

LSST : vers une participation Française



PNC/PNG
travaux et grands projets
2 Avril 2008

Pierre Antilogus

Energie & Matière Noire

LSST : LE projet sol d'imagerie grand champ

LSST

- ⇒ Une expérience de la 4^{eme} génération du « Dark Energy Task Force »
- ⇒ Implémentation au sol de **métrologie** Energie & Matière Noire basée sur de l'imagerie « grand champ »
- ⇒ Fin 2006 envoi d'une lettre d'intérêt de 7 directeurs de laboratoire INSU & IN2P3
- ⇒ Depuis février 2007, l'IN2P3 participe à la R&D de ce projet mené par les US (NSF / DOE) , le projet a été présenté au CS de l'IN2P3 en décembre 2007 par 6 laboratoires de l'IN2P3 (APC, LAL , LPNHE , LPSC + LMA & CCIN2P3).

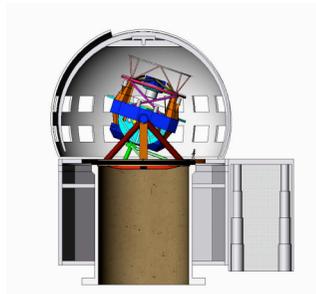
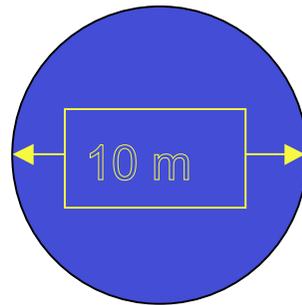
LSST : voit « loin » et voit « grand »

Miroir Primaire
diamètre

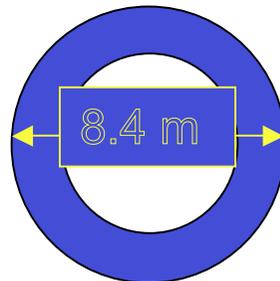
Champs
(La pleine lune fait 0.5 degré)



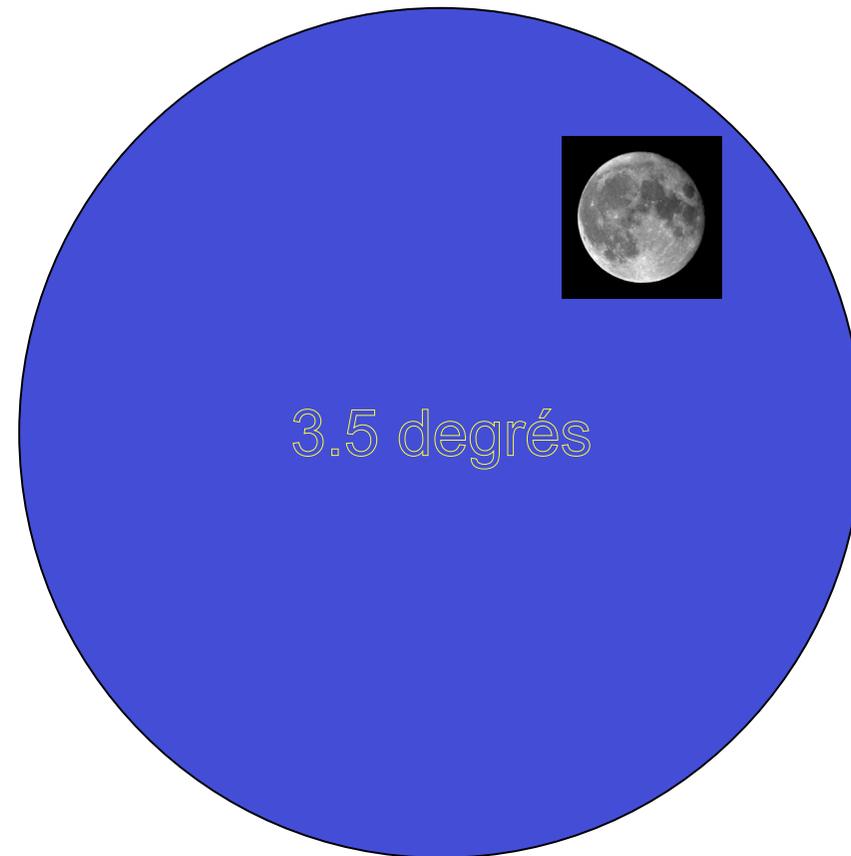
Keck
(Hawaii)



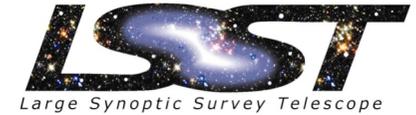
LSST



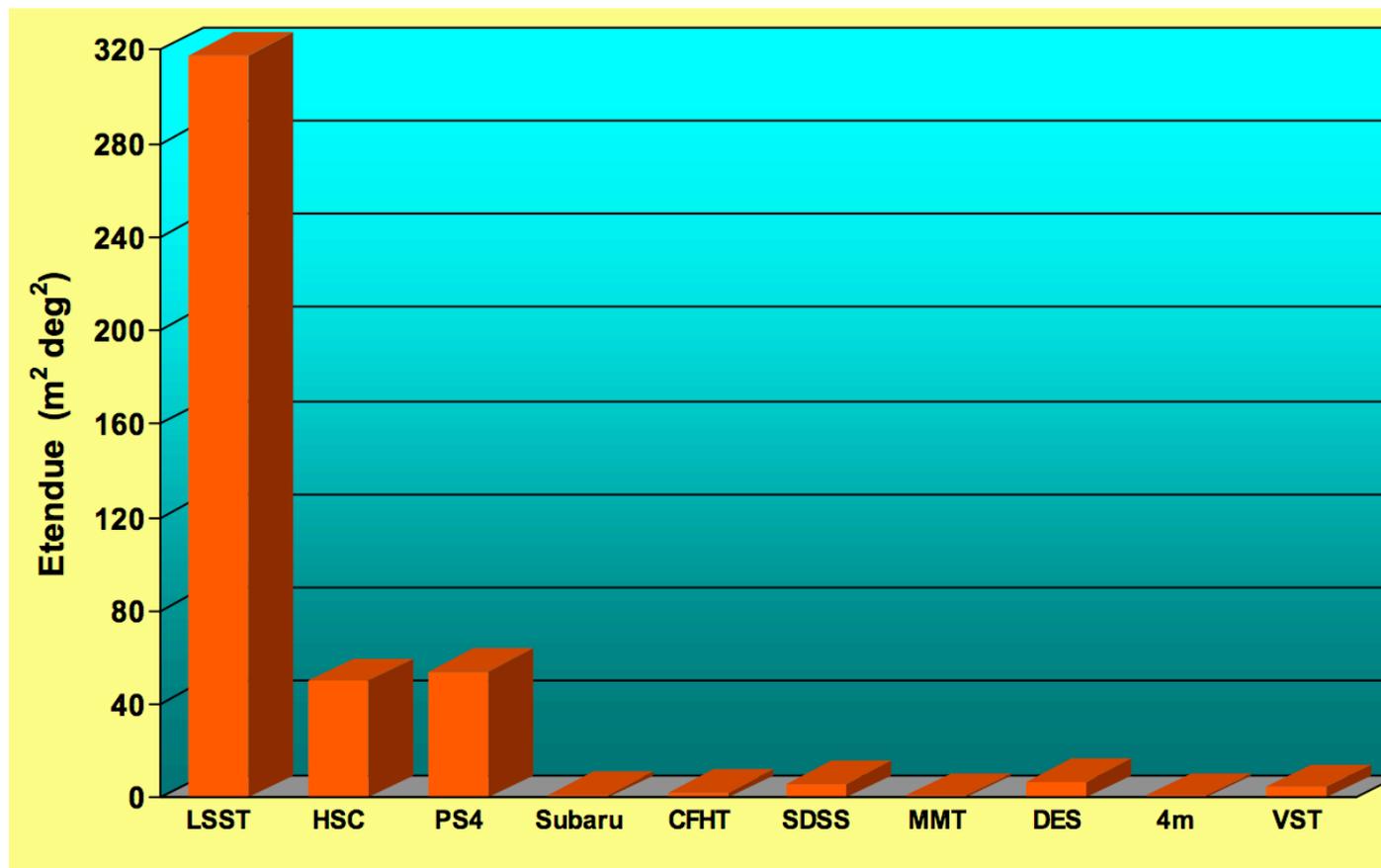
● 0.2 degré



Les projets sols présents et futur : Etendue (= $A\Omega$)

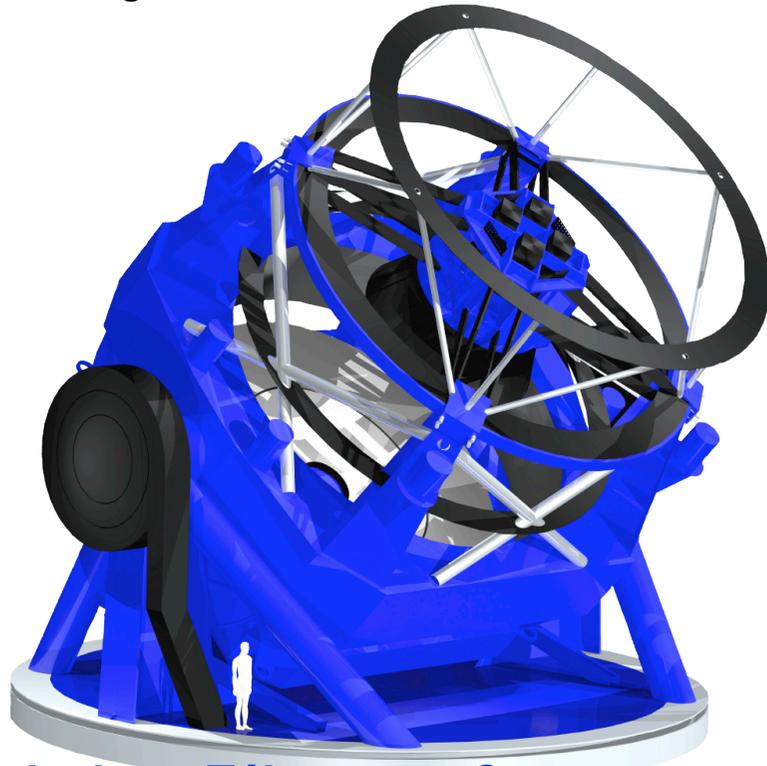


Au sol la densité de galaxies par unité de surface de ciel atteint une asymptote pour une magnitude de ~ 26.5 . (effet d'atmosphère car glissement vers l'infrarouge)
Par son étendue LSST dépasse cette limite pour tout le ciel visible.
==> en visible du sol « il n'y a plus rien à voir » au delà de ce que LSST peut faire.



