



Intégration cryogénique de la chaîne de détection QUBIC

F. Voisin, D. Prêle, C. Chapron, C. Perbost, M. Piat

Laboratoire APC - AstroParticule Cosmologie
Université Paris 7 Denis Diderot - UMR 7164 CNRS



Plan

- L'instrument QUBIC
- Chaîne de détection
- Intégration d'un quart de plan focal
- Validation fonctionnelle
- Bilan



QUBIC (Q&U Bolometric Interferometer for Cosmology)

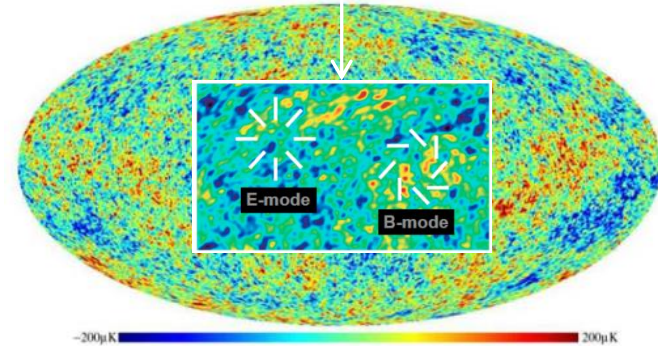
- Objectif scientifique:
Polarisation des modes B du CMB
(*Cosmic Microwave Background*)

- Collaboration internationale



APC Paris, France
IEF Orsay, France
CSNSM Orsay, France
CESR Toulouse, France
Maynooth University, Ireland
Universita di Milano-Bicocca, Italy
Universita degli studi di Milano, Italy
Universita La Sapienza, Roma, Italy
University of Manchester, UK
Richmond University, USA
Brown University, USA
University of Wisconsin, USA

E and B-mode polarization patterns

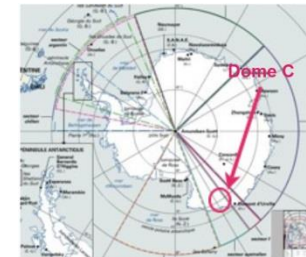


-200μK 200μK

Full sky temperature anisotropies

- Télescope au sol :

Dôme C (Antarctique)

