

PROSPECTIVES DU LPC  
DOMAINE DU MARAND  
11 JUILLET 2018

# Pôle Particules & Univers

## Groupe Gravitation



# CONTOURS DE LA THÉMATIQUE GRAVITATION

## Théorie de la relativité générale: adresser les fondements la théorie

- Tests de précisions
- Ondes gravitationnelles
- Théories alternatives
- ...



## Astrophysique & astroparticules: études des objets astrophysiques

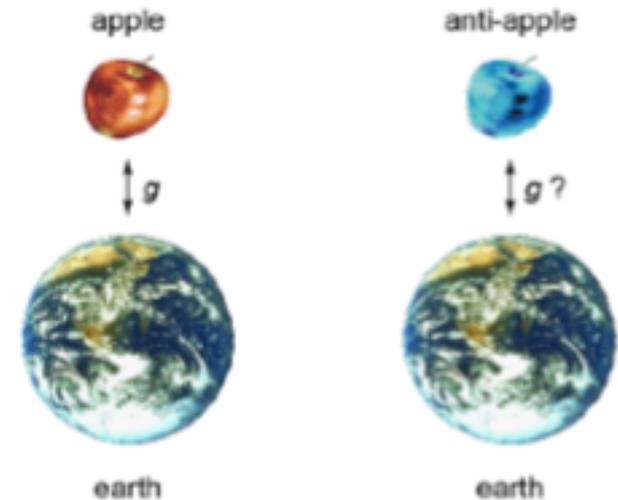
- Rayons cosmiques
- Neutrinos (masse, nature ...)
- Matière noire "locale"
- ...

## Cosmologie: application à l'Univers

- Fond micro-onde cosmologique
- Univers sombre: énergie et matière noire
- Grandes structures
- ...

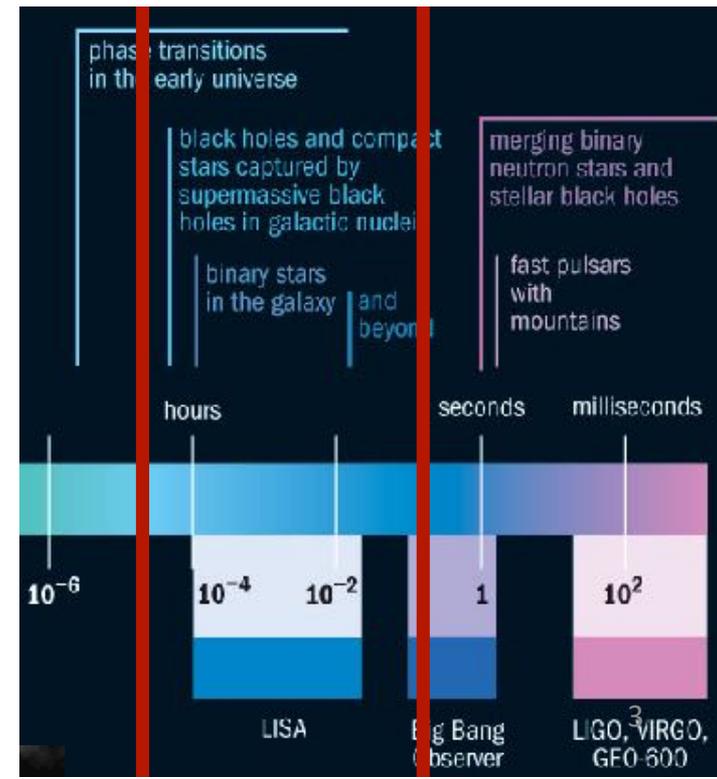
# Théorie de la Relativité Générale

- **Expérience de laboratoire** pour mesurer les effets gravitationnels sur de l'antimatière → atomes d'anti-hydrogène au CERN : **ALPHA-g, AEGIS, GBAR**
  - test des principes de la théorie
  - conséquences astrophysiques et cosmologiques



- **Astronomie des ondes gravitationnelle** basée sur des interféromètres

- **AdV+** (Advanced-Virgo+, Italie, Pise): upgrade de advanced-Virgo (deux bras de 3 km) pour passe de 25 à 125 Mpc →  $z < 0.1$
- **ET** (Einstein Telescope, European Gravitational Observatory, lieu ?): interféromètre sous terrain avec trois bras de 10 km → 1000 fois plus de volume sondé
- **LISA** (Laser Interferometer Space Antenna, ESA, position L1): interféromètre spatial avec trois bras de  $2.5 \times 10^6$  km → jusqu'à  $z = 10$



# Astrophysique & astroparticules (1)

## Rayons cosmiques

- Particule/antiparticule: AMS
- X et  $\gamma$ : FERMI, HESS, CTA
  - **CTA** (Cherenkov Telescope Array, Chili et Espagne): rayons  $\gamma$  de haute énergie (20 GeV – 300 TeV) pour la recherche de la matière noire (WIMPS) dans des processus d'annihilation à l'échelle du TeV
- Ultra haute énergie: **AugerPrime** (Argentine) qui est un upgrade de l'observatoire Auger avec des détecteurs additionnel de mesure du contenu des gerbes atmosphériques (séparation  $e / \mu$ ) pour déterminer la nature du rayon cosmique primaire (proton ou noyau)

## Astronomie des neutrinos

- **KM3NeT** (mer méditerranée) : télescope à neutrino basé sur l'effet Tcherenkov avec un instruments de taille différente
  - ARCA (Grèce) pour l'astrophysique des neutrino à l'échelle du PeV
  - ORCA (Toulon) pour déterminer la hiérarchie de masse des neutrinos
- **DUNE** (US, FermiLab) et **HyperK** (Japon): expériences de neutrinos sur accélérateur avec des détecteurs géants pouvant être utilisés pour l'astronomie des neutrinos (40 kt d'Ar-liquide pour DUNE et 1 Mt d'eau pour HyperK)