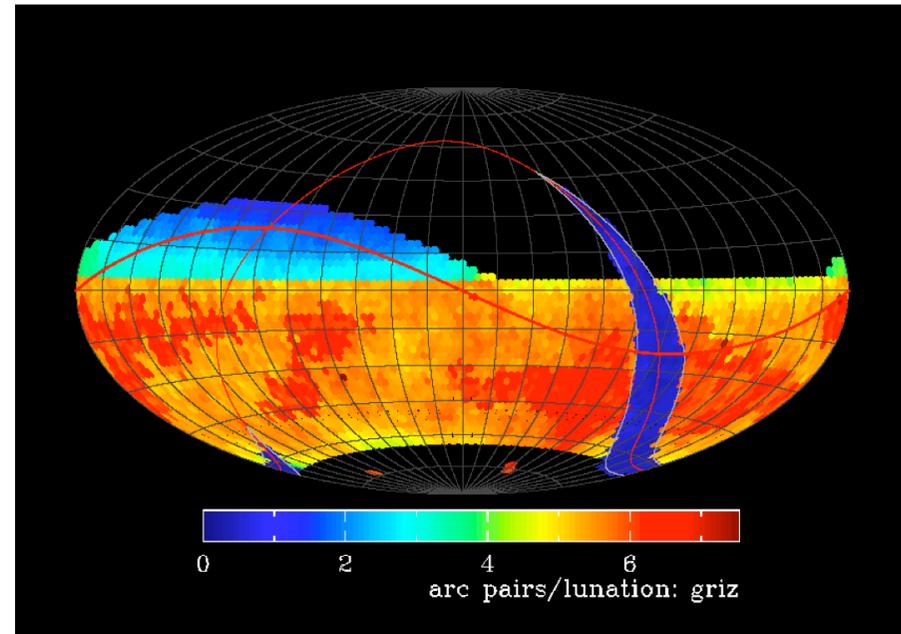
LSST : un concept pour un plan d'observation unique

- 20 000 deg² 0,2 arc-seconde/pixel
- Chaque 9.6 deg² est visité > 300 fois
- Observation en 6 bandes (u g r i z y)
profondeur , r : 27.5 AB mag @5 σ
(1 image: 24.7 AB mag)
- Précision photométrique : 0.01 mag (= 1 %)
- Densité de galaxies : 50 / arcmin²
- 3x10⁹ galaxies avec color-redshift



Le design : Télescope+Camera
= 1 instrument

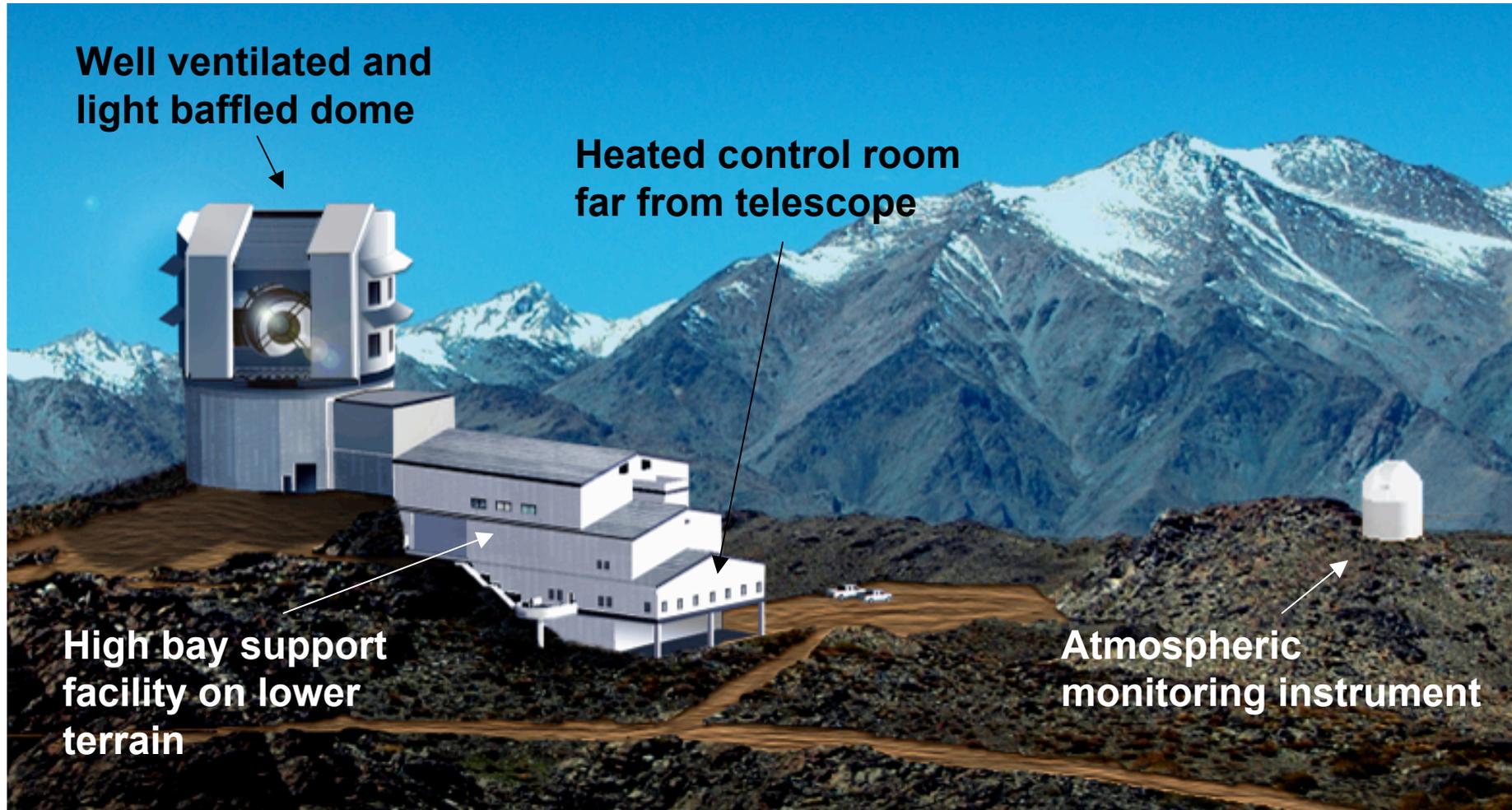
Le concept : Profond , Large , Rapide .



- Miroirs :
Primaire : 8.4m , Secondaire : 3.4m, Tertiaire : 5m
- Durée du suivi : 10 ans
- Plus de 5x10⁶ poses suivant la séquence :
15 s pose + 2 s lecture + 15 s pose
nouveau pointé pendant la lecture
- Camera : 3.2 Gigapixel, ~200 4k x 4k CCD
- Plan focal 64 cm de diamètre

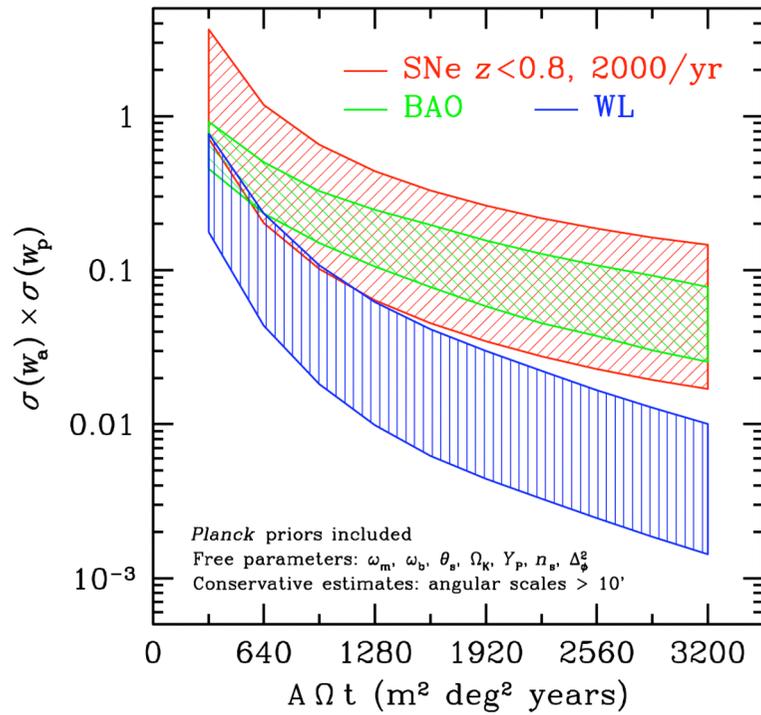
Le site du LSST : La Serena / Nord du Chili (= CTIO)



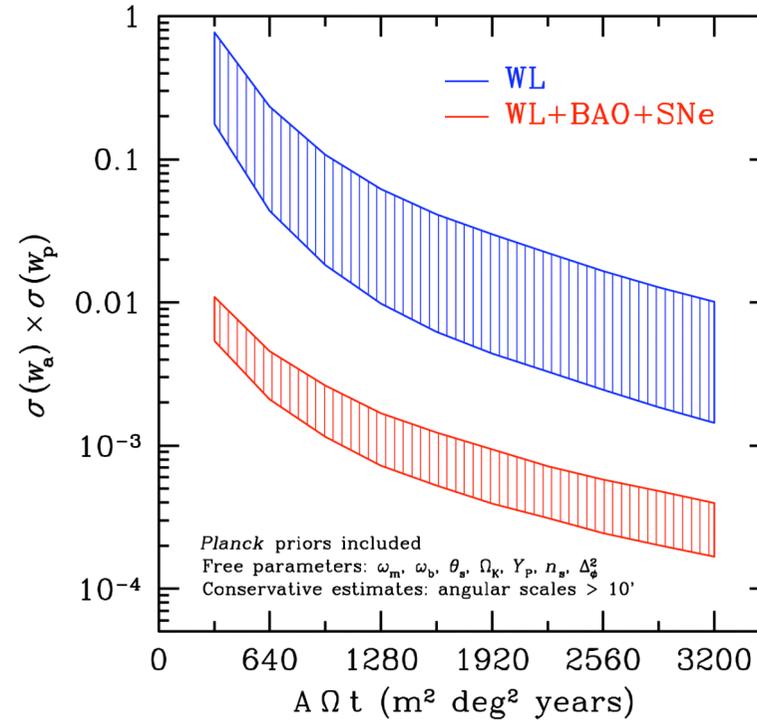


- Matière & Energie Noire : lentille faible
- Matière & Energie Noire : BAO
- Energie Noire : SuperNovae
- Energie Noire : Comptage des amas de Galaxies
- Structure galactique englobant le groupe local
- Astrométrie dense sur 20000 sq.deg : objets mobiles rares
- Gamma Ray Bursts et objets variables à grand décalage vers le rouge
- Micro-lentilles gravitationnelles
- Physique de la Matière Noire : Lentille forte (galaxies et amas), recherche H₂
- Images multiples de SN/décalage temporel : test de cosmologie indépendant
- QSO décalage temporel versus z : test de cosmologie indépendant
- Etoiles variables et galaxies variables (accrétiens par trou noir)
- Objets transitoires jusqu'à une magnitude 25 : « l'inconnue »
- Sonde du Système Solaire : Astéroïdes, Comètes, objets trans-Neptunien