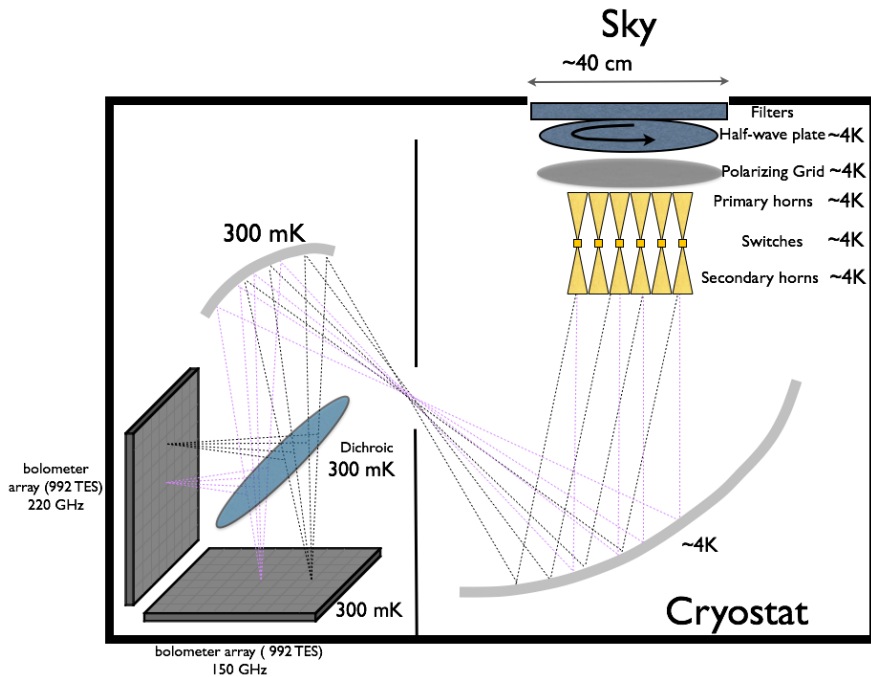


Installation
1^{er} module
de QUBIC en
2016



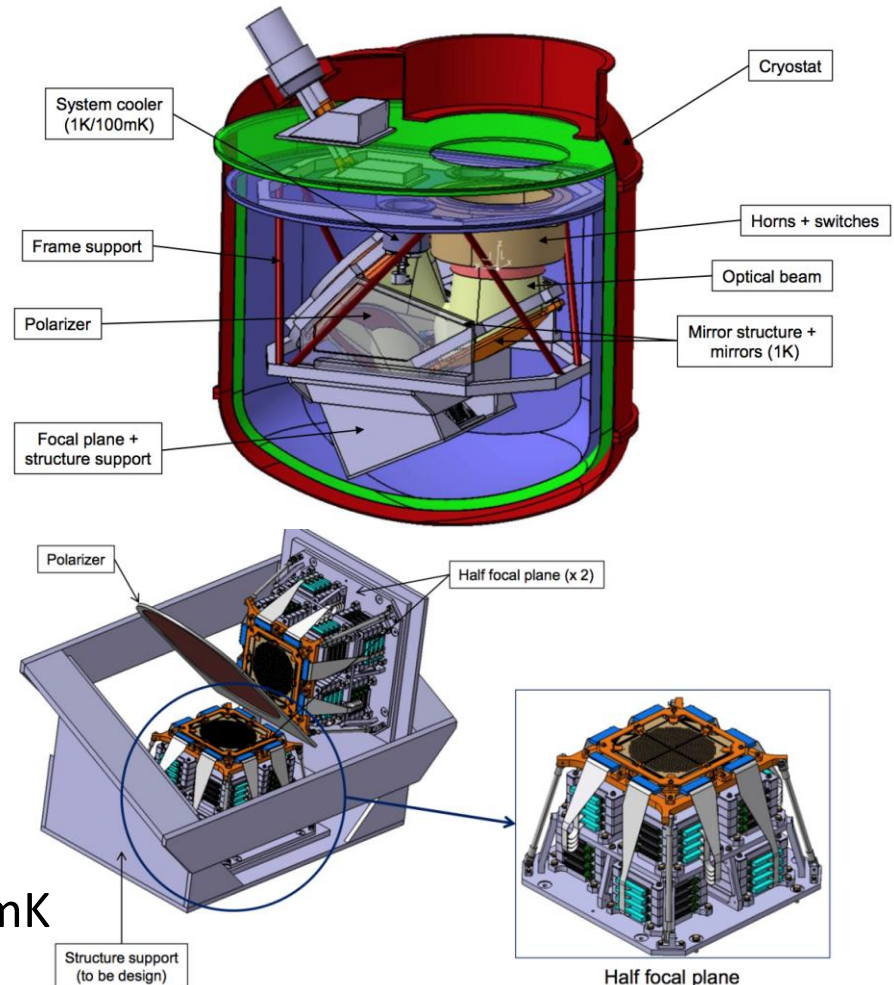
L'instrument QUBIC

- Détecteur millimétrique basé sur l'interférométrie bolométrique



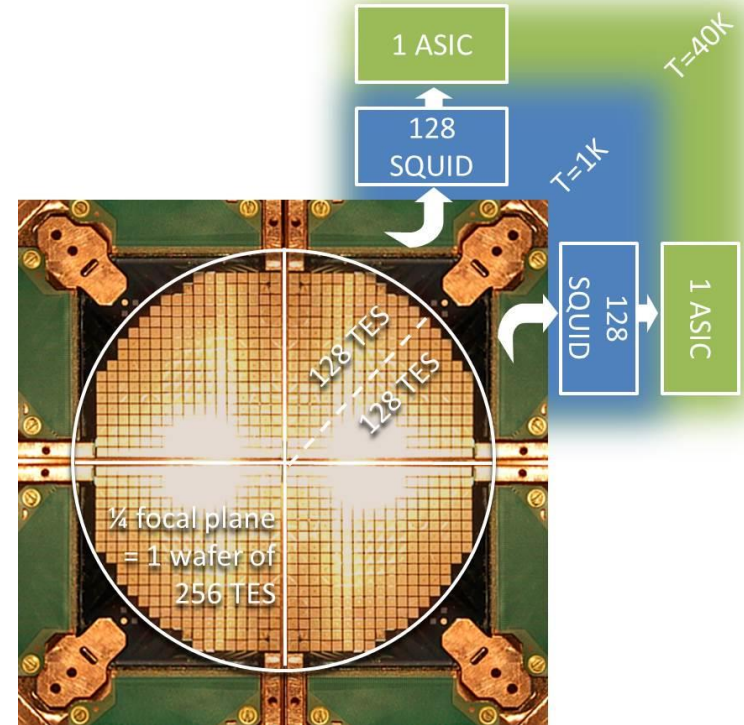
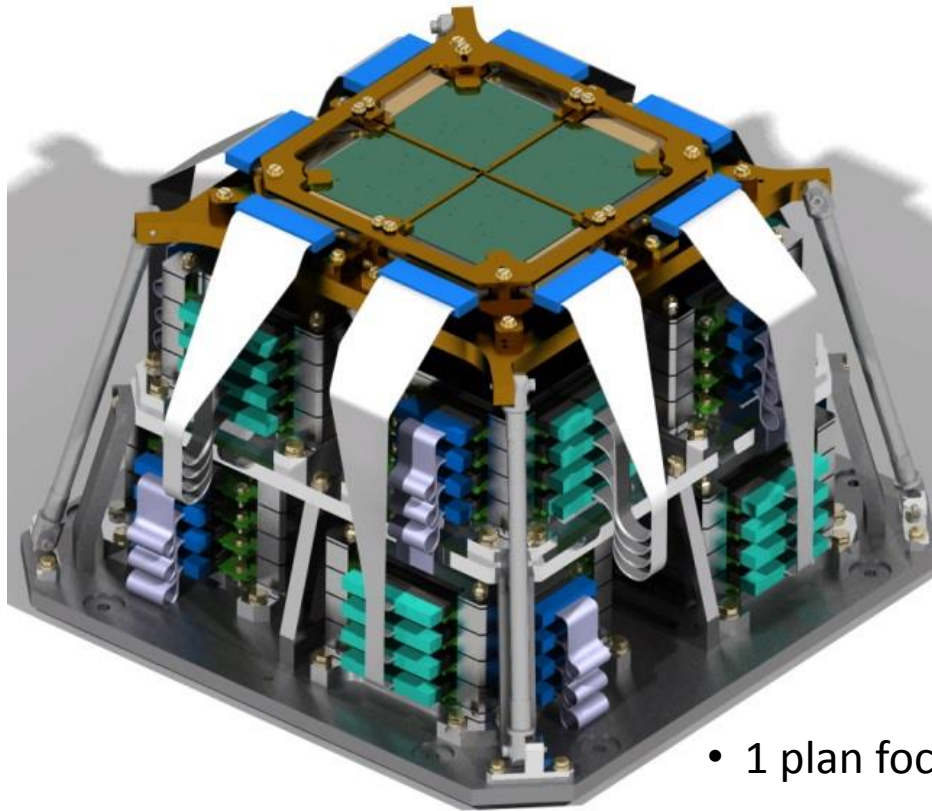
- 2 plans focaux 1024 TES chacun @300mK

Cryostat





Plan focal de l'instrument QUBIC



- 1 plan focal = 4 wafers de 256 TES @300mK chacun
 ➤➤ *Readout*: multiplexage temporel ◀◀
128 SQUID @ 1K+ 1 ASIC @ 40 K pour 1/4 de plan focal

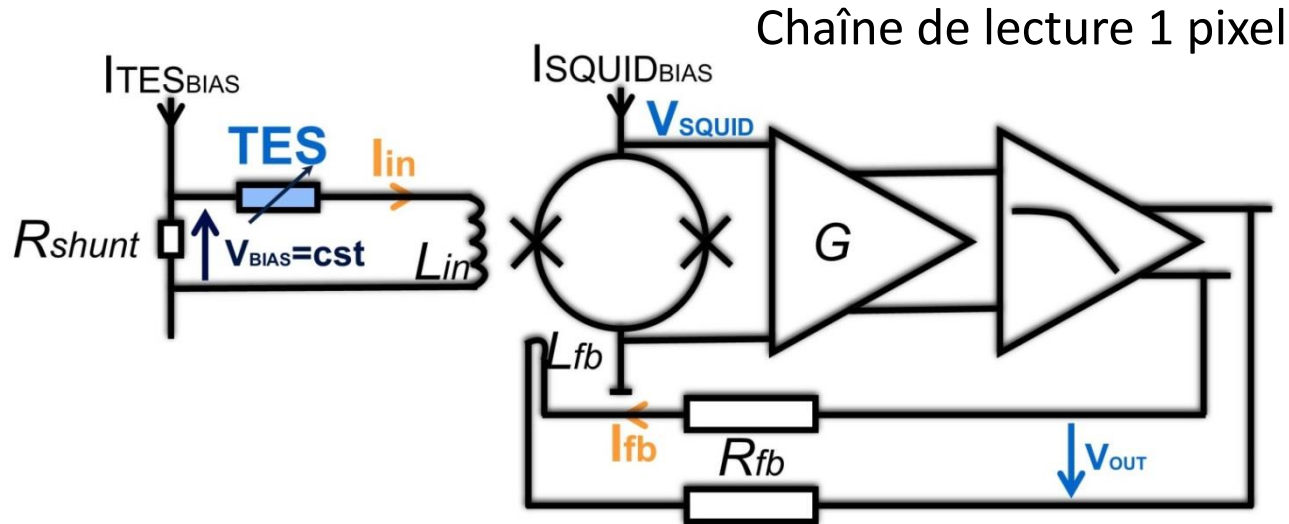


Plan

- L'instrument QUBIC
- Chaîne de détection
- Intégration d'un quart de plan focal
- Validation fonctionnelle
- Bilan