# Astrophysique & astroparticules (2)

## Matière noire

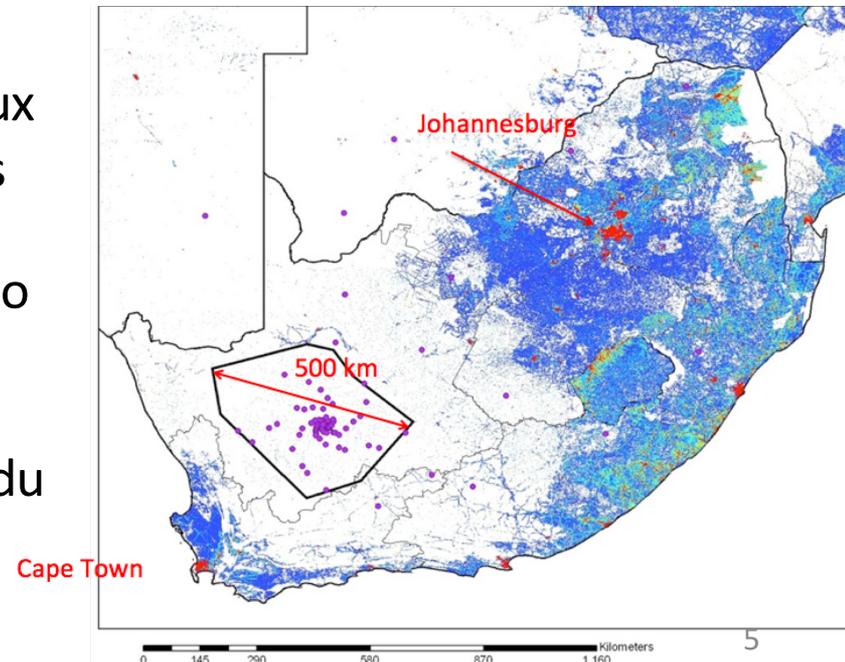
Recherche directe par diffusion de particules de matière noire (WIMPs) sur des noyaux atomiques produisant des signaux lumineux, de l'ionisation et/ou une élévation de température

- EDLWEISS (Laboratoire souterrain de Modane)
- **XENONnT** (Gran Sasso, Italy): 8 tonnes de Xe
- **DAMIC-M** (SNOLAB, Canada): utilisation de 1 kg de CCD

## Rayons cosmiques via la radioastronomie

Etude des rayons cosmiques via les signaux radio (réseau d'antennes) produits par les gerbes cosmiques

- **GRAND** (Giant Radio Array for Neutrino Detection, Chine):  $\nu_\tau$  de ultra haute énergie ( $10^{18}$  eV)
- **SKA** (Square Kilometre Array, Afrique du Sud & Australie): plusieurs milliers d'antennes



# Astronomie multi-messagers

## GW170817

17/08/2017  
12:41:04

GW170817

+2 s GRB170817A

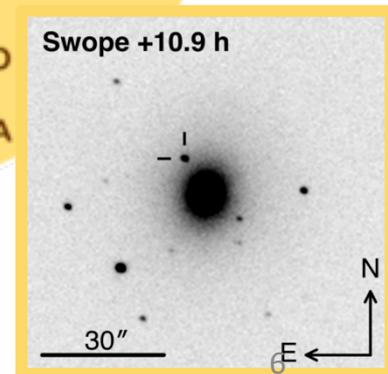
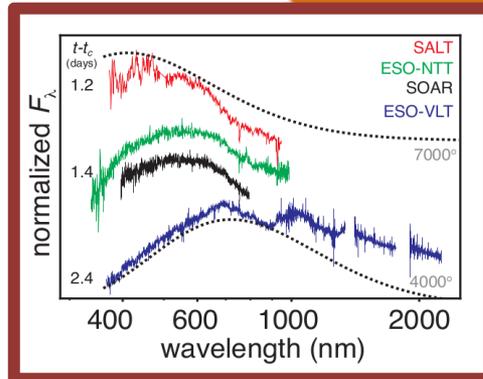
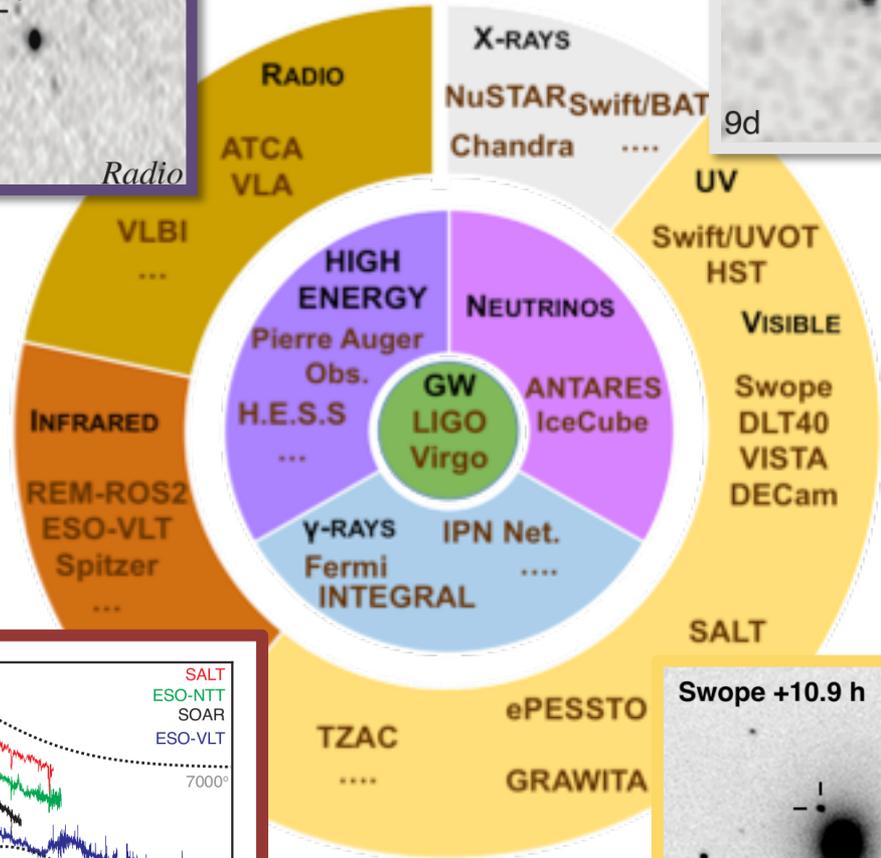
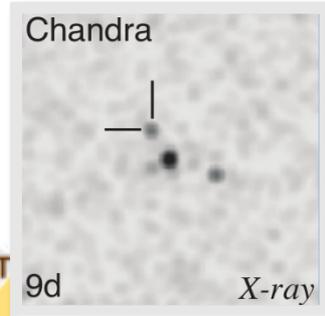
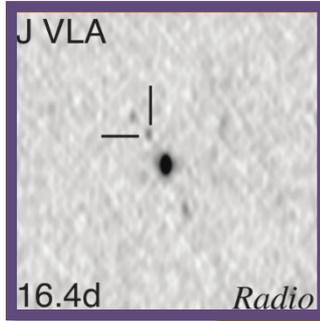
+5h Localisation with GW  
Distance 40 Mpc

