



Institut national de physique nucléaire et de physique des particules

in2p3.cnrs.fr

A composite image featuring particle tracks on the left and a colorful cosmic nebula on the right. The particle tracks are thin, glowing lines in shades of blue, yellow, and orange, radiating from a central point. The nebula is a vast, multi-colored cloud of gas and dust in shades of purple, pink, and blue, set against a dark starry background.

Sonder les infinis : des particules au cosmos

**Visite des équipes thématiques
Astroparticules & cosmologie**

Groupe de Cosmologie

LPNHE

Composition de l'équipe de recherche

- Responsable scientifique de l'équipe :
P.Antilogus (LSST) - N.Regnault(HSC/ZTF) C.Balland (DESI)
- Budget annuel soutien équipe (hors budget projets) : 0€ hors théorie

Liste des chercheurs de l'équipe :

- **12 permanents + 1 "émerite"** [HDR=*]
 - DR[3] : Pierre Antilogus*, Pierre Astier*, Nicolas Regnault*
 - PR[3]-PSU : Christophe Balland*, Michael Joyce*, Delphine Hardin*
 - CR[3] : Marc Betoule, Sebastien Bongard, Pauline Zarrouk
 - MCF[3] : Sylvain Baumont(PSU), Laurent Le Guillou(PSU), Jeremy Neuveu (PS)
 - Émerite[1] : Etienne Barrelet*
- + 2 visiteurs (1/2 jours / semaine) du CEA depuis 2018 : Jean-Marc Legoff & James Rich

•1 Post-doctorants

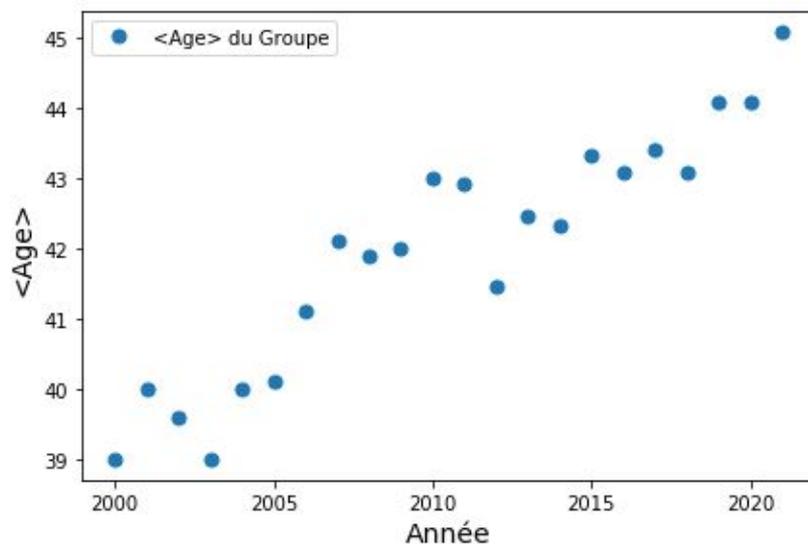
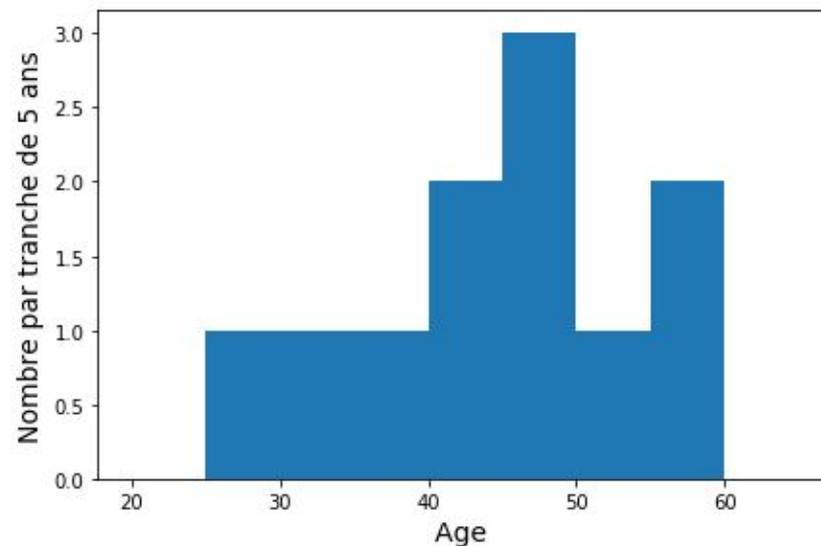
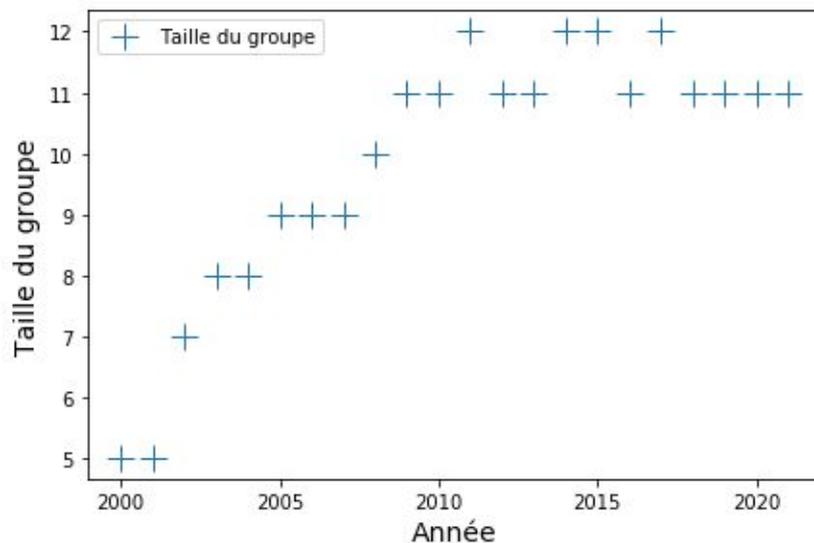
- Ignasi Perez Ràfols , DESI , IN2P3 , 2020-2021

•5 doctorants

- Guy Augarde , HSC , Fund : Step-Up , dir: N.Regnault , Oct 2019 - Sep 2022
- Sara, Maleubre , Theory of non-linear cosmological structure formation, Fondation CFM, M. Joyce, Oct 2019, Sep 2022
- Azrul, Pohan, Cosmological structure formation in the weakly non-linear regime, Gouvernement d'Indonésie, M. Joyce, Oct 2019, Sep 2022
- Juliana Stermer , eBOSS, Fund : StepUp , dir : C .Balland, Oct 2018 - Dec 2021
- Ting Tan, DESI, Fund: CNRS international, dir: C. Balland, Oct 2020 - Sep 2023

Démographie du groupe Cosmologie du LPNHE

Demographie du Groupe de Cosmologie du LPNHE



La taille du groupe est \sim stable depuis 10 ans mais il est vieillissant .

Les pertes (Pain, Barrelet, Schahmaneche, Guy, Busca) n'ont pas été compensées (Betoule 2014 CNRS, Zarrouk 2020 CNRS, Neveu \sim 2018 MCF-PS)

Le groupe a un double leadership (LSST, DESI) , mais est sous dimensionné pour son potentiel :

- 2.5 personne pour DESI (dont 1 PR , 1/2MCF)
- 9.5 personnes pour LSST , pour un âge moyen au démarrage de LSST dans 2 ans de 48 ans.

Activités de l'équipe de recherche

- Coopérations/collaborations principales avec l'extérieur :
SNLS , SNFactory , LSST-DESC , ZTF II , Subaru/HSC
eBOSS , DESI
- Visiteurs de longue durée (>3 mois) depuis 3 ans (sabbatiques, cofinancés, ...)
 - Saul Perlmutter (Prix Nobel, LBNL Berkeley)
- Participations à la communication, à la vulgarisation, à l'enseignement (pour les CNRS)
 - Enseignement en écoles d'été
 - Enseignement en M2
 - plusieurs annonces CNRS et IN2P3, associés aux progrès de la construction de la caméra de LSST , production d'un film CNRS suite à l'expédition du changeur de filtre à SLAC
- Responsabilités hors projets (laboratoire, université, sites, comités, ...)
 - Groupe de travail physique fondamentale du CNES.
 - CS IPNL.
 - Comité d'allocation du temps de l'ESO.
- Organisations d'écoles, de workshops, conférences, ... (2019-2021)
 - Comité scientifique Moriond cosmologie.

Groupe de Cosmologie du LPNHE

Historique de l'activité cosmo au LPNHE (science)

- **1998**: création d'un groupe "Supernovae" au LPNHE. Premières observations aux Canaries et au CFHT.
- **1999**: proposition de SNFactory
- **2000**: demande SNAP au CNES portée par le LPNHE , début de l'activité sensor au LPNHE.
- **2001**: proposition du SNLS.
- **2003-2008**: observations SNLS
- **2004-2009**: observation de SNFactory-I
- **2005**: début des activités "calibration en flux" xxxDice au CFHT.
- **2005**: première publication de cosmologie du SNLS (LPNHE et al)
- **2007**: publication du modèle de supernovae SALT2, encore leader aujourd'hui.
- **2009**: première publication du SNFactory au LPNHE (Bailey et al.)
- **2010**: deuxième publication du SNLS.
- **2014**: troisième publication du SNLS (LPNHE et al)
- **2007**: entrée dans LSST (CS en 2008)
- **2014**: entrée dans (e)BOSS et DESI.
- **2014**: premières publications sur les distorsions d'image dans les CCD (effet brighter-fatter)- début de l'activité lensing
- **2017**: Papier lyman-alpha sur eBoss (de Sainte-Agathe et al).

Scientific context

- What is the cause of cosmic acceleration ?
 - Cosmological constant ?
 - Slowly evolving scalar field ?
 - General Relativity needs modifications at cosmological scales ?
- Strategy : precision tests of Λ CDM

History of cosmic expansion

- 2 complementary probes
 - SNIa luminosity vs z [$0 < z < 1.5$]
 - Angular size of BAO peak vs z

Imagerie
Spectro

Growth rate of structures

- 2 complementary probes
 - Cosmic shear
 - Redshift space distortions

Equation d'état DE: (w, w_a)

tests gravitation aux
échelles cosmologiques

History of cosmic expansion

Distance-redshift relation

$$d(z) = \int \frac{cdz}{H(z, \rho_i, \dots)}$$

Supernovae (LSST, HSC, ZTF)

- Mature probe
- Statistically efficient
- $z < 1$ (ground based surveys)
- $z < 1.8$ (space, with IR obs)

BAO (eBOSS, DESI)

- Robust probe
- Dedicated surveys
- $0.5 < z < 3$ (ground)
- Direct measurement of $H(z)$
- Dominated by cosmic variance at $z < \sim 0.5$

Growth rate of structures

Observables of the “perturbations”

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R^\sigma{}_\sigma + \Lambda g_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu}$$



Lensing **(LSST,HSC)**

RSD **(eBOSS, DESI)**

- Directly sensitive to all matter ...as a function of z
- Flagship of Euclid & LSST

- Perturbation of the velocity affected by the galaxies bias

Objectifs scientifiques de la prochaine décennie

- Mesurer l'histoire de l'expansion pour caractériser en particulier l'évolution de la densité d'énergie noire
- Mesurer le spectre de puissance de la matière aux grandes échelles, et son évolution avec le temps
- Vérifier que les deux mesures sont compatibles entre elles...
- ... et avec le CMB.

Implication dans les projets: LSST

- Responsable scientifique de labo du projet : **P.Antilogus**
- Responsable technique de labo du projet : **D.Laporte** (Chan.Filtre.) & **C.Juramy** (plan Focal+Star Dice)

Liste des chercheurs de l'équipe impliqués dans le projet :

•9 Permanents

- **Pierre Antilogus** , 100% , IN2P3 scientist for camera & Filter Exchange , DESC Tech.Coord
- **Pierre Astier** , 100% , DESC Sensor anomalies WG convener
- **Sylvain Baumont** , 100%
- **Marc Betoule** , 100% , responsable StarDice (LPNHE, CPPM, LUPM , OHP)
- **Sebastien Bongard**, 100%, DESC Photometry WG convener
- **Laurent Le Guillou** , 50% ,
- **Delphine Hardin** , 100% ,
- **Jeremy Neuveu** , 100% ,
- **Nicolas Regnault** , 100% , ZTF IN2P3 co-leader , HSC IN2P3 leader

All DESC-LSST members

- Doctorants [prénom, nom, sujet, %ETPT dans le projet, (responsabilité)]
 - **Guy Augarde**, Caractérisation de l'énergie noire avec Subaru/HSC: développement d'un modèle de SNeIa de nouvelle génération (SALT4), 100%

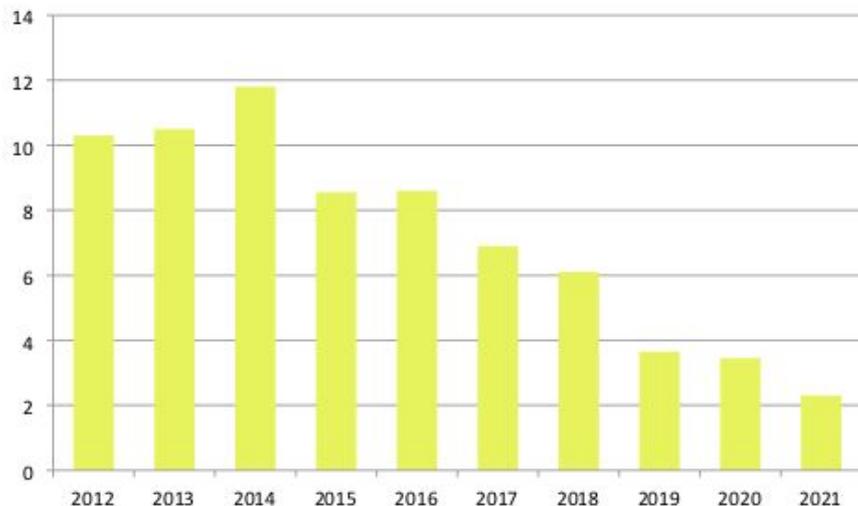
Implication dans les projets: LSST

Liste des ingénieurs et techniciens du laboratoire impliqués dans le projet :

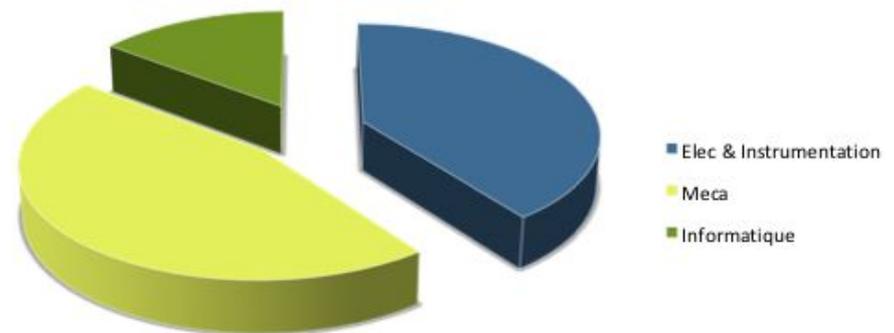
- 6 permanents en 2021 (~50% camera-LSST , ~50% StarDice)
 - Claire Juramy , IR , 60% , Responsable technique Plan Focal LSST pour l'IN2P3 et le LPNHE
 - Guillaume Daubard , IR , 50% , Ingénieur système pour le carousel de LSST
 - Marc Dhello , AI , 20% , Carte Electronique StarDice
 - Didier Laporte , IR , 20% , Responsable Technique carousel au LPNHE
 - Philippe Repain , IE , 5% , Développement Mécanique pour StarDice
 - Eduardo Sepulveda , IR , 70% , Controle commande Carousel , Dev. Cartes&Controle StarDice

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	TOTAL (FTE)
Elec & Instrumentation	4,8	5,3	5,8	3,5	2,9	1,75	2	0,7	1,15	0,8	28,7
Meca	3,5	3,2	4	4,3	4,8	4,65	3,65	2,35	1,7	0,8	33,0
Informatique	2	2	2	0,75	0,9	0,5	0,45	0,6	0,6	0,7	10,5
TOTAL	10,3	10,5	11,8	8,55	8,6	6,9	6,1	3,65	3,45	2,3	72,2

LPNHE ITA-FTE par année



LPNHE ITA-FTE par service



Production scientifique de l'équipe

• Thèses récentes soutenues dans l'équipe (2018-2021)

- François, Hazenberg, Calibration photométrique des supernovae de type Ia pour la caractérisation de l'énergie noire avec l'expérience StarDICE, Marc Betoule, Nicolas Regnault, financement école doctorale STEP'UP, octobre 2016-octobre 2019, Ingénieur R&D Startup

• 3 publications emblématiques de l'équipe dans revues à comité de lecture (2018-2021)

- "The shape of the Photon Transfer Curve of CCD sensors" , Astier et al (équipe CCD LPNHE) A&A 2019.
- (Calcul et validation empirique de la relation variance vs moyenne dans les CCD. Suite de nos publications sur l'effet Brighter-fatter)
- "Tearing and related field distortions in deep-depletion CCDs", Juramy et al, JINST (2020)
(Etude des causes d'une forme de distorsion d'image présente sur les senseurs de LSST)
- "Improving the astrometric solution of the Hyper Suprime-Cam with anisotropic Gaussian processes [P.-F. Léget](#), [P. Astier](#) et al" A&a (2021) (Evaluation des déplacements apparents des objets du fait des turbulences atmosphériques sur les données HSC. Evaluation de l'impact, important, sur LSST). ,

• 3 publications récentes de conférence à forte contribution de l'équipe (2018-2021) :

- A.Roodman *et al.*, "Performance characterization and verification testing of the LSST Camera". *Proc.SPIE Int.Soc.Opt.Eng.* 11447(2020)
- P.Antilogus, "Image sensors for precision astronomy: an introduction," *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems* 5 (Oct., 2019) 041506.
- A.Roodman *et al.*, "Integration and verification testing of the LSST camera," *Proc.SPIE Int.Soc.Opt.Eng.* 10705(2018)

• Passages aux conseils scientifiques de labo (3 ans):

- Proposition de participation à ZTF en 2020.

Evolution anticipée de l'équipe (3-5 ans)

•Evolution scientifique de l'équipe dans les prochaines années

- Depuis 2015 (CS IN2P3), nous soulignons la nécessité de développer une expertise forte sur le Weak Lensing (LSST, Euclid) au LPNHE et à l'IN2P3 :sonde clefs des années à venir ... soutiens d'un Pdoc de 2 ans (2019-2020) au LPNHE...ce n'est pas à la taille de ce dont on a besoin, mais nous insistons cette activité est une nécessité majeure pour le groupe. Nous avons mis en place une synergie autour de donnée du Subaru (SN et Lensing) afin de développer de façon pertinente notre proposal lensing (voir slides correspondantes)

•Nouveaux projets en vue (inclus réponse aux appels ANR, Europe, appel d'offre locaux, ...)

- Trois demandes ANR StartDice (2018,2019 et 2020) n'ont pas passé la 1ère phase.
- Deux demandes ANR ZTF(2018 et 2021) (proposition de fédération des groupes français) , 2018 n'a pas passé la 1ère phase, celle de 2021 portée par N.Regnault a passé la 1er phase : en attente du résultat final.

•Evolution de la composition de l'équipe (départs/arrivées permanents, docs, post-docs, ...)

De 2 à 3 nouveaux thésards cet automne :

- 1 lensing garantie (étudiante a été sélectionnée pour un financement d'excellence du programme P2I PSU)
- 1 ztf probable(attente support CNRS , ½ bourse de thèse payée par la Suède garantie)
- 1 StarDice en attente (demande de financement via école doctorale Step-UP en cours)

•Attente vis-à-vis de l'IN2P3

- Nous avons demandé un post-doc lensing à l'automne dernier, placé en première priorité par le laboratoire et LSST-France, qui ne nous a pas été affecté.

- Un.e CR pour l'activité lensing. \Rightarrow point critique pour la préparation de LSST & multi-sonde

Wide Field Imaging :
SNIa , Lensing
Photometric Calibration
LSST Construction

SN Ia from JLA to LSST

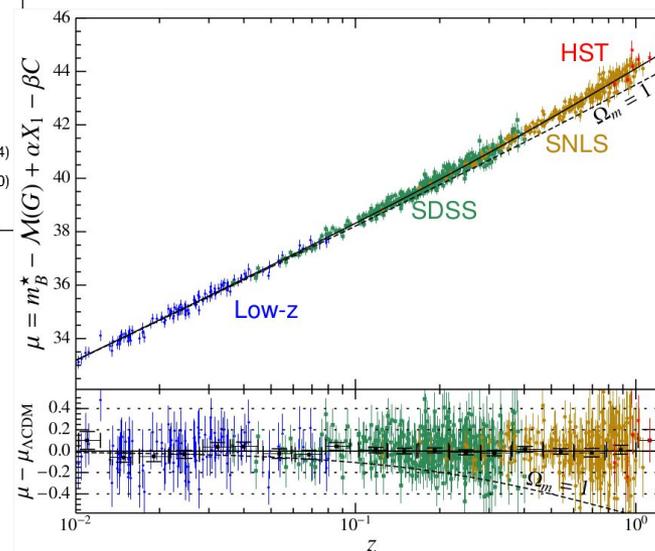
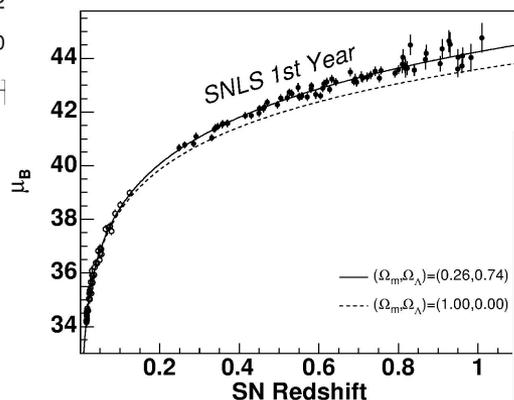
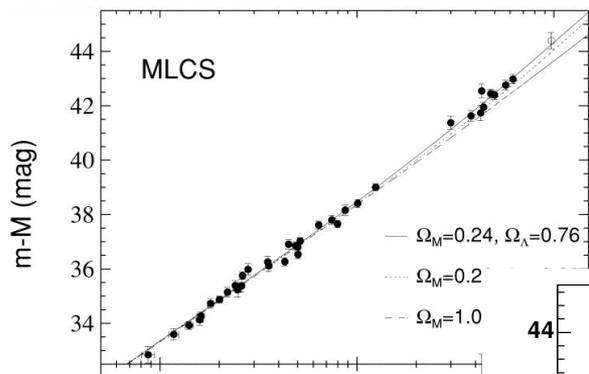
Mapping the expansion history with SNe Ia

SN Hubble diagram(s)

State of the art (still today):
Betoule et al (2014)

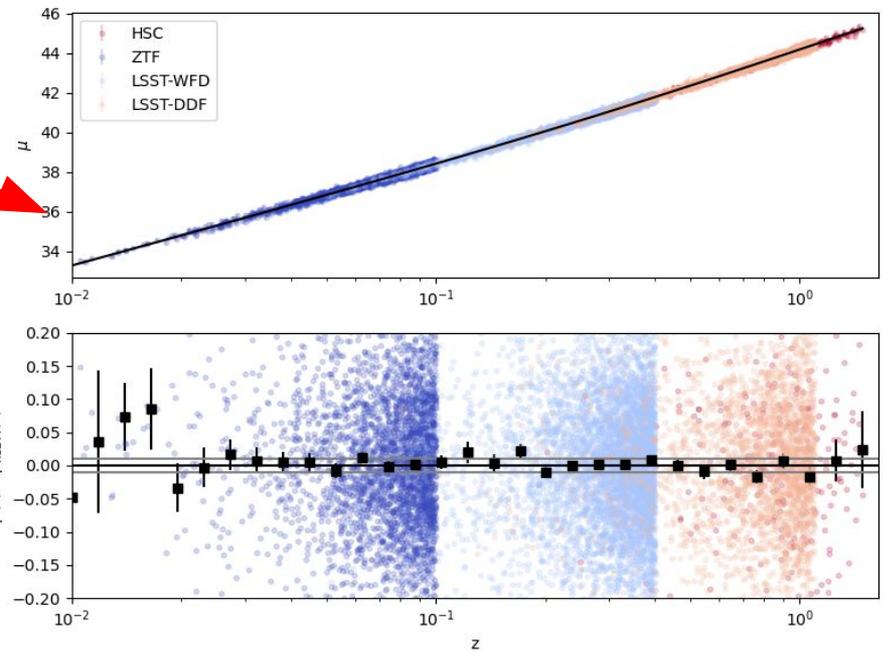
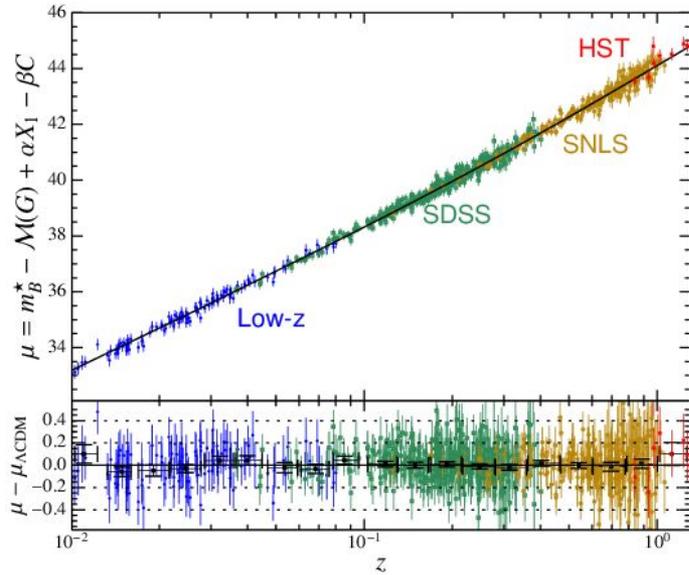
Key ingredients:

- Standardization
- LC fitter
- Precision photometry
- Calibration
- Calibration
- Calibration...



- 1998 : O(50) SNe
- 2005 : O(100) SNe
- 2014 : O(1000) SNe

Next step



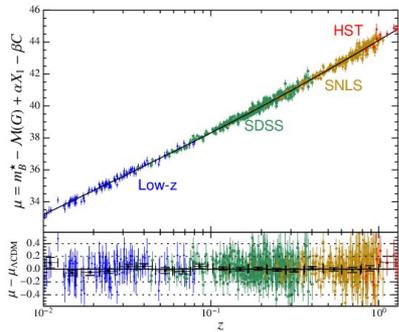
- 2014 : O(1000) SNe (JLA++)
- 2023 : O(5000) SNe
- 2025 : O(10000) SNe

Constraints on the Dark Energy equation of state with Type Ia Supernovae

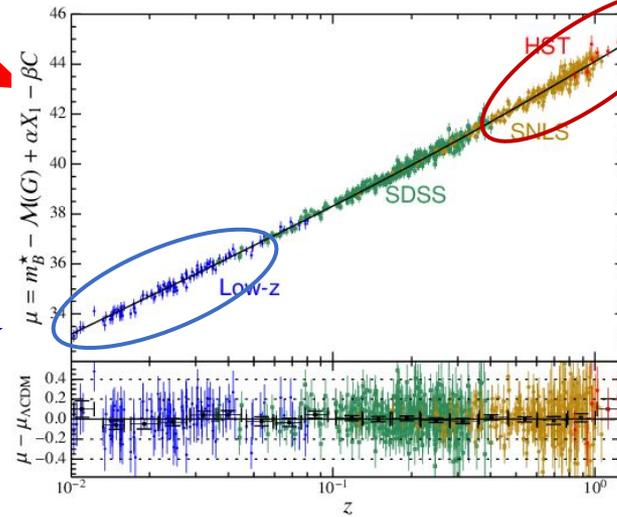
From JLA to the LSST era

N. Regnault¹, M. Betoule¹, M. Rigault², Ph. Gris², A. Möller², P. Astier¹, P. Antilogus¹, S. Bongard¹, J. Cohen-Tanugi⁶, D. Fouchez⁵, E. Gangler², R. Graziani², D. Hardin^{1,4}, Y.-L. Kim³, P.-F. L  ge¹, L. Le Guillou¹, M. Briday³, Ph. Rosnet², and J. Neveu⁷

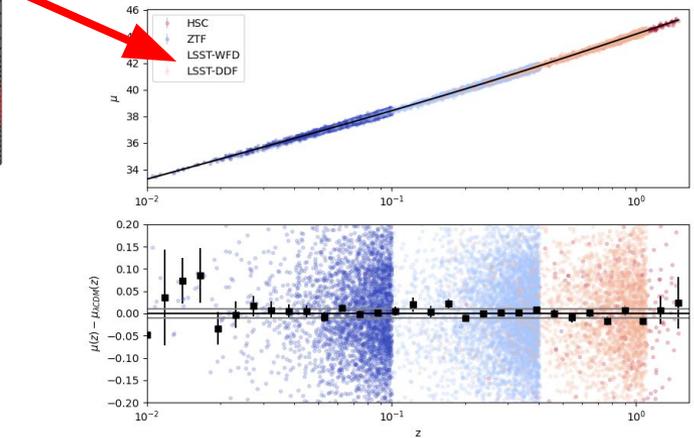
“Precursor surveys”



ZTF

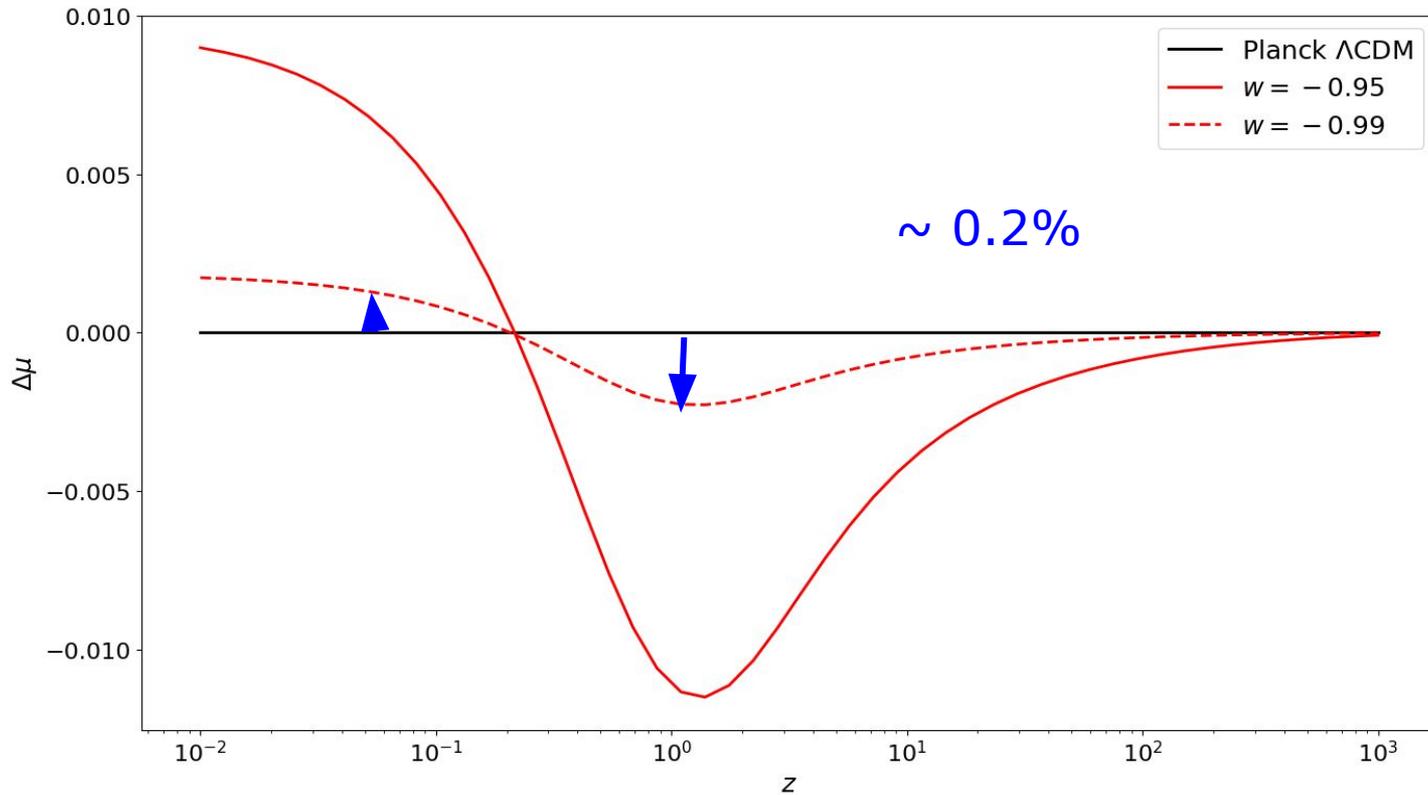


Subaru/HSC

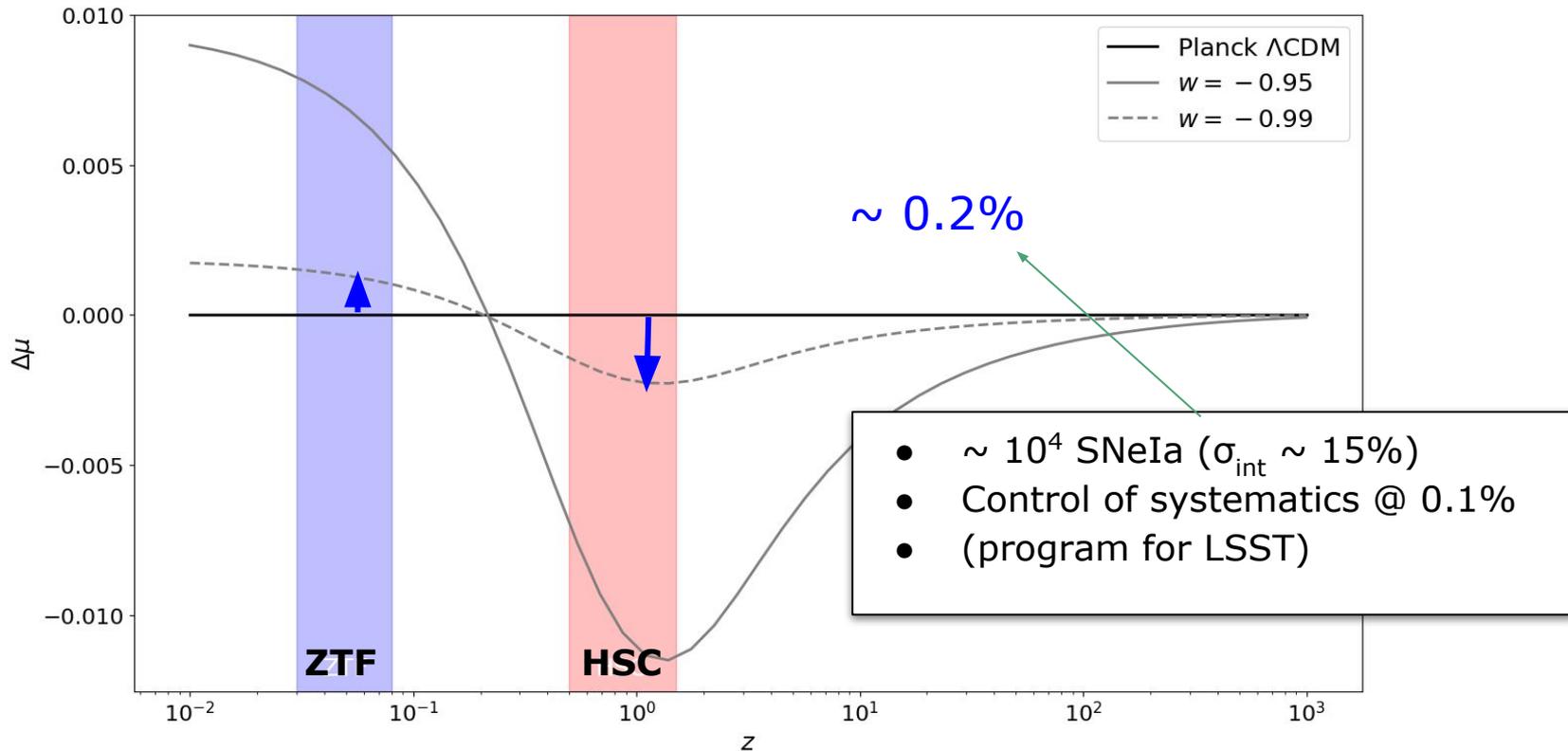


- 2014 : O(1000) SNe (JLA++)
- 2023 : O(5000) SNe
- 2025 : O(10000) SNe

Why target $z < 0.1$ & $z > 0.8$?