Sondes individuelles



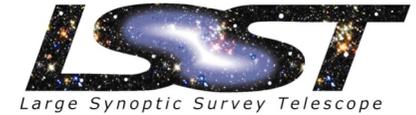
Sondes combinées



Combiner les sondes réduit les dégénérescences

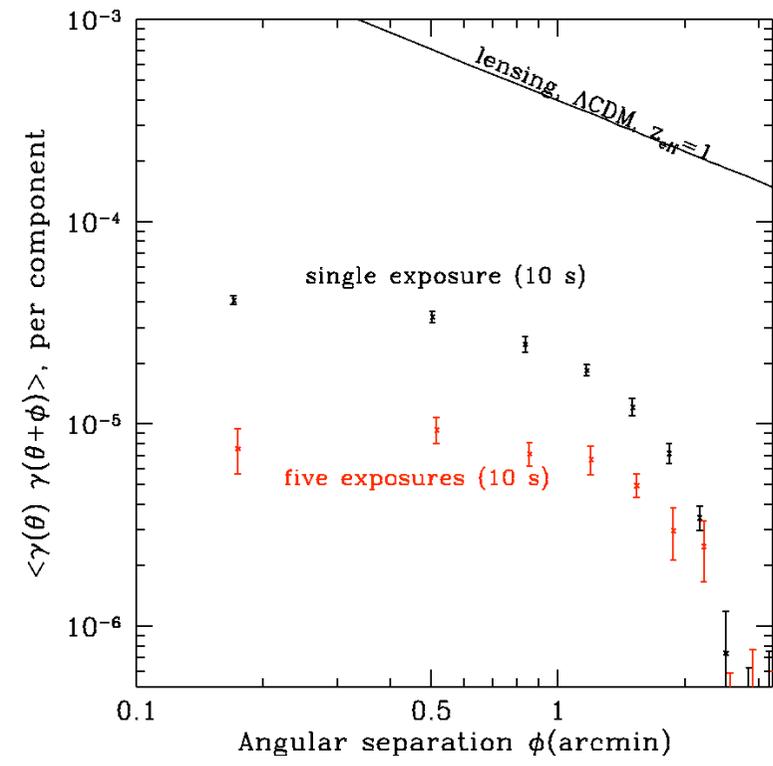
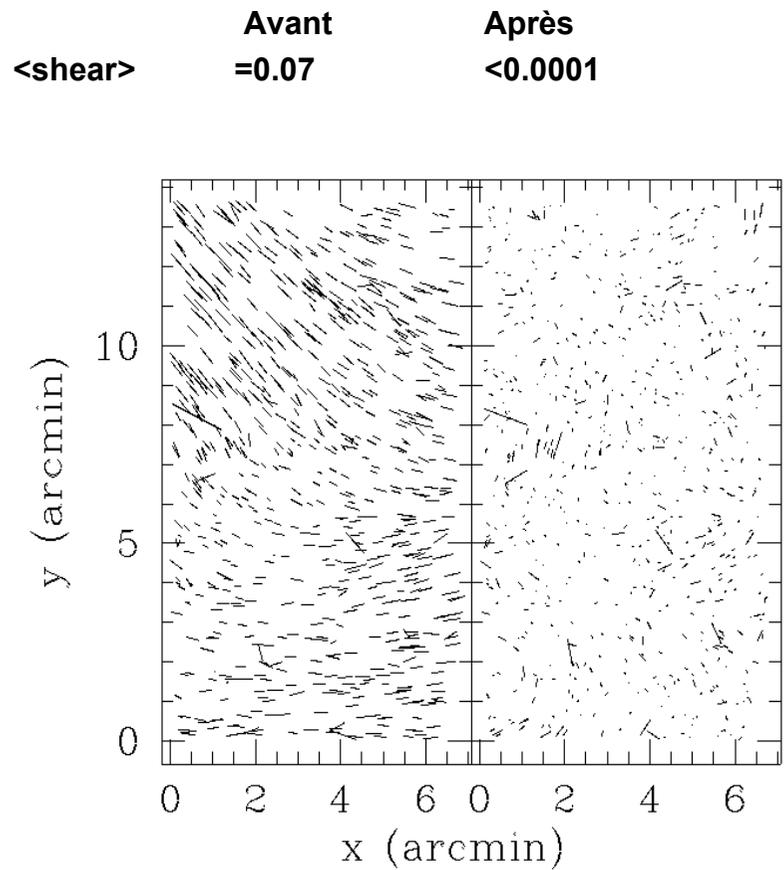
Weak Lensing : résidus / systématiques

Intérêt des poses multiples d'un même champ



Mesurer le Weak lensing demande une correction fine des distorsions optiques (instrument+atmosphère):
 utilisation des étoiles du champ
 (~3 étoiles brillantes par arcmin²)

Mesurer le même champ plusieurs fois (>300 fois par filtre) permet de rendre négligeables les effets d'atmosphère.
 Test au Subaru :

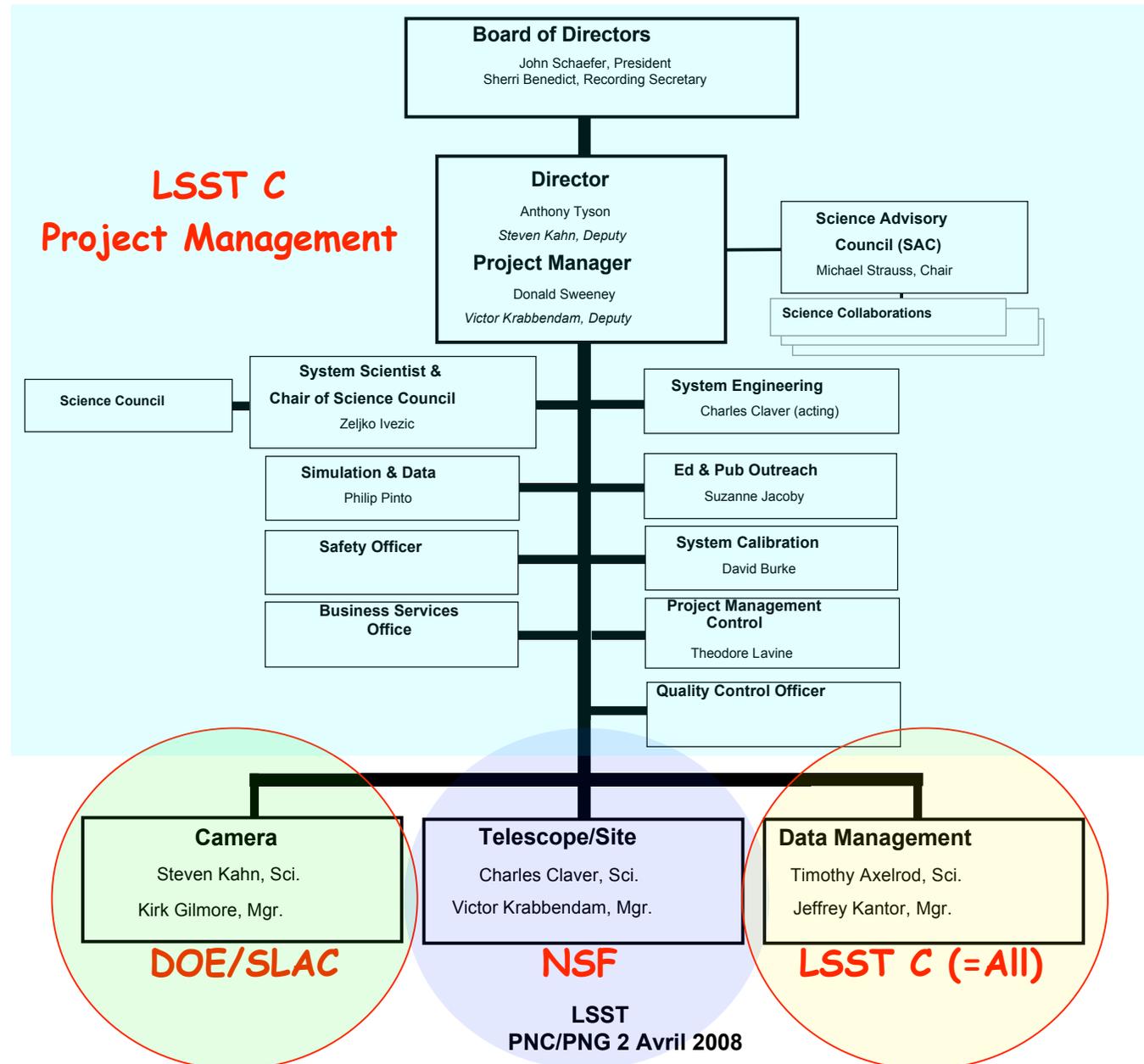


LSST : Organisation

La “LSST Corporation” a été fondée en 2003, comme une organisation non commerciale. Elle comptait en Juin 2007 22 membres et a son siège à Tucson, AZ



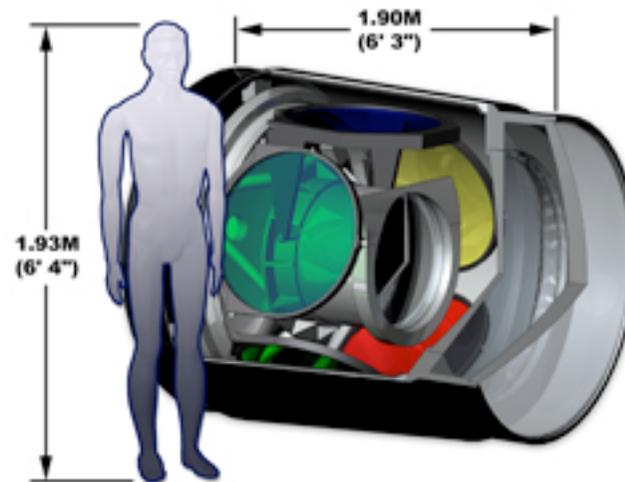
Brookhaven National Laboratory
California Institute of Technology
Carnegie Mellon University
Columbia University
Google, Inc.
Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics
Johns Hopkins University
Kavli Institute for Particle Astrophysics and Cosmology - Stanford University
Las Cumbres Observatory Inc.
Lawrence Livermore National Laboratory
National Optical Astronomy Observatory
Princeton University
Research Corporation
Purdue University
Stanford Linear Accelerator Center ←
The Pennsylvania State University
The University of Arizona
University of California at Davis
University of California at Irvine
University of Illinois at Urbana-Champaign
University of Pennsylvania
University of Pittsburgh
University of Washington



1. Supernovae: M. Wood-Vasey (CfA)
2. Weak lensing: D. Wittman (UCD) and B. Jain (Penn)
3. Stellar Populations: Abi Saha (NOAO)
4. Active Galactic Nuclei: Niel Brandt (Penn State)
5. Solar System: Steve Chesley (JPL)
6. Galaxies: Harry Ferguson (STScI)
7. Transients/variable stars: Shri Kulkarni (Caltech)
8. Large-scale Structure/BAO: Andrew Hamilton (Colorado)
9. Milky Way Structure: Connie Rockosi (UCSC)
10. Strong gravitational lensing: Phil Marshall (UCSB)

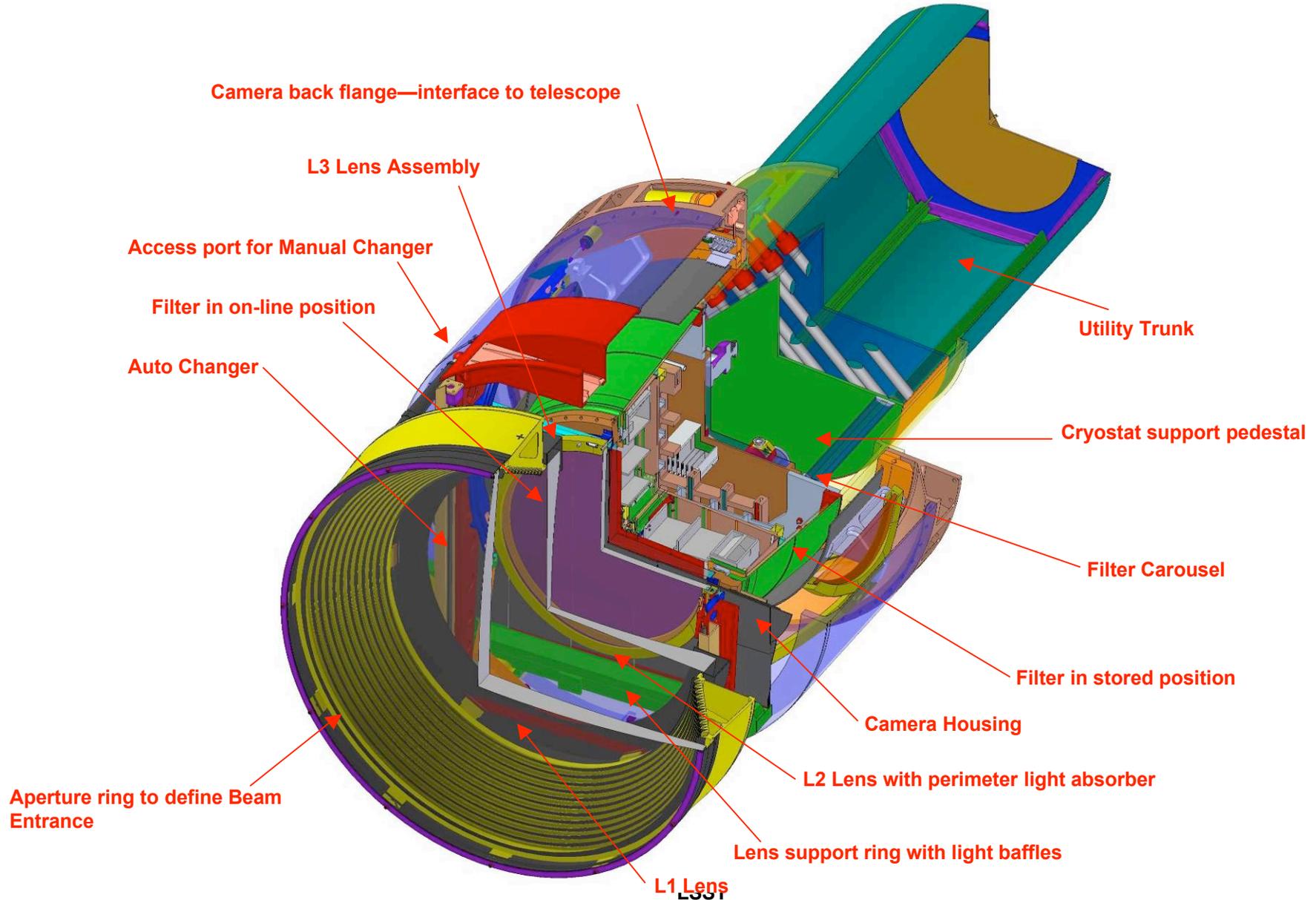
171 chercheurs des institutions membres de « LSSTc » ou des projets associés ont rejoint les collaborations scientifiques

