

NGCryo : Next Generation Cryogenic systems

Michel Piat

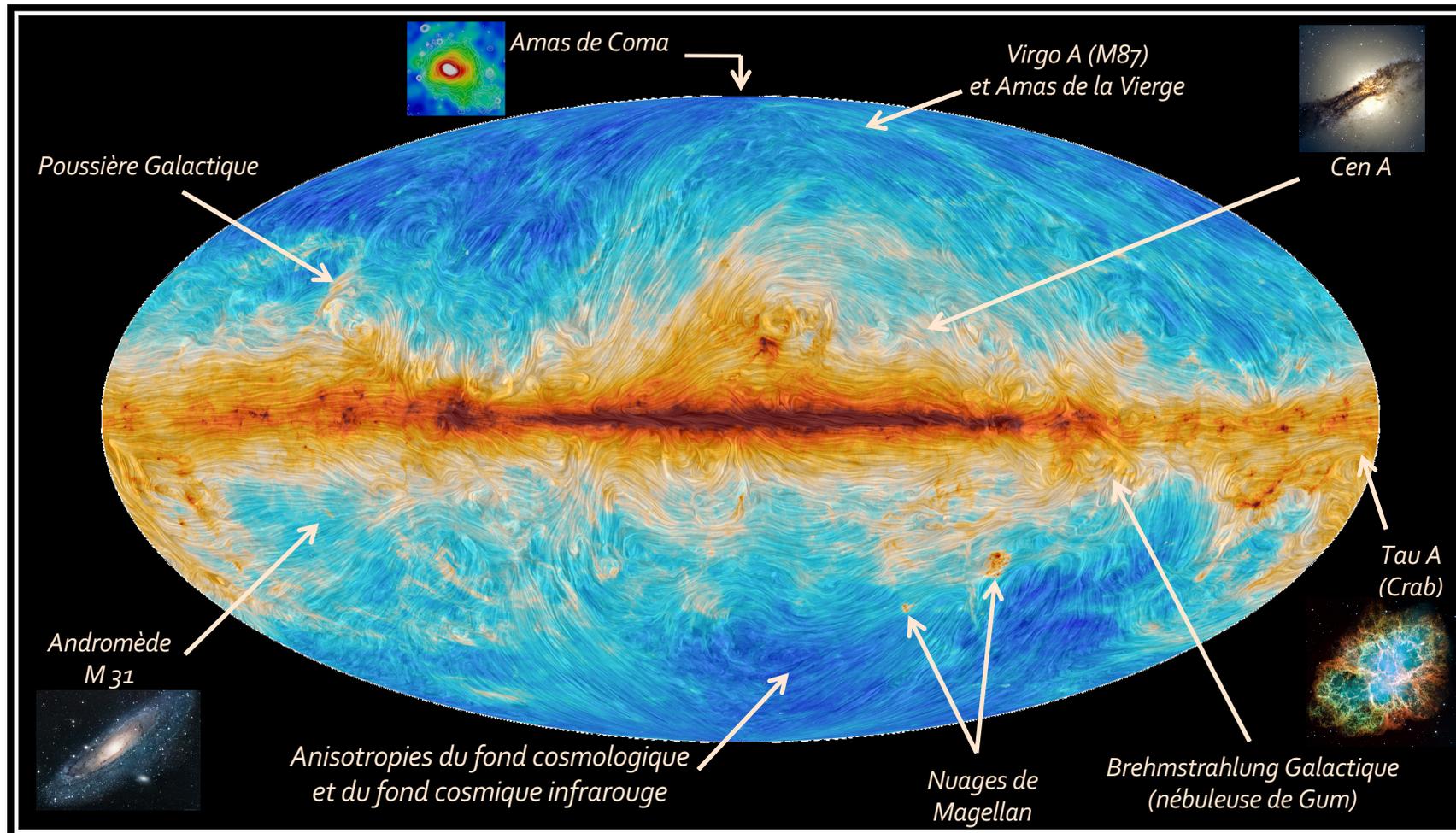
piat@apc.univ-paris7.fr



Le ciel sub-mm/mm vu par Planck



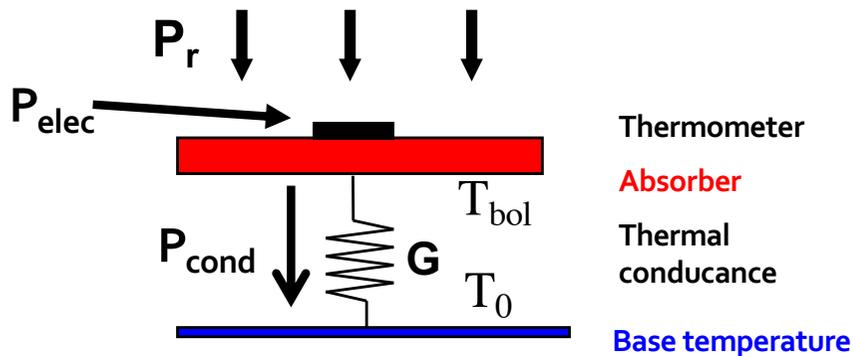
planck



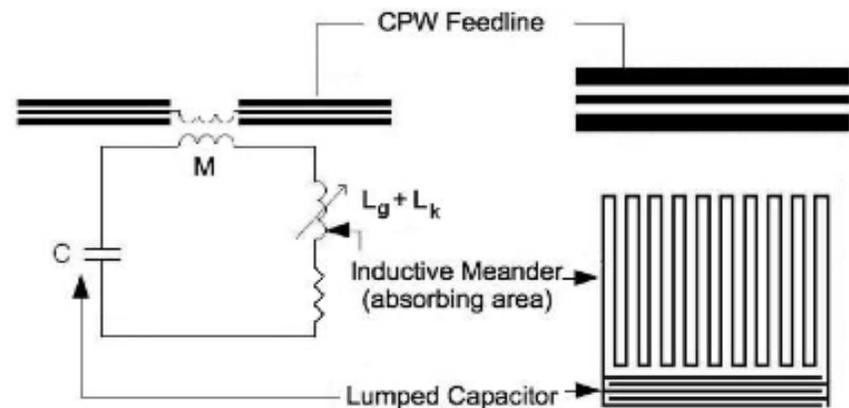
L'Univers froid... mais pas que!

Détecteurs?

