



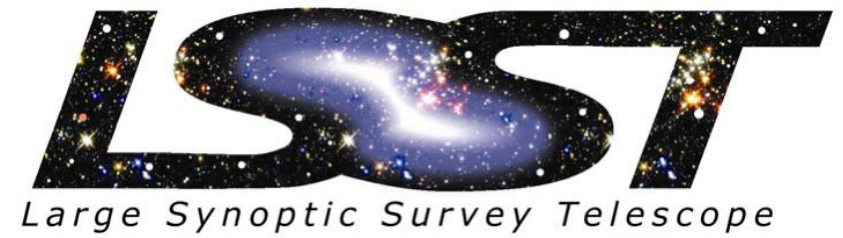
LSST

Pierre Antilogus
LPNHE-IN2P3, Paris

CDF

6 Février 2017





Introduction :

Relevé optique grand champ : les points clefs

ou

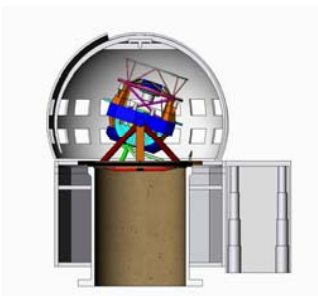
Comment étudier une large fraction de l'univers observable?

L' Etendue :

facteur de mérite pour les systèmes grand champs « télescope + camera »

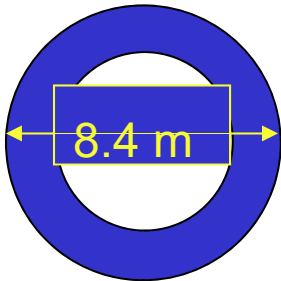
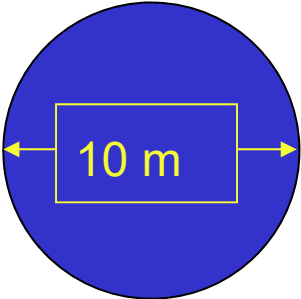


Keck
(Hawaii)



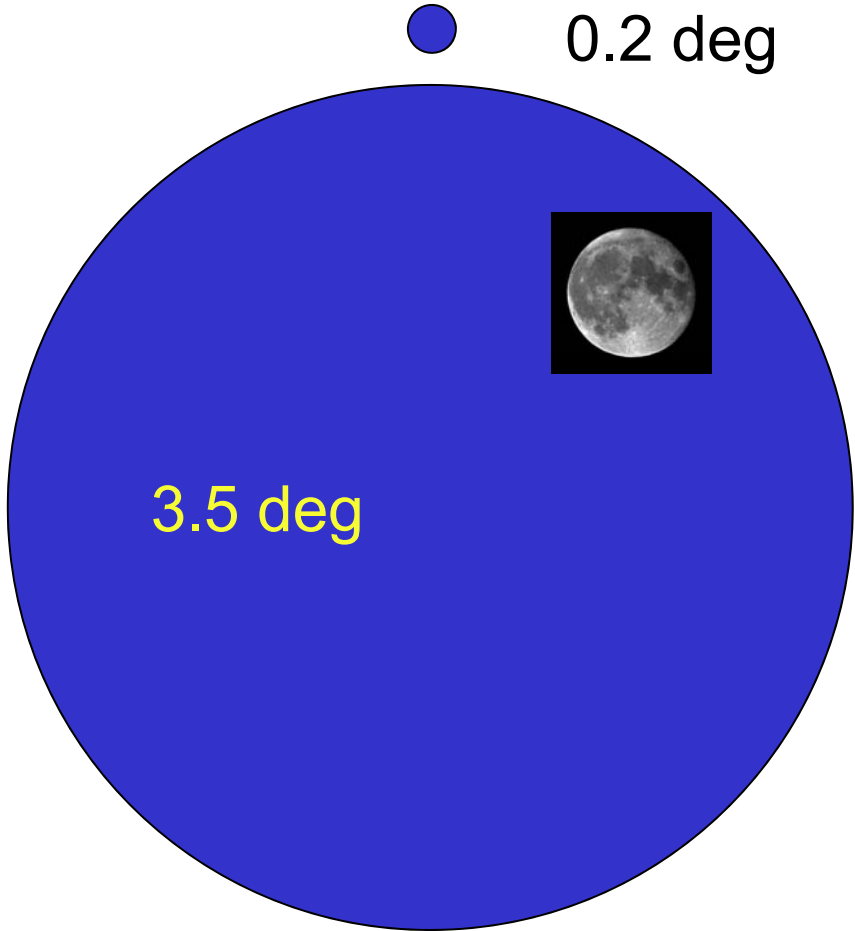
LSST

Miroir primaire
diamètre



Champ de vue

Pleine lune= 0.5 deg



Etendue =
~volume d' Univers ~

Surface du miroir *
(~distance accessible) *

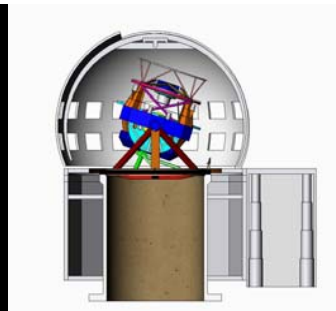
Champ de vue
(~surface de ciel)



Hubble



Keck



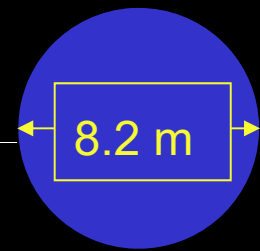
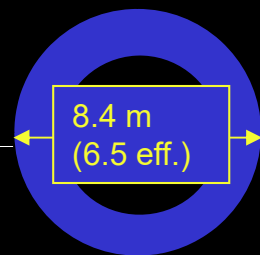
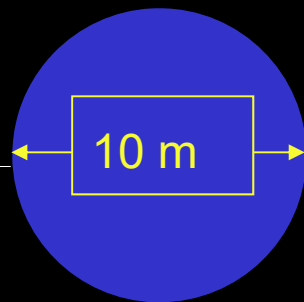
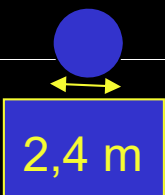
LSST

VLT

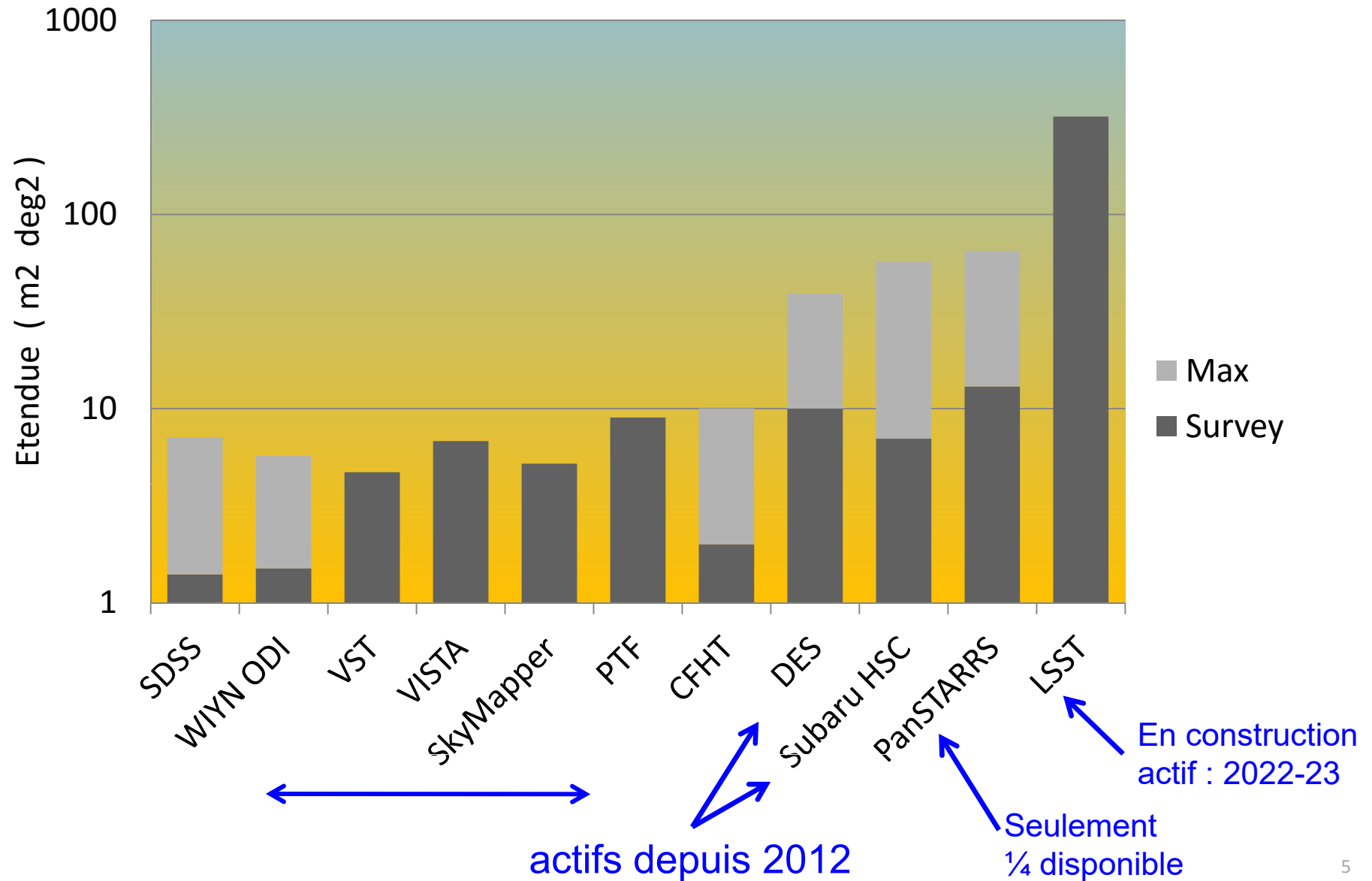
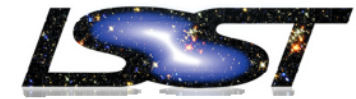
Champ de vision
Taille réelle



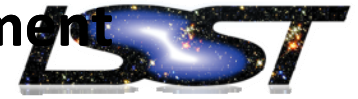
Miroir Primaire



Etendue pour quelques Telescope+camera au sol



LSST est la conclusion d'une évolution dans le développement des télescopes grand champ



- **Augmentation de l'Etendue par**

- Une faible augmentation de la surface des miroirs
- Forte augmentation du champs de vue - pixels de la camera

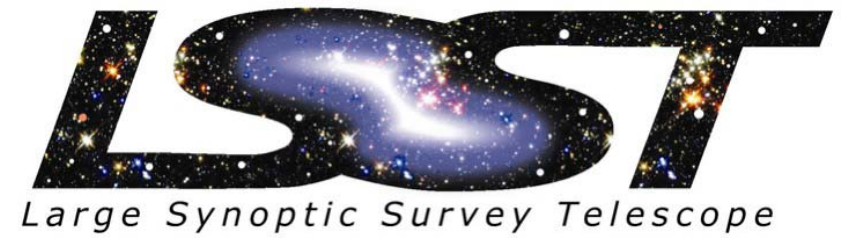
Remarque : depuis le sol l'atmosphère limite la sensibilité dans l'infrarouge : accroitre la taille du miroir au delà d'une sensibilité de ~ 26.5 mag, ne permet pas d'accroitre de façon significative le volume d'univers sondé / la densité de galaxie par unité de surface de ciel: les objets à grand décalage dans le rouge sont dans un domaine spectral hors d'atteinte depuis le sol.