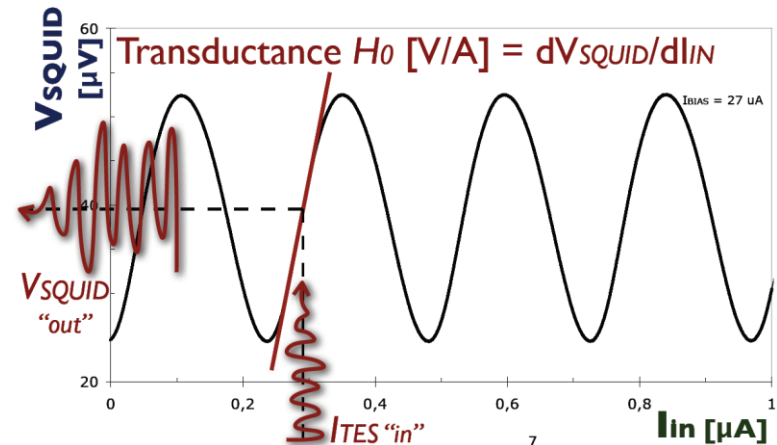


Electronique de lecture



- TES polarisé à V_{BIAS} constante (ETF): lecture en courant (I_{in})
- SQUID avec self d'entrée \equiv amplificateur transimpédance
- SQUID avec self feedback: FLL (linéarisation)

Fonction de transfert SQUID





Topologie du multiplexeur 1:128

- 4 colonnes de 32 SQUID en séries

ASIC SiGe:

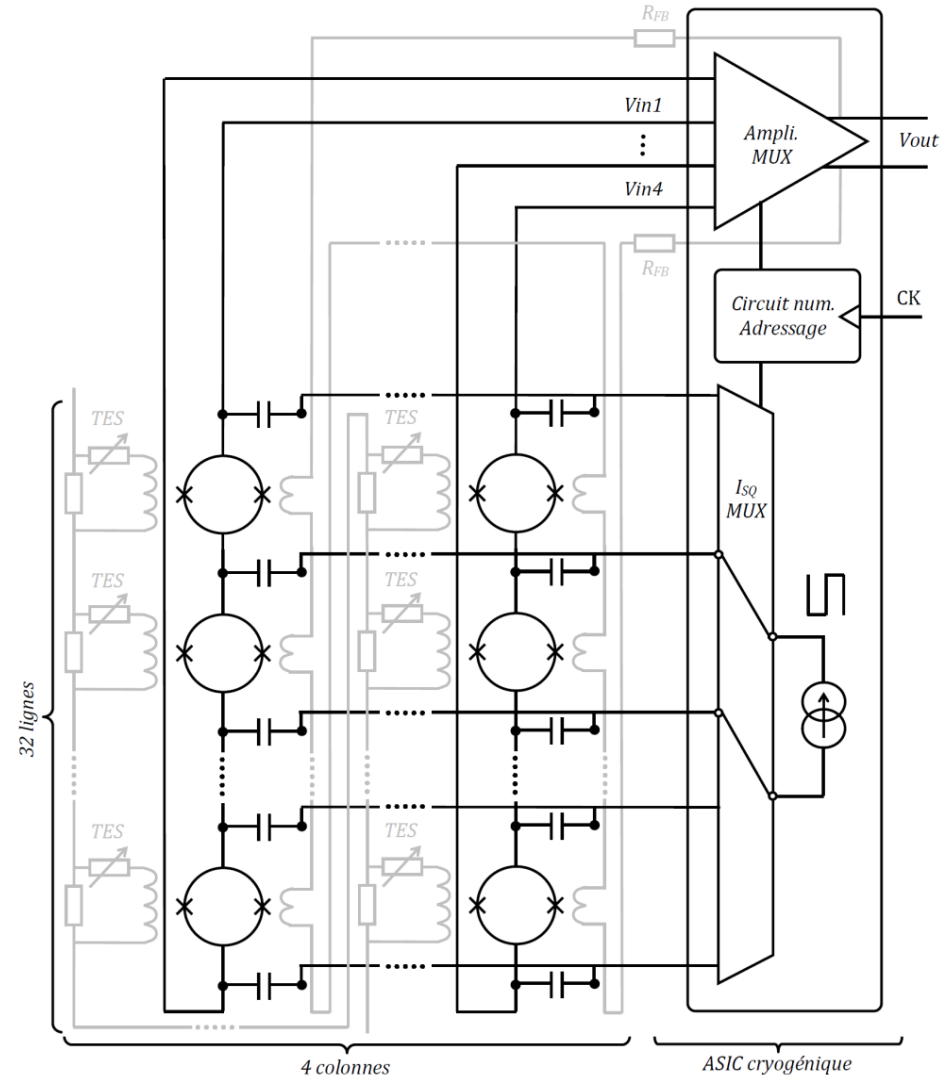
① Adressage des lignes de SQUID:

Polarisation *via* capacités par sources de courant AC multiplexées (1:32)

② Amplificateur bas bruit à entrées multiplexées, double fonction :

- Préamplificateur pour la FLL
- Multiplexage des colonnes (1:4)

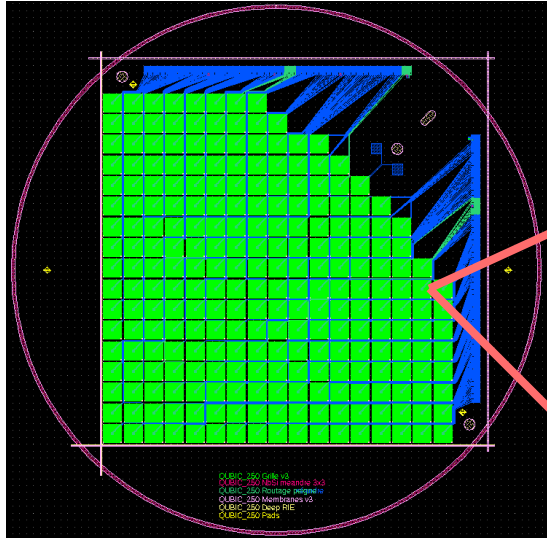
③ Circuit numérique d'adressage piloté par CK externe





Matrices de TES

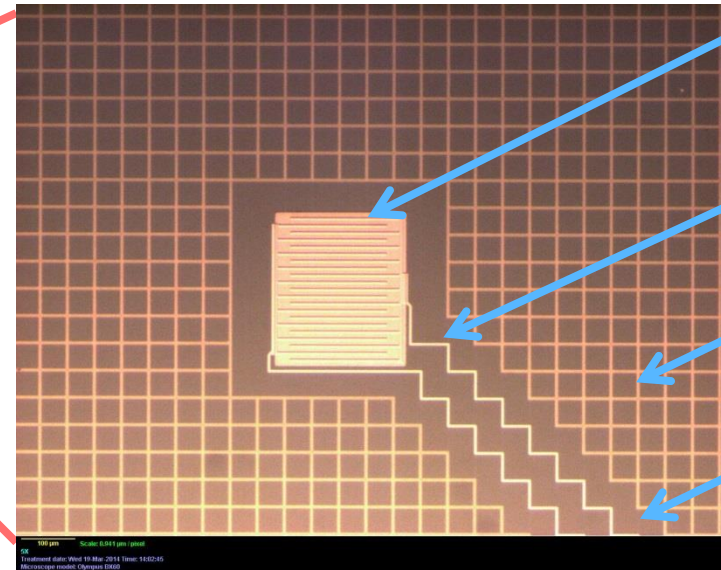
CSNSM



Substrat :SiN low-Stress sur SOI 3 pouces

1. Routage Al
2. TES NbSi
3. Absorbeur TiV
4. Contacts Al
5. Gravure profonde face arrière
6. Gravure membrane
7. Liberation membrane XeF₂