- Transition Edge Sensors



- Kinetic Inductance Detectors



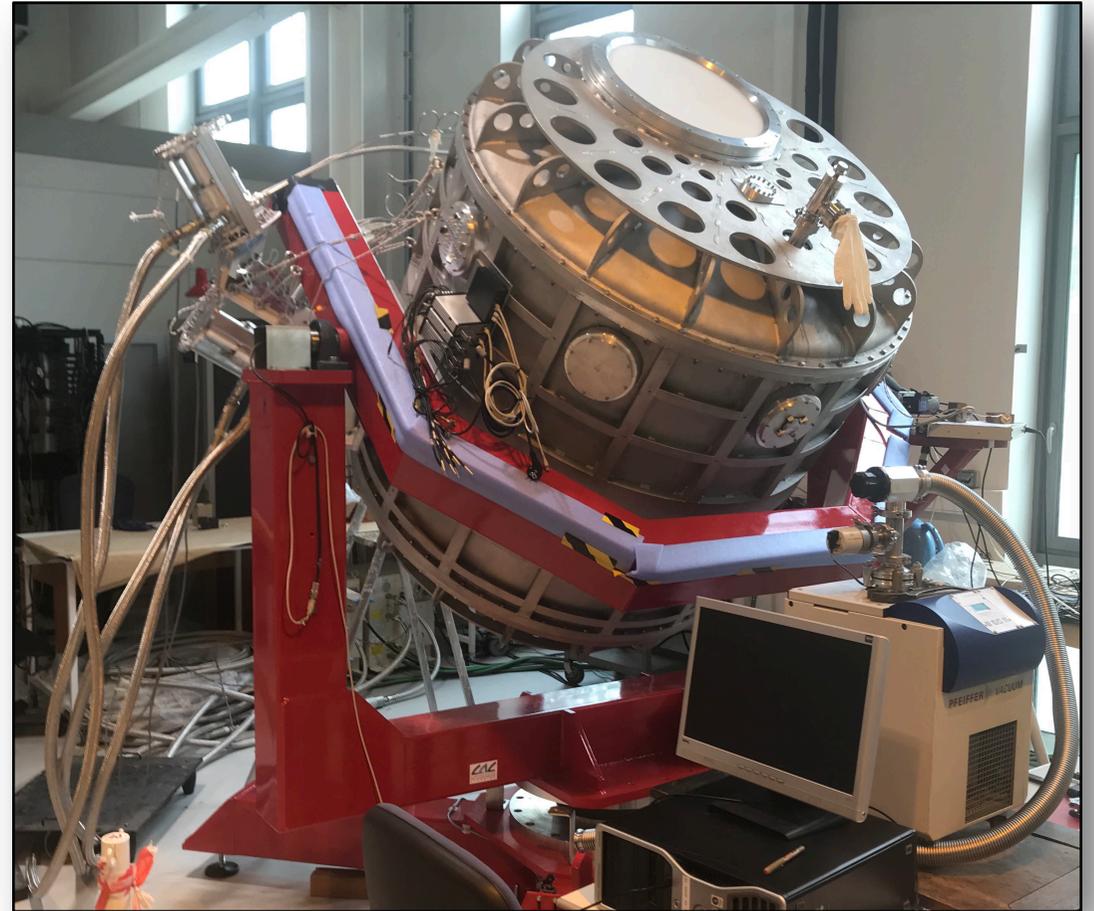
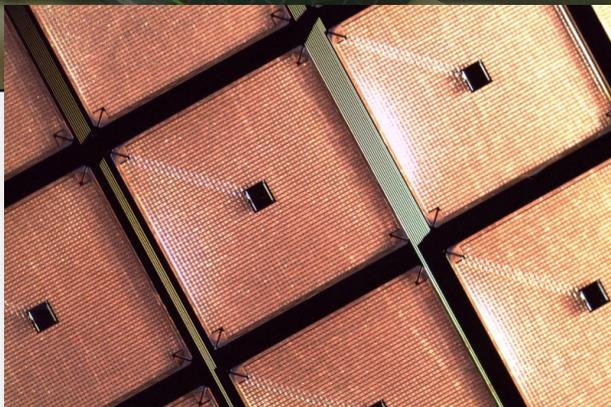
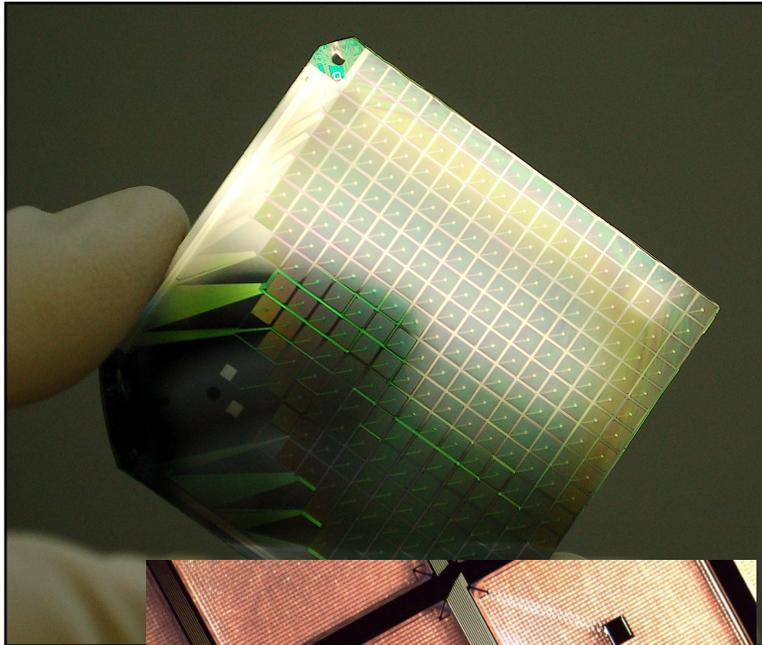
The best detectors for large bandwidth detection
in the sub-mm/mm wavelength range
Very high sensitivity
Cooled to low $T < 300mK$