This is a precision measurement...



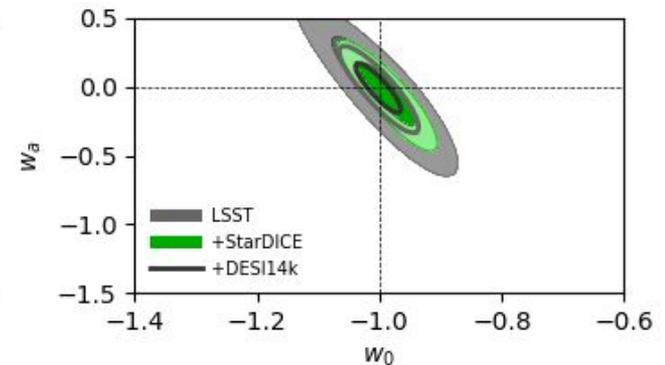
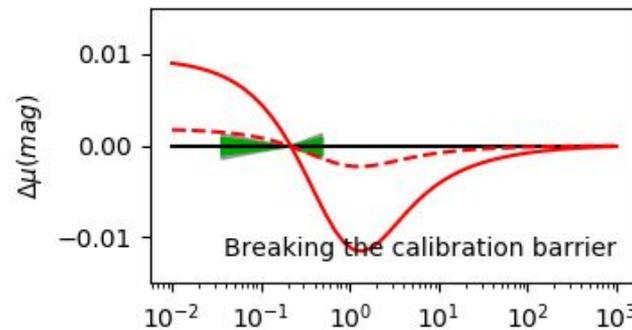
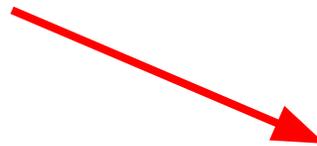
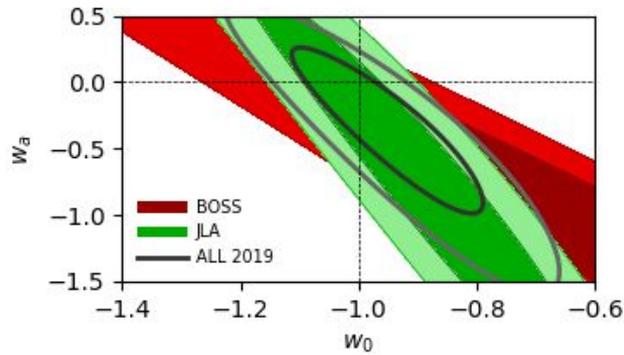
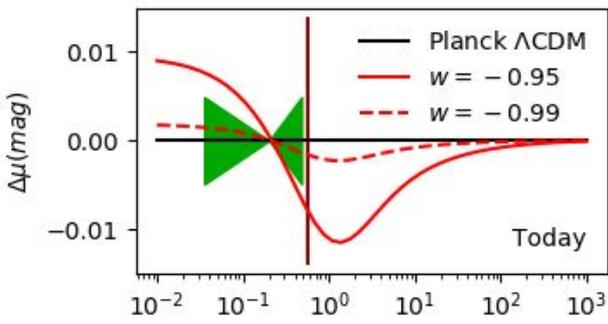
Constraints on the Dark Energy equation of state with Type Ia Supernovae

From JLA to the LSST era

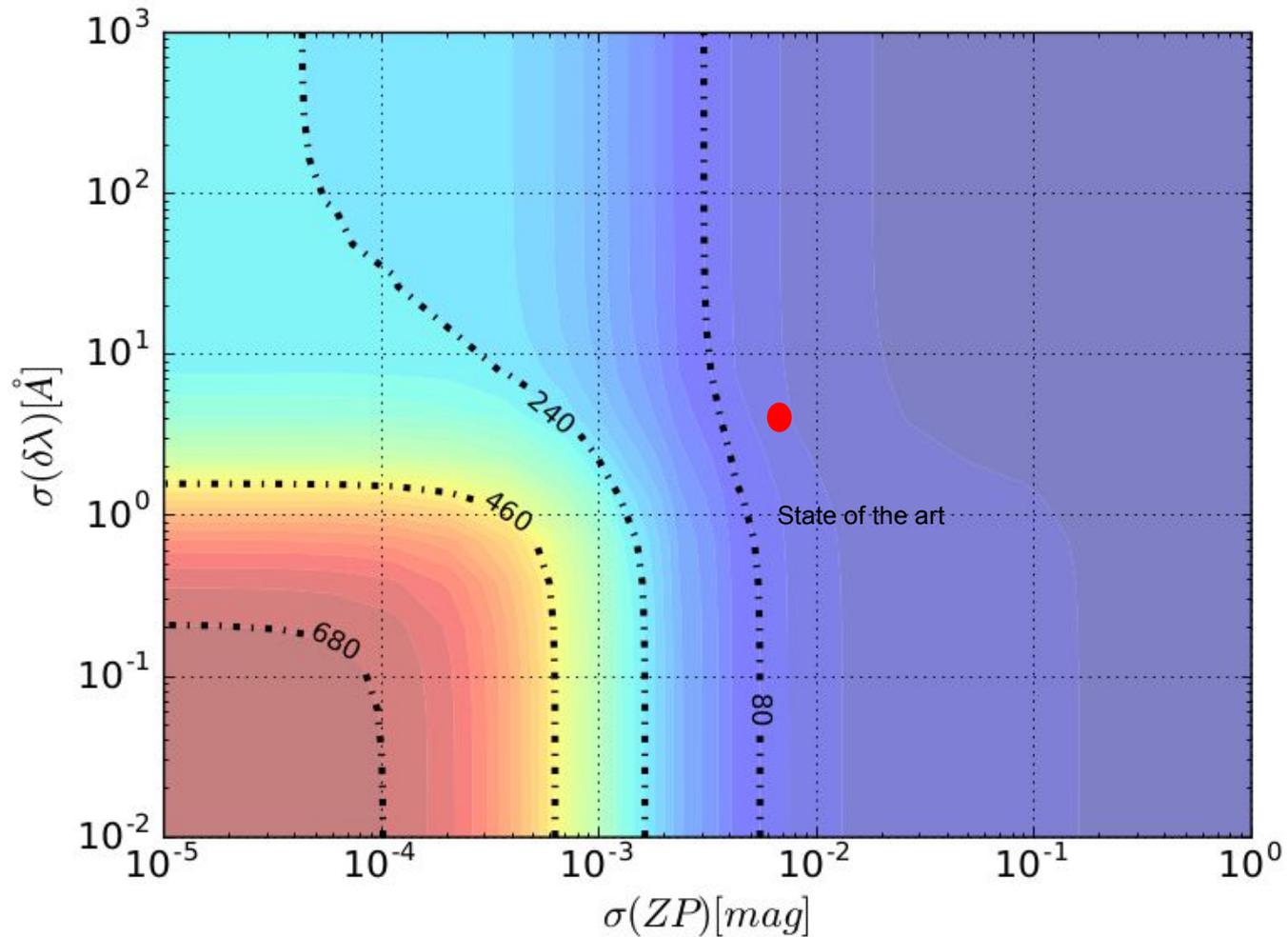
N. Regnault¹, M. Betoule¹, M. Rigault², Ph. Gris², A. Möller², P. Astier¹, P. Antilogus¹, S. Bongard¹, J. Cohen-Tanugi⁶, D. Fouchez⁵, E. Gangler², R. Graziani², D. Hardin^{1,4}, Y.-L. Kim³, P.-F. L  get¹, L. Le Guillou¹, M. Briday³, Ph. Rosnet², and J. Neveu⁷

Next step

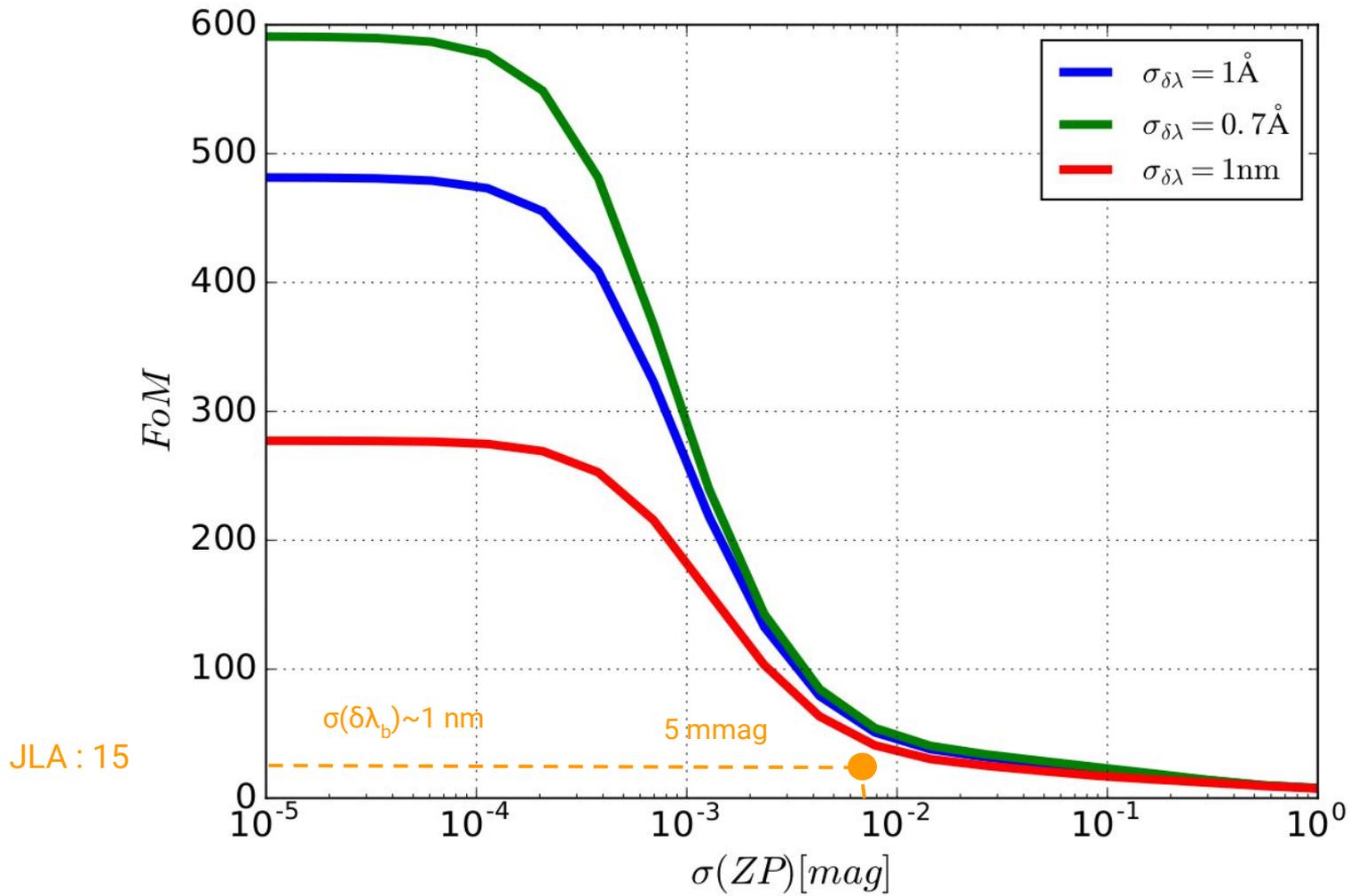
White paper for the Prospectives
IN2P3, 2019



Calibration requirements for LSST



Calibration requirements for LSST



Roadmap: from JLA to LSST



- Subaru/HSC
- 2017-2020
- 8.2-m, 1.8 deg²
- 250 SNe @ $z < 1.1$
- 50 SNe @ $z > 1.1$ (HST)



- ZTF phases I & II
- 2017 - 2020 (-> 2024)
- 1.2-m, 47 deg²
- O(800) SNe @ $z < 0.08$
- -> O(3000) SNe

Roadmap

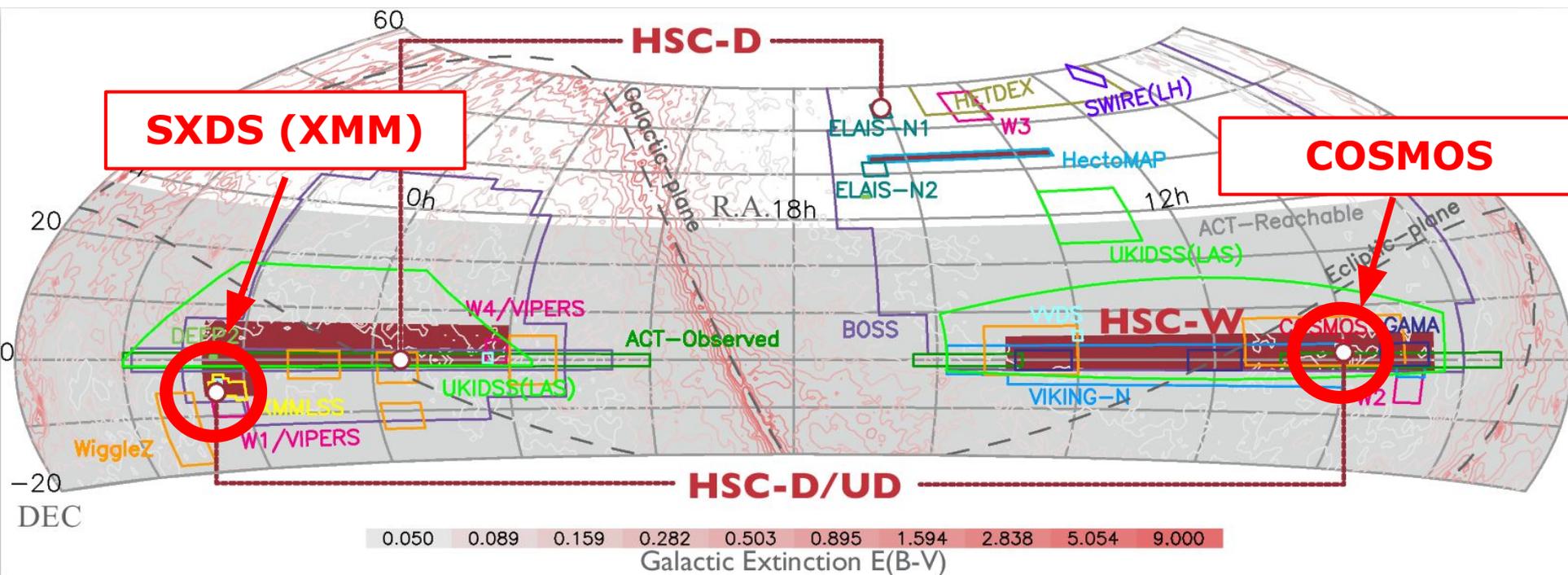
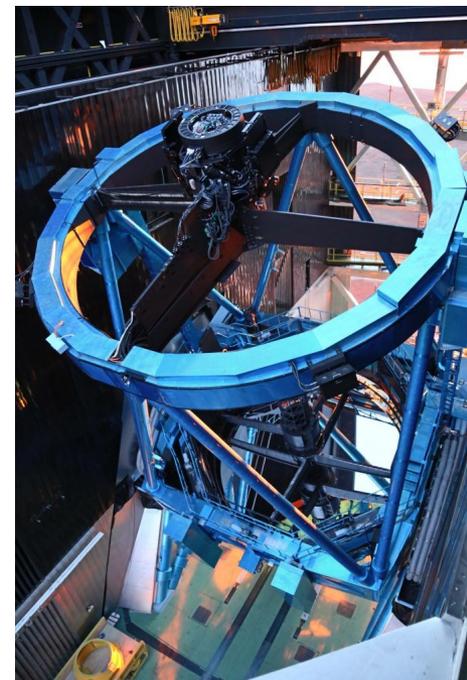


- starDICE
- Flux metrology experiment
- anchor astronomical flux scale on lab flux references (NIST)
- + metrology techniques to monitor telescope throughput

- + **Constraints on w**
- + **New methods for the LSST era**
 - + Photometry / calibration
 - + Astrometry
 - + Large datasets
 - + SN models

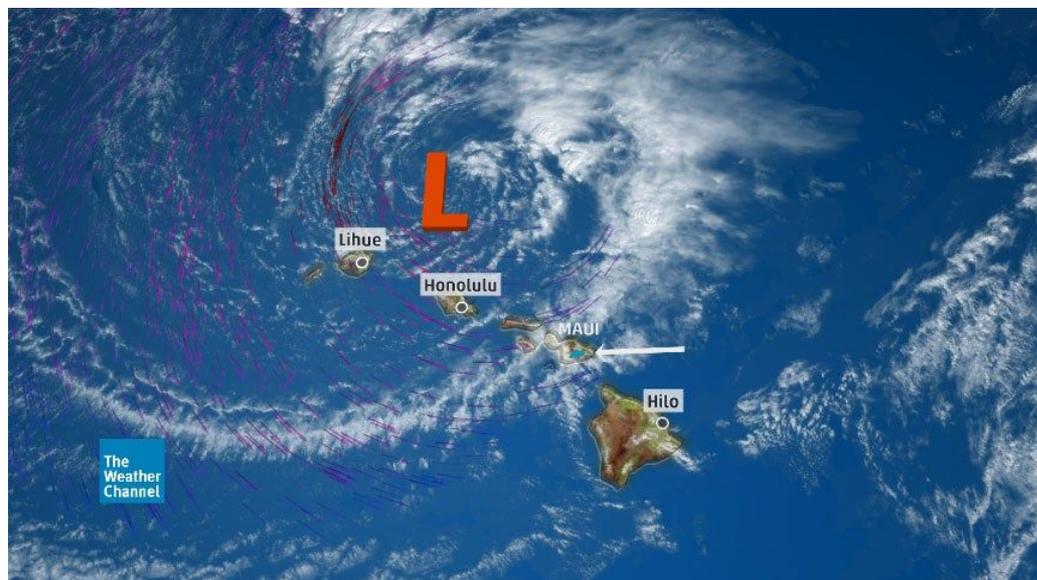
The Subaru Strategic Program

- **Primary science goals:** weak lensing, high-redshift galaxies, galaxy evolution...
- **Cadenced observations** of Ultra-Deep and Deep fields turns the programme into a powerful ultra-deep SN survey

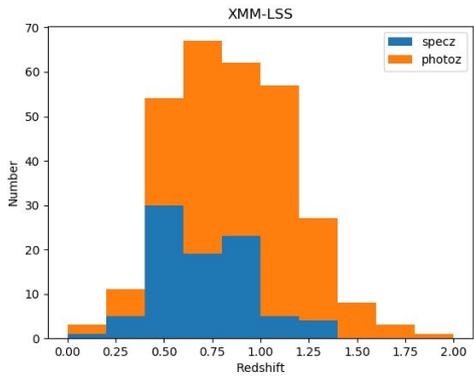
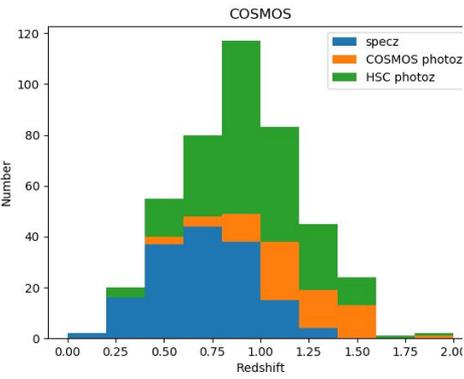


Survey status

- ~~Original~~ updated programme
 - Spring-Summer 2017 : 24 epochs observing on COSMOS
 - Summer-Fall ~~2017~~ ~~2018~~ 2019 : 24 epochs on SXDS (XMM)
 - ~~Spring 2018 : 2 x 7 epochs on COSMOS (PI time)~~

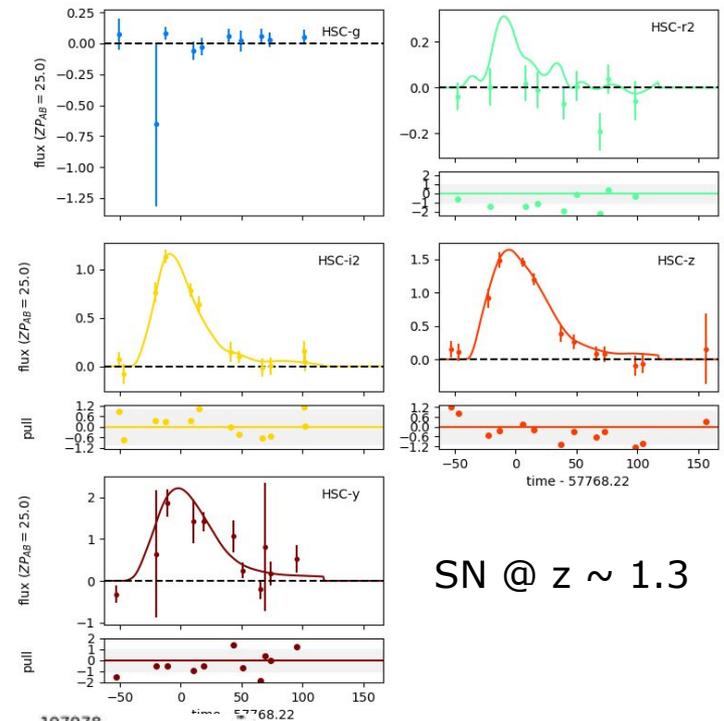


Subaru/SSP



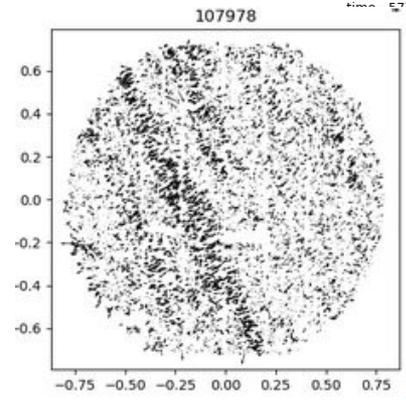
$z = 1.357 \pm 0.039$
 $t_0 = 57768.22 \pm 0.88$
 $X_0 = (1.45 \pm 0.11) \times 10^{-6}$
 $X_1 = 0.90 \pm 0.34$

$c = -0.076 \pm 0.035$
 $mw_{ebv} = 0.016900159$
 $mw_{rv} = 3.1000000$

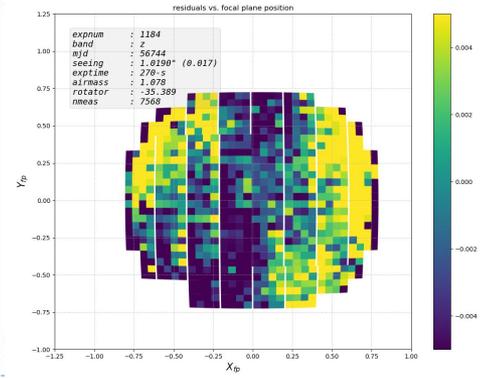


SN @ $z \sim 1.3$

- Gathering redshifts
 - 8-m / 10-m telescopes
- Ongoing work on
 - astrometry
 - HSC sensors
 - photometric calibration
 - scene modeling
- Pre-data release \sim end of year

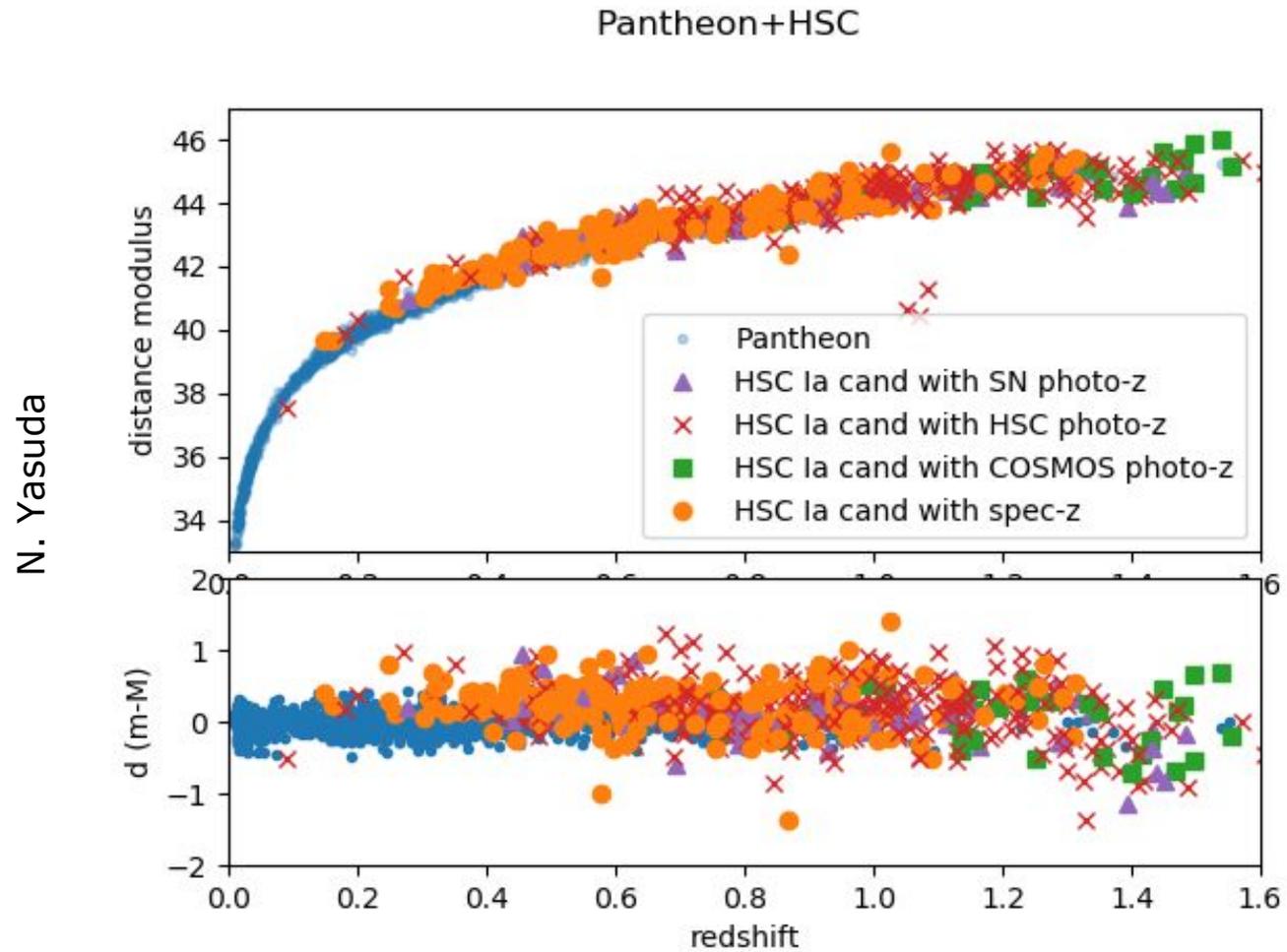


Effect of atmosphere on astrometry (Leget et al, 2021)



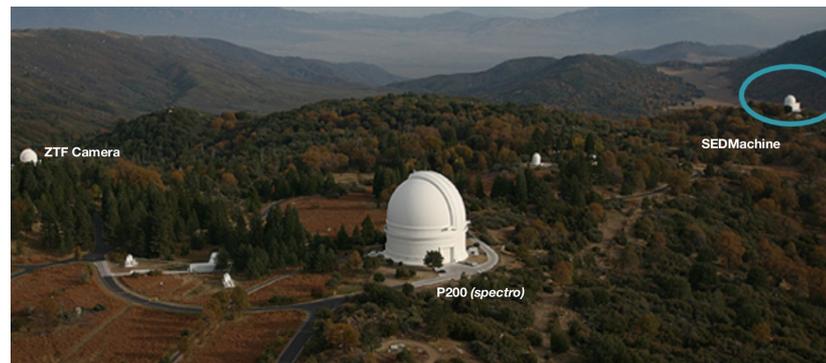
Clouds (?) on photometry

Subaru/SSP

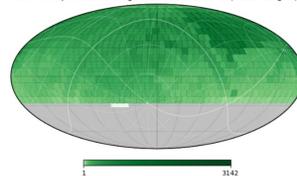


Zwicky Transient Facility

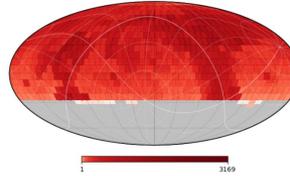
- **Very Wide Field camera**
 - 47 deg²
 - 16 6k x 6k CCDs (1"/pixel)
 - Readout time = 10 s
 - 3 bands (g, r, I)
- **Mounted on the 1.2-m Schmidt telescope @ Palomar**
 - 20.5 mag 5- σ depth (per visit, 30-s in all bands)
 - Robotic telescope
- **Survey of the entire northern sky**
 - 1 exposure every 40-s
 - 3750 deg²/h \sim 2 scans of visible extra-galactic sky / night



ZTF : G : Equatorial : All Programs : Thru 2020-03-01 (530/657 Nights)



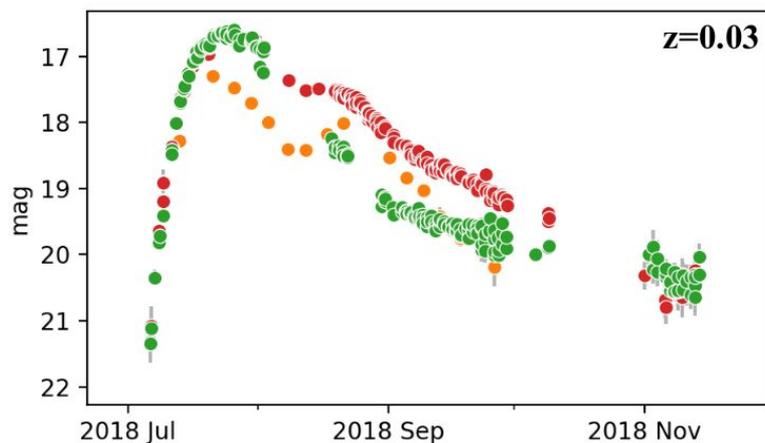
ZTF : R : Equatorial : All Programs : Thru 2020-03-01 (542/657 Nights)