+11h **Discovery of kilonova**  
**AT2017gfo by Swope**  
**Find host galaxy : NGC4993**  
**START CAMPAIGN ON AT2017GFO**

+1.2j First spectra of the kilonova

+9j Discovery of an X-ray counterpart

+16j First radio signal found with VLA

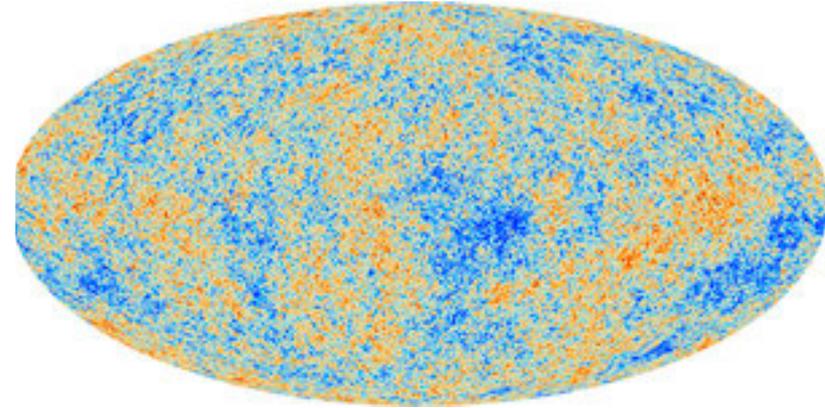


# Cosmologie (1)

## Fond micro-onde cosmologique (CMB)

Mesure du mode B (polarisation) du CMB qui encoderait des signaux des ondes gravitationnelles produites pendant la phase d'inflation

- **QUBIC** (Q&U Bolometric Interferometer for Cosmology, Argentine)
- **NIKA2** (New Iram Kid Array-2, Espagne)

