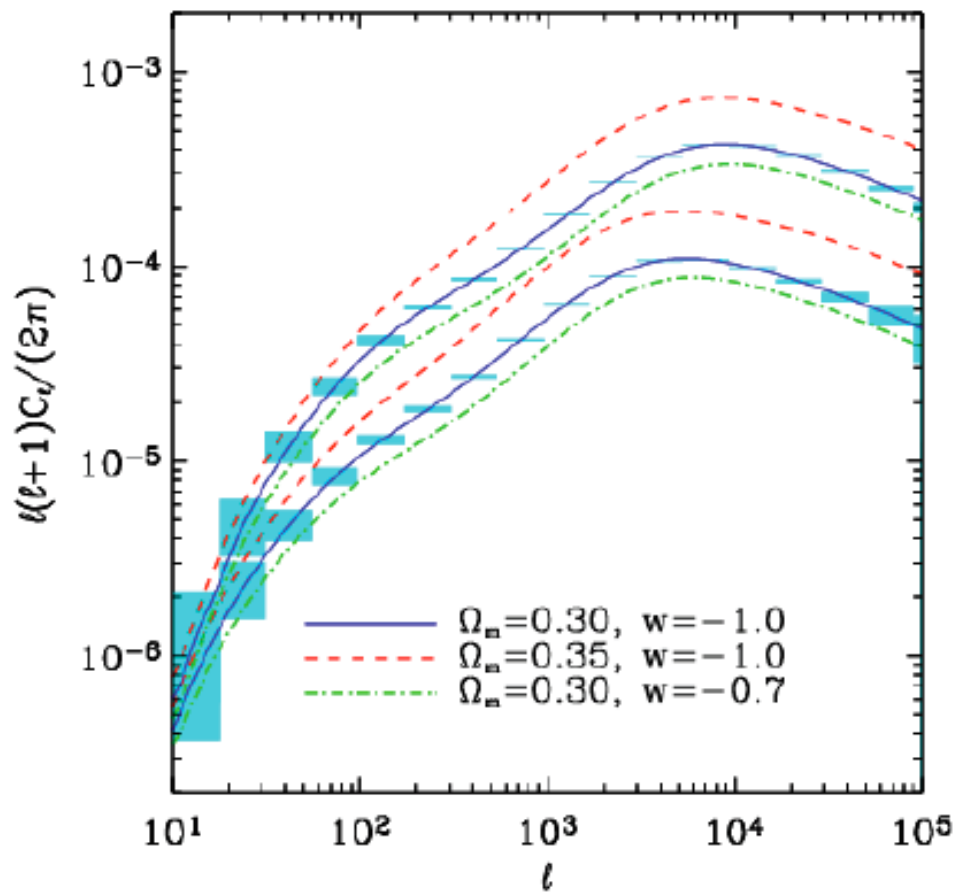
SDSS-LRG
46748 LRG's
sur 3816 deg²

Contraintes combinées SNLS - SDSS/BAO



Distorsions gravitationnelles (WL)

- Déformations des images des objets par les structures massives présentes le long de la ligne de visée
- Images multiples, arcs ... en régime fort
- Orientation, alignement préférentiel en régime faible (mesures statistiques)
- Sensible aux inhomogénéités de masse ($\delta\rho/\rho$) et aux distance D_s D_L
- Outils: fonction d'auto-corrélation angulaire et décomposition en harmoniques sphériques ($C(l)$)



Sensibilité DUNE / WL (3D tomography)
 20000 deg²
 A. Réfrégier (et al.)