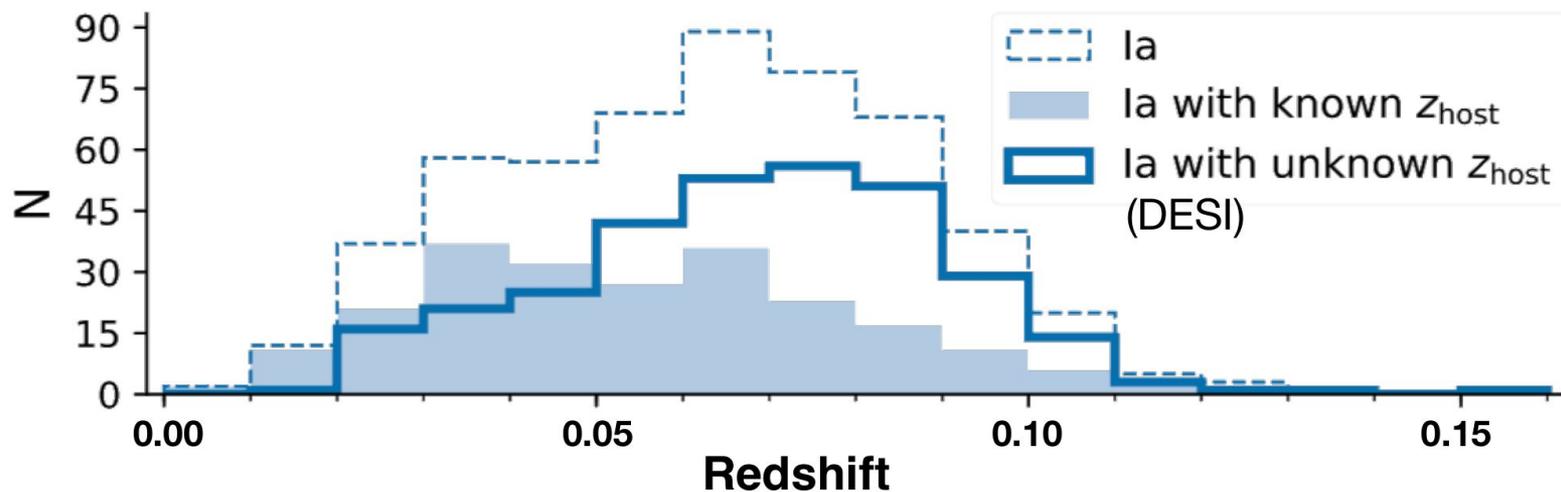
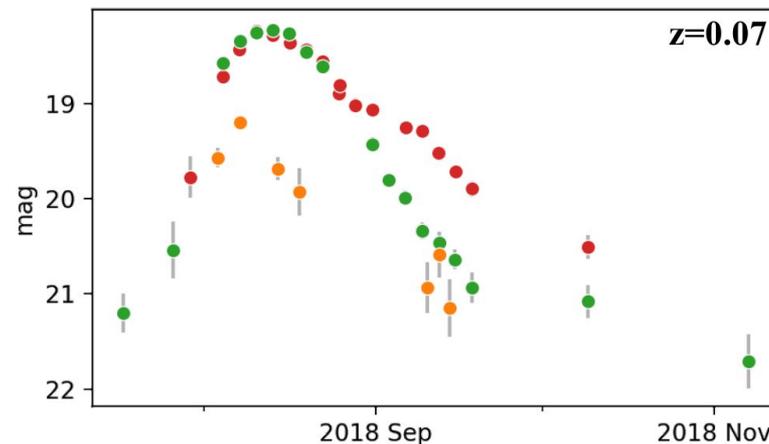
Prefiguration of LSST Wide survey

Zwicky Transient Facility

HIGH-CADENCES



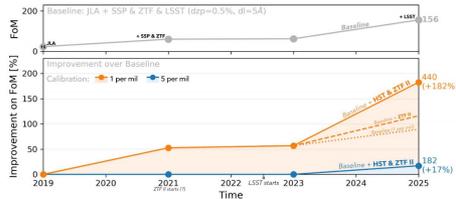
"3 DAYS CADENCE"



ZTF SN science goals

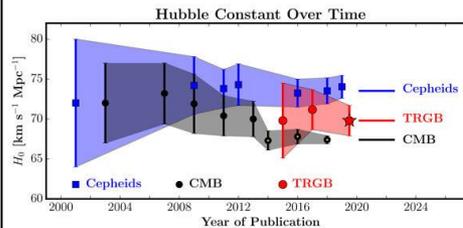
Measure (w, w_a)

- low $-z$ anchor to HD
- (if well calibrated)
- Not superseded by LSST sample



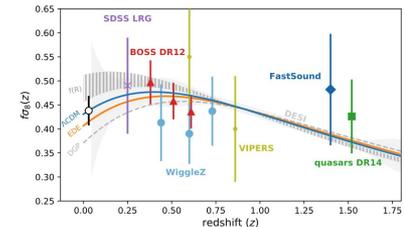
Measure H_0

- *Homogeneous* sample of
 - ~ 20 very low- z SNe
 - $O(5000)$ SNe in the Hubble flow

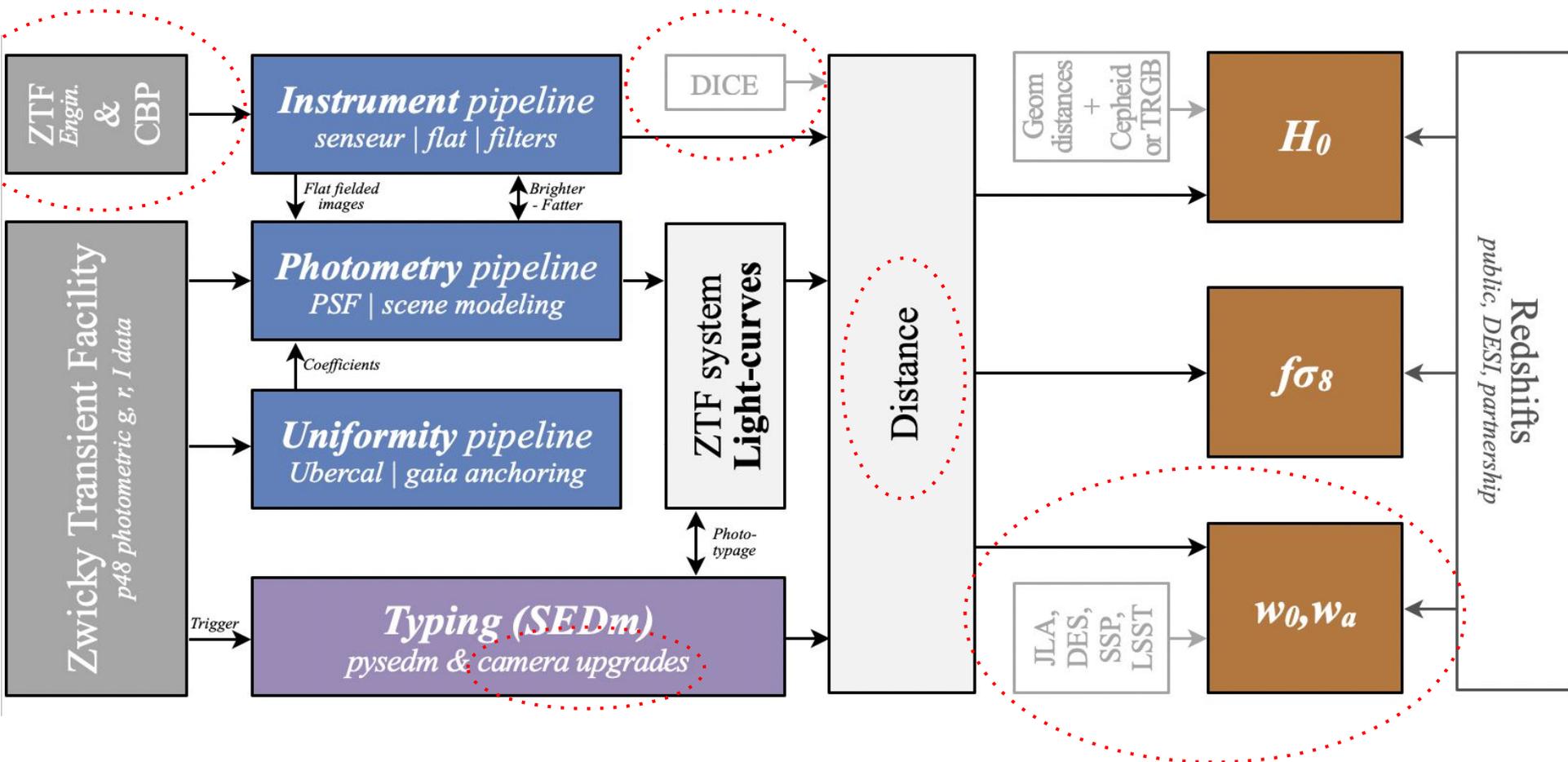


Test gravity at low- z

- Correlations of peculiar velocities of nearby SNe Ia
- Constraints on growth rate of structures ($f\sigma_8$)



Zwicky Transient Facility : ANR proposal



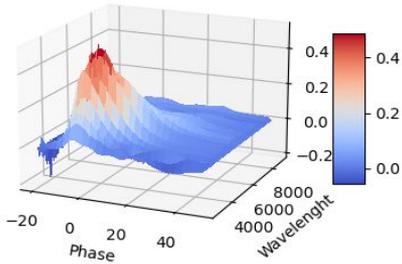
ZTF phase II

- 3 year extension of ZTF-I
 - jointly funded by NSF (50%) and Partner institutions (50%)
 - same survey instrument (47 deg²)
 - higher cadence in g,r (2 day cadence)
 - more I -band time (15%) -> 5-6 day cadence
- Spectroscopic follow-up
 - upgrade of SED machine (new, higher efficiency sensor)
 - new SED machine @ Kitt Peak
 - Goal: 98% completeness down to 19 mag
- 8000 well sampled SNe Ia
- SNIa sample with typing complete up to $z \sim 0.09$ (5000 SNe)

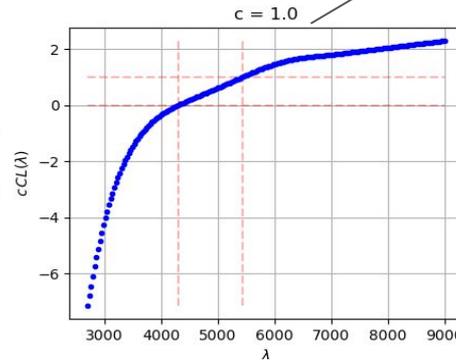
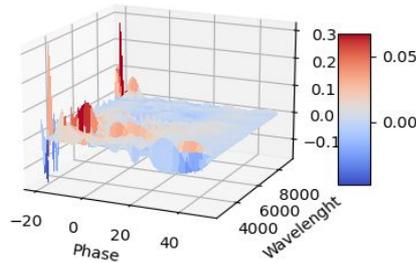
SALT4 (Augarde et al)

$$S_{obs}(\lambda, t) = \frac{1}{1+z} X_0 \left[M_0 \left(\frac{t - t_{max}}{1+z}, \frac{\lambda}{1+z} \right) + X_1 M_1 \left(\frac{t - t_{max}}{1+z}, \frac{\lambda}{1+z} \right) \right] e^{cCL(\frac{\lambda}{1+z})} \left[\sum_{i=0}^{N_s} S_i^{sp} \cdot \lambda^{N_s-i} \right]$$

mean spectral surface



first variability surface



$$\int M_0(\text{phase} = 0, \lambda) T_B(\lambda) \frac{\lambda}{hc} d\lambda = 1$$

$$\int M_0'(\text{phase} = 0, \lambda) T_B(\lambda) \frac{\lambda}{hc} d\lambda = 0$$

$$\int M_1(\text{phase} = 0, \lambda) T_B(\lambda) \frac{\lambda}{hc} d\lambda = 0$$

$$\int M_1'(\text{phase} = 0, \lambda) T_B(\lambda) \frac{\lambda}{hc} d\lambda = 0$$

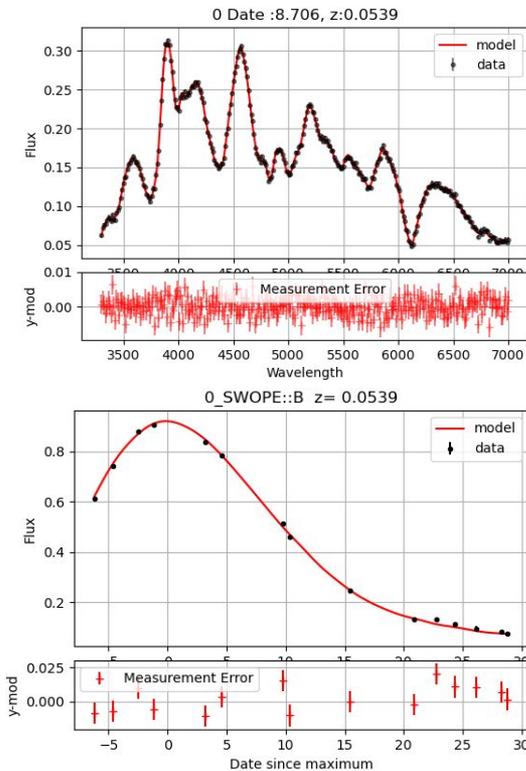
$$\langle X_1 \rangle = 0$$

$$\text{str}(X_1) = 1$$

$$\langle c \rangle = 0$$

From G. Augarde

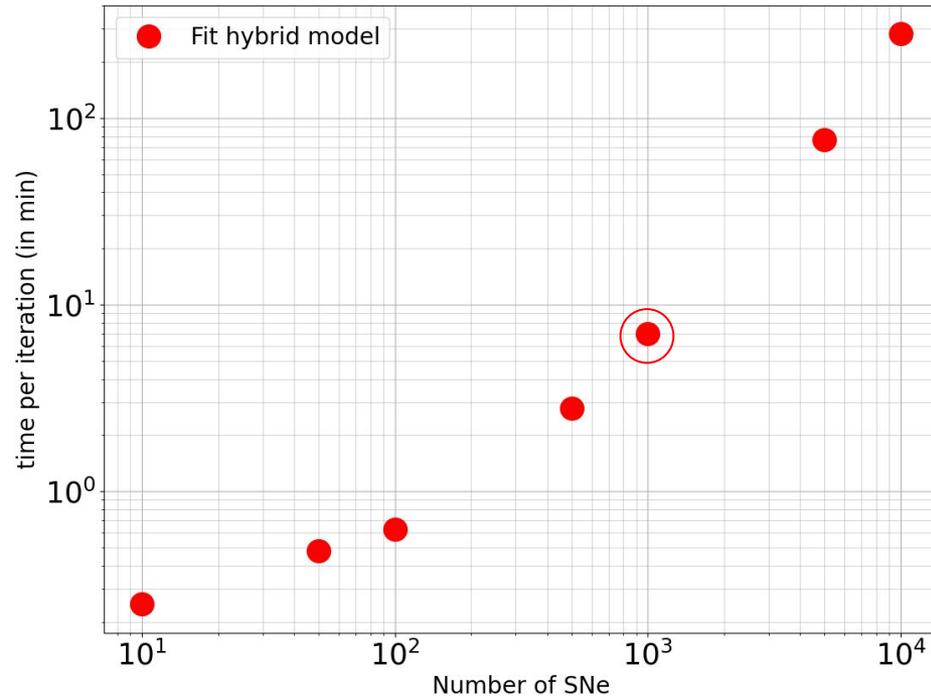
SALT4 (Augarde et al)



For 1 000 SNe :

- 1 X0 per SN
- 1 X1 per SN
- 1 tmax per SN
- 1 c per SN
- 1 surface M0
- 1 surface M1
- 1 Color law
- 2 re-calibration parameter per spectra

29 012 parameters

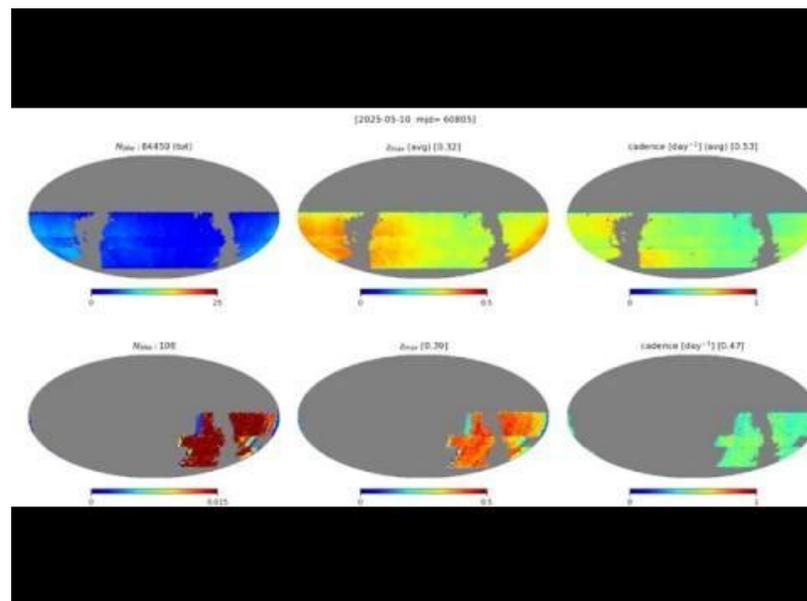
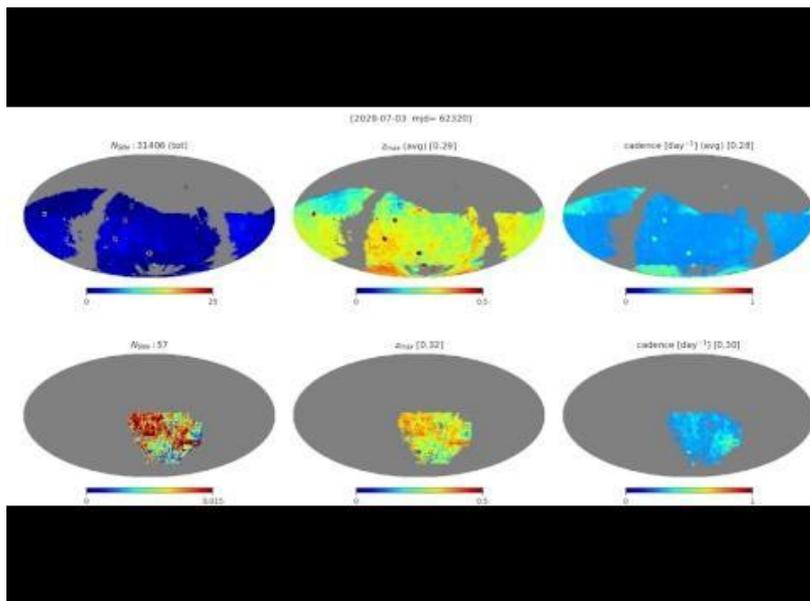


From G. Augarde

Work at LPNHE

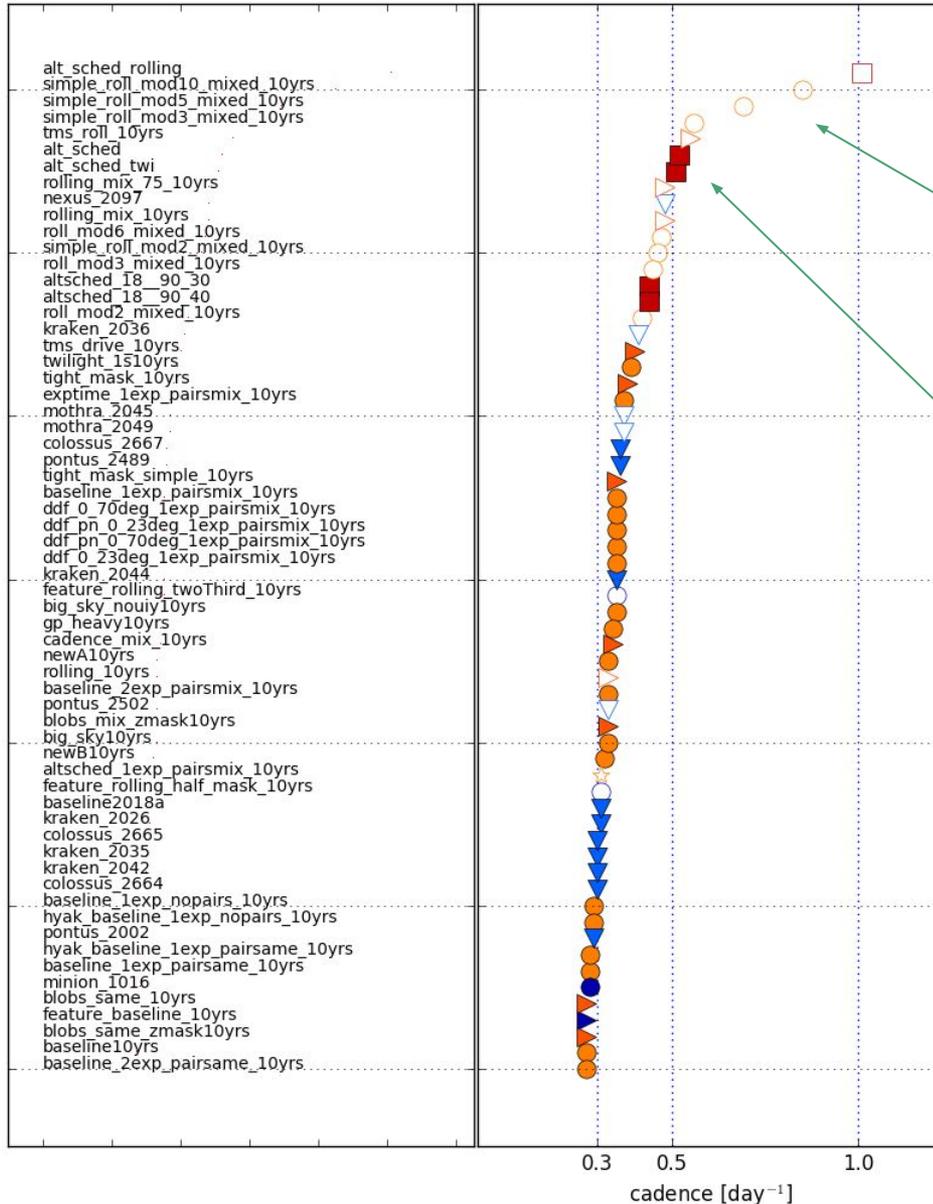
- **Priorities for 2021**
 - First light of StarDICE phase II
 - Release of Subaru light curves
 - SALT4 (G. Augarde's thesis)
- **Will focus on activities that fit with this schedule**
 - 2021:
 - Procurement new SEDm sensor
 - Characterization on StarDICE bench
 - Will share code and expertise with other groups (e.g. scene modeling)
 - 2022:
 - Measurement of survey instrument passbands (CBP)
 - Ramp up on data analysis, depending on needs expressed by ZTF

LSST Cadences



- SN cosmology extremely sensitive to observing strategy
- Observing strategies proposed by the project are sub-optimal
- On-going discussions to secure a deterministic observing strategy
-> well sampled SNe Ia

Effective cadence



New rolling strategies deliver very good cadences ($>0.5 \text{ day}^{-1}$)

Altsched is the only non-rolling cadence, delivering an effective cadence of $\sim 0.5 \text{ day}^{-1}$

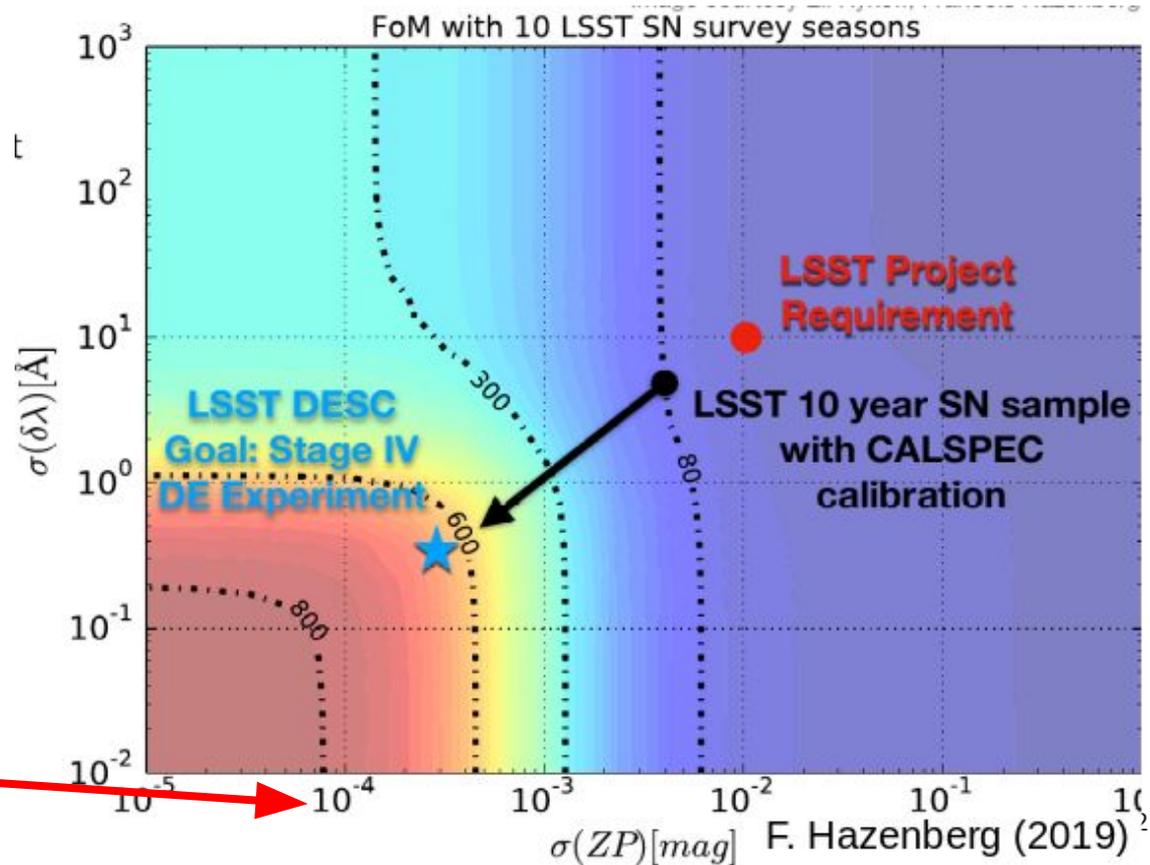
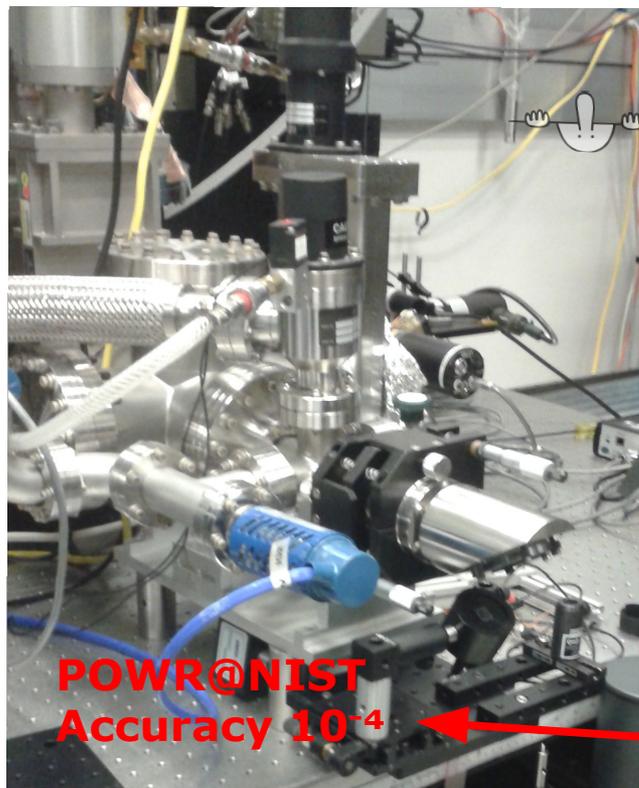
What does it take to emulate that with the feature-based scheduler?

Observing Strategy ? Filter allocation strategy ? Global filter allocation ? Survey footprint ?

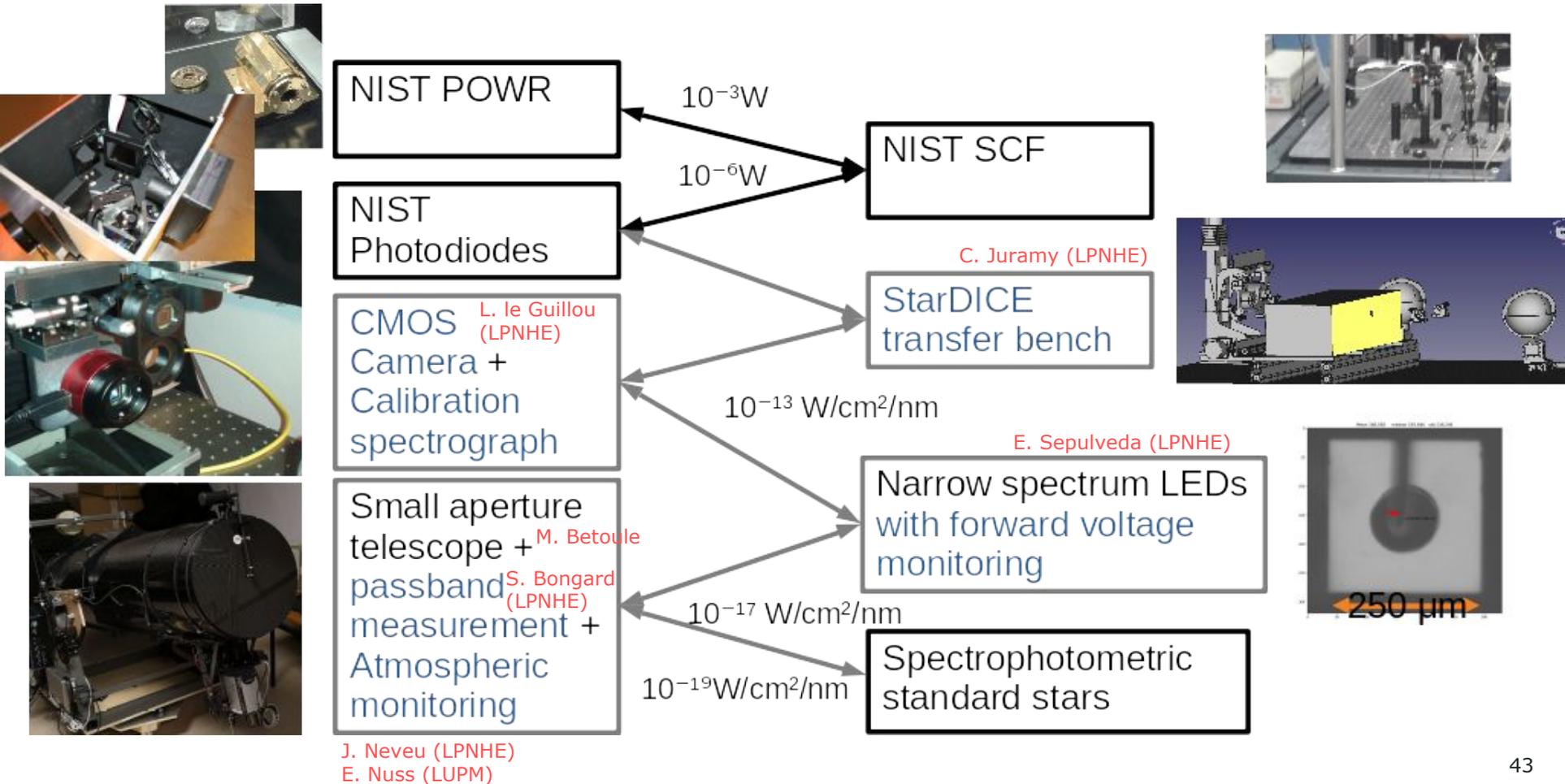
StarDice
de l'Observatoire de Haute
Provence à LSST

Driver Scientifique : Doubler la puissance du relevé Supernovae de l'observatoire Rubin

En supprimant l'erreur systématique d'étalonnage en flux par la construction d'une chaîne métrologique reliant le flux apparent des supernovae au radiomètre cryogénique POWR



7 instruments composent la chaîne métrologique StarDICE finale



Timeline

2016-2019: Pathfinder@OHP (2 publications + 1 in prep)

2019: Decommissioning du pathfinder

2020: Démarrage de l'upgrade

Juillet 2021: Commissioning de l'instrument principal



emplacement de la tête de LED



Le "jumelé"



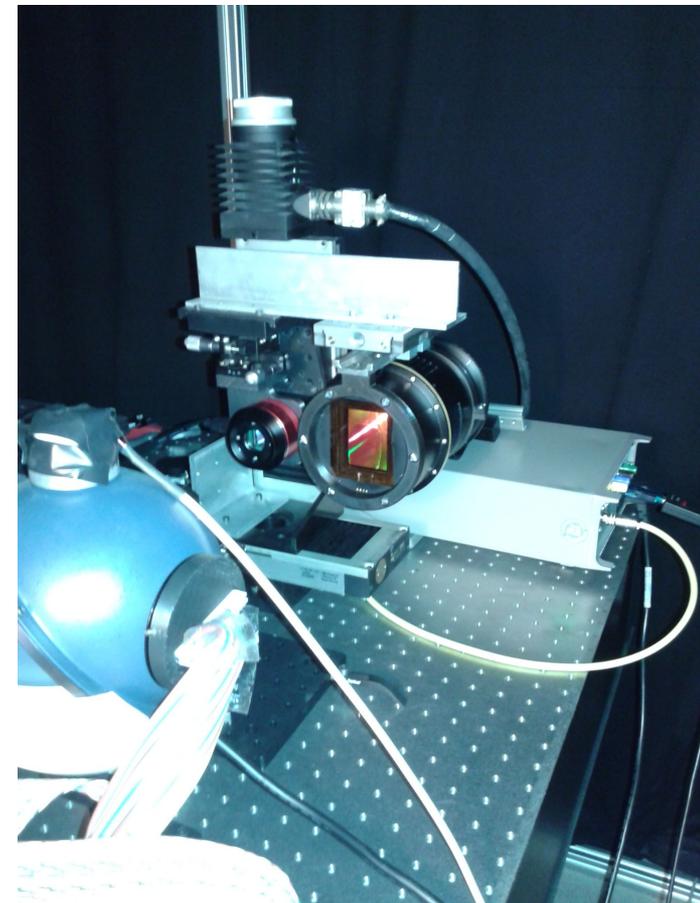
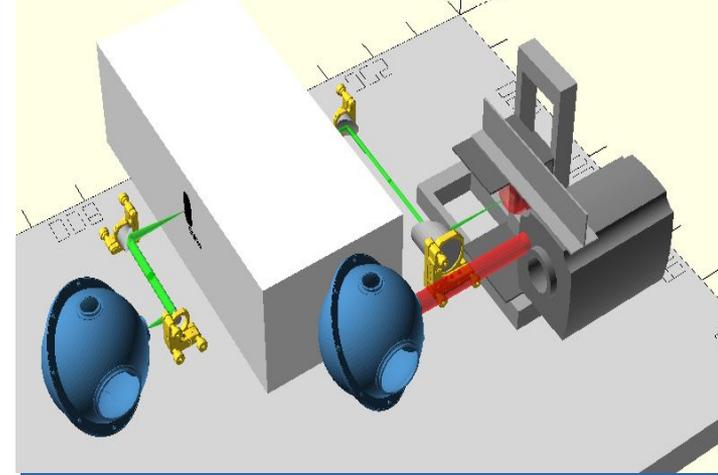
La collaboration StarDICE/CBP

- Collimated beam projector (CBP)
 - Collimated monochromatic beam
 - -> spot (direct light) + spot-like ghosts (indirect light)
 - Concept developed by C. Stubbs' group (Harvard)
 - Adopted for characterization / monitoring of LSST passbands
- Long term collaboration with Harvard group
 - CBP sent to LPNHE and used to monitor starDICE telescope
 - Traveling CBP being developed
 - -> monitor starDICE phase I & II telescopes



Banc de transfert

- Capacité d'étalonnage de caméra CMOS et CCD
- Deux voies :
spectrophotométrie et
illumination directe
- Support solidaire caméra +
photodiode NIST
- Pilotage à distance
- Procurement de la caméra ZTF
- Qualification d'une camera
CMOS 150MPix



AuxTel: Les premiers pas vers
"LSST sur le ciel"

PCWG: un "working group" qui jette les ponts entre Projet et Scientifiques



PCWG et SWAG: deux groupes de travail proches du hardware et des pixels, liens entre Projet et DESC.
LPNHE: co-conveners dans les 2 groupes

AuxTel: un télescope auxiliaire de 1m avec un détecteur LSST (ITL) et des capacités spectroscopiques pour mesurer et comprendre l'atmosphère



Premier endroit où tous les sous-systèmes de LSST sont implémentés ensemble

But: maintenir et développer un lien que l'on trouve fondamental entre deux communautés soumises à de très fortes forces centrifuges

Risque: le travail peut être fait en "sous marin" et les publications en découlant ne sont absolument pas garanties

En pratique

Solution: approche basée sur l'analyse, et menées aussi dans le cadre de projets que l'on contrôle

CBP: le projet n'a pas les forces, StarDICE a besoin d'une mesure de transmission du télescope

Spectractor: le projet n'a pas les forces, L'étude de l'atmosphère est une question scientifique fondamentale

AuxTel: le Projet n'a pas les forces de le maintenir ni de l'utiliser

SUCCESS
(paper)

Collaboration avec Harvard pour une démonstration au LPNHE/OHP



SUCCESS
(paper)

Développement de Spectractor par J. Neveu

Récupération du code par le Projet

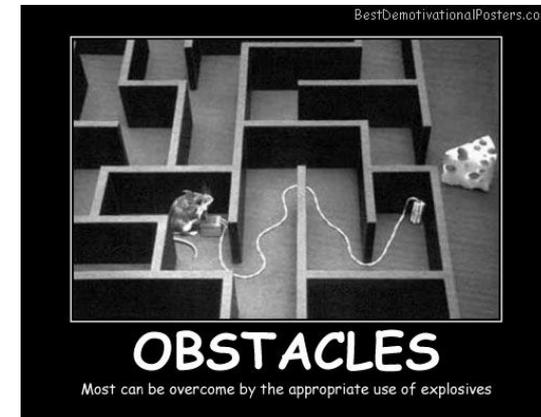
SUCCESS
(collaborative)



In Progress
(Prepare commissioning)

Collaboration "en sous marin" à l'analyse des première données

Jusqu'ici une navigation à vue pleine de succès, avec des bases saines (StarDICE et HSC/ZTF)
On a un plan...



