

Equipe COSMO multi λ

F. Mayet
Conseil scientifique – Nov. 2023



présentation préparée par :

A. Catalano, J. F. Macías-Pérez, F. Mayet et L. Perotto,

Sommaire

1. Introduction
2. NIKA et NIKA2
3. KISS et Concerto
4. Euclid
5. Salle millimétrique
6. LiteBIRD et Radioforegrounds
7. Simons Observatory
8. CMB-S4

9. Perspectives

Cosmologie multi-longueurs d'onde

- **CMB : Anisotropies en température et en polarisation**

- $z \approx 1000$
- mesure précise des paramètres cosmologiques (e.g. Planck)
- origine des grandes structures

Observations : millimétrique

- **Amas de galaxies**

- plus grandes structures gravitationnellement liées.
- $z \approx 0$ à 3, Masse $M \approx 10^{14} - 10^{15} M_{\odot}$
- matière noire (85%), gaz chaud (12%), galaxies (3%)

Observations

- rayonnement de freinage des électrons (X)
- **effet Sunyaev-Zeldovich (SZ)** → millimétrique

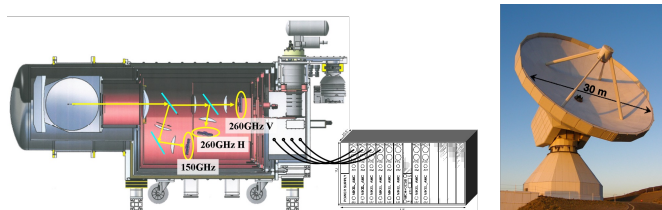
Compton inverse CMB-électrons → distorsion du spectre du CMB

- lentille gravitationnelle → mm/visible/IR

distorsion : images galaxies, ou CMB

→ **Cosmologie avec des amas de galaxies**

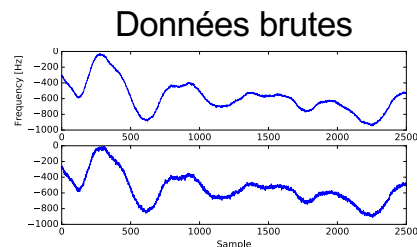
Des instruments aux paramètres cosmologiques



Caméra (KIDs), électronique, télescope, ...



Observations
Analyse de données
Calibration
Commissioning

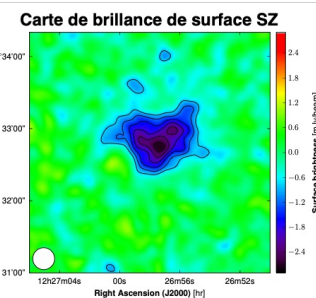


systématiques, bruits
(instrument, atmosphère, électronique)



Analyse de données

Données finales

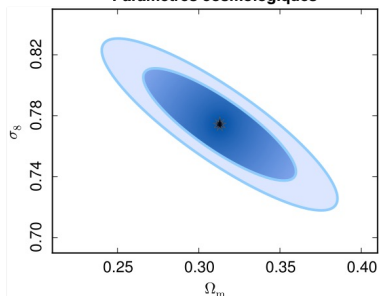


systématiques

Des instruments aux paramètres cosmologiques

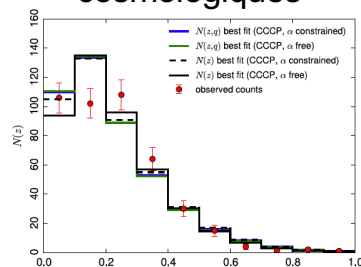
Cosmologie

Paramètres cosmologiques



Likelihood

Observables cosmologiques



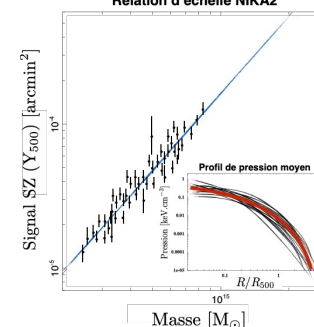
comptage amas



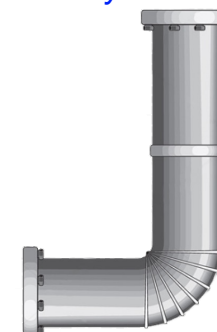
Données Externes

Livrables

Relation d'échelle NIKA2



relation échelle, profil moyen



exemple pour le LPSZ de NIKA2 → analogue pour autres projets

Introduction

Equipe avec une longue histoire : depuis Archeops en 1998 ...

... Planck, NIKA, NIKA2, KISS, Concerto, Euclid, LiteBird, SO, CMBS4, ...

Implication à toutes les étapes de projets majeurs

- **Instrumentation** : design, conception, électronique, ...
 - expertise technologie KID (Kinetic Inductance Detectors)
 - synergie grenobloise (GIS KID avec Neel, IPAG et IRAM)

- **Analyse de données** : pipeline, calibration, commissioning, ...
 - rôles majeurs : Planck, NIKA2, Concerto, Euclid, ...
 - importance des effets systématiques

- **Cosmologie** : paramètres cosmologiques, simulation, phénoménologie, ...
 - CMB (température et polarisation), CMB lensing, effet SZ et cosmologie amas
 - corrélations croisées (X, visible, IR, lensing)

Positionnement local, national & international

Local

1) Très forts liens avec les services techniques du laboratoire

- électronique, SERM, SDI, informatique
- nombre de FTE par an très conséquent

2) Synergie grenobloise (LPSC-Neel-IPAG-IRAM)

- contributions majeures à : Archeops, Planck, NIKA, NIKA2, KISS, Concerto, ...
- développement expertise KID
- création GIS KIDs
 - structure créée en 2021
 - IN2P3 – INP – INSU – IRAM
 - développement instruments KIDs pour la cosmologie

3) Financements labex (Enigmass, Focus) et IRGA

Positionnement local, national & international

National

- 1) Obtention 2 ANR, dont une portée par le LPSC
 - ANR NIKA2 : construction NIKA2 – 980 keuros
 - ANR NIKA2Sky : exploitation scientifique NIKA2 – 410 keuros
- 2) Soutien CNES : financement thèses, CDD ITA
- 3) Participation GDR COPHY, actions CMB-France et Dark Energy
- 4) Organisation workshops au LPSC
 - Prospectives IN2P3 GT05 – 2020
 - Euclid France – 2021, 150 participants en mode hybride, 42 présentations



Positionnement local, national & international

International

1) Participation collaborations internationales

... Planck, NIKA, NIKA2, KISS, Concerto, Euclid, LiteBird, SO, CMBS4, ...

dont collaborations étroites avec U. La Sapienza, Canaries, Madrid, ...

2) Obtention de 3 ERC : Radioforegrounds, Radioforegrounds+ et Concerto

3) Partenariat stratégique UGA Japon (Tsukuba)

4) Financement ECOS-SUD (Chili)

5) Fondation du cycle de conférences mm Universe

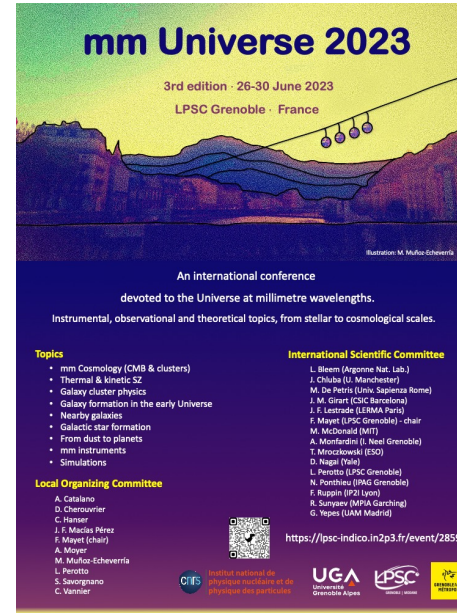
2019 - Grenoble



2021 - Rome



2023 - Grenoble



2025 - Chicago



• Edition 2023

- 113 participants
- 97 contributions orales

• Actes de congrès

- F. Mayet, A. Catalano, J. F. Macías-Pérez and L. Perotto (Eds), EPJ Web of Conferences 2024
- M. De Petris, A. Ferragamo and F. Mayet (Eds), EPJ Web of Conferences 2022
- F. Mayet, A. Catalano, J. F. Macías-Pérez and L. Perotto (Eds), EPJ Web of Conferences 2020

COSMO-ML : membres actuels

4 permanent(e)s

- Andrea CATALANO, CR, HDR
- Juan Francisco MACÍAS-PÉREZ, DR, HDR
- Frédéric MAYET, PR, HDR
- Laurence PEROTTO, DR, HDR

4 doctorant(e)s

- Damien CHEROUVRIER, 2022 – 2025
- Corentin HANSER, 2021 – 2024
- Alice MOYER-ANIN, 2022 – 2025
- Sofia SAVORGNANO, 2022 – 2025

2 post-doctorants

- Mateo FERNANDEZ-TORREIRO, déc. 2023 – déc. 2025 (Enigmass)
- Recrutement Postdoc : 2024-2026 (Radioforeground+)

COSMO-ML : Directions de thèse

Doctorant(e)	Titre	Soutenance	Dir. Thèse	Devenir
D. Cherouvrier	Challenges en astrophysique et en cosmologie avec des caméras KID	2025	J. F. Macías-Pérez	
A. Moyer-Anin	Cosmologie à partir des observations SZ d'amas de galaxies avec la caméra NIKA2 au télescope de 30 mètres	2025	F. Mayet	
S. Savorgnano	La technologie de KIDs pour la prochaine génération de télescopes CMB	2025	A. Catalano	
C. Hanser	Cosmologie avec les amas de galaxies dans l'expérience NIKA2	2024	L. Perotto	
M. Muñoz-Echeverria	Cosmologie multi-longueur d'onde avec les amas de galaxies	2023	J. F. Macías-Pérez	Post-doc Toulouse (IRAP)
F. Kéruzoré	Cosmologie à partir des observations Sunyaev-Zeldovich d'amas de galaxies avec NIKA2	2021	F. Mayet	post-doc Argonne
A. Jiménez Muñoz	Préparation à l'analyse et interprétation des amas de galaxies avec Euclid	2021	J.F. Macías-Pérez	post-doc Madrid
A. Fasano	Un spectro-imageur dédié aux observations des anisotropies secondaires du fond diffus cosmologique	2020	A. Monfardini & A., Catalano.	post-doc Tenerife (IAC)
F. Ruppin	Cosmologie avec les observations d'un amas de galaxies par effet Sunyaev-Zel'dovich avec NIKA2	2018	F. Mayet	Maître de conférences - Univ. Lyon
A. Ritacco	Polarimétrie aux longueurs d'onde millimétriques avec NIKA et NIKA2	2016	J. F. Macías-Pérez & A. Monfardini	Tenure track INAF-OAC (Italie)
R. Adam	Etude de l'effet Sunyaev-Zeldovich dans les amas de galaxies avec NIKA	2015	J. F. Macías-Pérez & F. X. Désert	Chercheur CNRS Nice

Contributions services techniques

L'équipe COSMO-ML a bénéficié de la collaboration et de l'expertise des services techniques.

Contributions services techniques LPSC

- **Electronique** : J. Bounmy, O. Bourrion, O. Choulet, C. Hoarau, E. Lagorio, N. Ponchant, F. Rarbi, D. Tourres, C. Vescovi, J. Waquet
- **SDI** : J. Marpaud, M. Marton, P. Stassi
- **Informatique** : N. Achbak, G. Alguero, J. Fulachier, F. Lambert, J. Odier
- **Mécanique** : R. Bourroux, M. Kusulja, J. Menu, S. Roni, S. Roudier, F. Vezzu,
- **Administration** : A. Colas, C. Martin, J. Paquien, F. Petiot, C. Vannier

NIKA et NIKA2

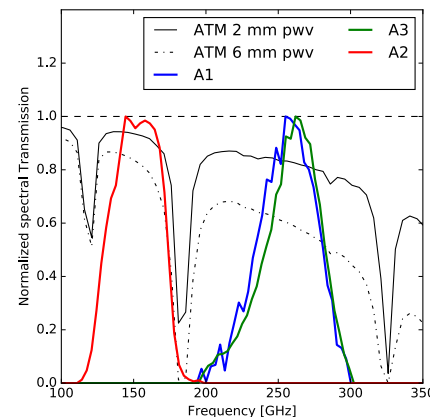
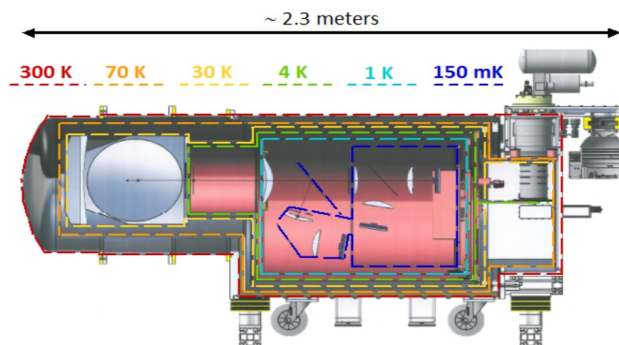
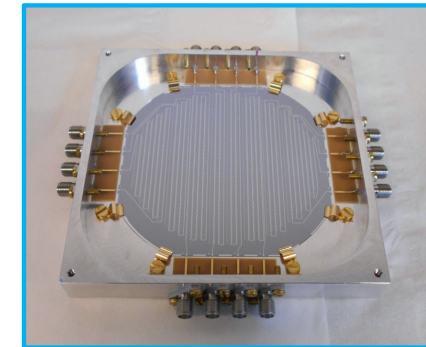
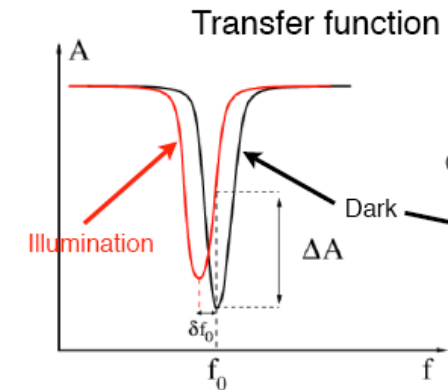
NIKA2 : caméra

- Camera composée de KIDs (Kinetic Inductance Detectors)

Résonateurs supraconducteurs

Décalage en fréquence proportionnel à la puissance reçue

- installée au telescope de 30 m de l'IRAM
- Fonctionne à 150 mK
- Dual-band: 150 and 260 GHz (3 matrices)
- Grand champ de vue : 6.5 arcmin – 2900 détecteurs
- Excellente résolution angulaire : 17.6 and 11.1 arcsec
- Excellente sensibilité : 9 et 30 mJy.s^{1/2} (à opacité nulle)
 - observation d'amas avec haut S/N : 2 à 15 heures
- Mesures en polarisation à 260 GHz



NIKA2 : collaboration

NIKA2 : une collaboration internationale

- 163 collaborateurs - 33 instituts - 9 pays (France, Espagne, Italie, Irlande, Belgique, Grèce, UK, Iran & USA).
- 35 articles dont 19 avec un LPSC premier auteur

NIKA2 France

- 112 collaborateurs de 13 laboratoires affiliés à : IN2P3, INSU, INP, CEA et IRAM
- 2 financements ANR : "NIKA" (2012, construction) et "NIKA2Sky" (2015, exploitation scientifique, LPSC porteur)

NIKA2@LPSC

- 23 collaborateurs au LPSC (~2-3 FTE/an depuis 15 ans)
- Responsabilités importantes :
 - Project Scientist : J.F. Macías-Pérez
 - Présidente de l'Editorial Board : L. Perotto
 - Responsable commissioning : L. Perotto
 - Responsables Grand Programme LPSZ : F. Mayet & L. Perotto
- Responsabilités LPSC : mise en service, calibration et caractérisation des performances
- Contributions majeures à la construction : électronique (O. Bourrion) + services techniques
- 9 thèses (50 à 100%, dont 4 en cours)

NIKA2 MoU

- Responsables de la construction, commissioning et la maintenance jusqu'en ~2028
- Temps garanti au télescope de 30 m: 1300 heures (+ grand jamais attribué)
 - 5 Grands Programmes (LP)

NIKA2 historique

NIKA Pathfinder (2009-2015)

- 2009 : prototype (70 KIDs), première lumière au 30 m de l'IRAM
- 2012 : caméra NIKA : 356 KIDs, bi-bande, 1,8 arcmin
- 2014 : résultats principaux
 - première cartographie SZ avec une caméra KIDs [R. Adam *et al.*, A&A 2014].
 - première cartographie de l'effet SZ cinétique indépendante des modèles [R. Adam *et al.*, A&A 2017a]
 - première carte de température en combinant des données X et SZ [R. Adam *et al.*, A&A 2017b].