Other application: X-rays calorimeters, spectro-imaging in the visible and IR



QUBIC Transition Edge Sensor array (superconducting bolometers)

- 248 TESs @ 150GHz

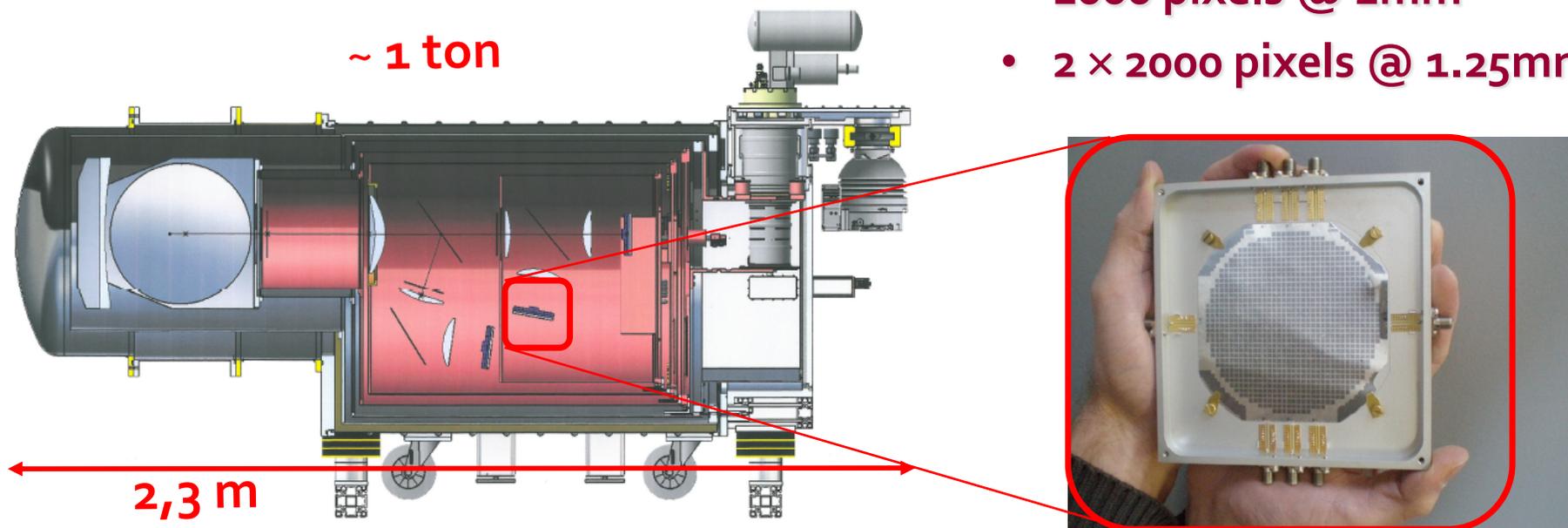


1.4m diameter, 1.4m height, 800kg

(Néel IRAM KIDs Array)

- IRAM 30m instrument
- Dual-band imaging + polarization
- Derived from NIKA R&D

- **Dual-band (1.25mm and 2mm)**
- **Polarization @ 1.25mm**
- KID Arrays Detectors:
 - **1000 pixels @ 2mm**
 - **2 × 2000 pixels @ 1.25mm**



Besoins instrumentaux

- Système de réfrigération $T < 300\text{mK}$
 - Compact et autonome
 - Simple à mettre en œuvre
 - Fiable

**Thème 1:
réfrigération
subKelvin**
- Acquisition et contrôle des mesures
 - Faible puissance dissipée
 - Bas bruit
 - Simplicité de mise en œuvre

**Thème 2:
microélectronique
cryogénique**
- Thermométrie des basses températures
 - Précision
 - Sensibilité

**Thème 3: cryostat et insert
d'étalonnage**
- Caractérisation de matériaux aux basses températures

**Thème 4: Propriétés
thermiques sub-Kelvin**

Projet NGCryo & équipes impliquées

Projet transverse IN2P3 : 4 ans (2020 – 2023)