Pixel après les dépôts métalliques



NbSi

Al

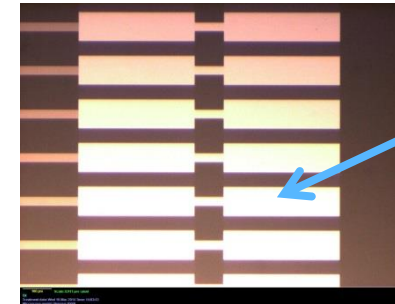
TiV

SiN

Membranes libérées



Pads interconnexion

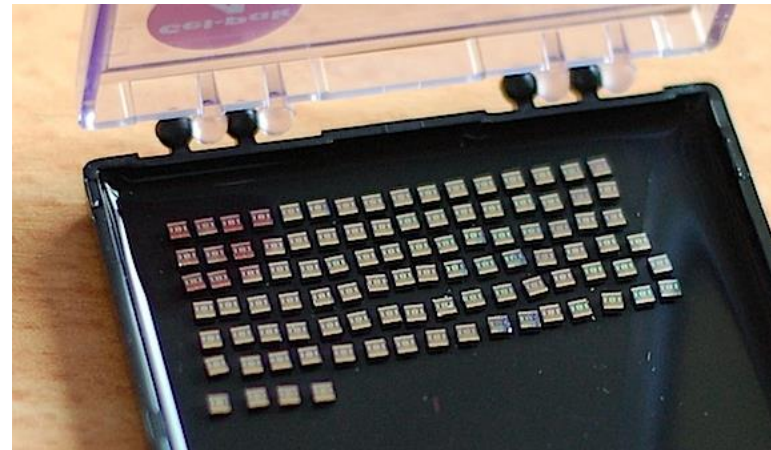
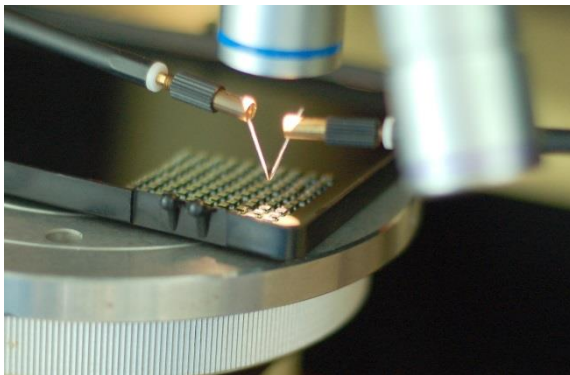
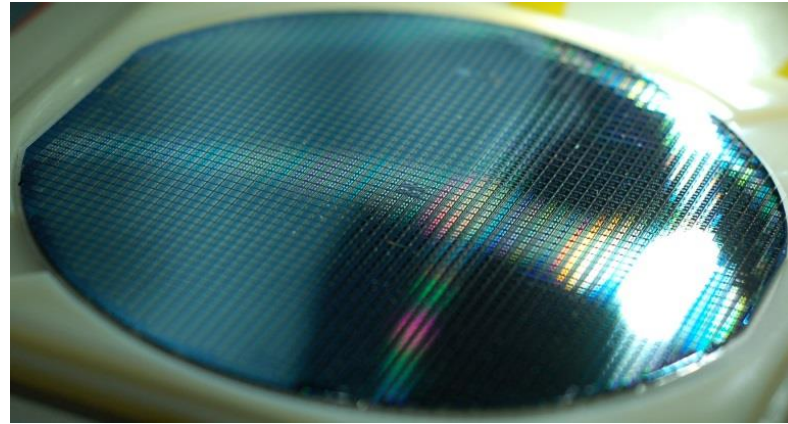
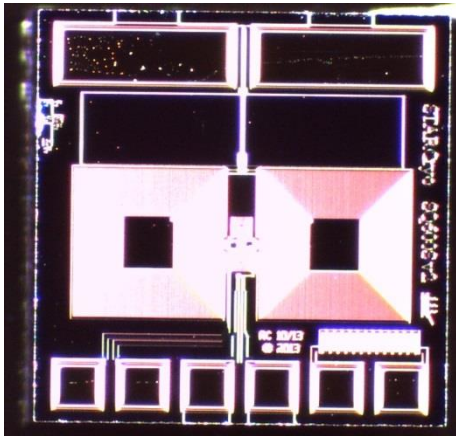


Al



SQUID

- *Design custom* et réalisation de 2 wafers de 2000 SQUID (StarCryoelectronics)

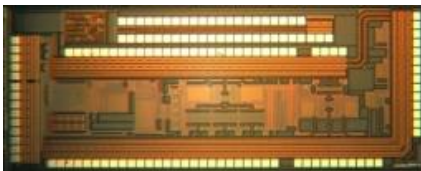


- Tri des puces (salle blanche, mesures sous pointes)

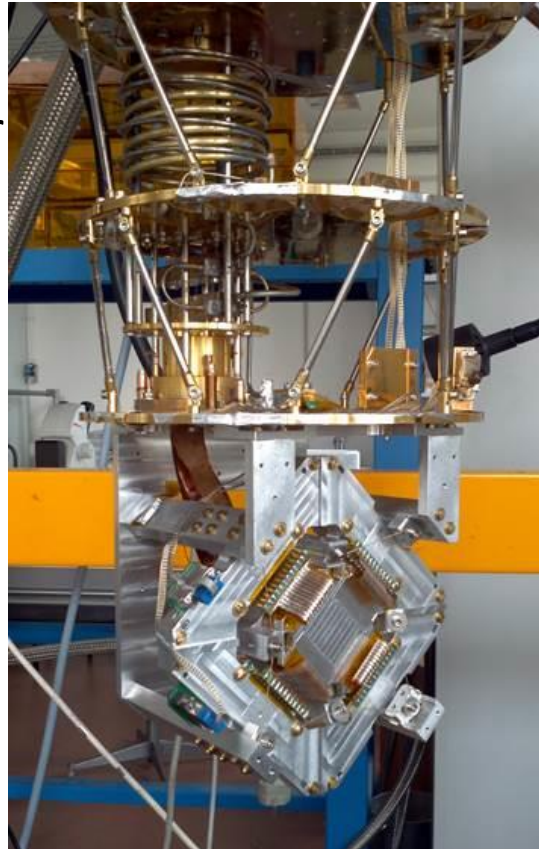


ASIC SQMUX

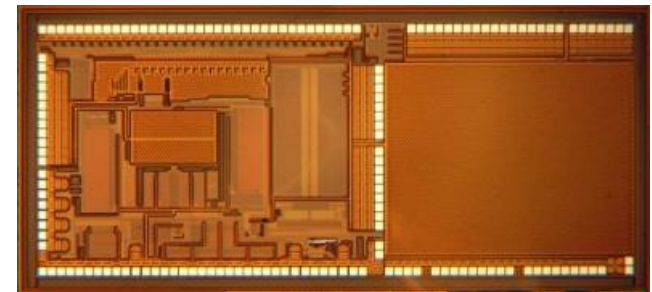
- SQMUX24: démo. 24 pixels pour validation architecture multiplexeur temporel (DCMB)
- $V_{\text{SUPPLY}}=5\text{V}$
- $P=10\text{mW}$
- $e_{\text{nIN}}=0,2\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
- Polarisation DC des SQUID *via* résistances d'adressage



