

# La prochaine génération de sondages profonds

*Olivier Le Fèvre, LAM*

- Rôle central des grands sondages en cosmologie
- Approche observationnelle consolidée
- Les sondages actuels
- Quelques pistes pour le futur

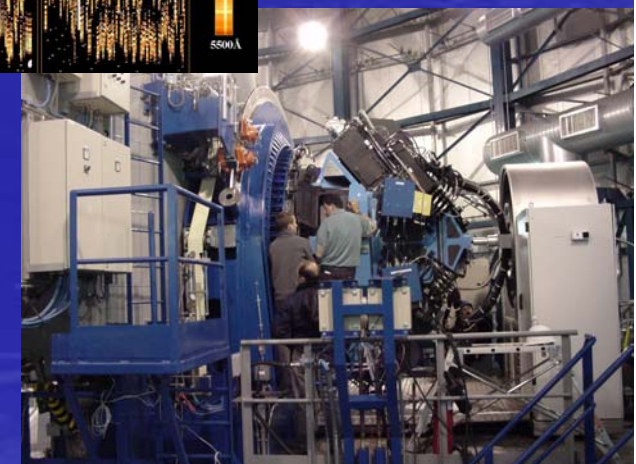
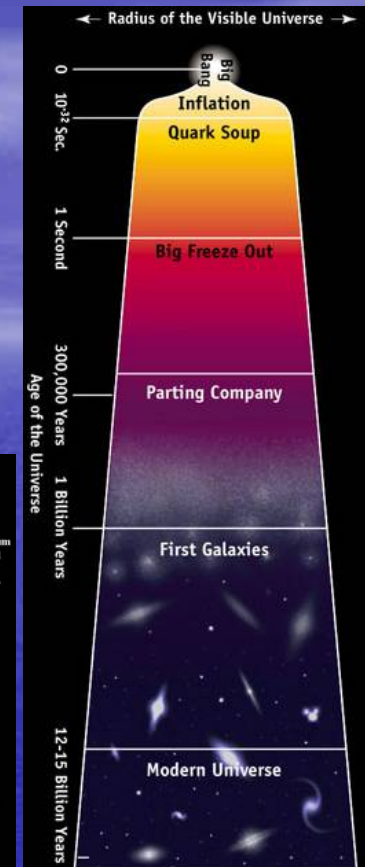
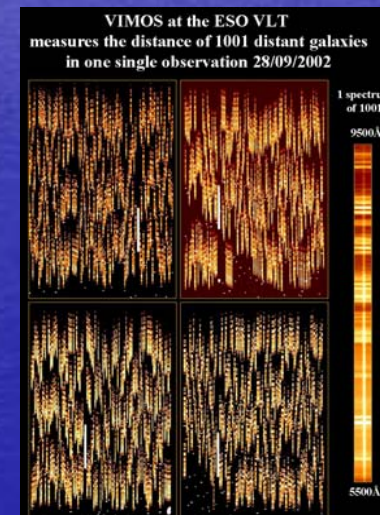
# Contexte

- « Sondage profond »: effectuer un recensement du contenu de l'Univers
- Utilisation de l'émission lumineuse UV-visible-IR...
  - Galaxies en tant qu'objets physiques
  - Galaxies / QSOs: traceurs de la distribution de la matière noire sous-jacente
- Répertorier, mesurer
  - Distribution des galaxies en 3D: mesure du redshift
    - Champ de densité, fonction de corrélation/power spectrum, biais galaxies/DM
  - Distribution spectrale d'énergie des galaxies (spectres, magnitudes)
    - Contenu en étoiles, évolution des populations stellaires, contenu en gaz, objet actif central
    - Emissivité globale, taux de formation d'étoiles
  - Mesurer des masses: contenu en étoiles et masses « totales » des galaxies, masses dynamiques / Lensing...