"...AND YOU'RE CERTAIN THIS IS SAFE?!"

Lensing du Subaru à LSST

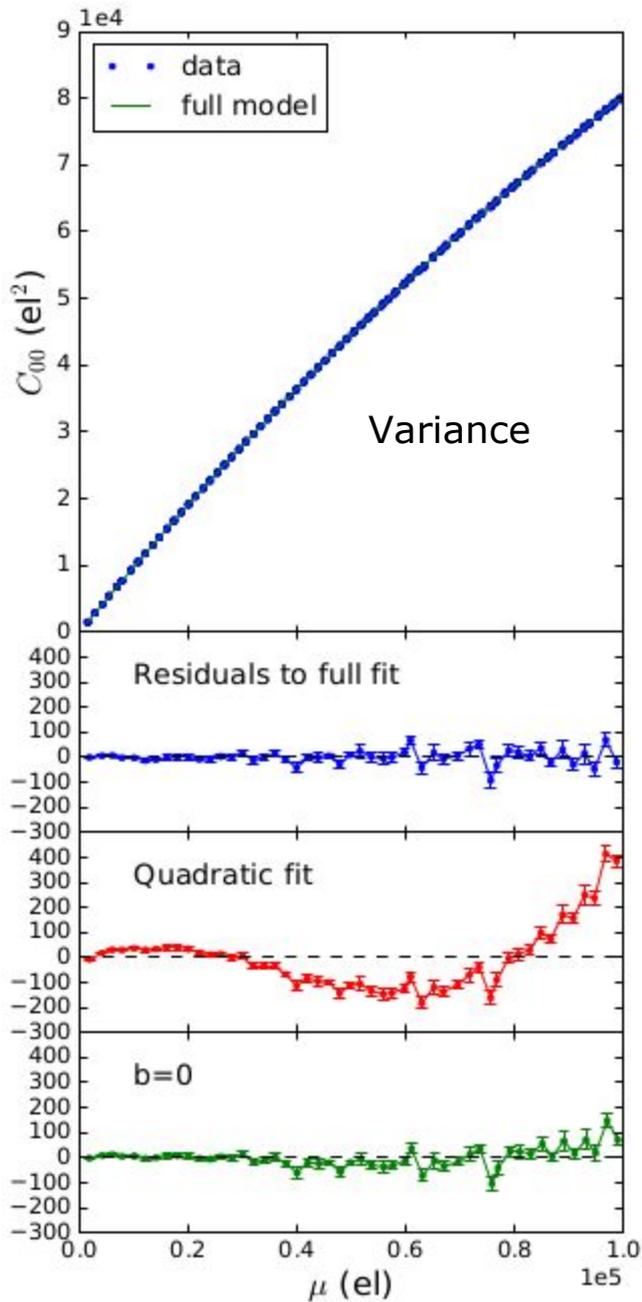
Cisaillement gravitationnel (cosmic shear)

- Détection du signal en 2000. $\sim 100 \text{ deg}^2$ vers 2008, $\sim 1000 \text{ deg}^2$ vers 2017, ~ 3000 aujourd'hui.
- Sonde sensible à la fois à l'histoire de l'expansion et à la formation des structures.
- Mesure "directe" du spectre de puissance de la matière et de son évolution: test de la RG.
- Sur le papier, la sonde la plus sensible de l'énergie noire...
- ... si on triomphe de difficultés redoutables:
 - Estimateur du cisaillement, et de la PSF
 - Redshifts photométriques
 - Alignements intrinsèques
 - Non-linéarités et effets baryoniques

Estimateur de cisaillement

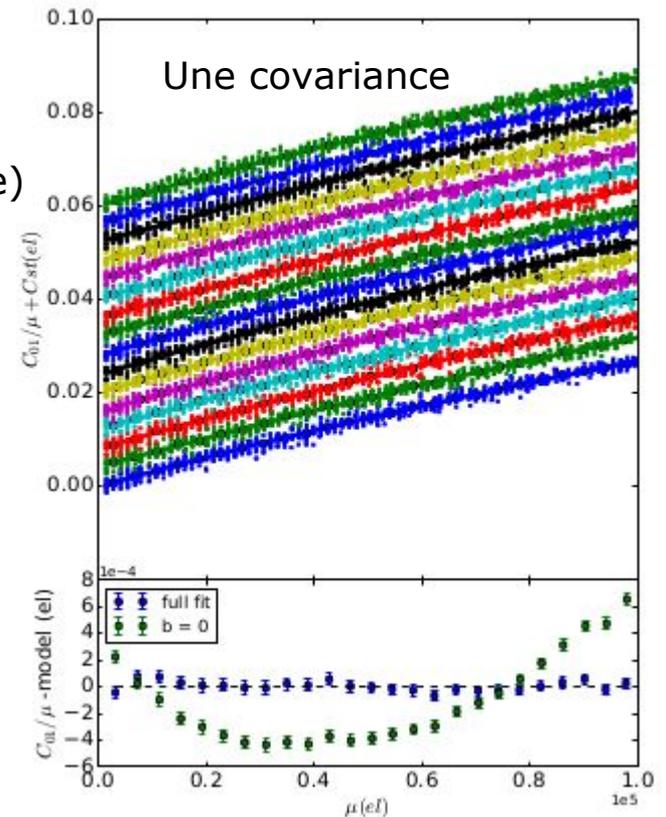
- Mesure de l'ellipticité sur les images échantillonnées:
 - Il faut une précision de 0.1% et les papiers de 2017 et 2018 sont plutôt vers 1%. Nous étudions une idée d'amélioration.
- Estimation de la PSF:
 - participation à PIFF (P-F Léget).
 - Nous avons fourni (en 2014) l'explication physique de l'effet brighter-fatter, qui compromet la mesure de la PSF à l'aide des étoiles. Nous avons aussi fourni l'unique méthode de correction de l'effet, qui est probablement insuffisante. Une partie de l'activité CCD vise à améliorer cette correction.
- Astrométrie des images:
 - fourniture du code de fit astrométrique de LSST.
 - Développement de ce code sur les images HSC.
- Mise en évidence de l'effet systématique de l'atmosphère sur les positions mesurées et prédiction de l'effet sur le signal de shear pour LSST (Léget et al 2021).

Fonction de corrélation des champs plats: ingrédient essentiel de l'effet brighter-fatter

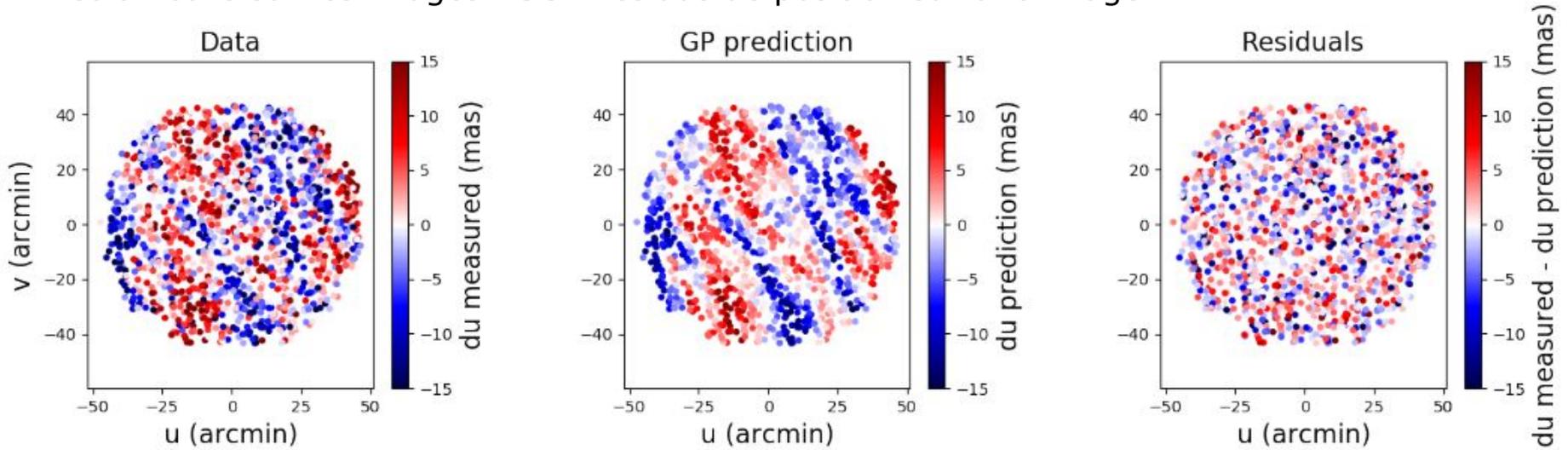


Papier du LPNHE
(2019) qui confronte
un modèle
électrostatique (simple)
du CCD aux données:

résidus de l'ordre
de 0.1%

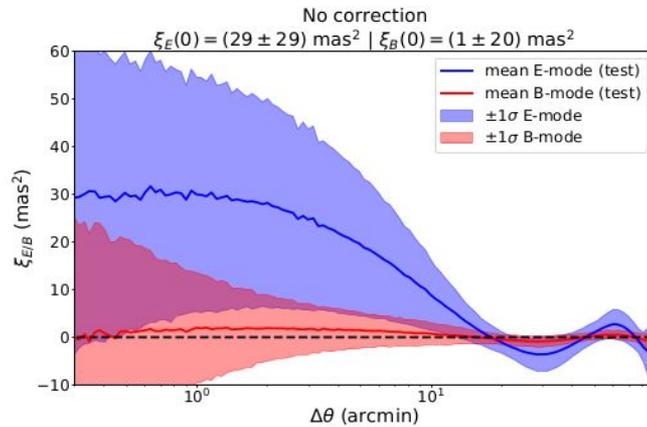


Astrométrie sur les images HSC : résidus de position sur une image:

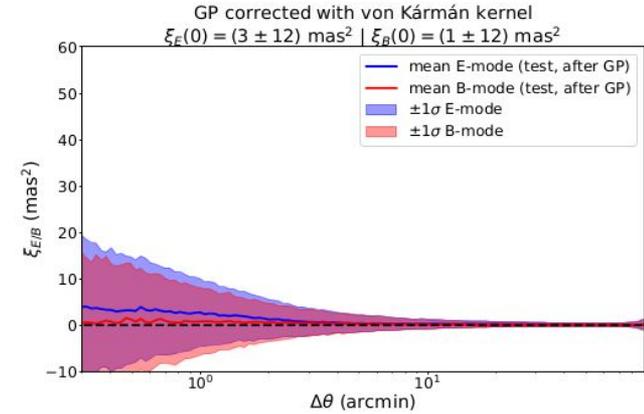


Fonction de corrélation (modes E et B)

(Pierre-François Léget et al, A&A, 2021)

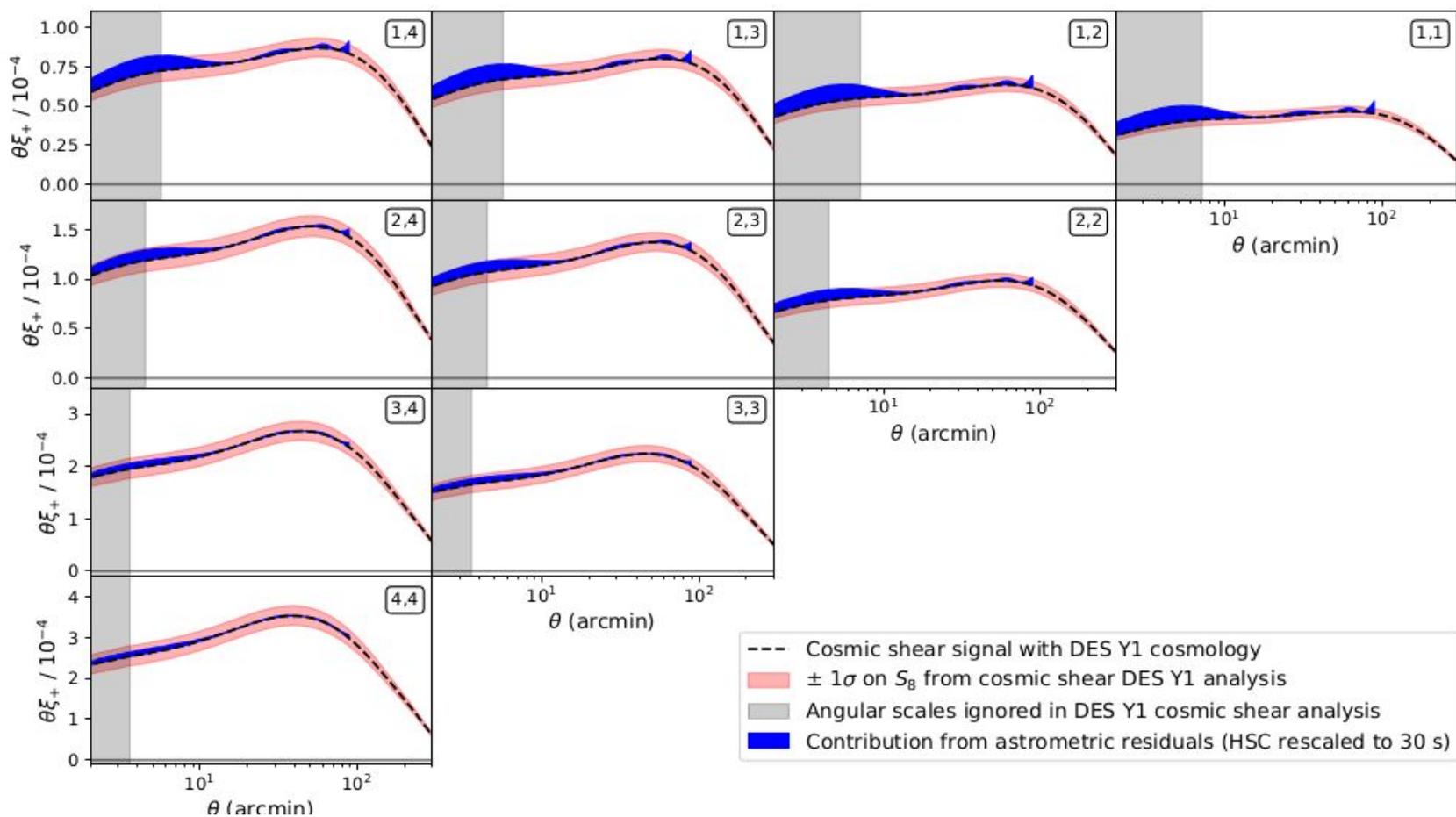


Avant correction



Après correction: effet divisé par 10

Effet sur les corrélations du cisaillement pour LSST. Il faut corriger !



Plans

- Développer un nouvel estimateur de cisaillement et le valider sur les images répétées du relevé de supernovae sur HSC: thèse de Enya van der Abeele (2021-24).
- Possiblement: répéter la mesure du cisaillement sur les images du relevé "wide" du Subaru (Enya)
- Améliorer la correction de l'effet brighter-fatter pour le Subaru et surtout LSST (?)

- LSST a été conçu pour mesurer le cosmic shear et l'effort français dans ce domaine est modeste.

Contribution à la camera de LSST

Contributions techniques

Carousel - Changeur de Filtre

Filter Loader (LPSC)



Auto Changer (CPPM)



Changeur de filtre : delivvable IN2P3 / 5 labo impliqués
Coordination Technique : P.Karst (CPPM) (longue maladie depuis Juillet 2020)

Coordination Scientifique : P.Antilogus (LPNHE)

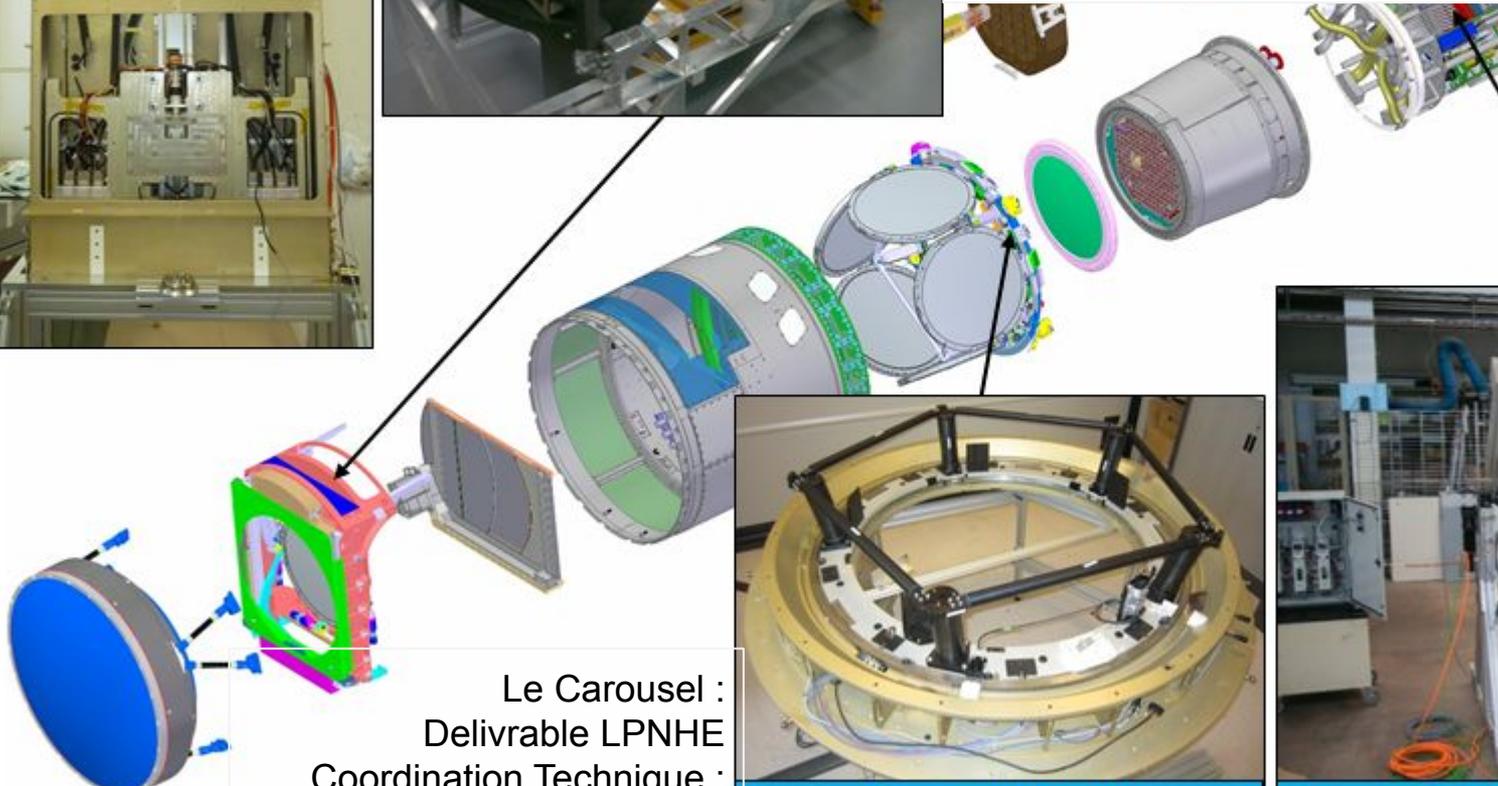
Manufacturing Readiness Review passée en Juin 2017

Livré à SLAC : Oct 2019

Commissioning : intérompu brutalement en Mars 2020



Filter Control System (APC)



Le Carousel :
Delivvable LPNHE
Coordination Technique :
Didier Laporte

Carousel (LPNHE)



Camera Simulator - Test Bench (LPC)

Contributions techniques

Carousel - Changeur de Filtre

LPNHE - Carousel (équipe en 2020-21) :

Meca G.Daubard(Ing.Sys.) , P.Ghislain, **D.Laporte** (Coord.), Y.Orain,

Elec,Instrumentation,Info : J.Cordian, C.Juramy , E.Sepulveda

Hall de Montage , Salle Blanche : M.Roynel

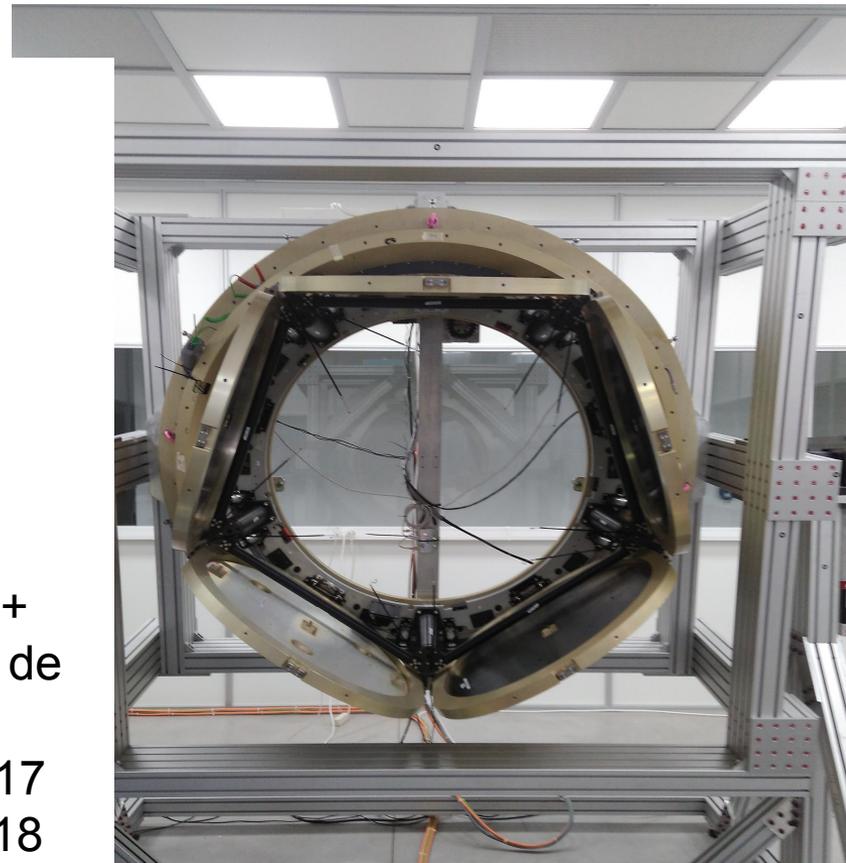
Coord. Scientifique : P.Antilogus + support P.Astier

LPNHE Design , réalisation et qualification du carousel (= presente les filtres au changeur) :

- **15s pour une rotation / présenter un filtre**
(1 filtre : diamètre 70 cm pour ~35 Kg)
- **durée de vie 15 ans :**
 - 100 000 changement de filtre
 - 35 000 rotations complètes

Le coeur du carousel non-accessible
& Chili zone sismique ⇒ Qualification !!! :

- Design , réalisation d'un prototype échelle 1 + ensemble de banc & procédures de test afin de qualifier le carousel et ses composants
- Manufacturing Readiness Review : Juin 2017
- Début assemblage système final : Févr. 2018
- Livraison à SLAC/début commissioning : Oct. 2019



Le carousel sur le banc test
monté avec 5 faux filtres

Filter Exchange System : Mise en service à SLAC & ... remote

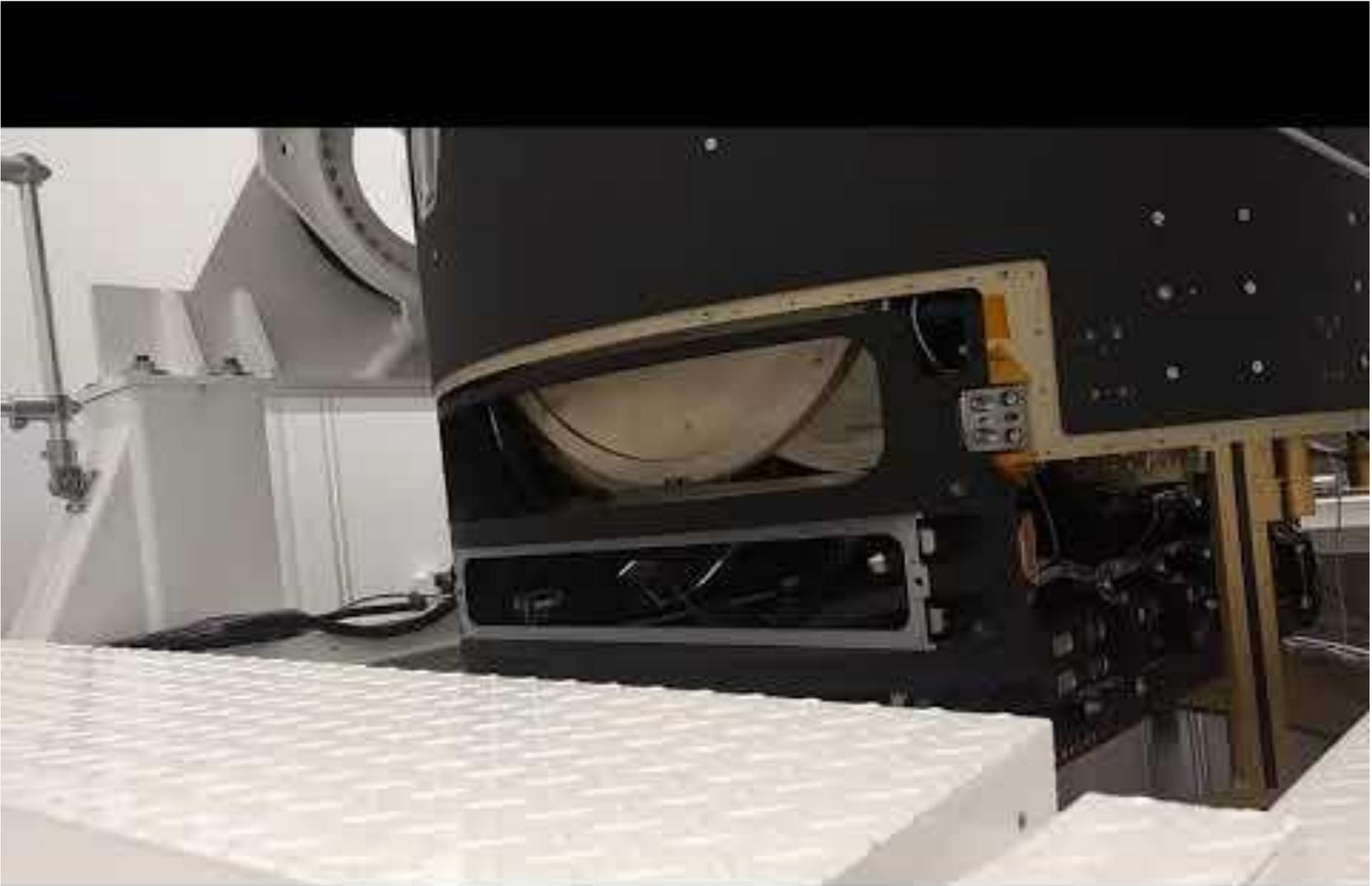


- Octobre 2019 : intégration carousel
- Décembre 2019 : préparation à la mise en service
- **Janvier-Fév 2020 : 1 ère mise en service**
- ~~mis-Mars 2020 : mise à niveau pour test final~~
- ~~Avril 2020 : qualification finale~~
- Sep 2020- : reprise des tests à SLAC à distance
- **Jun 2020-Fév 2021 : mise en service et utilisation du démonstrateur dans le hall du LPNHE**, pour :
 - valider des protocoles de tests / debug / commissioning depuis la France
 - travailler sur le slow contrôle
- Il faut envoyer une équipe dès que possible en 2021 à SLAC pour effectuer les dernières **mises à niveau nécessaires sur place** □ **Espoir pour Juillet 2021 !**
- et participer sur place à la qualification finale de la caméra (Automne – printemps 2021-2022)

COVID-19 : Mars, interruption alors que le système nécessite encore des réglages clefs ... reprise à SLAC très lente (la majorité n'a pas accès au labo , seul 2 personnes possibles en salle blanche ...) = travail à distance peu productif mais montée en puissance prévue en Novembre .