4 Laboratoires impliqués :



4 thèmes et une démarche prospective :

- Réfrigération subKelvin
- Microélectronique cryogénique
- Cryostat et insert d'étalonnage
- Propriétés thermiques

Prospectives : besoins en cryogénie

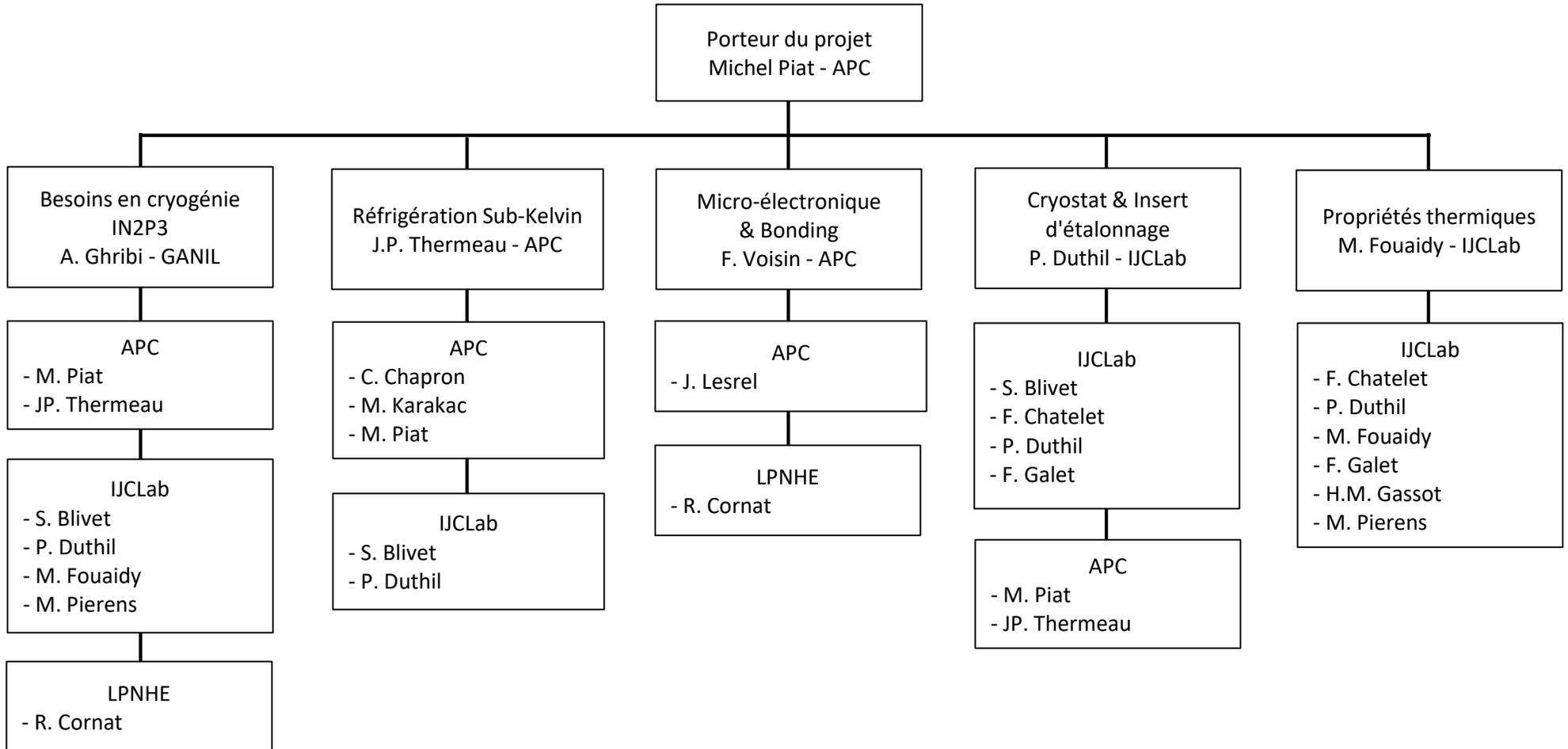


NGCryo



- Programme général découpé en deux phases successives :
 - **NGCryo (2020 - 2023) : première phase** du programme avec des objectifs intermédiaires de validation des choix techniques.
 - ⇒ Station d'étalonnage de thermomètres plage 0.3K à 4K
 - **Deuxième phase** : développement d'une instrumentation cryogénique rapide et d'une réfrigération autonome < 100mK.

