



QUBIC: interférométrie bolométrique – conception cryomécanique



J.P. Thermeau pour la collaboration QUBIC





The Q & U Bolometric Interferometer for Cosmology



- APC Paris, France
- C2N Orsay, France
- CSNSM Orsay, France
- IAS Orsay, France
- IRAP Toulouse, France
- LAL Orsay, France
- Universita di Milano-Bicocca, Italy
- Universita degli studi di Milano, Italy
- Universita La Sapienza, Roma, Italy
- Maynooth University, Ireland
- Cardiff University, UK
- University of Manchester, UK
- Brown University, USA
- Richmond University, USA
- University of Wisconsin, USA
- Centro Atómico Constituyentes, Argentina
- GEMA, Argentina
- Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina
- Facultad de Cs Astronómicas y Geofísicas, Argentina
- Centro Atómico Bariloche and Instituto Balseiro, Argentina
- Instituto de Tecnologías en Detección y Astropartículas, Argentina
- Instituto Argentino de Radioastronomía, Argentina

*130 Collaborators
22 laboratories
6 countries*

+SISSA Joined



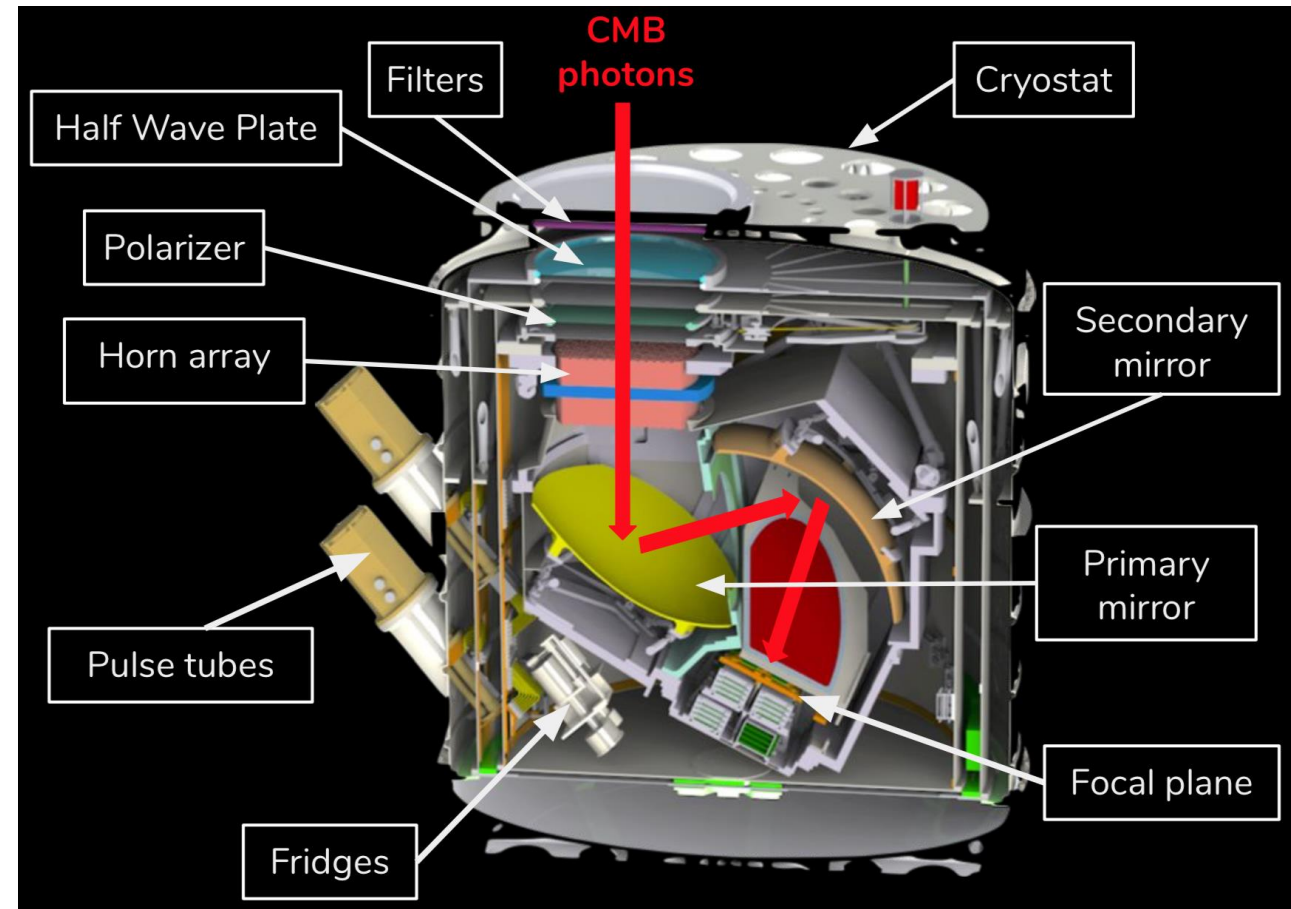
Site d'observation :
San Antonio de los Cobres
(Salta, Argentine)
5000m altitude.





L'instrument QUBIC

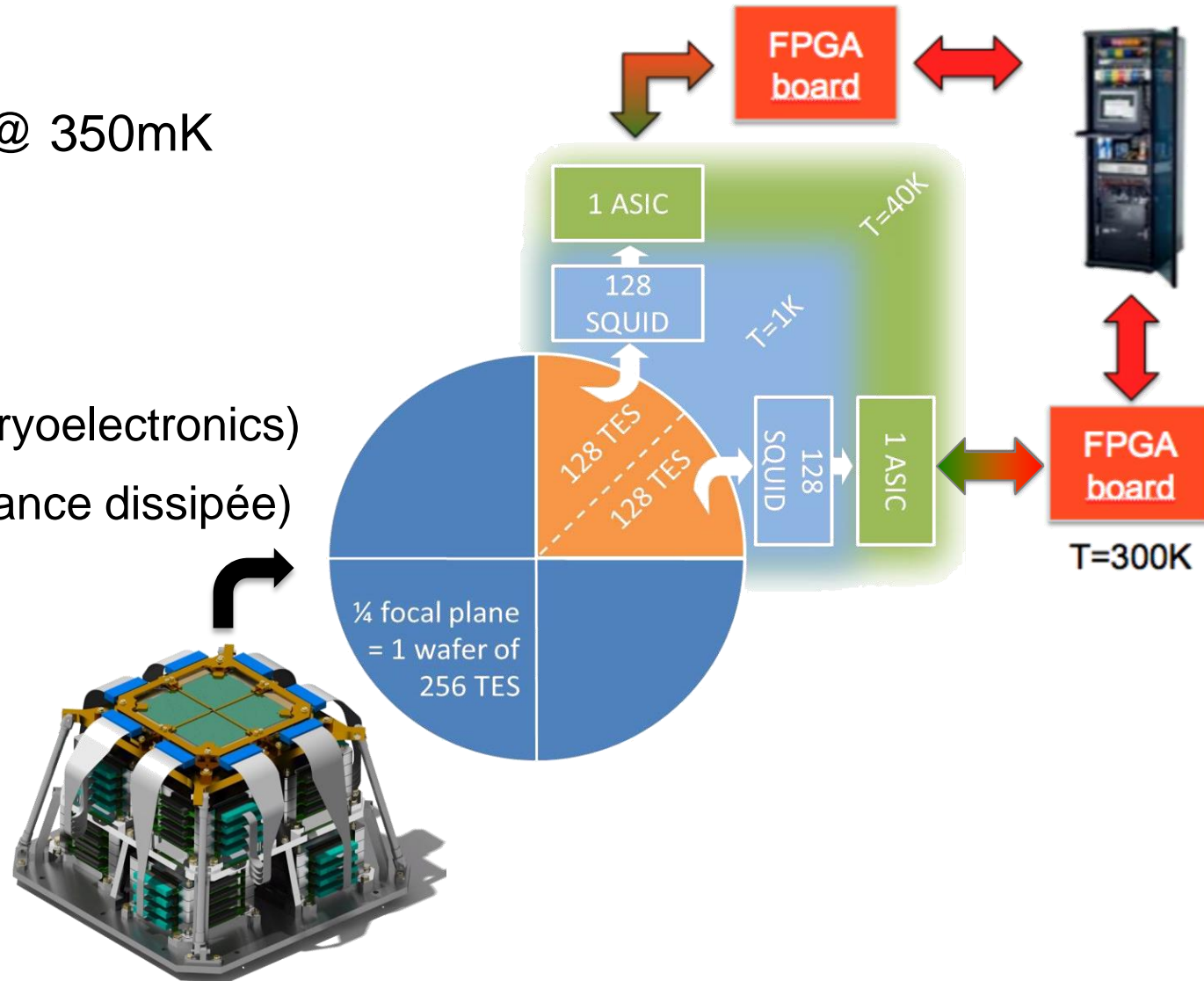
- Interférométrie bolométrique
 - Grande sensibilité grâce aux TES (Transition Edge Sensors)
 - Fonctionnent à $T \sim 0.3K$
 - Réfrigérateurs à adsorption 1K et 0.3K
 - Contrôle des effets systématiques avec l'interférométrie
 - Auto-calibration et Spectro-Imagerie grâce à l'interférométrie
- Cryostat
 - Différents étages (40K, 4K, 1K)
 - Fenêtre + filtres IR à chaque étage
 - L'étage de détection à 0.3K
- Dimensions, masse
 - hauteur 1.55m, \varnothing 1.42m ,
 - ~800kg





QUBIC chaîne de détection

- 1 plan focal = 4 matrices of 256 TES @ 350mK
- Electronique froide
 - Multiplexage domaine temporel 128 :1
 - 128 SQUID @ 1K (SQ600S de StarCryoelectronics)
 - 1 ASIC @ 40 K (T imposée par puissance dissipée)
- Electronique à température ambiante
 - carte FPGA
- TD: 1 plan focal avec 256 TES (150GHz)