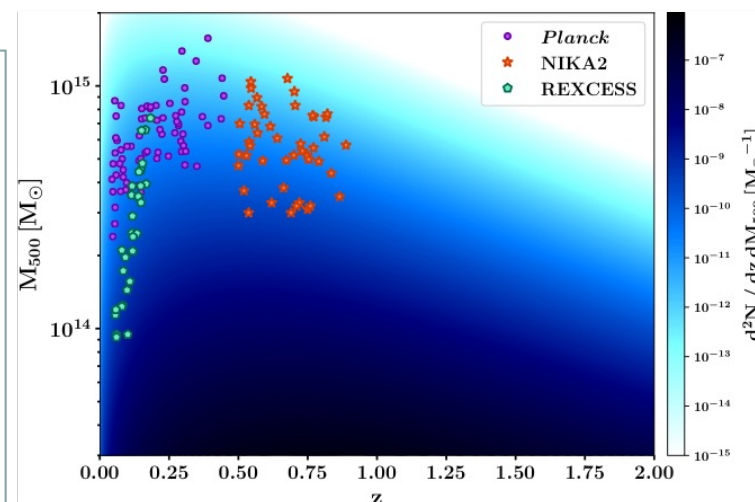
NIKA2 (2015-2028)

- 2015 : caméra (2900 detectors) bi-bandes: installation & commissioning
- 2017 : ouverture à la communauté scientifique
- 2017-2022 : observations : ~10 campagnes/an → 53 campagnes scientifiques
- 2023 :
 - fin des LP en intensité
 - ouverture de la polarisation à la communauté scientifique
- 2023-2028(?) : NIKA2 au télescope de 30 m de l'IRAM (MoU)

NIKA2 : Grand Programme SZ

- Cosmologie avec des amas (SZ) : 2 outils
 - relation d'échelle observable SZ – **masse**
 - profil de pression électronique moyen
- Contexte cosmologique : tension sur la valeur de S_8 (Ω_M ; σ_8) – CMB versus amas
- Objectif principal du LPSZ : mesurer ces quantités avec précision et justesse
 - contrôle des effets systématiques (analyse, astrophysique, ...)
 - optimiser l'exploitation scientifique des relevés cosmologiques en SZ passés (Planck, ACT et SPT) et futurs (CMB-S4, Simons Observatory.).

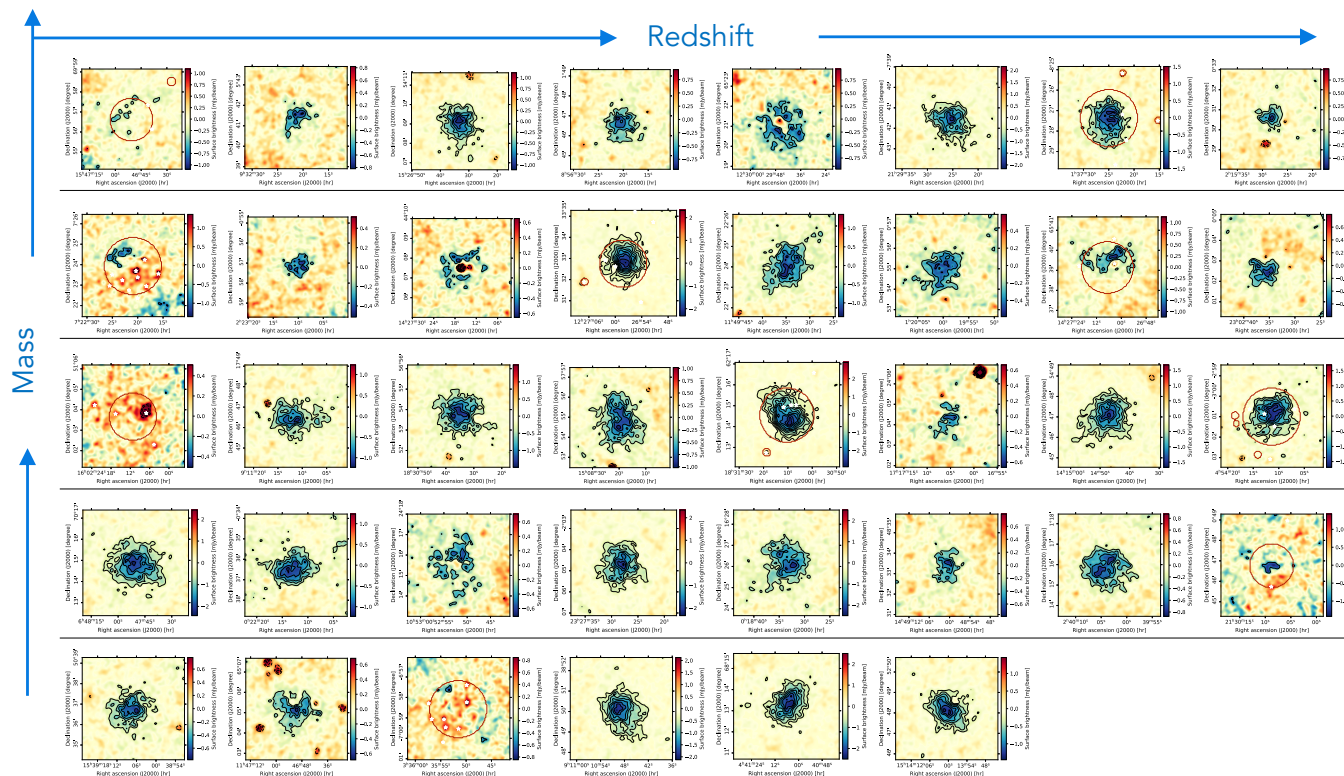
- 300 heures de temps garanti au télescope de 30 m
- Echantillon représentatifs d'amas :
 - sélectionnés en masse (SZ) dans les catalogue Planck et ACT
 - $0,5 < z < 0,9$ – 1 ordre de grandeur en masse
- Programme
 - multi-sondes (X, SZ, optique)
 - multi-instruments (XMM-Newton, NIKA2, GTC)
- Livrables
 - profils thermodynamiques radiaux (P, n, T, entropie)
 - Relation d'échelle et profil moyen



F. Ruppin, thèse

NIKA2 : le grand programme SZ (LPSZ)

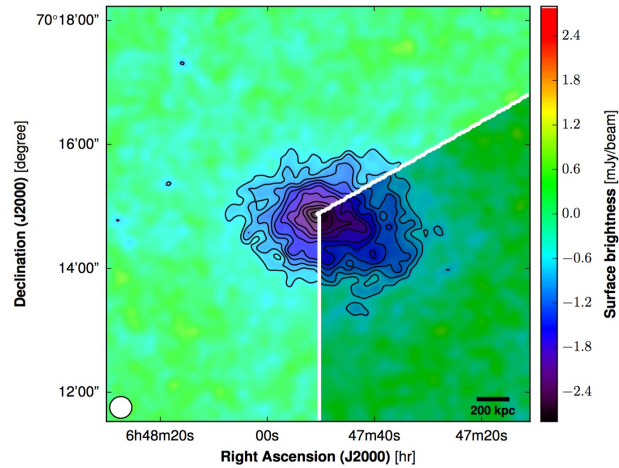
- 29 campagnes d'observation au télescope de 30 m (de 1 à 2 semaines)
- très forte implication de l'équipe pour les observations au télescope et les étalonnages *a posteriori*.
- Programme d'observation terminé en janv. 2023
- 30 amas cartographiés avec la sensibilité attendue (*préliminaire*)



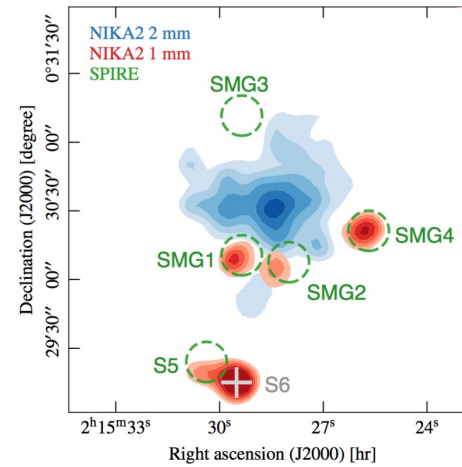
C. Hanser (thèse 2024)

→ Nous sommes prêts pour la publication cosmologique
 ...basée sur les travaux précédents sur NIKA2 (2018-...)

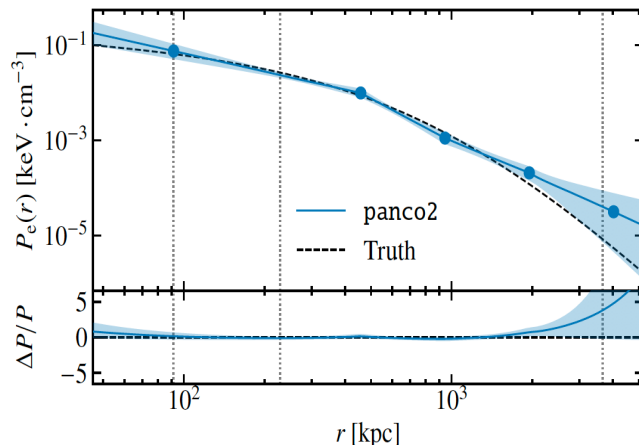
NIKA2 : LPSZ highlights



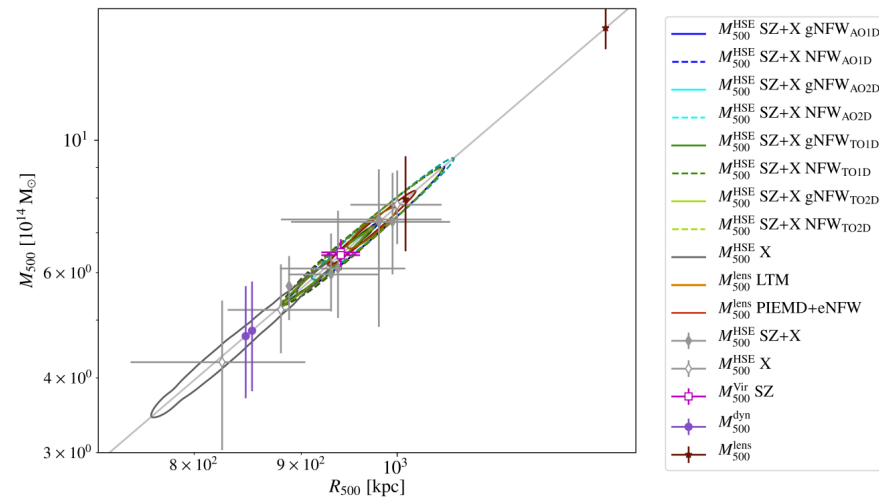
Suppression dans un amas → effet masse
F. Ruppin et al. A&A 2018



Amas contaminé par des sources ponctuelles
→ effet masse F. Kéruzoré et al. A&A 2020



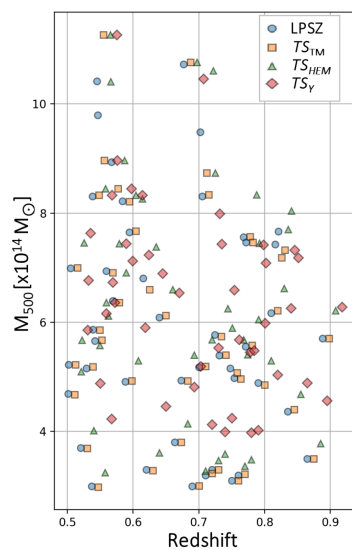
PANCO2 : code public pour l'extraction de profil de pression SZ
F. Kéruzoré et al., Open J.Astrophys. 2023



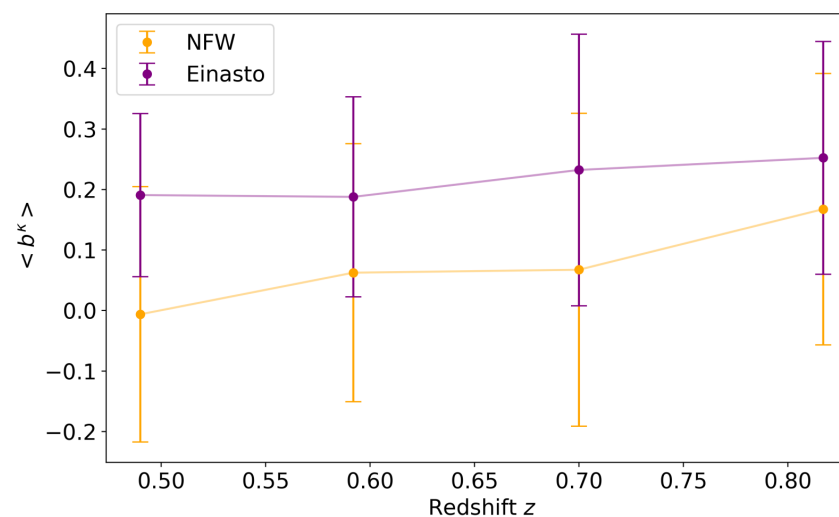
Analyse multi-sondes de CLJ1227 (SZ, X, lentillage)
M. Muñoz-Echeverría et al. A&A 2023

NIKA2-LPSZ : The300 collaboration

- Collaboration internationale *The300*
 - Simulations hydrodynamiques centrées sur les amas les plus massifs de la simulation DM MultiDark
 - codes hydrodynamiques : GADGET-MUSIC, GIZMO-SIMBA et GADGET-X
- Création d'une **réplique synthétique de l'échantillon d'amas du LPSZ**.
- Etude des biais et des effets systématiques (morphologie des amas).
 - impact des perturbations du milieu intra-amas sur le profil moyen de pression [F. Ruppin *et al.*, *A&A* 2019]
 - étude du biais hydrostatique [G. Gianfagna *et al.*, *MNRAS* 2021]
 - Importance des incertitudes de modélisation et de la dispersion intrinsèque [M. Muñoz-Echeverría *et al.*, *A&A* 2024]



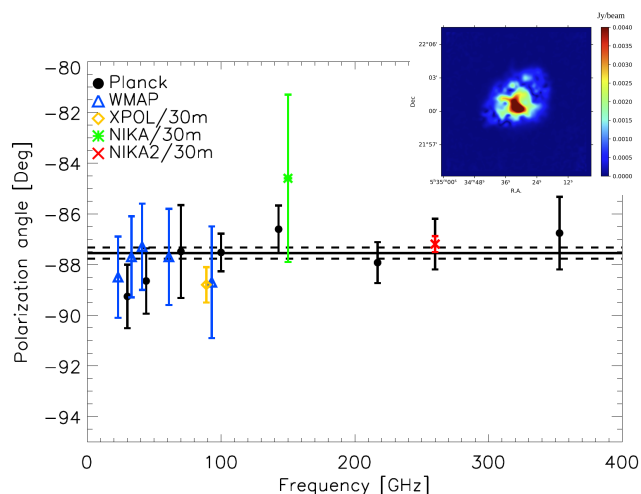
A. Paliwal *et al.*, *EPJ* 2022



M. Muñoz-Echeverría *et al.*, *A&A* 2024

NIKA2 : polarisation

- Rôle clef pour la polarisation avec les caméras NIKA et NIKA2.
 - Prise en charge de :
 - conception et construction du modulateur de polarisation basé sur une lame demi-onde rotative.
 - mise en service de la polarisation de NIKA et NIKA2
 - NIKA : Premiers résultats scientifiques en polarisation avec des matrices de KIDs [A. Ritacco *et al.*, A&A 2017, 2018].
 - NIKA2
 - premiers résultats scientifiques [A. Ritacco *et al.*, EPJ 2022]
 - Observations du Grand Programme en polarisation viennent de démarrer à l'IRAM.
- Cette activité s'inscrit dans l'objectif de calibrer en polarisation les futures expériences CMB.



