

Réseau des Centrales Technologiques  
F. Pajot - Institut d'Astrophysique Spatiale  
21/12/2004

# Développement de Matrices de Bolomètres pour l'Astronomie

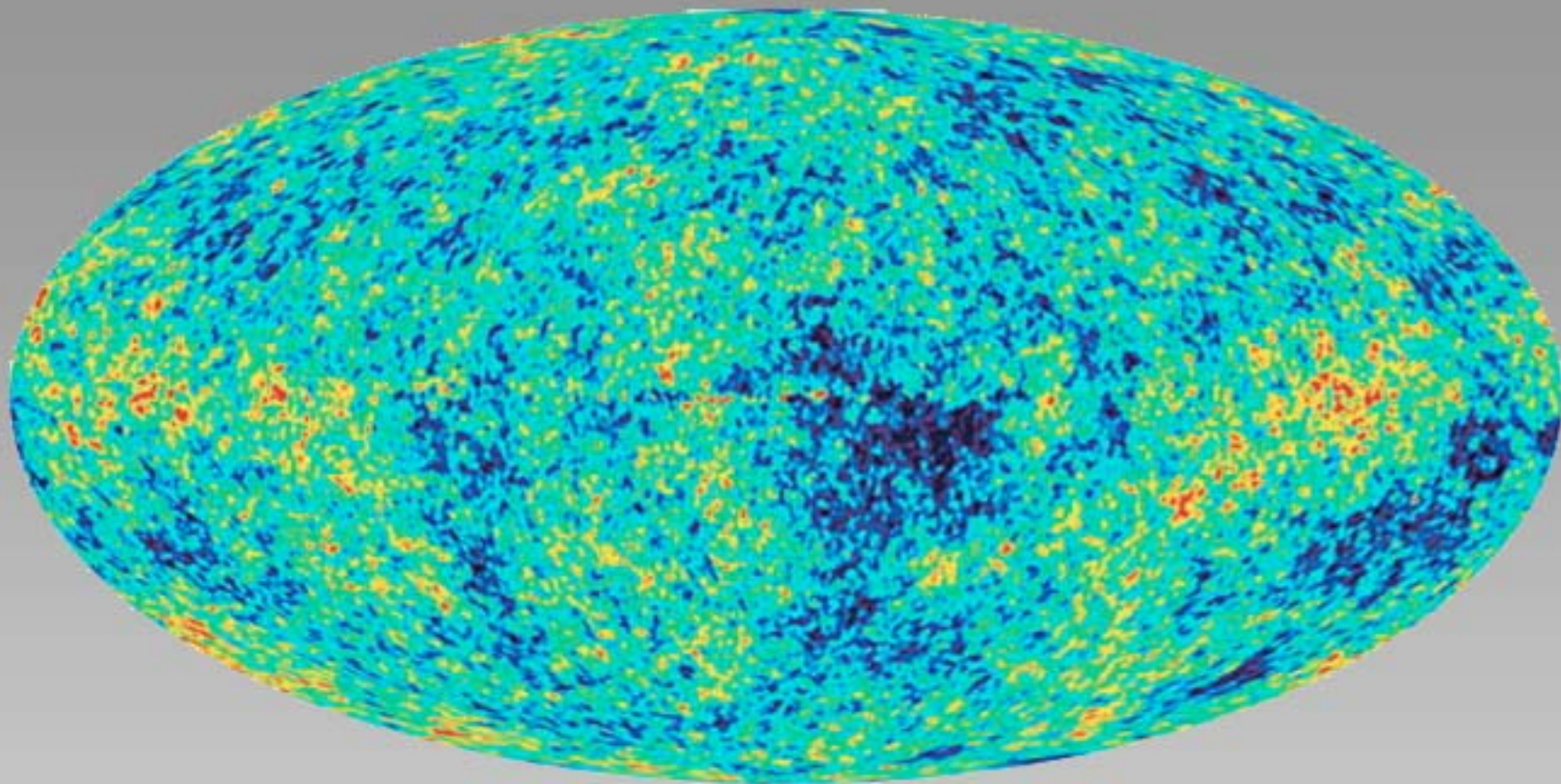
Hubble Space Telescope

## Un peu de cosmologie...

- Un bon qualitatif ces dix dernières années en déterminant les «paramètres cosmologiques» de base
- Trois quart de siècle après que cette question ait été posée par Einstein et les précurseurs de la cosmologie scientifique dans les années 20 et 30 du vingtième siècle.
- Le modèle dit de concordance définit les propriétés
  - géométriques (partie spatiale, très proche du cas Euclidien) et cinématiques de l'univers,
  - les proportions des composants essentiels qui pilotent sa dynamique : (1) rayonnement, (2) matière baryonique, (3) matière noire froide (particules massives faiblement couplée à la matière), (4) composante à pression négative contribuant négativement à l'énergie (« énergie noire »).