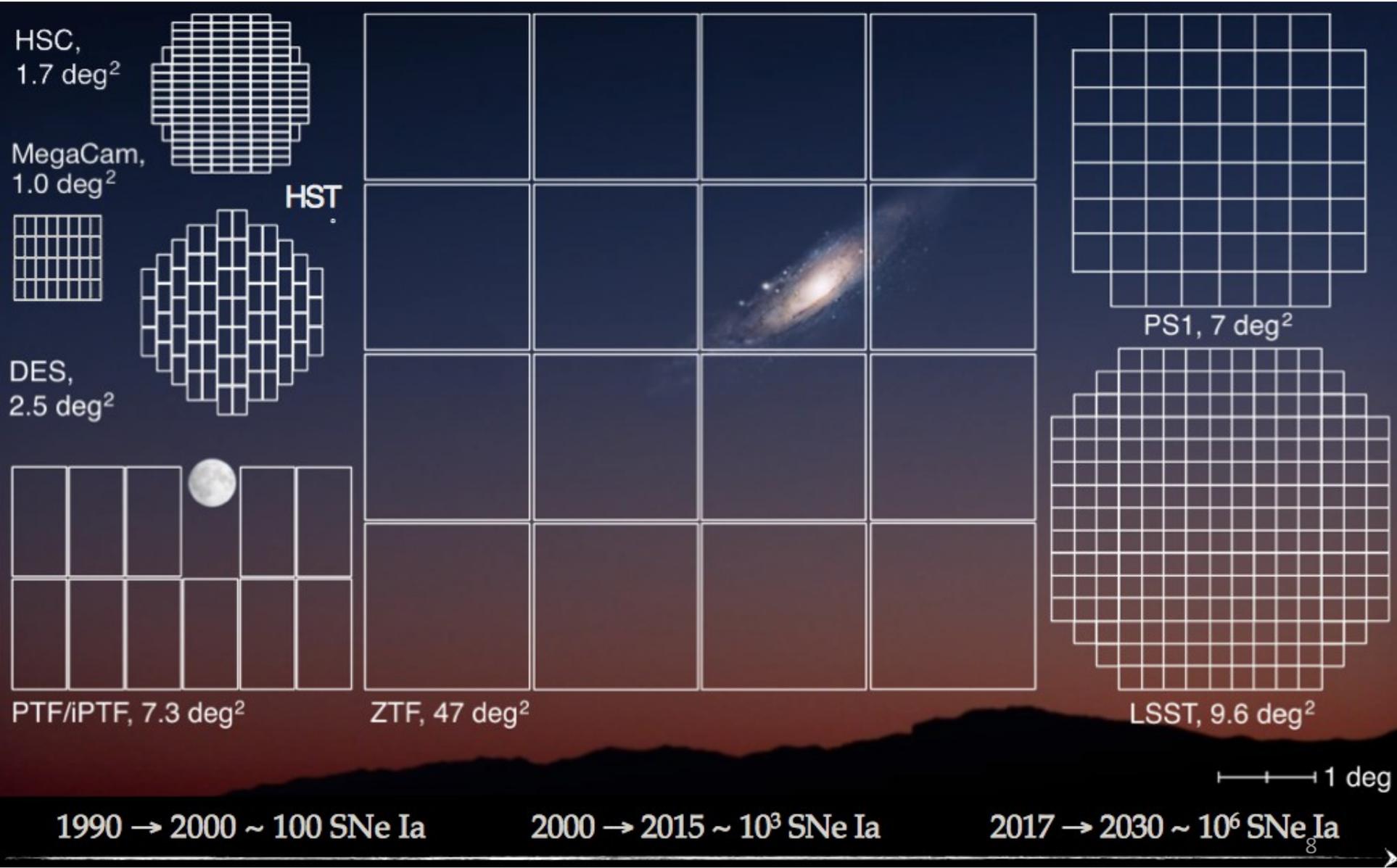


## Univers sombre et grandes structures

Grands relevés astronomiques pour mesurer le taux d'expansion de l'Univers et caractériser la formation des grandes structures afin de déterminer le contenu de l'Univers (énergie noire, matière noire ...) et retracer son histoire

- Télescopes au sol:
  - **ZTF** (Zwicky Transient Facility, US, Mont Palomar)
  - **DESI** (Dark Energy Spectroscopic Instrument, US, Kitt Peak)
  - **LSST** (Large Synoptic Survey Telescope, US, Chili)
- Missions satellites:
  - **EUCLID** (ESA)
  - **WFIRST** (Wide Field Infrared Survey Telescope, NASA)