LSST : La caméra

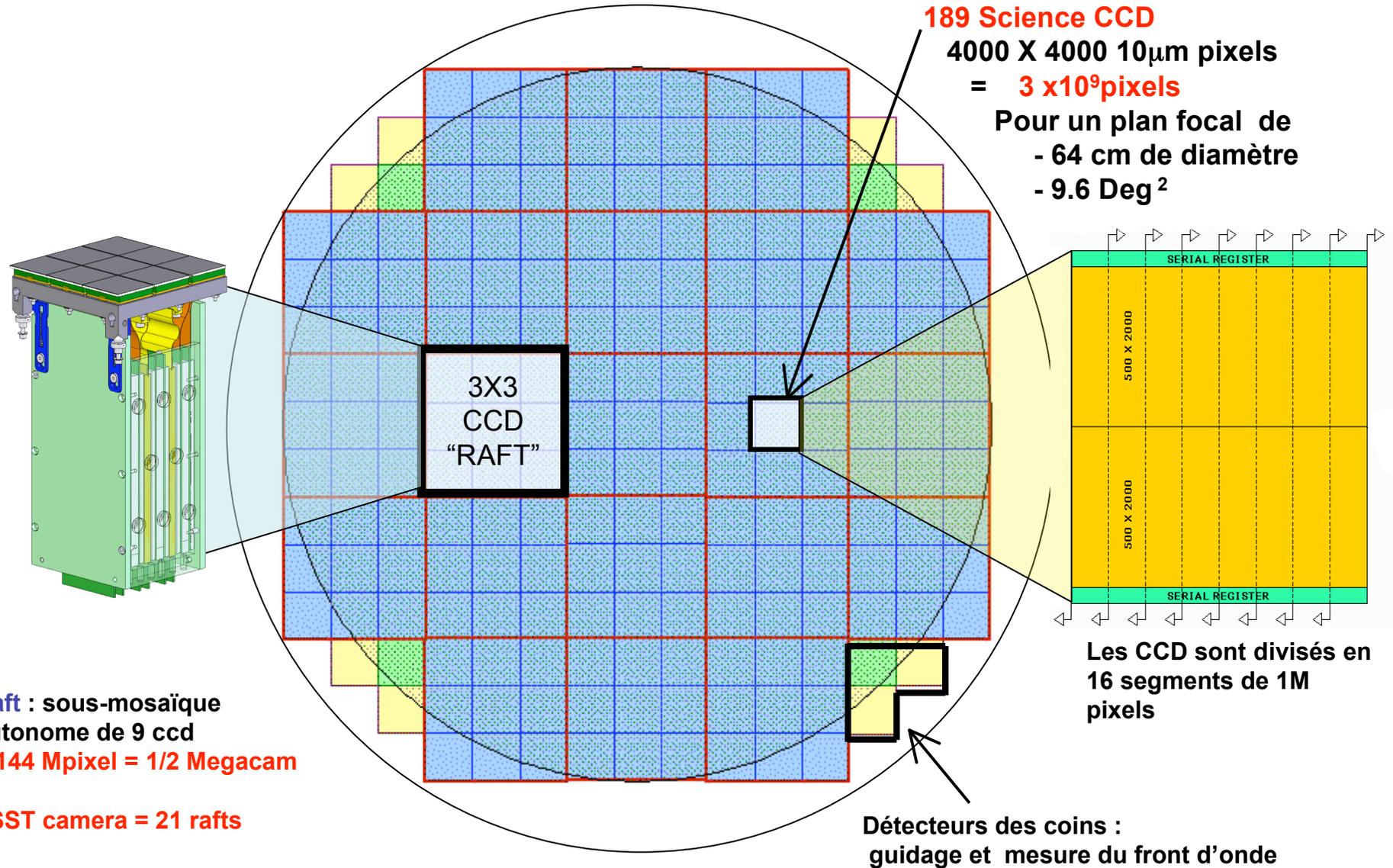


Une présentation centrée sur la R&D proposée à l'IN2P3

La camera de LSST



LSST Camera: Configuration du plan focal



Raft : sous-mosaïque autonome de 9 ccd
 = **144 Mpixel = 1/2 Megacam**

LSST camera = 21 rafts

- **Efficacité quantique élevée à 1000nm (35%)**
 - Silicium épais - 100 μ m - et BB AR coating
- **PSF << 0.7" (0.2")**
 - Substrat de haute résistance (> 5 k Ω .cm)
 - Des pixels de petite taille (0.2" = 10 μ m)
- **Ouverture f/1.2 (rapide)**
 - Détecteurs plats < 5 μ m p-v
 - Package avec des piston, tip, tilt adj. à ~1 μ m
- **Grand plan focal**
 - ~ 3200 cm² de plan focal
 - 189 CCD destinés à la science
- **Grande efficacité**
 - > 90% de couverture du plan focal
 - Package 4-cotés jointifs, sub-mm gaps
- **Lecture rapide (2 s)**
 - Détecteurs Segmentés - ~3200 ports de sortie
 - 150 I/O connections par détecteur
- **Faible bruit de lecture**
 - < ~ 5 électrons rms
- **Gamme dynamique importante**
 - Puits 100 000 électrons
 - Dynamique 16 bits

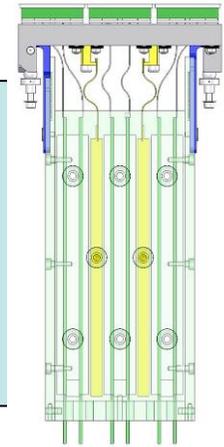
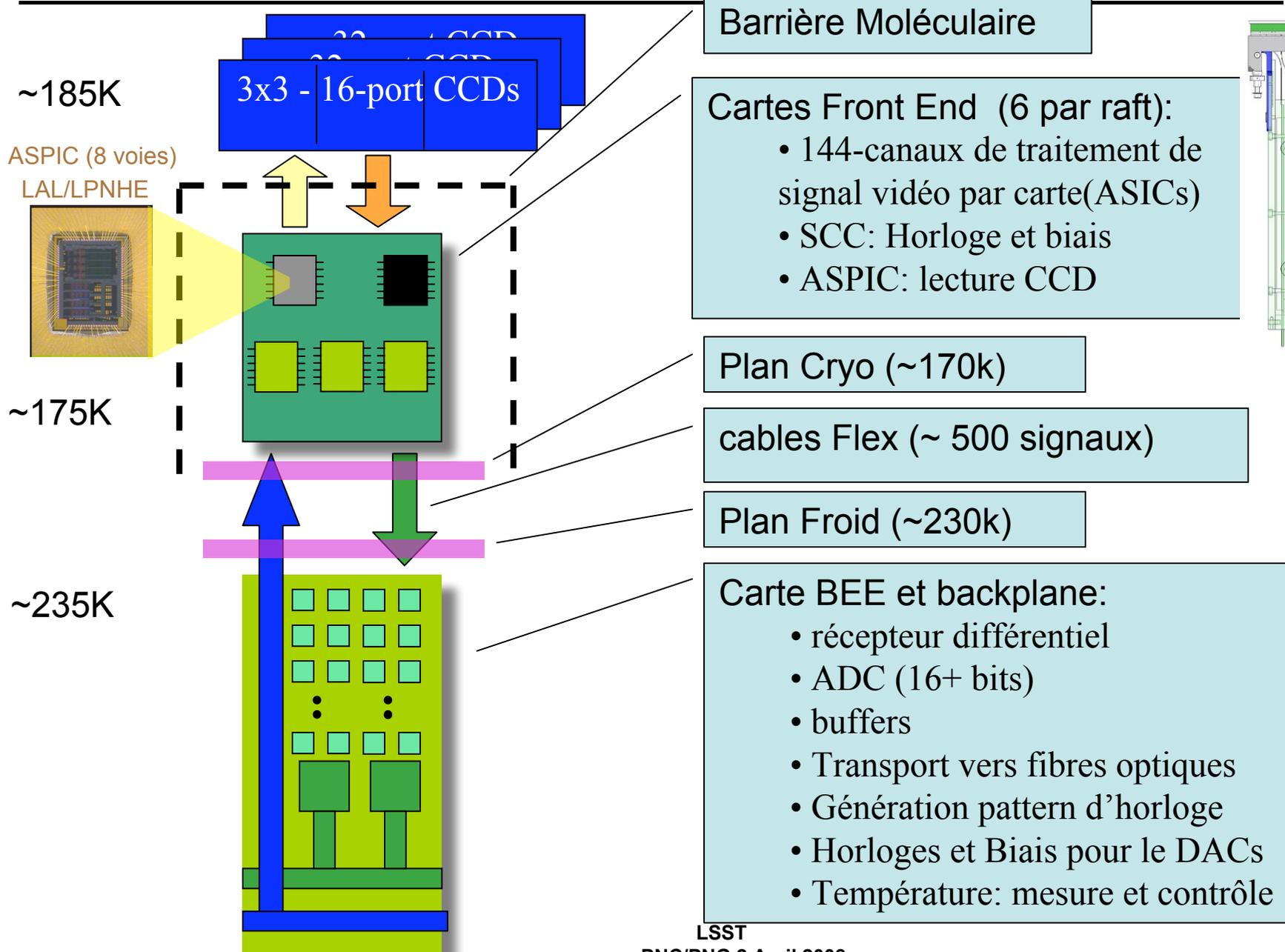
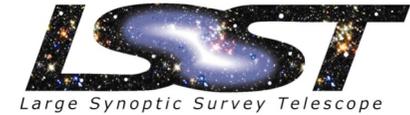
Conceptual Design Review (NSF) , Tucson sep. 2007

The LSST sensor critical technology challenges being addressed are:

1. Overdepleted, thick sensors on high resistivity silicon with independent window bias;
2. Thin conductive (ohmic) window;
3. Flatness of 5 microns;
4. Segmented (multiport) readout, with 500kHz read rate and ~5 electrons read noise (1 megapixel segment read out in 2 seconds)

« The sensor development plan and prototype focuses on combining all of the above four technology aspects in an LSST forma. This involves no new technology. We believe that our step-by-step approach to address critical CCD technology will lead to a production ready prototype consistent with the projected start of LSST construction. »