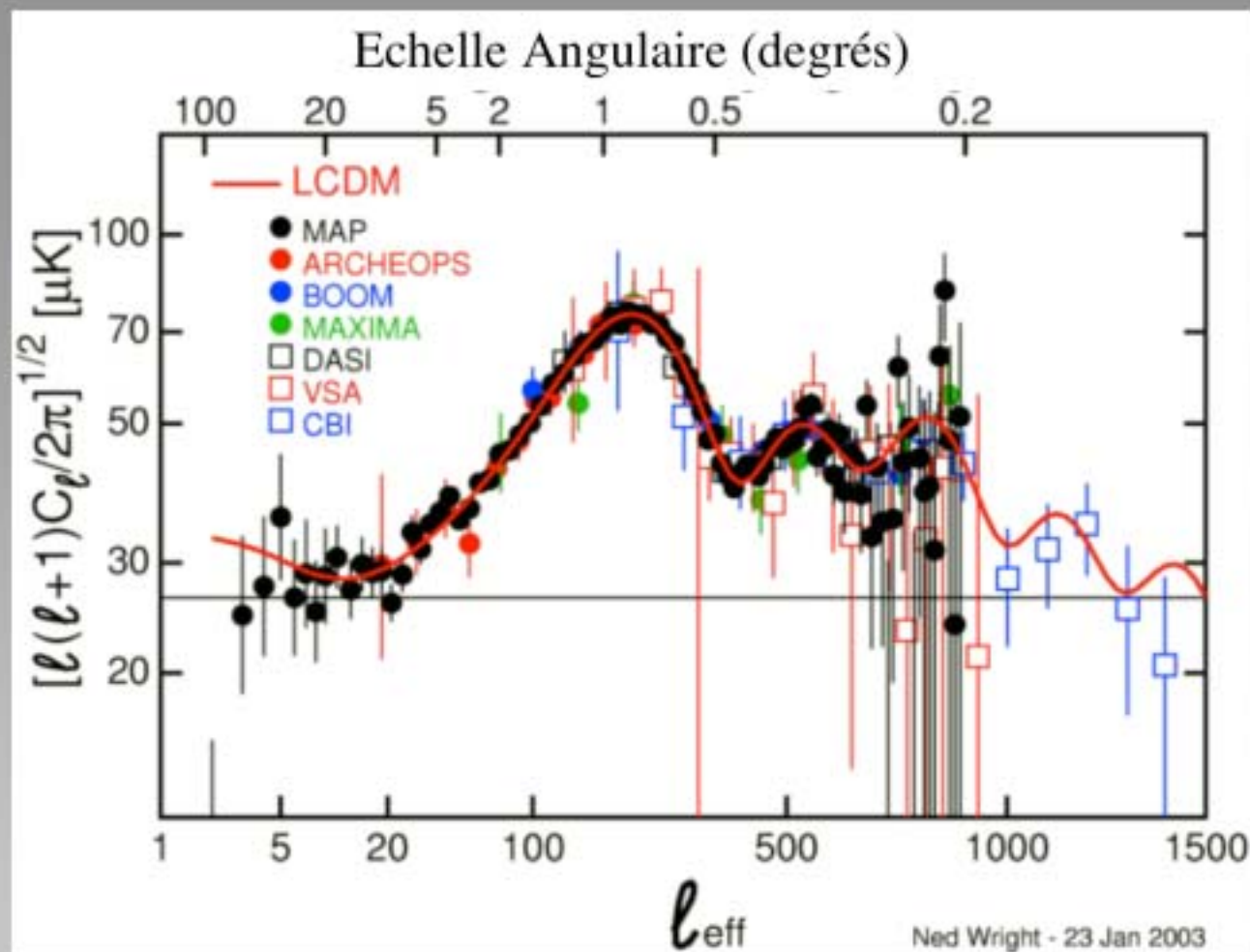


## Objectifs scientifiques : Fond Cosmologique Micro-onde



- Mesure des anisotropies du fond cosmologique : WMAP (ici), Archeops,...