# Cosmologie (2)

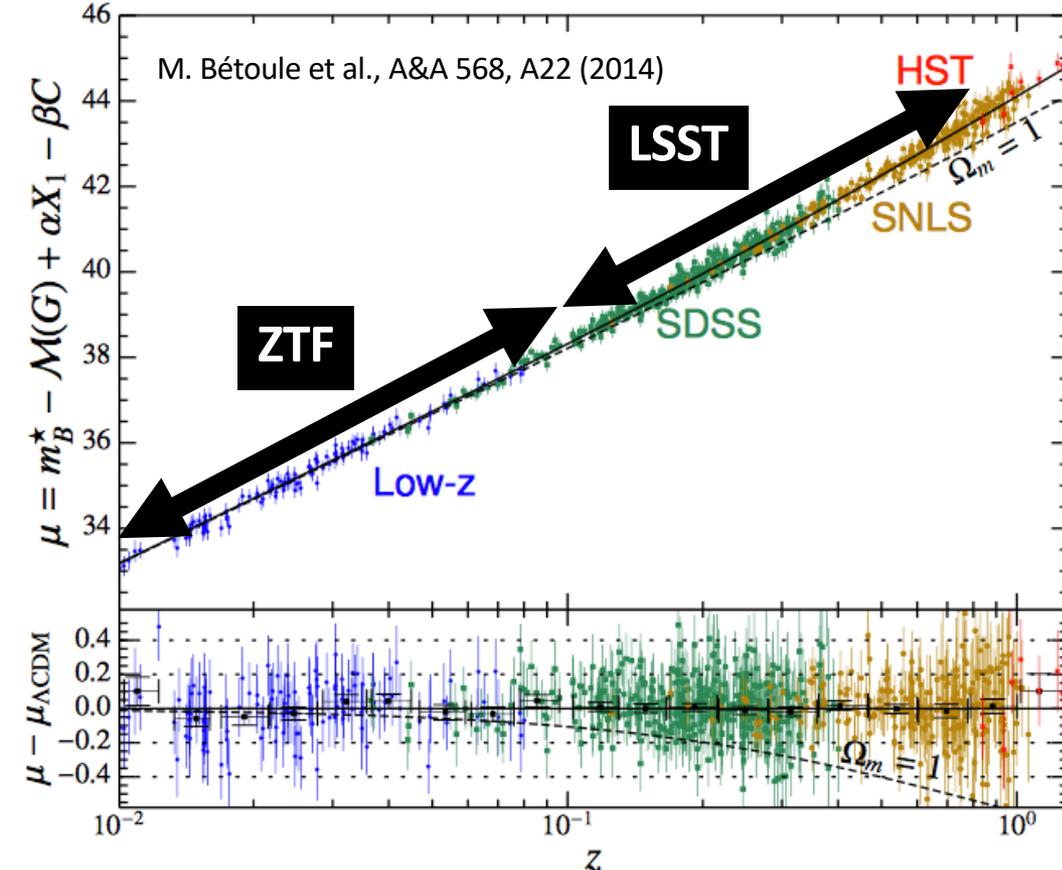


# Activités engagées au LPC

## Sonde cosmologique

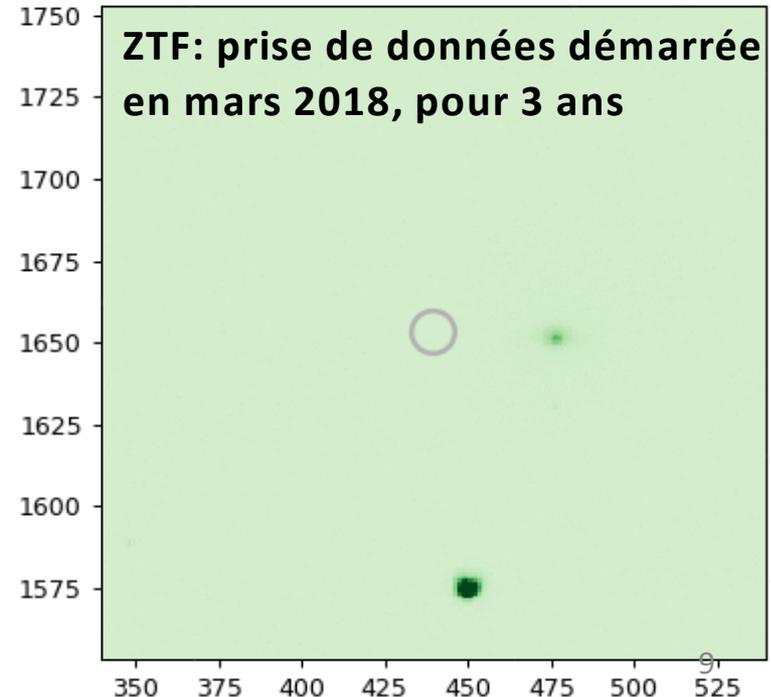
- Supernovæ de type Ia
- ... à voir

LSST: en construction, première lumière pour 2021

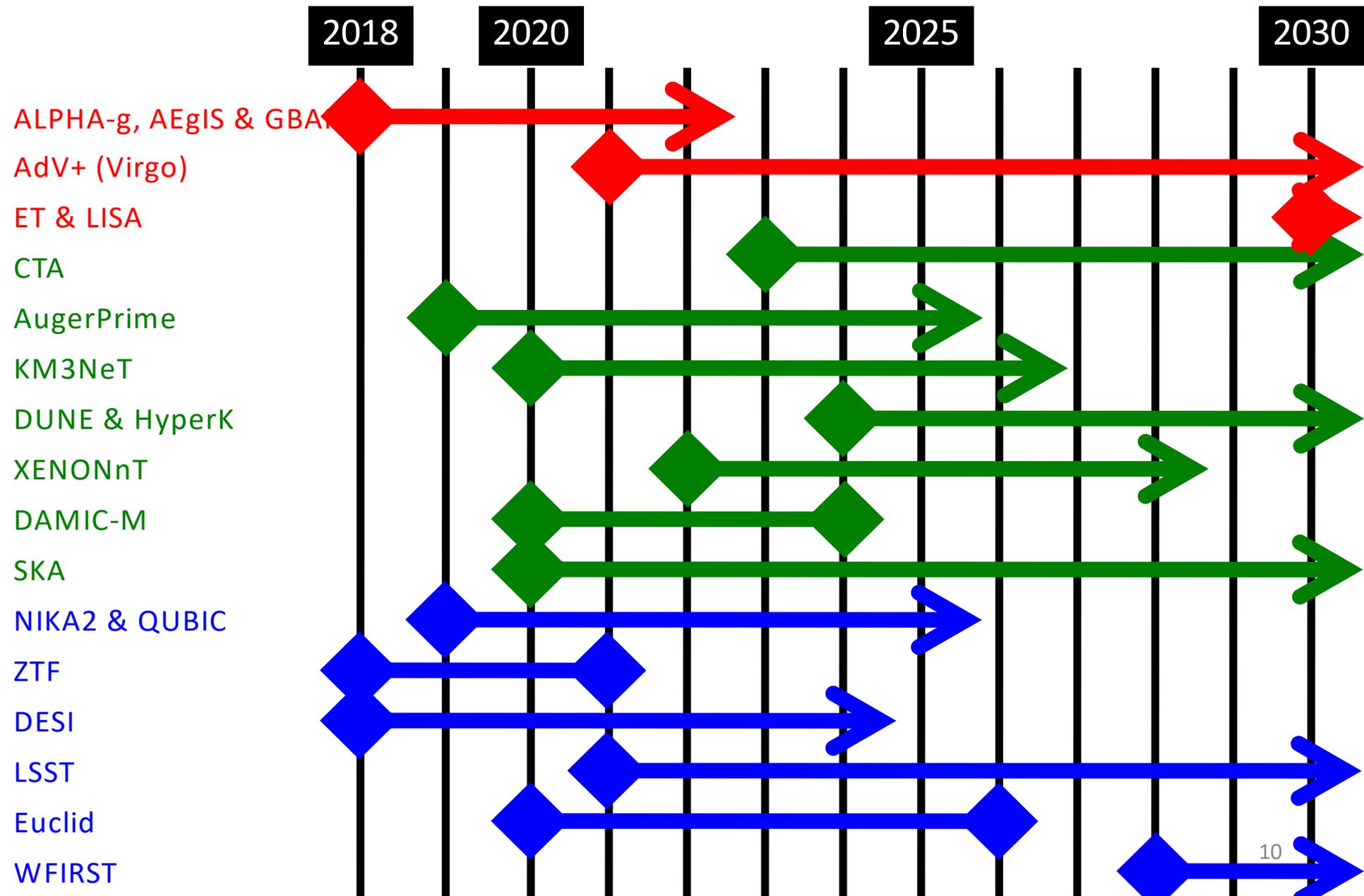


2018-06-01 06:22:08.002574 | ZTF\_g

ZTF: prise de données démarrée en mars 2018, pour 3 ans

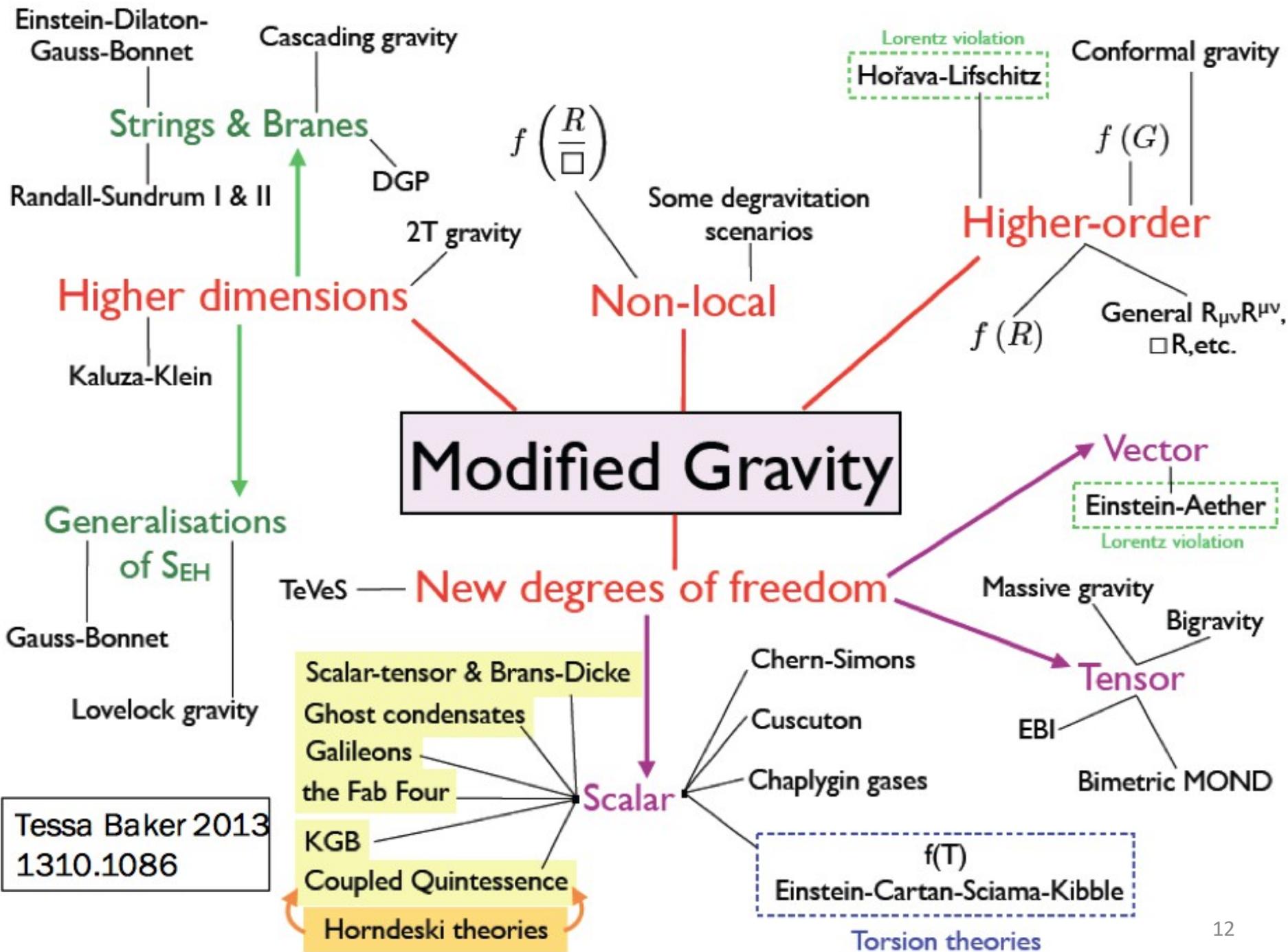


# Planning global approximatif (non exhaustif)



# Conclusions du groupe Gravitation

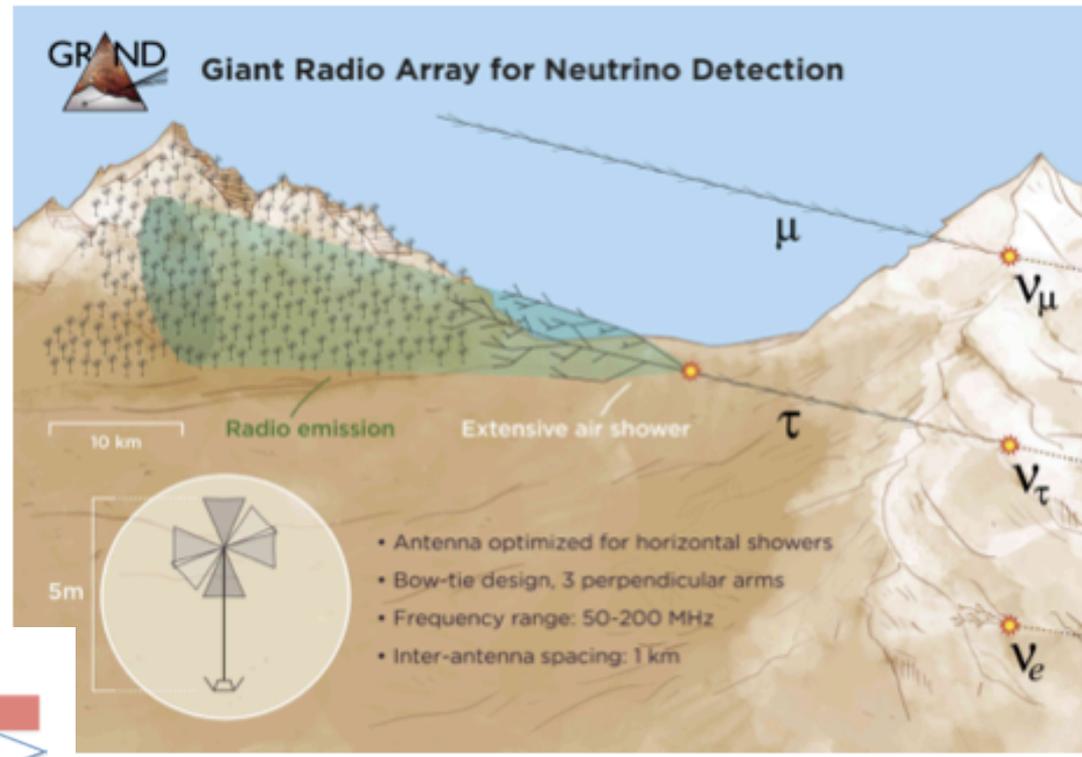
1. Une équipe du LPC (3 CNRS, 2 UCA et Emille avec son Momentum) engagée dans l'un des **programmes de cosmologie de nouvelle génération (LSST)** ainsi que dans un programme intermédiaire (ZTF), via l'ERC de Mickaël, qui sert de « terrain d'entraînement » pour LSST
2. Un membre du LPC travaille sur la définition du programme scientifique d'un projet d'**astroparticules via la radioastronomie : GRAND** avec un « white paper » pour l'automne