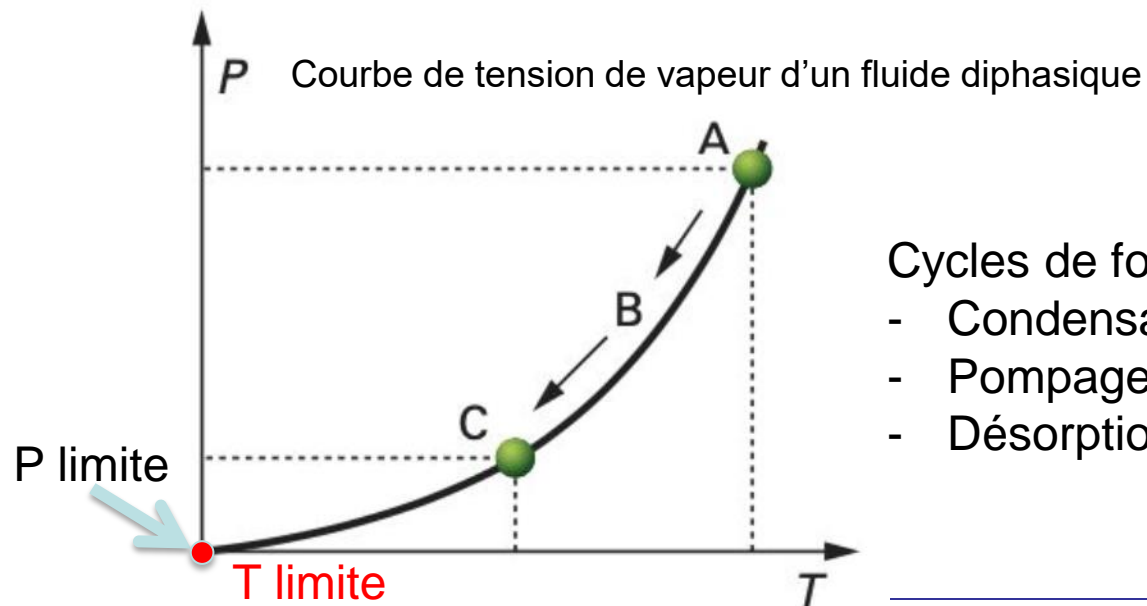
TES \Rightarrow Réfrigération sub-Kelvin

- Les TES peuvent fonctionner à 350mK \Rightarrow domaine des réfrigérateurs à adsorption
 - Avantages : simplicité
 - Puissance et température dans le domaine visé
 - Pas de circulation de fluide
 - Commande statique : pilotage du réfrigérateur par des éléments électriques chauffants
 - Inconvénients :
 - Réfrigération non continue (nécessite des cycles de régénération)
 - Energie disponible et vitesse de régénération liée/limitée par le volume
 - Cycle utile (rapport temps à froid avec temps en régénération) diminue lorsque la puissance consommée augmente
 - Réfrigérateurs à adsorption ^3He
 - Température limite 280 mK, énergie disponible $\approx 10\text{J}$, puissance détection $\approx 30\mu\text{W}$ \Rightarrow 4 jours d'autonomie
 - Réfrigérateurs à adsorption ^4He
 - Température limite 800 mK, énergie disponible $\approx 70\text{J}$, puissance étage 1K $\approx 700\mu\text{W}$ \Rightarrow 1 jour d'autonomie
- \Rightarrow Intercepter les flux thermiques aux températures les plus élevées



Les réfrigérateurs à adsorption

- Qu'est ce qu'un réfrigérateur à adsorption
- Principe :
 - Refroidissement par baisse de pression d'un fluide cryogénique diphasique
 - Baisse de pression \Rightarrow Pompage
 - Pompage assuré par adsorption \Rightarrow source froide
 - Matériau adsorbant \Rightarrow matériau à grande surface spécifique (charbon actif)
 - Capacité d'adsorption décroît avec la température



Cycles de fonctionnement :

- Condensation \Rightarrow T la plus basse possible
- Pompage \Rightarrow la grande surface possible
- Désorption \Rightarrow température et temps limités

Cryopompe

Condenseur

évaporateur





Fenêtre filtres IR PEHD + Multicouches

Interception du rayonnement thermique au niveau de la fenêtre d'observation

Intercepter le flux thermique le plus élevé à la température la plus élevée



Fenêtre PEHD :

- Transmission millimétrique
- Filtre IR
- Étanchéité enceinte à vide



Filtres IR multi couches en Styrofoam (polystyrène)



Filtres multicouches :

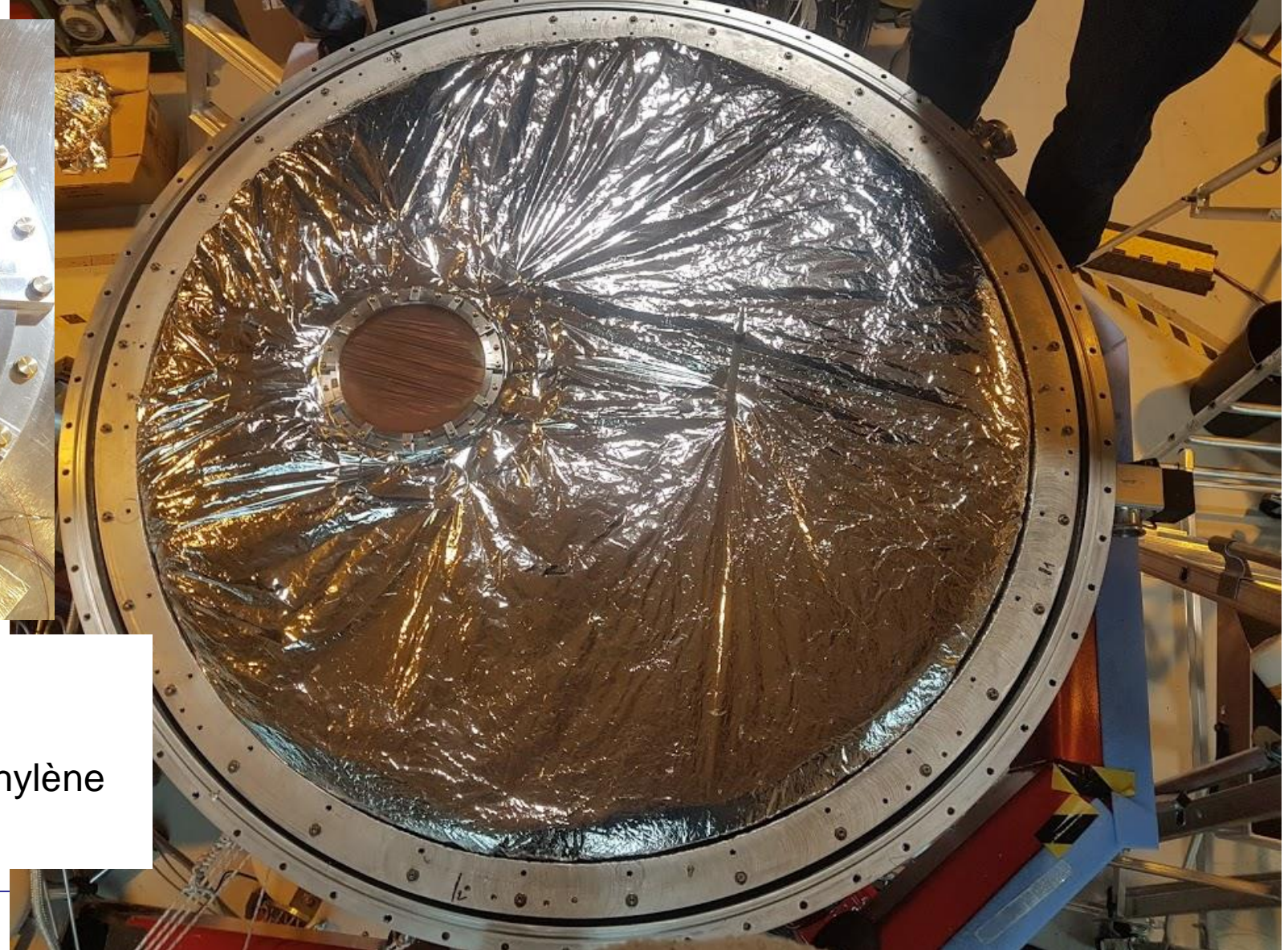
- Installés dans le vide, sous la fenêtre
- Écrans « flottants » thermiquement,
- Réduction du rayonnement : $n+1$



Article : Radio-transparent multi-layer insulation for radiowave receivers, J. Choi, H. Ishitsuka, S. Mima, S. Oguri, K. Takahashi, and O. Tajima



Ecrans 40K et 4K avec filtres IR

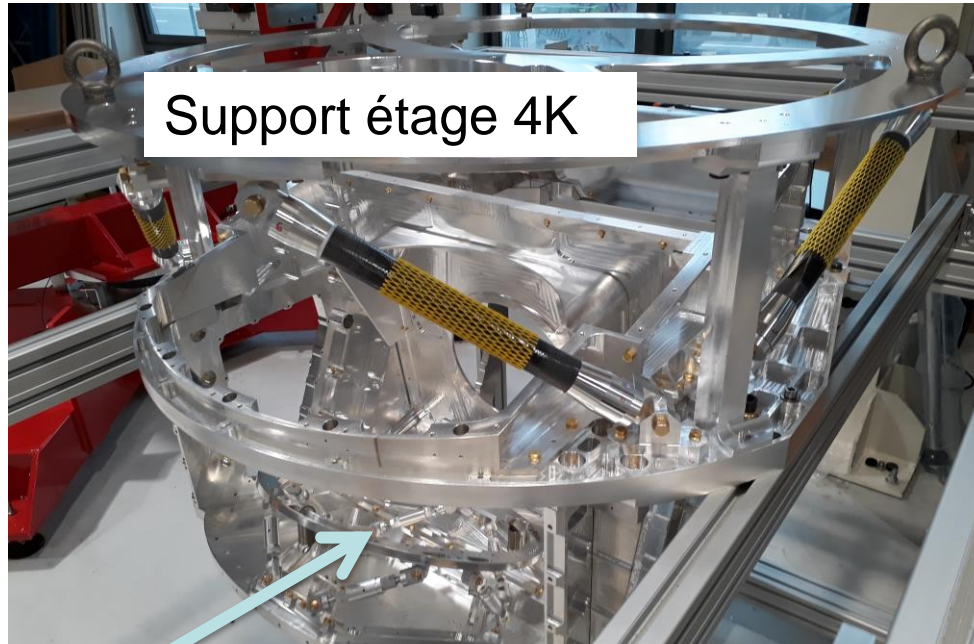


Université de Cardiff

- Filtre à grilles
- Lithographie sur support polyéthylène
- Faible émissivité et absorptivité