*Aussi: sonder via lensing, CMB,...*

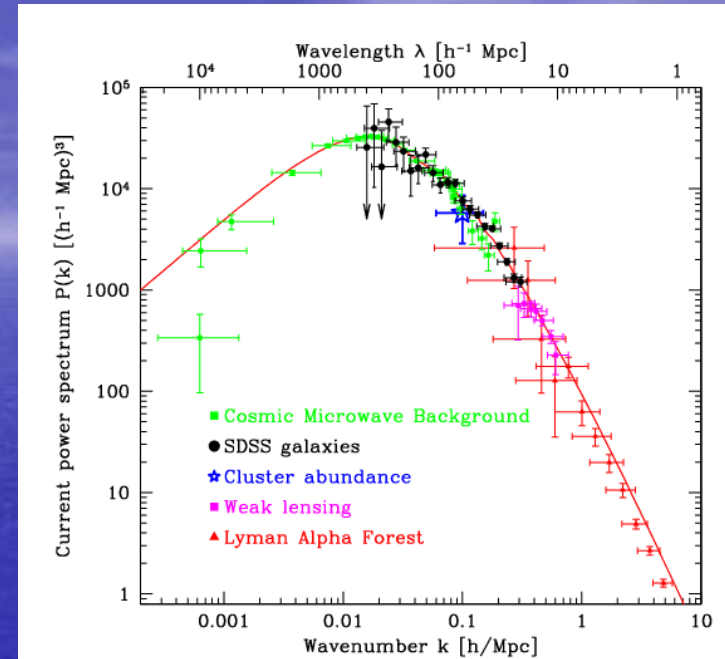
# Le rôle central des grands sondages en Cosmologie

- Comprendre la formation, l'évolution
  - Premières structures
  - Premières étoiles / galaxies
  - $F(z)$
- Contraindre les modèles
  - Cosmologie
  - Evolution des galaxies
- Une forte nécessité: grands échantillons, non biaisés
- Une forte nécessité: mesurer le redshift à mieux que  $10^{-3}$
- Susciter de nouvelles observations
- Motiver de nouveaux observatoires

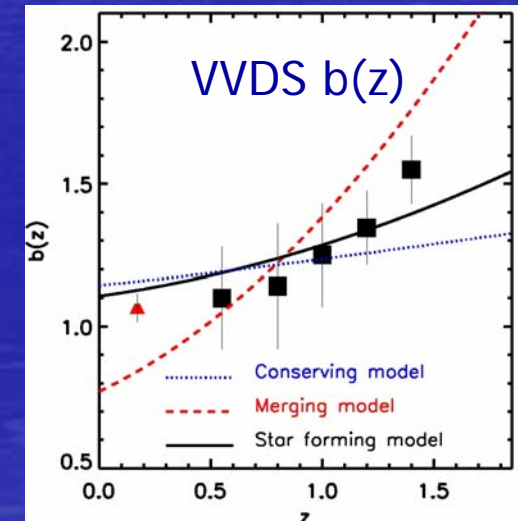
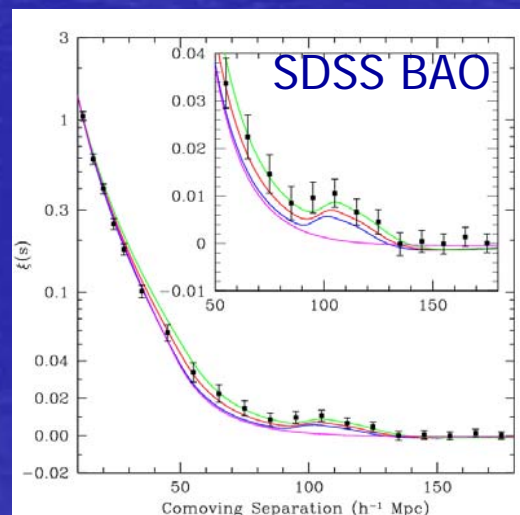
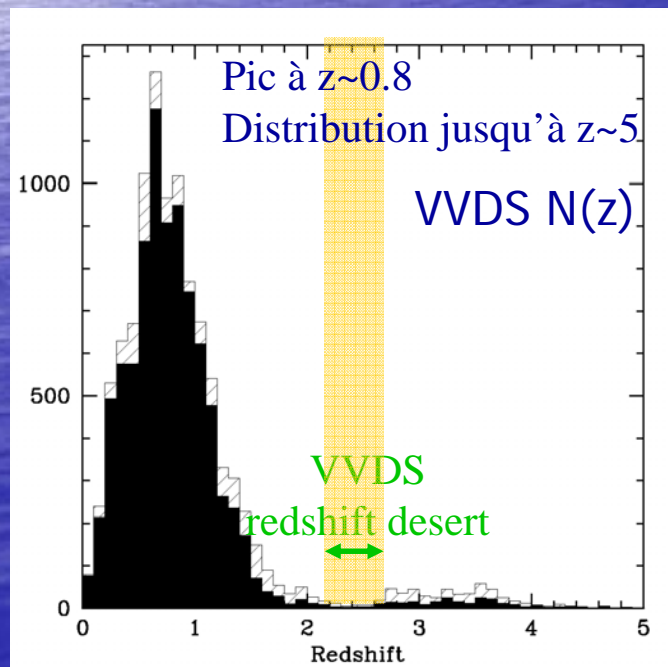