2007



- SQMUX128: QUBIC
- $V_{\text{SUPPLY}}=3,3\text{V}$
- Polarisation AC des SQUID *via* capacités d'adressage
- Compensation dynamique des offsets
- Liaison série



2012

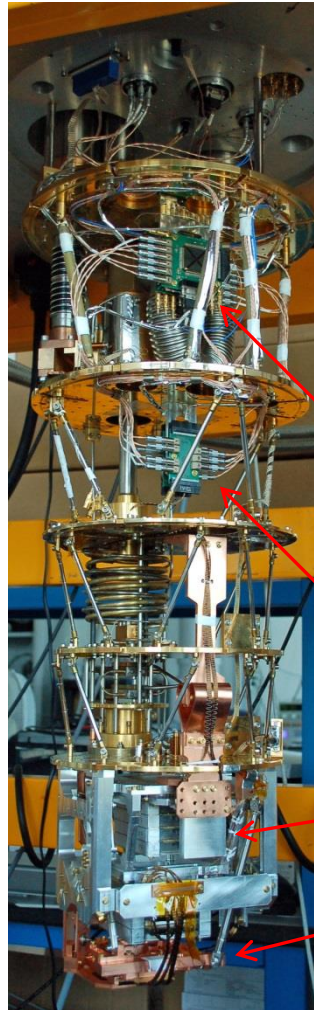
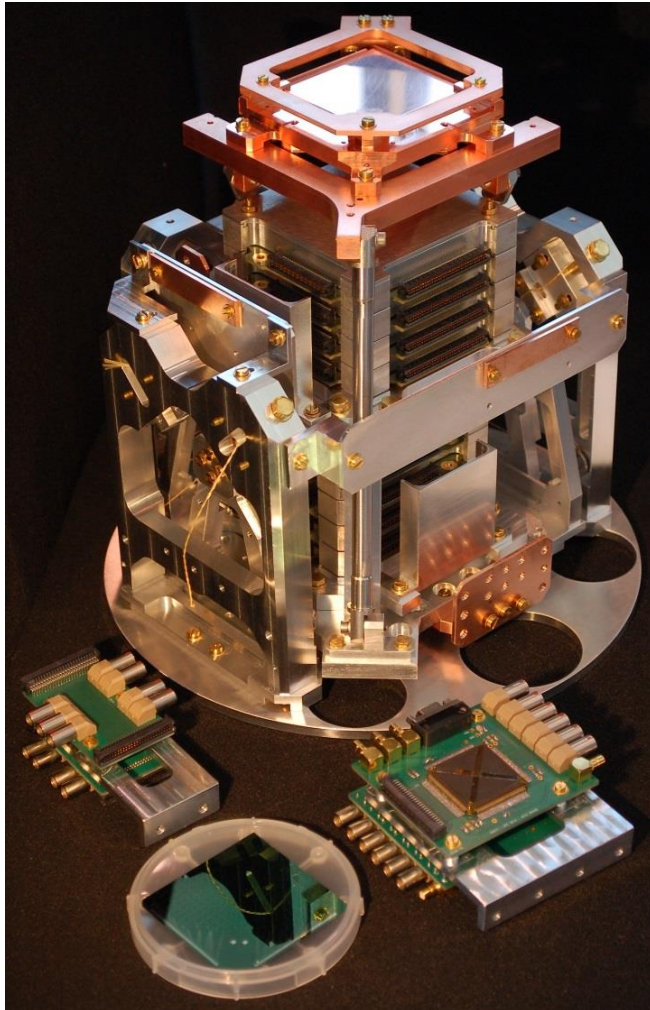


Plan

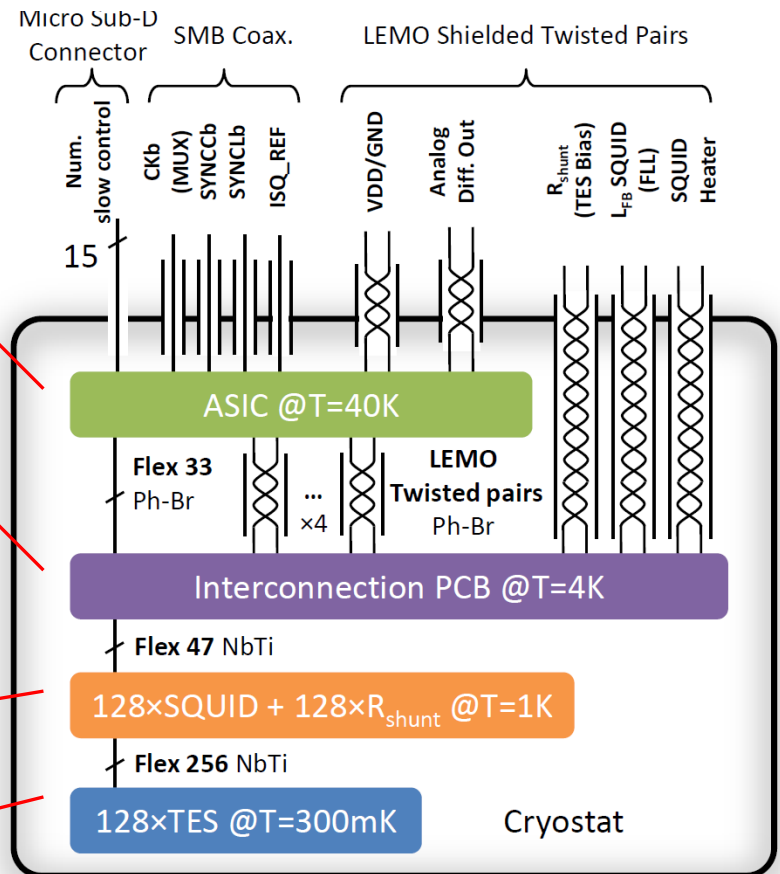
- L'instrument QUBIC
- Chaîne de détection
- Intégration d'un quart de plan focal
- Validation fonctionnelle
- Bilan