Manager IN2P3/P.Karst accident de santé Juillet 2020 ;
"out" pour ~ 1 an : : réorganisation autour de A.Marini (IR meca CPPM) & P.Antilogus

Filter Exchange System : Mise en service à SLAC ; premier échange de filtre; optimisation (vitesse , répétabilité) à finaliser



Contributions techniques

Plan Focal de la Camera de LSST

LSST Plan Focal = 21 RAFT Caméra

9 CCDs , empreinte : 12x12 cm = 1 RAFT

Lecture et contrôle des CCDs , Raft Electronics Board (REB):

3 CCDs, 48 video channels, 1 FPGA

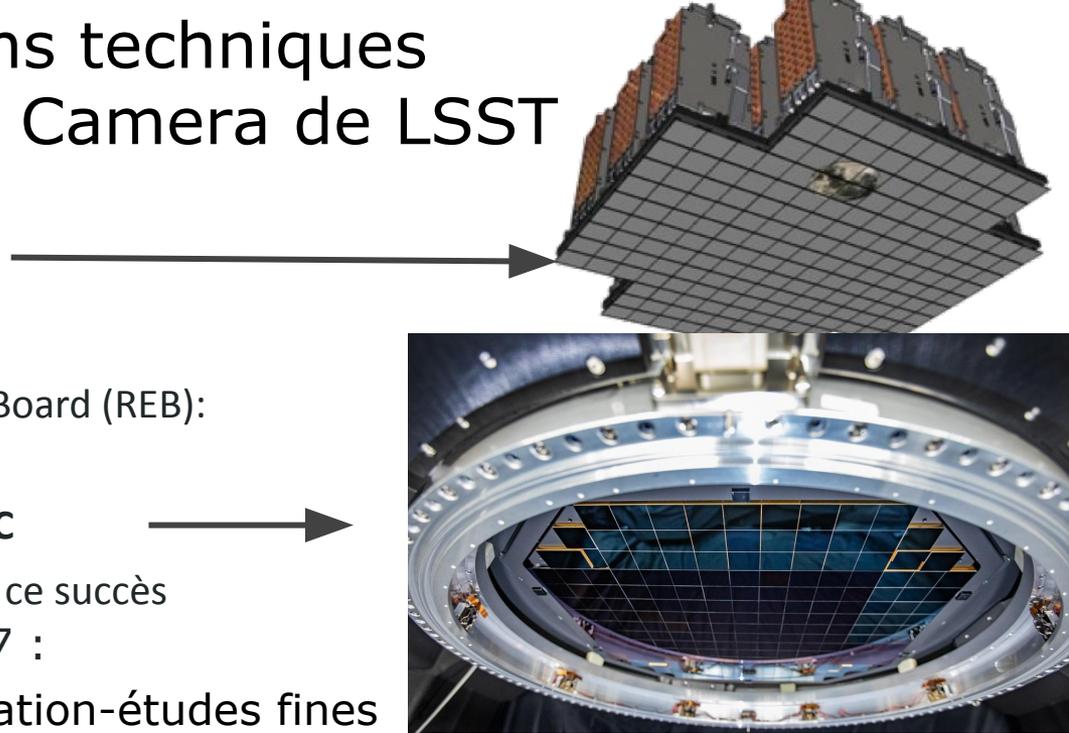
Été 2020 : Full focal plane opérationnel à SLAC

Le LPNHE est directement partie prenante de ce succès à travers plusieurs contributions depuis 2007 :

1. **CCD** : interaction avec vendeur & qualification-études fines
2. **Électronique** : ASIC front end (avec le LAL, fin livraison Fev 2017 : ~ 1200 chips) , participation au design des REB en particulier pour le diagnostic (électronique en cryostat ⇒ non-accessible)
3. **Contrôle des REB** : micro-code FPGA & séquençage CCD
4. **Optimisation** : Responsable des diagnostics CCD&électronique & Optimisation de la lecture des CCD
5. **Commissioning US& Chili**: Participation aux tests et Analyses

Coordination Technique IN2P3 : C. Juramy (LPNHE)

Coordination Scientifique IN2P3 : P.Antilogus (LPNHE)



Equipe "CCD"/plan focal LSST au LPNHE en 2021

ITA : C.Juramy ([Cristal 2020 !!!](#))
E.Sepulveda

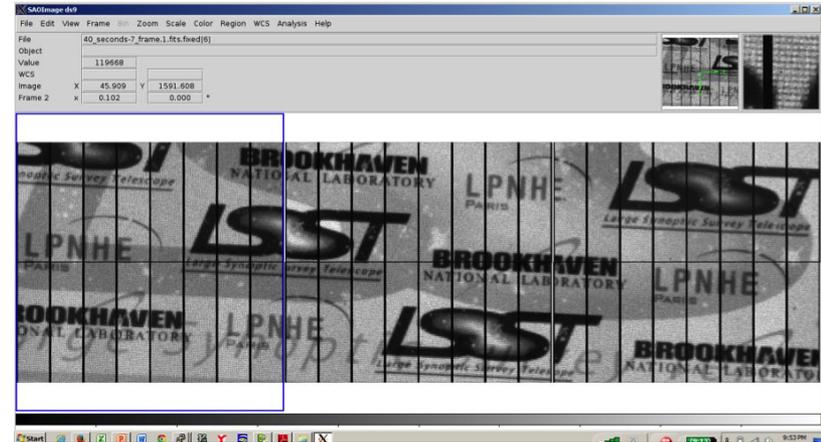
Chercheurs : P.Antilogus, P.Astier,
L.Le Guillou

Contributions techniques

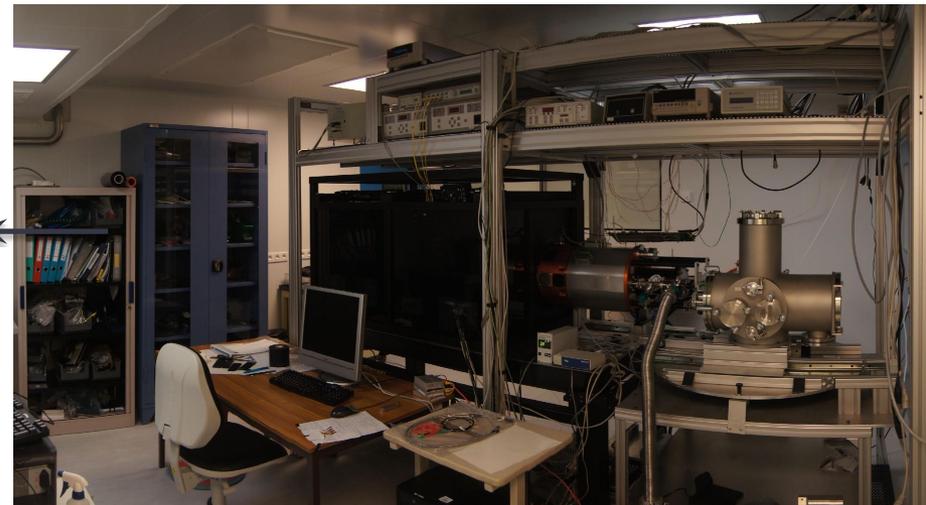
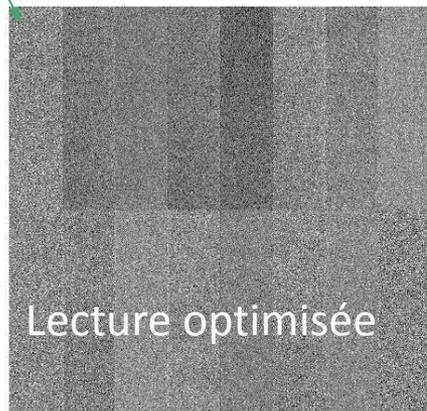
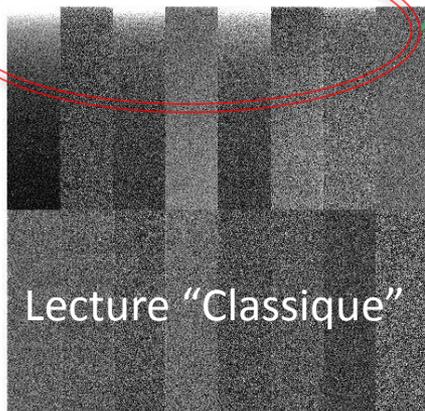
Plan Focal de la Camera de LSST

Avec son expertise reconnue dans les CCD , l'ASPIC , le sequenceur qui controle la lecture des CCD et le système de diagnostic de la REB , l'équipe du LPNHE contribue à l'optimisation de la lecture du plan focal , aussi bien en interaction avec les vendeurs de CCD , qu'en support à l'intégration du plan focal à SLAC et à BNL .
Le banc test CCD du LPNHE est un banc de référence pour l'optimisation de la lecture des CCD dans LSST.

Ce banc a conquis ses palmes lors d'une crise à l'été 2016, en validant une méthode de lecture permettant d'utiliser la production d'un vendeur de CCD clef pour LSST



Exemple du partenariat étroit BNL-LPNHE :
Feb 2015 1er lecture de 3 CCD par 1 REB



Banc CCD au LPNHE :
test & readout optimization pour LSST

Spectroscopie :
BAO - RSD
e-BOSS - DESI

Implication dans les projets: projet DESI

- Responsable scientifique de labo du (master) projet : Christophe Balland
- Responsable technique de labo du (master) projet : Sonia Karkar (jusqu'au 01/06/2019)

Liste des chercheurs de l'équipe impliqués dans le projet :

• 3 permanents

- Christophe Balland, PR 100%
- Laurent Le Guillou, MCF 50%
- Pauline Zarrouk, CR 100%

• 2 visiteurs longue durée (1/2j/semaine)

- Jim Rich, Ing. CEA
- J.-M Le Goff, Ing. CEA

• 1 post-doctorant

- Ignasi Perez-Rafols, identification des QSO, code d'analyse Lya, CDD in2p3, 100% 09/2019 - 04/2022

• 2 doctorants

- Julianna Stermer, "Etude de catalogues simulés dédiés aux analyse BAO Lyman-alpha des expériences eBOSS et DESI", 100%, 09/2018-12/2021
- Ting Tan, "Constraints on dark energy from Lyman-alpha data from the DESI experiment", 100%, 10/2020-09/2023

Liste des ingénieurs et techniciens du laboratoire impliqués dans le projet :

• 3 permanents

- Sonia Karkar, IR, 30 % ETP, doctorat
- Brigitte Delamour, TCE, 30% ETP
- Patrick Ghislain, AI, 10% ETP

Faits marquants du projet DESI

Buts: mesurer l'histoire de l'expansion de l'Univers sur 11 milliards d'années et tester la relativité générale à travers la formation des structures

- L'instrument DESI est installé au télescope Mayall de 4M de l'Observatoire Kitt Peak (Arizona)
- Plan focal fibré: 5000 fibres robotisées reliées à 10 spectrographes à 3 voies (B, R, IR) permettant l'acquisition simultanée de 5000 spectres toutes les 20 minutes (jusqu'à 120 000 spectres/nuit)
- 14 000 deg², 30 à 35 millions de cibles sur 5 ans
 - Bright galaxy (10 millions)
 - Emission line galaxies (17 millions)
 - Luminous red galaxies (4 millions)
 - QSOs (2,5 millions, dont 700 000 régions d'absorption Lyman-alpha)
 - > 10 x volume SDSS !
- Système de calibration (écran lambertien et boîtiers de lampes) entièrement conçu et produit au LPNHE grâce au soutien de l'IN2P3.
- Aujourd'hui, DESI est le premier programme de 4ème génération pour la caractérisation de l'Energie Noire sur le ciel
 - Première lumière Octobre 2019
 - Commissioning et validation du relevé Oct 2019-Avr 2021 (8 mois d'interruption COVID-19)
 - Démarrage du relevé science 17 mai 2021
 - Communiqué de Presse DESI
 - Communication IN2P3 (actualité du site et newsletter)

Production scientifique de l'équipe

• Thèses récentes soutenues dans l'équipe (2018-2021)

- Victoria de Sainte Agathe, "Mesure de la position du pic acoustique baryonique dans les forêts Ly-alpha et Ly-beta des spectres de quasars du relevé eBOSS-SDSS", dir C. Balland & N. Busca, bourse doctorale du Labex ILP, sep. 2016/sep. 2019, dans le privé

• 3 publications emblématiques de l'équipe dans revues à comité de lecture (2018-2021)

- *Mesure et analyse de la fonction d'auto-correlation des absorptions Lyman-alpha dans les données SDSS IV DR14. Meilleures contraintes à l'époque sur la position du pic acoustique*
 - de Sainte Agathe, Balland, Rich et al, "Baryon acoustic oscillations at $z = 2.34$ from the correlations of Ly-alpha absorption in eBOSS DR14", A&A 629, 85 (2019)
- *Mesure et analyse des fonctions de corrélation des absorptions Lyman-alpha avec le lot de données complet de l'expérience eBOSS*
 - Du Mas des Bourboux et al, "The Completed SDSS-IV Extended Baryon Oscillation Spectroscopic Survey: Baryon Acoustic Oscillations with Ly α Forests", ApJ 901, 153 (2020)
- *Contraintes cosmologiques obtenues à partir des données finales de BOSS et eBOSS*
 - Shadab et al, "Completed SDSS-IV extended Baryon Oscillation Spectroscopic Survey: Cosmological implications from two decades of spectroscopic surveys at the Apache Point Observatory", Phys. Rev. D, Vol. 103, Issue 8 (2021)

Production scientifique de l'équipe

-
- 3 publications récentes de conférence à forte contribution de l'équipe (2018-2021) :
 - *Description de l'intégration et de la validation des performances des 10 spectrographes de DESI, auxquelles le LPNHE a pris une part active*
 - Perruchot et al, "Testing the 10 spectrograph units for DESI: approach and results" SPIE proceedings 11447, 86 (2020)
 - *Description de la sélection, du catalogue et des propriétés des cibles du Bright galaxy survey*
 - Zarrouk, "The DESI Bright Galaxy Survey: from target selection to preliminary clustering", AAS proceedings, Vol 53 (2021)
- Passages aux conseils scientifiques de labo (3 ans) CS LPNHE en 2017, Point DESI au CS IN2P3 en Oct 2020

Evolution anticipée de l'équipe (3-5 ans)

•Evolution scientifique de l'équipe dans les prochaines années

- Poursuite des activités d'analyse Lyman-alpha dans DESI
- Ouverture aux analyses clustering et RSD
- Responsabilité d'observations DESI à distance et sur site
- Implication dans les programme post-DESI ? MSE ? MegaMapper ?
- Participation aux analyses multi-sondes

•Nouveaux projets en vue (inclus réponse aux appels ANR, Europe, appel d'offre locaux, ...)

- Deux demandes ANR DESI (2018 et 2019) (proposition de fédération des groupes français dans le cadre d'un French Participating Group DESI) n'ont pas passé la 1ère phase.
- Développements des liens avec le Centre Pierre Binetruy à Berkeley via la thèse internationale du CNRS de Ting Tan (doctorant LPNHE depuis oct 2020)
- Projet de thèse P. Zarrouk

•Evolution de la composition de l'équipe (départs/arrivées permanents, docs, post-docs, ...)

- La composition de l'équipe a beaucoup évolué en peu de temps (2 départs perm., 1 arrivée perm.) Elle atteint aujourd'hui une taille critique mais reste à consolider (départ 1 postdoc + 1 doc début 2022)

•Attente vis-à-vis de l'IN2P3

- Soutien financier (missions, observations, maintenance instrumentation calibration)
- Soutien RH (remplacement CDD in2p3)

•Autres...

07/05/2021

IN2P3

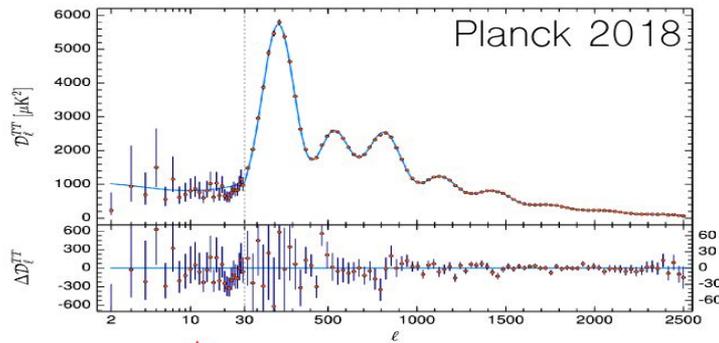
69

Pages additionnelles

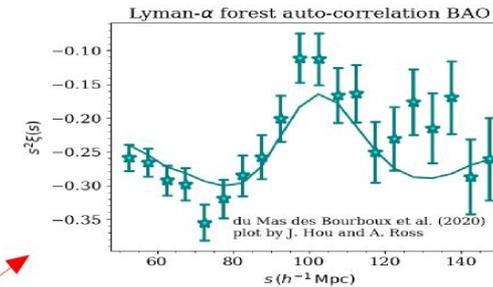
- Tous les documents jugés utiles pour la discussion

BAO: Oscillations Acoustiques de Baryons

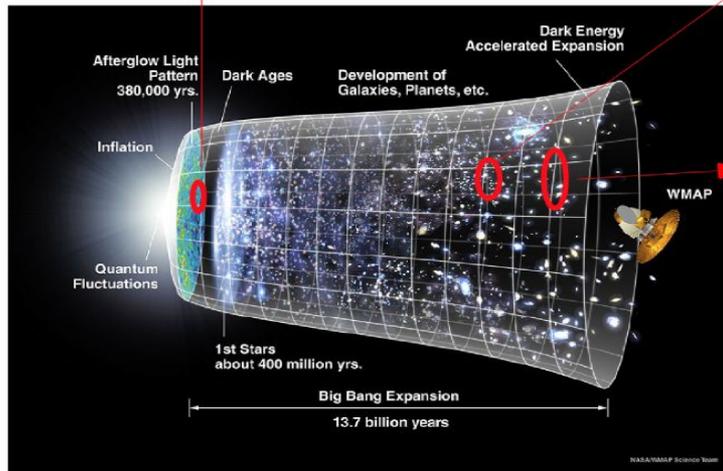
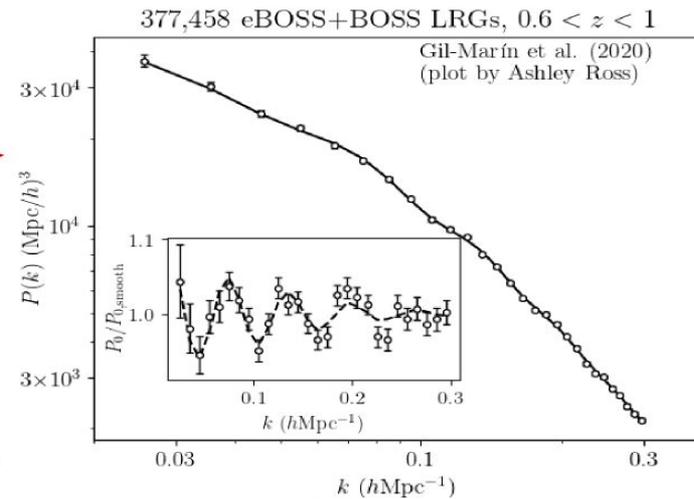
dans le CMB à $z \sim 1000$



dans la forêt Lyman-alpha à $z \sim 2.3$



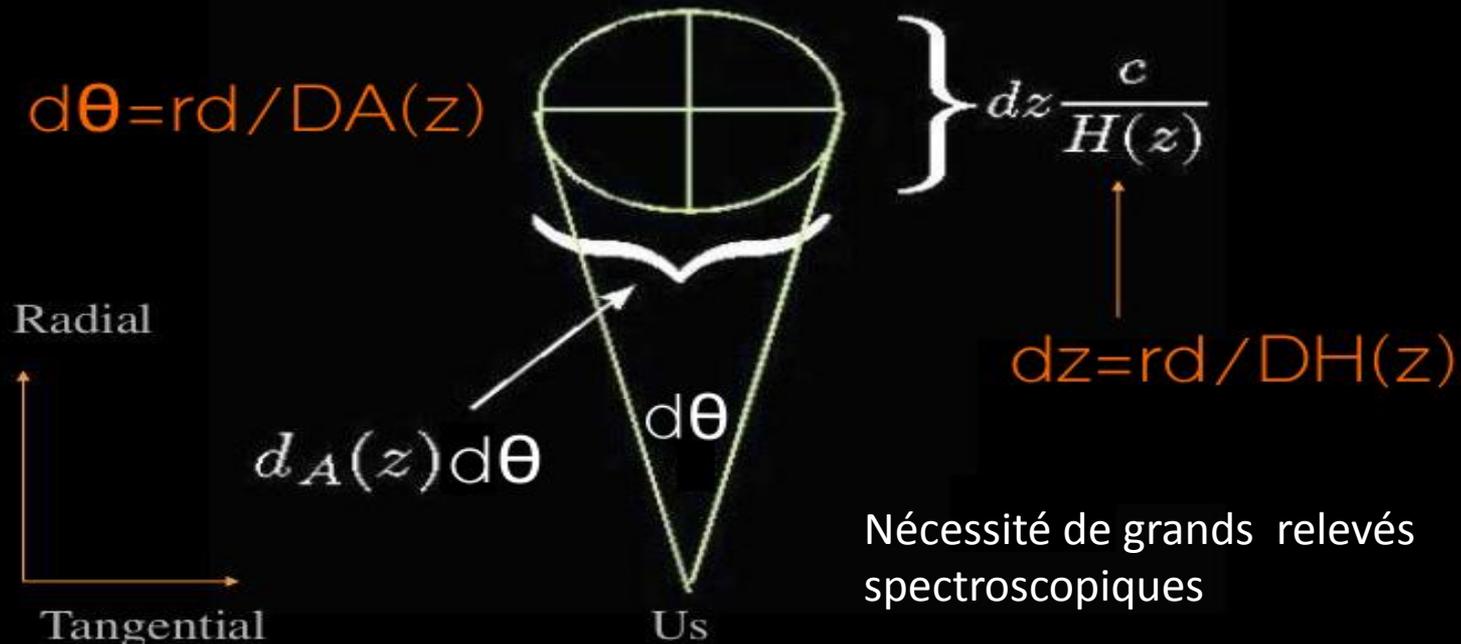
dans le champ de densité des galaxies



BAO: Oscillations Acoustiques de Baryons

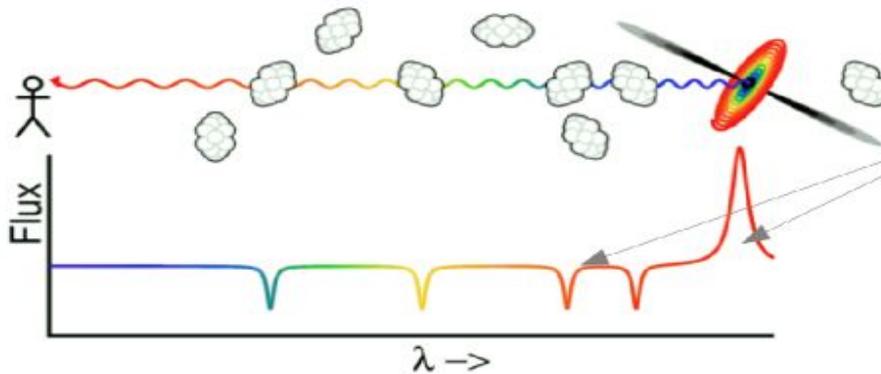
rd: horizon du son au découplage

$$d\theta = rd / DA(z)$$



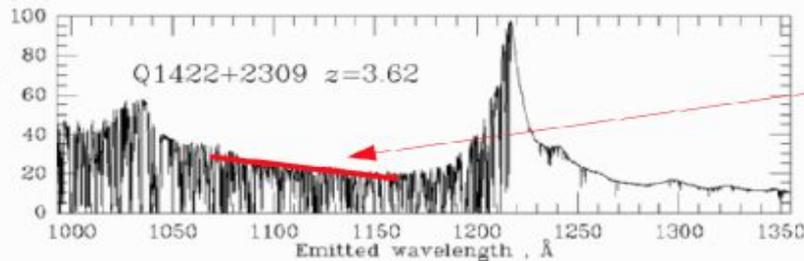
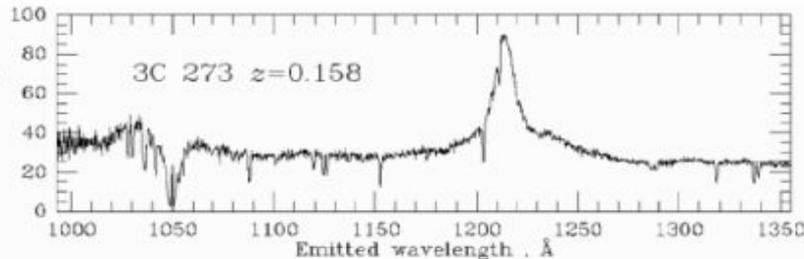
Nécessité de grands relevés spectroscopiques

Traceur Lyman-alpha



$$\lambda_{Ly\alpha} = 121 \text{ nm}$$

$$\lambda_{obs} = (1 + z)\lambda_{Ly\alpha}$$



Décrément de flux :

$$F(\lambda) \equiv \frac{f(\lambda)}{\text{Continuum}(\lambda)} = e^{-\tau(n_{HI})}$$

$$\delta_F(\lambda) = \frac{F(\lambda)}{\bar{F}(\lambda)} - 1$$

BAO: Oscillations Acoustiques de Baryons

Les BAO sont une sonde incontournable pour la physique l'Energie Noire

Sonde complémentaire aux SNe Ia :

- mesure absolue de distance (avec CMB)
- mesure « instantanée » du taux d'expansion $H(z)$
- précision statistique plus faible que les SNe à bas z ($z < 0.2$) et plus performant à $z > 0.8$

Les BAO dans les forêts Lyman-alpha des quasars donne accès aux $z > 2$

Les BAO ont de faibles incertitudes systématiques

Les grands relevés spectroscopiques offrent d'autres observables :

- les distorsions de redshift permettent de tester la relativité générale
- contraintes sur la masse des neutrinos (avec le clustering des galaxies et Lyman-alpha)

DESI: projet et objectifs

Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI)

- « Stage IV dark energy measurement »
- Relevé spectroscopique massif de galaxies et de quasars (30×10^6 redshifts) sur $14\,000 \text{ deg}^2$ pour la mesure du signal BAO jusqu'à $z \sim 3.5$

Instrument:

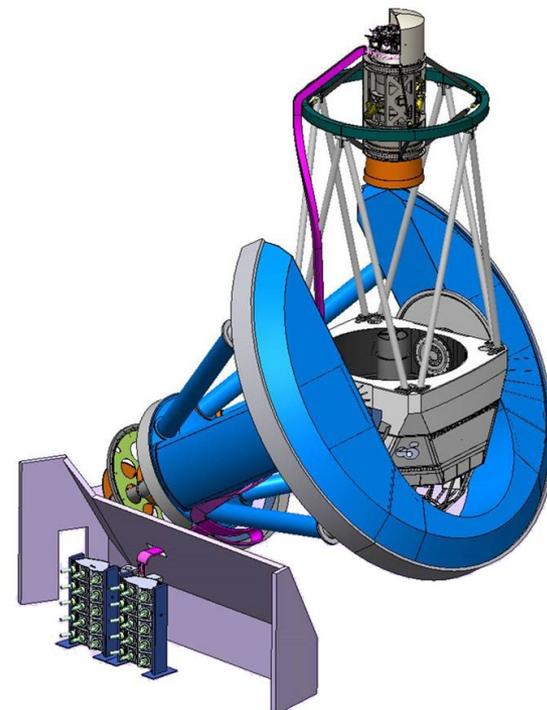
4m Mayall @ KPNO
8 deg^2 FOV
5000 fibres positionnées robotiquement
10 spectros de 500 fibres
3 voies lecture: B, R, NIR

Agenda:

- DOE Cosmic Frontier
- 1^{ère} lumière fin-2019
- 8 mois délai COVID
- Démarrage mai 2021
- 1^{ers} résultats en 2022
Fin en 2026

Equipes françaises

CEA
AMU
LPNHE

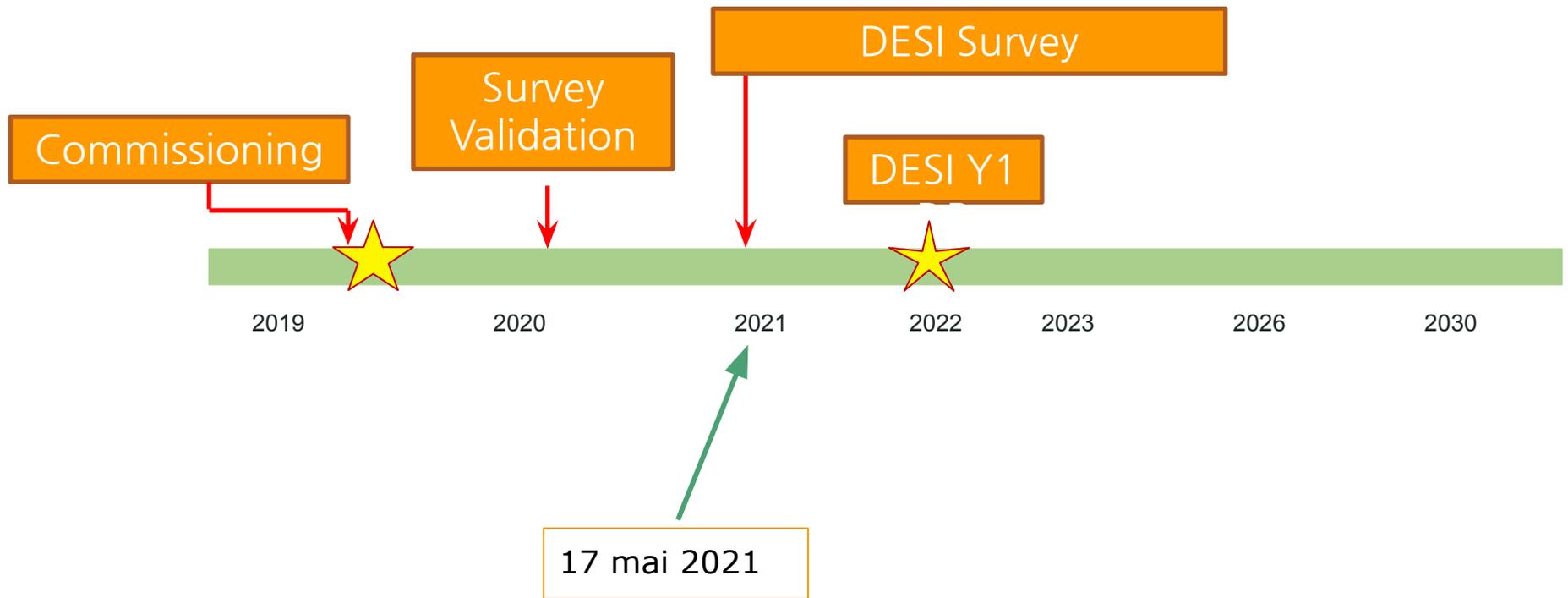


Mesure de l'échelle BAO isotrope à 0.3% jusqu'à $z=1.1$, 0.4% entre $1.1 < z < 1.9$

Mesure de H_0 à 1% entre $1.9 < z < 3.5$

Contrainte sur le taux de croissance des structures à qq % entre $0.6 < z < 1.6$

DESI: le planning



eBOSS - DESI: activités au LPNHE

- **Activités d'analyse:**

- Lyman-alpha BAO
- Clustering QSO, BGS

- **Activités techniques**

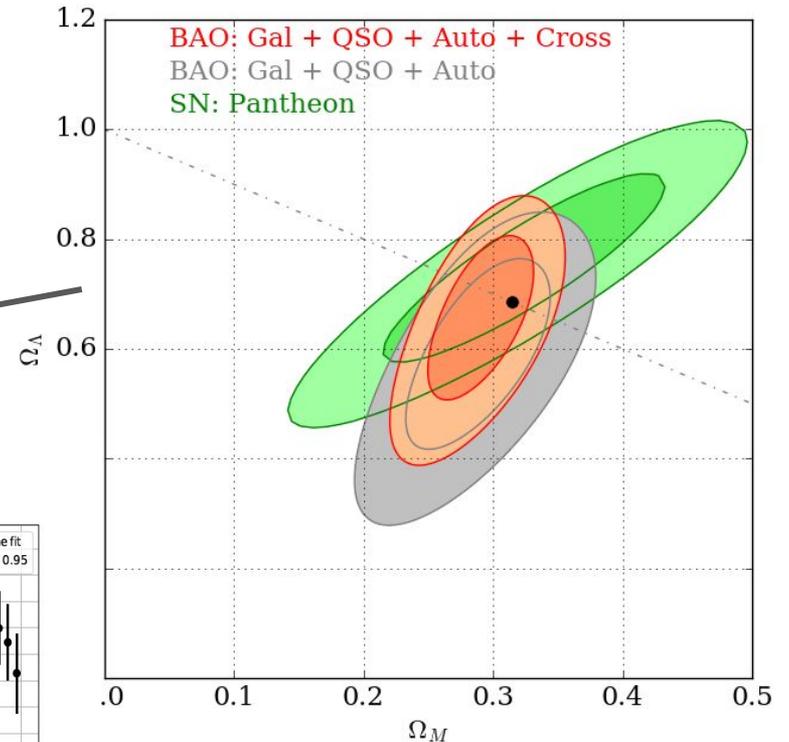
- Mesures de la transmission des spectrographes
- Système de calibration du télescope sur site
- Participation au développement software du pipeline DESI (pipeline spectro, redshifts)

eBOSS - DESI: activités au LPNHE

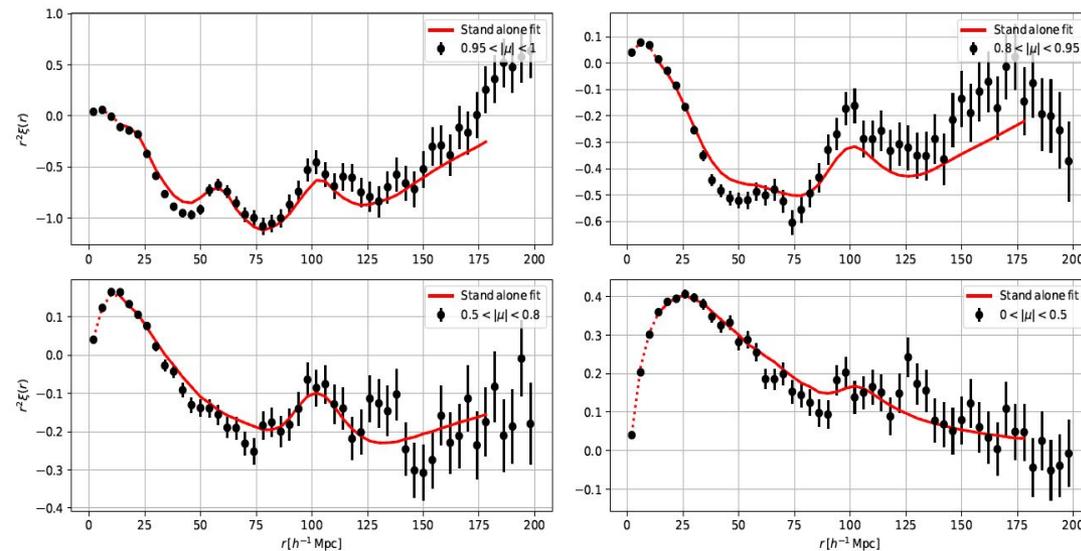
2017-2019: Analyses Lyman- α des données SDSS DR14 (eBOSS) à $z=2.34$

2019-2020: Analyses Lyman- α finale eBOSS données SDSS DR16 à $z=2.34$

-> Mesure de l'échelle de distance BAO à quelques pourcents
 -> Contraintes sur les paramètres cosmologiques en accord avec les valeurs de Planck pour un Univers Λ -CDM plat.