# Quelques contraintes cosmologiques posées par les sondages

- SDSS: baryon acoustic oscillations,  $P(k)$ ...
- VVDS:  $N(m,z)$ , PDF galaxy overdensities, biais  $b(z)$ , taux de formation d'étoiles, ...
- Efficace en couplage avec CMB, lensing, SNe...



SDSS Spectre de puissance



# Programme ANR « ECOSSTAT »

- Combiner CMB, Lensing, Deep Surveys (VVDS, COSMOS), pour contraindre les paramètres cosmologiques (15+ paramètres)
- Approche statistique innovante avec statisticiens (C. Robert, O. Cappé, JF Cardoso)
  - expertise MCMC (Markov Chain Monte Carlo) et convergence « rapide »
- Expertise astrophysique CMB, Lensing, Surveys
  - Maîtrise et connaissance complète de la chaîne de mesure
- LAM (Kneib, OLF, Malina, et al.), IAP (Bouchet, Mellier), CPT (Marinoni), CERMADE, LTCE
- 3 post-docs
- Addition contraintes SNIa a terme (CPPM/LAM)
  - Complexifier par étapes
- Groupe de travail local et national (PNC, Ealet)

# 20 paramètres !

- Description de la géométrie et du contenu de l'univers:
  - $H_o$  : constante de Hubble
  - $\Omega_k$  : courbure de l'univers ( $\Omega_{totale} = 1 - \Omega_k$ )
  - $\Omega_\Lambda$  : constante cosmologique
  - $\Omega_w$  : contenu en "énergie sombre" (autre que  $\Omega_\Lambda$ , qui correspondrait à  $w = -1$ )
  - $\Omega_b$  : fraction de matière baryonique
  - $\Omega_m$  : fraction de matière totale (baryon, matière noire chaude et/ou froide)
  - $\Omega_c$  : fraction de matière noire froide
  - $\Omega_\gamma$  : fraction de photons
  - $\omega$  : rapport  $P/\rho$  caractérisant l'équation d'état de l'énergie sombre ( $\omega = -1$  pour une constante cosmologique)
  - $\omega_1 = d\omega/dz$ : paramétrisation de la dépendance en redshift (temporelle) de  $\omega$  (dans ce cas:  $\omega \approx \omega_0 + \omega_1(z)$ )
  - $M_\nu$  : somme des masses des composantes de neutrinos
  - $N_\nu$  : nombre d'espèces de neutrinos
- Description astrophysique du milieu
  - $\tau$  : profondeur optique de re-ionisation à la période du découplage
  - $b$  : facteur de biais linéaire
- Description de la physique de l'univers primordiale
  - $C_{10}$  : normalisation du spectre de puissance des fluctuations de densité initiales
  - $n_s$  : indice de la composante scalaire du spectre du puissance des fluctuations
  - $n_T$  : indice de la composante tensorielle du spectre du puissance des fluctuation
  - $r$  : rapport des amplitudes scalaires et vectorielles
  - $\alpha = d\ln n_s/d\ln k$ : *running spectral index* caractérisant l'évolution de l'indice du spectre scalaire en fonction de l'échelle.
  - $t_0$  : age de l'univers