- **Augmentation du temps dédié aux relevés systématiques**

- LSST est le premier programme de cette taille avec 1 programme de relevé unique 100% du temps ...sur 10 ans!

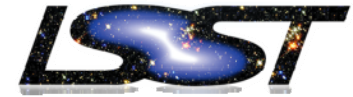
LSST = 1 telescope + 1 camera + 1 programme d'observation

➔ l'objectif : maximiser le volume d'univers sondé



LSST :
Conception & Status

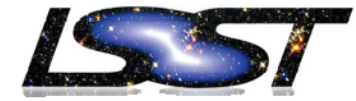
LSST en deux mots :



- **LSST est un relevé sur 10 ans dans le domaine optique. Profond , couvrant une large surface, il est aussi rapide et donnera accès à l'univers variable. Il repose sur un télescope de de la classe des 8 m avec une camera de $3.2 \cdot 10^9$ pixels et un traitement automatique et en temps réel des données.**
- **Sur une décade d'observation , le relevé de LSST, collectera , traitera et mettra à disposition une collection de 5 million d'images et un catalogue de $37 \cdot 10^9$ objets correspondant à plus $7 \cdot 10^{12}$ détections. Plusieurs $10 \cdot 10^9$ "évènements variables" seront détectés et publiés en temps réel.**
- **LSST va permettre un large spectre de recherche scientifique: allant de l'étude des petits corps du système solaire à l'astrométrie de précision des parties les plus externes de la voie lactée, et suivra de façon systématique les phénomènes optiques transitoires. LSST va surtout fournir des contraintes cruciales pour notre compréhension de la nature de l'Energie et de la Matière Noire**

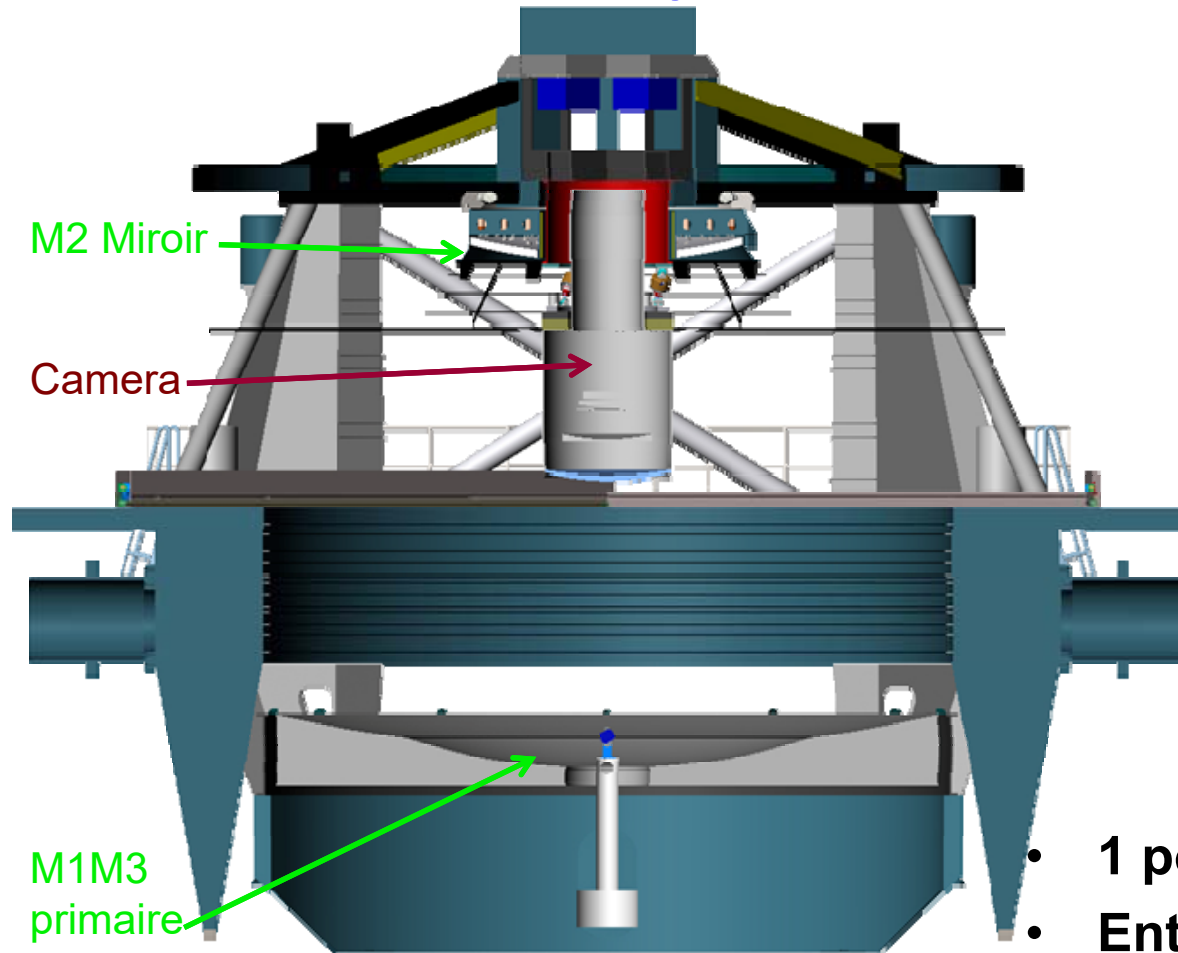
LSST : Large , Profond and Rapide (1/2)

Le télescope permettra un pointé rapide



LSST Etendue : 319 m² deg²

Design Optique : Paul-Baker

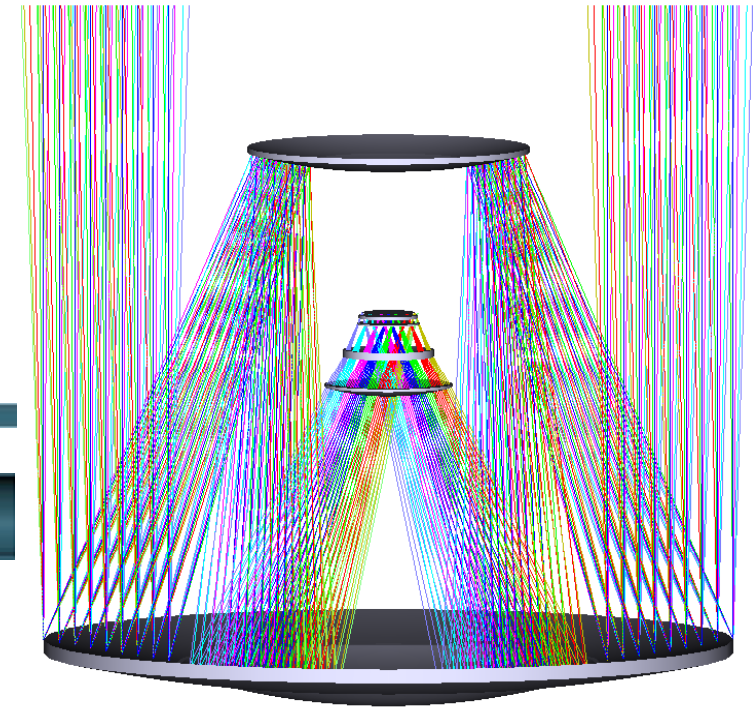


M2 Miroir

Camera

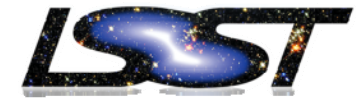
M1M3
primaire
(8.4m,
effectif :
6.7m) &
Tertiaire

Structure Mobile de 350 tons
Pour 60 tones d'optique

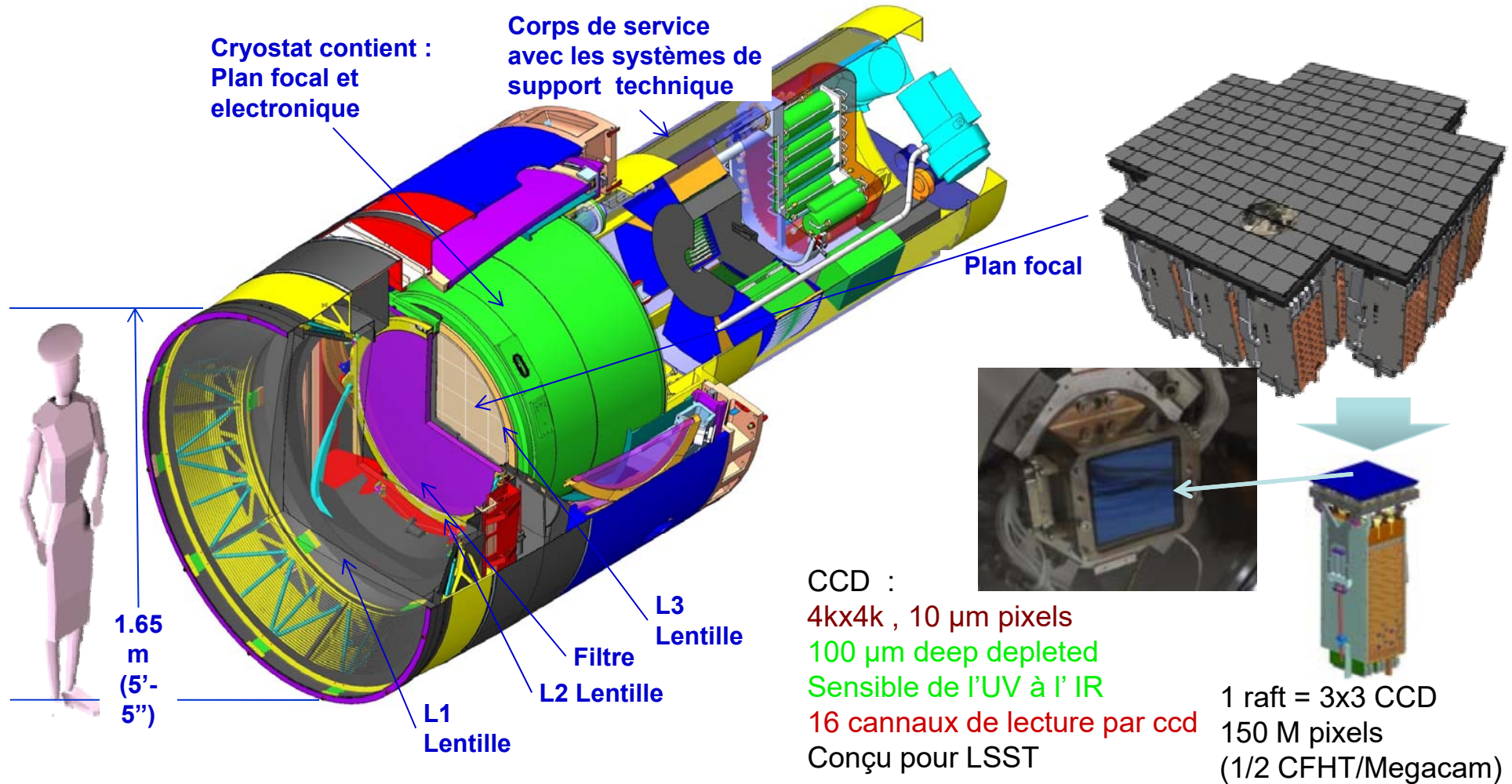


- 1 pointé toutes les 39 secondes
- Entre chaque pointé déplacement de 3.5° entre champs adjacents en ~ 4 s