## Objectifs scientifiques : Fond Cosmologique Micro-onde



- Spectre de puissance des anisotropies du fond cosmologique :  
détermination des paramètres cosmologiques

## Objectifs scientifiques : Fond Cosmologique Micro-onde

- La physique qui lie les fluctuations émergeant de l'univers primordial à celles qui sont mesurées à la recombinaison du plasma cosmique est bien comprise
- Mais quelle est la nature et/ou la physique nouvelle permettant d'expliquer la matière noire et l'énergie noire ?
- Les ondes gravitationnelles primordiales induisent une polarisation du fond cosmologique de parité négative à un niveau faible mais mesurable dans certains modèles
- L'observation de la **polarisation** du fond cosmologique micro-onde permet de tester les modèles



## Objectifs scientifiques : les avant plans

Le Fond Cosmologique Micro-onde est vu derrière un ensemble de sources Astrophysiques :

- Les nuages interstellaires de notre galaxie, des galaxies et amas de galaxies
  - température des poussières dans le domaine 10-30K
  - émission thermique dans le domaine 100 $\mu$ m - 1mm
  - rayonnement synchrotron et free-free, domaine radio et millimétrique
- Des "couleurs" différentes du Fond Cosmologique Micro-onde
  - connaissance des composantes
  - séparation des composantes

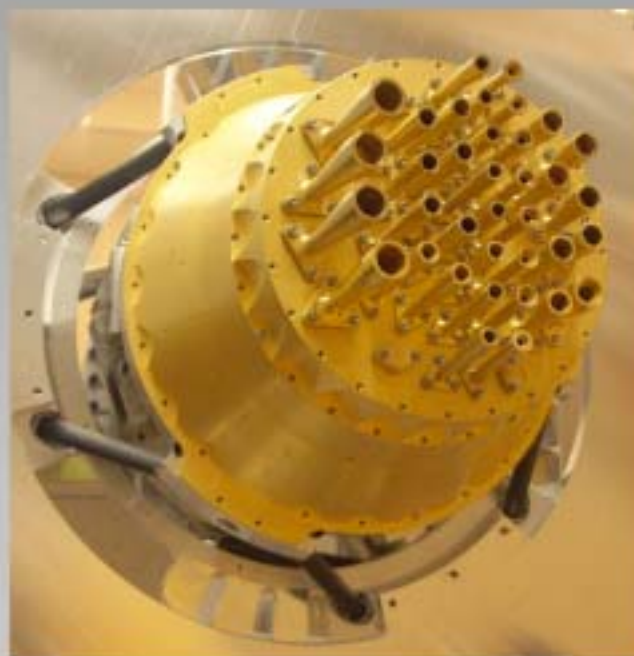
## Les grandes missions spatiales

- COBE (1990), WMAP (NASA, 2002), Archeops (CNES, ballon, 2002)
- Planck (ESA, 2007)
  - sensibilité limitée par le bruit de photon - fluctuations d'intensité intrinsèque au rayonnement électromagnétique
  - multi longueurs d'onde
  - mesure finale pour les fluctuations d'intensité : sensibilité à 1% des fluctuations du FCM
  - première détection des fluctuations polarisées



## Le Satellite Planck

- Instrument principal HFI/Planck sous maîtrise d'œuvre Institut d'Astrophysique Spatiale
- Lancement Ariane 5 depuis Kourou en 2007
- HFI/Planck composé de 52 détecteurs individuels, **limite de réalisation**



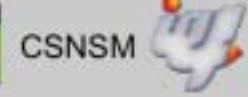
# La détection de la polarisation du FCM

- Objectif : gagner un facteur 30 sur la sensibilité en rayonnement polarisé
- Programmé par les grandes agences (2012-2015)
  - NASA "Einstein Probes"
  - ESA "Cosmic Vision"
  - CNES "Sampan"
- Développer notre savoir-faire dans des domaines clés de ces missions
- Préparer la réponse aux appels d'offre pour ces missions