# Grands sondages: une approche consolidée

- Une stratégie observationnelle complète
  - Conduire des programmes d'observation par sous-thématique est devenu quasi-impossible (comités)
- Rôle central de la mesure de redshift
  - Sondages multi-lambda se construisent autour des régions où les mesures de  $z$  sont disponibles
- Conduire des grands sondages: un élément indispensable pour assurer un accès privilégié aux données

Les sondages sont incontournables !

# Les sondages profonds: structurants pour la cosmologie à Marseille

- Les âges noirs -> 1990: aucun accès aux données cosmologiques (de la communauté F en général)
- La « pré-histoire »: CFRS, ENACS,...
- VIMOS VLT Deep Survey
  - Mesure massive de redshifts,  $10^5$  galaxies jusqu'à  $z \sim 5$
  - forte connection multi-lambda
  - Construction d'un groupe d'experts de toute la chaîne instrument – observations/traitement des données – analyse
  - « First epoch »: 20 articles déjà publiés, +15 « périphériques », +10 en prep
- GALEX: lien avec la formation d'étoiles
- HST-COSMOS: lier les petites échelles (structure des galaxies), aux grandes structures
- CFHTLS, SNLS

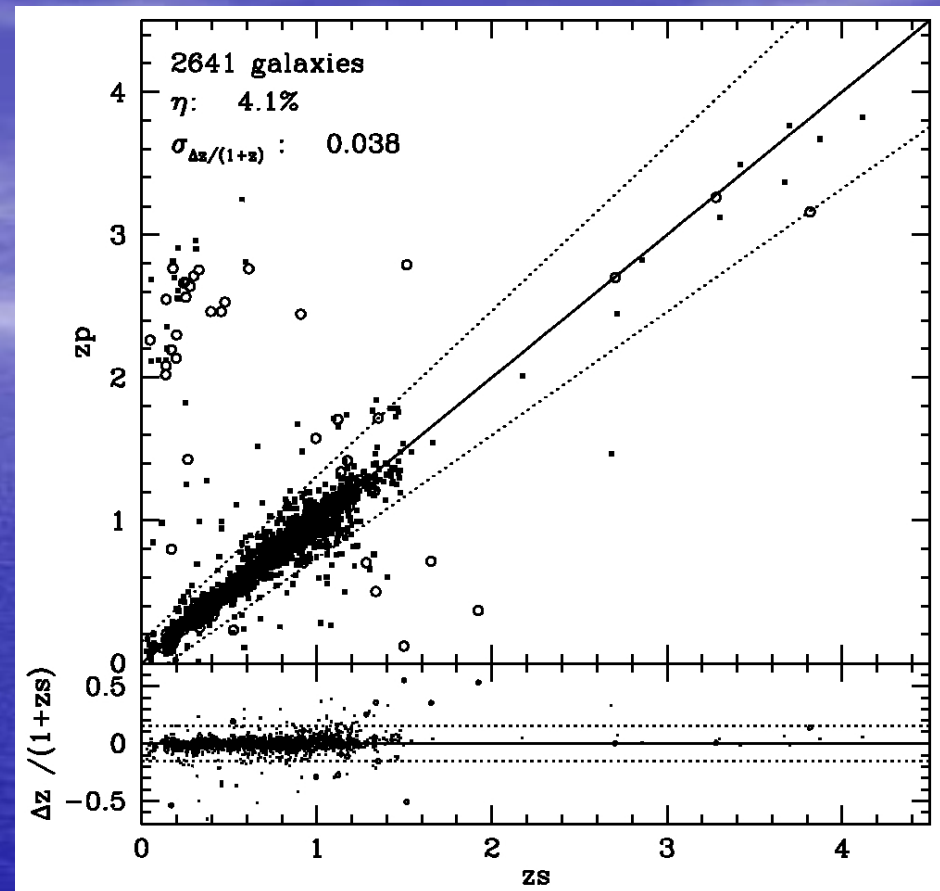
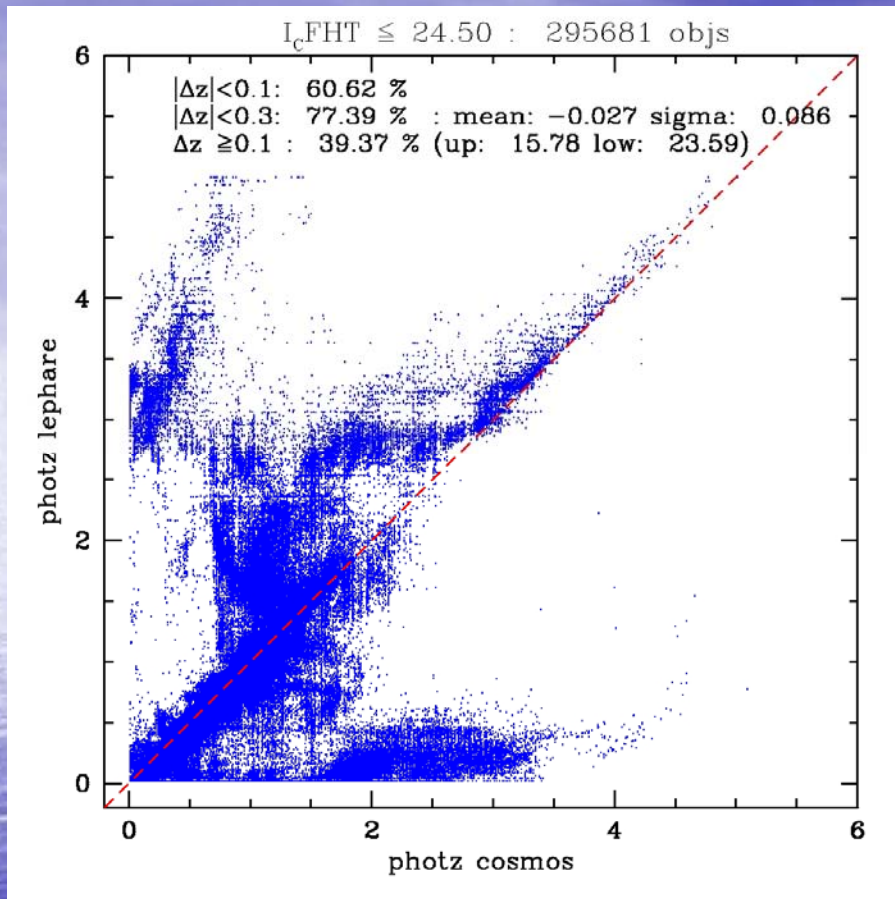
Constitution d'un savoir-faire unique en « cosmologie observationnelle »  
autour des grands sondages à Marseille

# Les différents types de sondages

- Imagerie + photométrie
  - Multi-bande
  - Redshifts photométriques
- Spectroscopie Multi-Objets
- Spectroscopie 3D
- Absorbants sur la ligne de visée QSOs,  $\gamma$ -bursts, ...
- Objets « particuliers »: SNe, ...