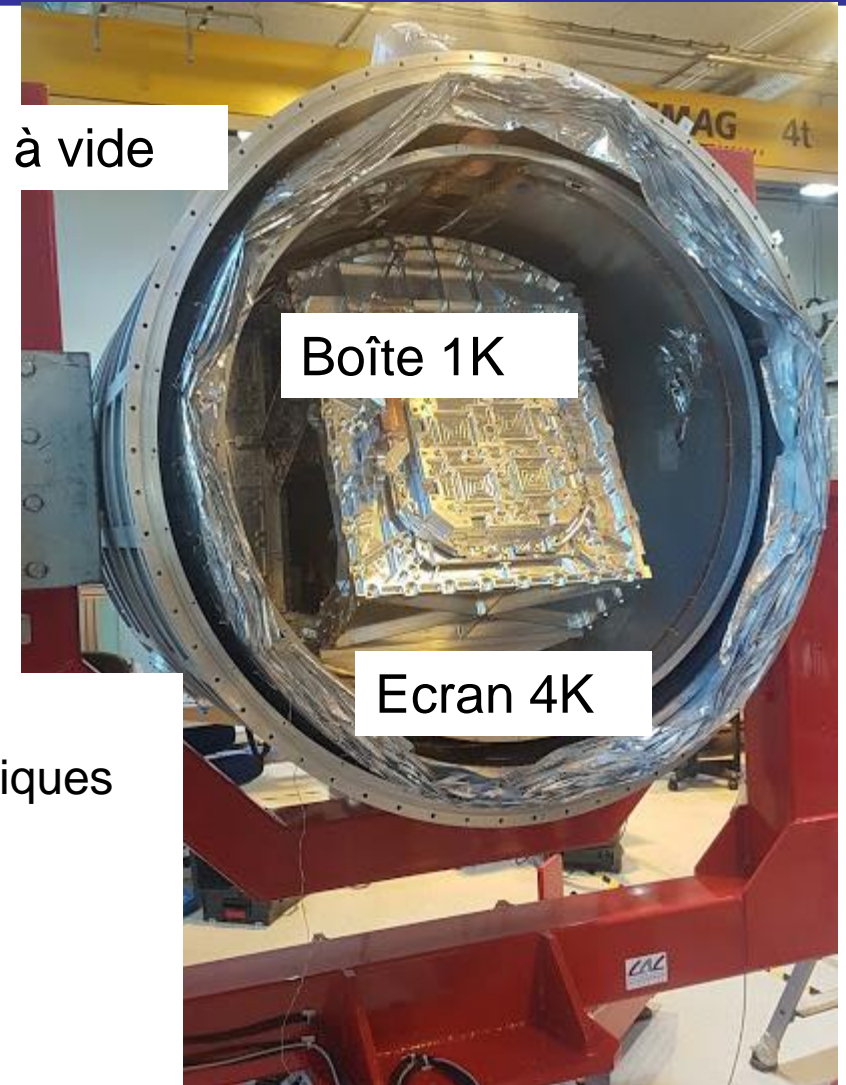


Boîte 1K avant/après installation



Support étage 4K

Enceinte à vide



Boîte 1K

Ecran 4K

Boîte 1K :

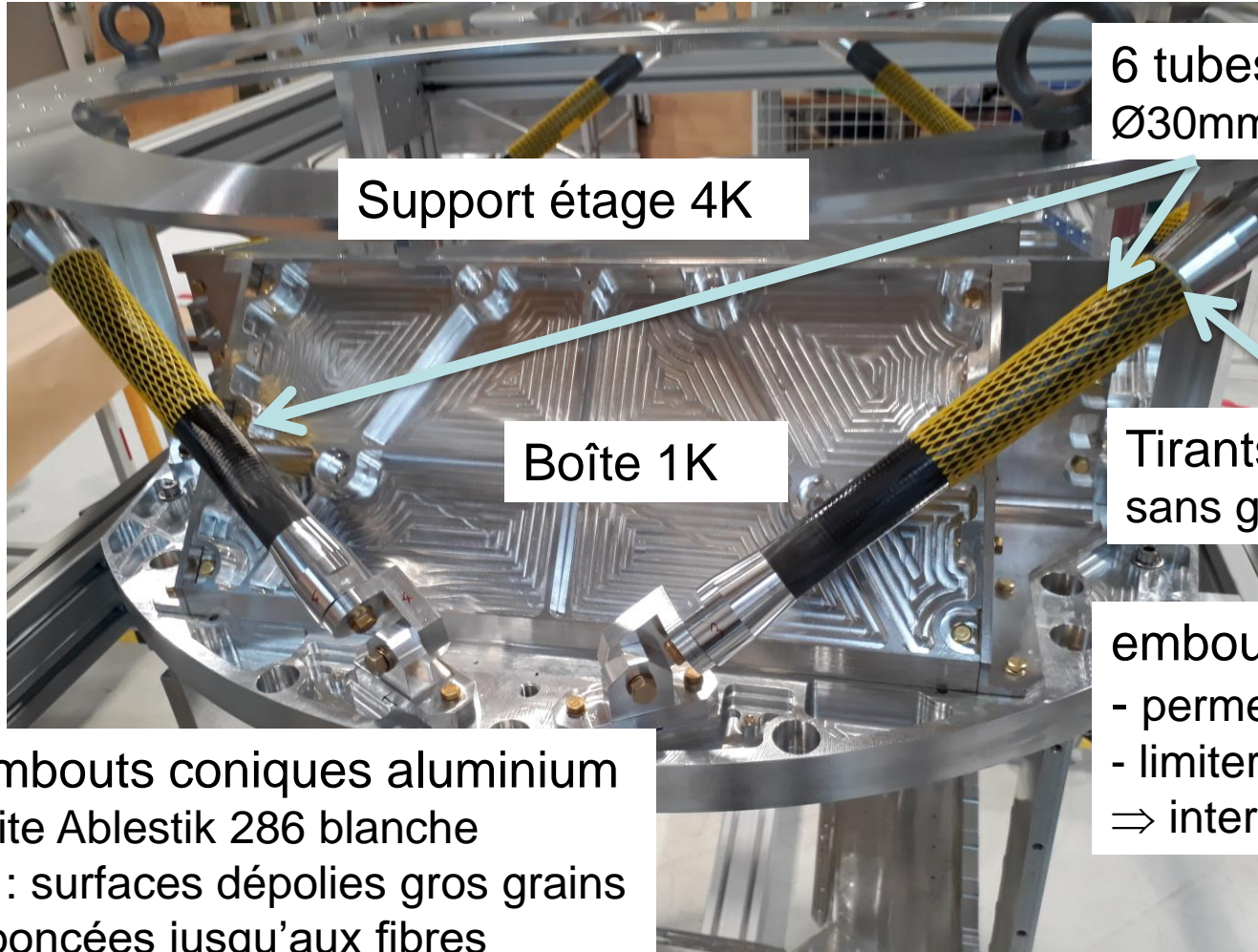
- Rigidité \Rightarrow position du plan focal \Rightarrow alliages Al bonnes caractéristiques
- Isotherme \Rightarrow Aluminium plus léger que cuivre
- Limiter la quantité d'énergie à extraire à $T < 4K \Rightarrow$ pas d'inox

Masses :

- 110 kg aluminium
- 10 kg cuivre



QUBIC boîte 1K – système d'accrochage



6 tubes fibres de carbone/epoxy
Ø30mm, Ø32mm, longueur 350 mm

Support étage 4K

Boîte 1K

Tirants collés aux embouts aluminium
sans goupille de sécurité

embouts aluminium coniques :

- permettre la plastification
- limiter les concentrations de contraintes
⇒ interface tube/embout

- Tubes collés aux embouts coniques aluminium
- Colle epoxy : Loctite Ablestik 286 blanche
 - Pièces aluminium : surfaces dépolies gros grains
 - Tubes : surfaces poncées jusqu'aux fibres



QUBIC boîte 1K – Tubes en fibres de carbone/epoxy



Tube Ø30mm, Ø32mm stratifié en fibres de carbone/epoxy avec embouts coniques externes

Les tubes soumis à des contraintes fonction de la position de la 1K :

- Traction,
- Flexion
- Flambage

| T (K) | F. rupture (N) | σ rupture (MPa) | E moyen (GPa) | Type de rupture |
|-------|----------------|------------------------|---------------|---|
| 300 | 71 000 | 380 | 120 | Délaminage superficiel du tube de carbone |
| 77 | 36 000 | 195 | 82 | Délaminage superficiel du tube de carbone |
| 4.2 | 28 000 | 150 | 81 | |

Données constructeurs (G2M – CPL) :
60% de fibres avec la répartition :

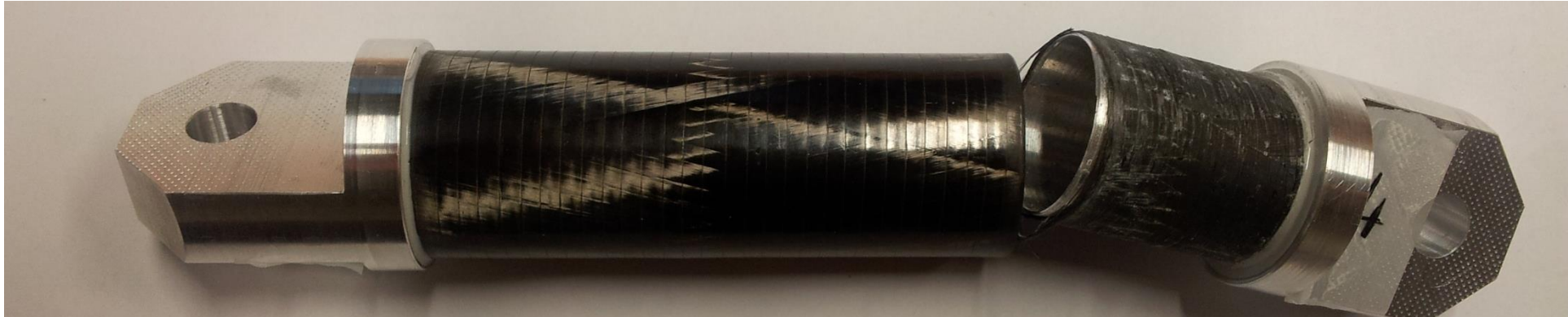
- 80% à 12°,
- 10% à +/- 45°,
- 10% à 90°.