Intégration d'un quart de plan focal QUBIC



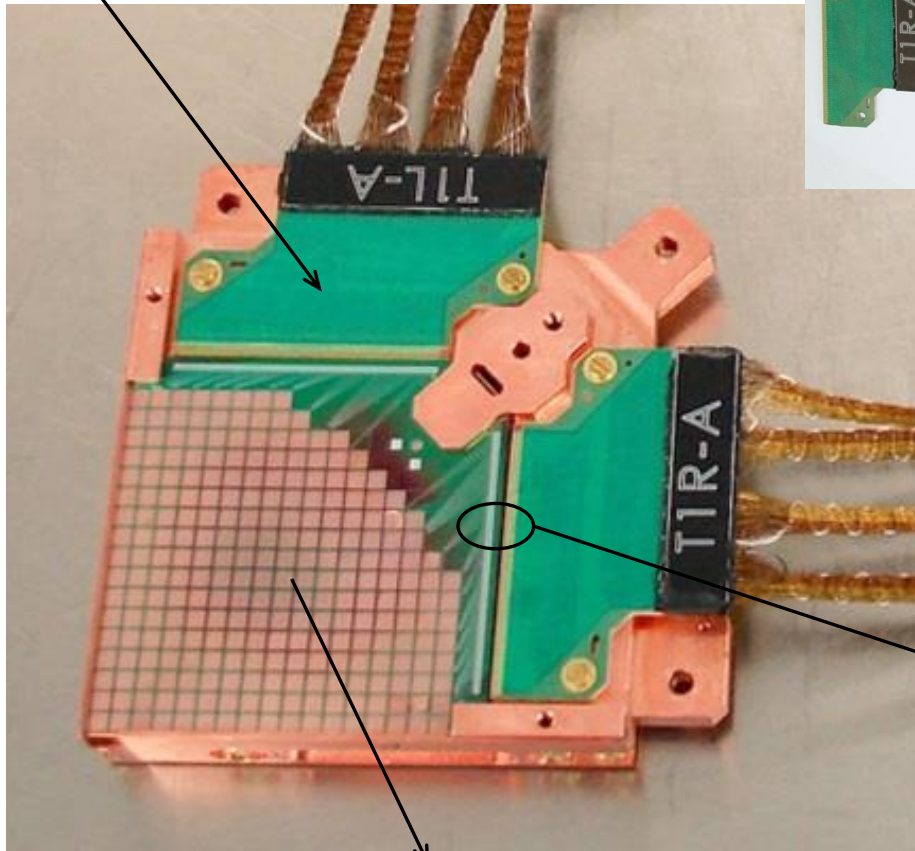
Câblage du cryostat pour la lecture de 128 TES





Interconnexion matrices TES (300mK) / modules SQUID (1K)

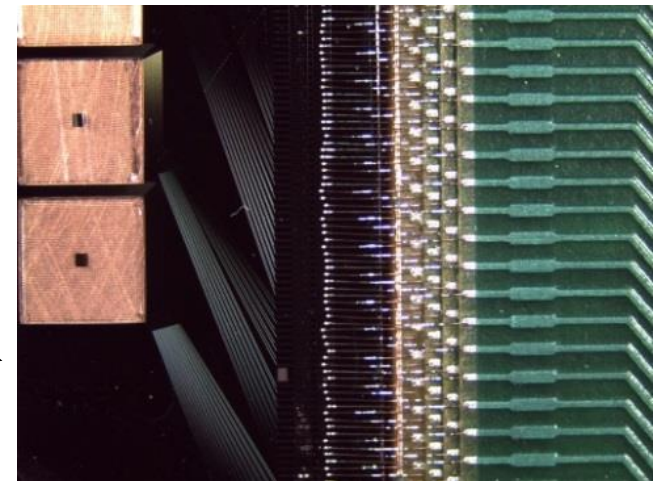
PCB de report 4 couches pistes Al
(OMNI Circuit Boards)



Matrice 256 TES (IEF/CSNSM)



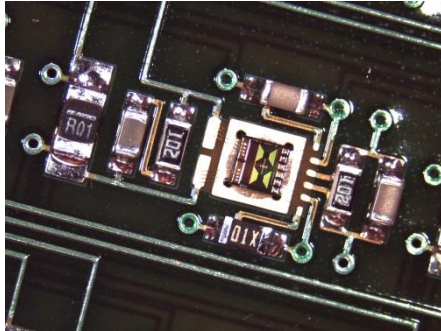
Assemblage nappes de paires torsadées NbTi sur PCB
et connecteurs SAMTEC (Universal Cryogenics)



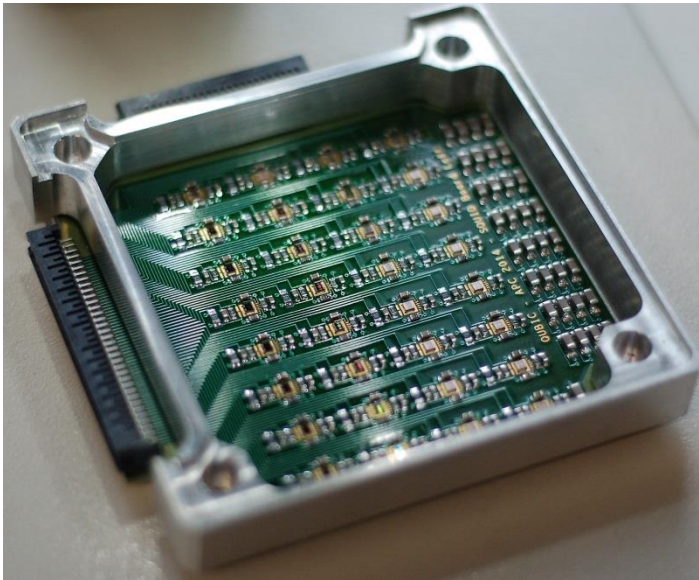
Bonding Al interconnexion matrice TES
(HCM SYSTREL)



Modules de SQUID



- 1 carte = 32 SQUID en séries
(\equiv 1 colonne du multiplexeur)
➤➤ 4 modules pour lire 128 TES ◀◀



- Puces SQUID interconnectées par *bonding* Al (HCM SYSTREL) sur PCB FR4 standard 10 couches double finition SnPb et Ni/Au chimique (SYSTRONIC)
- Soudure des composants passifs (RESA)



Assemblages câbles / connecteurs



- Nappes de paires torsadées supraconductrices NbTi sur connecteurs SAMTEC



- Nappes de fils PhBr sur connecteurs Micro Sub-D Glénair

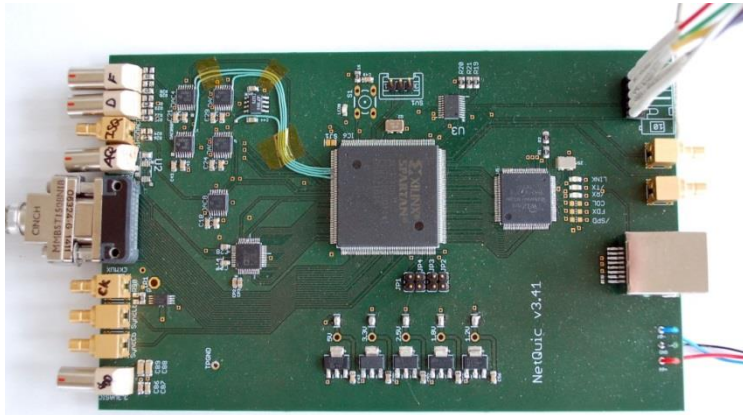


- Paires torsadées blindées PhBr sur connecteurs LEMO différentiels

Réalisation : Universal Cryogenics



Electronique d'acquisition (300K)