# Photo-z versus spectro-z

- « On peut tout faire avec les photo-z, pas besoin de spectro » ?
- Faux !
  - Dégénérescence des solutions en redshift
    - Problème très sévère pour grands  $z > 1.5$
  - Hypothèses « simplistes » des templates avec populations stellaires + poussières, besoin d'ajouter AGN+poussières → encore + de dégénérescences...
  - Nécessité de z-spec pour calibrer les z-photos



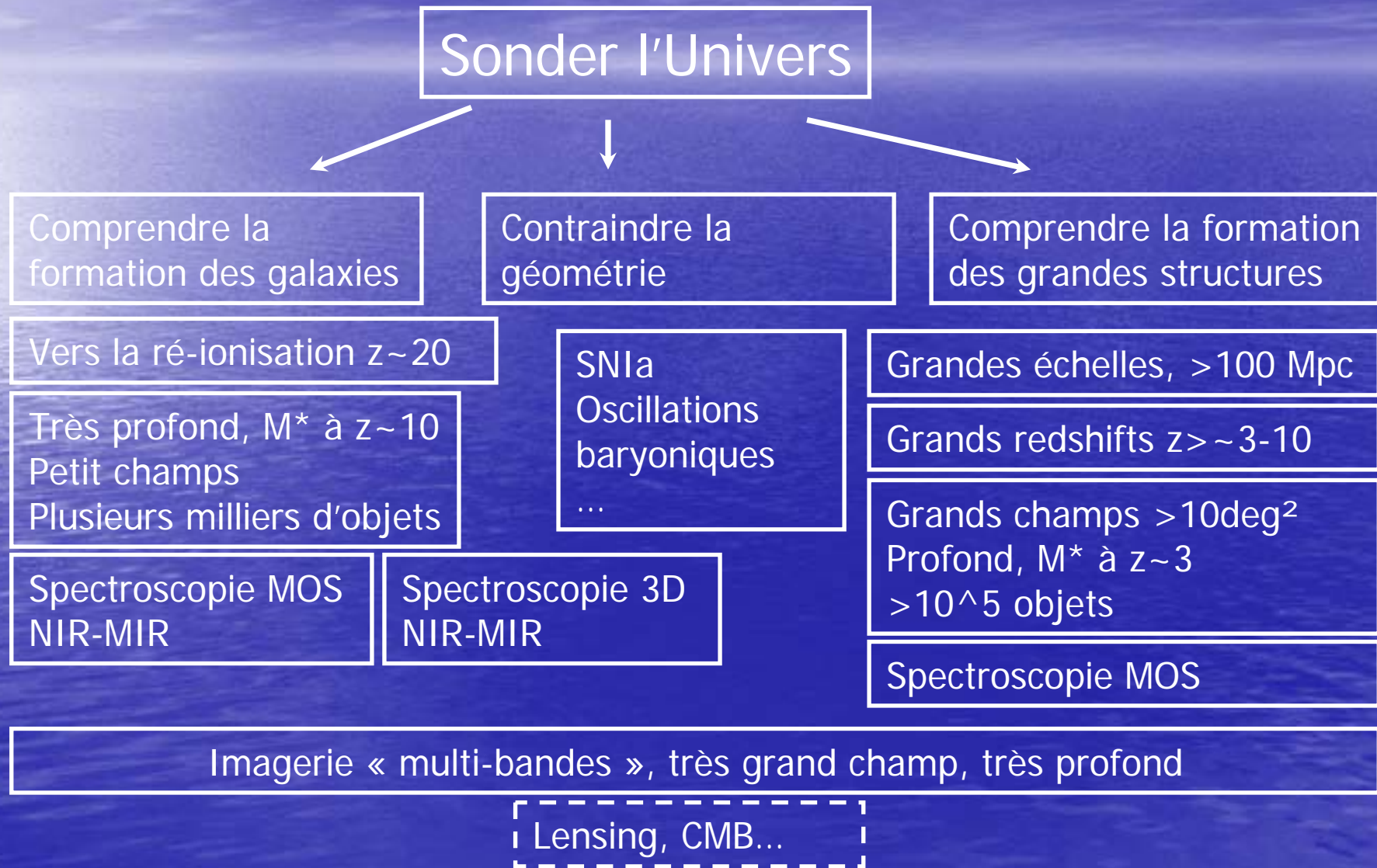
« dégénérescences » (nombre de bandes, erreurs systématiques)  
 photometric redshifts de COSMOS, calibrés sur les spectro-z (Tasca, Arnouts, Ilbert, in progress)

Photometric redshifts du CFHTLS, calibrés sur les spectro-z du VVDS (Ilbert, Arnouts, et al.)