3. Des opportunités potentielles pour rejoindre des programmes existants de grande envergure scientifique, mais caractérisés par des technologies spécifiques (radio, optique, spatial ...), comme **AdV+ → synergie possible avec LSST pour l'astronomie multi-messagers** (phénomènes transitoires)
4. Domaine en évolution très rapide
  - veille scientifique en poursuivant le groupe « Gravitation » au sein du Pôle Particules & Univers
  - Plusieurs séminaires prévus pour la rentrée : DAMIC-M, SKA, DESI



# GRAND science case



# $\tau$ detection scheme



	GRANDProto300		GRAND200k	
	GRANDProto35	GRAND10k	GRAND200k	GRAND
	2018	2020	2025	203X
<b>Goals</b>	Standalone radio detection of EAS Very good background rejection	Standalone radio detection of very inclined showers ( $\theta > 65^\circ$ ) induced by high energy cosmic rays ( $> 10^6$ GeV)	First GRAND subarray, sensitivity comparable to ARA/ARIANNA on similar time scale, allowing potential 1st discovery of cosmogenic neutrinos	First neutrino detection at $10^6$ GeV even with pessimistic fluxes and/or neutrino astronomy
<b>Setup</b>	35 radio antennas 21 scintillators	• 300 Horizon Antennas over 300 km <sup>2</sup> • Fast DAQ • Solar panels (day use) + WiFi data transfer • TBD: Array of surface muon detectors	DAQ with discrete elements, but mature design for trigger, data transfer, consumption	200'000 antennas over 200'000 km <sup>2</sup> Hotspots could be in different continents
<b>Budget &amp; stage</b>	160k€, fully funded by NAOC+IHEP, deployment 2018 @ Ulaistai	1.3 ME to be deployed in 2019	1500€ / detection unit	Industrial scale allows to cut costs down: 500€/unit → 120ME in total

# Sondes de l'Univers

Sonde		Background Cosmology : $w_0, w$	Perturbations : $f\sigma_8, \gamma$ , many others !
Supernova		SN proches et lointaines (diagramme de Hubble)	SN proches (champ de vitesses)
BAO	<b>DESI</b>	Pic BAO (150 Mpc / $H_0$ )	Redshift Space Distorsions (vitesses autour des surdensités)
Amas		Comptage (peu précis) <b>LSST</b>	Fonction de masse (calibration difficile : X, SZ, lentille)
Clustering		3x2 pt	P(k) densité visible
Lensing		3x2 pt	P(k) potentiels <b>EUCLID</b>