40% résine DP406

à 20°C, $E = 110 \text{ GPa}$, $\nu = 0.21$



QUBIC boîte 1K – Tubes en fibres de carbone/epoxy



Tube stratifié en fibres de carbone/epoxy rupture par délaminage d'un pli de fibres 90°

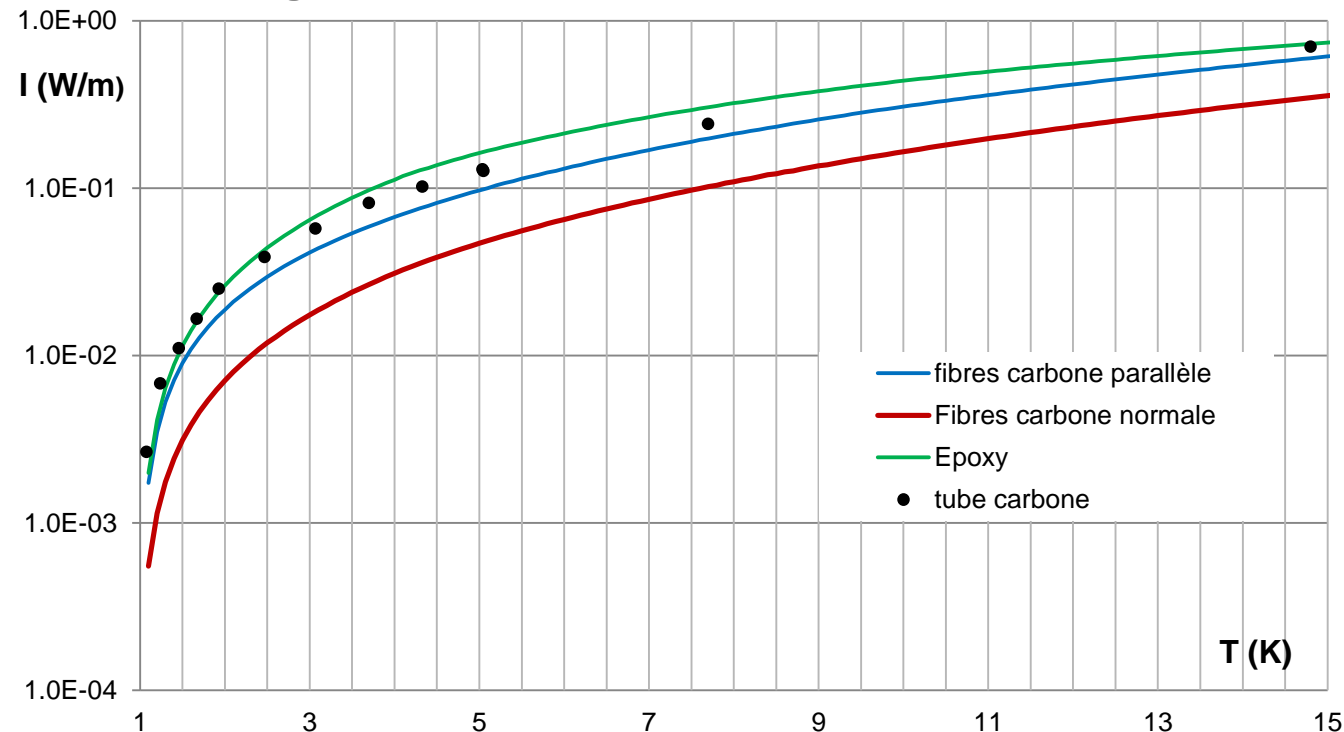
Tube Ø30mm, Ø32mm stratifié en fibres de carbone/epoxy avec embouts coniques internes





QUBIC boîte 1K – Tubes en fibres de carbone/epoxy

Intégrale des conductivités thermiques = $f(T)$



Données constructeurs (G2M – CPL) :

60% de fibres avec la répartition :

- 80% à 12°,
- 10% à +/- 45°,
- 10% à 90°.

40% résine DP406

Coefficient de dilatation thermique mesuré :

axial: -0.014% de 80K to 280K (allongement à froid)

radial: 0.12% de 80K to 280K

Carbone « valeurs prévues » : -0.03%, 0.7%

axial: -0.03%

radial: 0.7%

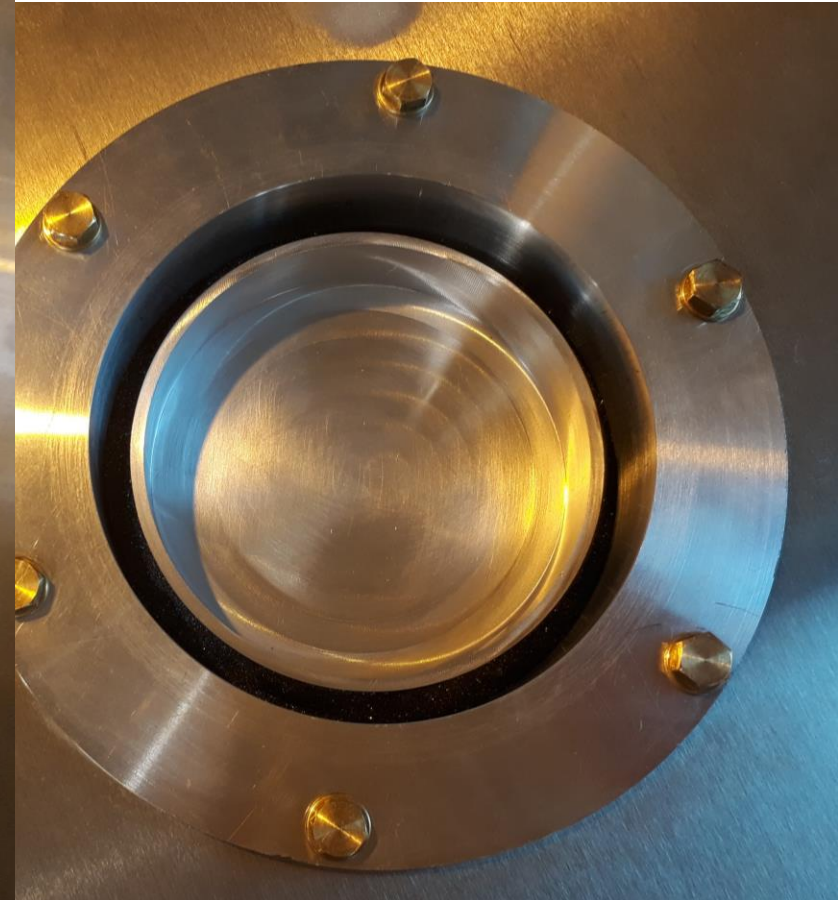


Baffle de pompage et absorbeur

Absorbeur haute émissivité

Procédure Université de Cardiff (Herschel-SPIRE)

- Grains de SiC $500\mu\text{m}$
- Noir de fumée
- Stycast 2850FT + catalyseur 23LV
- Absorbeur de quelques mm d'épaisseur





QUBIC architecture cryogénique subKelvin

Interrupteurs thermiques mécaniques:

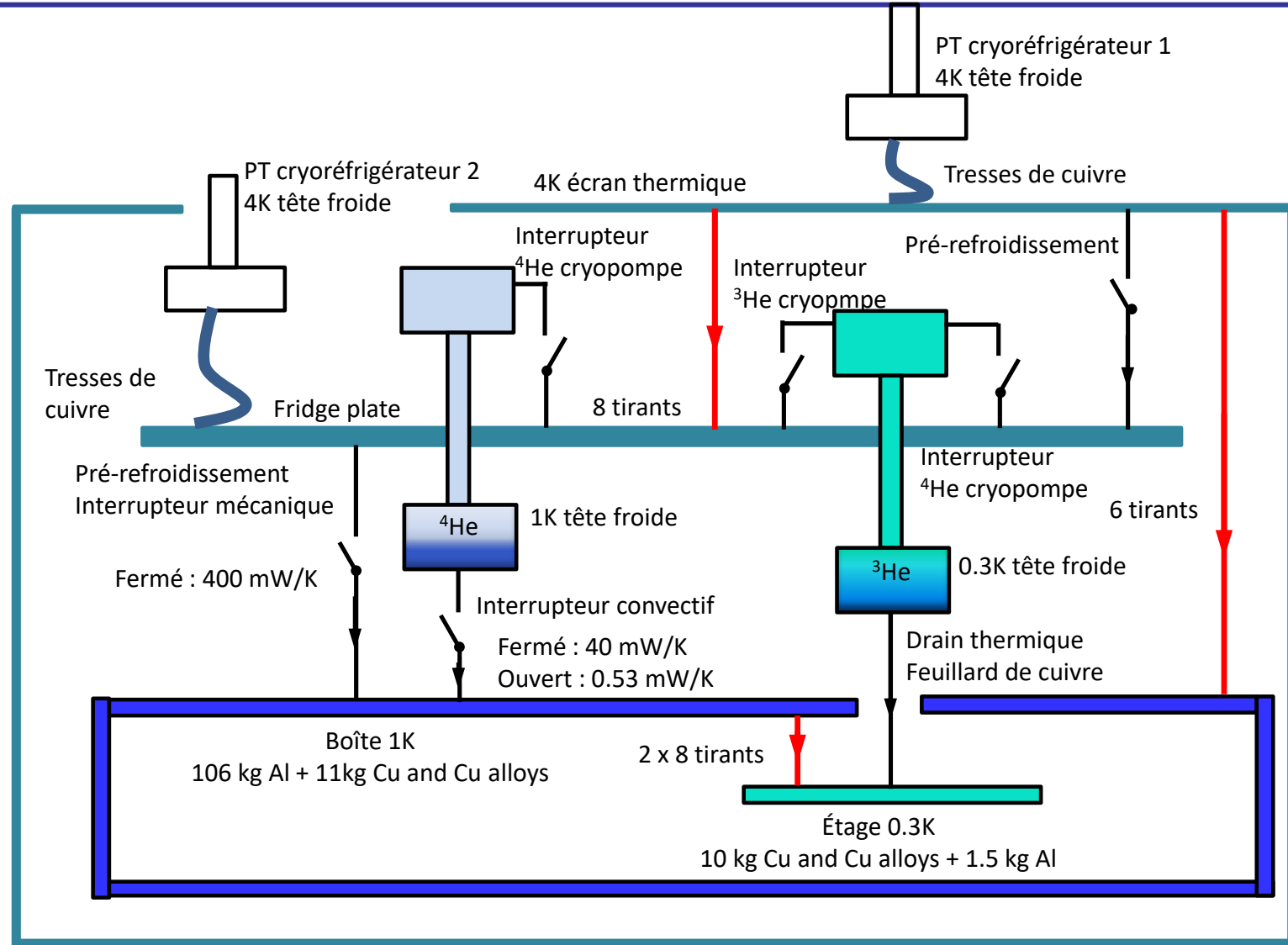
- Société Entropy GmbH
- Permettent d'améliorer le couplage entre les têtes 4K et l'étage 1K
- Ouverts lorsque l'étage 1K atteint 4K

Interrupteurs thermiques convectifs :

- Université de Manchester
- Lien thermique de l'étage 1K pour $T < 4K$
- Utilisés pour les cryopompes 1K et 0.3K

Fridge plate :

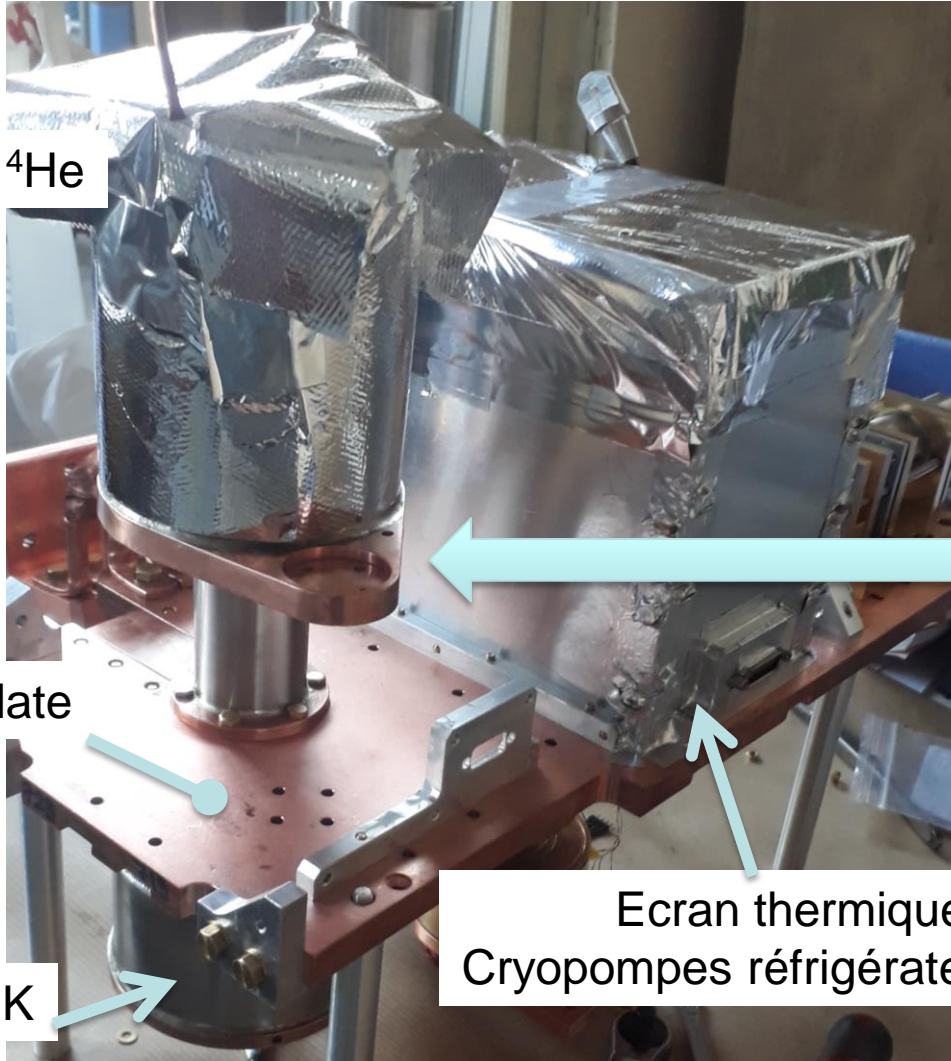
- Connectée à l'étage 4K du PT2
- Température de la fridge plate $\sim 3K$
- $T \sim 3K \Rightarrow$ bonne efficacité de condensation du réfrigérateur 1K