NGCryo & équipes impliquées

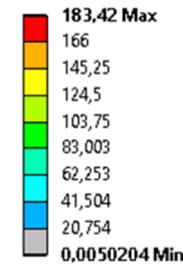
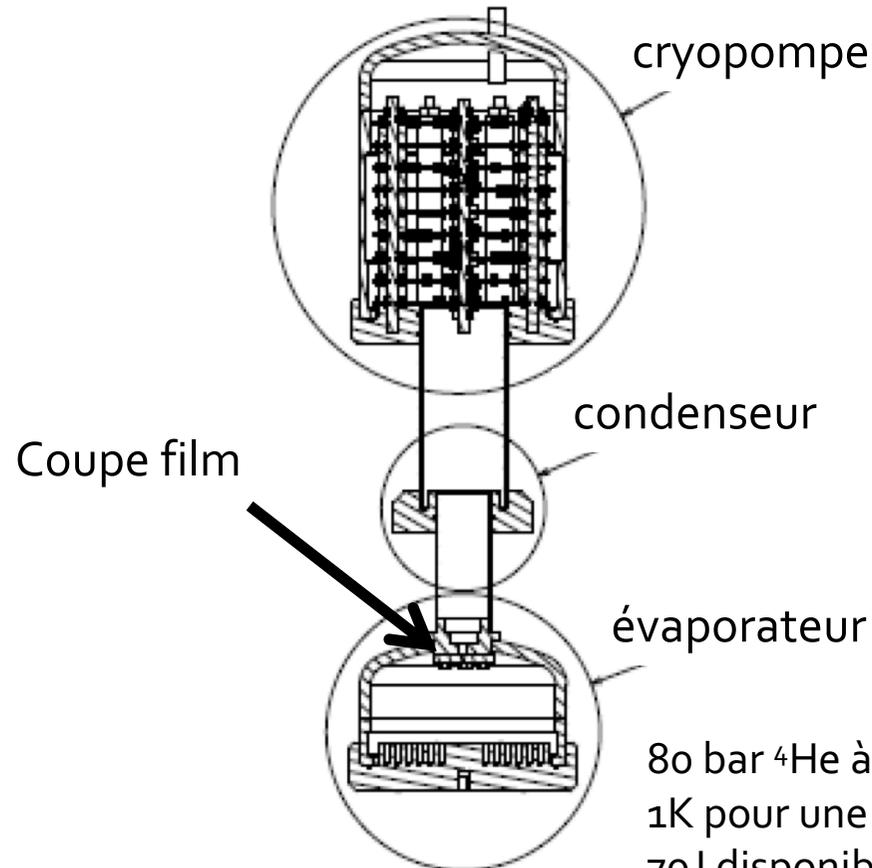
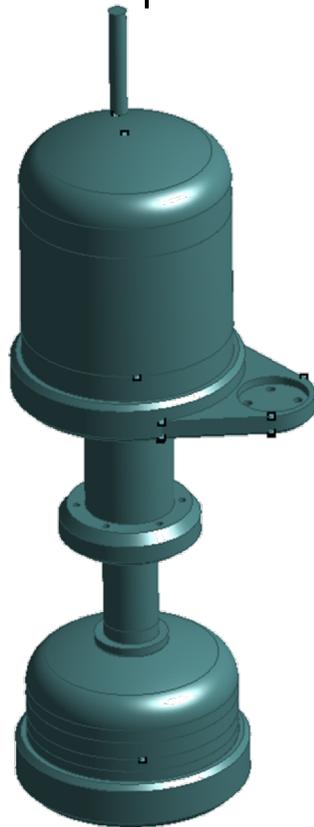


Thème 1 : Réfrigération SubKelvin

- **Objectifs** : Réfrigération subKelvin à cycle continu
- Mise au point de deux types de réfrigérateur à adsorption pilotés par des interrupteurs thermiques
 - Réfrigérateur à adsorption 1K - ^4He
 - Réfrigérateur à adsorption 0.3K - ^3He
 - Interrupteurs thermiques
 - ✓ convectifs
 - ✓ conductifs
 - Transformation des réfrigérateurs à cycles intermittents vers un cycle continu

Principaux faits marquants : réfrigérateur 1K

Réfrigérateur à adsorption 1K - ^4He : études de dimensionnement et mécanique finalisées – en fabrication