SNAP

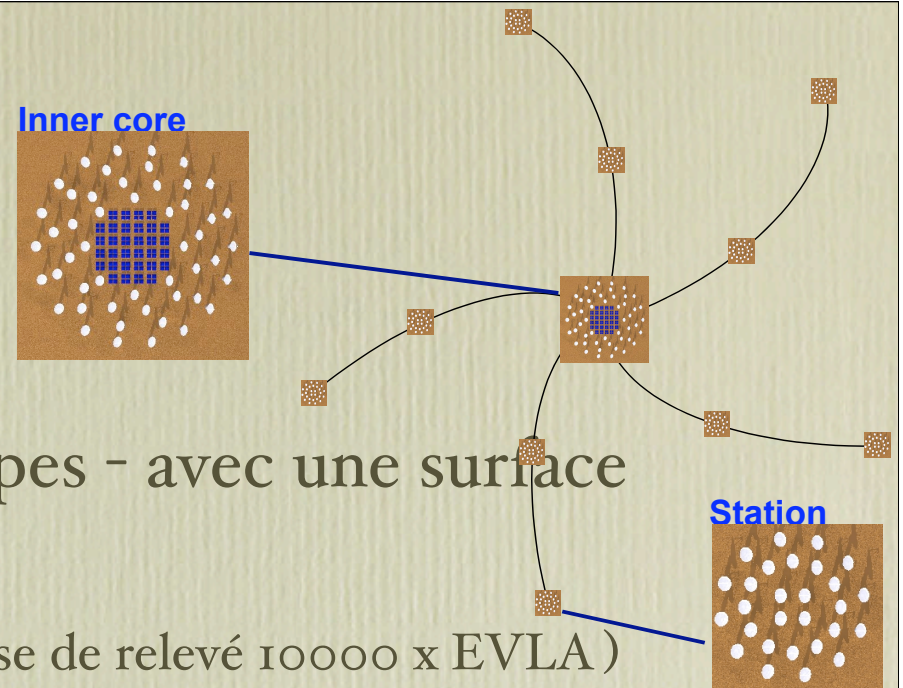
Supernova Acceleration Probe

<http://snap.lbl.gov/>

- Télescope (D=2m) dans l'espace (point de Lagrange L2)
- Equipé d'une caméra grand champ ($0,7 \text{ deg}^2$), et d'un spectromètre intégrale de champ
- Couverture bandes visible+IR: $0,3 \mu < \lambda < 1,7 \mu$
- Caractérisation de l'énergie noire avec des SN, WL (et BAO)
- Développement d'électronique pour détecteur IR, banc de caractérisation et de mesure de dét. IR (participation du LAL)

SKA

Square Kilometer Array



- Réseau de radio télescopes - avec une surface collectrice de $\sim 1 \text{ km}^2$
(sensibilité $\sim 50 \times \text{EVLA}$, vitesse de relevé $10000 \times \text{EVLA}$)
- Lignes de base $\rightarrow 3000 \text{ km}$, + réseau central dense
- Couverture en fréquence $0,1 \dots 25 \text{ GHz}$
- Champ $\sim 50 \text{ deg}^2$ pour $f < 1 \text{ GHz}$
- Coût ~ 1 milliard de \$ / €

SKA : Objectifs de physique

- Cartographie de l'hydrogène neutre jusqu'à une époque très lointaine ($z \leq 10$) - formation des premières étoiles
- Cartographie 3D de $\sim 10^9$ galaxies grâce à l'émission de l'hydrogène neutre - énergie noire
- Origine et évolution du champ magnétique
- Mesure de pulsars : test de la relativité générale et détection d'ondes gravitationnelle
- Formation de planètes - disques proto-planétaires

LSST

Large Synoptic Survey Telescope

- Télescope optique de 8,4 m de diamètre avec caméra grand champ (3,5 deg)
- WL jusqu'à $z \sim 3$
- SNIa jusqu'à $z \sim 1$
- Oscillations acoustiques
- Galaxies et amas de galaxies

Conclusions

(Résumé très partiel)

- Complémentarité SN, WL, BAO et amas (CL)
- SN : ☺ technique prouvée ☹ effets systématiques intrinsèques
- WL : ☺ Richesse des mesures (tests des modèles de formation des structures / RG) ☹ Effets systématiques dus aux distorsions optiques, précision des photo-z
- BAO : Mise en oeuvre plus récente, vérifier l'impact des effets non linéaire (form. des structures)
- CL : ☹ relation masse-température ?



The End

Prospective LAL / Cosmo 2006

- Veut-on / peut-on renforcer l'implication du LAL en cosmologie / astroparticules ?
- Quelle(s) stratégie(s) scientifique(s) ?
- Quels développements techniques ?
- Quelles sont les structurations appropriées ? Les interactions entre communautés ...