Ly α (Ly α)xLy α (Ly α)



Contraintes à $z = 2.34$ sur les paramètres cosmologiques (Ω_M, Ω_Λ) obtenues, à partir des données BAO. Ces contraintes sont compatibles avec un univers plat et en bon accord avec les valeurs obtenues par Planck pour un univers Λ -CDM plat.

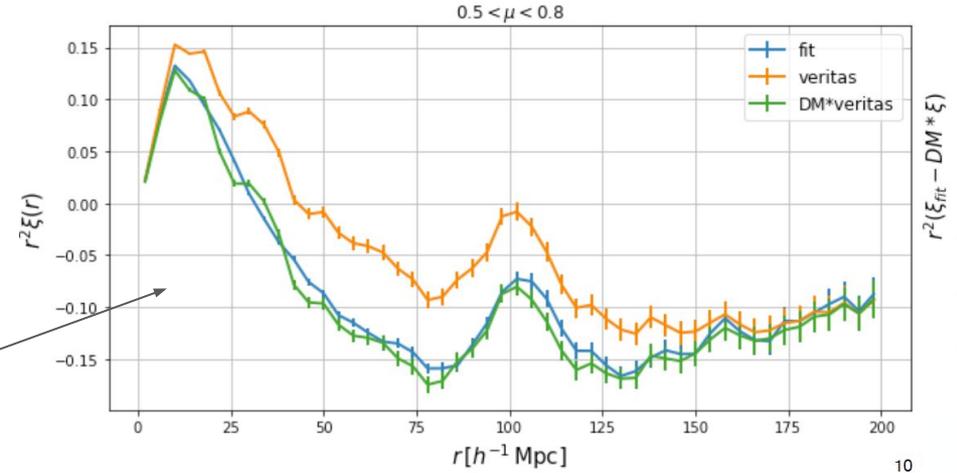
de Sainte Agathe et al (2019)

eBOSS - DESI: activités au LPNHE

2020-2021: Vers DESI

Préparation des analyses BAO
lyman-alpha pour DESI:

- Développement d'algorithmes de classification des QSO
- Développement du code d'analyse BAO avec les absorptions lyman-alpha
- Etude fine des systématiques de l'analyse
 - développement et analyse de mocks
 - étude de la distorsion introduite par l'ajustement du continu des spectres QSO
 - impact des contaminants (métaux, systèmes à haute densité de colonne)

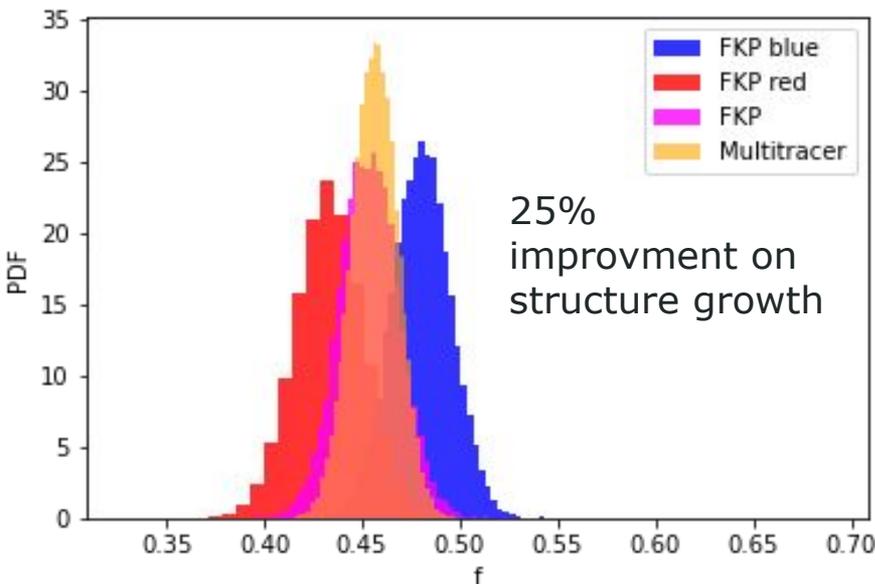
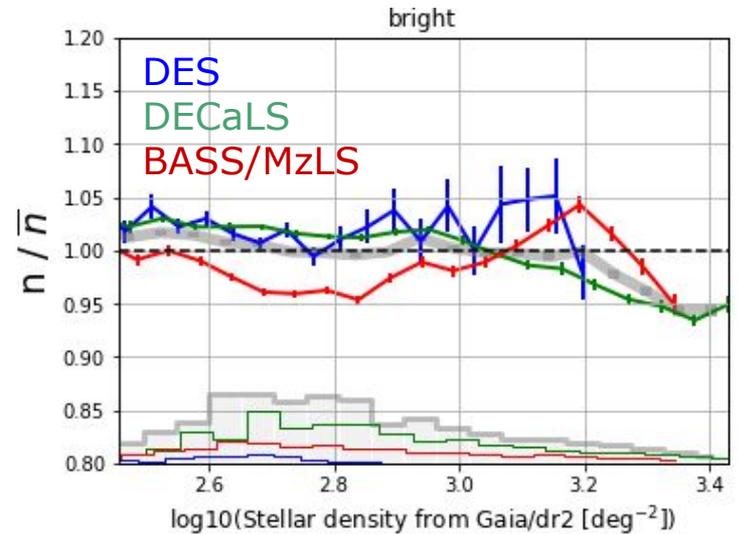


Thèse Julianna Stermer

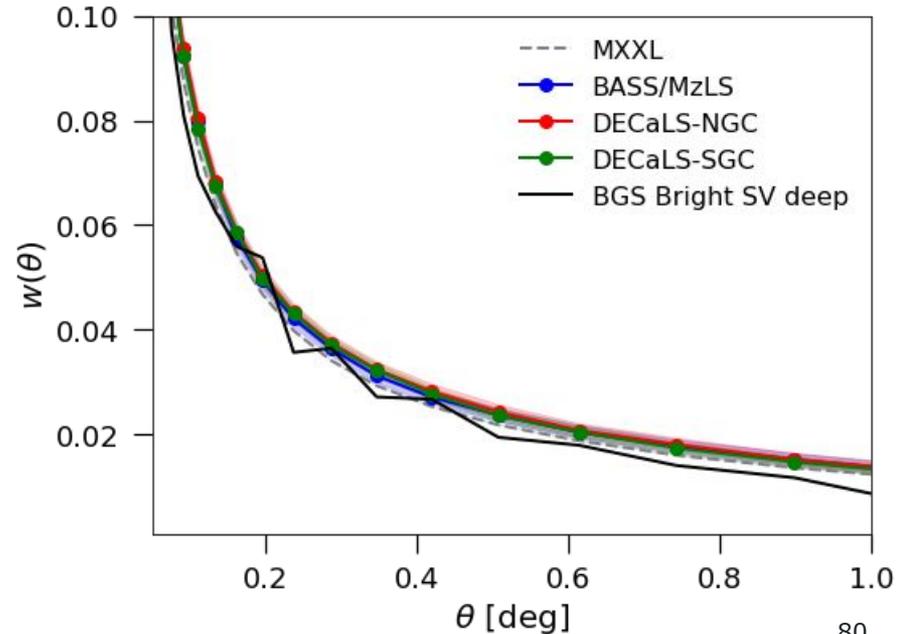
DESI: activités au LPNHE

Analyse galaxies:

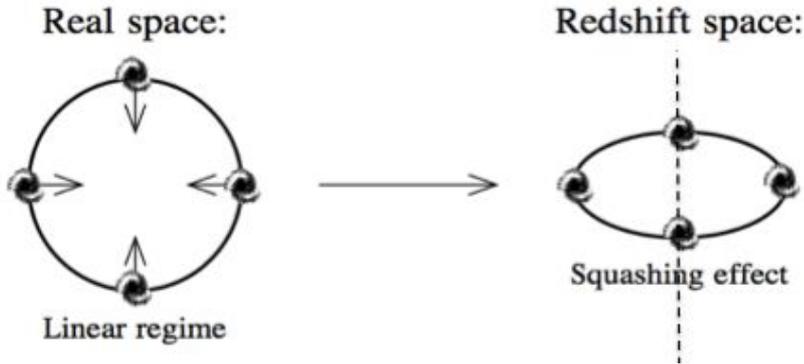
- Implication dans l'analyse des BGS (depuis la sélection des cibles jusqu'à la préparation des analyses cosmologiques)
 - Sujet de these : analyse multi-traceur
- Participation au Survey Validation
- Coordination de l'analyse Full-Shape DESI 1yr



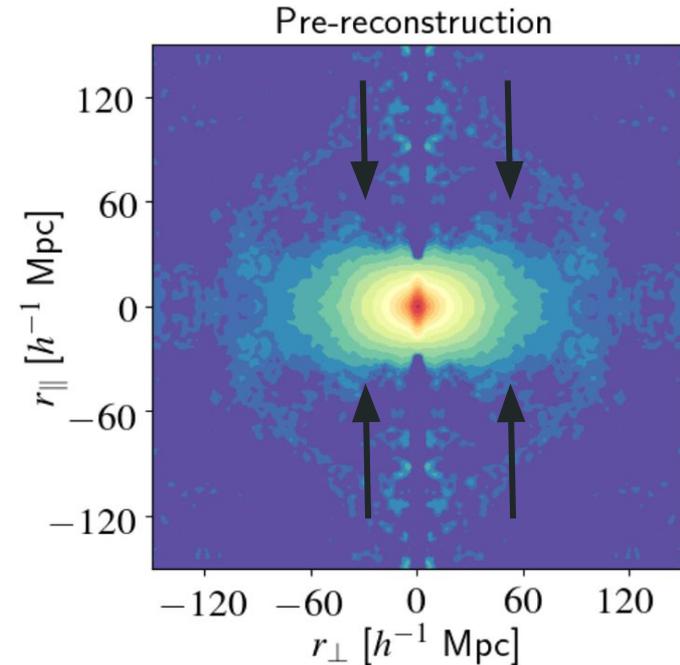
Credit: Svyatoslav Trusov (PhD candidate)



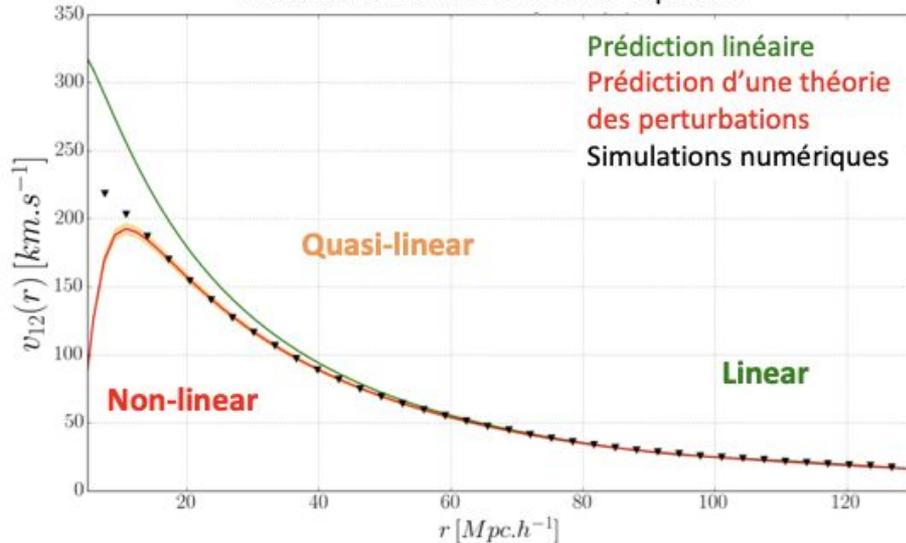
Redshift Space Distortions



Bautista+ 2020



Vitesses d'effondrement entre 2 quasars



Zarrouk+ 2018

A partir de l'information sur la vitesse propre des galaxies, mesure du **taux de croissance des structures**:

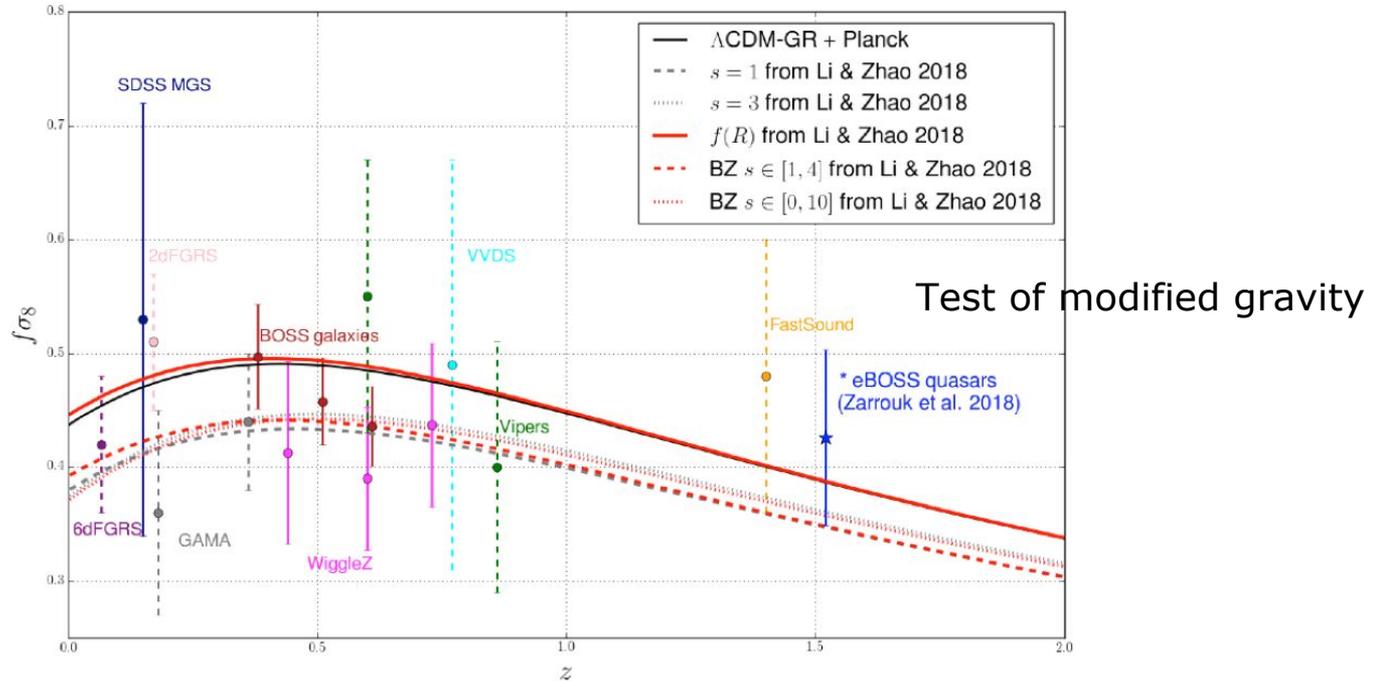
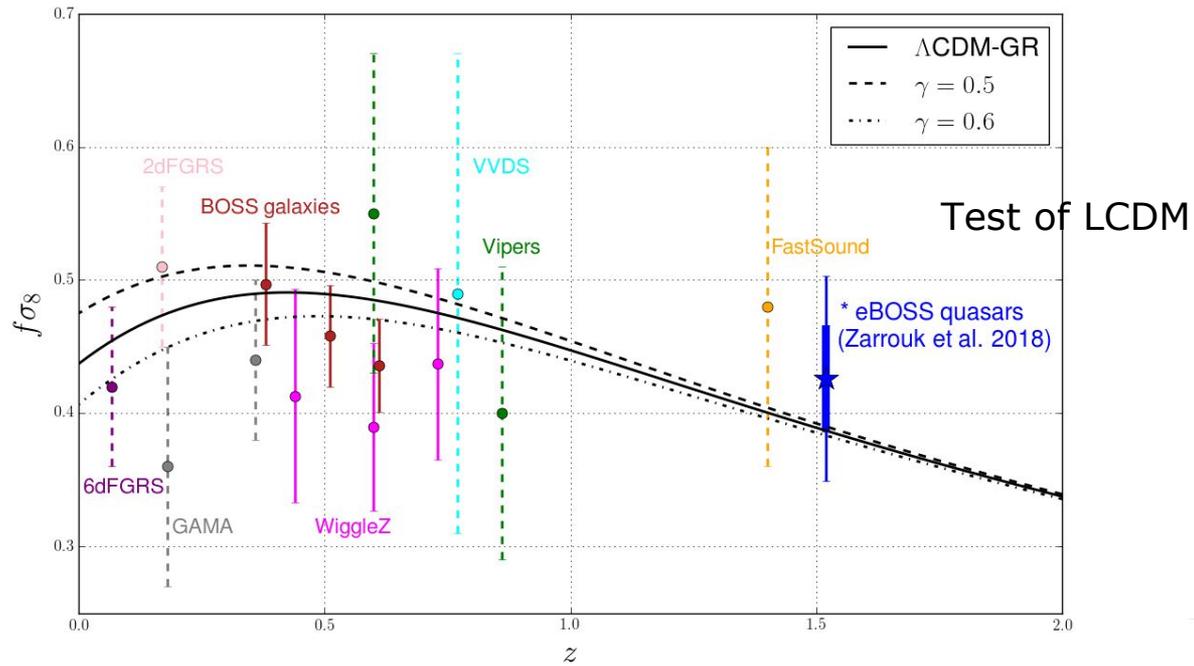
$$f(z) = [\Omega_m(z)]^\gamma$$

Test de la relativité générale ($\gamma=0,55$)

Contrainte sur l'énergie noire w

Contraintes sur les modèles de gravité modifiée

$$f \sim \Omega_m^{\frac{3(1-w_{DE})}{5-6w_{DE}}}$$



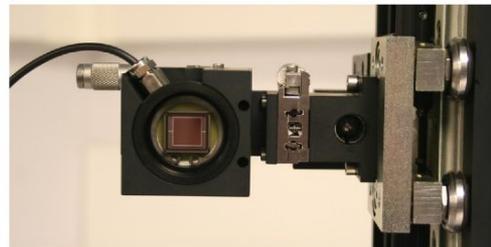
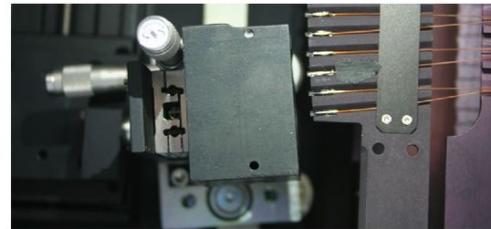
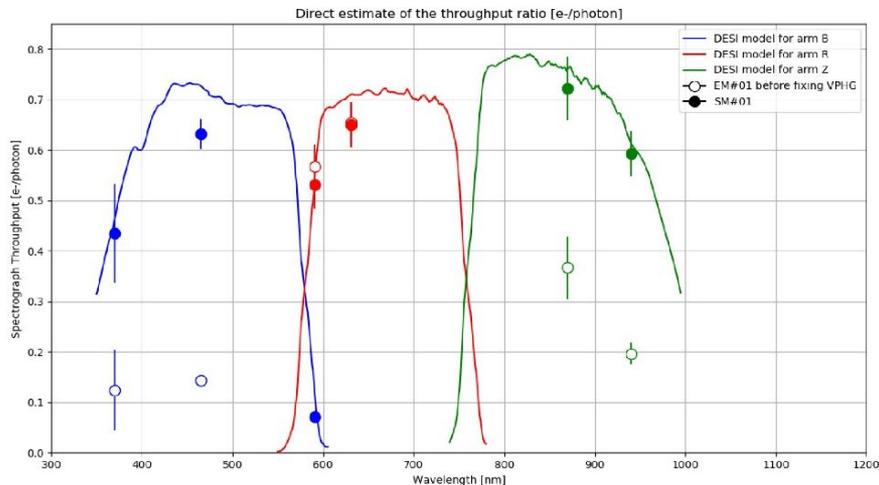
Zarrouk+ 2018
+ These

DESI Activités techniques au LPNHE

DESI : Tests des 10 Spectrog. : Transmission

Participation aux tests de validation des spectrographes chez Winlight Systems (resp. **OHP** : P.-E. Blanc et al.) : **Mesure de Transmission**

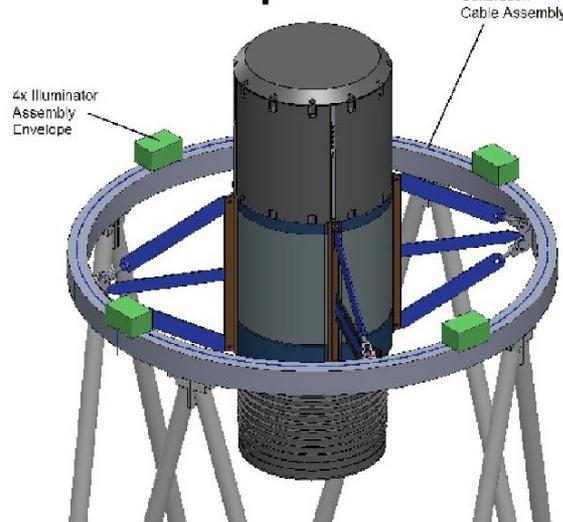
- Développement d'un **instrument dédié** : **mesure absolue du flux injecté** dans le spectrographe **en sortie des fibres**, intégré au banc de tests OHP. Mesures sur place pour les 10 spectrographes (LLG, 2017-2019).
- Détermination de la **transmission** en établissant le ratio **flux collecté sur les CCDs / flux injecté mesuré**, pour 6 longueurs d'onde (6 LEDs).
- **Détection d'une grave erreur de montage optique** (inversion VPHG) sur le premier spectrographe (transmission très faible). Validation 10 spectros.



DESI Activités techniques au LPNHE

DESI : Système de Calibration *in-situ*

- **Système d'illumination** pour l'ensemble du plan focal de DESI : **Grand écran Lambertien** , fixé à la coupole (diam. 5m, 40000\$)
- Nécessité d'une **calibration en longueur d'onde** sur 350 – 1000 nm : Combinaison de **lampes spectrales** : Hg(Ar), Kr, Ne, Xe, Cd
- **Uniformisation** du plan focal : « flats » pour une bonne soustraction de la contribution du ciel (fibres dédiées) : **lampes de continuum** : halogènes, comb. de LEDs maison.
- **Conçu, fabriqué, testé au LPNHE, installé Mayall (2019).**
- **Calibration quotidienne de DESI pour les 5 ans du survey.**



Conclusion

Les **BAO** sont une observable majeure de la physique de l'**Energie Noire**

- faibles systématiques
- mesure de l'histoire de l'expansion à haut redshift

Il y a aussi beaucoup d'autres informations cosmologiques dans l'ensemble du signal de clustering (**full-shape**), notamment la **croissance des structures**

→ **Test direct de la gravite**

Implications du groupe du LPNHE dans DESI:

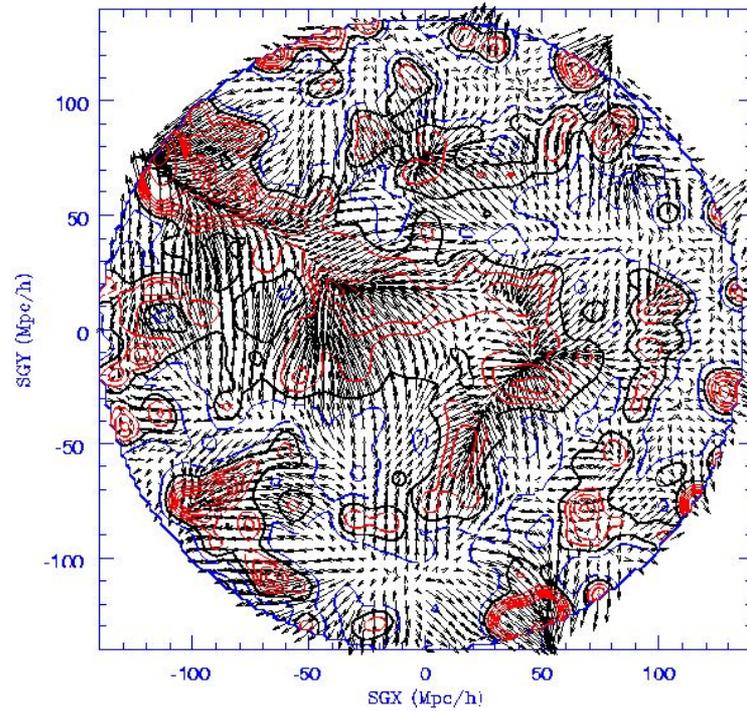
- participation technique importante au projet (système de calibration, caractérisation 10 spectros)
- grande visibilité sur les analyses Lyman-alpha
- impliqués dans plusieurs DESI Year 1 key projects (dont Lyman alpha BAO, full shape analysis, cosmologie)

Vers DESI-II à partir du milieu de la décennie ? ou MSE ? ou MegaMapper ?

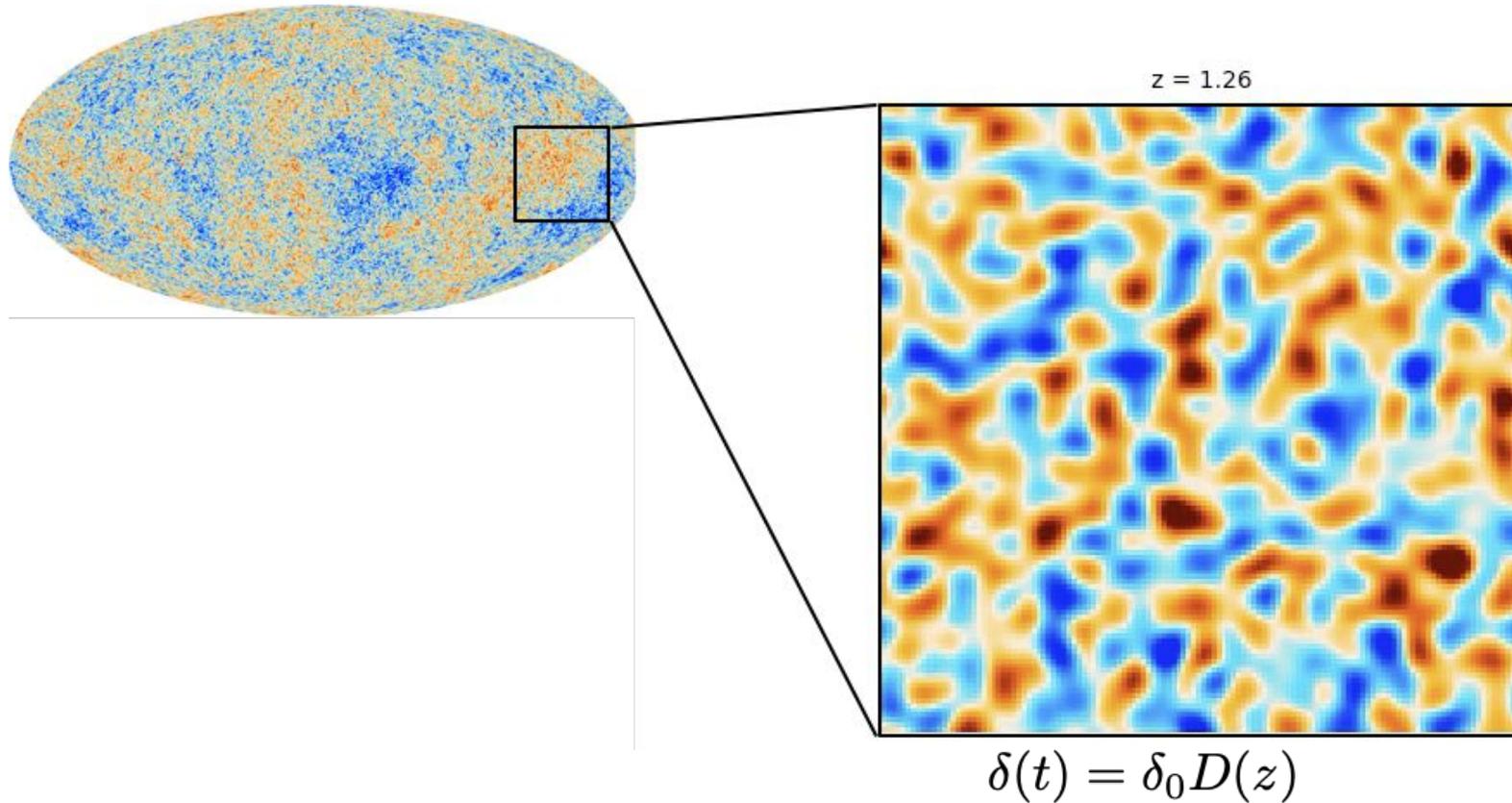
Conclusion & Discussion

Backup slides

Peculiar velocities



Linear growth of structures



We can't directly probe $D(z)$ because of the galaxy bias

Linear growth of structures

$$\frac{d\rho}{dt} + \vec{\nabla} \cdot \vec{v} = 0$$



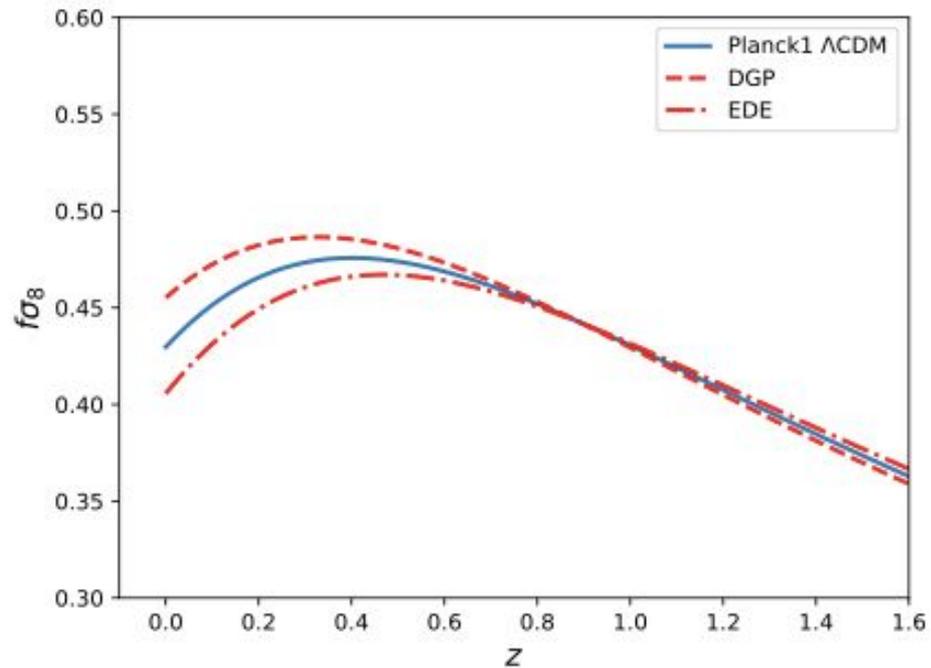
$$\vec{\nabla} \cdot \vec{v} \propto \frac{d \ln D}{d \ln a} D(z) \delta_0$$



$$\vec{\nabla} \cdot \vec{v} \propto f D \delta_0$$

(also called $f\sigma_8$)

Growth factor evolution : $f = \Omega_m(z)^\gamma$



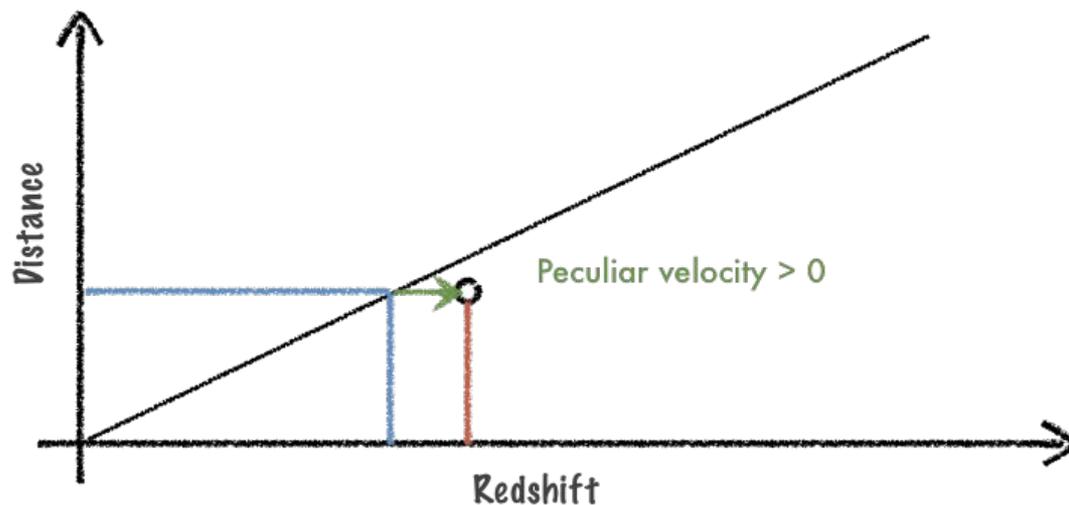
How to measure the growth rate?