QUBIC Réfrigérateurs 1K

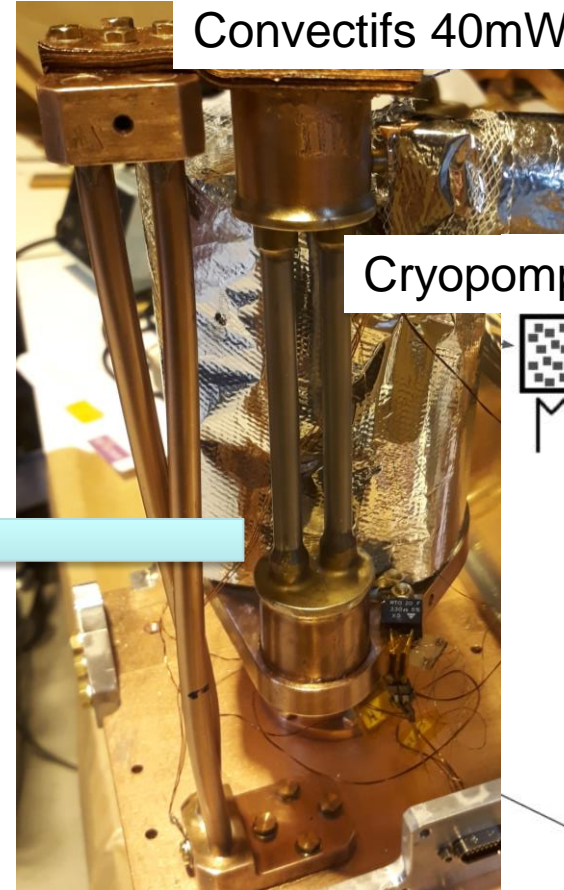
Cryopompes ^4He



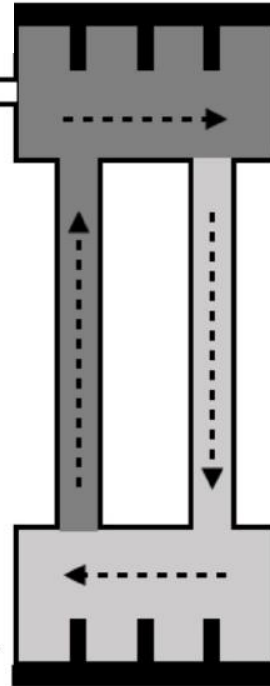
Fridge plate

Ecran thermique
Cryopompes réfrigérateur 0.3K

Interrupteurs thermiques
Convectifs 40mW/K



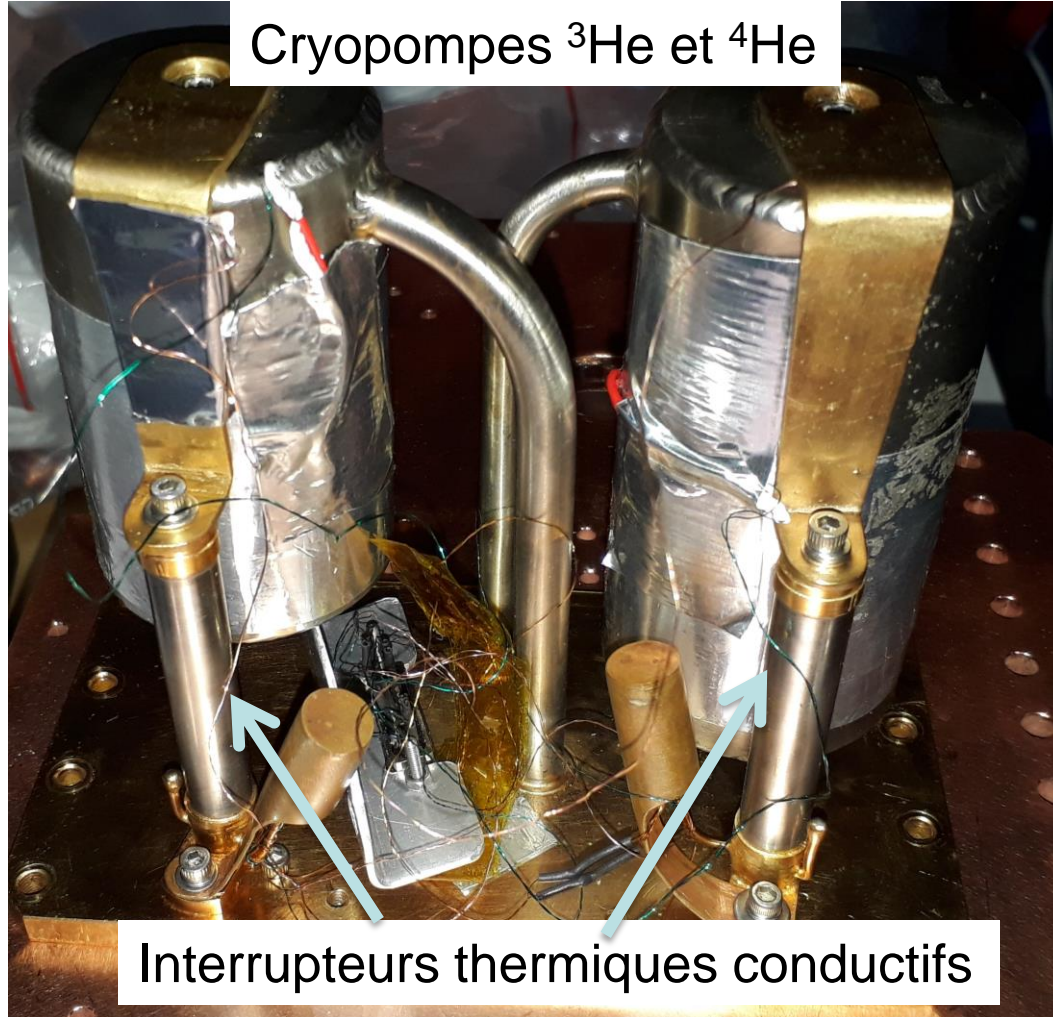
Cryopompes ^4He



Evaporateur 1K



QUBIC Réfrigérateurs 0.3K



Cryopompes ^3He et ^4He

Interrupteurs thermiques conductifs



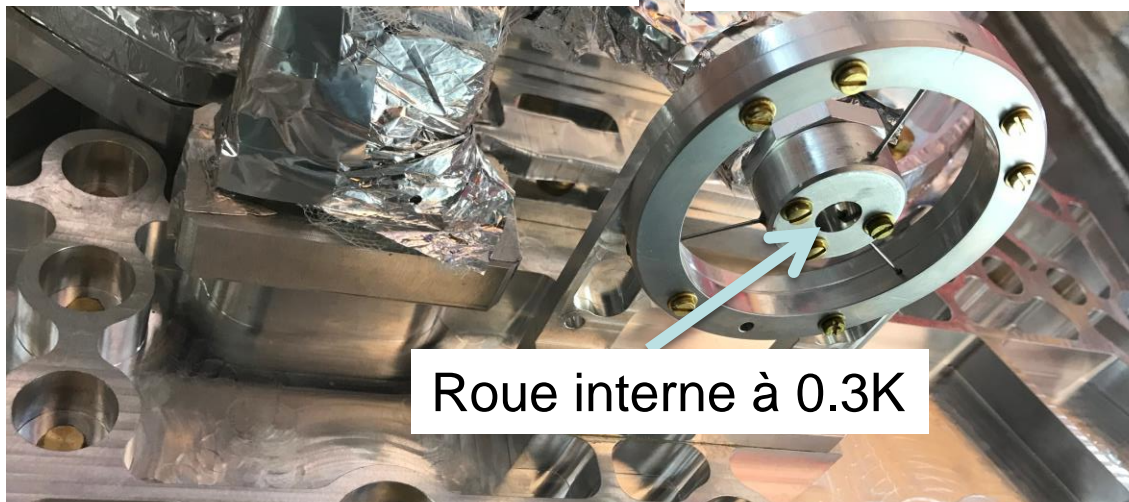
Évaporateurs concentriques 1K et 0.3K



QUBIC Roues isolantes drain thermique 0.3K

Positionnement :

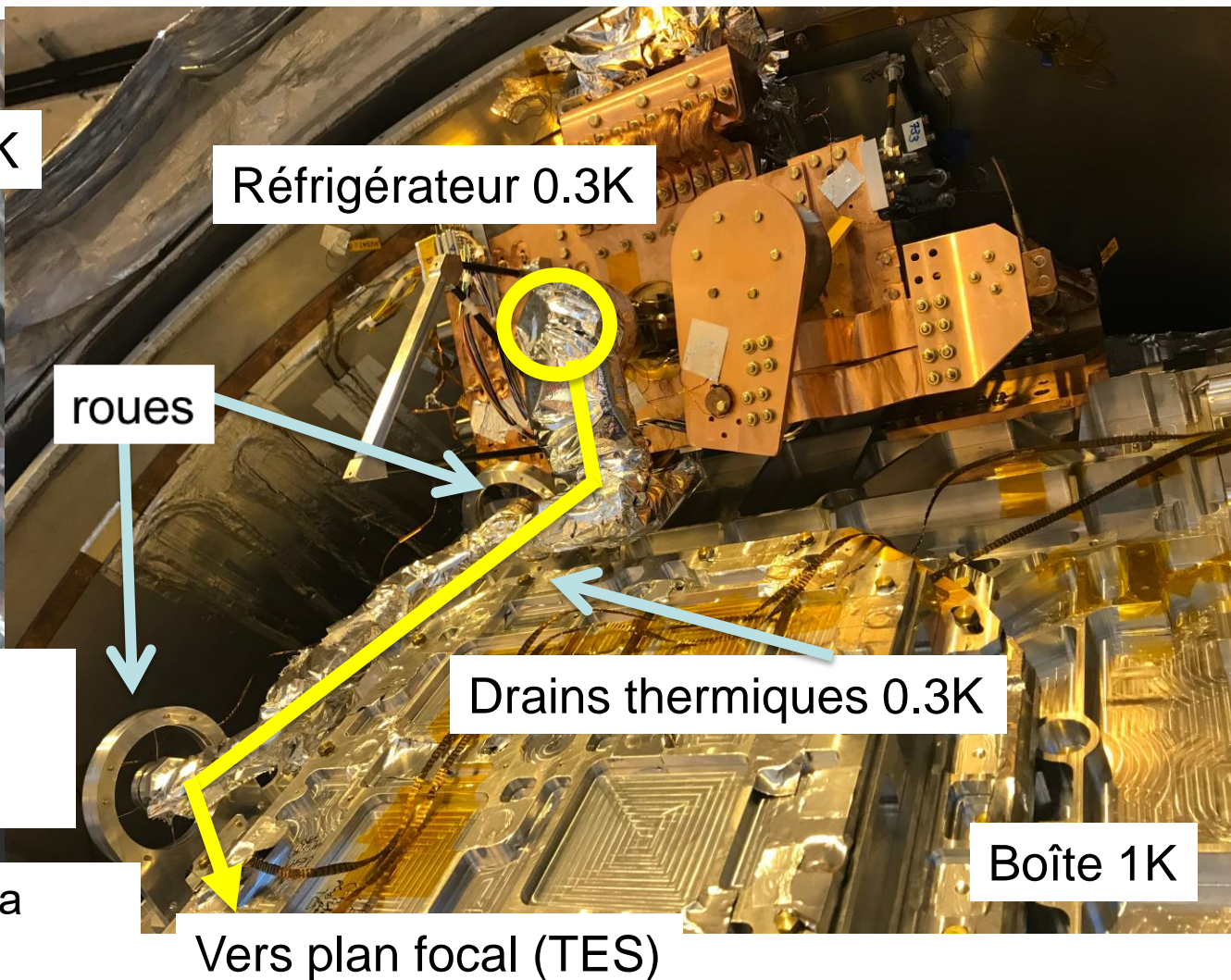
- Radial rigide
- Axial plus souple



Roue en aluminium

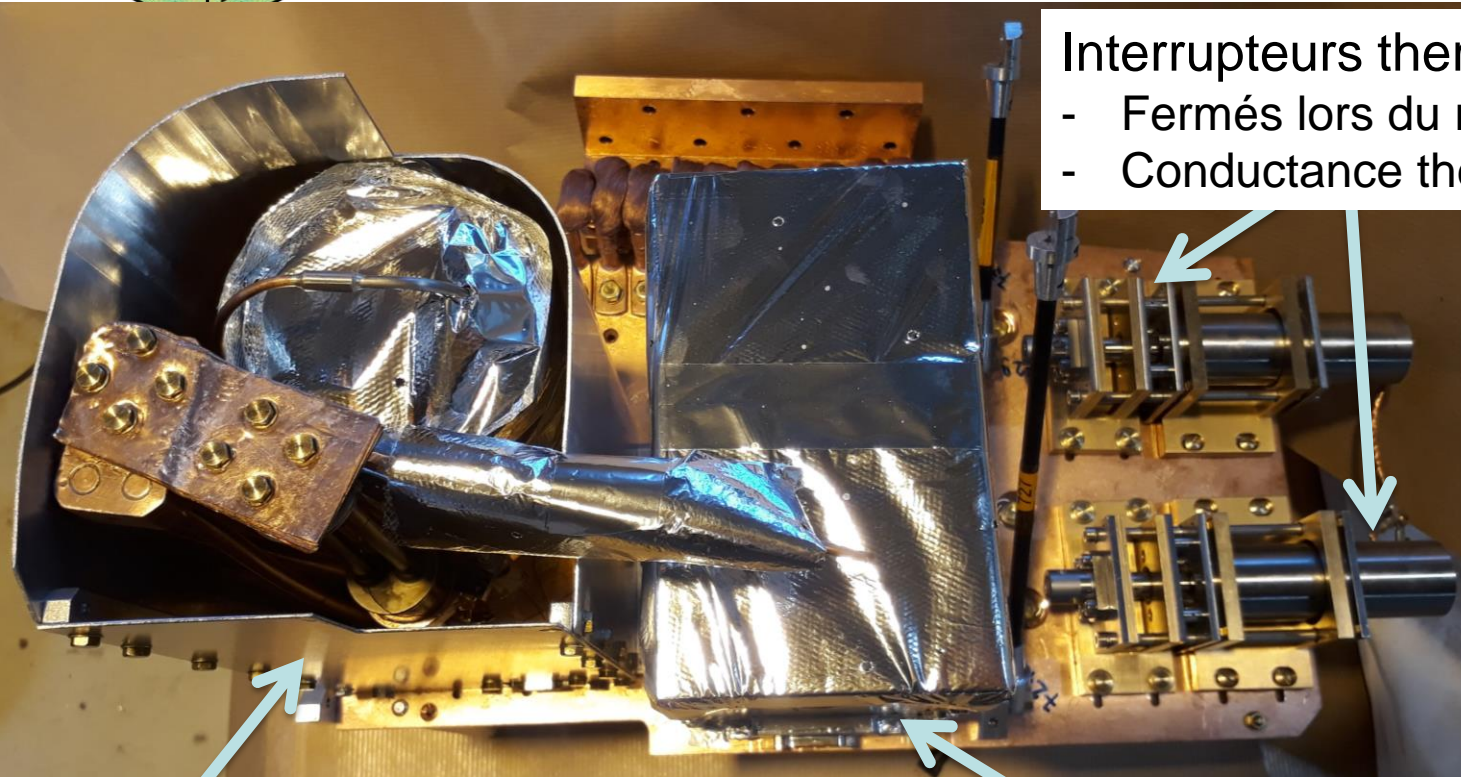
- 3 rayons en tubes inox $\varnothing 1/\varnothing 0.9$
- Collage DP190 grise