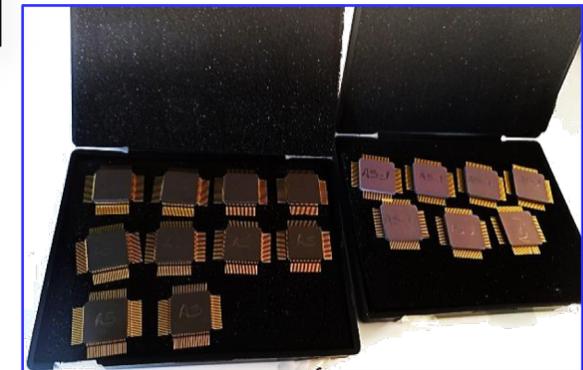
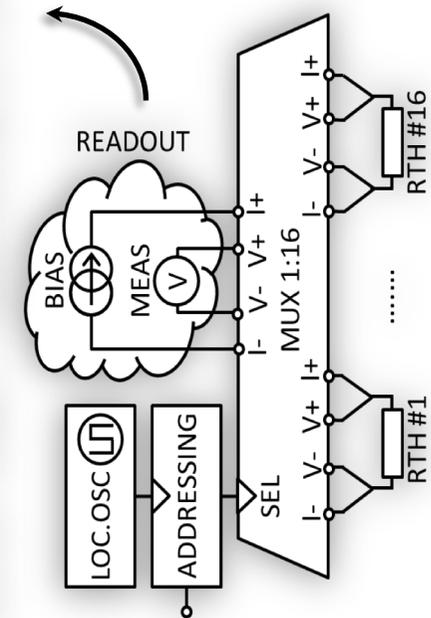
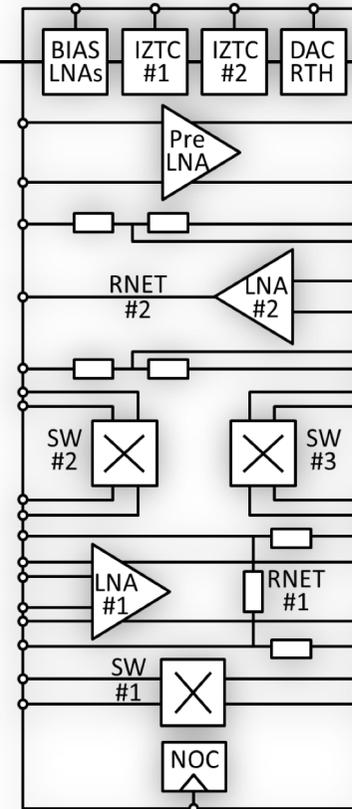
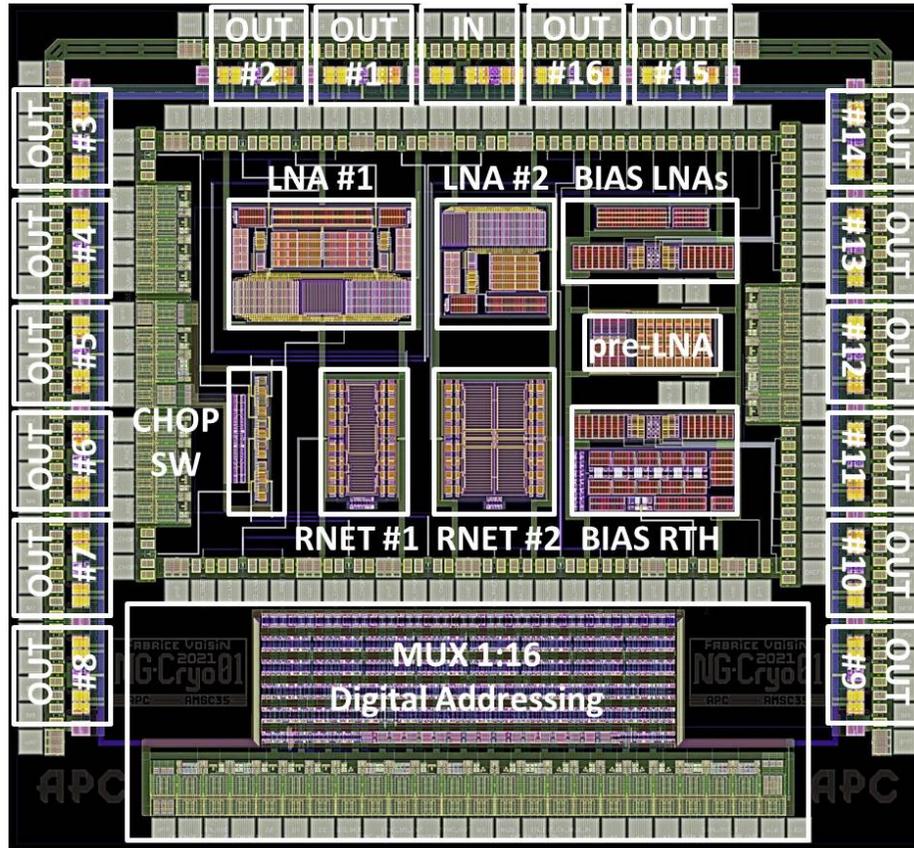


80 bar ^4He à 300K
1K pour une puissance de 1mW,
70J disponible à 1K
Cycle utile : 19h/24h

Thème 2 : Microélectronique Cryogénique

- **Objectif** : mesure simplifiée thermomètres
 - Mesure 4 pointes thermomètres (bias IDC / lecture VDC)
 - ASIC cryo. (~40K)
 - ✓ Adressage 16 thermomètres: MUX 1:16
 - ✓ Lecture: bias current DC + LNA
- **Développements 2020/2021**
 - Etude/réalisation ASIC V1 techno. AMS CMOS 0,35µm
 - Soumission fonderie 22/02/2021 (budget investi 10k€)
 - Livraison 40 puces 27/09/2021
- **Développements 2021/2022**
 - Test ASIC V1 / étude ASIC V2 (budget prévisionnel 15k€)
- **Implication RH**
 - 1 IR microélectronique APC (F. Voisin)

Principaux faits marquants :



- Couronne ext. = adressage
 - > MUX1:16 thermomètres configuration 4 points
 - > Encapsulation CQFP100
- Couronne int. = lecture
 - > Chopper LNA + BIAS + DAC...
 - > Encapsulation CQFP84

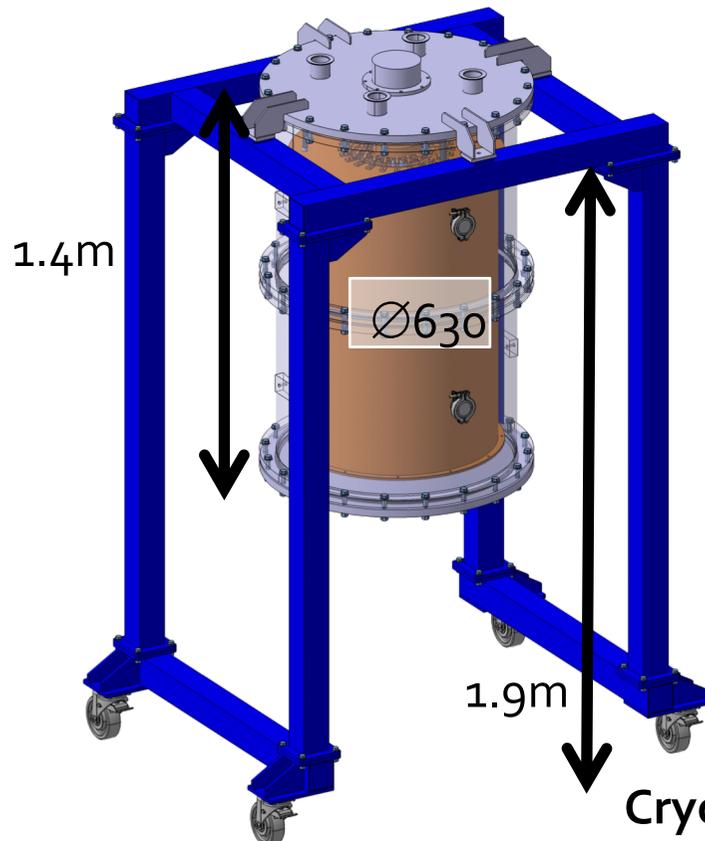
Thème 3 : Cryostat et insert d'étalonnage