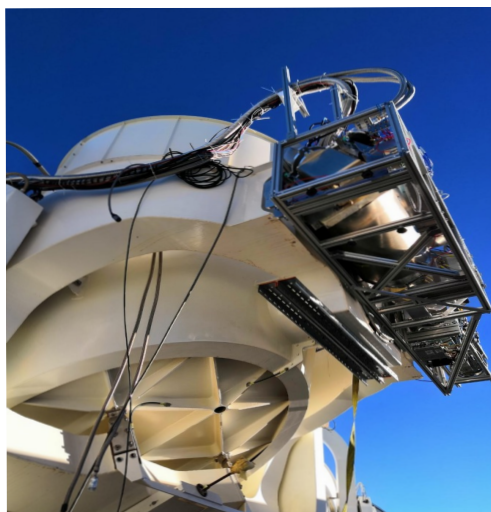
- Nébuleuse du Crabe
 - calibrateur primaire pour le CMB polarisé
 - Mesure de l'angle de polarisation
 - amélioration de la sensibilité du rapport tenseur-scalaire
- (futures expériences CMB)

NIKA2 : perspectives

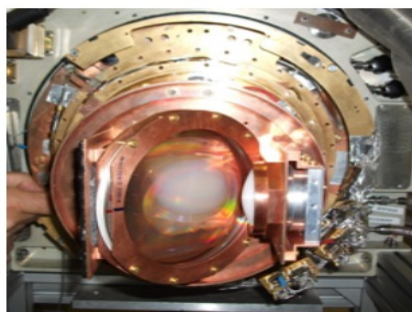
- **Court terme (2024)**
 - fin 2024 : publication cosmologiques du LPSZ (et autres LP en intensité)
 - thèses : C. Hanser et A. Moyer-Anin
 - Profil moyen, relation d'échelle et conséquences cosmologiques
 - *fin 2025 : données LPSZ publiques (catalogue amas)*
- **Moyen terme**
 - Détection amas avec NIKA2 et données temps ouvert, thèse D. Cherouvrier,
 - observations et publications en polarisation
 - thèse : S. Savorgnano
 - calibration en polarisation des futures expériences CMB.
- **Plus long terme (2028)**
 - MoU : collaboration NIKA2 garantit le fonctionnement de la caméra au télescope

KISS et Concerto

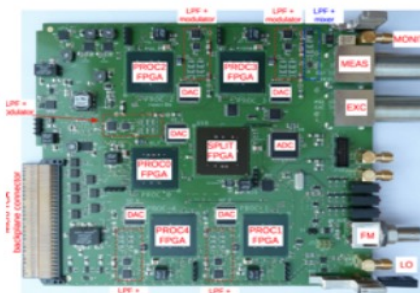
KISS in a nutshell



**Dilution Cryostat
3He-4He (100 mK)**



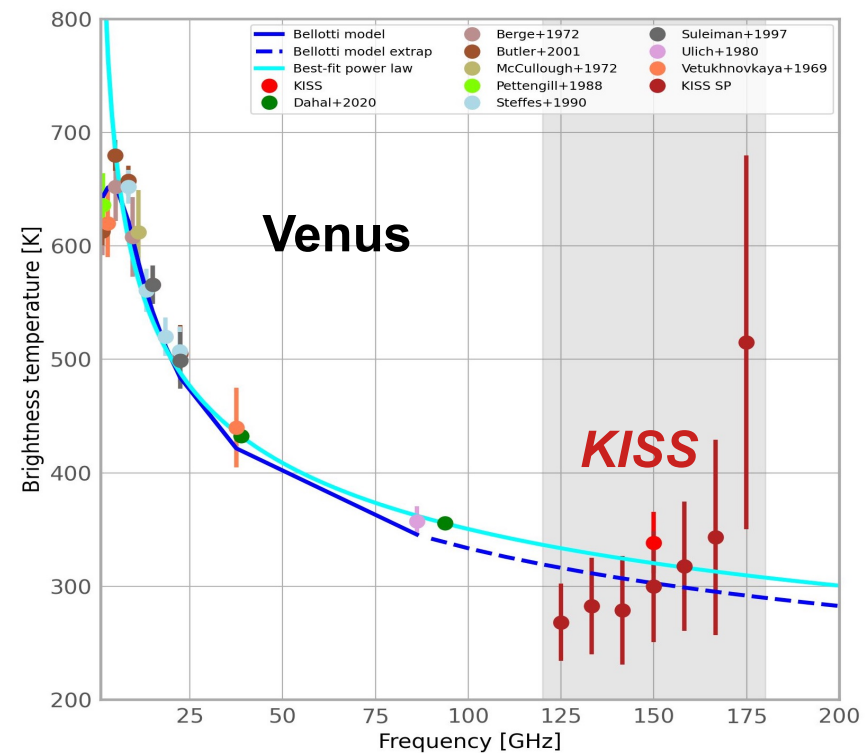
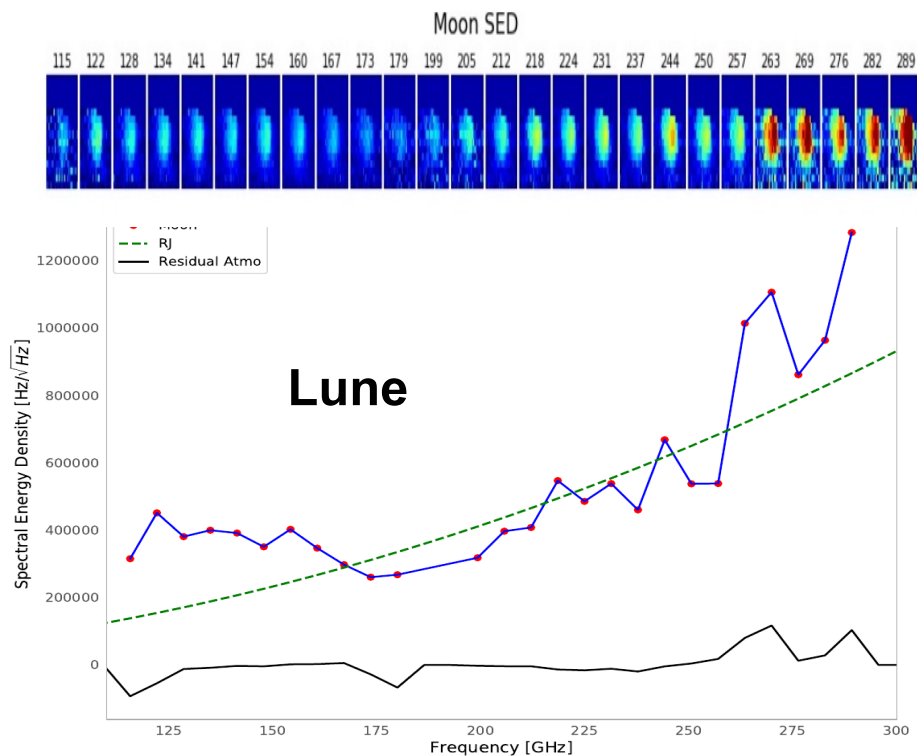
**Frequency Multiplexing Read-Out
Electronics : NIKEL**



- Intérêt pour des mesures spectroscopiques sur une large gamme en fréquence (100 GHz)
- Spectrométrie : couplage camera KIDs et interféromètres Martin-Puplett (MPI)
- KISS conçu et construit à Grenoble
 - très forte contribution des services techniques du LPSC (électronique, SERM, SDI)
- Caméra NIKA modifiée + spectromètre MPI basse résolution spectrale
- 600 KIDs dans la bande à 2 et 3 mm
- Opérée au télescope QUIJOTE entre 2019 et 2021
- Actuellement installée dans la salle millimétrique du LPSC
- Objectif scientifique : Mesurer les propriétés physiques des amas de galaxies à bas redshift via l'effet SZ

KISS : résultats scientifiques

- Développement de **techniques de reconstruction** du signal (Fasano et al. A&A 2021)
- Développement de **pipeline d'analyse** en spectroscopie qui sert de base pour CONCERTO
- Problèmes de couplage optique n'ont pas permis des observations SZ
- Néanmoins, résultats d'intérêt scientifique sur le spectre mm des planètes et de la Lune



Concerto in a nutshell



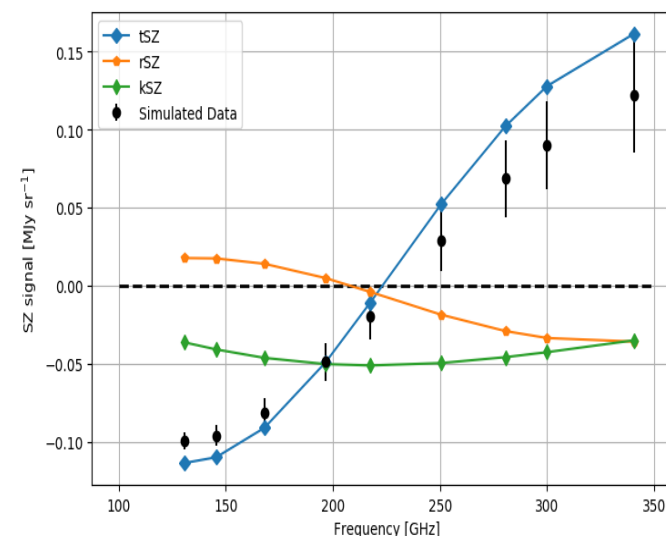
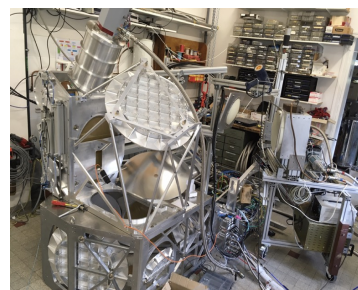
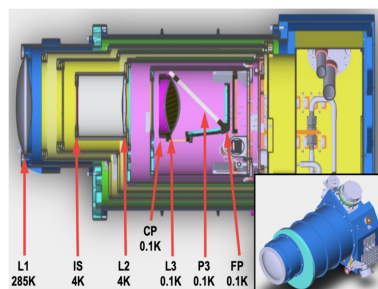
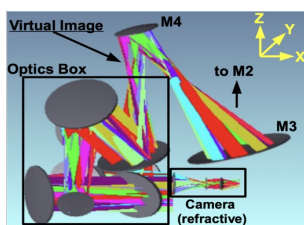
Financé par : ERC Advanced Grant January 2019
 P.I. : Guilaine Lagache (LAM)
 Co-PIs grenoblois IN et LPSC

- Spectro-Interferometer (spectral resolution $R > 100$)
- Observing from 120 GHz to 350 GHz at 12 m APEX Tel.
- Large Field of View (20 arcmin)- LEKID Technology
- Collaboration LAM - Inst. Néel - LPSC - IPAG

Cas scientifique :

- Observations de l'émission de la raie de [CII] à $z > 5$
- Effet SZ dans les amas de galaxies
- émission galactique, autres

L'équipe s'intéresse à séparer les différentes composantes de l'effet SZ : *tSZ*, *kSZ*, *rSZ* pour cartographier la pression, la température, la masse et la vitesse le long la ligne de visée des amas



Installation réussite
 malgré la pandémie COVID-19

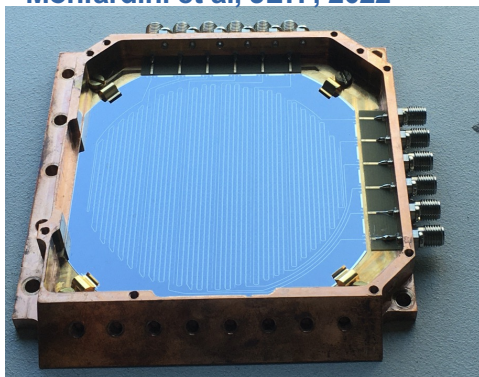


CONCERTO : développements

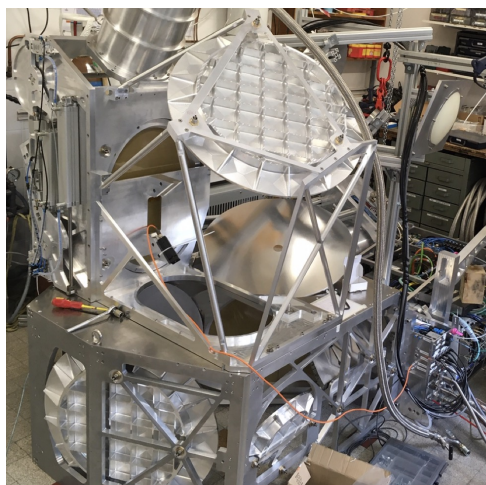
De très grands défis techniques relevés par le GIS KIDs
 et en particulier grâce **aux services techniques** du LPSC : électronique, SDI, SERM
... comme sur NIKA2

2 KID Arrays (4304 pixels)

Monfardini et al, JLTP, 2022



MPI sur mesure

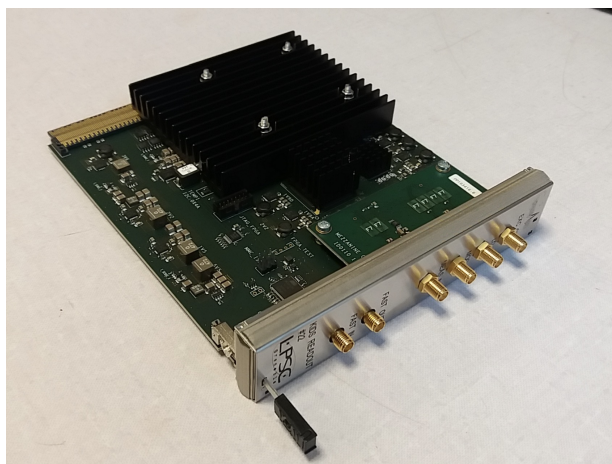


Système d'acquisition très rapide



12 Cartes de lecture NIKEL

Bourrion et al, Jinst 2022



Catalano et al, EPJWC 2022

Bounmy et al, Jinst 2022

Importantes améliorations par rapport à NIKA2 et KISS

- 2 fois plus de détecteurs et pixels polarisées
- **Nouvelle génération de cartes NIKEL**
- →2 fois plus de bande passante – 400 détecteurs lus simultanément
- MPI : FOV de 20 arcmin, course maximale de 70 mm, très compact
- **Système d'acquisition à 4 kHz**

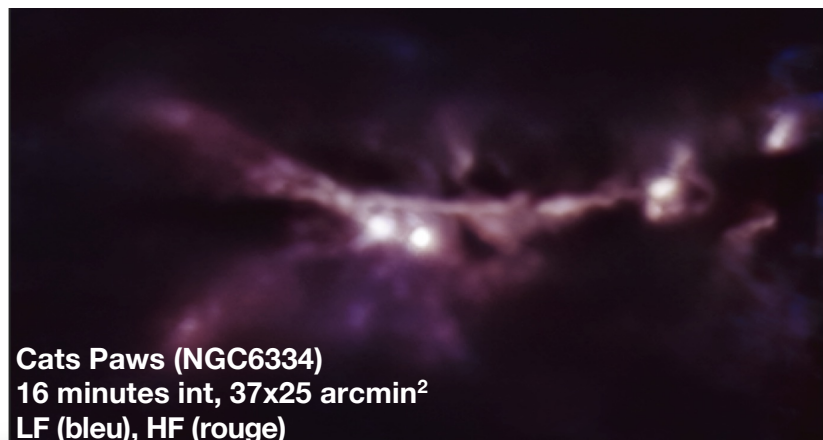
CONCERTO : premiers résultats en spectroscopie

Performances au rendez-vous [Hu et al, A&A, 2024](#)

Grande sensibilité ($100 \text{ mJy.s}^{1/2}$), 80 % KIDs valides, 3 % erreur calibration

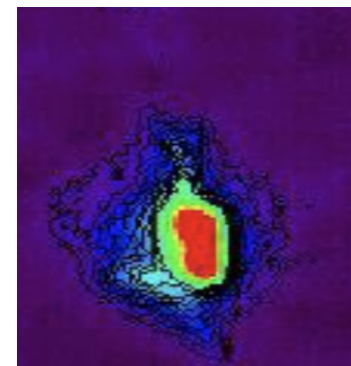
Premiers résultats scientifique très encourageants

→spectral mapping possible !!