LSST : Large , Profond and Rapide (2/2) une camera grand champ , avec lecture rapide

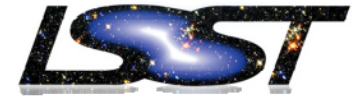


Champ de vue: 3.5 deg (9.6 deg² = .023% sphère céleste)
 Diamètre du plan focal : 64 cm ; 189 CCD pour la science (21 rafts)
 3024 canaux de lecture ; >3 10⁹ pixels ; **Lecture en 2s**



LSST concept :

1 télescope + 1 instrument + 1 plan d'observation



Relevé en 6-band : ugrizy 320–1070 nm

Surface des Relevés (avec 0.2 arcsec / pixel) →

Principal : > 18,000 deg² avec une profondeur uniforme

Autre : ~10% du temps ~1h/nuit (Très profond & transitoire rapide & régions spéciales : écliptique, plan galactique, Nuages de Magellan)

Nombre de Visites par pointé et par filtre (Relevé Principal)

	u	g	r	i	z	y
Nb Visite	56	80	184	184	160	160
Mag 1 visite	23.9	25.0	24.7	24.0	23.3	22.1
10 ans	26.1	27.4	27.5	26.8	26.1	24.9

Qualité d'image

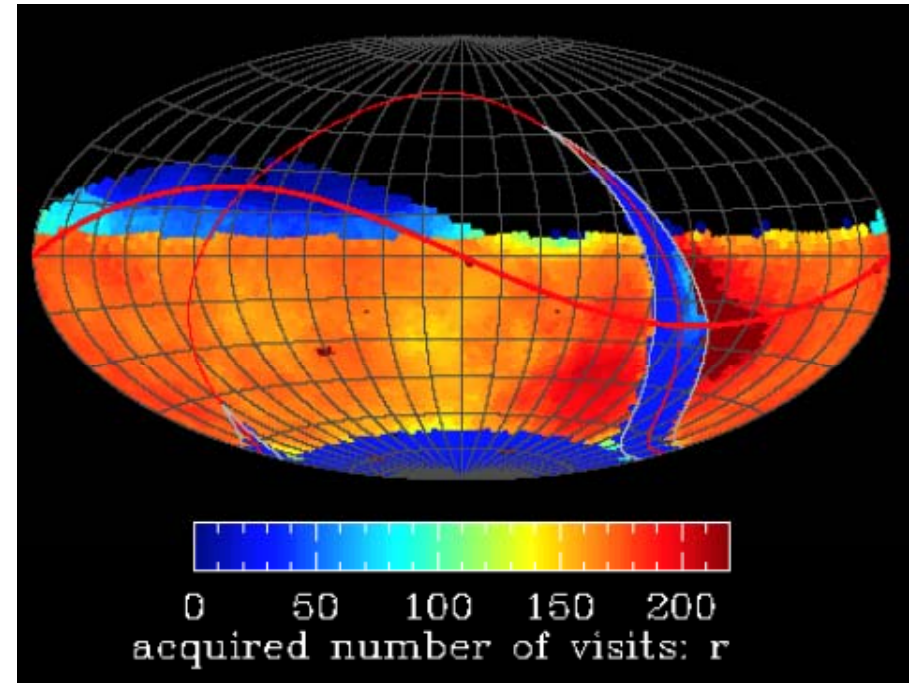
seeing moyen sur site ~ 0.7 arcsec

PSF FWHM < 0.4 arcsec (sans seeing atmosphérique).

PSF Ellipticité < 0.04 (pour 0.6 arcsec FWHM gaussien et circulaire) → **Pointe une nouvelle position dans le ciel toutes les 39 seconds**

Precision photométrique :

0.01 mag absolue; 0.005 mag répétabilité & couleur



Plus de 2.75 10⁶ visites & 5.5 x10⁶ poses

suivant la séquence:

15 s pose + 1 s shutter + 2 s lecture + 15 s pose

+ 1s shutter + 5s nouveau pointé en lisant

→ Pointe une nouvelle position dans le ciel toutes les 39 seconds

Nombre de visite par nuit : ~ 1000

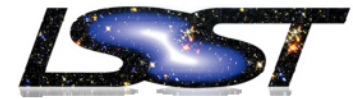
Afin de couvrir un large domaine temporel , la

cadence du Relevé principal inclut (pour l'instant) :

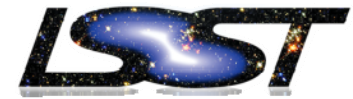
Une revisite après 15-60 minutes

Une paire de visite chaque 3-4 nuits

LSST volume de données : 1 nuit ~ 15 TB ... et en 10 ans :

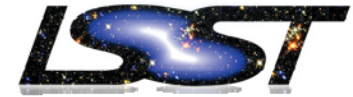


Nombre d'objets	$\sim 37 \cdot 10^9$ (20 10^9 galaxies /17 10^9 stars)
Nombre de mesures « forcées »	$\sim 37 \cdot 10^9 * 825 \sim 30 \cdot 10^{12}$
Nombre moyen d'alerte par nuit	$2 \cdot 10^6$ (10^7 avec le plan galactique)
Volume de données par 24 hr	~ 15 TO
Volume d'image brute final (10 ans)	24 PO
Volume de stockage final (10 ans)	0.4 EO (400 PetaOctets)
Taille de la base de donnée après 10 ans	15 PO



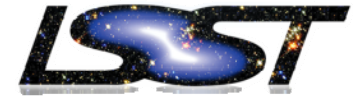
LSST prévoit de fédérer une communauté de ~ 900 chercheurs de part le monde (dont 50% aux US) :

- Chile (site) & France (contribution en nature pour la construction de la camera) sont des membres “constructeurs ” de LSST .
- Mais il y a également une large communauté internationale qui s’engage à travers une participation aux frais de fonctionnement . On décompte aujourd’hui :
 - Europe (~300 PI) et Afrique (~5 PI) :
 - France : ~120 PI (dont ~+45 PI hors laboratoires constructeurs de la camera)
 - UK : 100 PI
 - Allemagne (9 PI) , Croatie (2 PI) , Danemark(7PI),Espagne(11PI), Hongrie(2 PI), Italie(15 PI) Pologne (4PI) , Serbie (2PI) , Slovénie (1PI), Suède(3PI), Suisse (2PI) : ~70 PI
 - Afrique du sud : (5 PI)
 - Asie (~70 PI) et Pacifique(~20 PI) :
 - Australie (15 PI), Chine (50 PI), Corée (10 PI),Inde (5 PI), Nouvelle Zelande(2PI), Taiwan(6PI)
 - Amérique (~20 PI) (hors US et Chili) :
 - Argentine (1 PI) , Brésil (10 PI), Canada (10 PI)

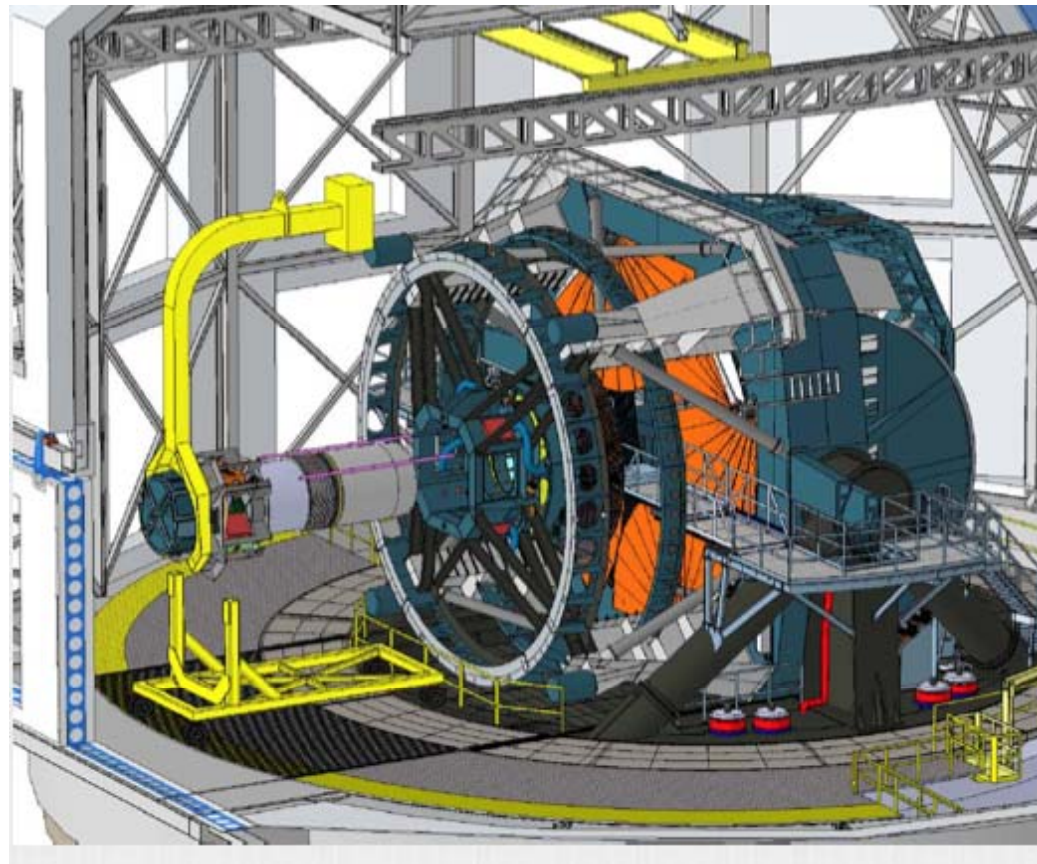


- LSST a été classé comme la prioritaire pour un télescope au sol devant entrer en service au début de la prochaine décade (académie des sciences US : **Astro10 , Aout 2010**)
- Suivant ces recommandations les agences Nord Américaine (NSF and DOE) ont lancé officiellement sa construction en **2014**.
- **LSST cout :**
 - **Cout total~1 Milliard \$ (Construction + 10 ans de prise de données)**
 - **Telescope & Data Management :\$473M(NSF)**
 - **Camera : \$168M (DOE)** (+ France-IN2P3 pour ~10% de ce cout)
 - **Fonds privés : \$40M** (miroirs & préparation du site...)