LSST camera, « Raft tower »: Chaîne électronique

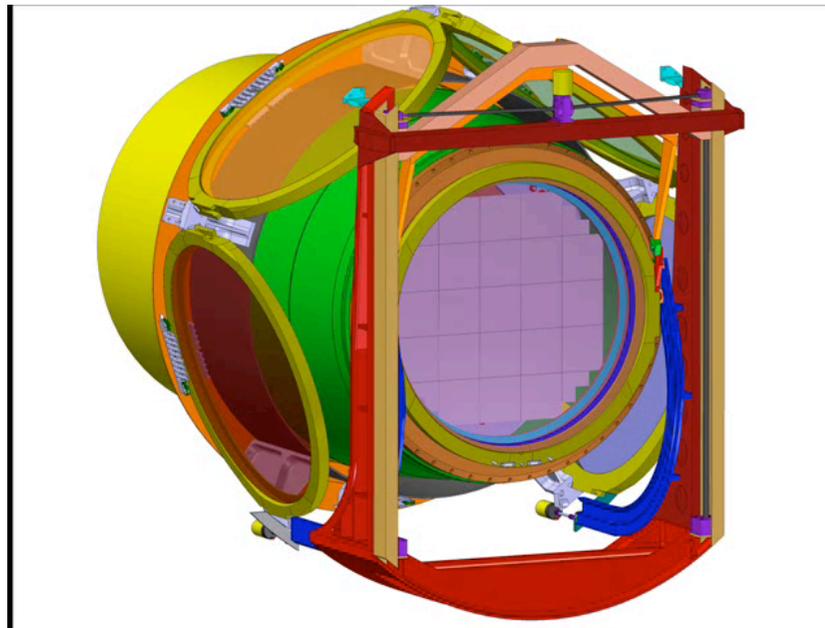
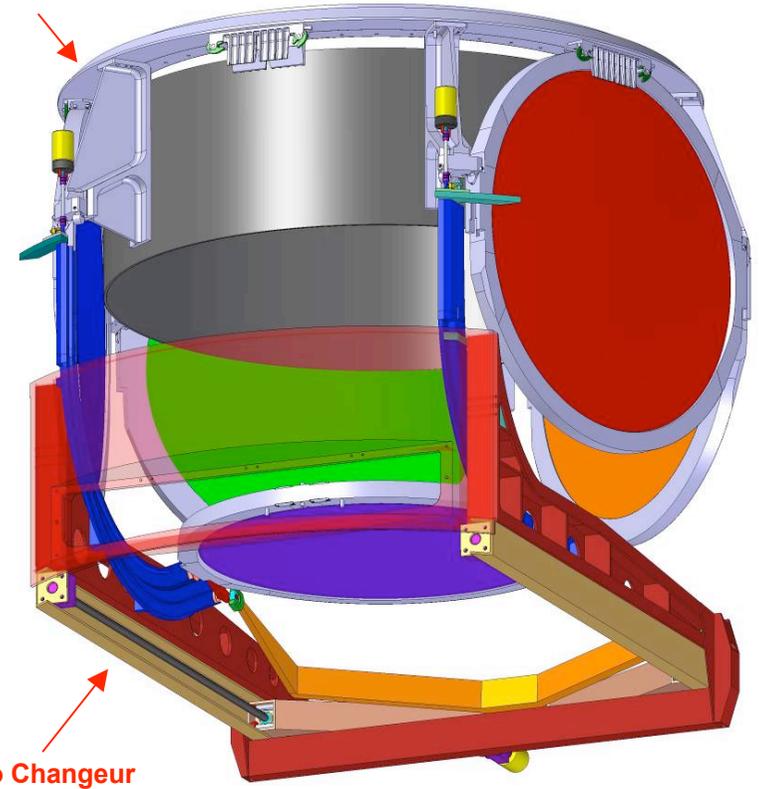


Systeme de changement de Filtres

Le système de changement de filtre compte 3 éléments : **Carrousel**

- **Carrousel**
 - Maintient jusqu'à 5 filtres hors champ
 - Positionne le filtre choisi en position de changement
- **Auto Changeur**
 - Maintien le filtre dans le champ de vue
 - Déplace le filtre de la zone de stockage vers la position d'observation
- **Changeur Manuel**
 - Utilisé pour échanger les filtres avec l'extérieur de la camera

Temps de changement de filtre = 120s

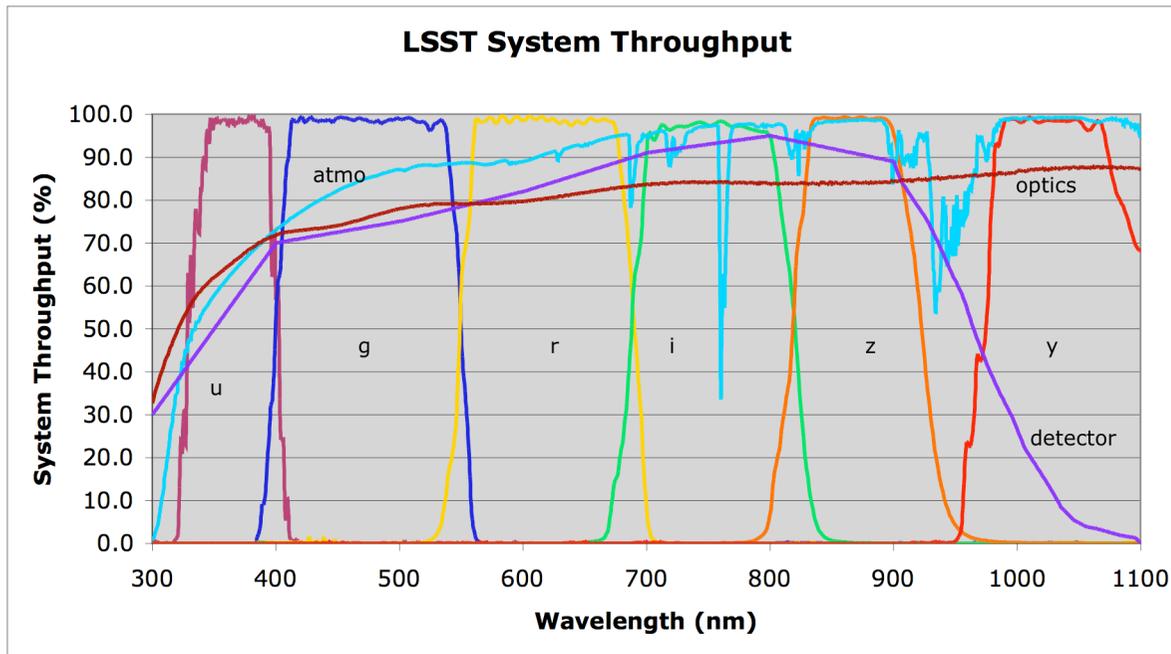


Requirement	Value	Unit
Number of filters housed in the Camera at one time	5	
Max time between two visits in different filters	2	min
Minimum operational life of filter changer	40,000	cycles
Minimum operational life of filter carousel	20,000	rev
Minimum time between preventative maintenance	4,000	cycles

Specs

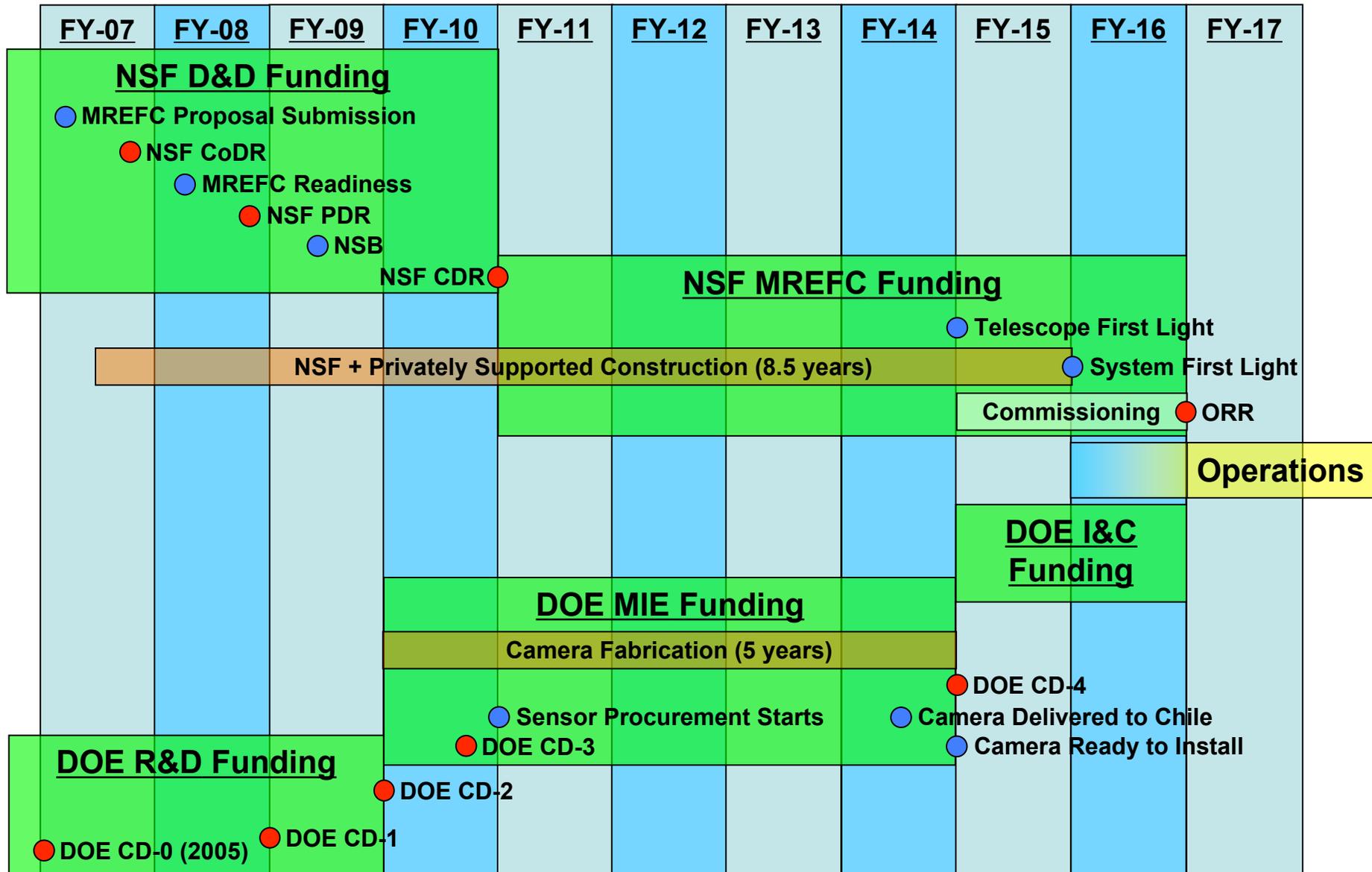
Half-Maximum Transmission Wavelength			
	Blue Side	Red Side	Comments
U	350	400	Blue side cut-off depends on AR coating
G	400	552	Balmer break at 400 nm
R	552	691	Matches SDSS
I	691	818	Red side short of sky emission at 826 nm
Z	818	922	Red side stop before H ₂ O bands
Y	948	1060	Red cut-off before detector cut-off

- 75 cm dia.
- Surface courbe
- Les Filtres sont centrés sur l'axe optique, ainsi chaque portion d'un filtre voit le faisceau avec le même angle d'incidence (de 14.2° à 23.6°)