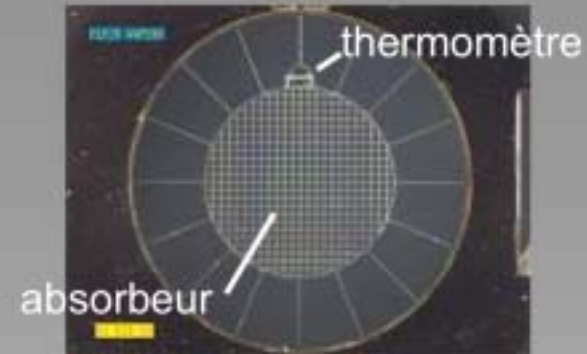
# Les matrices de détecteurs

- Actuellement la mesure est limitée par le bruit de photon pour l'étendue de faisceau minimale (diffraction)
- Besoin pour la mesure de la polarisation d'un gain en sensibilité d'un à deux ordres de grandeur
- Seule solution, augmenter le nombre de mesures simultanées, donc multiplier le nombre de détecteurs (1000 pixels)
  - réalisation par processus collectif
  - détection de la polarisation optique du rayonnement

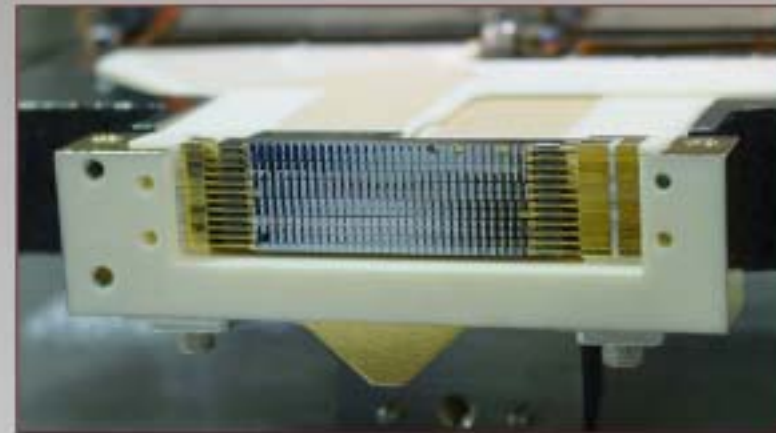
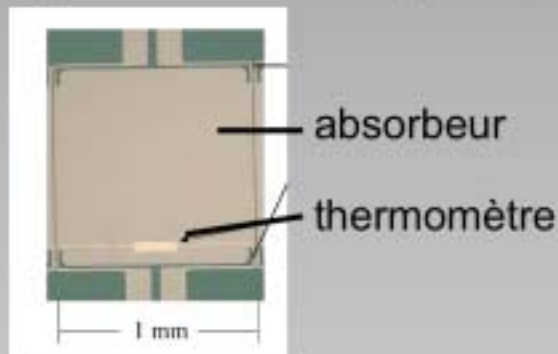


## Apperçu du contexte international

- Détecteurs individuels type Planck/HFI



- Matrices NASA-Goddard : non polarisées, R et D en cours  
Matrices polarisées de bolomètres à thermomètre supraconducteur (TES)



- NASA/JPL - Cardiff University : développement d'une matrice pour instrument sol SCUBA-2, non polarisée, TES

## Contexte international et national

- Forte dynamique internationale pour développement de matrices polarisées pour instruments sol et ballon et espace
- En France, programme "DCMB - Développement Concerté de Matrices de Bolomètres", soutenu par le CNES, l'INSU, l'IN2P3 et le programme CNRS "Astroparticules"
  - deux axes principaux : thermomètres résistifs (CRTBT - Grenoble, CSNSM) et thermomètres supraconducteurs (IAS - Orsay, CSNSM, MINERVE)
  - une architecture commune (MINERVE)
- Développement pour l'instrument PACS de Herschel (CEA - Service d'Astrophysique, LETI)
  - technologie limitée en bruit de détecteur (utilisation à fort *background*)