- Carte contrôle et acquisition:
 - FPGA
 - ADC/DAC
 - Lien série ASIC
 - Power supply ASIC



- Software QUBIC Studio:

Paramétrage ASIC

Acquisition/Démultiplexage/Visualisation

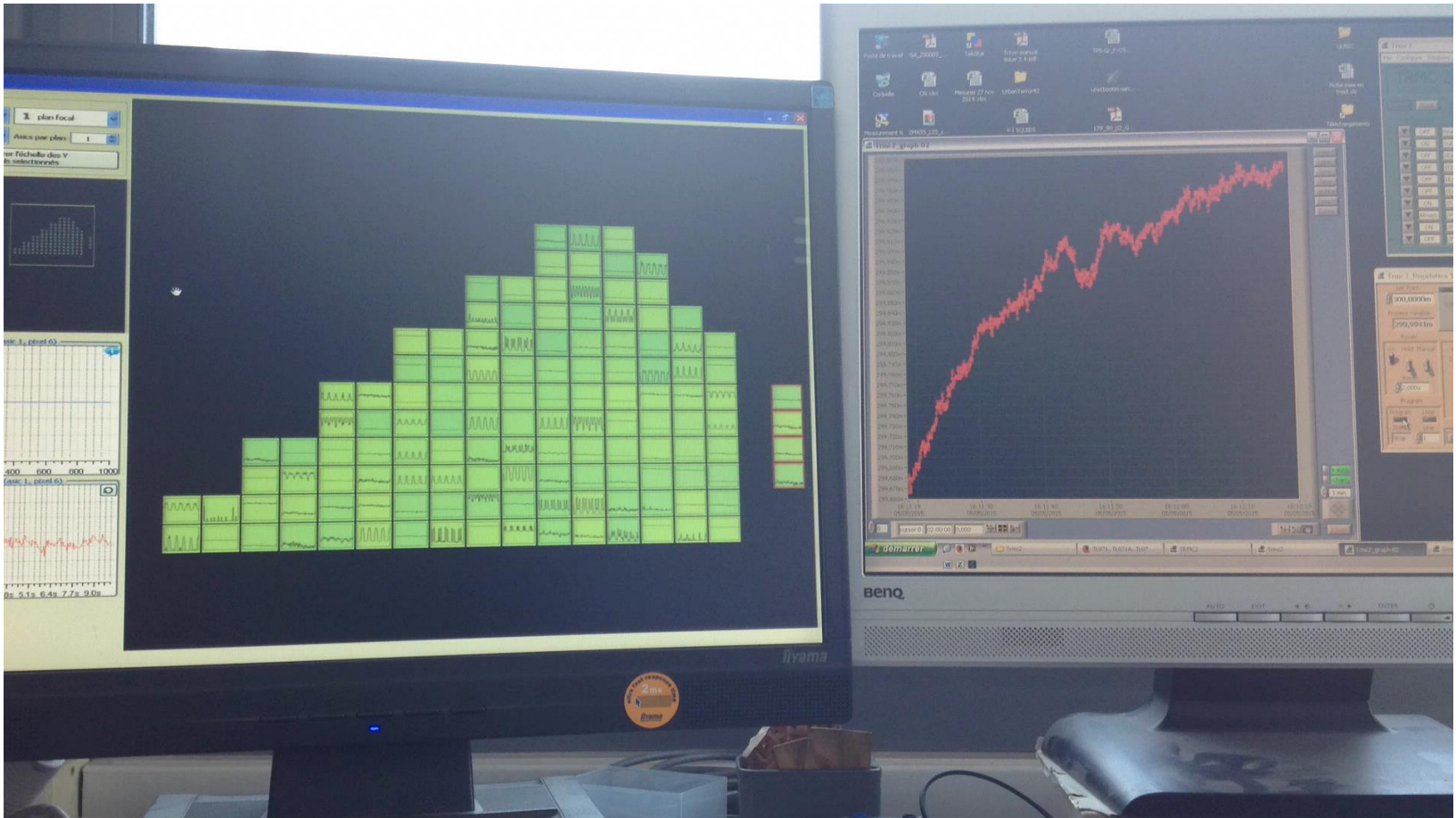


Plan

- L'instrument QUBIC
- Chaîne de détection
- Intégration d'un quart de plan focal
- **Validation fonctionnelle**
- Bilan

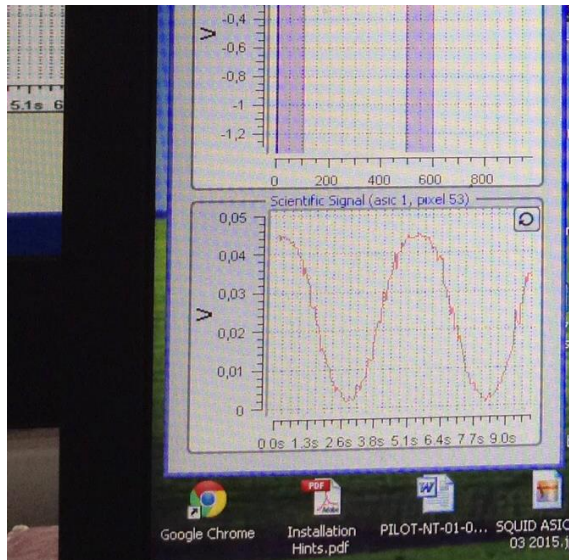
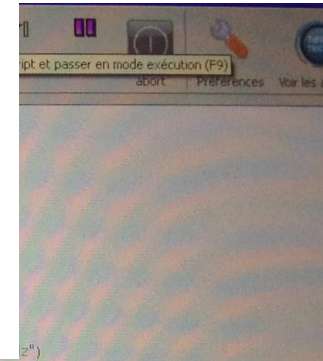
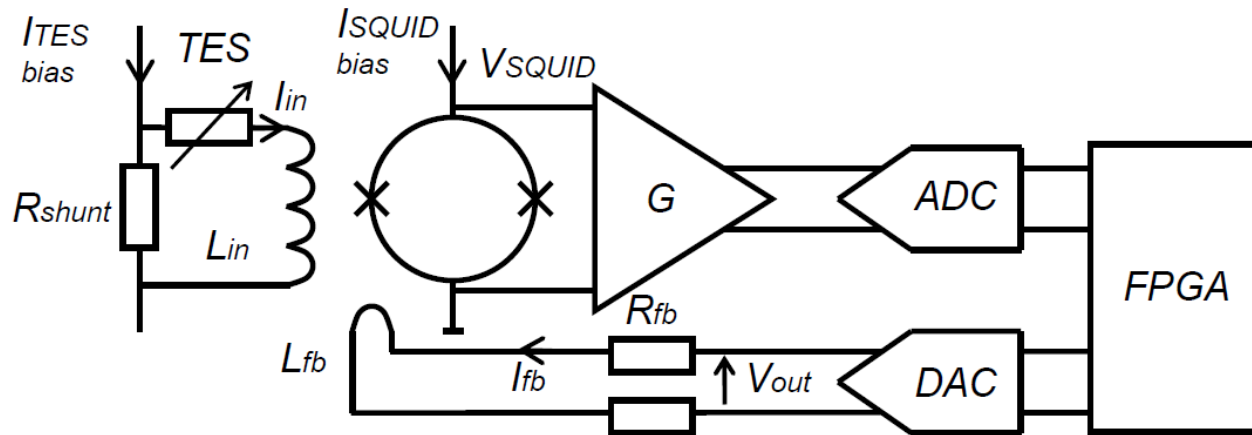