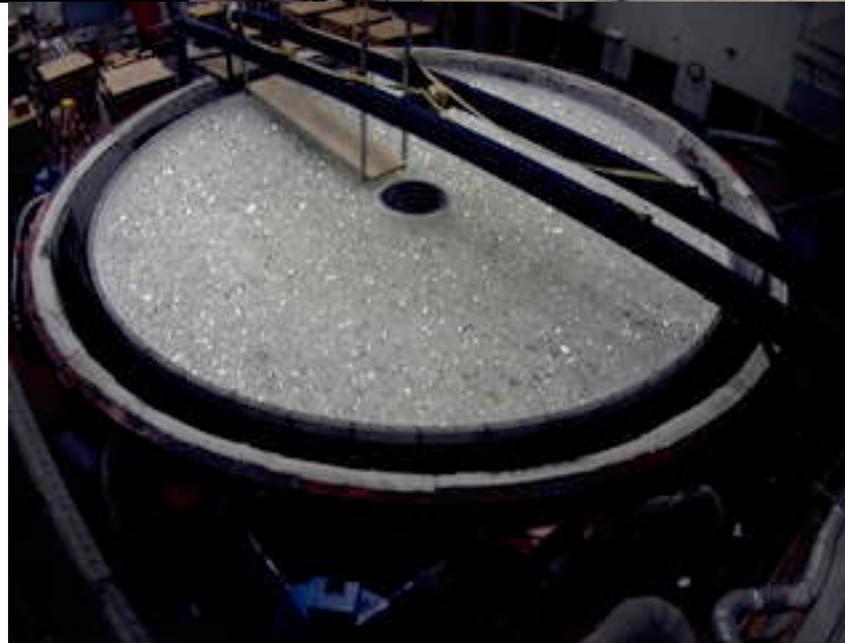


Dépôt uniforme au % requis sur toute la surface du filtre

LSST camera : Planning retenu par la collaboration



Le Miroir primaire/tertiaire de LSST est en cours de fabrication



2008-03-18 01:40:01 Copyright: LSST Corporation

LSST en France

Un plan de R&D dans LSST à l'IN2P3

Mise en place d'une participation à la R&D LSST en France



2005	Prise de contacts LSST ⇔ groupe(s) français de cosmologie observationnelle. Choix de LSST par un noyau de chercheurs à l'IN2P3 comme prochaine étape pour l'étude de l'Energie Noire
2006	Discussions plus ou moins indépendantes avec LSST de plusieurs groupes , qui s'est conclue par une lettre d'intérêt adressée aux responsables américains du consortium LSST, co-signée par les directeurs de 4 laboratoires de l'IN2P3 et 3 laboratoires de l'INSU (LAL, APC, LPNHE, IAP, CPPM, LAM, CASSIOPEE).
Fév. 2007	Début de 2 R&D ciblées sur la caméra de LSST (ASIC : LAL/ LPNHE , Méca Filtre: LPNHE) + 1 étude calibration sur ciel (APC) . Soutenues par les directions des laboratoires concernés.
Avr.-Aout 2007	Intérêt du management de la camera de LSST/SLAC pour une intégration du type des participations de l'IN2P3 aux manips de SLAC. Définition d'options de participation à la construction pour une participation significative de l'IN2P2 à la camera.
5 Sep. 2007	Présentation de ce plan à l'IN2P3 en présence de S.Katsanevas , Steve Khan (responsable camera LSST et Directeur de la division Particle Physics and Astrophysics à SLAC) , des directeurs et chercheurs des laboratoires impliqués. Idée de présenter le projet comme TGE CNRS.
Sep. 2007	Revue CoDR (NSF) LSST, Tucson US , avec les premiers résultats des R&D Françaises
Automne 2007	Définition d'un plan de R&D entre 6 laboratoires de l'IN2P3 et le management de la camera de LSST . Mise en place d'un Board LSST en France (1 représentant /Labo des 6 labos intégrés à la R&D : APC,CCIN2P3,LAL,LMA,LPNHE,LPSC,) et d'une coordination LSST IN2P3 pour la R&D.
Dec 2007	Présentation de LSST devant le CS de l'IN2P3

Afin de pleinement intégrer la collaboration LSST pour participer à ses programmes scientifiques sur l'Energie & Matière Noire. On se propose de contribuer de façon significative et sur des points clefs : de la construction de la camera à la mise en place des programmes scientifiques

Considérer LSST dès aujourd'hui du point de vue de la mesure de précision est un pré-requis indispensable pour son succès.

Le fil conducteur de notre proposition, afin d'avoir un impact sur le long terme dans le projet

la calibration photométrique

Sa qualité influera directement sur la précision de toutes les sondes sensibles à l'Energie Noire.

Enjeux : red-shift photométrique, luminosité des SuperNovae...

Ainsi en plus d'une participation directe aux études de calibration de LSST (APC/J.Bartlett), nous avons centré notre contribution hardware à la camera de LSST et ce sous deux axes :

- Les senseurs
- Les filtres

Enfin, afin de préparer dès à présent l'analyse, et être armé pour l'effort de traitement de données indispensable à la production scientifique de ce projet , nous avons commencé de travailler dès à présent sur la problématique « calcul ».

R&D Calcul et data management (CCIN2P3 Boutigny/Nief)

- L'énorme production journalière et le besoin de dispositifs d'alerte rendent nécessaire une gestion performante. L'expérience acquise par les projets du LHC, et les projets EROS, SNFactory et SNLS sera précieuse en ce qui concerne les problèmes d'architecture. Le CC-IN2P3 va explorer les solutions possibles dans ce domaine en collaboration avec les groupes du LPNHE et du LAL qui participeront également au développement des logiciels d'analyse d'images.
- Après discussion avec J. Kantor et R. Plante, les responsables américains du computing, il a été convenu que le CC-IN2P3 s'implique dans le Data Challenge 2 (DC2), plus particulièrement la partie concernant la gestion et le transfert des données entre le site expérimental au Chili et les sites de traitement et d'archivage primaires qui sont actuellement les centres de calcul du SDSC (San Diego) et le NCSA (Urbana Champagne), aux USA.

Quelques chiffres sur le volume de données LSST et leurs traitement :

La camera produit 15-30 TO/jour (~ LHC)

Soit ~ 2.5 Gbits/s entre le site d'observation et la zone d'archive

Cpu nécessaire ~ 135 à 320 Tflops

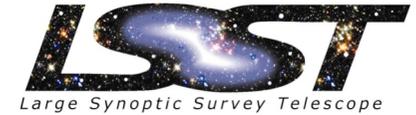
Pour les 10 ans du programme d'observation : 160 PO de données à archiver

Mais ... pour une analyse type SNLS/SNIa :

~250 000 SNIa / an (à comparer à ~100 bonnes SN Ia/an pour SNLS)

5 ans de données, ~1 EOctets (10^{18} Octets) de fichiers à lire/si processing « à la SNLS » !!!! (>> LHC)

La calibration photométrique



Les objectifs de calibration de LSST (étoiles isolées et brillantes $17 < r < 20$)

Mesure de flux entre époques à 0.5 % (rms)

Uniformité sur tout le ciel : 1.0 % (rms) en g,r,i,z ; 2.0 % pour les autres bandes.

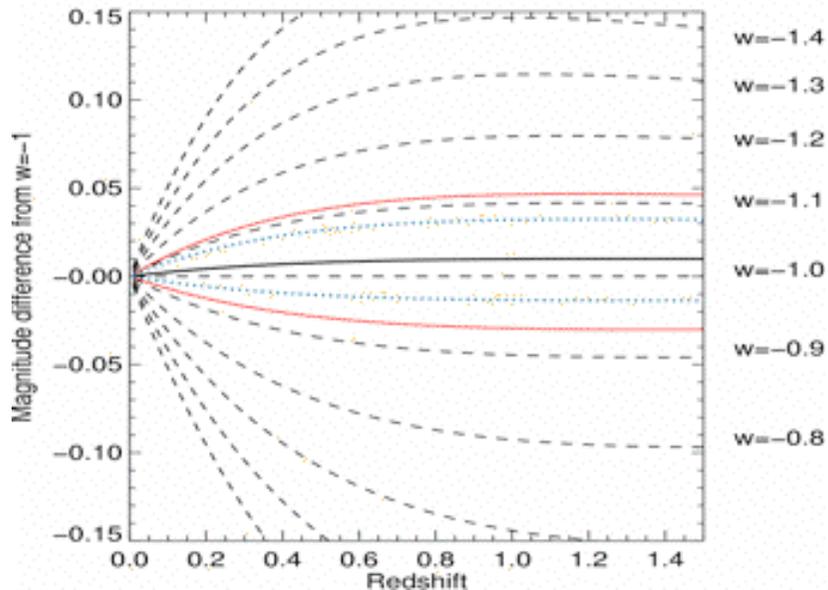
Transmission relative entre bandes connues à 0.5 % (rms) pour g,r,i,z ; 1.0 % vers les autres bandes

Transformation dans une échelle physique avec une précision de 2.0 %.

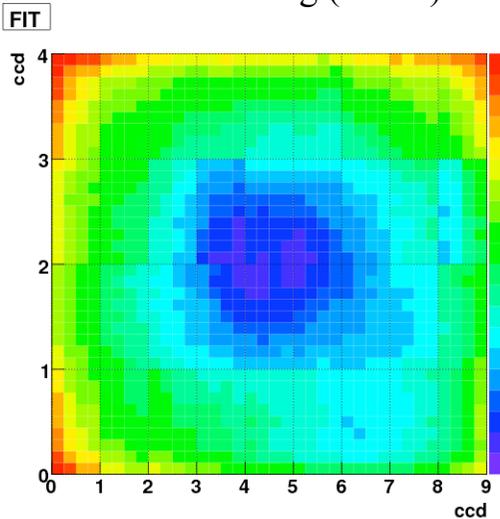
Impact de la précision de la mesure du flux sur une mesure de w basée

sur les SN \Rightarrow

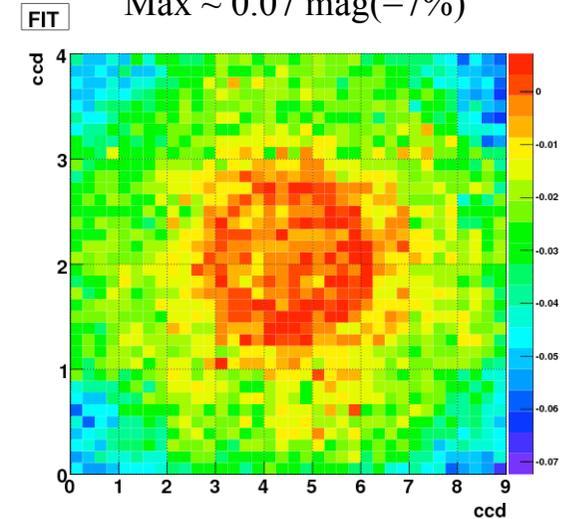
Non uniformité de réponse de Megacam (mesures sur « ciel »)



Carte de correction des flux dans le champ
max ~ 0.1 mag (=10%)



décalage de la bande passante du filtre i' dans le champ
Max ~ 0.07 mag (=7%)



CCD (LPNHE Bailey/Lebbolo, LPSC Barrau/Vescosi, LAL Moniez)

- Intégration du groupe senseur (BNL/SLAC) pour discussion E2V (Antilogus/Vescosi)
- Mise en place du banc CCD au LPNHE : hiver 2008.
- Tests des pré-prototypes E2V (déjà disponibles au LBNL) ; printemps-été 2008
- Mise à niveau du banc CCD pour la réception du prototype E2V : premier semestre 2009
- Etude et caractérisation des prototypes : Octobre 2009-Mars 2010
- R&D pour la définition du banc de réception : Juin 2008 - Mars 2010

ASIC de lecture Front End des CCD (LAL Moniez/Tocut, LPNHE Bailey/Lebbolo)

- Design de l'ASIC (ASPIC) : Mars 2007 - ...
- Test ASIC protos sur banc adapté + R&D pour banc d'acceptation de la prod : Nov 2007- ...
- Choix d'une solution parmi les 2 actuellement envisagées (DSI/C&S) : Printemps 2009
- ASIC opérationnel pour test CCD proto : été 2009
- acceptation finale : automne 2010

Calibration Camera (LPSC Barrau/Tur)

- 1er Objectif de la R&D (2008) : définir un plan de calibration/ acceptation de la camera intégrée (test optique, mesure de la lumière diffuse...) et du banc associé
- 2009-2010 : montage de bancs- tests pour évaluer les différents composants du banc final

Filtres (LMA Flaminio/Morgado)

- Contrôler la capacité du LMA à produire des filtres ayant la réponse spectrale conforme au cahier des charges
- Vérifier la capacité d'obtenir les uniformités demandées avec la machine de dépôt disponible au LMA. Ce deuxième objectif serait atteint en traitant simultanément **plusieurs filtres témoins situés, en différentes positions**, dans la zone utile de diamètre 76 cm. Deux bandes tests seront prototypées dans un premier temps (2008) : u , r
- Objectif R&D 2010: **réalisation d'un prototype à l'échelle 1**

Mécanique Carrousel (LPNHE Antilogus/Daubard)

- En collaboration avec SLAC design du système de changement de filtre : Fev 2007 - ...
- Prototype des éléments clefs du design : Automne 2008
- **Réalisation d'un prototype fonctionnel** : Automne 2009
- Acceptation du prototype (test d'usure...) : Automne 2010

Contrôle commande (APC Aubourg/ Guglielmi)

- Etude sur **l'architecture du contrôle commande**
- R&D sur le control commande du **système de changement de filtre** et participation à la réalisation d'un prototype fonctionnel ==> validation du schéma général du système de contrôle commande.

LAL

- Albert Jean-Noel Software
- Ansari Réza Science
- De La Taille Christophe Sensors/Elec.
- Moniez Marc Science & Sensors/Elec.
- Perdereau Olivier Science
- Tocut Vanessa Sensor/Elec.
- Wicek François Sensor/Elec.