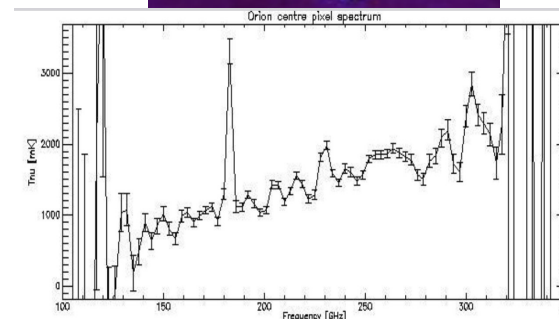


- sensibilité comparable à NIKA2 en photométrie
- région diffuse de formation stellaire

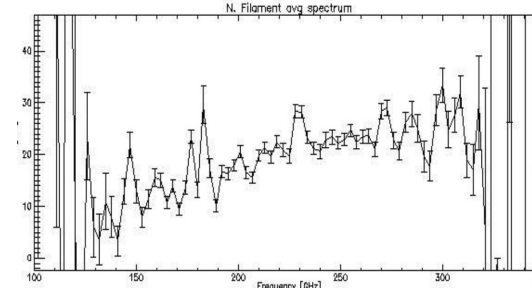
Orion (obs. 1h)



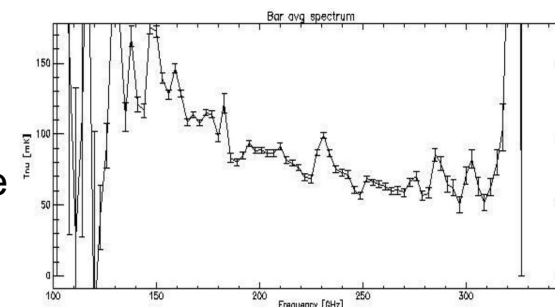
Spectre type
poussière galactique



Spectre
régions très
diffuses



Spectre type
synchrotron galactique



Concerto : travaux en cours et perspectives

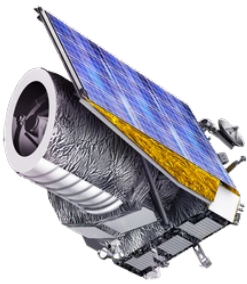
- **Observations** – forte participation de l'équipe et des services techniques sur place et en remote.
 - Cartographie CII en COSMOS : large programme de 1000 heures
 - 5 amas de galaxies : 300 heures de temps ouverts avec souvent PI du LPSC
 - futures sources spectrales standards : 40 heures de temps ouvert

- **Simulations** du spectre de l'émission de la raie de [CII]
 - Simulated Infrared Dusty Extragalactic Sky (SIDES, Béthermin et al, A&A 2022)
 - Extraction du spectre de [CII] (Van Cuyck et al, A&A 2023)
 - Simulations de l'émission des raies de CO, [CI] et [CII] (Gkogku et al, A&A 2023)

- **Analyse des données** (héritage de KISS)
 - Papier performance en continuum en revue interne (Hu A&A 2024)
 - Pipeline en spectroscopie en développement (contribution importante du LPSC)

- **À venir**
 - Etalonnage absolu sous responsabilité du LPSC
 - Premières cartes spectroscopie des standards spectrales
 - Analyse amas et de la distribution de CII

Euclid



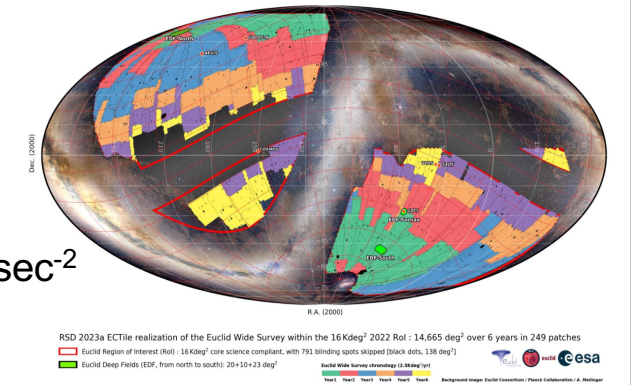
Euclid in a nutshell



Révéler la **nature de l'énergie noire** et la **distribution de matière** dans l'Univers

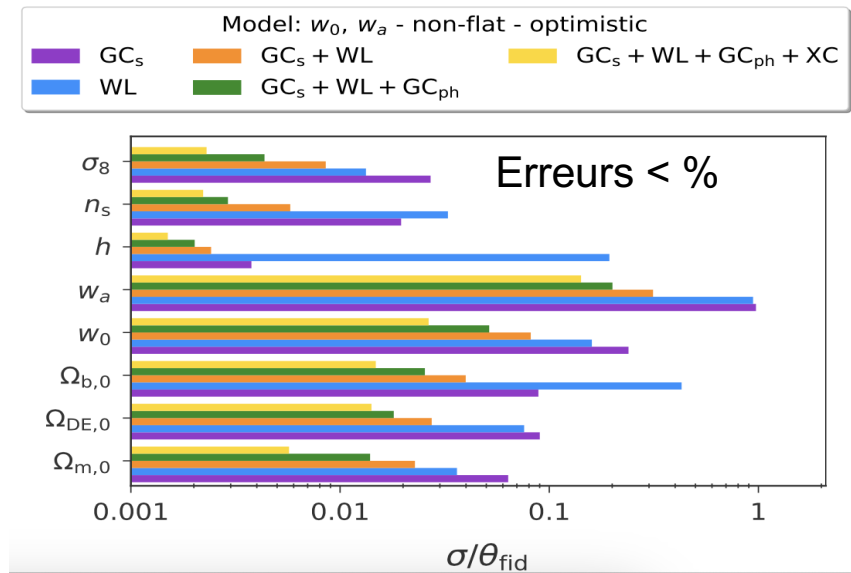
- Lancé le 1^{er} Juillet 2023 par SpaceX Falcon 9 depuis Cape Cañaverl
- Télescope de 1.2 m avec deux instruments :
 - VIS : une seul bande dans le visible,
26.2 mag for point-like source @ 5σ , 29.8 mag arcsec⁻²
 - NISP : photomètre sur 3 bandes et spectro infrarouge proche,
24.5 mag for point-like source @ 5σ , 28.4 mag arcsec⁻²
- Mission de 6 ans
 - Wide survey de 14665 deg² (...Rubin)
 - Deep survey de 53 deg² (...NIKA2)
- Erreur sur le redshift : 0.05 (1+z) photo, 0.001 (1+z) spectro

Scaramella+2022



- **Principales sondes cosmologiques**
 - **Weak lensing (WL):**
1.5 billion galaxies
3D cosmic shear pour $0 < z < 2$
 - **Galaxy clustering (GC) :**
50 millions de galaxies
3D galaxy positions pour $0.7 < z < 2$
 - **Amas de galaxies :**
détection de $2 \text{ à } 3 \times 10^5$ amas

Blanchard+2019



Euclid : tests EMC des détecteurs du NISP

- **Tests de compatibilité électro-magnétique (EMC)** des détecteurs du NISP par rapport au système de télémétrie à bord du satellite chez Airbus
 - **Développement et construction d'un cryostat dédié**
 - fenêtre transparente aux ondes radio et opaque au visible et à l'infrarouge
 - conception SDI et fabrication SERM
 - **Lecture et traitement des données** avec le service informatique et le SDI
 - **Résultat**
- **les détecteurs du NISP sont sensibles aux ondes radio**
 ... mais avec des puissances et à des fréquences différentes par rapport à la télémétrie
- Rapports et présentations à l'ESA plus contribution proceedings

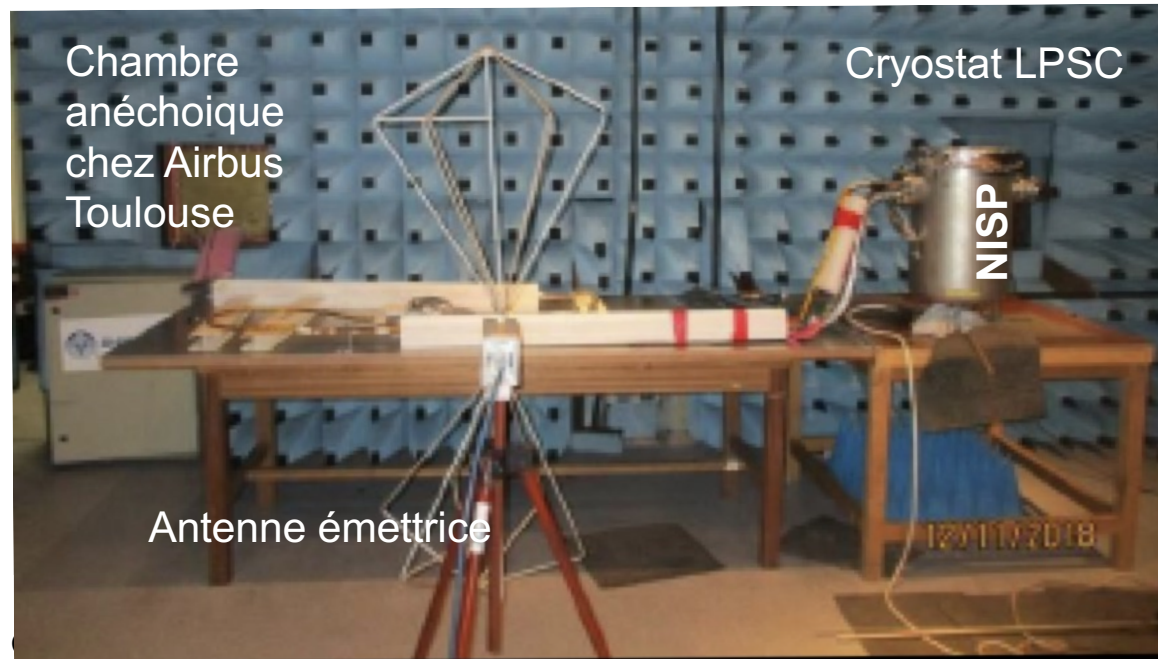
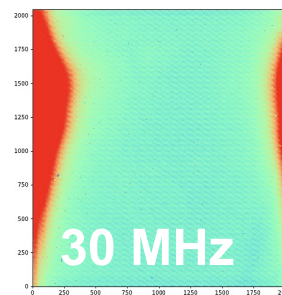
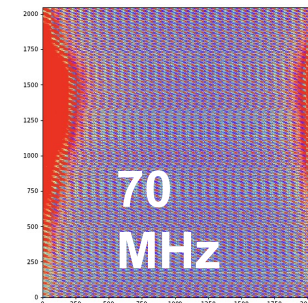


Image NISP

Pas sensible



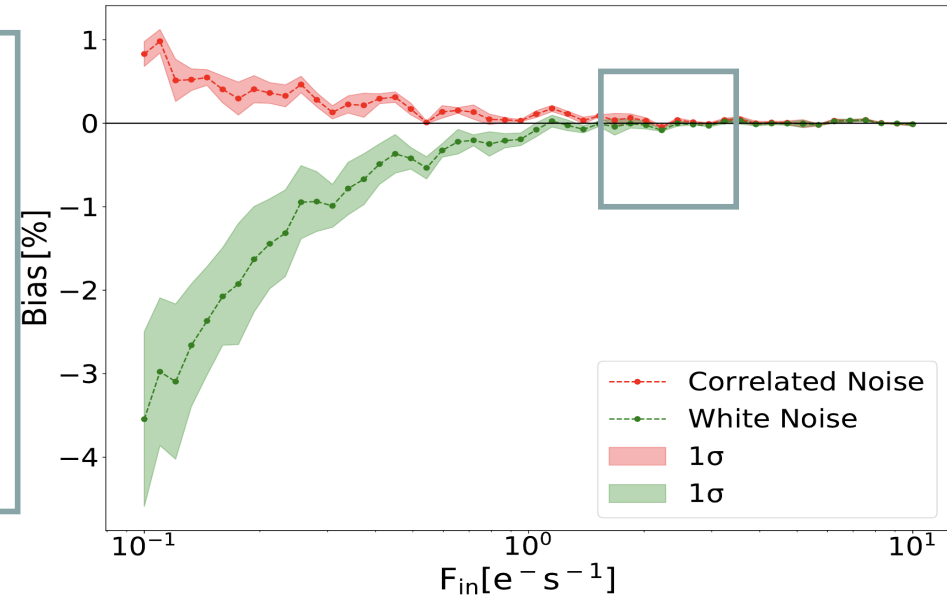
sensible



Euclid - résultats : bruit et analyse amas

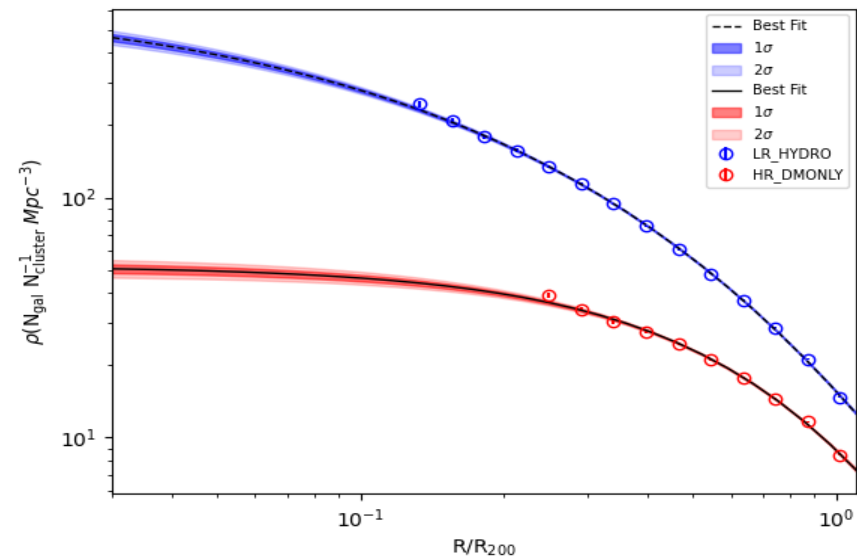
- Détecteurs du NISP
 - bruit corrélé à basse fréquence
- Algorithme :
 - prise en compte dans la mesure du flux en vol
- Résultat
 - biais **très faible**, pour le niveau de background attendu pour Euclid

Jiménez-Muñoz et al., PASP, 2021



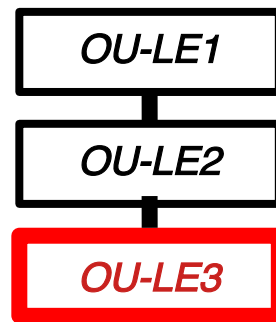
- Simulations The300
 - Reconstruction de la distribution des galaxies dans les amas
- Calcul de la fonction de sélection
 - « cluster injection »
- Résultat
 - Probabilité de détection (Masse, redshift)

Jiménez-Muñoz et al. A&A 2023

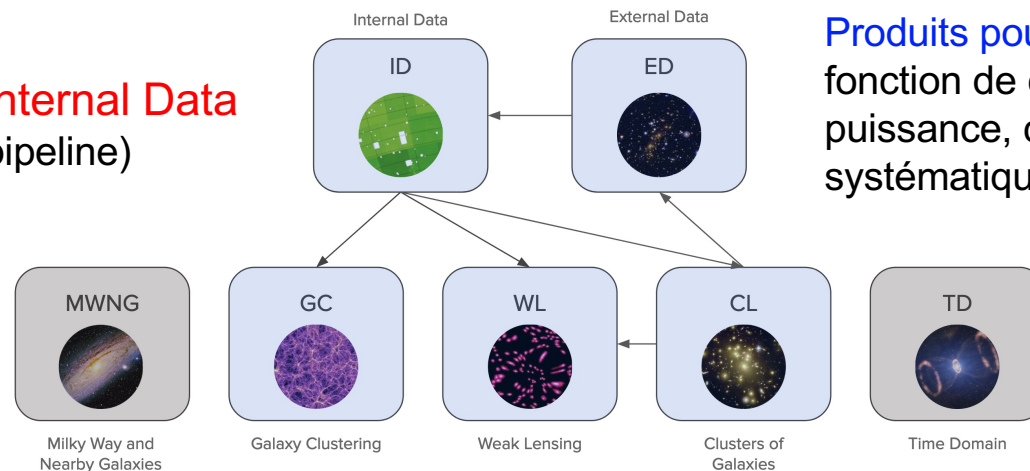


Euclid Science Ground Segment (SGS) au LPSC

Processing niveau L1 et L2
 Calibration, image processing,
 reconstruction catalogue galaxies avec
 cisaillement gravitationnel et redshift



LPSC responsable d'Internal Data
 (fonction de transfert du pipeline)



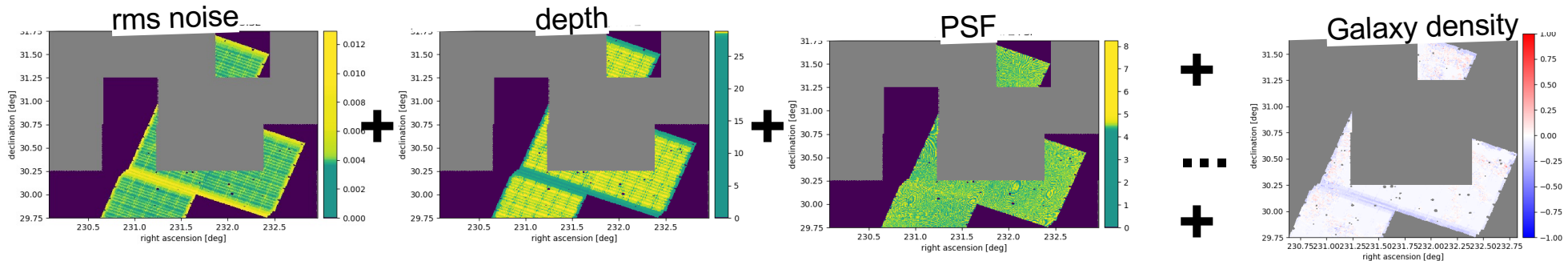
Produits pour analyse cosmologiques :
 fonction de corrélation, spectres de
 puissance, catalogue d'amas de galaxies,
 systématique description

LPSC responsable Processing Function (PF) VMPZ-ID

- **Systematiques dans la cosmologie** induites par des variations spatiales
 - des conditions d'observation
position relative du satellite par rapport au soleil, température, etc.
 - de la brillance du ciel
 - de la contamination astrophysique
 - des variations des performances instrumentales.
- **Prise en charge par le service informatique + CDD info CNES**

Euclid : masques et cosmologie avec galaxy clustering

- **Construction de masques** des conditions d'observation, des performances instrumentales, brillance du ciel, données housekeeping de l'instrument, densité galaxies et d'étoiles, etc

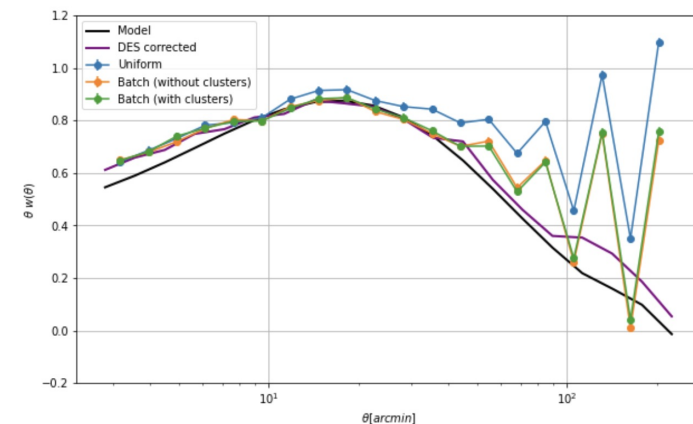


- **Construction du masque de "visibilité"** (équivalent de la fonction de transfert) via les *méthodes décontamination* et *génération de catalogues de galaxies "randoms"* (ou des poids) avec l'empreinte des effets systématiques