# Les bolomètres supraconducteurs

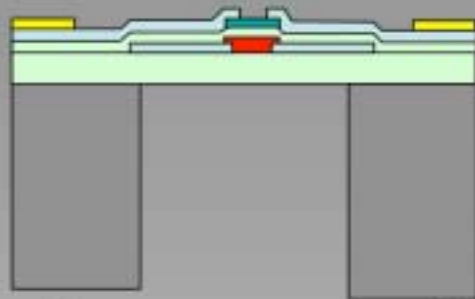
- Utiliser la zone de transition normal-supra pour obtenir un thermomètre très sensible
  - Mo Au, Nb Si
  - $T_c$  comprise entre 100 et 500mK,  $R <$  quelques 0.1Ohms
- Architecture thermique
  - membranes de  $\text{SiN}_x$
  - 200 puis 1000 pixels
- Couplage avec le rayonnement
  - absorbeur résistif : besoin d'un polariseur en amont
  - par antennes : mesure directe de la polarisation
- Lecture par SQUID
  - détection adaptée aux systèmes très peu impédants
  - multiplexage, faible bruit
  - ... mais unique fabricant (NIST, USA)

# Projet exogène centrale technologique MINERVE

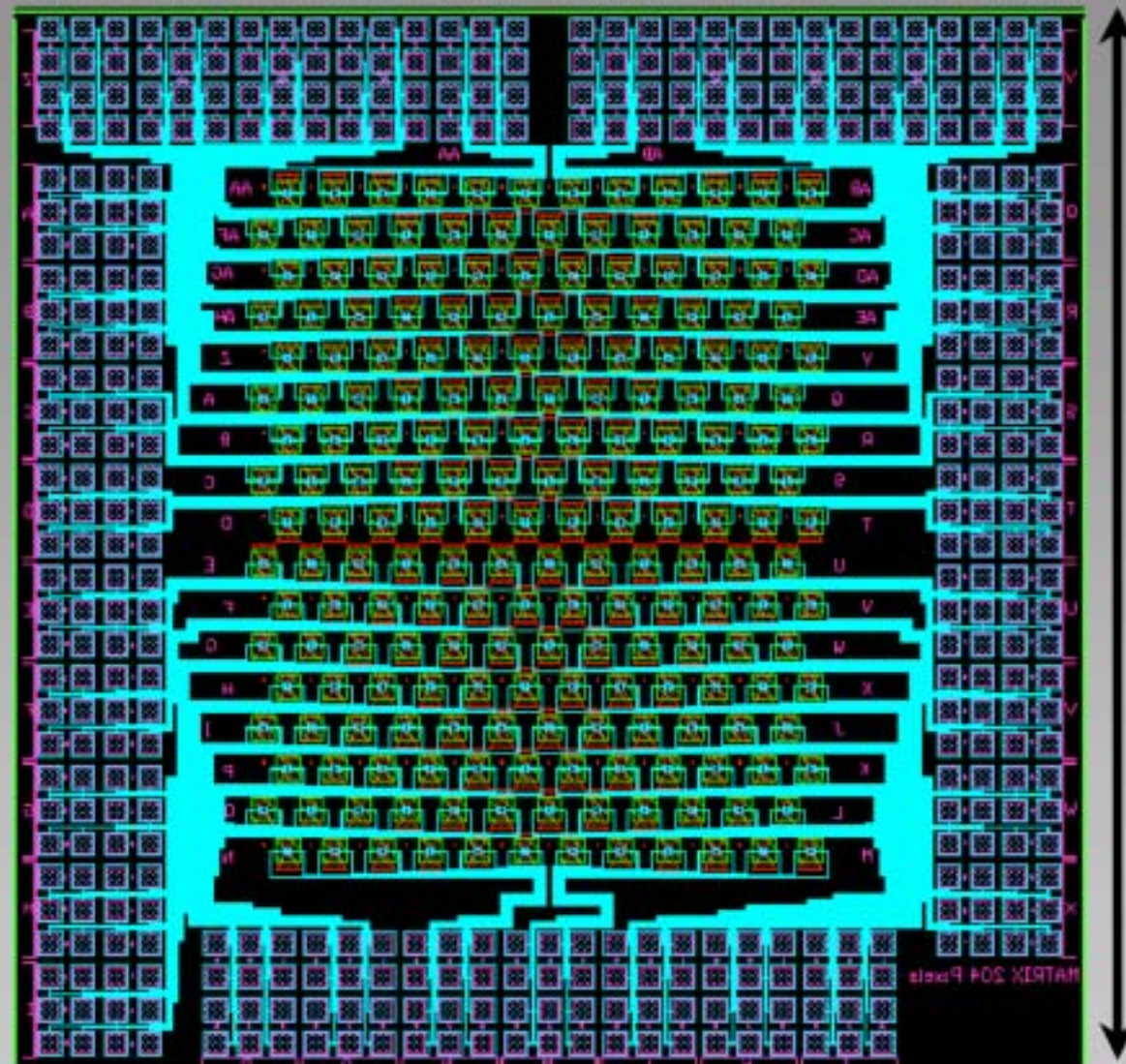
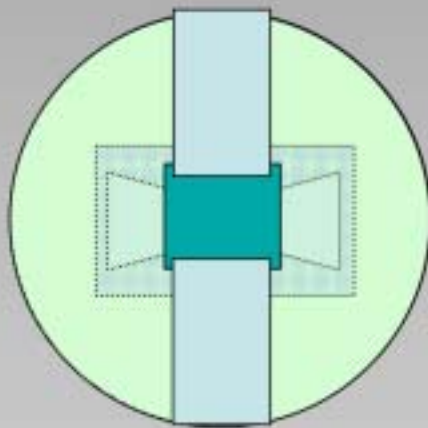
- IAS : cahier des charges, tests, application spatiale
  - CSNSM : supraconducteurs
  - Procédé de micro-technologie : centrale MINERVE
- 
- Projet jeune
  - Campus Universitaire d'Orsay : proximité géographique permettant des interactions rapides