LPNHE

- Antilogus Pierre Science & Sensor
- Astier Pierre Science & Sensor
- Stephen Bailey Science & Sensor
- Balland Christophe Science
- Barrelet Etienne Sensor/Calib
- Bertoli Walter Filter/Mech.
- Daubard Guillaume Filter/Mech.
- Guy Julien Science
- Hardin Delphine Science
- Joyce Michael Science
- Juramy Claire Sensor/Caract.
- Lebbolo Hervé Sensor/Elec.
- Levy Jean-Michel Science
- Martin David Sensor/Elec.
- Pain Reynald Science
- Regnault Nicolas Science
- Sefri Rachid Sensor/Elec.
- Schahmaneche Kyan Science & Sensor
- Vincent Daniel Sensor/Calib

APC

- Aubourg Eric Science & Filter/SlowC.
- Bartlett James Science & Atmos.
- Bouquet Alain Science
- Creze Michel Science & Atmos.
- Giraud-Heraud Yannick Science
- Guglielmi Laurent Filter/SlowC
- Hamilton Jean-Christophe Science & Atmos.

LPSC

- Barrau Aurelien Science & Sensor
- Bourrion Olivier Sensor/Calib
- Derome Laurent Science & Sensor
- Stassi Patrick Sensor/Calib
- Tur Myriam Sensor/Calib
- Vescovi Christophe Sensor/Calib

LMA

- Flaminio Raffaele Filter/Filt.
- Mackowski Jean-Marie Filter/Filt.
- Michel Christophe Filter/Filt
- Morgado Nazario Filter/Filt.
- Pinard Laurent Filter/Filt.

CCIN2P3

- Boutigny Dominique Computing
- Nief Jean-Yves Computing

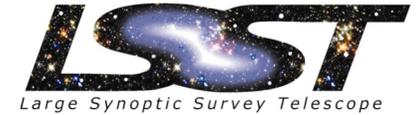
LSST est « le projet phare » qui se propose de mettre en œuvre ce qui peut être imaginé de mieux en photométrie grand champ du sol pour adresser les questions soulevées par « l'Énergie Noire »

Une participation Française à LSST est une chance pour notre communauté d'avoir un impact sur cette génération de projet Énergie Noire.

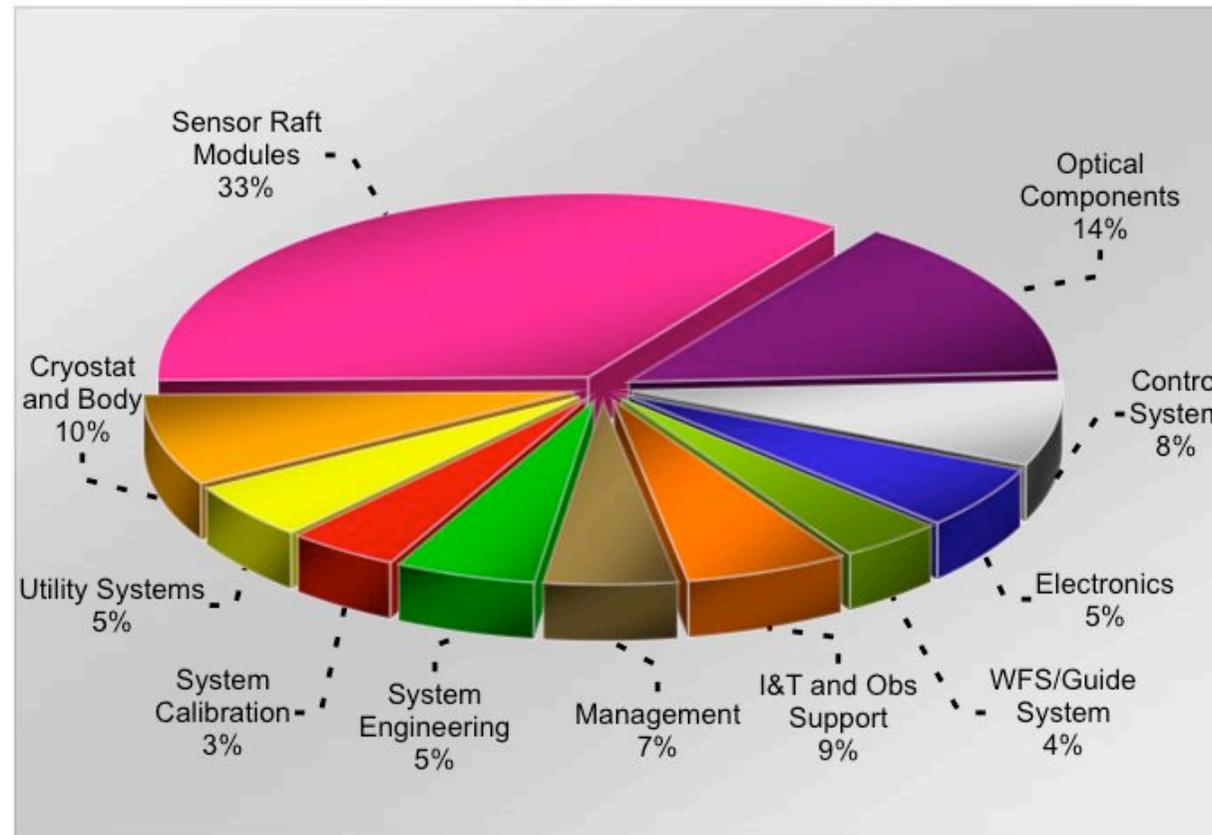
La première étape, présentée ici, passe par une R&D de 3 ans qui nous met en bonne position pour une contribution visible à la construction et à la science dont on espère les premiers résultats d'ici 2016.

Documents complémentaires

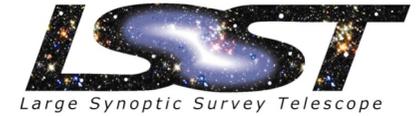
LSST : Coût de la Camera



\$64M - Cost Camera
\$25M - Contingency
\$18M - Physicist Effort
\$107M Total

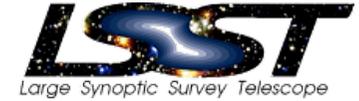


**LSST : 1 jeu de données =
plusieurs sondes Energie/Matière Noire**



- ✓ **Cosmic shear** (croissance des structure + géométrie cosmique)
- ✓ Décompte des **Structures Massives versus z** (croissance des structures)
- ✓ **Baryon acoustic oscillations** (distance / diamètre angulaire)
- ✓ **SuperNovae de Type Ia** (distance / luminosité)
- ✓ **Spectre de Puissance de Masse** sur de très grande échelle / test du « CDM paradigme »
- ✓ Tests aux petites échelles des modèles **d'agrégation de la Matière Noire** / Test des modèle de la physique des particules de Matière Noire.

Comparaison : « Stage-IV DE Facilities »



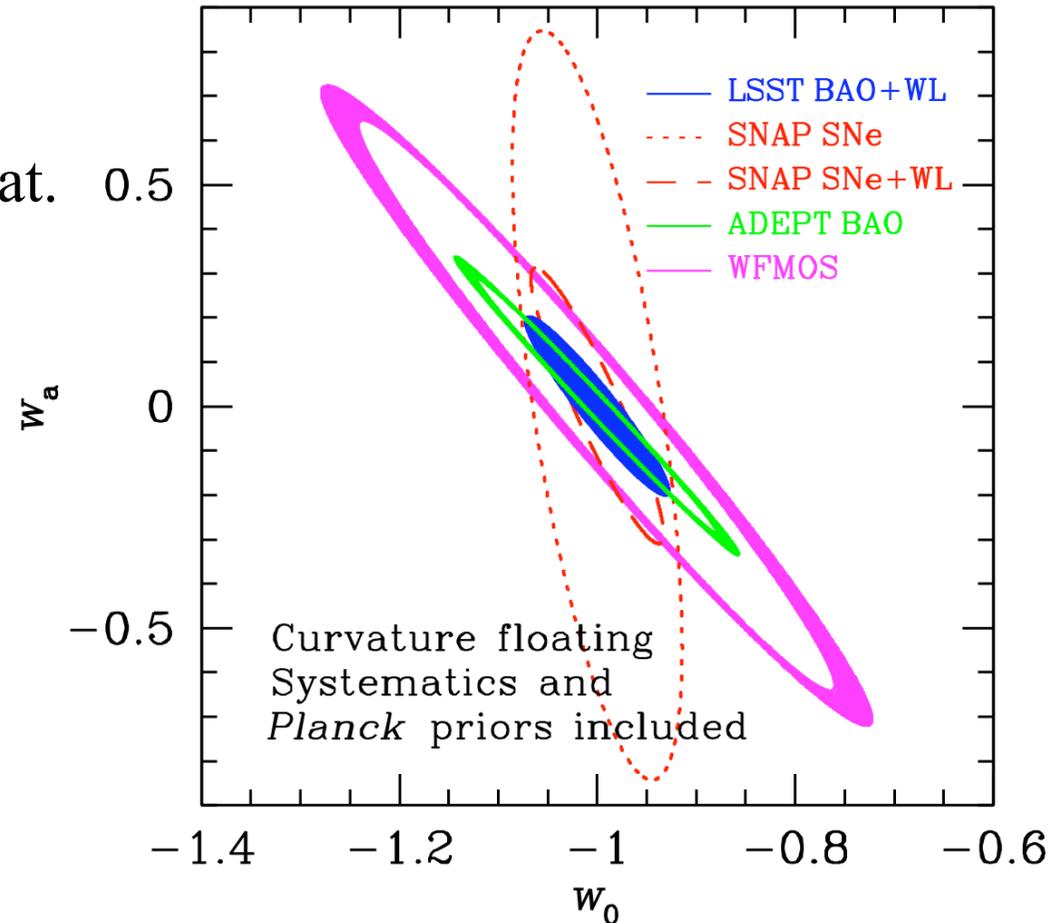
Nature de l'Energie Noire

S'intéresser à la "Nature" de l'Energie Noire revient à mesurer (w) son équation d'état. c.a.d à mesurer comment l'Energie Noire réagit à l'expansion de l'univers :

$$P_x = w\rho_x$$

Ou autrement dit :

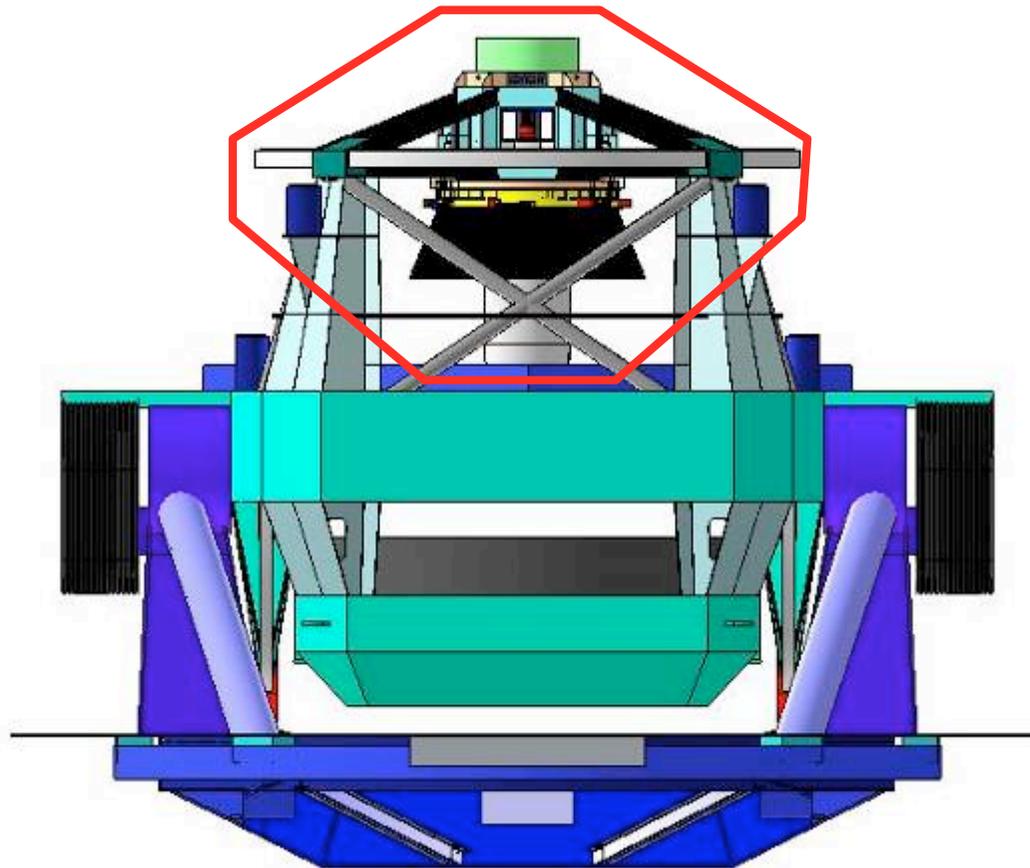
$$\rho_x \sim R^{-3(1+w)}$$

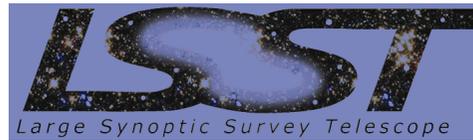


Remarque : Aujourd'hui
(SNLS+SDSS BAO, Eisenstein et al, 2005)