Transition des TES





FLL numérique



```
108 //plot(tab[0]:"1",tab[1]:"2",tab[2]:"3",tab[3]:"4",tab[4]:"5",tab[5]:"6",tab[6]:"7",tab[7]:"8",tab[8]:"9",tab[9]:"10",tab[10]:"11",tab[11]:"12",tab[12]:"13",tab[13]:"14",tab[14]:"15",tab[15]:"16",tab[16]:"17",tab[17]:"18",tab[18]:"19",tab[19]:"20",tab[20]:"21",tab[21]:"22",tab[22]:"23",tab[23]:"24",tab[24]:"25",tab[25]:"26",tab[26]:"27",tab[27]:"28",tab[28]:"29",tab[29]:"30",tab[30]:"31",tab[31]:"32",tab[32]:"33",tab[33]:"34",tab[34]:"35",tab[35]:"36",tab[36]:"37",tab[37]:"38",tab[38]:"39",tab[39]:"40",tab[40]:"41",tab[41]:"42",tab[42]:"43",tab[43]:"44",tab[44]:"45",tab[45]:"46",tab[46]:"47",tab[47]:"48",tab[48]:"49",tab[49]:"50",tab[50]:"51",tab[51]:"52",tab[52]:"53")
111 plot(tab[1] , "2", tab[5] , "6", tab[41] , "42", tab[45] , "46", tab[52] , "53")
112 clearFileContent ();
113 addToFile (tab);
114 for (var ind = 0; ind < 128; ind++)
115 {
116   addToFile (tab[ind]);
117 }
118 saveFileContent ("FLL1.txt")
119
```

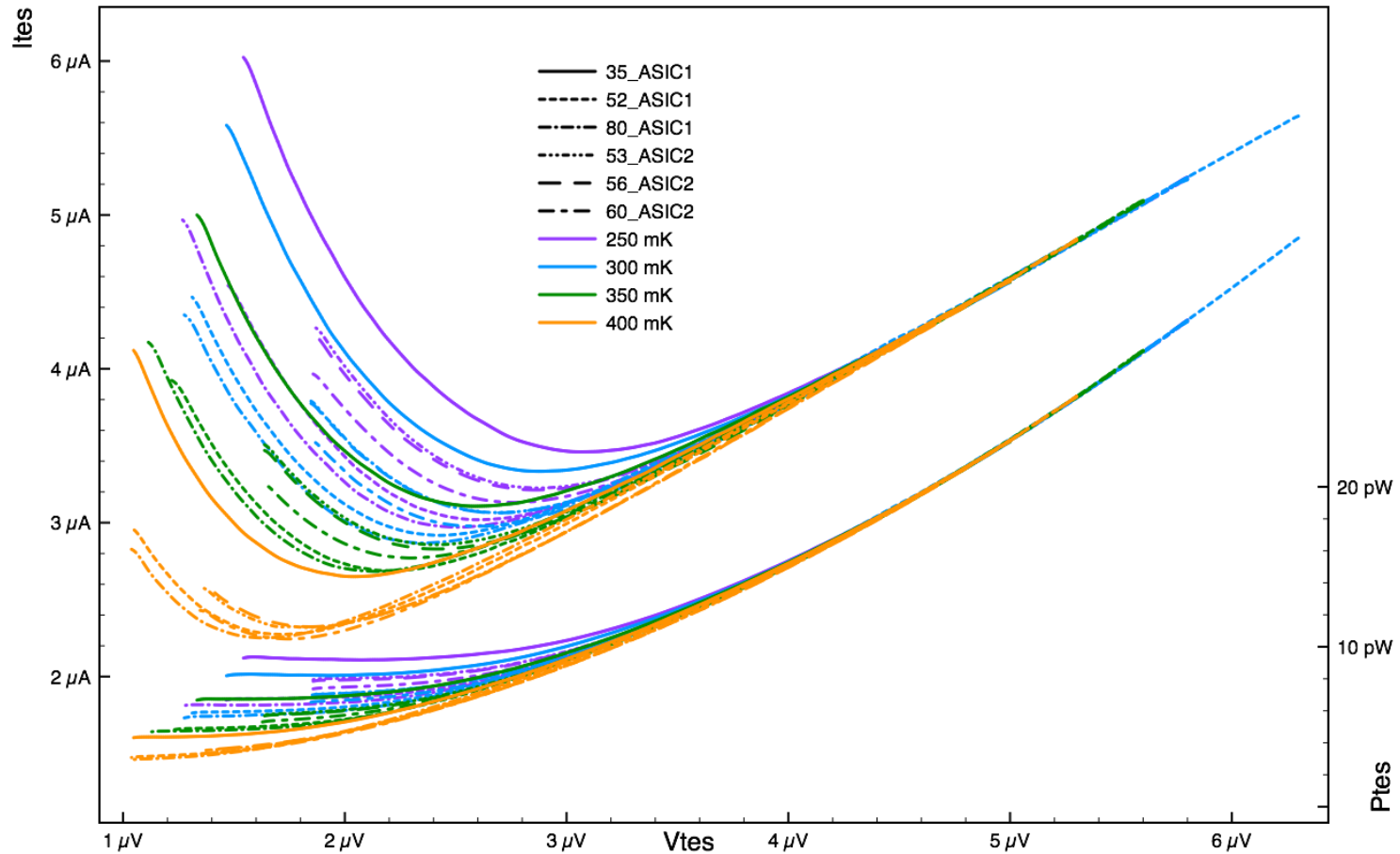
Rechercher:

Console print: Gestionnaire des sorties fichier Console

```
=====>Pixel 122 mean = -0.01964973344951868 V
=====>Pixel 123 mean = -0.05409378930926323 V
=====>Pixel 124 mean = -0.130071260035038 V
=====>Pixel 125 mean = -0.08242545276880264 V
=====>Pixel 126 mean = -0.016506805550307035 V
=====>Pixel 127 mean = -0.058033714070916176 V
Durée = 193 89 s
```



Mesures I(V)/P(V)



- Détermination de V_{BIAS} : en ETF la sensibilité des TES = $1/V_{BIAS}$



Plan

- L'instrument QUBIC
- Chaîne de détection
- Intégration d'un quart de plan focal
- Validation fonctionnelle
- Bilan



Bilan

- Intégration d'un quart de plan focal QUBIC:
 - Stabilisation des processus et identification des partenaires industriels
 - Validation de la chaîne de détection et de l'architecture thermomécanique associée
- Moyens et savoir faire APC:
 - Infrastructure cryogénique et moyens de tests disponibles à l'APC
 - Design architecture thermomécanique
 - Multiplexage temporel à SQUID avec ASIC cryogénique pour lecture de matrices de TES avec un taux effectif de 1:128 sans précédent