# Architecture 204 pixels



~ 1 mm



45 mm

Dessin pour 6 niveaux de masquage matrice 204 pixels suspendus sur membrane SiNx

## Etapes et moyens de réalisation

- Film  $\text{SiN}_x$  par PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition), mesure état de contraintes
- Dépôts antennes Nb / couches thermométriques par évaporateur CSNSM

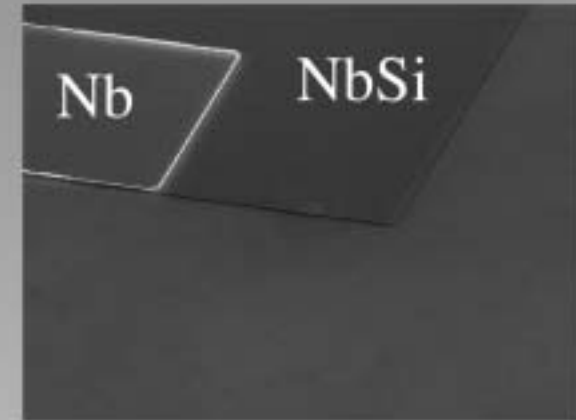
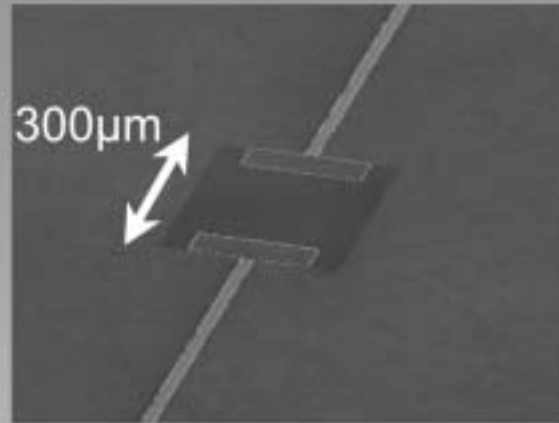


## Etapes et moyens de réalisation

- Photolithographie, aligneur de masques et insolation résines photosensibles
- Evaporation contacts
- Gravure RIE (Reactive Ion Etching)



## Travaux en cours IEF / CSNSM



Photolithographie et essais de lift-off du NbSi et Nb en utilisant les niveaux thermomètres et pistes du jeu de masques 204 pixel

## Tests, caractérisation, calendrier

- Moyens de test IAS : 100mK, 300mK, optique submillimétrique
- Lecture par SQUID : projet à l'étude, en association avec l'APC/Université de Tolbiac (actuellement Collège de France)
- Couplage rayonnement : modélisation numérique par LISIF/LERMA, LPSC
- 2004-2005 : pixel individuel supra / lecture par SQUID
- 2004-2005 : architecture matrice 200 pixels, thermomètres résistifs / lecture HEMT (LPN), application télescope au sol (CRTBT)
- 2006-2007 : matrice supra, démonstration en laboratoire, 200 pixels, lus par SQUID
- 2007-2008 : application possible en ballon (programme PILOT)
- 2007-2008 : architecture 1000 pixels - passage réalisation proto vers industrie