$$\Omega_M = 0.271 \pm 0.021 \text{ (stat)} \pm 0.007 \text{ (sys)}$$

$$w = -1.02 \pm 0.09 \text{ (stat)} \pm 0.054 \text{ (sys)}$$





ASPIC: Analog Signal Processing asIC

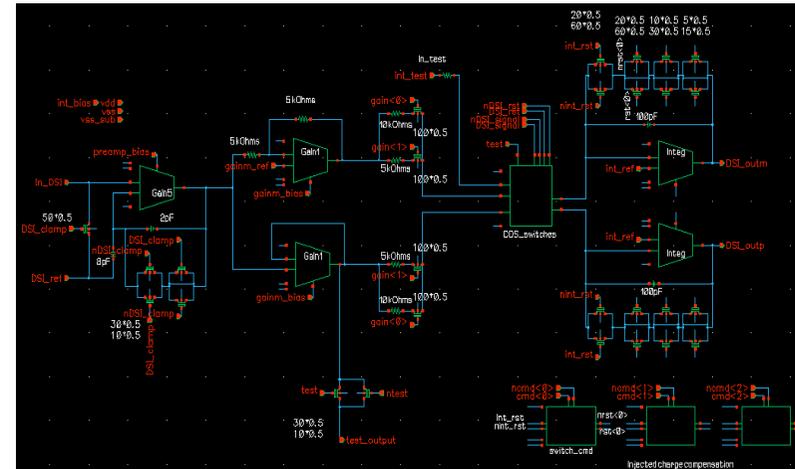
C. De La Taille, M. Moniez, **V. Tocut**, F. Wicek
Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire
BP 34
91898 Orsay Cédex – France

P. Antilogus, **H. Lebbolo**, R. Sefri
Laboratoire de Physique Nucléaire et de Hautes Energies
4 place Jussieu – Tour 33
75252 Paris Cedex 05

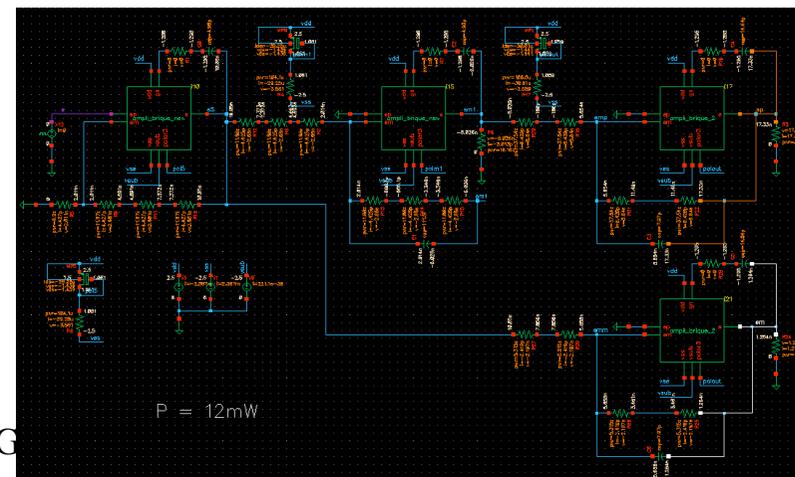
Front End ASIC for the CCD readout

- R&D : LAL & LPNHE
- ASIC for the ccd readout (Front End) :
 - ~200 ccd , with pixels 10x10 micron , ccd size 4kx4k (3.5 Gpixels) , 16 readout channels per ccd : 3200 electronic channels
 - Readout at 500 kHz (readout time of 2s , for an exposure time of 15s)
 - Full wheel capacity : 100 000 e- ,readout noise b 6 e- rms , dynamic 16 bits, 0.01% crosstalk
 - Inside a cryostat at -100 °C
- 2 design are under study :
 - Dual Slop Integrator (DSI) : LSST baseline
 - Clamp and Sample (C&S)

ASPIC Dual Slop Integrator - Channel

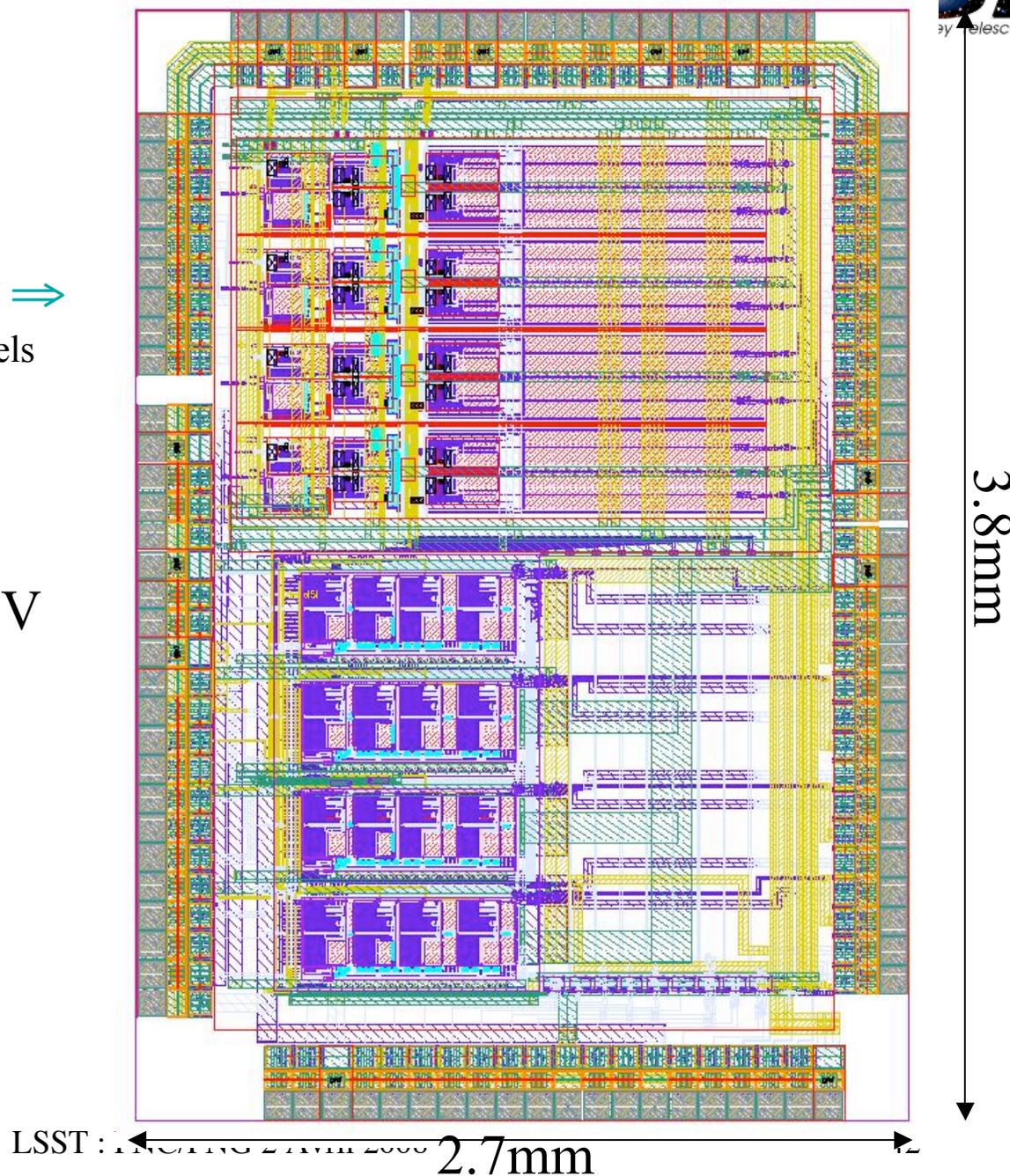


ASPIC Clamp and Sample - Channel

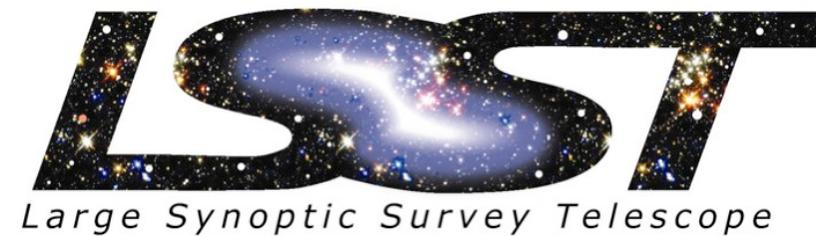


The ASPIC chip : 1st prototype

- Submitted layout \Rightarrow
 - With : 4 DSI and 4 C&S channels
 - Submitted : end July 2007
 - Received : Nov 2007
- Techno : CMOS 0.35μ 5V
- Vendor : AMS
- Package : CQFP100



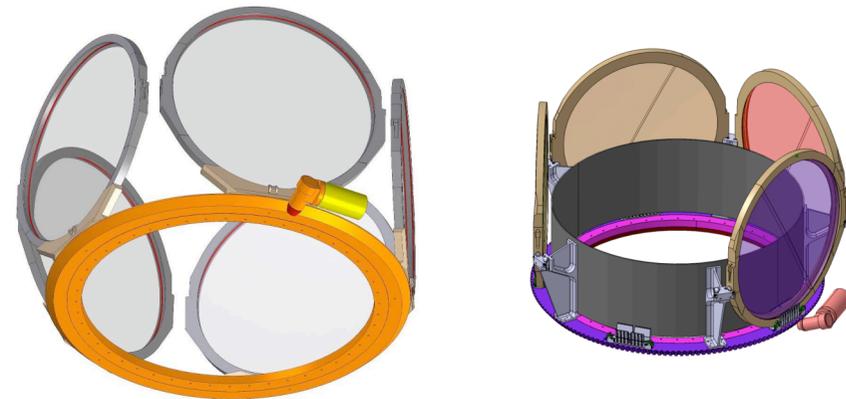
Carrousel Design



LPNHE : Pierre Antilogus, Walter Bertoli, Guillaume Daubard
SLAC : Mike Foss, Martin Nordby

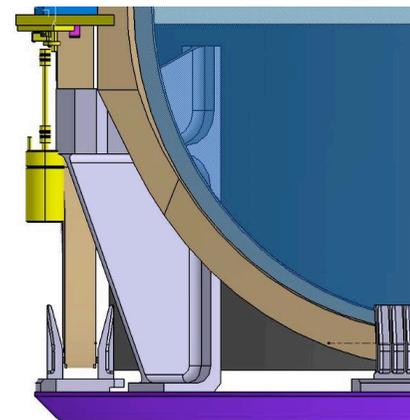
Carousel : Filter exchange

- R&D : LPNHE
- Carrousel for filter exchange
 - LSST Filters : 80 cm ,
~ 25 kg each.
 - 5 filters can fit in the camera at a given time.
 - Constrains : room ,
weight , rigidity, dust
free, speed , ...



Carousel Reference Design
August 2006

Carousel Conceptual Design
June 2007



- Planning :

LSST : PNC/PNG 2 Avril 2008

- Design delivered mid-