Calendrier de LSST



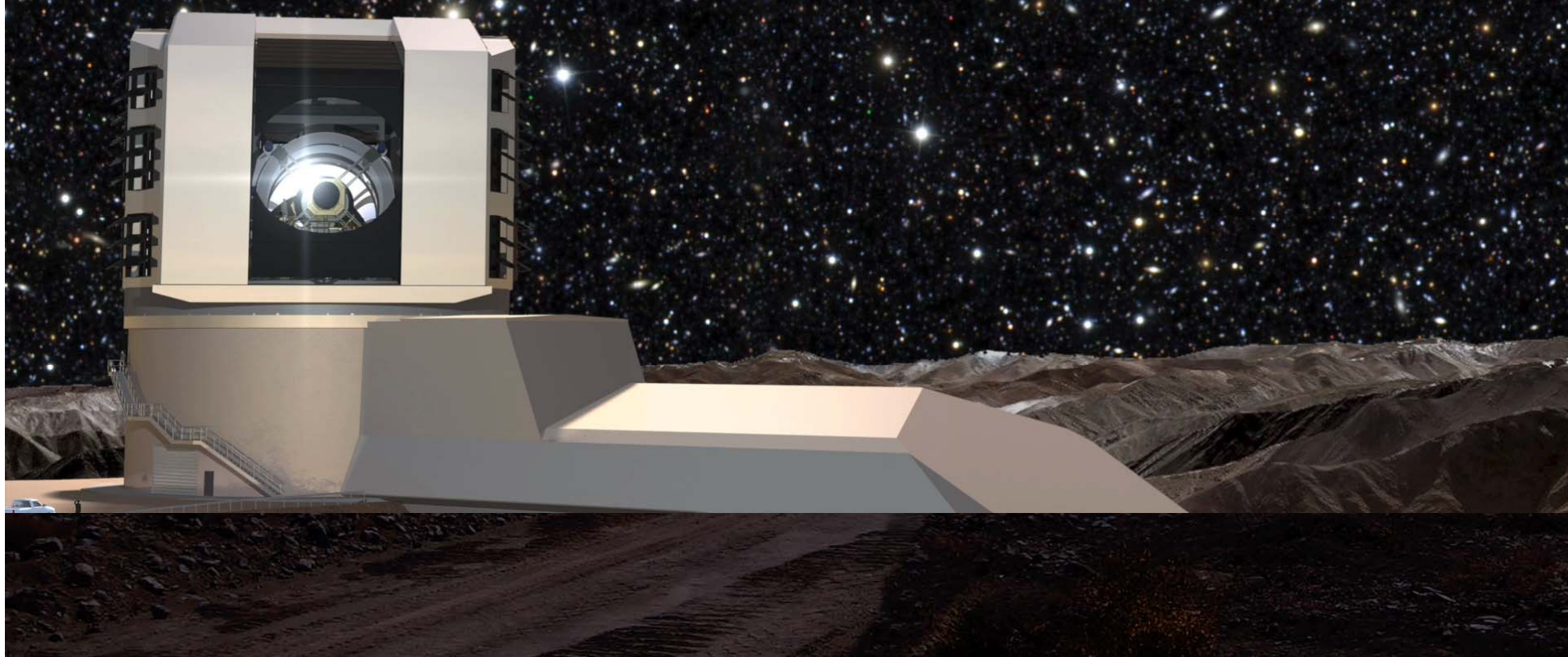
- Début officiel de la construction : 2014
- 1ere lumière du Télescope : fin 2019
- Camera intégrée au sommet : 2020
- Début du “Relevé de Vérification”(1ère science) : 2021
- “Début du LSST” / 10 ans de Relevés: Automne 2022

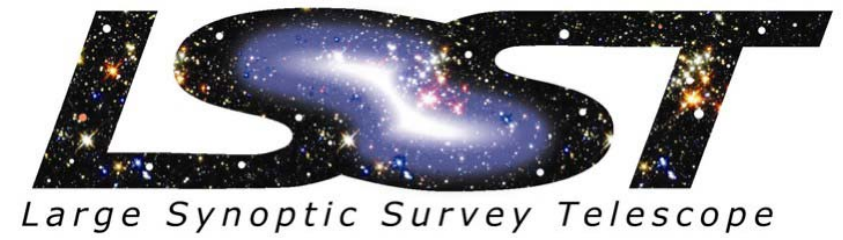


LST

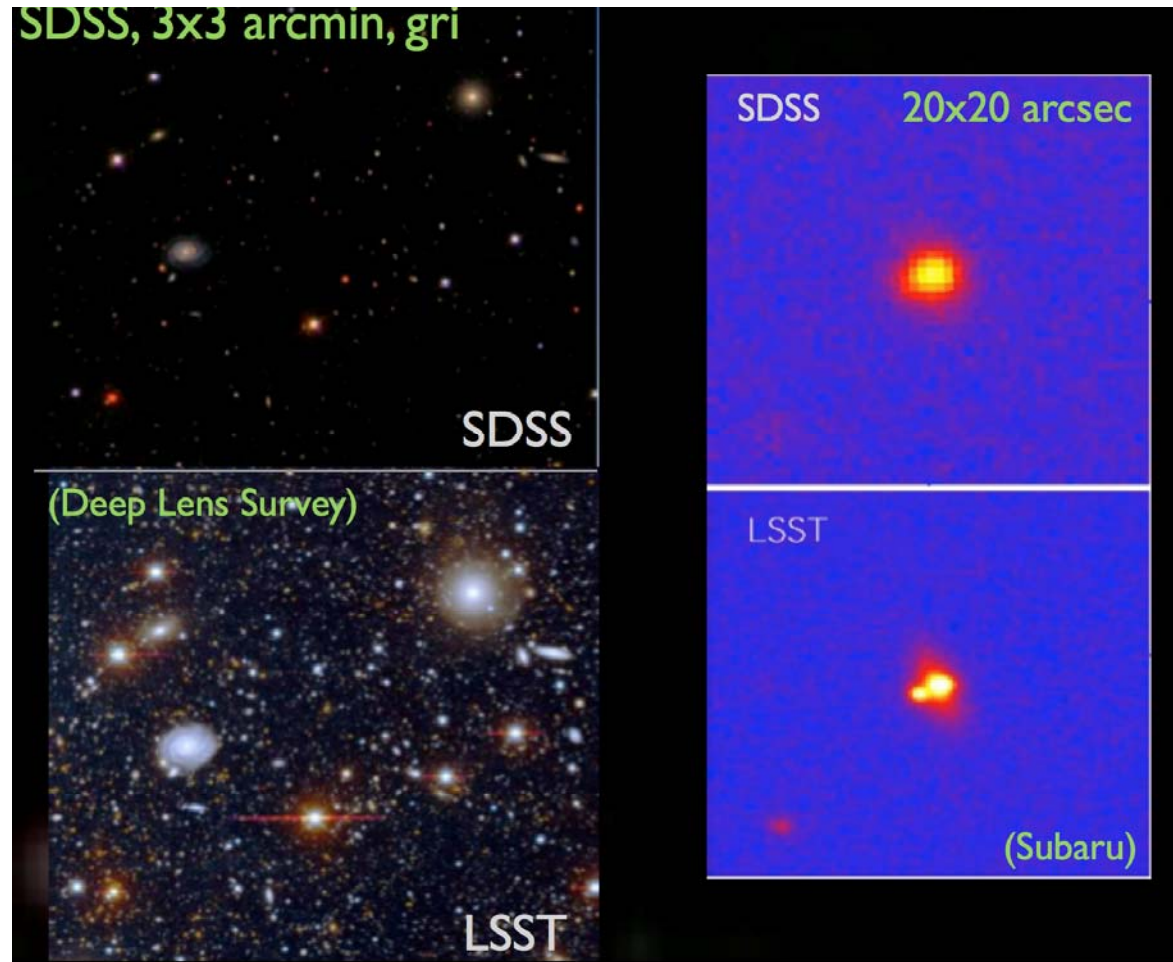


LST

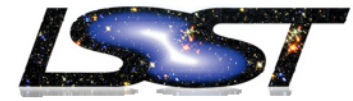




LSST La Science de LSST : quelques exemples



4 thèmes scientifiques clefs ont été considérés pour la conception de LSST

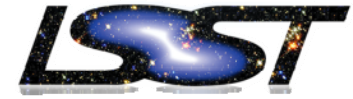


- Faire un relevé le plus complet possible de objets mobiles du système solaire.
- Cartographier la structure et l'évolution de la voie lactée .
- Explorer l'univers variable.
- Déterminer la nature de l'Energie Noire et de la Matière Noire.

Les Techniques associées à ces 4 thèmes ont contraint la conception de LSST à des niveaux différents et de façon complémentaire. Ainsi LSST , au delà de ces 4 sujets scientifiques, est à même de couvrir un très large spectre de domaine scientifique .