Tube inox pour éviter la dissipation d'énergie due à la vibration de fils Kevlar





QUBIC Fridge plate équipée

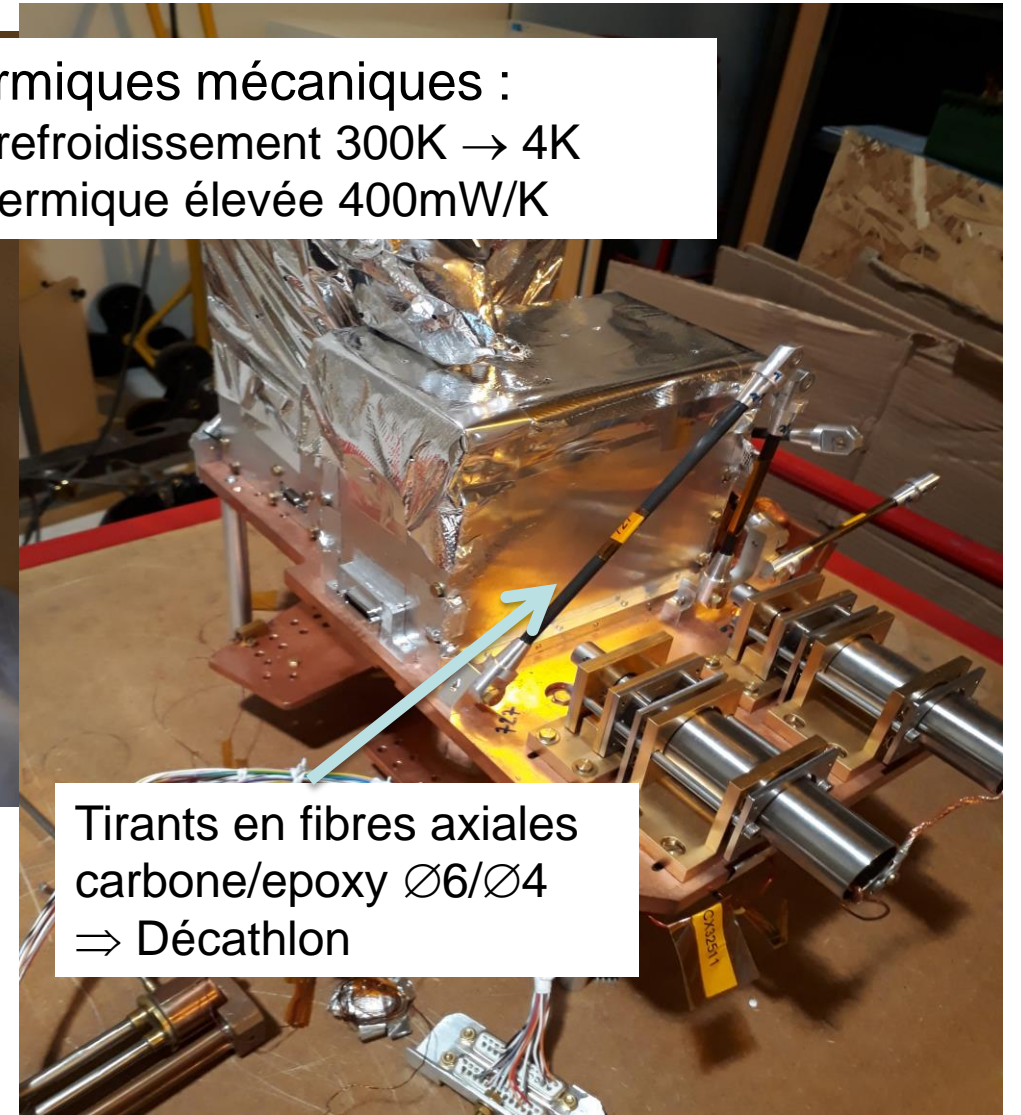


Ecran thermique cryopompe réfrigérateur 1K

Ecran thermique des 2 cryopompes réfrigérateur 0.3K

Interrupteurs thermiques mécaniques :

- Fermés lors du refroidissement 300K \rightarrow 4K
- Conductance thermique élevée 400mW/K



Tirants en fibres axiales carbone/epoxy $\varnothing 6/\varnothing 4$
 \Rightarrow Décathlon