- **Objectifs** : Développer un cryostat polyvalent
- Insert spécifique permettant l'étalonnage de thermomètres dans la plage de température 0.3K à 4K
- Cryostat permettant de tester à basse température l'ensemble des composants développés pour NGCryo, en particulier
 - Réfrigérateur à adsorption 1K - ^4He et 0.3K - ^3He
 - Interrupteurs thermiques convectifs et conductifs
 - Banc de mesure de propriétés thermiques

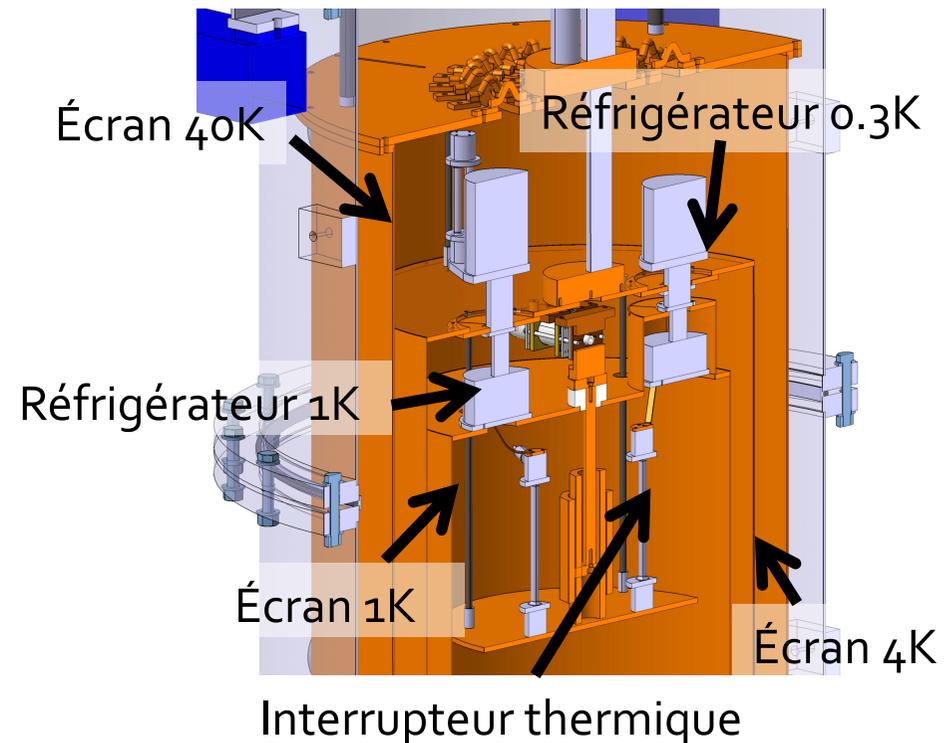
Principaux faits marquants : cryostat

Cryostat : études de conception et dimensionnement terminés

- Enceinte à vide livrée
- Ecrans thermiques en cours de fabrication
- Bride recevant le PT en cours d'usinage



Insert d'étalonnage : études en cours



Cryogénérateur Sumitomo 1.5W à 4K : livré en février 2021

Thème 4 : Propriétés thermiques

- **Objectifs** : Avoir accès aux propriétés thermiques utiles au dimensionnement d'instruments
- Les études portent sur deux paramètres :
 - **Conductivité thermique**
 - ✓ Banc de mesures aux températures cryogéniques ($T > 1.5$ K) opérationnel à IJCLab
 - ✓ Extension au domaine subKelvin: en cours
 - **Résistance de contact solide/solide**
 - ✓ Développer une méthode et un banc de mesure jusqu'au domaine subKelvin