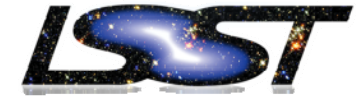
Energie Noire – Matière Noire :

Le coeur de la science de LSST



- **Lentille faible pour le cisaillement gravitationnel :**
 - Qualité optique pour la mesure de la forme des galaxies
 - Multi-couleur (ugrizy) & précision photométrique pour la mesure des redshifts photométriques
 - ~1/2 couverture du ciel pour réduire la variance cosmique & l'impact du "bruit de forme" des galaxies.
 - Un grand nombre de visite distincte (~ 100 par couleur) pour réduire et caractériser les systématiques associées aux distorsions-systématiques des images (atmosphère, instrument)
 - Magnitude limite des images sommées ($r \sim 27.5$) permettra sur une large surface (~1/2 ciel) d'atteindre une densité de galaxie importante (~ 30-50/ arcmin²)
- remarque → optimisation différente & complémentaire pour l'espace (exemple : satellite Euclide)
- **Oscillations Acoustiques des Baryons :**
 - Large surface de ciel couverte donnant accès à des corrélations d'ordre faible
 - Multi-couleur (ugrizy) & précision photométrique pour la mesure des redshifts photométriques
- **Type la supernovae:**
 - Suivi en multi-couleur donne l'accès aux corrections k
 - Des champs profonds spécifiques pour des courbes de lumières à grand z avec des courbes de lumière bien échantillonnées.
 - Accès à l'histoire de l'expansion « récente » de l'univers ($z < 0.2$)
- **Amas de Galaxies**
 - Image de qualité pour mesurer les effets de lentilles fortes et faibles.
 - Multi-couleur (ugrizy) & précision photométrique pour la mesure des redshifts photométriques
 - Grande surface de ciel couvert de façon uniforme
 - Un suivi temporel permettant de mesurer les signaux temporels retardés (AGNs and SNe)

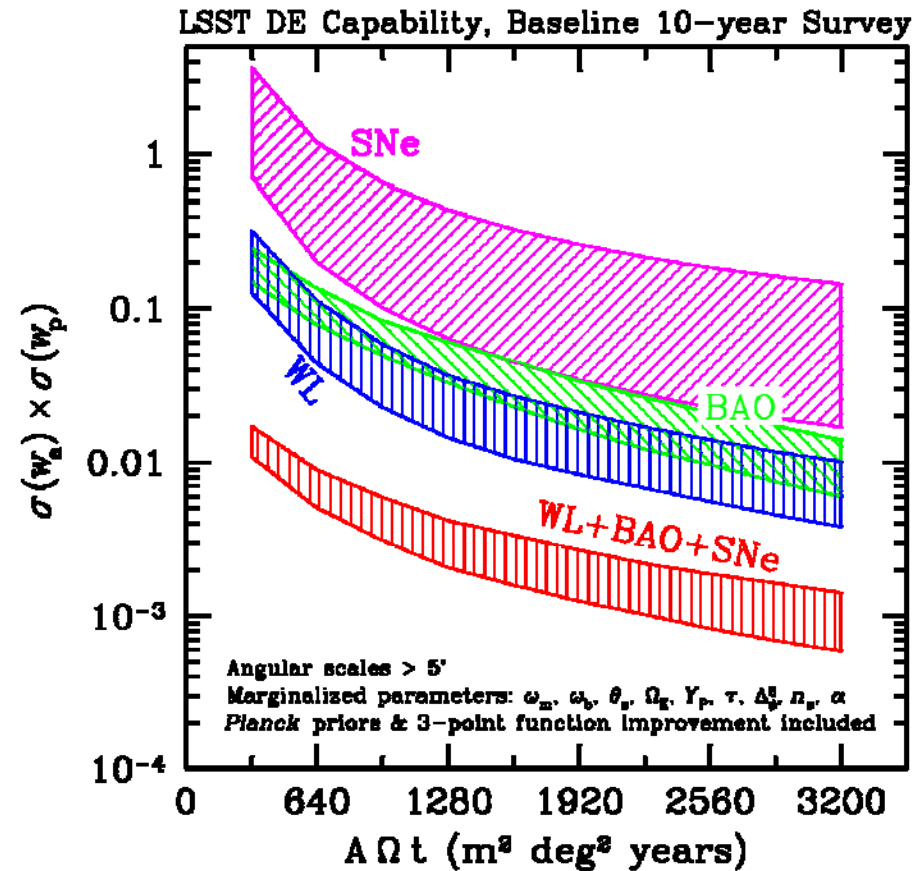
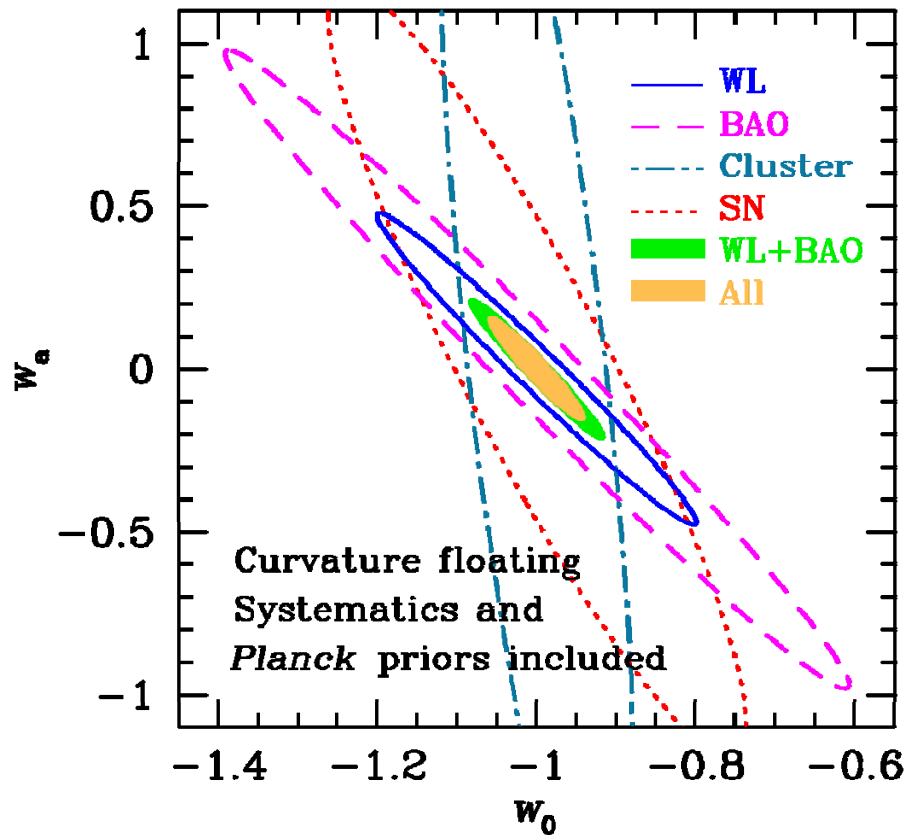
LSST: Une Expérience "Energie Noire"



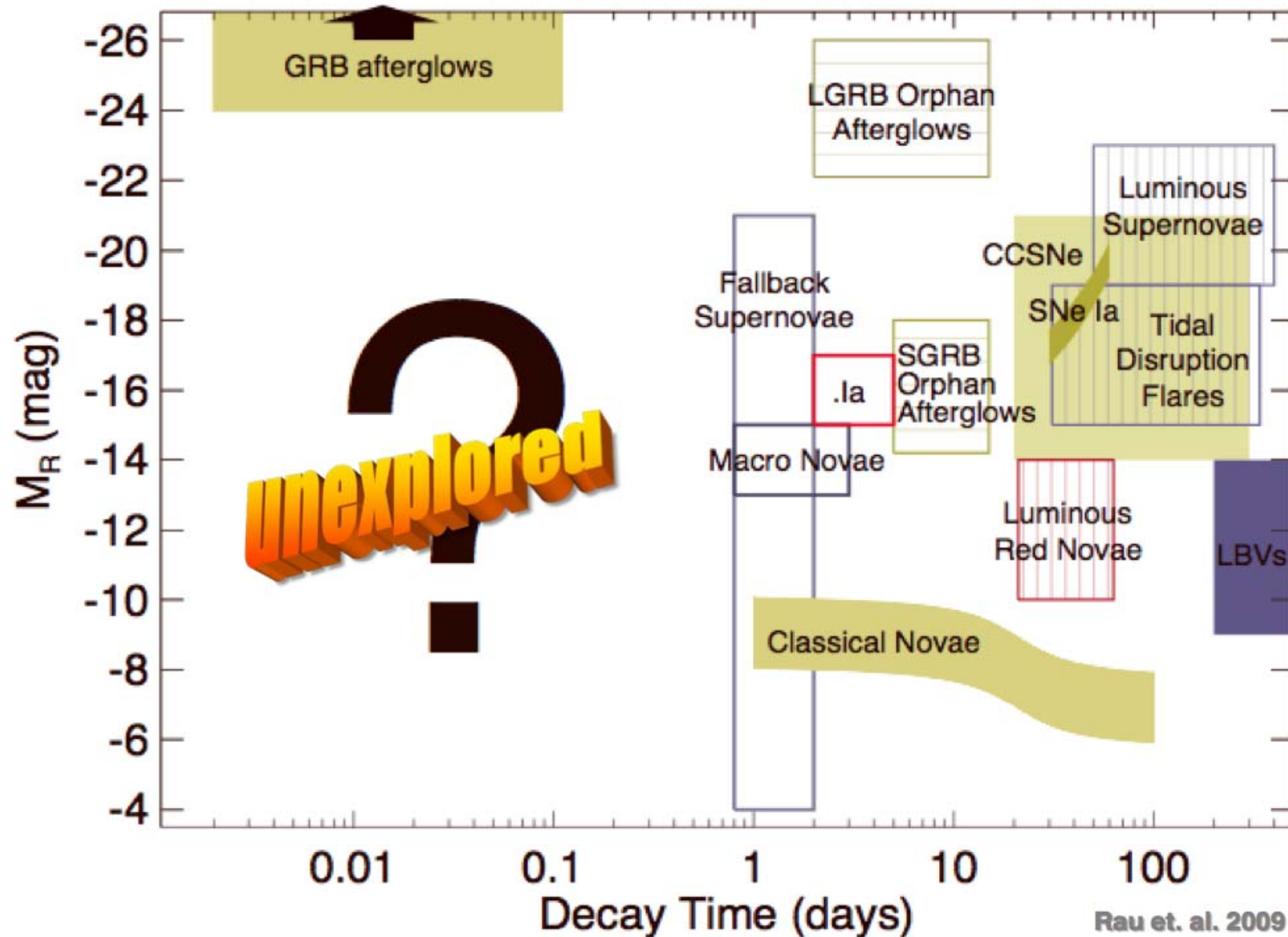
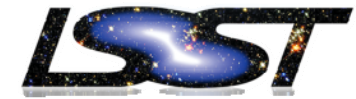
LSST : technique complémentaire pour contraindre l'Energie Noire :

- Lentilles gravitationnelles faibles
- Oscillations acoustiques des baryons
- Supernovae de type 1a
- Statistiques des amas de galaxies

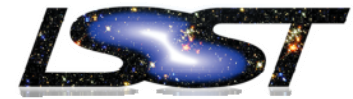
- Remarque : la propriété clef de LSST pour enlever les signatures instrumentales et atmosphérique :
 - > 800 mesures dans chaque champ