- Analyse des **vraies données d'Euclid** en cours (première pipeline semaine dernière)
- **Data Release 1 dans un an**

- **Validation scientifique** avec les données de DES (Rodriguez-Monroy+2021)

Correction au niveau de la cosmologie -
fonction de corrélation des galaxies



Euclid @ LPSC

- Forte implication des services techniques du LPSC
→ contributions de qualité et pertinentes même pour une petite équipe
- Responsabilités au sein du SGS et cosmologie
 - ambition : *maitriser les effets systématiques limitant à terme la cosmologie avec Euclid*
clustering de galaxies en photo-z
→thèse envisagée pour 2024
- Volonté de faire des analyses end-to-end
 - implication accrue dans les analyses cosmologiques amas
 - moteurs pour la mise en place d'un groupe de travail pour la validation des produits de base de la détection et caractérisation
- Simulation The300
 - comparaison des propriétés physique des amas d'Euclid (*suite thèse Jiménez-Muñoz*)
- Synergies avec d'autres expériences dans l'équipe et au LPSC :
 - Suivi en SZ des amas haut redshift des régions profondes d'Euclid avec NIKA2
→mesure de masse multi-longueur d'onde (*suite thèse Muñoz-Echeverría*)
 - Mise en commun des données du Rubin-Observatory (collaboration DARK)
 - Cross-corrélation avec les données de SO et CMB-S4
- Contributions à la cellule de communication d'Euclid-France (film Cosmic Tour VR)

Euclid : premières images

EROS release

Galaxie spirale IC342

Nébuleuse de la tête de cheval

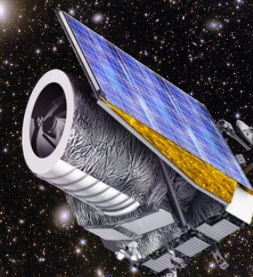
Amas globulaire NGC 6397



La relève cosmologique démarre dans juste quelques semaines

Galaxie irrégulière NGC 6822

Amas de galaxies de Persée



Salle millimétrique

Salle millimétrique : contexte

Les expériences de nouvelle génération dans le mm et sub-mm nécessitent des instruments de grands champs de vue et grandes étendues de faisceau

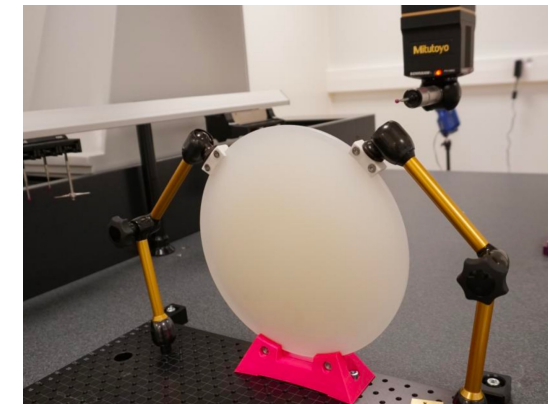
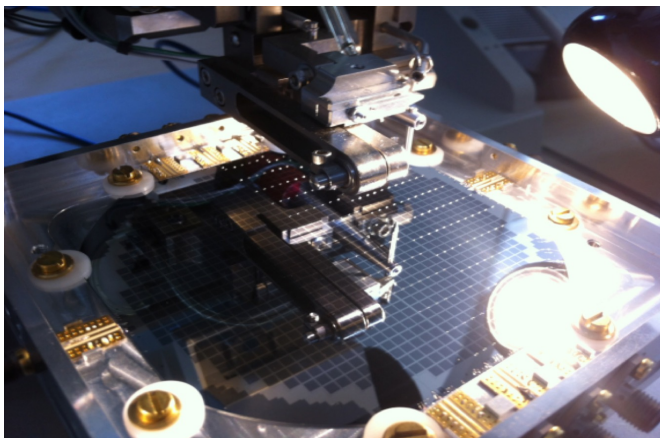
Flux de données élevé (Gb/s)



Matrices de détecteurs plus de 10k-pixels

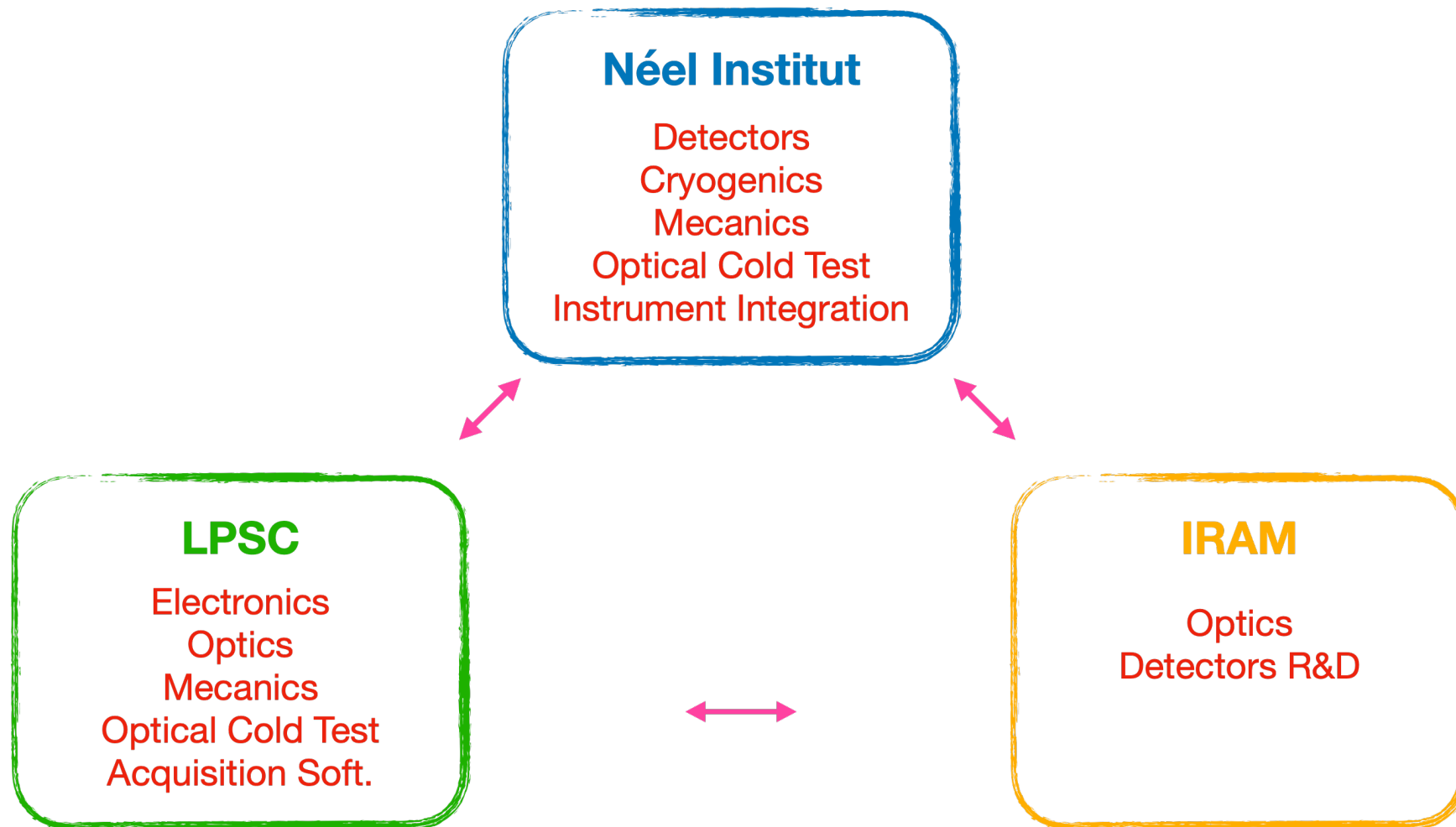
REU avec facteur de multiplexage élevé

Optiques de grand diamètre



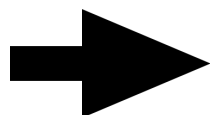
Salle millimétrique GIS-KID

Au sein du GIS-KID les activités instrumentales sont partagées sur trois laboratoires

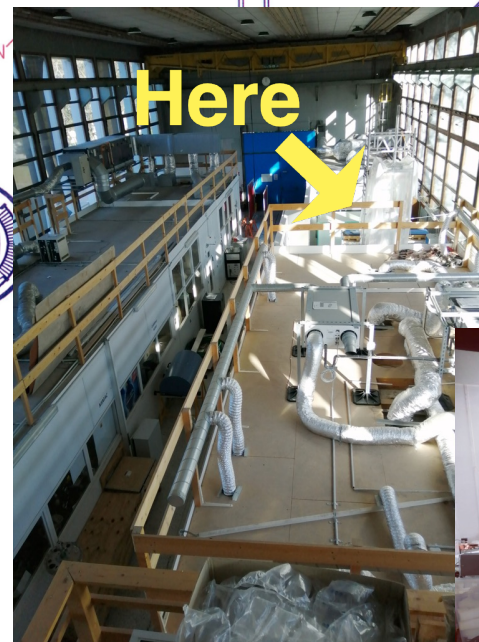
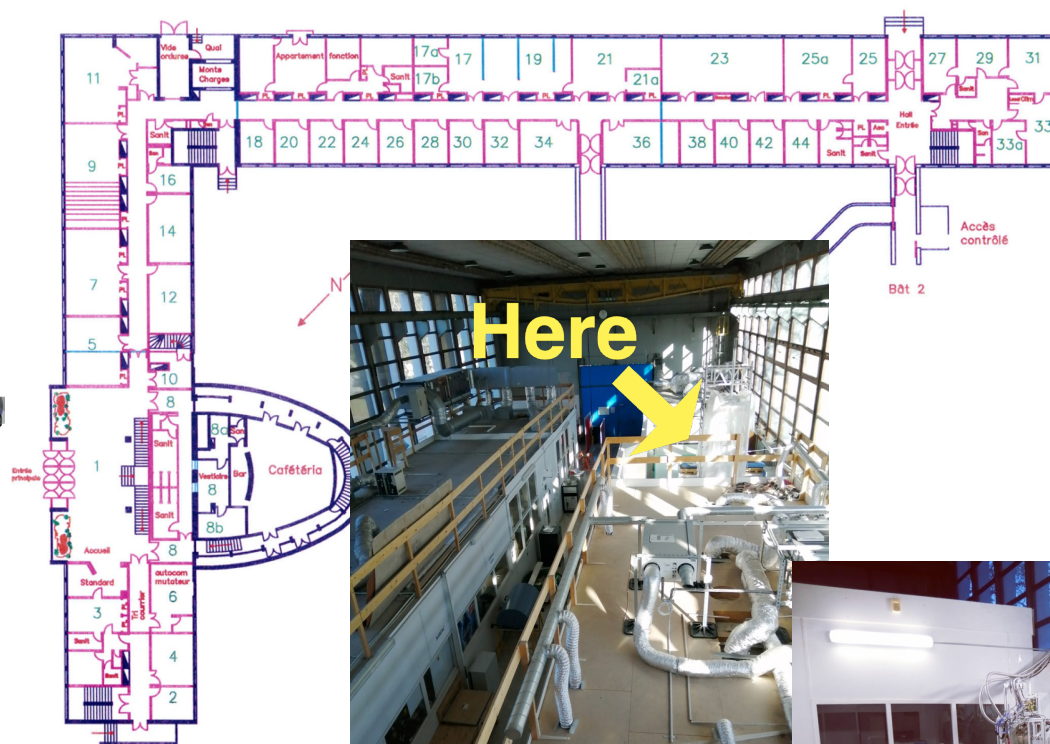


L'instrument KISS : de Tenerife au LPSC

KISS@Tenerife



KISS@LPSC



Hall B



Salle millimétrique : activités

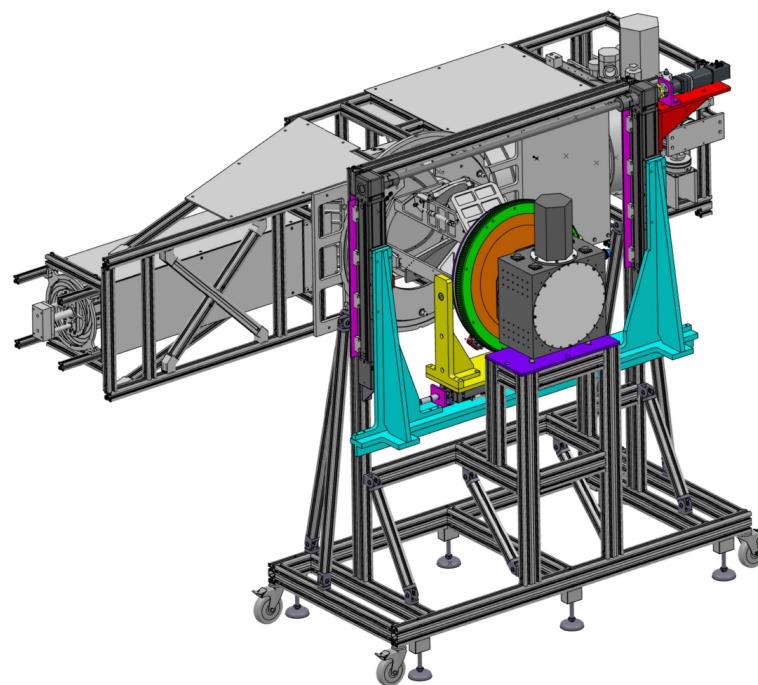
Les activités de la salle expérimentale tournent principalement autour de 3 axes :

- **Développement de nouvelles générations de readout**
→ *financement Labex FOCUS*
- **Mesures de caractérisation des matrices des KID de nouvelle génération**
→ *financement CNES, Labex Focus, ...*
- **R&D anti-reflet optique** : mesures à froid sur les échantillons d'anti-reflets produits par l'atelier du LPSC
→ *financement Labex ENIGMASS, ...*

fraiseuse 3 axes Silicium
financée par Enigmass

Equipements Principaux

- Cryostat à dilution (100 mK)
- Câblage pour lire jusqu'à 1200 KID.
- Electronique de lecture
- Interféromètre Martin-Puplett
- Simulateur de ciel.



Salle millimétrique : exemple de développement récent

Le simulateur de ciel



Simulateur de Ciel

Remplace:

le telescope : couplage optique correcte
+

l'atmosphère : emission homogène
à la bonne temp.
+

source astrophysique: objet ponctuel et
suffisamment brillant

couplage optique correcte
+
emission homogène
à la bonne temperature



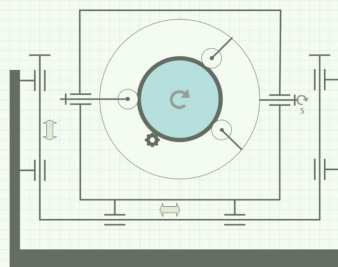
Cryostat - PT
Temp ~ 20-60 K



Objet ponctuel
suffisamment brillant

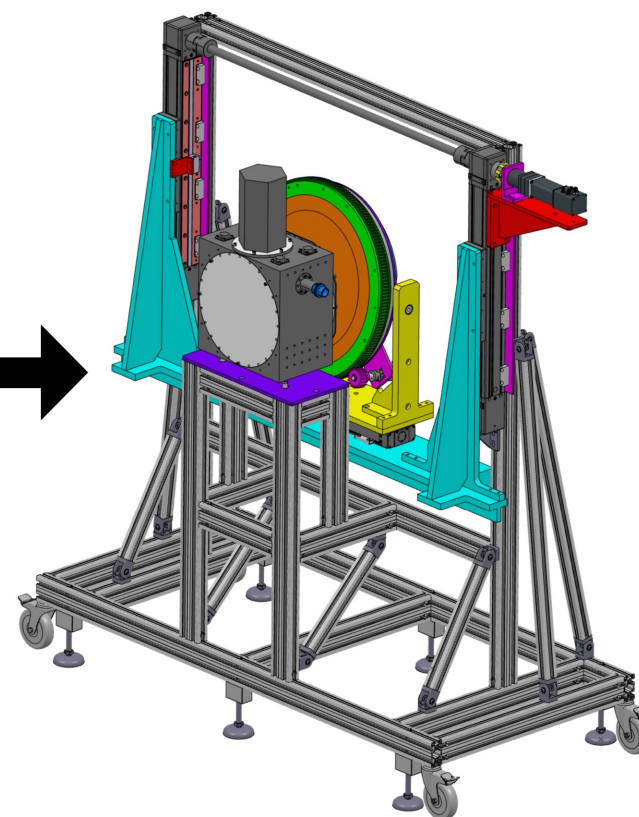


Modulateur 3 deg. Liberté
avec membrane Kapton et
pastille noire ou polariseur



+

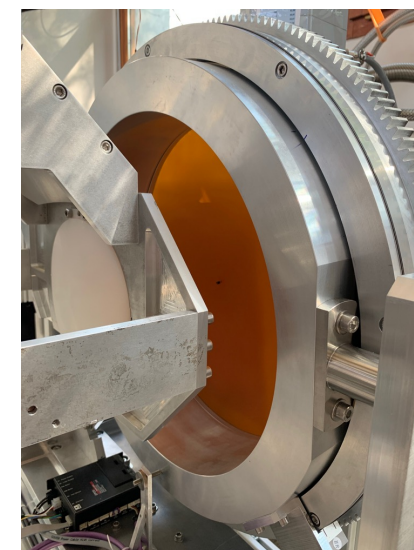
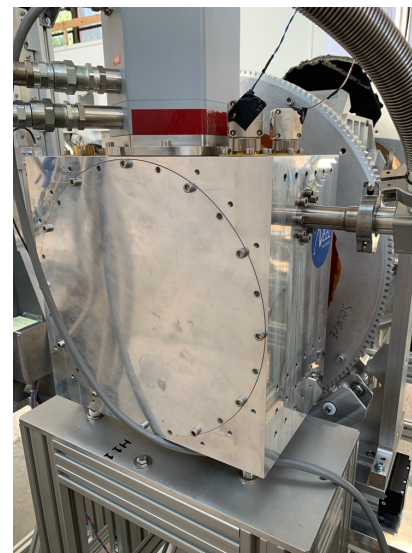
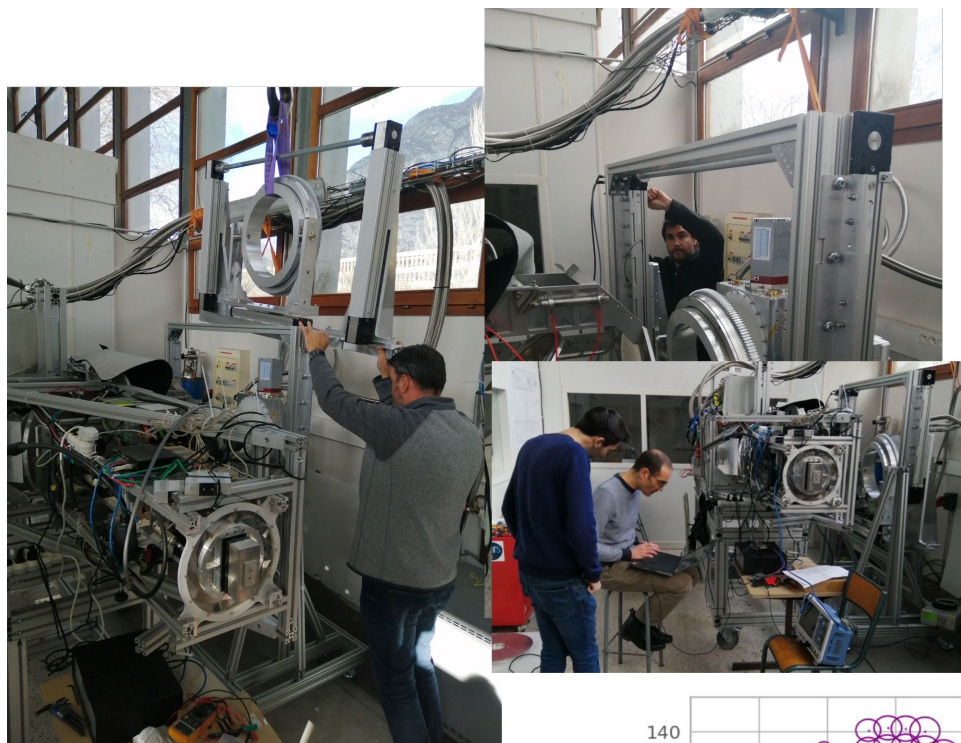
Un'électronique de controle
qui puisse déplacer la source
De maniere controlée pour
pouvoir caractériser des
matrice de KID de nouvelle
génération



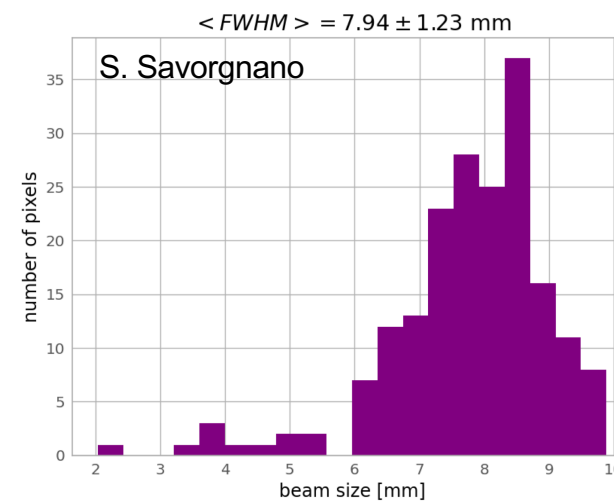
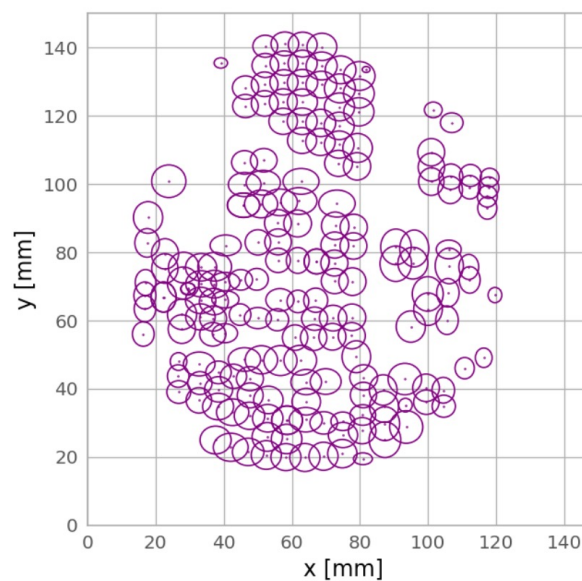
Salle millimétrique : Installation et Premiers résultats

Arrière

Avant



Lobes et leur distribution
sur le plan focal



Salle millimétrique : conclusion

Un outil précieux pour des mesures avec une **chaîne complète** :
détecteurs froids, électronique froide et chaude, optique, software d'acquisition,
permettant des mesures de précision pour :

- la validation instrumentale,
- la vérification logiciel,
- le prototypage,
- la caractérisation instrumentale,
- l'obtention de résultats scientifiques d'envergure.

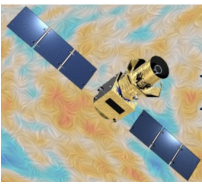
Importance capitale pour **notre implication dans SO et LiteBIRD** :

- synergie chercheurs/ITA, gain de temps
- maîtrise des effets systématiques en polarisation (LiteBIRD)



visite au programme

LiteBIRD et Radioforegrounds

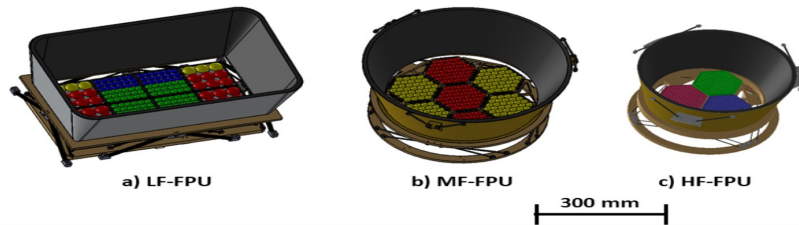
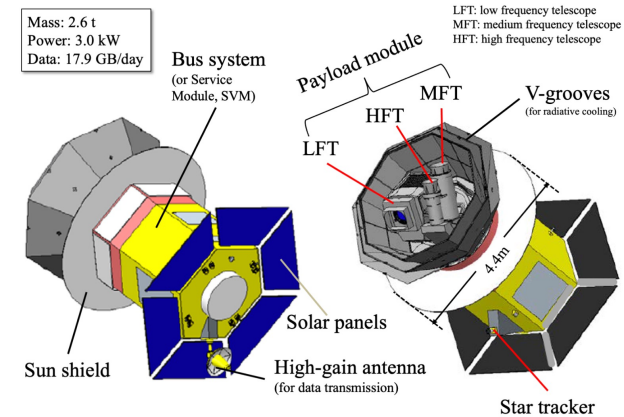


LiteBIRD in nutshell

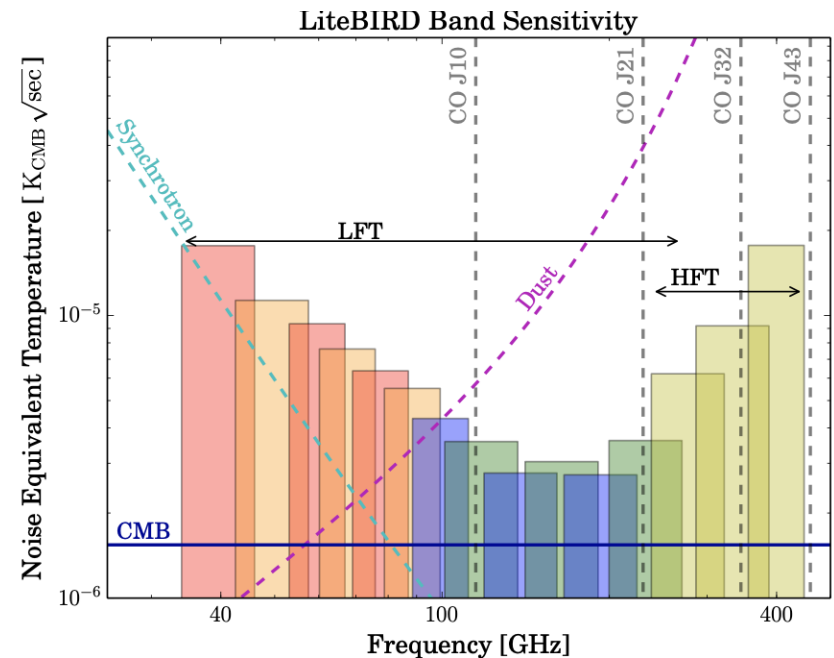
Mission L-class de la JAXA en collaboration avec l'ESA et la NASA

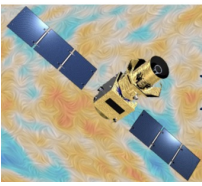
Étude de la période d'inflation de l'Univers via les modes B primordiaux en polarisation du CMB

- Lancement prévu en 2032-2033 avec H3 rocket
- Observations au point L2 de Lagrange
- 3 télescopes et 15 bandes en fréquence pour maîtriser les émissions d'avant-plan
 - LFT : 34 – 161 GHz, 1080 TES, 24 à 71 arcmin res.
 - MFT : 89 - 224 GHz, 2074 TES, 37 à 28 arcmin res.
 - HFT : 166 - 448 GHz, 1354 TES, 28 à 18 arcmin res.
- LFT piloté par le Japon MFT et HFT par l'Europe

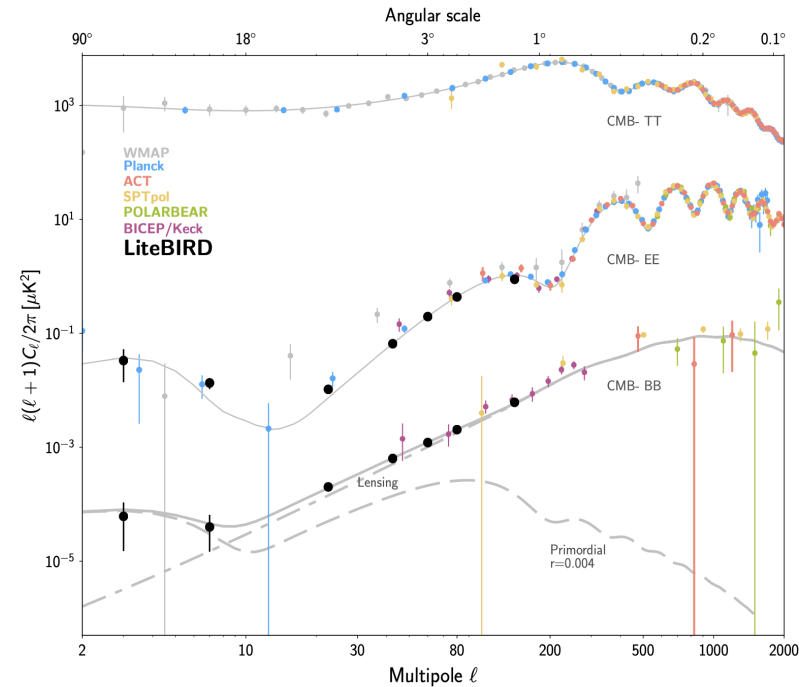


- Contrôle ultime des effets systématiques en polarisation
- Optimisation pour la soustraction des émissions d'avant-plan en polarisation
- Conception spécifique pour éviter « bandpass-mismatch »

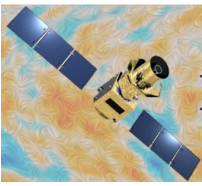




LiteBIRD in nutshell



- Mission de 3 ans, $2.2 \mu\text{K} \cdot \text{arcmin}$ en polarisation
- Très grandes échelles angulaires et couverture complète du ciel
- Reconstruction de l'histoire de la réionisation et de la recombinaison
- Mesure précise du rapport tenseur-scalaire : $\Delta r = 0.001$ en incluant les effets systématiques, émissions d'avant-plan et de-lensing
- Physique fondamentale avec le CMB



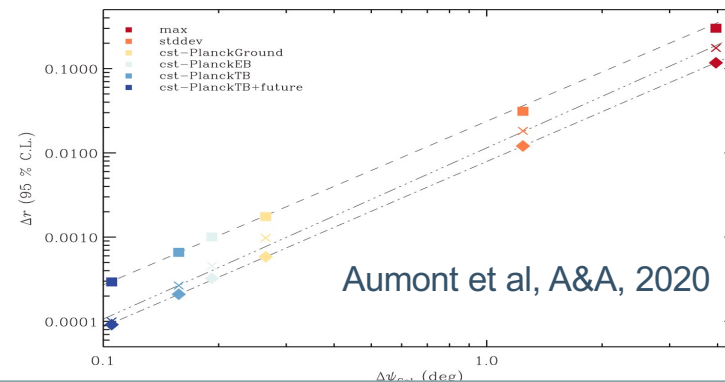
LiteBIRD : contributions du LPSC

Calibration au sol des instruments des MHFT

- Système de caractérisation de l'instrument en polarisation et spectralement
- Banc de test (MPI) pour la mesure de bandes spectrales
→ conception et fabrication
- Mesures haute précision de la polarisation instrumentale et des erreurs systématiques dans l'angle de polarisation
- R&D CNES pour la caractérisation fine de la polarisation instrumentale

Calibration absolue angle de polarisation

- Nébuleuse du Crabe (Aumont+2020, Vielva+2022)
→ calibrateur absolu de l'angle de polarisation
- Projet COSMOCAL (instrument sol)
→ source artificielle pour calibrer en absolu l'angle de polarisation des sources de référence

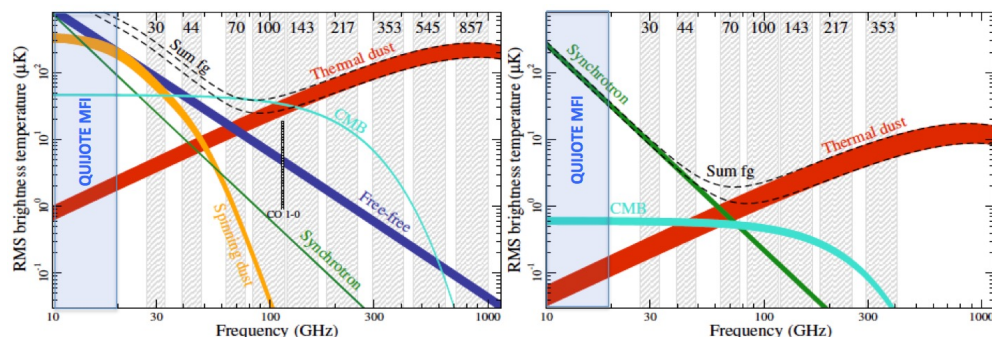


Collaboration et cosmologie

- Membres du comité éditorial de LiteBIRD et du groupe calibration et systématiques
- Étude des émissions d'avant-plan et des champs magnétiques galactiques
- Mesure du spectre de puissance de l'effet SZ
- Synergies avec NIKA2 et d'autres expériences CMB futures

ERCs RADIOREGROUND et RadioForegroundsPlus

Caractérisation des émissions d'avant-plan en polarisation
 en combinant des données radio au sol et satellites (WMAP et Planck)