Cosmological redshift

Radial peculiar velocity

$$1 + z = (1 + \bar{z}) \left(1 + \frac{v^r}{c} \right)$$

Observed redshift



How to measure the growth rate? Ex : RSD

$$1 + z = (1 + \bar{z}) \left(1 + \frac{v^r}{c} \right)$$

(1) Measure redshifts

$P^s(k)$

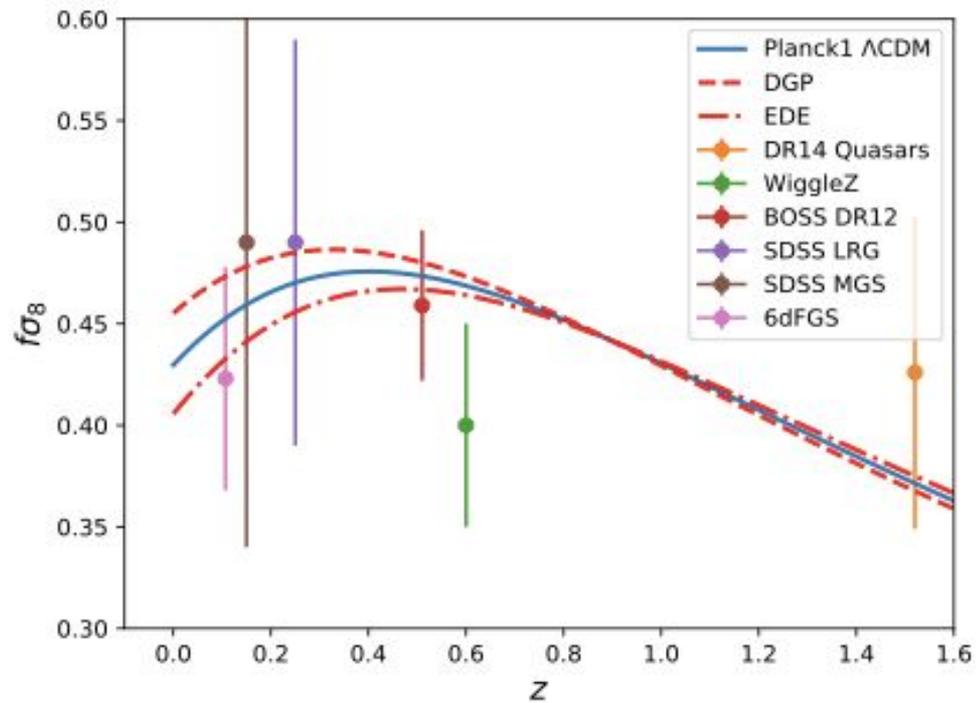
(2) Assume a statistical distribution for the distances

$P(k)$

(3) Deduce the statistical distribution for the peculiar velocities

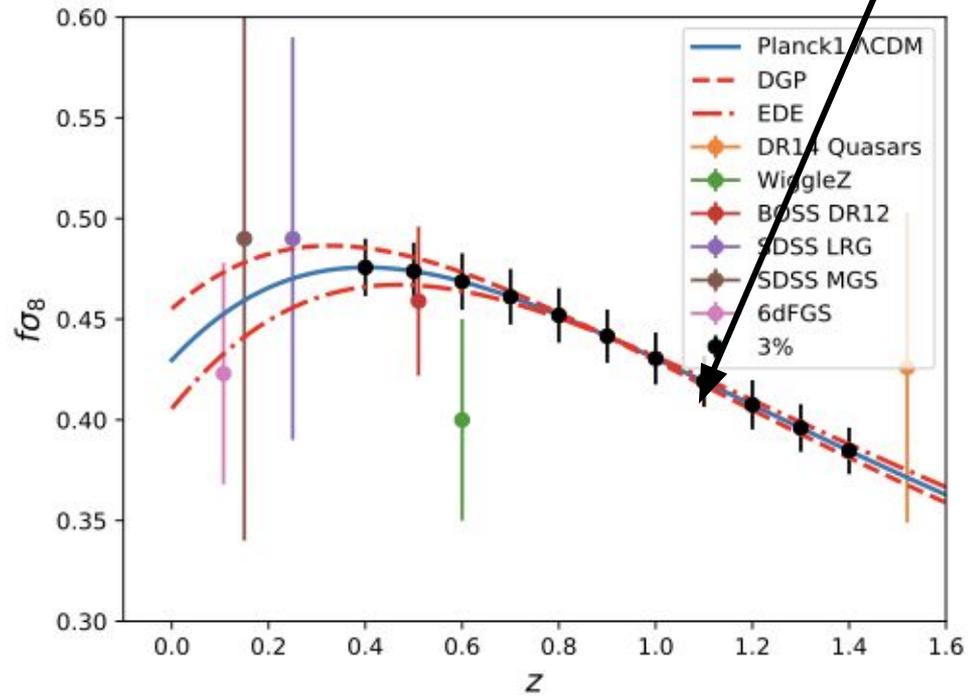
$f\sigma_8$

Growth factor evolution : $f = \Omega_m(z)^\gamma$



Growth factor evolution : $f = \Omega_m(z)^\gamma$

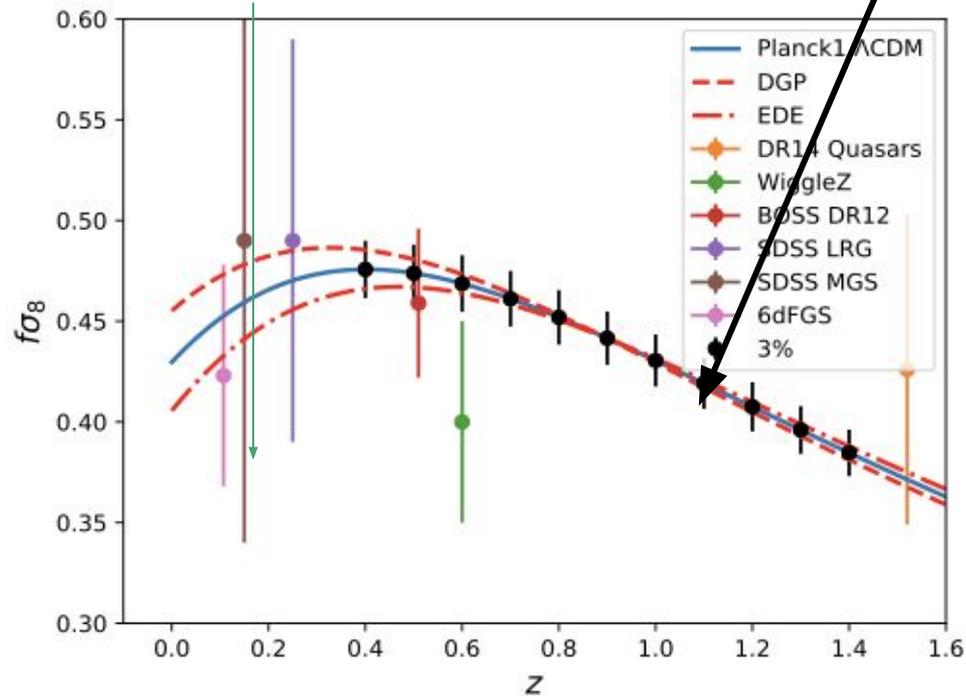
Ex : DESI



Growth factor evolution : $f = \Omega_m(z)^\gamma$

Goal : <5% at $z = 0.1$

Ex : DESI



How to measure the growth rate? Ex : SNe

$$1 + z = (1 + \bar{z}) \left(1 + \frac{v^r}{c}\right)$$

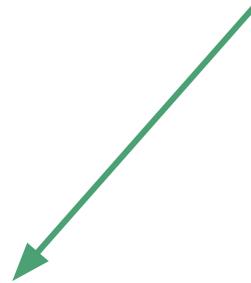
(1) Measure redshifts

(2) Measure distances with SNeIa

(3) Deduce the statistical properties of velocities

SNeIa sample both the velocity and overdensity field

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{v} \propto fD\delta_0$$



Peculiar velocity of SNe



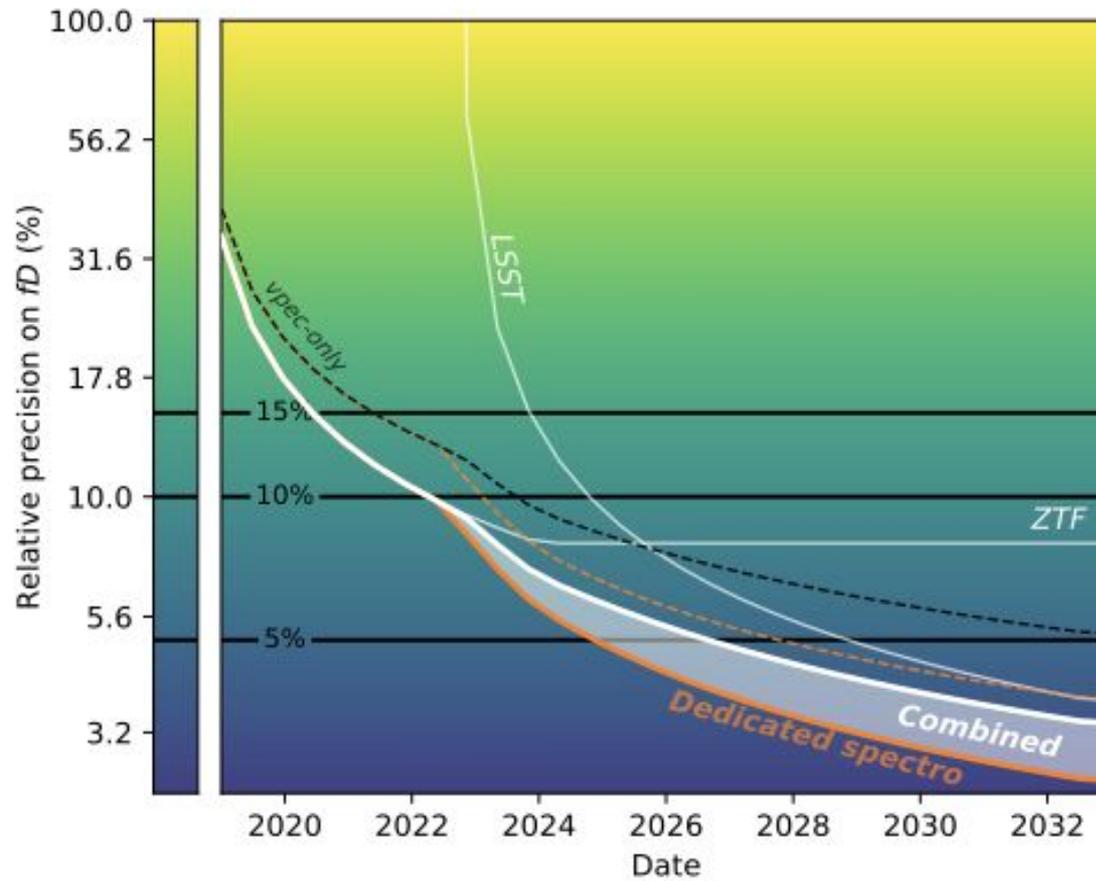
Spatial distribution of SNe

$$\langle vv \rangle \propto (f(z)D(z))^2$$

$$\langle nn \rangle \propto (b_{SN}D(z))^2$$

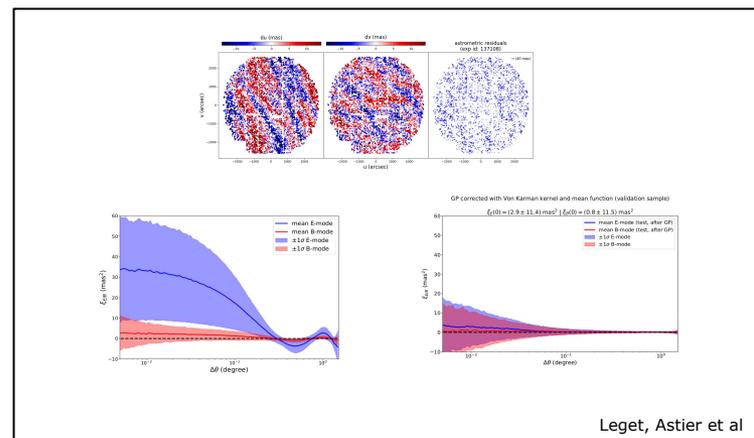
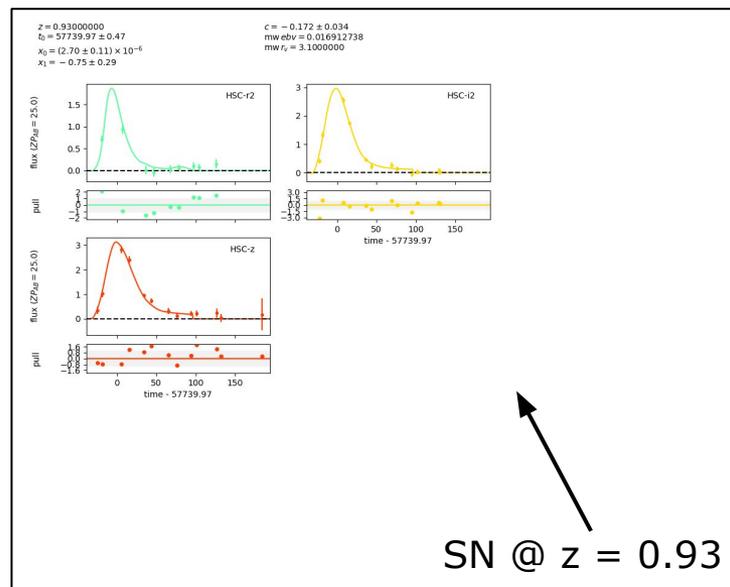
$$\langle vn \rangle \propto f(z)b_{SN}D^2(z)$$

Timeline



Subaru/HSC

- **Data taking**
 - Data taking is over (2 search seasons)
 - Need deeper references -> 2nd season
 - Redshifts for 30% of the sample
- **Developpement / upgrade**
 - Scene modeling pipeline
 - Instrument & sensor characterization
 - Progress on astrometry
 - Release calibrated light curves
- **Sample**
 - O(250) SNe @ $z < 1$ with good lightcurves
 - 45 SNe @ $z > 1$, with 1 HST visit
- **Early release of SNe with redshifts (2021)**
- **PFS@Subaru will provide the remaining redshifts (2022)**



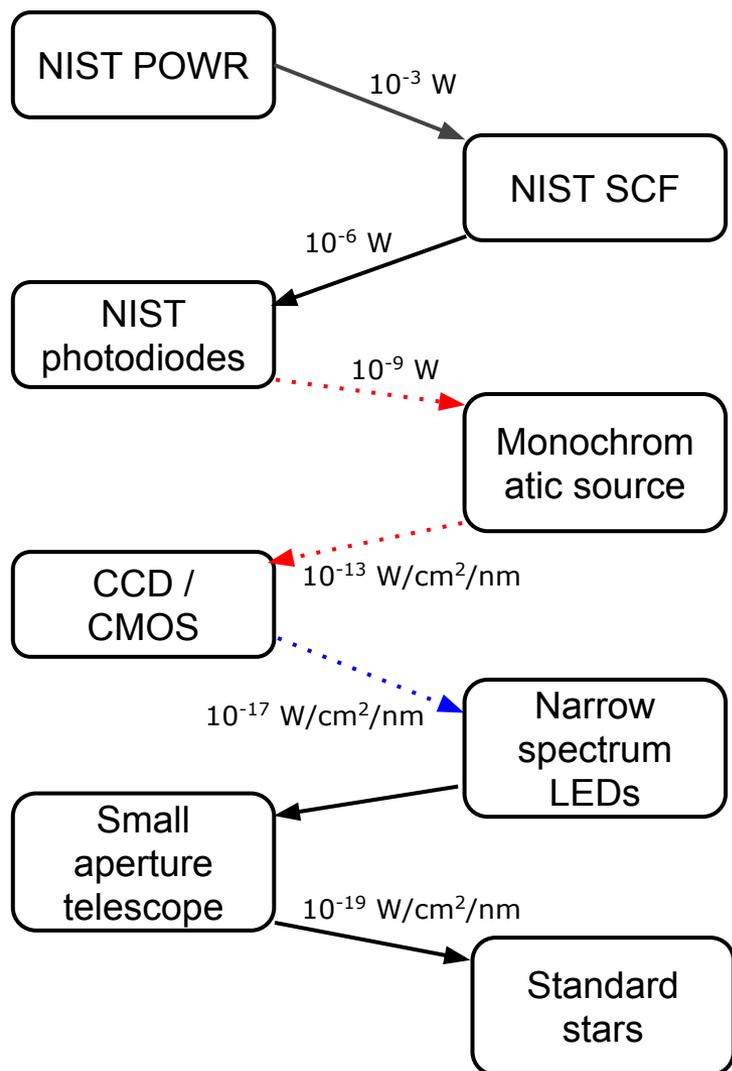
Regnault, Saunders,
 Antilogus, Astier, Betoule,
 Baumont, Bongard, Leget
 et al

Roadmap

- Roadmap towards LSST was presented before
 - the LPNHE scientific council (2015)
 - the IN2P3 scientific council (2015)
- And later (re-)formalized for the IN2P3 prospective exercise
 - (Regnault et al, 2019)
- Subaru/HSC + ZTF(I+II) have the potential to produce the best measurement of w by LSST first light
 - just because they sample the right redshift range
 - good prefiguration of LSST nearby and deep samples
 - demonstration of ground-space complementarity
 - test bench to develop and demonstrate calibration techniques

No scenario for nearby SN sample at that time

starDICE



- **Implement a flux metrology chain**
 - From NIST photodiode(s)
 - To standard stars
- **Chain includes**
 - 2 optical benches
 - 1 narrow spectrum stable source
 - 40-cm aperture telescope
 - 1 camera
 - 1 NIR camera
 - 1 narrow band source (CBP)
- **Phase I over** (20 nights, 1% accuracy)
- **Phase II starts in 2021**
 - 0.1% target accuracy
 - 200 nights, cloud monitoring
 - new, fainter, source
 - new telescope + camera

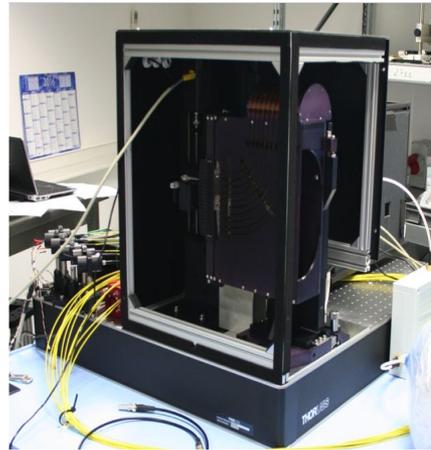
DESI

2016-2019 Responsabilités techniques pour DESI:

- Spectrographes de DESI: mesure de la transmission des 10 spectrographes
- Calibration spectroscopique de l'instrument: conception et fabrication

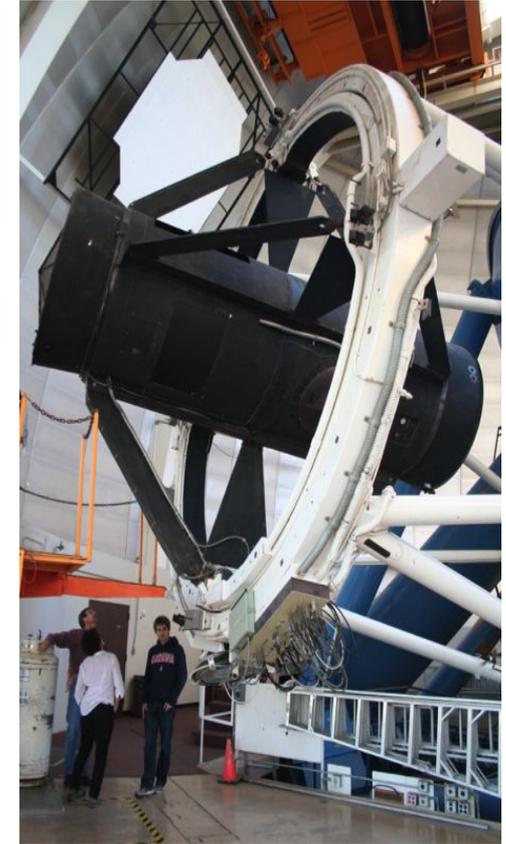


Dispositif conçu au LPNHE pour la mesure de la transmission des spectrographes de DESI



Au Mayall: une des 5 boîtes de lampes de calibration conçues et fabriquées au LPNHE

Mise en oeuvre à WinLight



2015-2018: Responsabilités dans le processing des données pour DESI:

Responsabilité de la production du code de redshift de DESI

Responsabilité de la partie redshift des catalogues simulés pour les analyses de DESI

2019-2021 Participation à l'analyse des données de validation du survey et des premières données de DESI

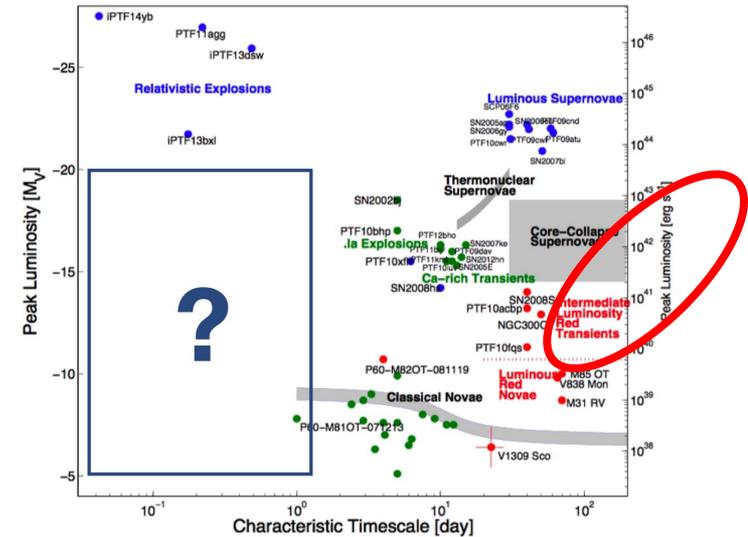
Production et analyse de catalogues simulés

Analyse auto-corrélation Ly- α

Analyse BAO/RSD galaxies

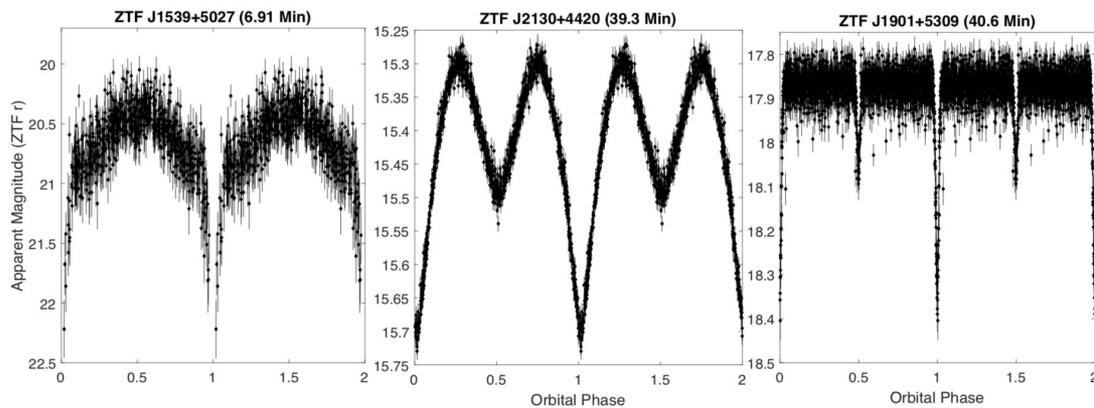
Fast and rare transients (but not only)

- Primary science goal
 - Fast & rare transients
- But ZTF is also an ideal SN Ia discovery & follow-up facility
 - LSST-like rolling survey of the full northern sky
 - ZTF phase-I (3 years)
 - 3891 SNe
 - 2386 SNe Ia
 - Plus other types ...



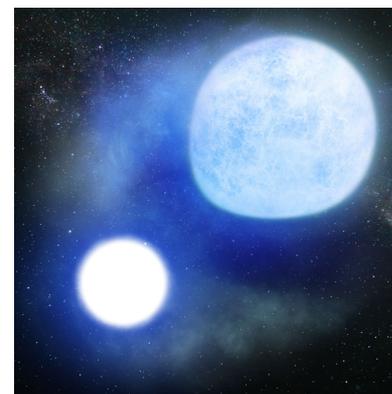
SN Ia	SN II	SN Ib	SN Ic	Ib/c	Ic-BL	SLSNe
2386	931	88	89	18	35	128

Example: Ultra compact binaries

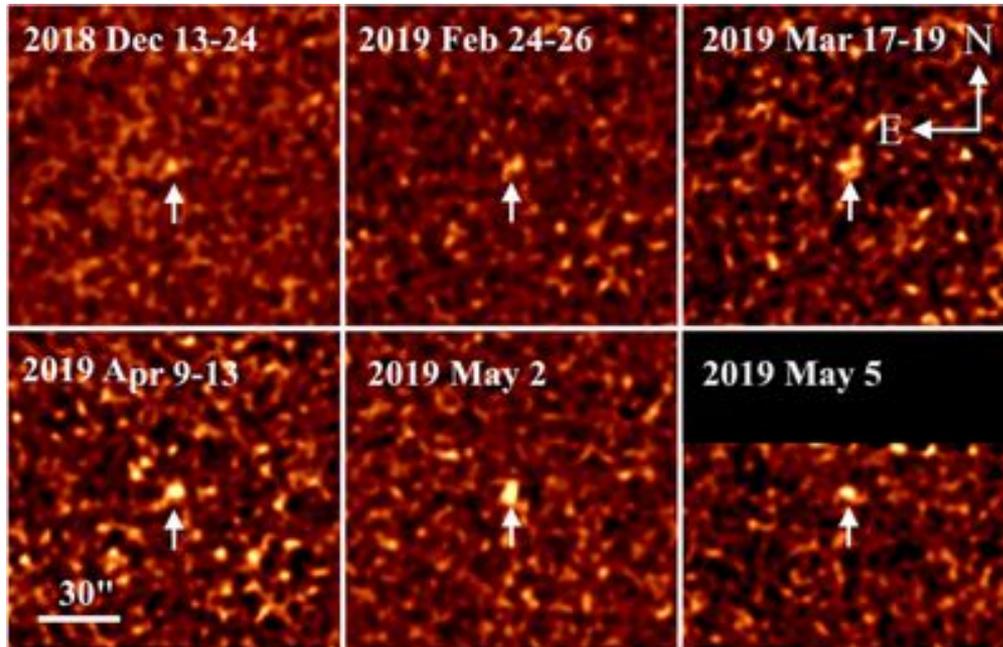


Ultra compact binaries

Potential sources for LISA



Solar system bodies



Ye et al, 2020

E.g. interstellar comets / objects

Killer asteroids.

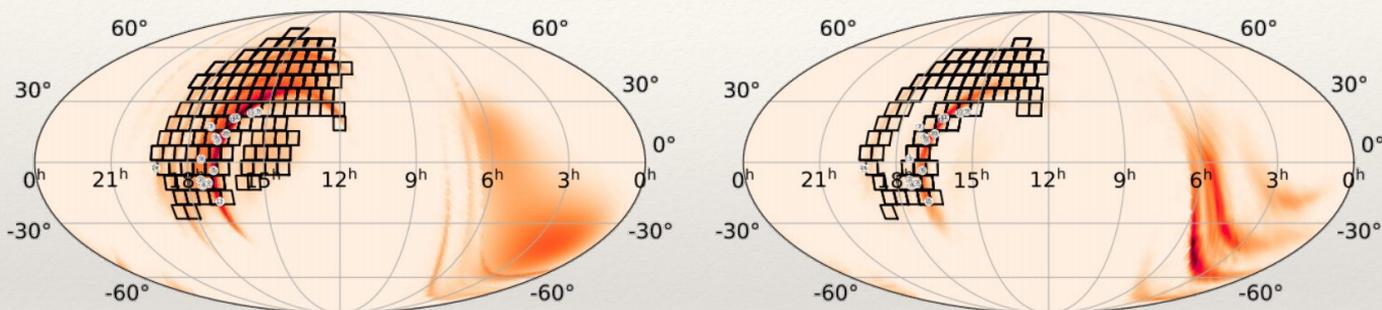
Follow-up of GW events

Coughlin et al. 2019

single detector event

Quick pipeline contours | 8000 deg²

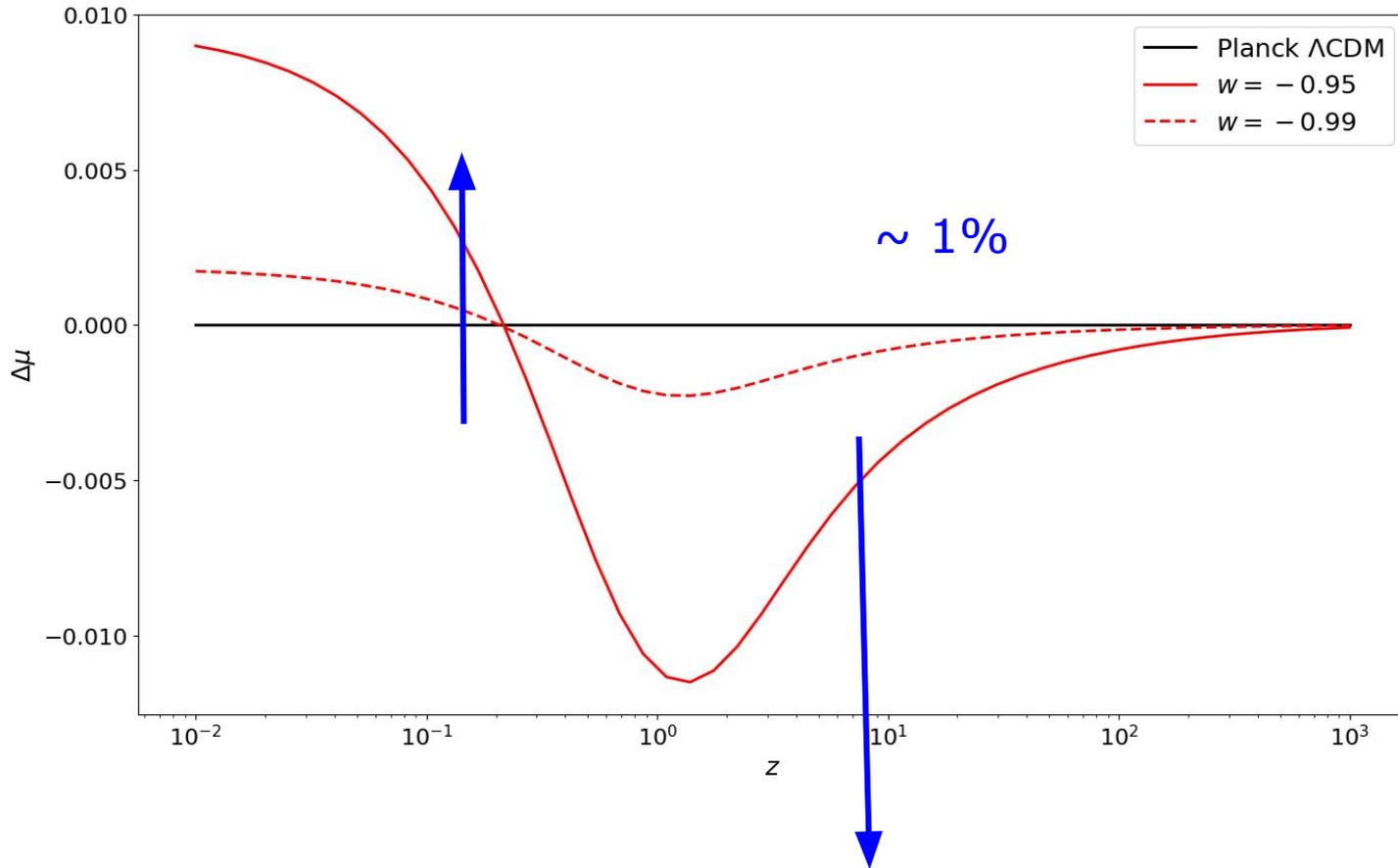
Final contours



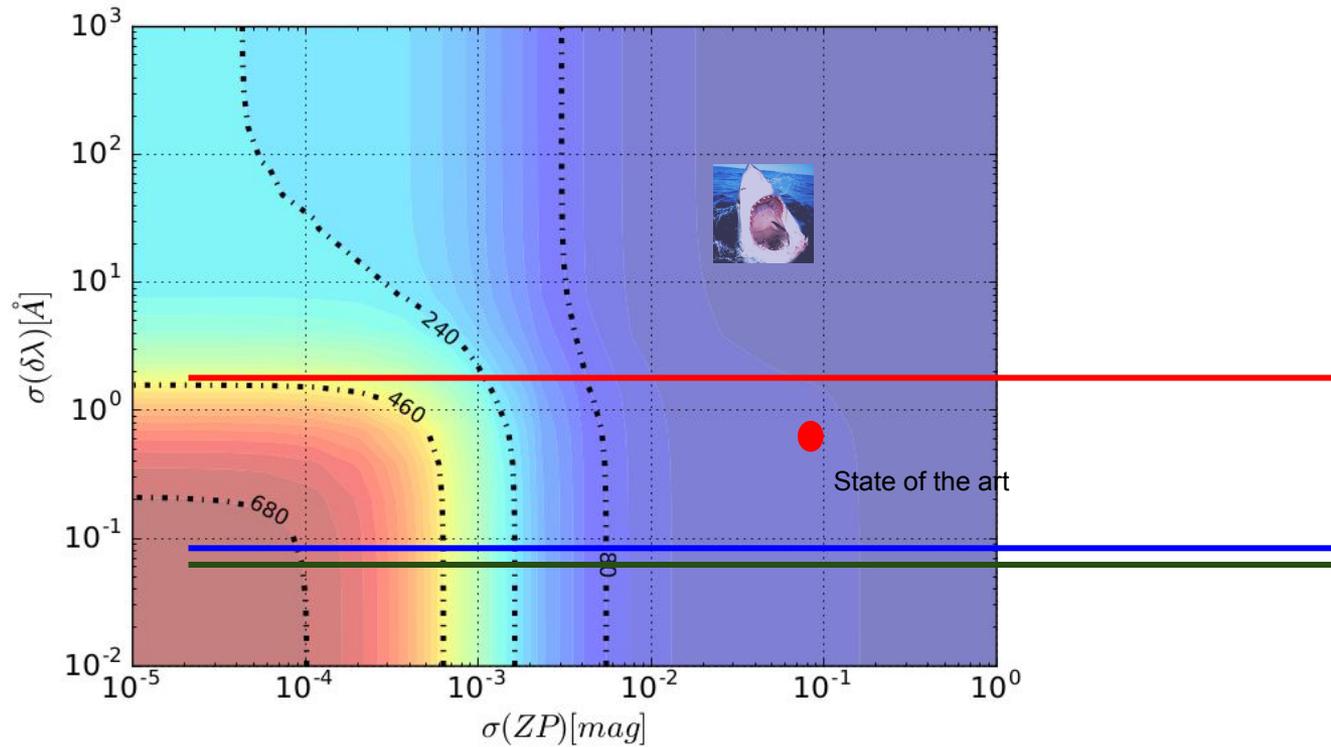
ZTF scanned 46% of confidence area in 3 hours in 2 bands (25% observing time used)

338 646 alerts 15 candidates counterparts 2 particularly interesting All Supernovae...