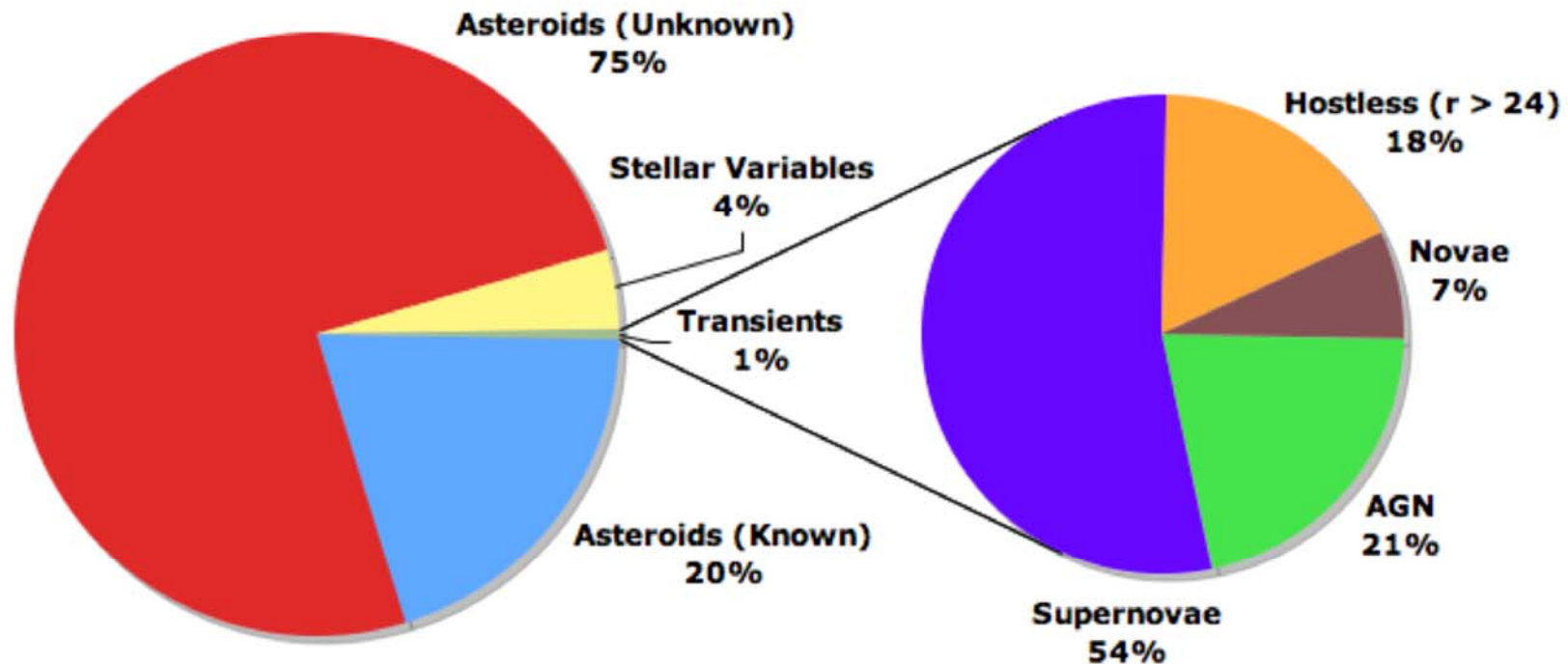
Transitoires Optiques ; LSST va couvrir un immense domaine temporel : seconde → année



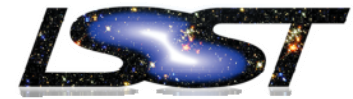
LSST & Transitoires Optiques



- LSST va identifier un nombre très important d'objet variables, dominés par les étoiles variables : 10k / visite (en moyenne) , 40k /visite (au max) , qui fournira $2 \cdot 10^6$ (10^7 dans le plan galactique) alertes par nuit .
- LSST rendra ces alertes publiques dans les 60 secondes.
- L'ensemble des informations de la base de donnée de LSST (environnement de l'objet , courbe de lumière/historique en multi-couleurs ...) est la clef pour classifier ces alertes et déclencher un suivi spectroscopique .



Example: classifications obtenues par COVET-CFHT, sur run test , proche des conditions de LSST²³



PTF (~aujourd'hui) & LSST (~2022) taux de supernovae (Rau et al. (2009))

Class	M_v [mag]	τ^b [days]	Universal Rate (UR)	PTF Rate [yr ⁻¹]	LSST Rate [yr ⁻¹]
Luminous red novae	-9.. - 13	20..60	$(1..10) \times 10^{-13} \text{ yr}^{-1} L_{\odot, K}^{-1}$	0.5..8	80..3400
Fallback SNe	-4.. - 21	0.5..2	$< 5 \times 10^{-6} \text{ Mpc}^{-3} \text{ yr}^{-1}$	<3	<800
Macronovae	-13.. - 15	0.3..3	$10^{-4..-8} \text{ Mpc}^{-3} \text{ yr}^{-1}$	0.3..3	120..1200
SNe .Ia	-15.. - 17	2..5	$(0.6..2) \times 10^{-6} \text{ Mpc}^{-3} \text{ yr}^{-1}$	4..25	1400..8000
SNe Ia	-17.. - 19.5	30..70	^c $3 \times 10^{-5} \text{ Mpc}^{-3} \text{ yr}^{-1}$	700	200000 ^d
SNe II	-15.. - 20	20..300	$(3..8) \times 10^{-5} \text{ Mpc}^{-3} \text{ yr}^{-1}$	300	100000 ^d

LSST & Transitoires Optiques

Une façon unique de sonder l'univers

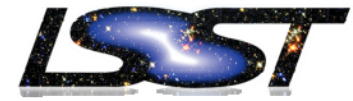
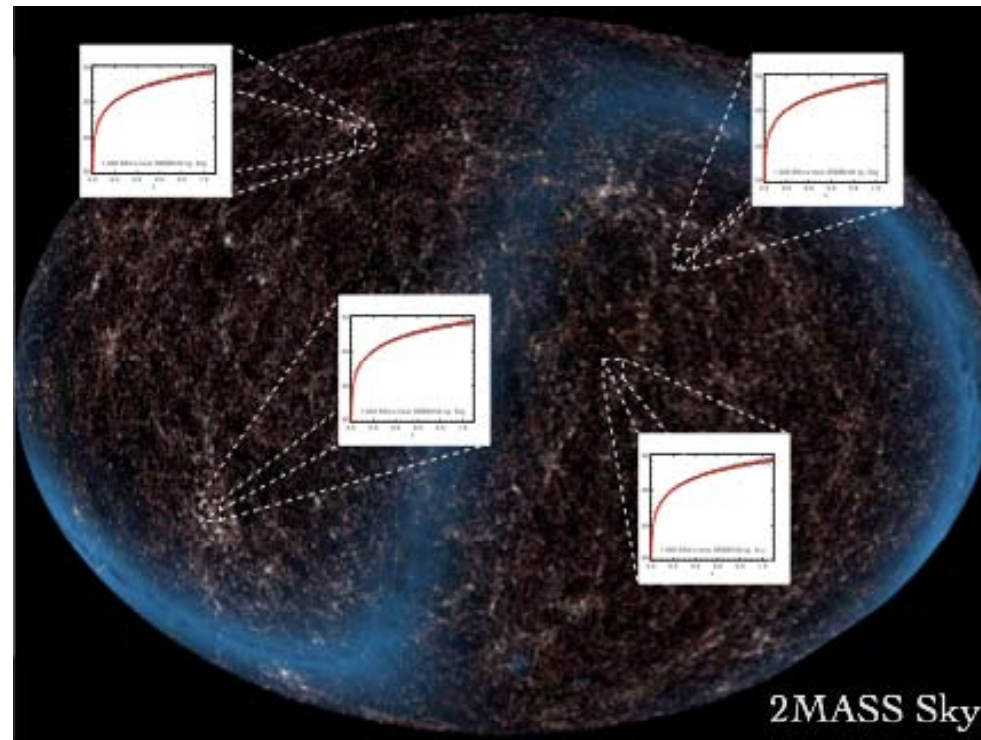
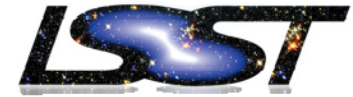


Diagramme de Hubble pour # directions : test d' isotropie des propriétés de l'Énergie Noire pour # directions dans le ciel.

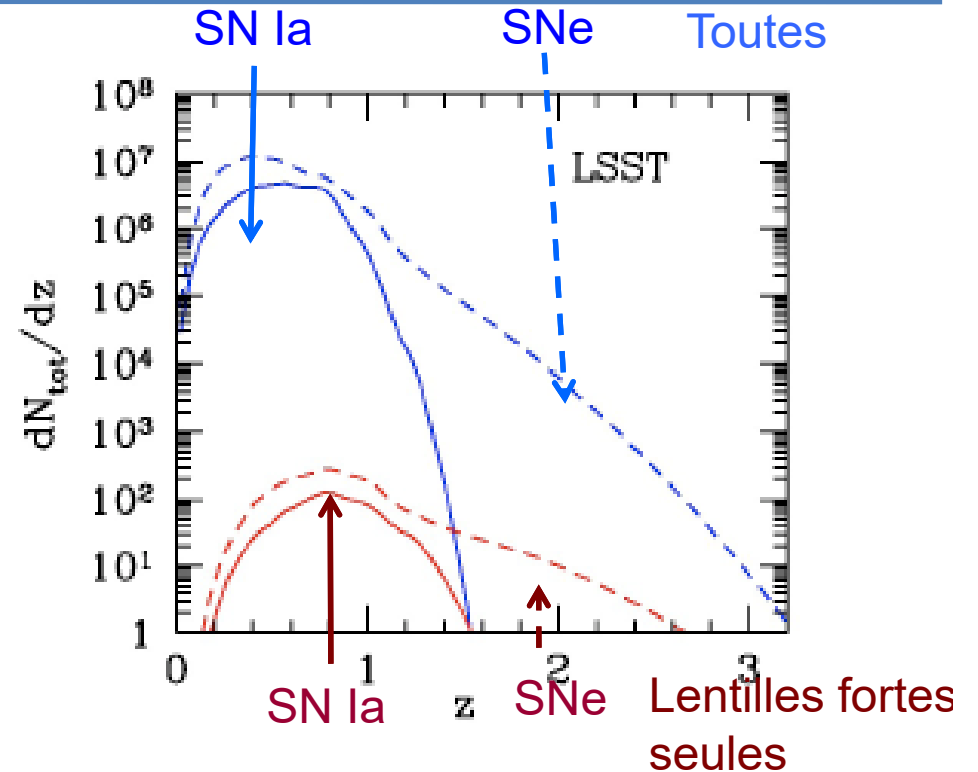


Mais aussi en sondant de façon continue une large surface du ciel , le “petit” volume de l'univers proche ($z < 0.1-0.2$) fournira un nombre suffisant de SN pour permettre pour permettre une étude précise de l'évolution ressentie de l'expansion de l'univers / de l'Énergie & Matière Noire .