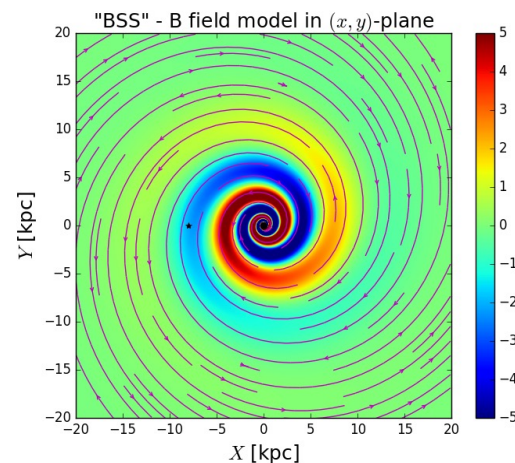
- Mesures des anisotropies en températures du CMB à grand échelle fortement contaminées par les avant-plans
- L'émission polarisée de la galaxie (synchrotron et poussière) domine le signal en polarisation du CMB

H2020 COMPET-05-2015



HORIZON-CL4-2023-SPACE-01

- Noeud LPSC (RF) puis CNRS (RF+) avec LPSC+IRAP+IPA G
- Responsables WP - postdoc pour LPSC (X2)
- Modélisation et reconstruction du champs magnétique galactique (RF)
- Livraison code gpempy (RF)
- Reconstruction champs magnétique galactique turbulent (RF+)
- Caractérisation du spectre de la poussière en polarisation (RF+)



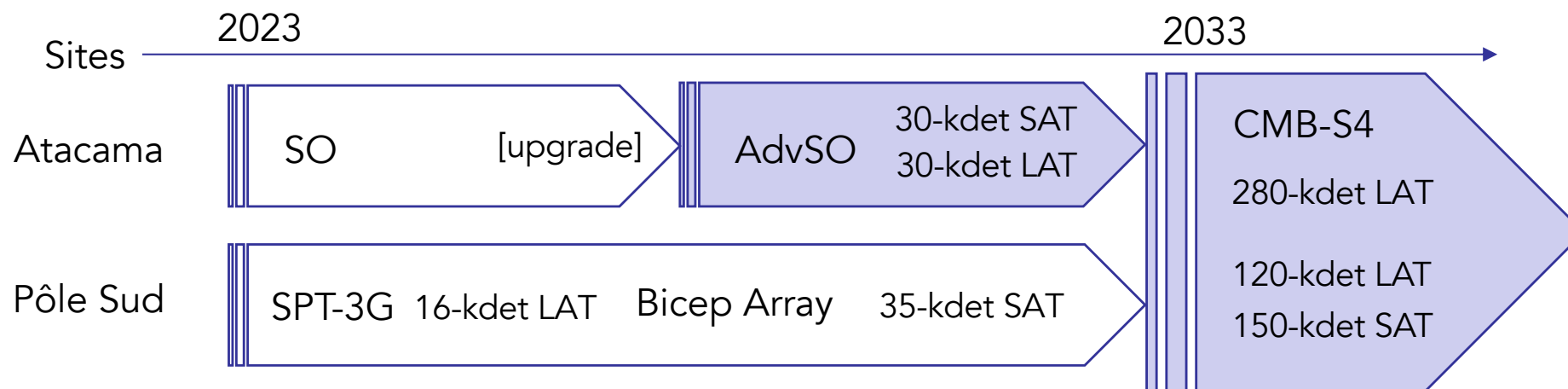
V. Pelgrims et al. A&A 2021

Les futures expériences CMB au sol

Simons Observatory et CMBS4

Les futures expériences CMB au sol

Deux projets phares échelonnés dans le temps



Adapté de J. Borrill

Les principaux objectifs scientifiques (goal CMB-S4)

Univers primordial

- Inflation via le mode B primordial de polarisation ($r \leq 0.001$ at 95% confidence)
- Particules reliques ($N_{\text{eff}} \leq 0.06$ at 95% confidence)

Dark sector

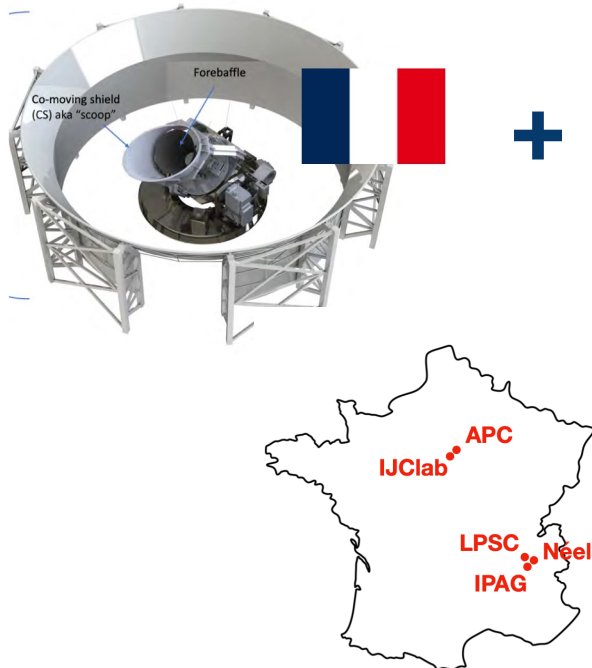
- Cartographier la matière noire de l'univers via le CMB lensing et le SZ (M_{nu})
- Cosmologie avec les amas de galaxies

Simons Observatory

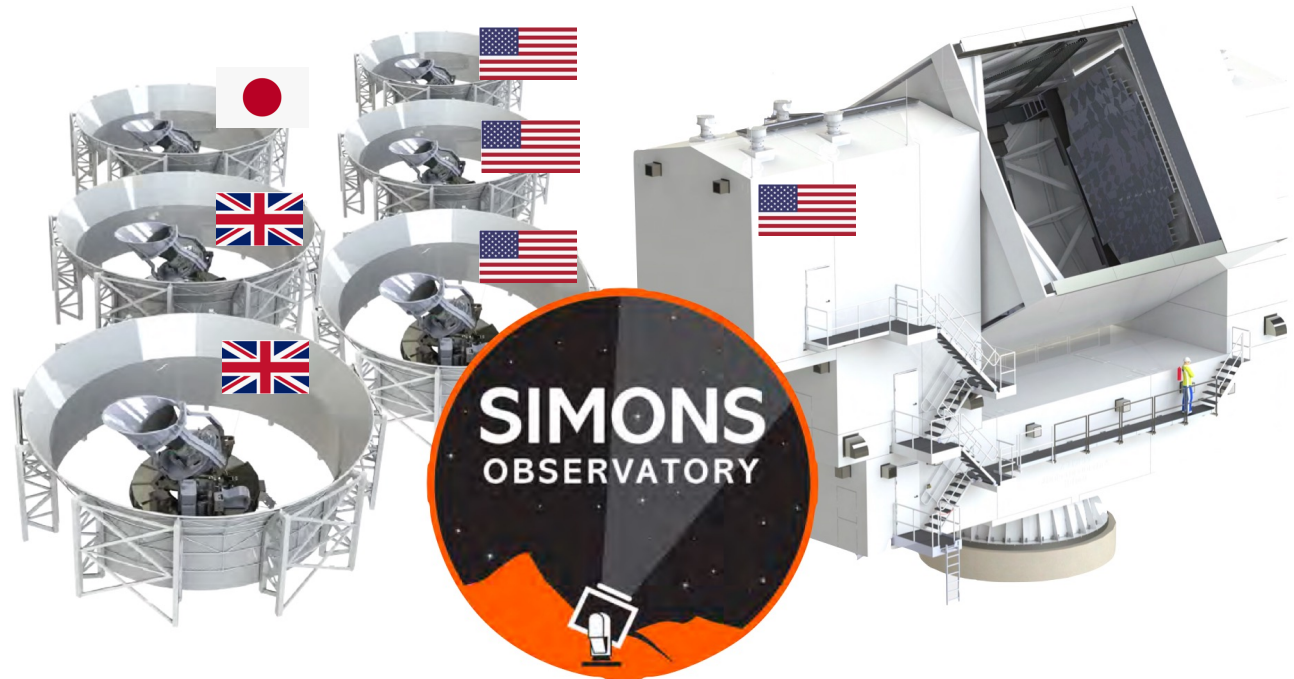
Simons Observatory

- **Projet phare des 10 prochaines en cosmologie.**
- **7 Télescopes (1 LAT, 6 SAT) pour env. 100k-pixels**
- **Installation du premier SAT-US en 2023. Observations au moins jusqu'à 2035.**

KID French SAT



Collaboration



Soumission d'une demande au programme CNRS **Accélération de la recherche à risque (ARR)** pour financer la conception et l'installation d'un SAT supplémentaire basé sur la technologie KID.

Simons Observatory

Pourquoi ajouter un SAT supplémentaire à hautes fréquences ?

- **Améliorer les résultats scientifiques de SO**

Mesure plus précise de la contamination des émissions de la poussière galactique

→ un des facteurs limitants pour l'exploitation cosmologique des modes-B en polarisation

- **Améliorer la maturité (*TRL*) de la technologie mm française**

→ possibilité de faire progresser la technologie KID pour les observations du CMB

- **Fédérer la communauté française**

→ consolider les responsabilités acquises aujourd'hui par le master projet SO de l'IN2P3

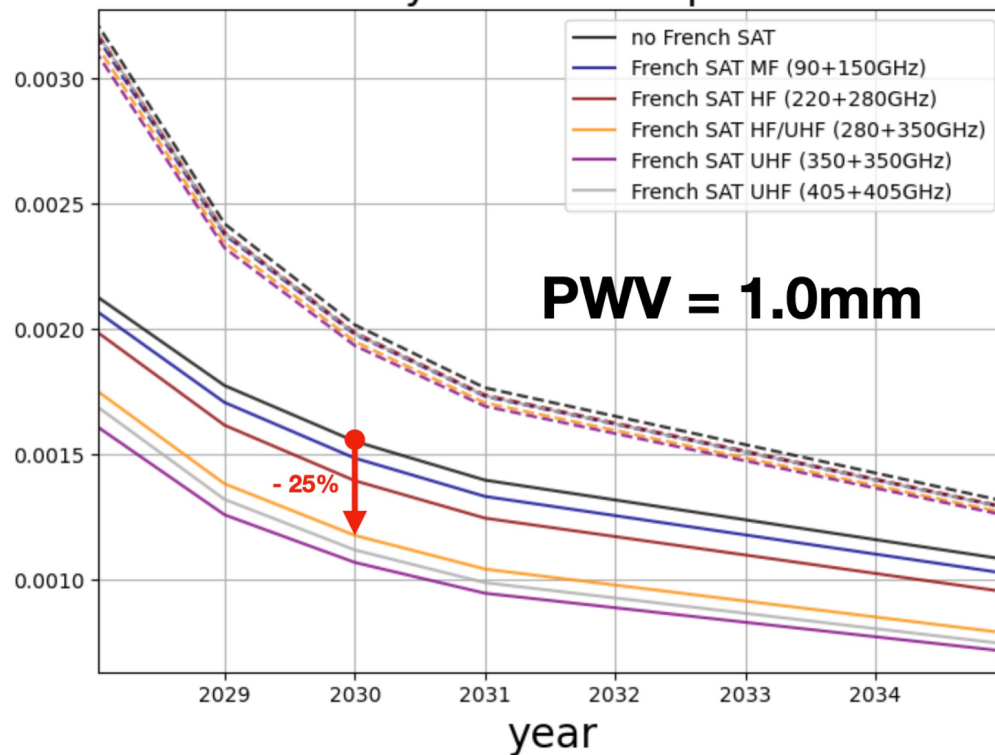
→ fédérer la communauté française de manière transverse aux instituts.

Simons Observatory : forecast

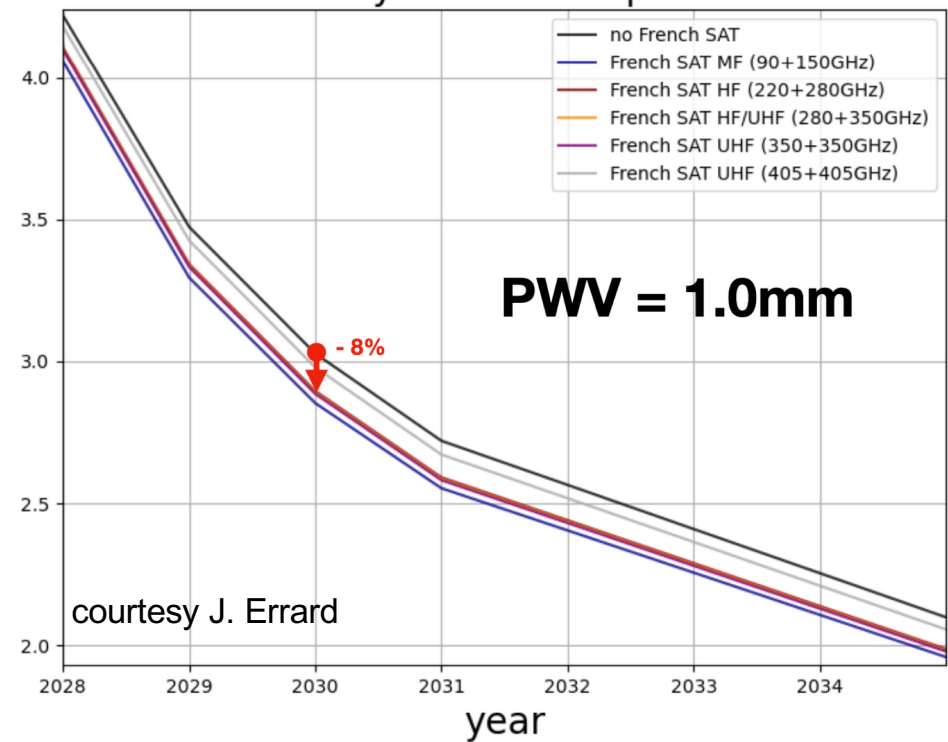
Amélioration sur

- l'incertitude des indices spectraux de la poussière
- le bruit des cartes de CMB

uncertainty on spectral indices
CMB+synch+dust separation



noise in CMB map after
CMB+synch+dust separation



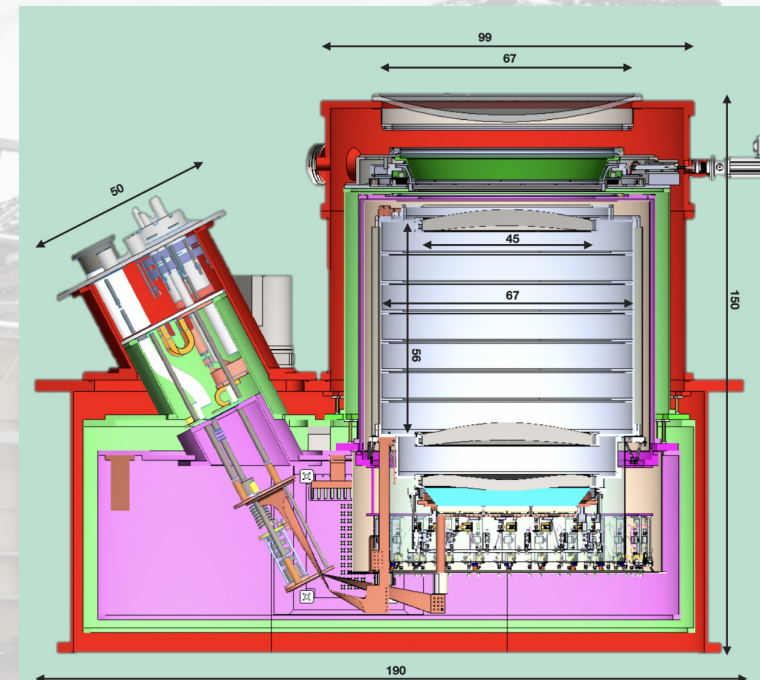
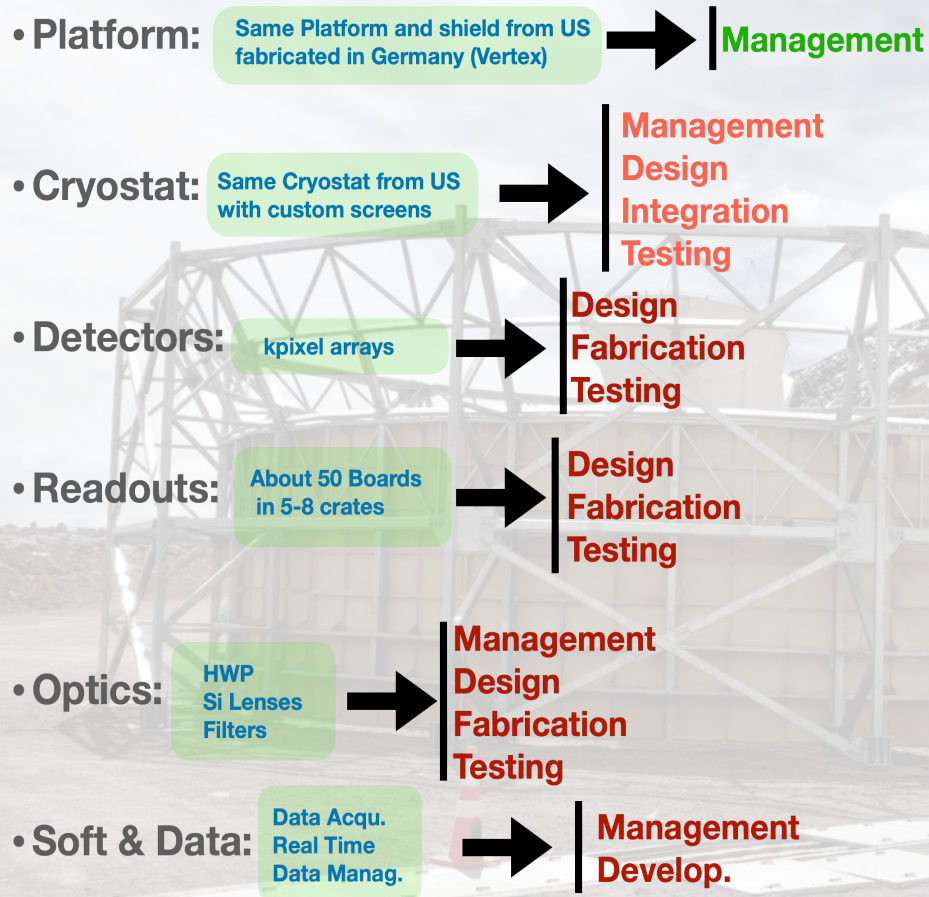
Simons Observatory : implication instrumentale