# Les sondages actuels (pas exhaustif!)

Univers proche	Univers ~50% âge U., AB~23	Univers ~10% âge U., AB~25
2dFGRS	DEEP2	
SDSS	GEMS/GOODS	GOODS
(LAMOST)	COSMOS	COSMOS
	CFHTLS/SNLS	CFHTLS
	VVDS	VVDS
	SNIa...	Surveys Ly $\alpha$ / Ly-break

# Les sondages du futur



# Les observatoires de la prochaine décennie

	Imagerie		Spectro MOS	Spectro 3D
	Visible	IR		
8m VLT	VIMOS	8x8arcmin <sup>2</sup>	VIMOS: 600 fentes KMOS: 24 objets	VIMOS MUSE 1x1arcmin <sup>2</sup>
4m CFHT VISTA	1deg <sup>2</sup>	20x20arcmin <sup>2</sup> 2.7deg <sup>2</sup>		
8m LSST Gemini	10deg <sup>2</sup>		WF MOS: 1.75deg, 5000 obj.	
JWST (2013)		2.2x4.3arcmin <sup>2</sup>	100 fentes	3x3arcsec <sup>2</sup>

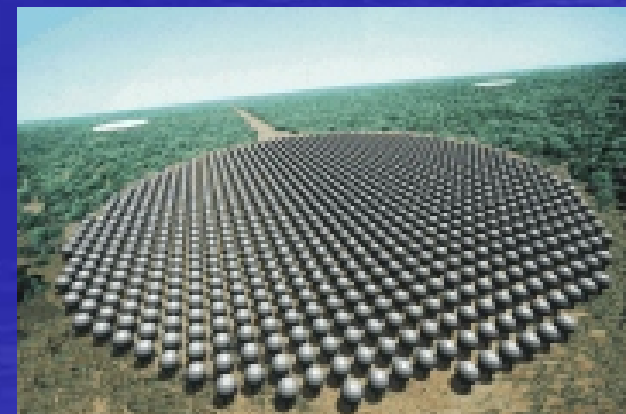
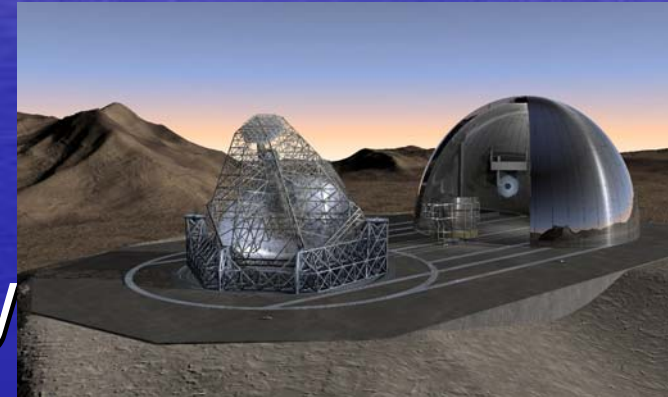
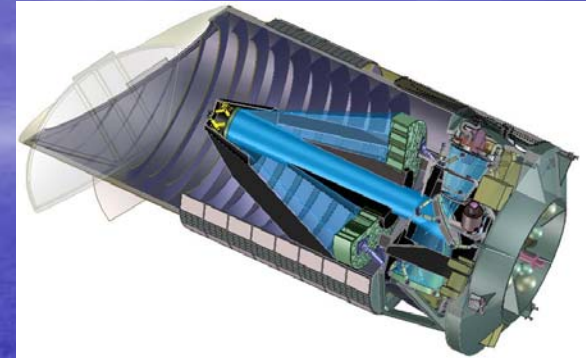
# Les observatoires de la prochaine décennie