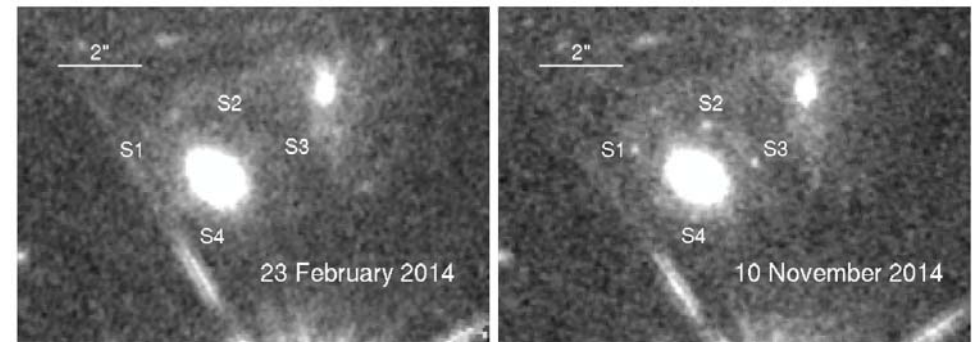
Lentilles fortes

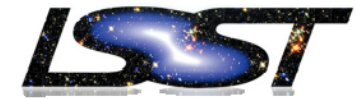


- LSST va faire un suivi temporel d'un très large échantillon de lentilles gravitationnelles fortes.
- C'est particulièrement important pour les événements rares (ex: supernovae & AGN dans des lentilles fortes) qui sont cruciaux pour la cosmologie.
- Les données fourniront des informations sur la sous-structure en matière Noire, qui ne peut être obtenue facilement autrement.
- Les lentilles fortes permettent aussi d'imager finement des sources très lointaines, ex: permet l'étude des disques d'accrétion des AGN distant.



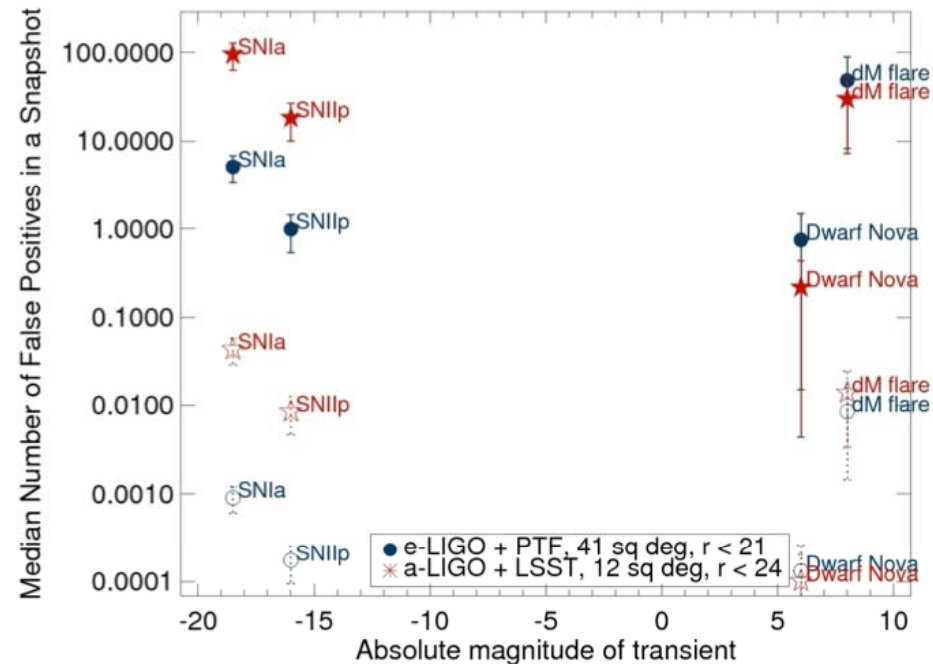
1 SN observée jusqu'à présent :
P.L.Kelly et al .arxiv.org/pdf/1411.6009.pdf



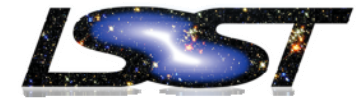


- Pour être sensible à des transitoires avec une magnitude absolue culminant à -13 (plus faible que la plus faible contrepartie optique associée à un sursaut gamma court) :
 - Dans le passé e-LIGO/Virgo (pas de candidat) se contentaient d'un télescope de la classe des 1-m pour le suivi optique éventuel (sensible à $m < 21$, ou 50Mpc ~type PTF)
 - Aujourd'hui a-LIGO/Virgo (en 2015-2016 plusieurs détections) aurait besoin de télescope de la classe des 6/8-m ($m < 24$, 200Mpc, ~ type LSST)

L'horizon < 200 Mpc des ondes gravitationnelles permet une association optique malgré l'activité dans l'univers : le nombre de faux positifs dans une image de LSST est énorme (symbole plein) , mais une fois que l'on se limite à < 200 Mpc (symbole vide) , l'identification d'une éventuelle contrepartie optique devient possible.



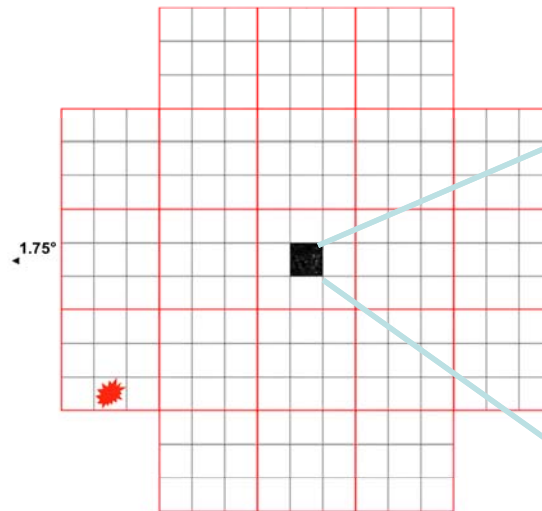
LSST & Ondes Gravitationnelles



L'incertitude sur la position estimée par a-LIGO-Virgo d'une source d'Onde Gravitationnelle ($\sim 1.75^\circ$ de rayon) est de la taille du champ de vue de LSST faisant de LSST un outil optimal pour la localisation de la contrepartie optique .

Epoch		2015–2016	2016–2017	2017–2018	2019+	2022+ (India)
Estimated run duration		4 months	6 months	9 months	(per year)	(per year)
Burst range/Mpc	LIGO	40–60	60–75	75–90	105	105
	Virgo	—	20–40	40–50	40–80	80
BNS range/Mpc	LIGO	40–80	80–120	120–170	200	200
	Virgo	—	20–60	60–85	65–115	130
Estimated BNS detections		0.0005–4	0.006–20	0.04–100	0.2–200	0.4–400
90% CR	% within	5 deg ²	< 1	2	> 1–2	> 3–8
		20 deg ²	< 1	14	> 10	> 8–30
	median/deg ²	480	230	—	—	—

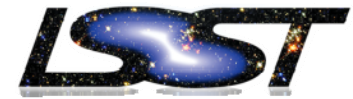
arXiv1304.0670



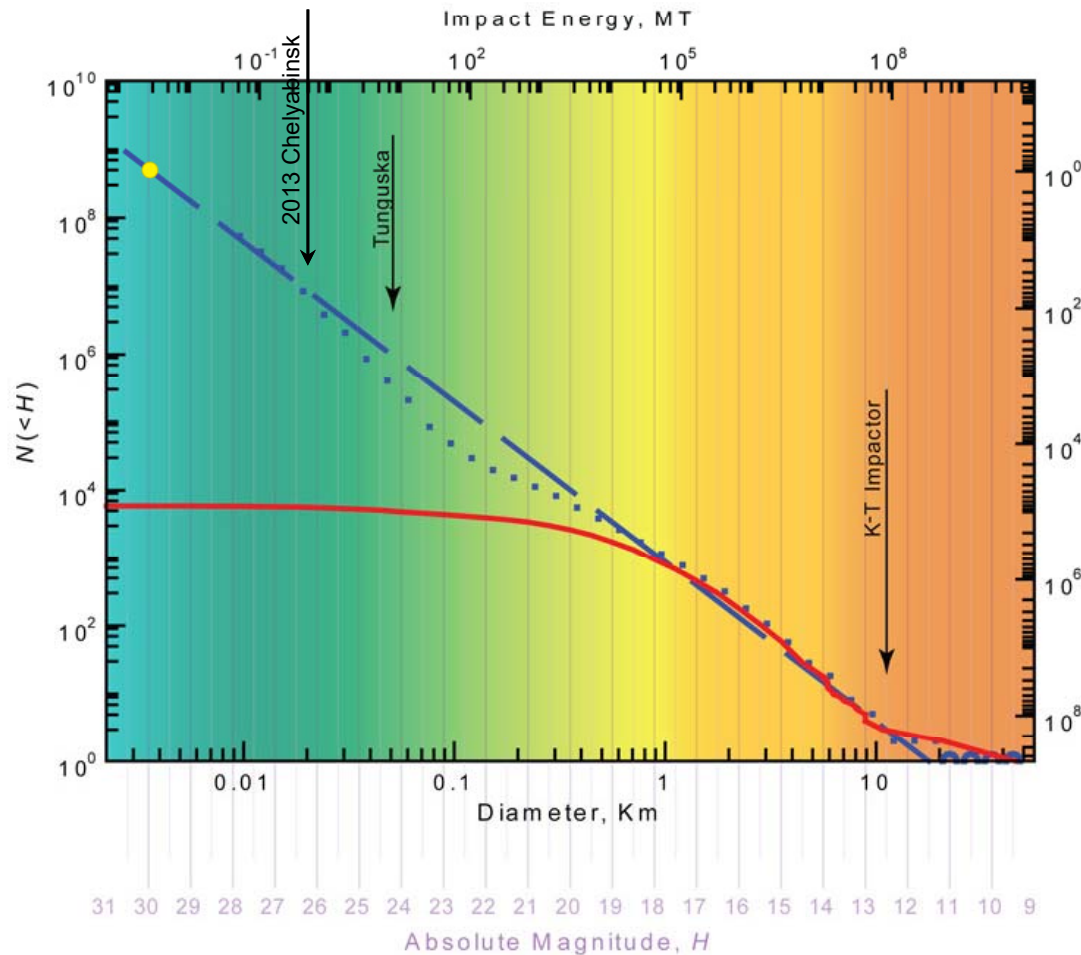
1 CCD (13.3' x 13.3') , image composite g,r,i
(1/189 ième du plan focal de LSST)



En 10 ans LSST peut trouver au moins 80% des géo-croiseurs de 140 m ou plus.