Forte implication de l'IN2P3 (IJCLAB, APC et LPSC) dans les développements instrumentaux

... et de la synergie grenobloise (GIS-KID)

Projet piloté par le LPSC

Dépôt dossier ARR → dès ouverture campagne



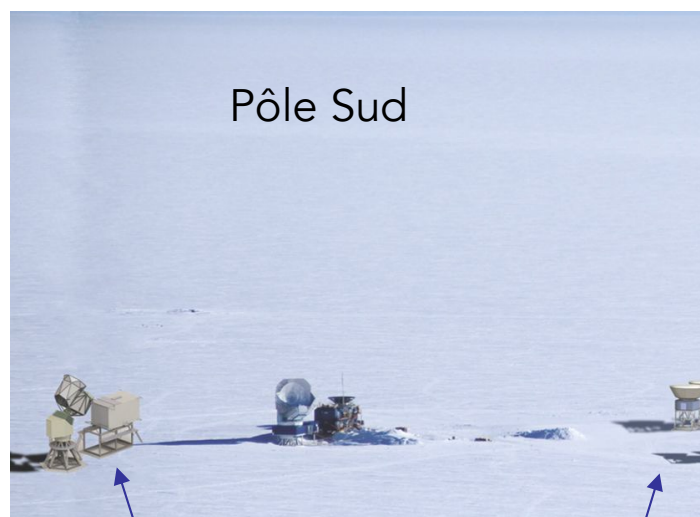
CMB-S4

CMB-S4 : une brève présentation

Une collaboration internationale pilotée par les US (financement mixte DOE et NFS)

Un design pensé pour répondre aux objectifs scientifiques prioritaires

Design actuel (après les restrictions de déploiement de nouvelles expériences au Pole Sud en 2022)



Pôle Sud

1 LAT (5m)

- 130 kdétecteurs
- delensing

3 SAT (0.5m)

- 150 kdétecteurs
- 3% du ciel
- ultra-deep

Deux sites



Désert de l'Atacama

1 LAT (6m)

- 130 kdétecteurs
- 60% du ciel
- FWHM = 1.4 arcmin

CMB-S4 : implications envisagées

Stratégie CMB@in2p3

Entrée officialisée par la signature d'un MoU : engagement de participation technique au projet en 2024-2026

Engagement parallèle dans les groupes d'analyse

Stratégie LPSC

1. **Hardware** : Participation au design et à la construction d'une carte « fille » alternative pour l'électronique chaude. Collaboration SLAC (USA) et APC
2. **Data Management** : Proposition de participation à :
 - la gestion des métadonnées (AMI)
 - l'élaboration d'un pipeline de simulation temporelle
3. **Analyse cosmologique** :
 - WG « Clusters » : cosmologie avec les amas de galaxies
 - WG « Maps to Other Statistics » : cartographier la matière de l'Univers avec le CMB lensing et l'effet SZ

+ *Participation de membres de l'équipe DARK*

CMB-S4 : contribution à l'électronique chaude

Collaboration entre SLAC (USA) et l'IN2P3 (APC & LPSC)

Problématique : la carte électronique actuelle développée par SLAC n'atteint pas le niveau de bruit requis

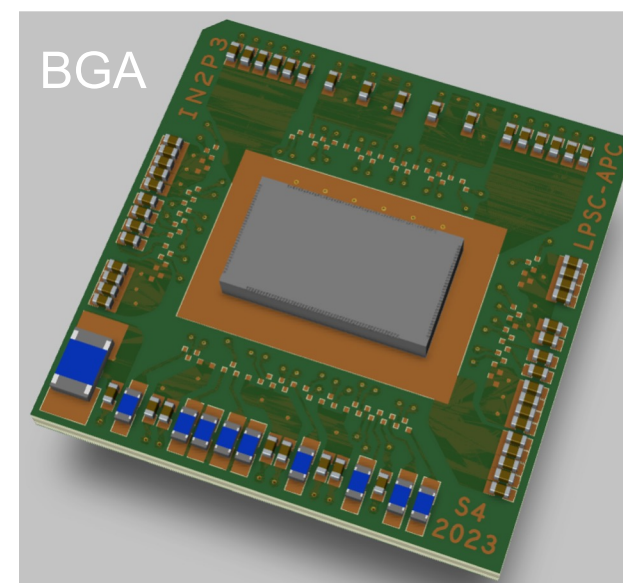
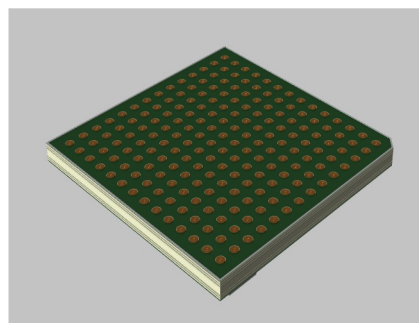
Opportunité@IN2P3 : profiter de l'expérience en électronique de lecture des TES / en particulier les développements de l'APC pour l'instrument X-IFU d'Athena

Projet : insérer une carte fille afin de connecter le processeur développé à l'APC à la carte électronique de SLAC pour en augmenter les performances

Le LPSC a la responsabilité de l'intégration de la carte fille en livrant un nouveau « packaging » ultra-compact

Développement d'un circuit imprimé (carte PCB) de 1.5 x 1.5 mm² permettant de connecter 4 ASIC sur une carte fille

Face arrière : 196 billes
« like-Ball Grid Array »



F. Rarbi, J. Waquet, N. Ponchant

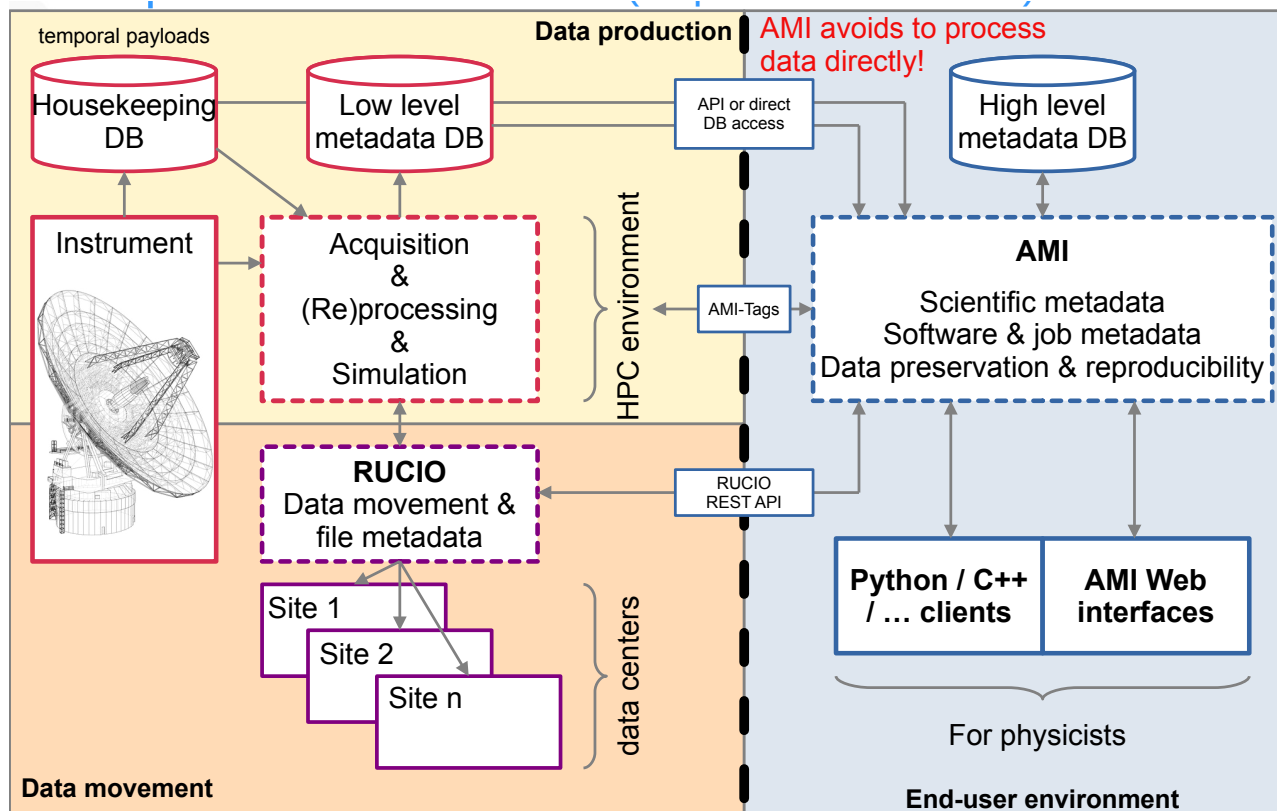
CMB-S4 : Data Management

Proposition 1. La gestion des métadonnées avec l'écosystème Atlas Metadata Interface (AMI)

WBS. 1.09.03 Software Infrastructure

Odier et al. EPJ Web Conf 2019

<https://ami.in2p3.fr>



F. Lambert, J. Odier, J. Fulachier

Proposition 2. Participation à l'élaboration de la chaîne de simulation en temps

WBS. 1.09.04 Data Simulation

Conclusion

Conclusion

L'équipe COSMO-ML a contribué de manière très significative à plusieurs grands projets et collaborations internationales en cosmologie.

depuis la conception et la construction jusqu'aux analyses de données et interprétations cosmologiques,

- Fructueuse **synergie grenobloise** en instrumentation millimétrique
- Collaboration étroite avec les **services techniques** du LPSC
- **Prise de responsabilité** et une visibilité dans de grandes collaborations internationales
- Obtention de plusieurs **financements** (ANR, ERC, Labex locaux),
- **Encadrement doctoral** très significatif pour une équipe de 4 permanents,
- Important taux de **publications**,
- Création d'un **nouveau cycle de conférences** (mm Universe).

Perspectives projets

- **Concerto**

- Instrument démonté et rapatrié en France
- Moyen terme portera sur l'analyse et l'interprétation des données.

- **NIKA2**

- fin LPSZ : fin 2024 (2025)
- Moyen terme :
 - détection amas et observations en polarisation (préparation au SAT-kids de SO)
 - engagements au support de NIKA2 dans le cadre du MoU

- **Euclid**

- première lumière 2023
- Moyen terme :
 - contribution au *Science Ground Segment*,
 - participation à l'exploitation cosmologique et aux analyses multi-observables (Euclid-NIKA2).

- **LiteBIRD**

- lancement : au-delà de 2032
- phase A en cours (CNES)
- RadioForegroundsPlus → excellente préparation aux analyses cosmologiques de LiteBIRD

- **Salle millimétrique**

- développements importants pour les futures expériences (SO et LiteBIRD)

Perspectives projets

- **Simons Observatory**

- Court terme : demande CNRS ARR pour la construction d'un SAT-KID (France).
- **Projet structurant** pour l'équipe COSMO-ML :
 - conception, construction, commissioning, analyse de données et exploitation cosmologique,
 - dans le cadre de la synergie grenobloise sur les KIDs
 - a permis de fédérer une communauté IN2P3 (APC, IJCLAB),
- Financement en 2024 → installation dans quelques années dans le cadre d'*Advanced SO*.
- Investissement sur les analyses cosmologiques
 - effet de lentille gravitationnelle et l'effet SZ.
 - continuité du LPSZ et préparation à CMB-S4

- **CMB-S4**

- Participation au *Data Management* en 2024-2026
 - proposition d'utiliser AMI pour la gestion des métadonnées de la collaboration.
 - participation à l'élaboration d'un pipeline de simulation temporelle
- électronique : premières réalisations
- Plus long terme : préparation de l'exploitation cosmologique de CMB-S4.

Perspectives en termes de recrutement

Projets ambitieux = politique volontariste en termes de financement/recrutement

- Arrivées prévues
 - postdoc Enigmass : Mateo Fernandez-Torreiro, déc. 2023
 - postdoc Radioforeground+ : en cours
 - CDD CNES : G. Alguero
- Postes 2024
 - CPJ Kids - laboratoires concernés : Neel, LPSC et IPAG
 - Poste MdC UGA (LPSC) – équipes concernées : Cosmo-ML et DARK
- Demande déposée
 - ERC starting grant B. Bolliet : porteur, 3 postdocs et 1 doctorant (SO, CMBS4)
- Recrutement doctorant(e)s envisagé
 - KIDs (SAT SO), Euclid, SO-CMBS4 (X2)
- Demandes postdocs/CDD envisagées
 - Focus (instrumentation), Enigmass (SO/CMBS4), CNES (Euclid)
- Demande récurrente de CR
 - dernier recrutement CR dans notre équipe : 2011...

Merci

présentation préparée par :

A. Catalano, J. F. Macías-Pérez, F. Mayet et L. Perotto,

COSMO-ML : financements, publications, ...

Financements principaux

- **ERC** : Radioforegrounds, Concerto, Radioforegrounds+
- **ANR** : NIKA2 (construction), NIKA2Sky (exploitation scientifique)
- **Enigmass** : Thèses et postdoc
- **Focus** : R&D, thèses
- **IRGA** : thèses
- **CNES** : R&T (instrumentation) et Euclid (global)
- **UGA, Métro, IN2P3** : conférence mm Universe
- **Ecoles doctorales**: 4 bourses de thèse

Depuis 2015 :

- 5 financements de postdocs : Enigmass, ERC
- 3 stagiaires par an en moyenne (L3, M1, M2)
- 164 articles publiés
- 72 communications en conférences

NIKA2 : document CS IN2P3

Name Last	First	Laboratory	Current Position	Role & responsibilities
Current NIKA2@IN2P3 Cosmology Team				
Catalano	Andrea	LPSC	researcher (CR)	Core Team
Chérouvrier	Damien	LPSC	PhD student	Collaborator
Hanser	Corentin	LPSC	PhD student	Core Team
Macías Pérez	Juan	LPSC	senior researcher (DR)	Project Scientist
Mayet	Frédéric	LPSC	full professor (PR)	P.I. of the LPSZ
Moyer	Alice	LPSC	PhD student	Collaborator
Muñoz-Echeverría	Miren	LPSC	PhD student	Core Team
Perotto	Laurence	LPSC	researcher (CR)	Editorial Board Chair
Savorgnano	Sofia	LPSC	PhD student	Collaborator
Ruppin	Florian	IP2I	associate professor (MdC)	Core Team
Past NIKA2@IN2P3 Cosmology Team				
Adam	Rémi	OCA (INSU)	researcher (CR)	Core Team
Artis	Emmanuel	MPE Garshing (Deutschland)	post-doc	Core Team
Comis	Barbara	non-academic		
Kéruzoré	Florian	Argonne (USA)	post-doc	Core Team
Ritacco	Alessia	INAF (Italy), ENS	post-doc	Core Team
Electronics team				
Bounmy	Julien	LPSC	research engineer (IR)	Collaborator
Bourrion	Olivier	LPSC	research engineer (IR)	Core Team
Hoarau	Christophe	LPSC	engineer (IE)	Collaborator
Vescovi	Christophe	LPSC	research engineer (IR)	Collaborator
Mechanics team : Service Étude et Réalisation Mécanique (SERM)				
Angot	Julien	LPSC	research engineer (IR)	Collaborator
Menu	Johan	LPSC	engineer (IE)	Collaborator
Roni	Samuel	LPSC	engineer (IE)	Collaborator
Roudier	Sébastien	LPSC	engineer (IE)	Collaborator
Detector team : Service Détecteurs et Instrumentation (SDI)				
Marpaud	Julien	LPSC	engineer (IE)	Collaborator
Software team				
Dargaud	Guillaume	LPSC	research engineer (IR)	Collaborator
Fulachier	Jérôme	LPSC	research engineer (IR)	Collaborator
Lambert	Fabian	LPSC	research engineer (IR)	Collaborator
Odier	Jérôme	LPSC	research engineer (IR)	Collaborator

TABLE 1 – NIKA2 team at IN2P3