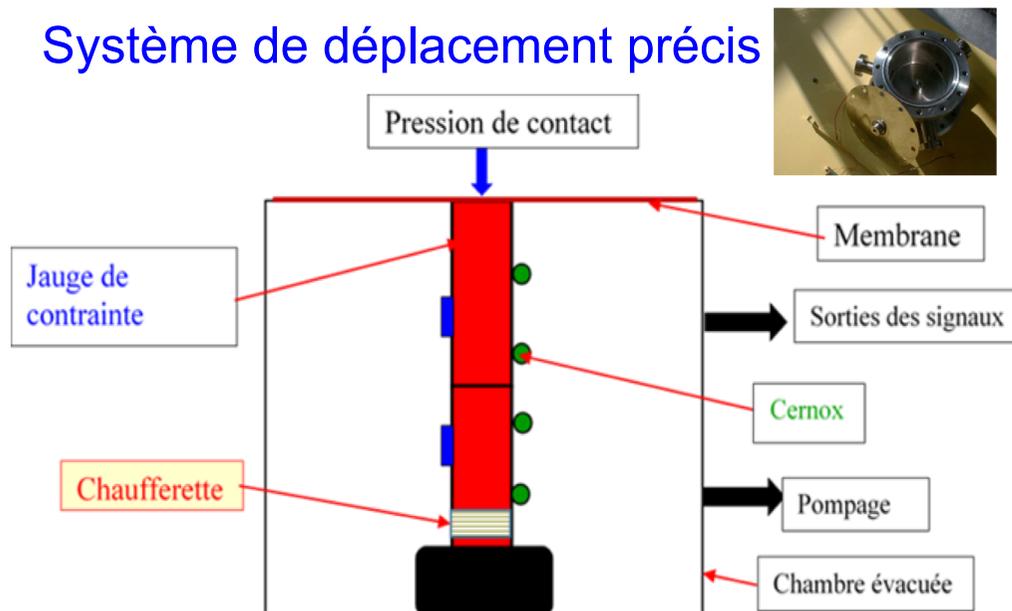
Principaux faits marquants : bancs de mesure

Mesure de la résistance de contact solide/solide

- Etude bibliographique préliminaire : terminée
- Bancs de test possibles et premiers essais d'évaluation : en cours
- Modélisation et simulation numérique thermique et mécanique : en cours

Banc expérimental pour validation du principe avant la conception du dispositif final

Système de déplacement précis



Pression de contact : 100-400 bars

Calculs : cas du cuivre OFHC CuC2
($D=12$ mm, $L=80$ mm),
Déformation axiale $\Delta z=20$ μm

- Contrainte $\tau=31$ $\text{MN}/\text{m}^2 = 310$ bars
- Force $F=3.1$ kN

A $T\sim 300$ K, la différence de température interfaciale est ~ 1.8 K pour un flux $Q=1$ W

Sondage : Activités cryogéniques et perspectives

- **Objectifs :**

- Avoir une visibilité sur les infrastructures liées à la cryogénie
- Identifier les compétences (conception, construction, exploitation) en cryogénie dans les différents laboratoires.
- Avoir un aperçu de l'évolution du besoin en infrastructures et en compétences techniques par répondre aux enjeux et défis des projets actuels et futurs
- Identifier clairement des référents "cryogénie" pour les laboratoires de l'IN2P3 ayant une activité en cryogénie

Sondage : Outil et diffusion

- Choix de l'outil LimeSurvey IN2P3/CNRS
- Permet de diffuser largement le questionnaire dans un format web simplifié et d'exploiter facilement le résultat du sondage
- Questionnaire en cours de finalisation \Rightarrow envoyé aux DT des laboratoires avant fin 2021



Sondage activités cryogéniques de l'IN2P3 Charger un questionnaire non terminé Sortir et effacer vos réponses

0%

Sondage activités cryogéniques de l'IN2P3

Ce sondage a pour but d'avoir une visibilité sur les activités cryogéniques de l'in2p3 et leurs évolutions. Cette vue d'ensemble pourra notamment permettre de créer des synergies entre les différents laboratoires et instituts ainsi qu'une meilleure visibilité sur l'évolution des infrastructures et les besoins de financement.

Bonjour,

Vous avez été identifié comme correspondant cryogénique de votre laboratoire/institut. Merci d'avoir accepté de participer à ce sondage. La durée moyenne pour remplir le questionnaire est de 6 mn. Les résultats seront accessibles à tous les participants sur simple demande. Si vous avez des questions, n'hésitez pas à les envoyer à Adnan Ghribi (ghribi@in2p3.fr) ou Jean-Pierre Thermeau (thermeau@in2p3.fr).

Il y a 40 questions dans ce questionnaire.

Suivant

Engagements financiers

2020/2021

- **Financement (IN₂P₃, Université, CNES) : 110 k€**
 - Cryogénérateur : 45 k€
 - Cryostat (enceinte à vide, écrans thermiques) : 24 k€
 - Châssis cryostat : 3 k€
 - Réfrigérateur 1K : 10 k€
 - Interrupteurs thermiques : 6 k€
 - Instrumentation, câblage : 12 k€
 - ASIC : 10 k€

Principaux enjeux et difficultés anticipées

- **Technique**

- Microélectronique cryogénique : nouvelle technologie avec coûts de fabrication élevés \Rightarrow benchmark avec AMS350
- Coupe film superfluide ^4He : deux options techniques retenues – point dur pour ^4He
- Interrupteur thermique : obtenir des performances compatibles avec les besoins des réfrigérateurs en mode continu, deux types d'interrupteurs thermiques en cours de développement

- **Ressources humaines**

- Avancement du projet adapté aux ressources disponibles

Collaboration de recherche :

MyCryoFirm

- Mycryofirm : entreprise (9 personnes)
 - spécialisée dans la conception de cryostats refroidis par cryogénérateur
 - cryostats avec de très faibles niveaux de vibrations
- Intérêt de MyCryoFirm pour la réfrigération SubKelvin en cycle continu
- **Thèse financée par MyCryoFirm:**
 - Réfrigération à adsorption en cycle continu.
 - Commence à l'APC en janvier 2022.
- Contrat de collaboration de recherche à mettre en œuvre