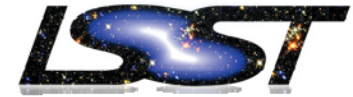
POTENTIAL DAMAGE TO EARTH FROM NEO IMPACT



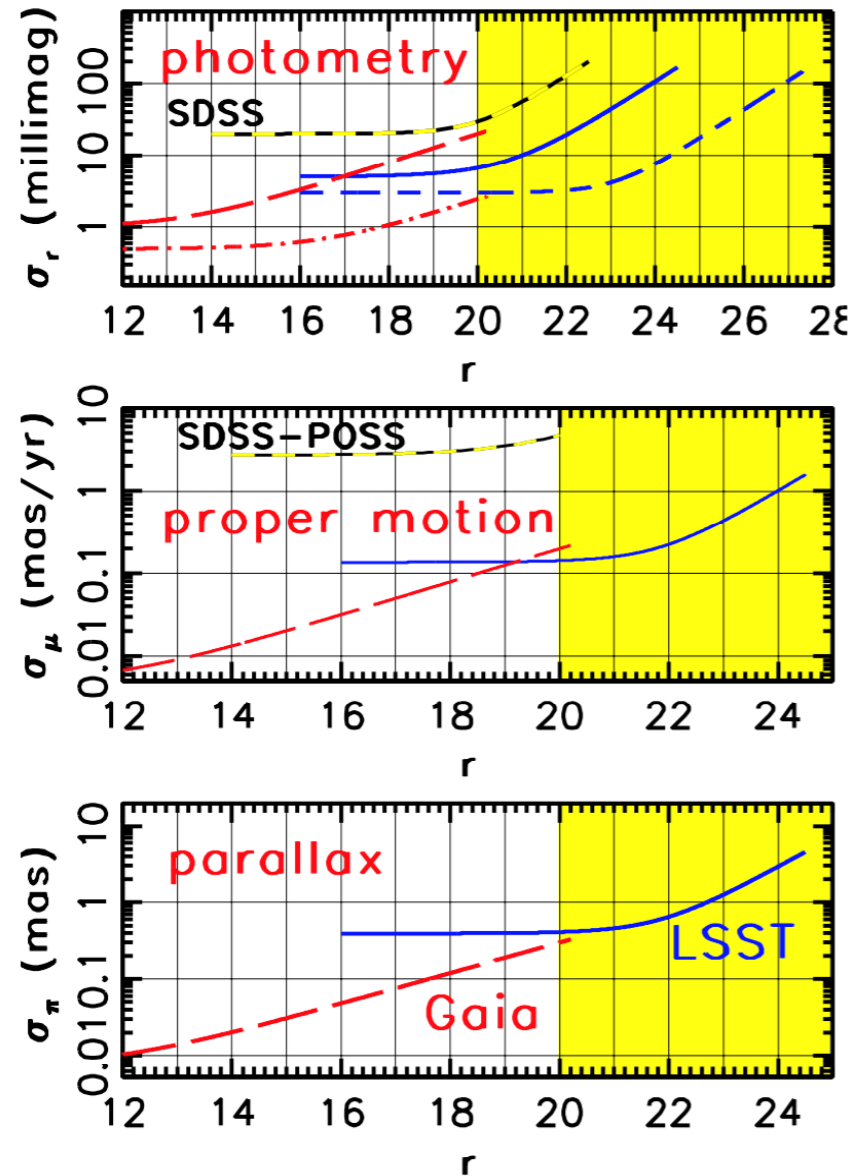
- • • • Estimated from discovered population
- Estimated from bolide observations
- Constant power law
- Discovered to 1.19.09

NO DAMAGE
$D < 30$ m (0.030 km) Airburst in upper atmosphere, no significant ground damage.
AIRBURST
30 m $< D < 100$ m Airburst in lower atmosphere, causes damage similar to nuclear bomb blast above ground. Over ocean, no damage.
REGIONAL TSUNAMI
100 m - 1 km Surface impact, on land, makes crater a couple to a couple tens of km across. In the sea, raises a tsunami that can cause shoreline damage one to a few thousand km distant from the impact point.
GLOBAL
1 km - 10 km An impact into land or sea may raise enough dust into the stratosphere to cause a global climatic catastrophe, leading to mass starvation, disease, and general disruption of social order.
EXTINCTION
10 km and larger - possibility of mass extinction, certainly of some species and possibly humans.

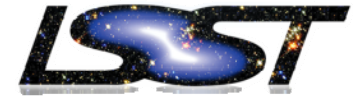
Image Credit: A. W. Harris, SSI/LSST



Les deux relevés seront très complémentaires:
 Gaia cartographie le disque de la Voie Lactée avec un niveau de détail sans précédent, LSST va étendre cette cartographie jusqu'aux limites du halo.

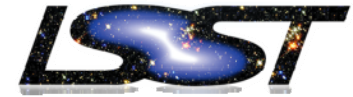


Galaxies



- LSST sera un outil unique pour étudier la formation des galaxies et leurs propriétés . Il sondera un volume co-mobile \sim deux ordres de magnitude plus important que les sondages actuels ou prévus .
 - Le sondage va atteindre 50 galaxies / arcmin²
 - La base de donnée inclura la photométrie de 10^{10} galaxies allant du Groupe Local jusqu'à $z \sim 6$.
 - LSST aura une photométrie en 6 bandes pour 4×10^9 galaxies.
 - Les outils clef de diagnostic incluront :
 - Les fonctions de luminosités
 - Les relations Couleur-luminosité
 - Les relation taille-luminosité
 - La classification quantitative de morphologie
 - La dépendance avec l'environnement
 - LSST contribuera principalement à l'étude des galaxies à travers :
 - Les contraintes sur la partie brillante et faible de la fonction de luminosité
 - Avec une statistique très importante et dans un très grand domaine de redshift
 - Compréhension des galaxies de faible masse
 - mécanismes de destruction
 - Est-ce que des galaxies pauvres en gaz existent dans un environnement de densité faible.
 - Statistique sur l'interaction des galaxies
 - Taux de fusion , destruction par marée
 - Cartographie détaillé des propriétés des galaxie en fonction de l'environnement
- ➔ **Points forts : la qualité , le domaine de redshift et le nombre d'objet , mais aussi les outils pour étudier / accéder à l'information: la base de donnée de LSST est une pièce maitresse pour l' étude des galaxies.**

Etalonnage des photo-z : la corrélation-croisée



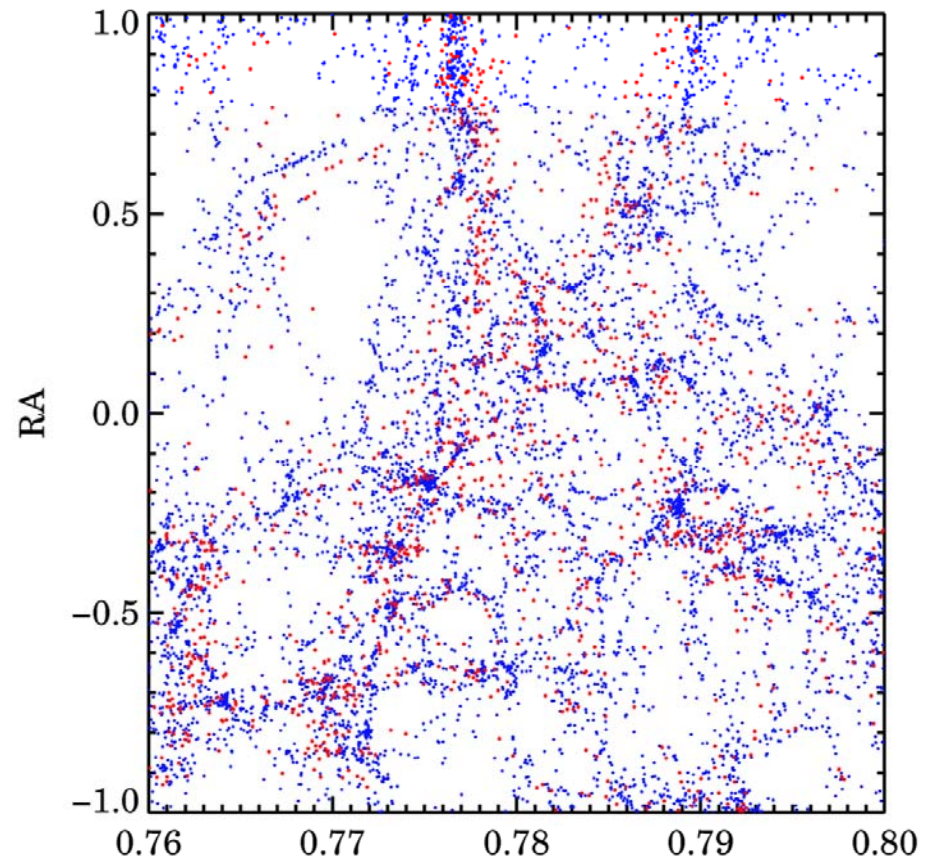
- Les relevés systématiques en redshift sont incomplets : des domaines entiers couleur-magnitude sont inexplorés → travail en cours pour compléter la calibration photométrique dans les domaines de magnitude d'Euclide.
- La majorité des objets de LSST seront trop faible pour être spectrés *en masse*

→ **Un autre voix : la méthode de cross-correlation:** exploiter l'information du décalage vers le rouge dans les regroupements de galaxie.

- Les galaxies de tous types s'agrègent ensemble : elles tracent la même distribution de matière noire.
- Les galaxies à des décalages dans le rouge suffisamment différent ne se regroupent pas

Quelques 10aines de millier de spectre par unité de z peut fournir une calibration clef pour LSST

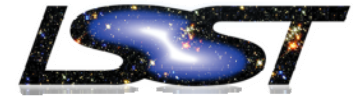
More : J.Newman et al. <http://arxiv.org/abs/1309.5384>



Echantillon photométrique (e.g DES)

Echantillon Spectroscopique (e.g DEEP2)

LSST est ...presque là !



- Les projets de l'envergure de LSST ont une maturation , une construction et une exploitation longue :
 - Les premières discussions du projet précurseur de LSST datent de la fin des années 1990
 - le design actuel de LSST a vu le jour ~ 2002
 - Le projet était vraiment en place en ~ 2008 avec le début de la construction de son miroir primaire sur fond privé .
 - Le top départ de la construction sur un calendrier&budget bouclé a été donné à l'été 2014.
 - Les premières données de science sont prévus en 2021 , avec un démarrage effectif du relevé LSST en 2022 pour au moins 10 ans.

Soit un total de ~35 ans pour la totalité du projet : au delà de son cout (10^9 \$) et du nombre de personnes impliquées (~1000) , le temps nécessaire pour réaliser un projet comme LSST souligne l'effort à mettre en œuvre pour faire avancer notre compréhension de l'univers.



Fin de la presentation