This is a precision measurement...



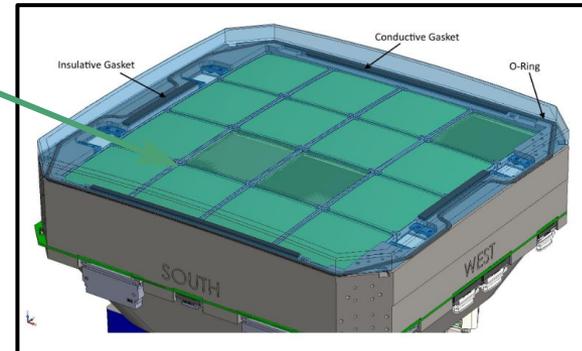
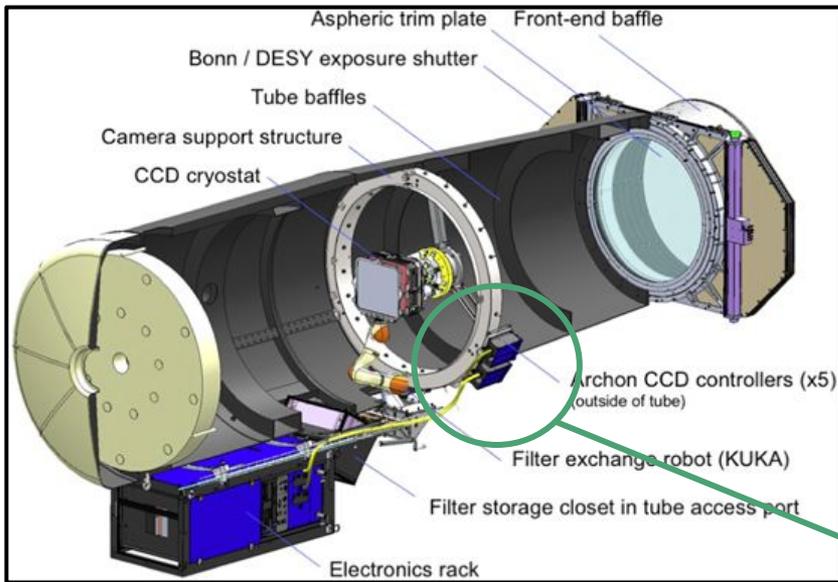
Calibration requirements for LSST



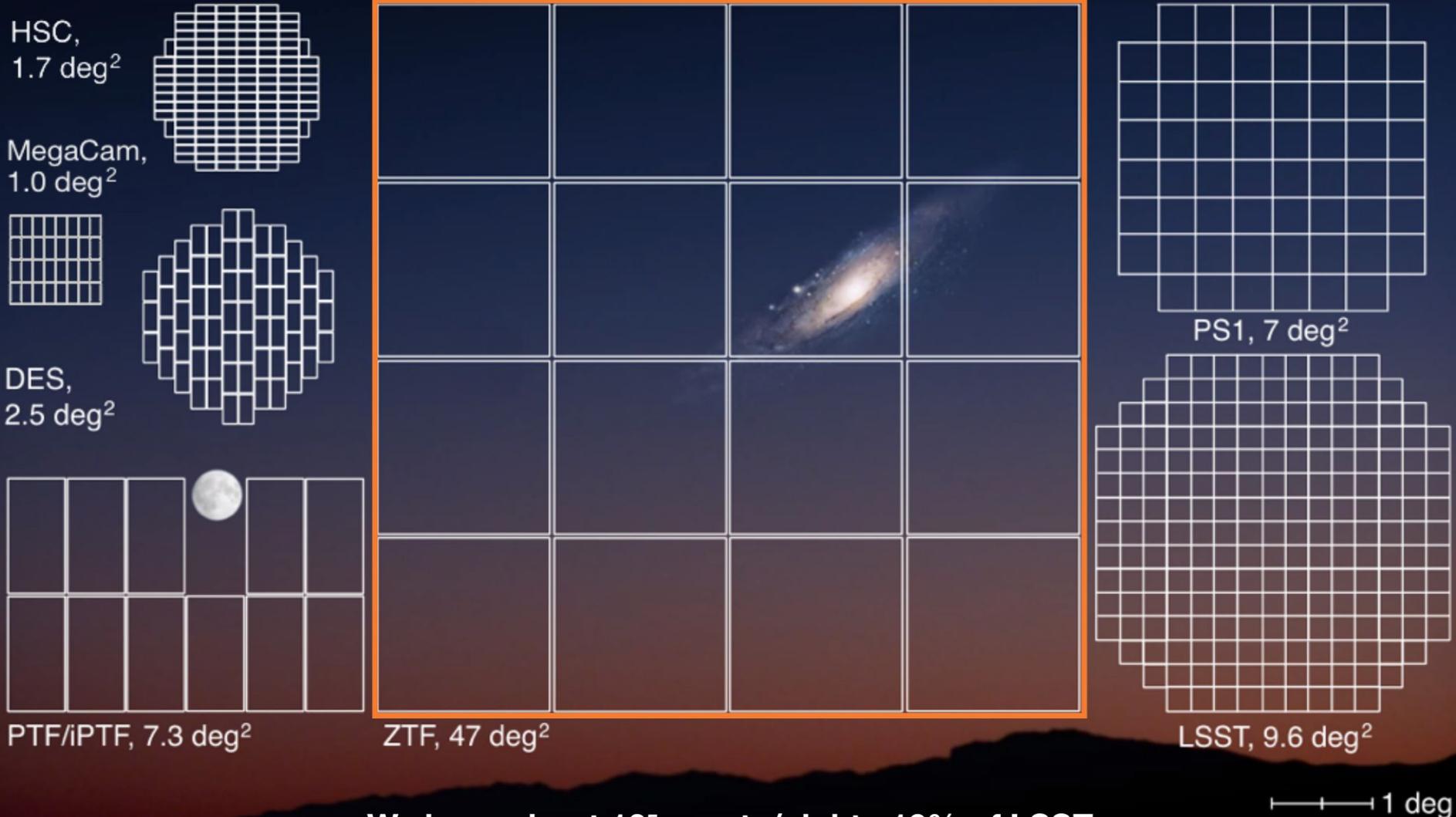
48" Schmidt telescope @ Palomar



ZTF imaging system



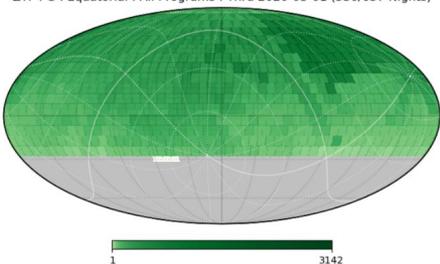
ZTF | Fast (30s exp.) & Large (full visible sky)



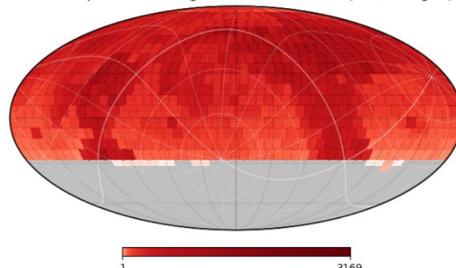
We have about 10^5 events/night ; 10% of LSST

Survey of the full northern sky

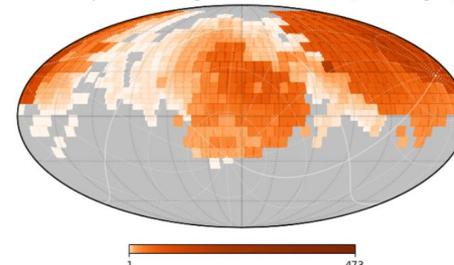
ZTF : G : Equatorial : All Programs : Thru 2020-03-01 (530/657 Nights)



ZTF : R : Equatorial : All Programs : Thru 2020-03-01 (542/657 Nights)

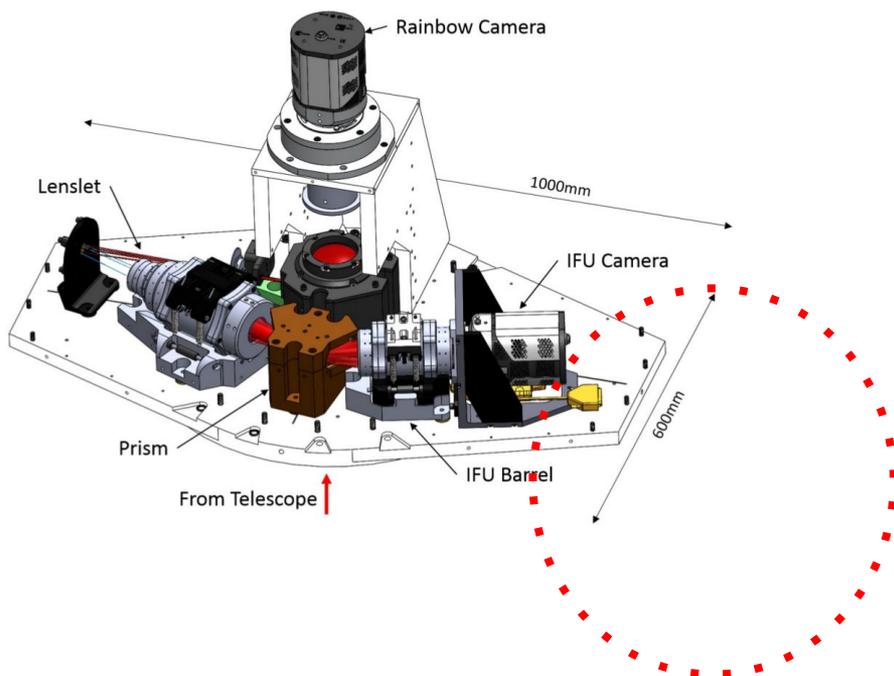
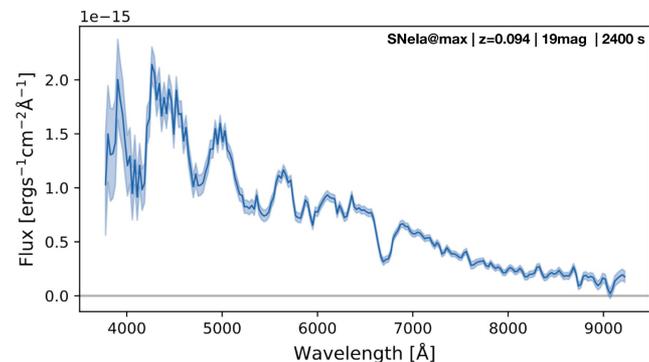
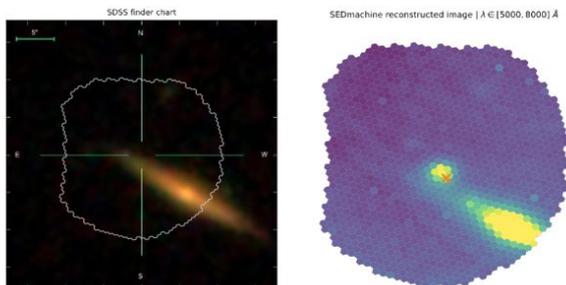


ZTF : I : Equatorial : All Programs : Thru 2020-03-01 (273/657 Nights)



- 3 bands
 - g,r & I
- “MSIP” survey
 - LSST-like survey of northern sky in g & r (2-3 day cadence)
- Partnership survey
 - High cadence observations of 10% of the sky (5-6 visits/night)
 - I-band observations of 50% of the sky (~5 day cadence)
- + other partnership programmes (solar system, ToO monitoring of GW events ...)

ZTF-SEDM : dedicated low-res spectrograph



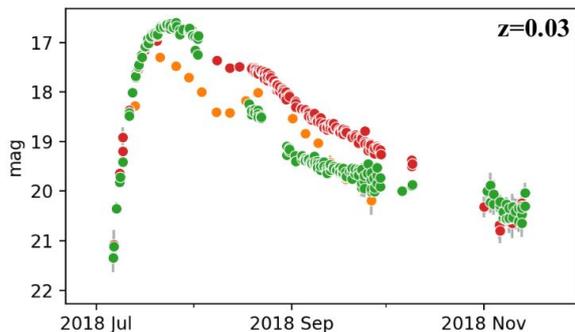
- **Integral field spectrograph**
 - 28" x 28" FoV
 - R ~ 100
- **Automated pipeline** (Rigault et al, 19)
- **Typing efficiency**

<17.5 mag	<18.5 mag	<19 mag
99%	94%	89%

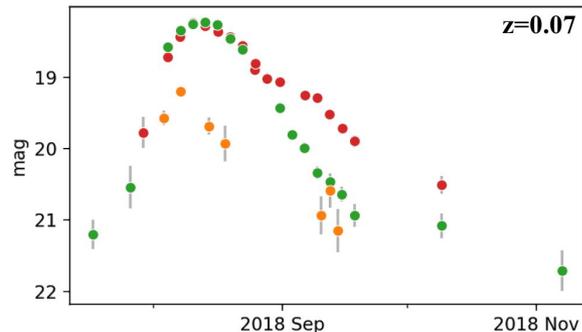
Rolling SN survey

- **Movie of the full northern sky** with a 2-day cadence
- **Same exposures to detect and follow-up transients**
 - Like SNLS, SDSS, PS1, DES, Subaru, LSST
 - Unlike early SN surveys, SNfactory, PanSTARRS/Foundation
- **SN caught early** (rising part of LC well sampled)
- **Better efficiency** (easy to determine)

HIGH-CADENCES

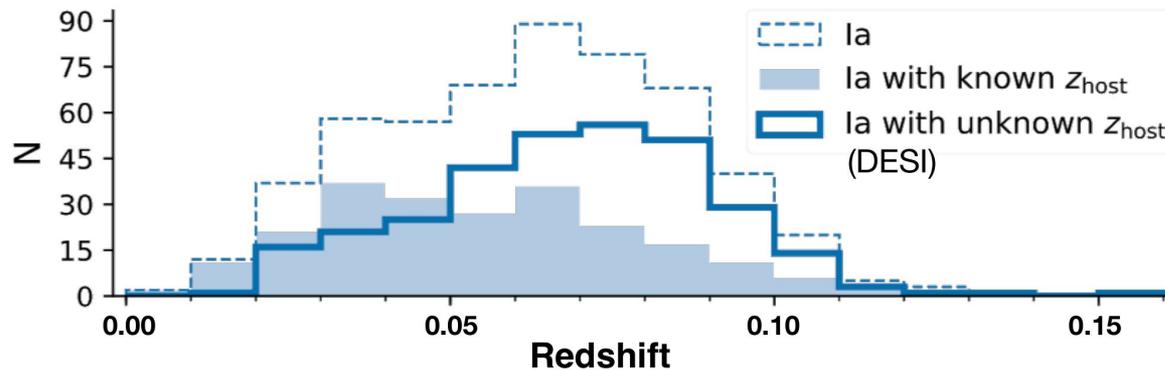


"3 DAYS CADENCE"



Host redshifts

- **SEDm resolution too low** to secure redshifts from host galaxy lines
- **BUT**
 - $\sim 40\%$ of SNe happen in galaxies of known redshift
 - deal with DESI to observe all ZTF-I transient hosts
 - 95% of hosts will be in DESI bright galaxy sample (2025)
 - Active discussions with DESI \rightarrow ZTF-II host galaxy observations.



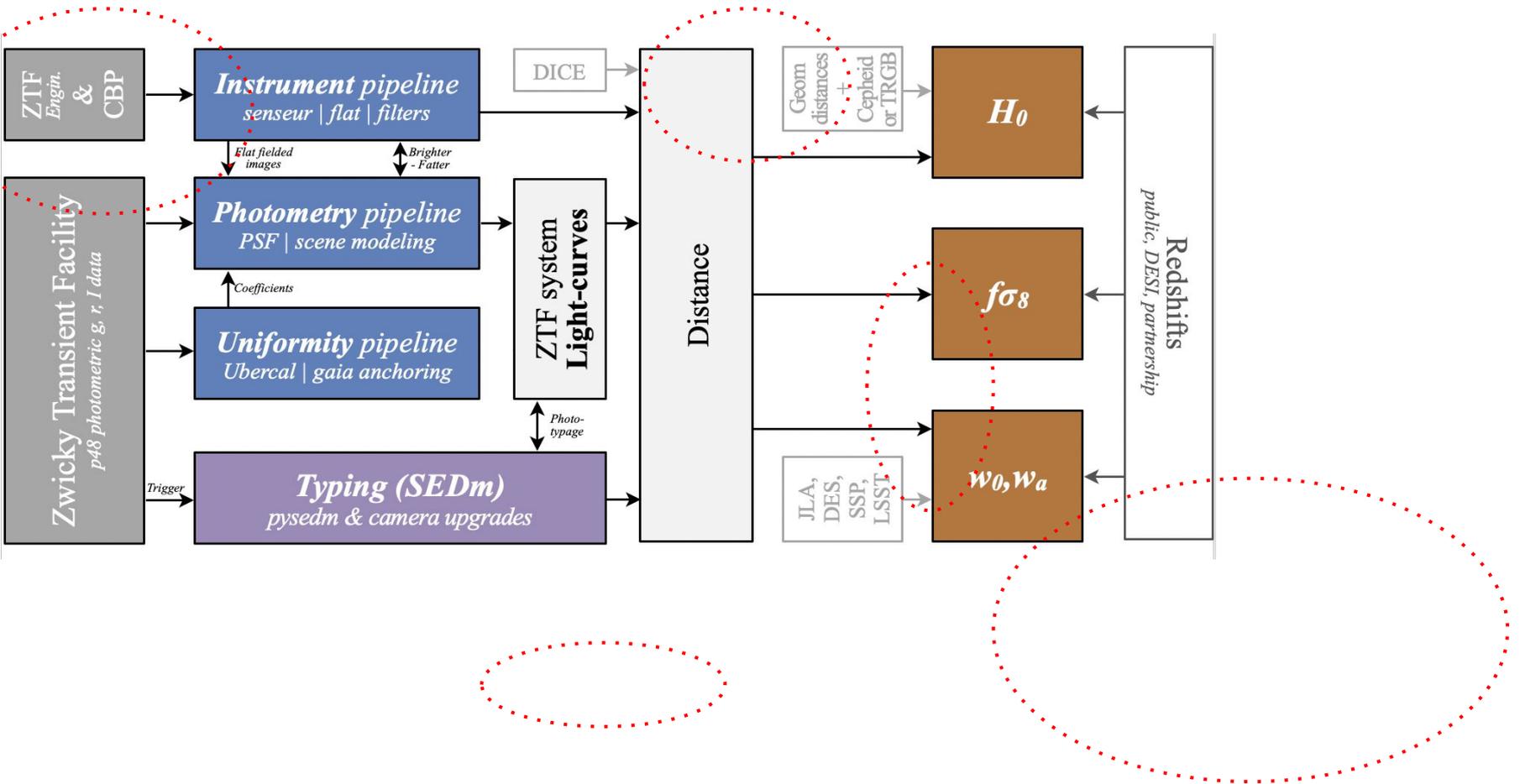
Structure of the ZTF-II collaboration

- Main survey aka "MSIP"
 - Funded by NSF
 - 50% of telescope time
 - 2 day cadence in g,r
- Partner survey
 - I-band, high cadence survey(s) + PI programmes
 - Major Partners (200k€/year)
 - Minor Partners (100k€/year)
- To have an impact on
 - cadence / data taking strategy
 - engineering data
 - ... one needs to join as a major Partner

The IN2P3 participation group

- 2018 - now : M. Rigault (IP2I) + PhD + Pdocs (“Associate Partner”)
- Opportunity to
 - Set up a “IN2P3 participation group”
 - enter ZTF-II as “major Partners”
- ZTF I/II has not strong requirements on calibration
 - current ZTF SNIa sample has little weight in Hubble diagram
 - opportunity to turn the SNIa sample into Hubble grade SNe
 - calibration anchored on starDICE
 - improve instrument characterization (passbands)

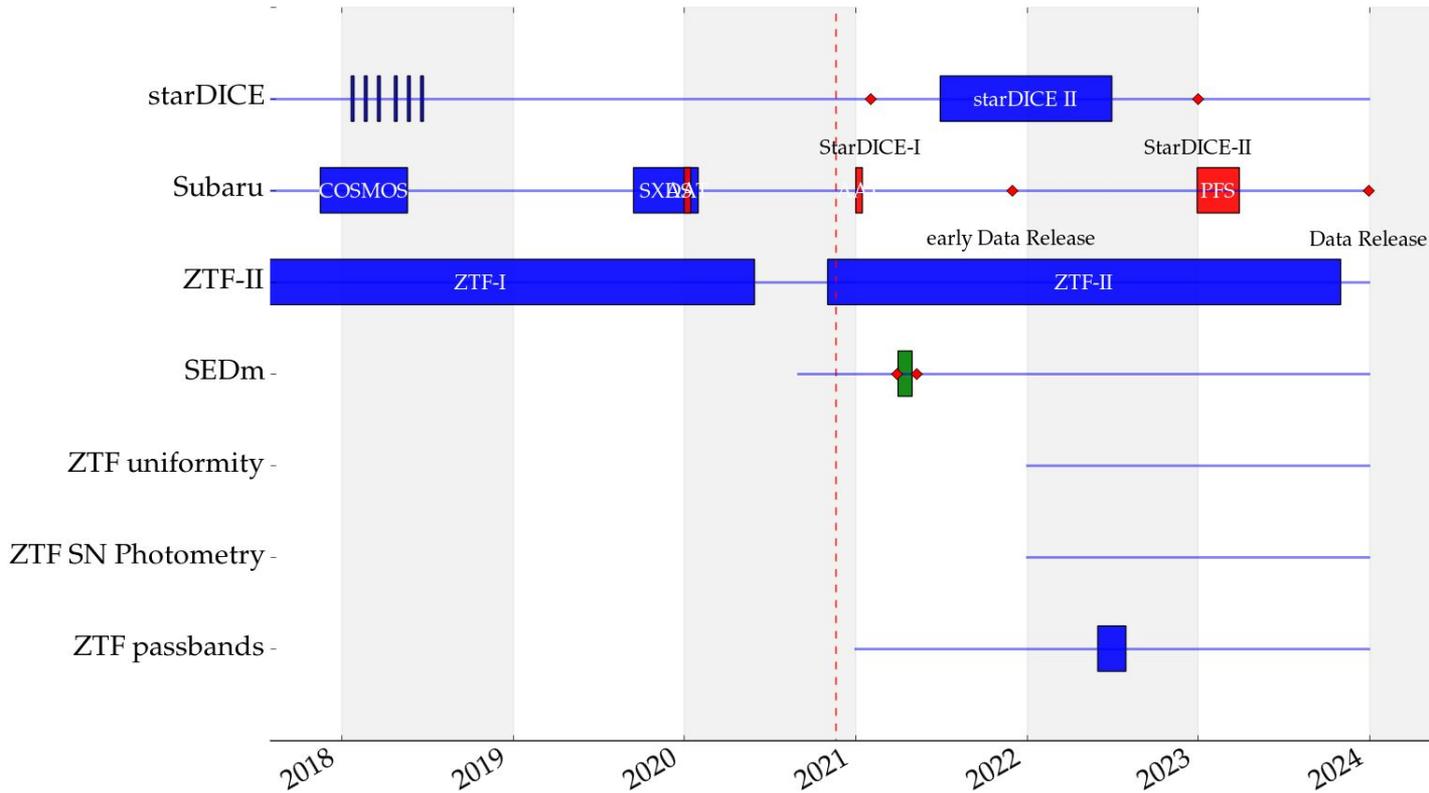
Project structure



Participating groups

- IP2I (Lyon) [MR+students]
 - SN photometry pipeline
 - Peculiar velocities
- LPNHE (Paris)
 - SEDm camera procurement and characterization (2021)
 - Survey instrument passband characterization (2022)
- LPC (Clermont)
 - Survey uniformity pipeline (2019-)
- CPPM (Marseille)
 - Survey uniformity pipeline (GAIA)
 - ...

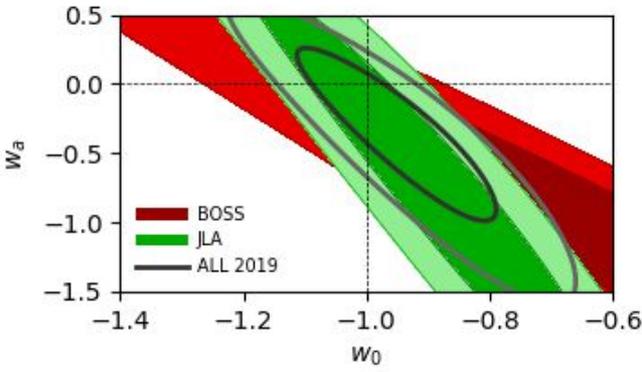
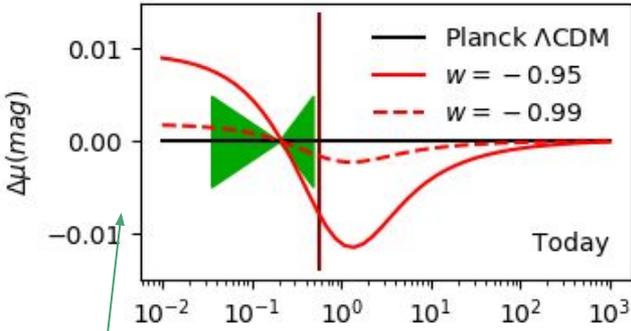
Timeline (LPNHE)



Conclusion

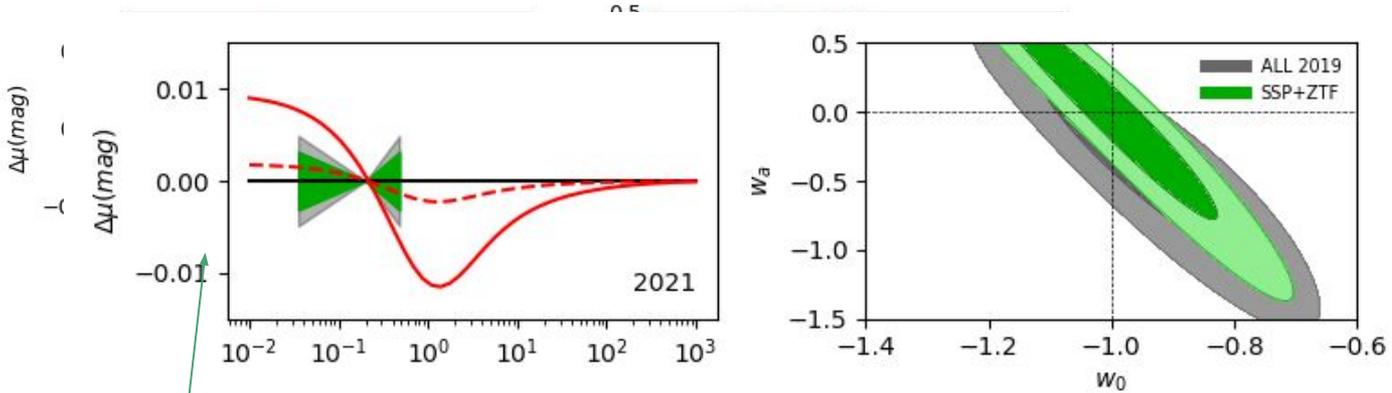
- **Best nearby SN survey before LSST**
 - Rolling search
 - Complete (with typing) up to $z=0.09$
 - No direct competitors
- **Opportunity**
 - To help turning this sample into a cosmology sample
 - Sample that will weight in early LSST Hubble diagram
 - To develop and demonstrate photometry / calibration techniques on full sky precursor data
 - To build a IN2P3-wide analysis team
- Excellent match between starDICE activities and early ZTF activities
- **Support from the lab**
 - PhDs and postdocs

(w, w_a) constraints as of today



Uncertainty on $\mu(\text{highz}) - \mu(\text{lowz})$

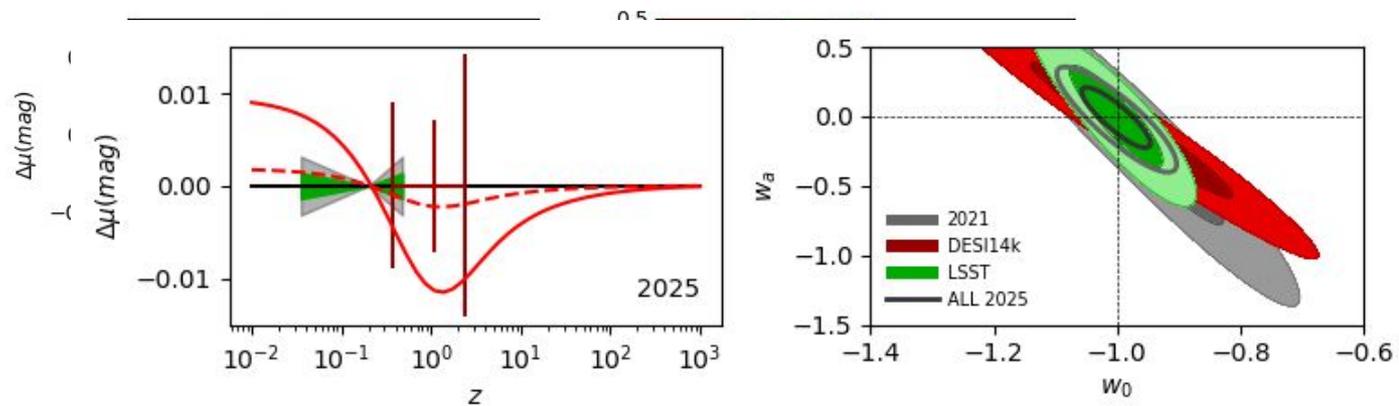
Expected (w, w_a) constraints in 2022/2023



Uncertainty on $\mu(\text{highz}) - \mu(\text{lowz})$

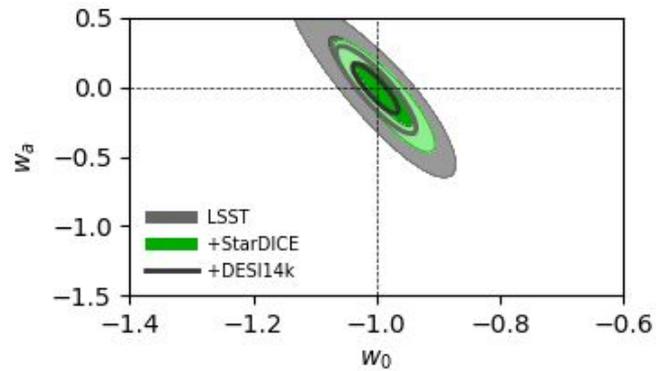
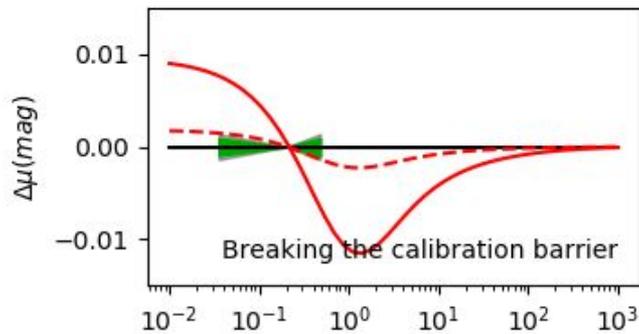
FoM ~ 50

With two years of LSST + IR from space



FoM \sim 150

With calibration at the 0.1% level



FoM \sim 450

The IN2P3 participation group

- Expected contributions

Contribution	Valued as	Funded by
Tickets (6 PI's + experts)	100 k€	IN2P3
SEDm sensor + characterization on bench	100 k€	Reinvestment of unspent Subaru funds (covid19 + delays in data taking)
ZTF survey calibration + passband characterization	300 k€	In kind
Cash contribution (2023)	100 k€	ANR