	Imagerie	Spectro
HERSCHEL	<ul style="list-style-type: none"><li>• 60-210 <math>\mu\text{m}</math>, 1.7x3.5 arcmin<sup>2</sup></li><li>• 250-500 <math>\mu\text{m}</math>, 4x8 arcmin<sup>2</sup></li></ul>	60-210 $\mu\text{m}$ 1 arcmin <sup>2</sup>
ALMA	30-950 Ghz, 1 objet	

# Nouveaux observatoires « en gestation », 2015+

- Imageur grand champ spatial
  - SNAP / DUNE
- ELT: 30-100m
- SKA: « The ultimate survey machine » ?
- « BIG MOS » ? (GWFMOS)

Participation de Marseille ?



# Stratégie à 10 ans I. Very deep, very far

- Viser l'époque de ré-ionisation
  - JWST, instrumentation NIRCAM/NIRSPEC →  $z \sim 40$
- Développer les méthodes d'identification des candidats
  - Aujourd'hui pas assez efficace (pb de profondeur ?)
  - Très grands échantillons, plusieurs  $10^3$  galaxies
  - Rappel: 1995: seulement quelques dizaines de galaxies  $z > 1$  !  
2005 même situation pour  $z \sim 6$  !
- Imagerie multi-bande ultra-profonde
  - NIR/MIR, AB  $\sim 28-30$  (200h/champ/bande avec WIRCAM)
  - 0.1 à 1 obj/arcmin<sup>2</sup>  $\gg 1 \text{deg}^2$
  - A préparer avant JWST: WIRCAM / VISTA
  - Candidats « monstres »: a préparer avec SPITZER / HERSCHEL
  - Préparer un sondage massif JWST NIRCAM/MIRI.
- Spectro MOS JWST-NIRSPEC
- Physique des objets identifiés:
  - JWST/IFU
  - ALMA

Think BIG !  
Big Surveys, Big Science

# Stratégie à 10 ans II. Very wide

- Structuration de l'Univers à  $z \sim 1-5$ 
  - Émergence des grandes structures
  - Proto-amas, abondance groupes / amas vs.  $z$
  - Oscillations acoustiques baryoniques
- $\gg 100\text{Mpc}$ ,  $AB \sim 25$
- 100000 objets
- Simulations réalistes pour ajuster  $N_{\text{obj}}$ , champ, mag\_lim
- Surveys sur  $>50\text{deg}^2$ 
  - Imagerie visible multi-bandes (CFHTLS), IR (WIRCAM, VISTA)
  - Spectro MOS (VIMOS, WFMOS,...)

# Sondages: Ressources à Marseille

- Instrumentalistes
  - Initier / participer à la prochaine génération d'observatoires
- Chercheurs a compétence observationnelle
  - Créateurs de données: assurer un accès privilégié aux meilleures données
- Développer les outils d'analyse massifs
  - 2<sup>nd</sup> génération mesure de z (spec et phot)
  - Création de catalogues à forte valeur ajoutée
- Développer les simulations
  - Pour dimensionner les nouveaux surveys
  - Pour exploiter les résultats des surveys
- Mise à disposition dans des bases de données de visibilité nationale / internationale: CENCOS
- Développer le savoir-faire phénoménologique
  - Etablir des scénarii d'évolution « plausibles » compatible avec l'ensemble des mesures
- Théorie: pas (encore) au LAM, collaborations CPT/CPMM, labos-international

Maintenir et développer une « masse critique »  
Maintenir une approche coordonnée pluri-thématiques, en lien fort avec groupes nationaux / internationaux

# Il est urgent de préparer le futur des grands sondages...

positionnement de « Marseille » dans les discussions européennes, les consortia instrumentaux, la préparation des grands programmes  
CFHT/VISTA/HERSCHEL/ALMA/JWST...