QUBIC Fridge plate équipée

Tresses thermiques CuC2
Entropy

Tirants fibres de carbone/epoxy
 $\varnothing 6/\varnothing 4$

Interrupteurs thermiques
connexion réfrigérateur 1K
avec boîte 1K

Roue isolante

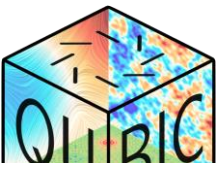
Réfrigérateur 1K

Boîte 1K

Réfrigérateur 1K

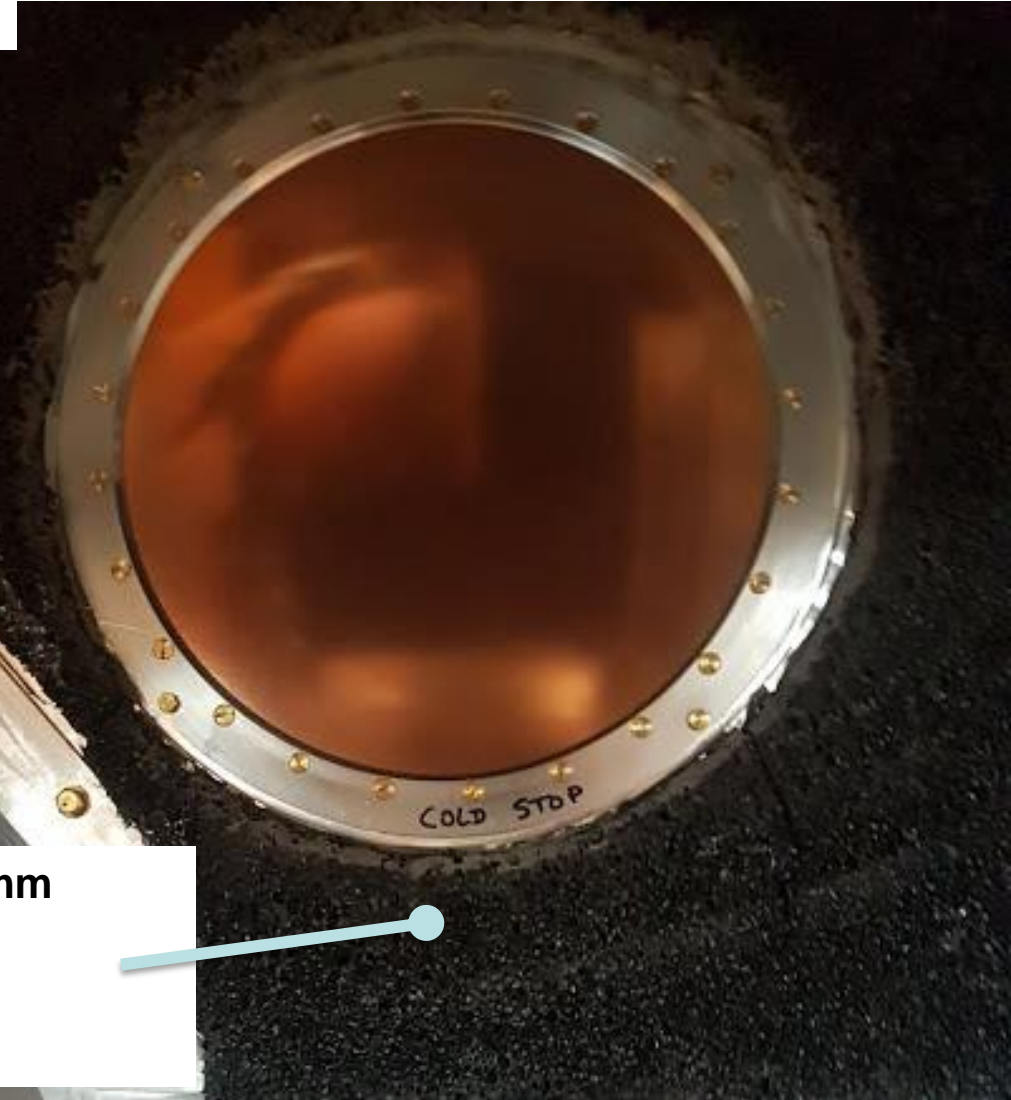
Réfrigérateur 0.3K

drain thermique
Feuillard 0.1mm CuC2



1/4 Plan focal + cold stop

Absorbeur Grains de SiC 500 μ m + Noir de fumée + Stycast



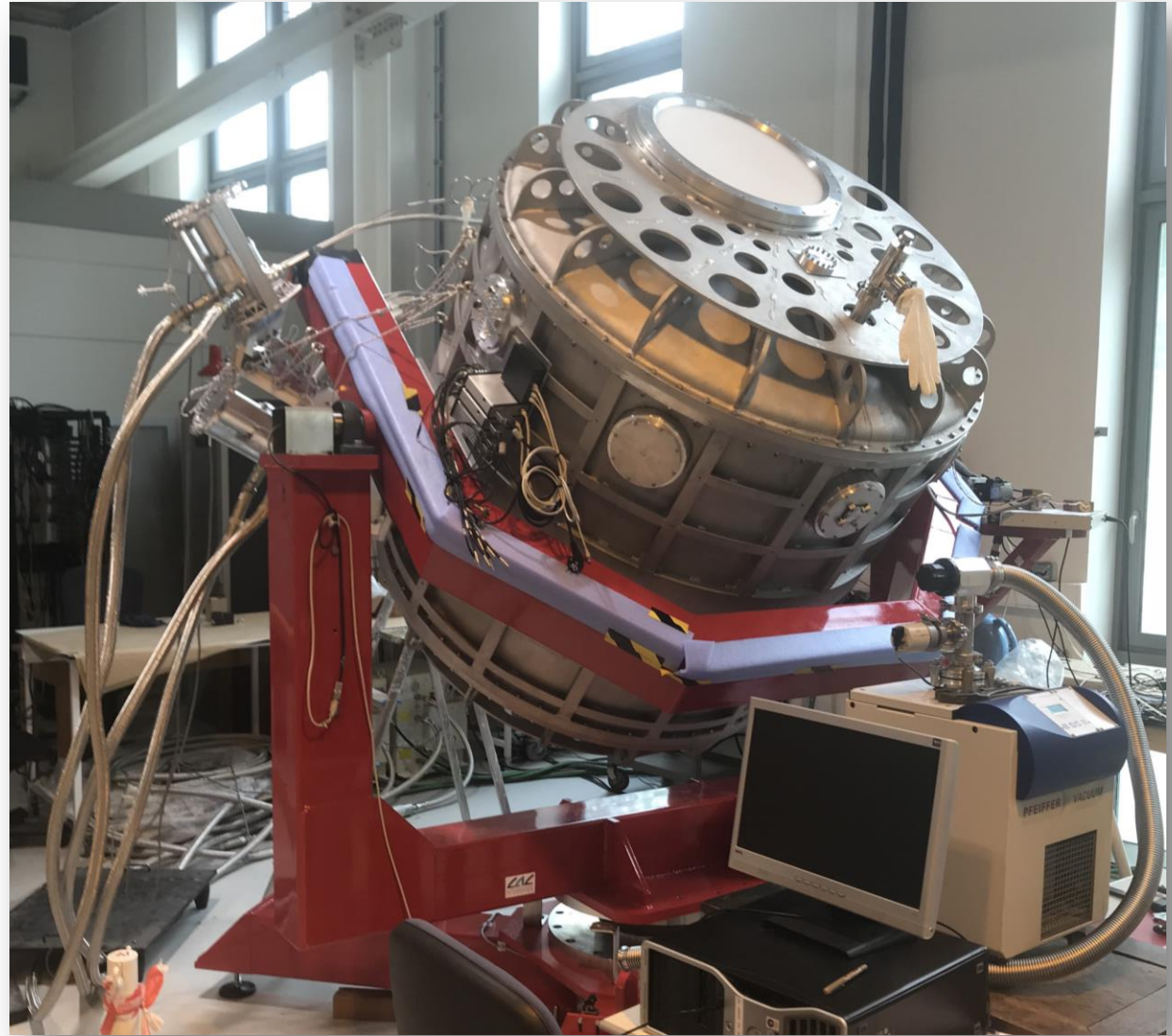
Absorbeur haute émissivité – anti réflexion mm

- Mousse polyuréthane ECCOSORB® HR10
- Stycast 2850FT + catalyseur 23LV
- Absorbeur de 10/12mm d'épaisseur



Les étapes passées et avenir

- Démonstrateur technologique (TD)
 - Même cryostat et cryogénie que le FI
 - 8 x 8 matrice de cornets
 - $\frac{1}{4}$ plan focal (256 TES à 150GHz)
- TD assemblé et testé à l'APC
 - Départ de l'APC le 19 mai 2021
 - Arrivée prévue en Argentine fin juin 2021
 - 2022 : Installation sur site en altitude
- Instrument final (FI) – échéance non définie
 - 20 x 20 matrice de cornets
 - 2 x 1024 TES (150GHz et 220GHz)





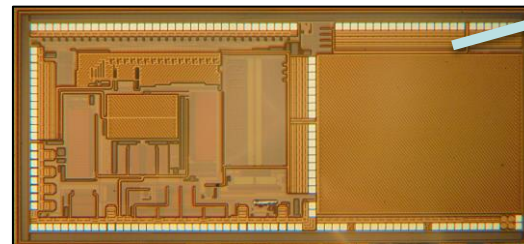
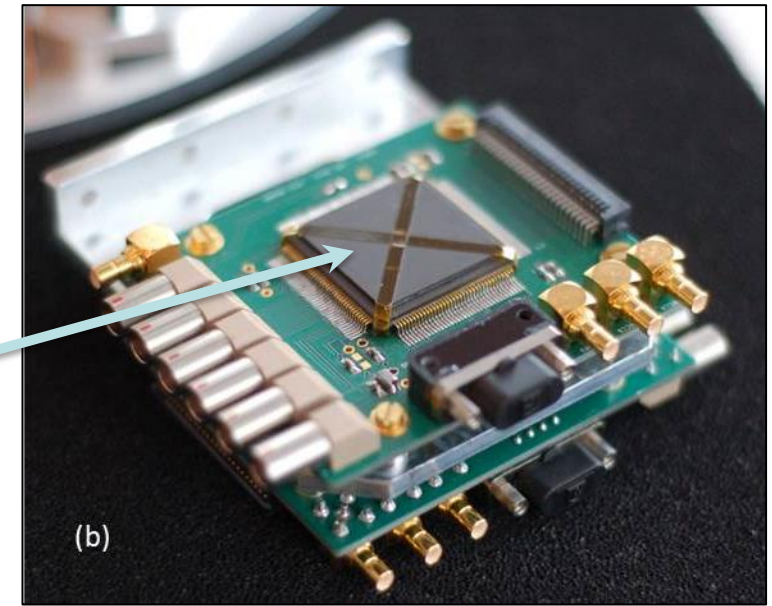
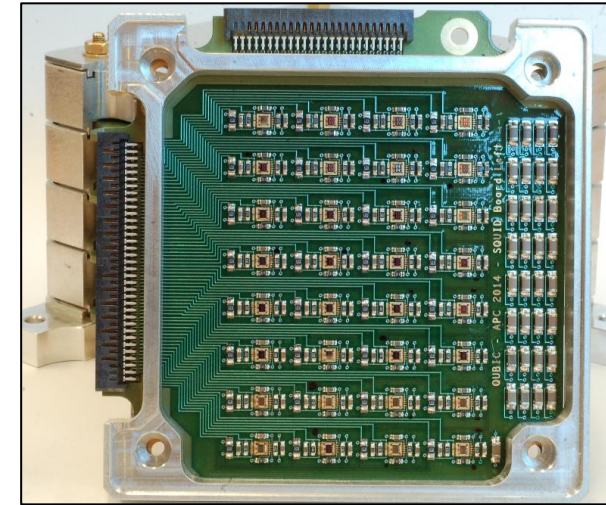
Quelques membres de la collaboration QUBIC





QUBIC Electronique froide : SQUID et ASIC

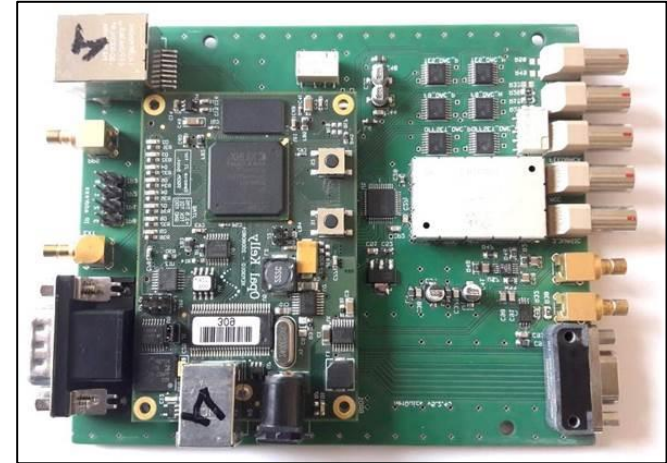
- SQUID à 1K: SQ600S de StarCryoelectronics
- ASIC SiGe à 40K :
 - Adressage des lignes SQUID :
 - Polarisation via des condensateurs avec des sources de courant AC multiplexées (1:32)
 - Amplificateur faible bruit avec entrées multiplexées :
 - Préamplificateur pour la boucle FLL (gain=70, $e_n = 0.3\text{nV}\cdot\text{Hz}^{-0.5}$, ~6MHz BW)
 - Multiplexage des colonnes (1:4) de 32
 - Circuit d'adressage numérique contrôlé par une horloge externe





QUBIC Electronique et système d'acquisition

- Carte FPGA assure les fonctions suivantes :
 - Communication avec l'ASIC
 - Gestion de la connexion TCP / IP avec l'ordinateur d'acquisition
 - Acquisition du signal de mesure avec l'ADC
 - Génération du courant de contrôle de la boucle (FLL)
- Logiciel QUBIC Studio :



Data storage

Exp. control

ASIC control

Scripts

Acquisition, demultiplexing, visualisation