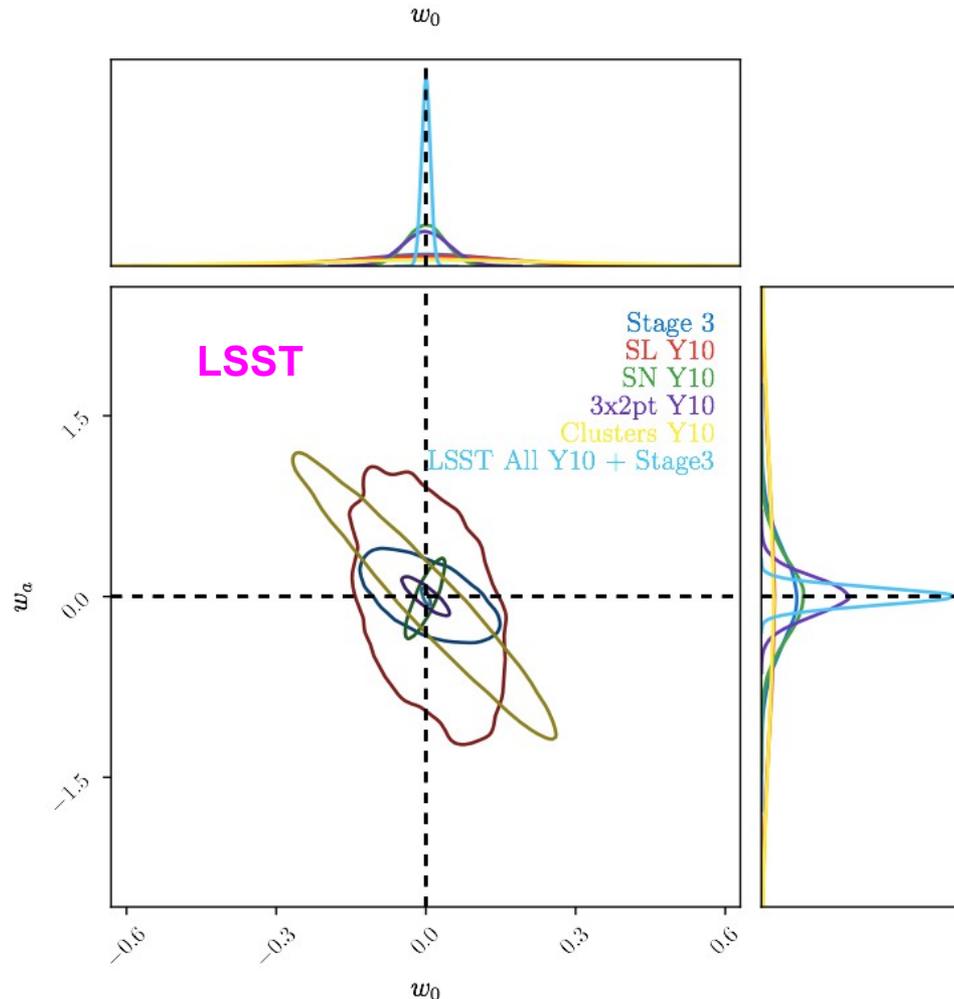
**WFIRST**

**SKA ?**

# Contraintes sur l'énergie noire

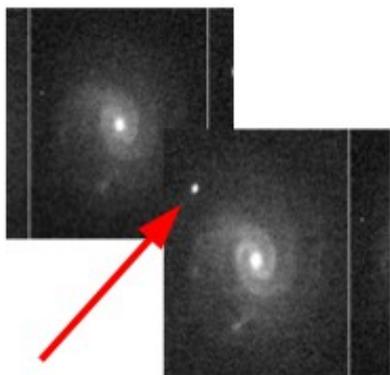
Energie noire dans un modèle d'évolution :  $w(a) = w_0 + w_a (1-a)$

Modèle standard cosmologique ( $\Lambda$ CDM) :  $w_0 = -1$  et  $w_a = 0$

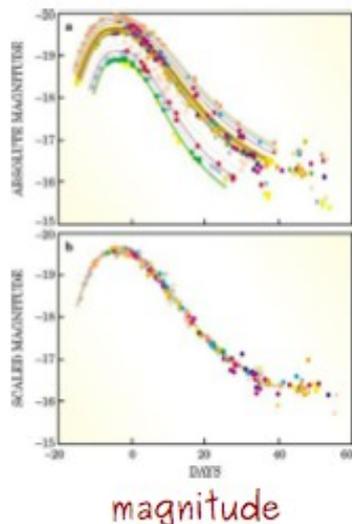


# Supernova Cosmology

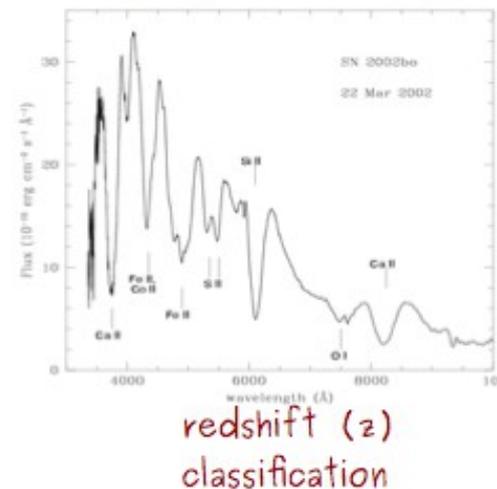
1. detection



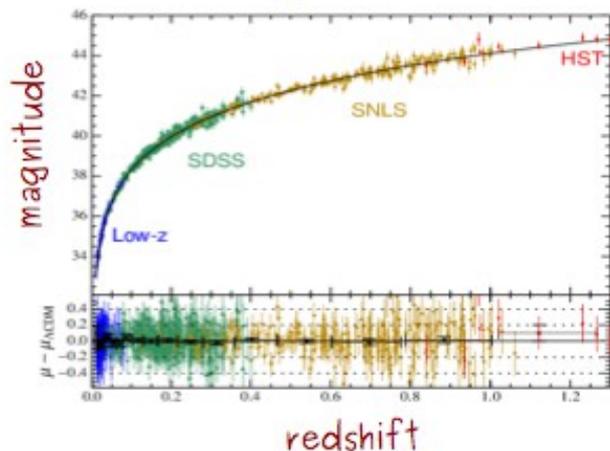
2. photometry



3. spectroscopy



4. standardization +  
cosmological fit



5. Dark Energy constraints

