

**Rayons X, Infra-rouge et
micro-onde en Astrophysique**

J. M. LAMARRE

DRTBT 1991-19

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

PHILOSOPHY

175 Groupe Physique des Galaxies - Programme de Recherche
1

Détection de rayonnement à très basses températures

1ère école d'Automne Aussois 91

**Le Rayonnement Infrarouge et
Submillimétrique en Astrophysique**

J.M. Lamarre
Institut d'Astrophysique spatiale

I. Le domaine submillimétrique : intérêt et spécificité

Un des derniers créneaux vierges de l'astronomie spatiale

Entre les domaines Radio et Infrarouge le submm se trouve à la jonction de deux univers technologiques

L'observation submillimétrique donne accès à :

- a) L'univers froid. (Emission d'un corps en fonction de sa température)
- b) L'univers (très) lointain dont l'émission est (très) décalée vers le rouge par effet Doppler.

a) L'UNIVERS FROID

Le milieu interstellaire, à partir duquel naissent les étoiles, est un maillon déterminant dans l'évolution des galaxies.

Du fait de sa très basse température d'équilibre (seulement quelques dizaines de degrés au-dessus du zéro absolu), il rayonne essentiellement dans le domaine submillimétrique.

Spectroscopie : identification de la composition chimique des nuages du milieu interstellaire. Molécules complexes.

Photométrie : accès à la phase solide et à la quantité totale de matière.

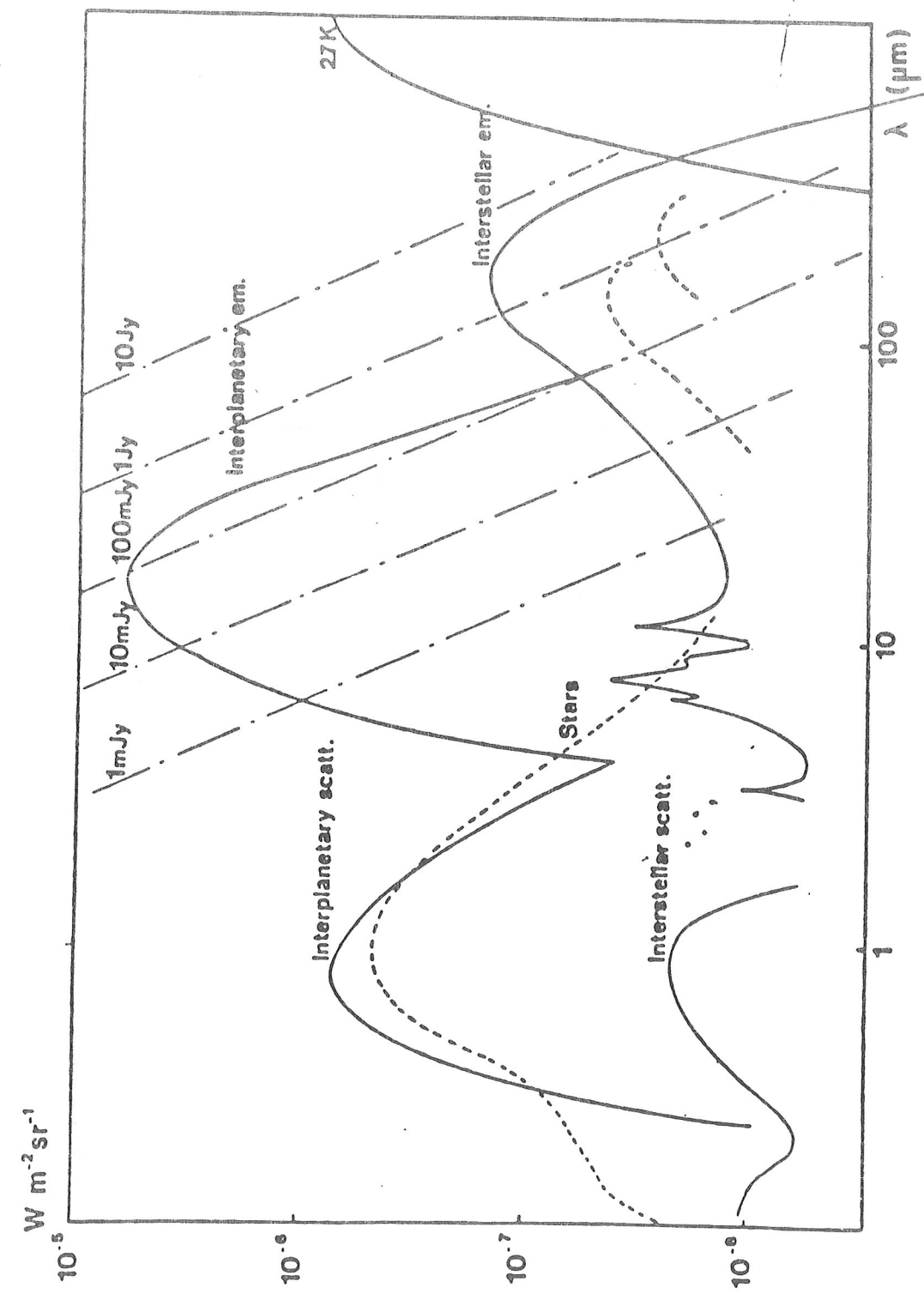
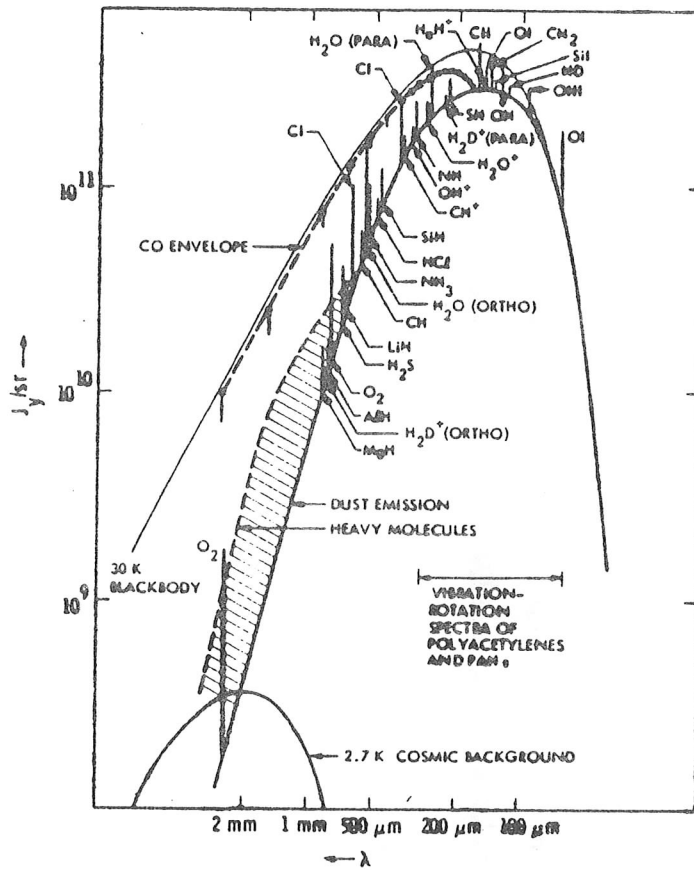


Figure 1

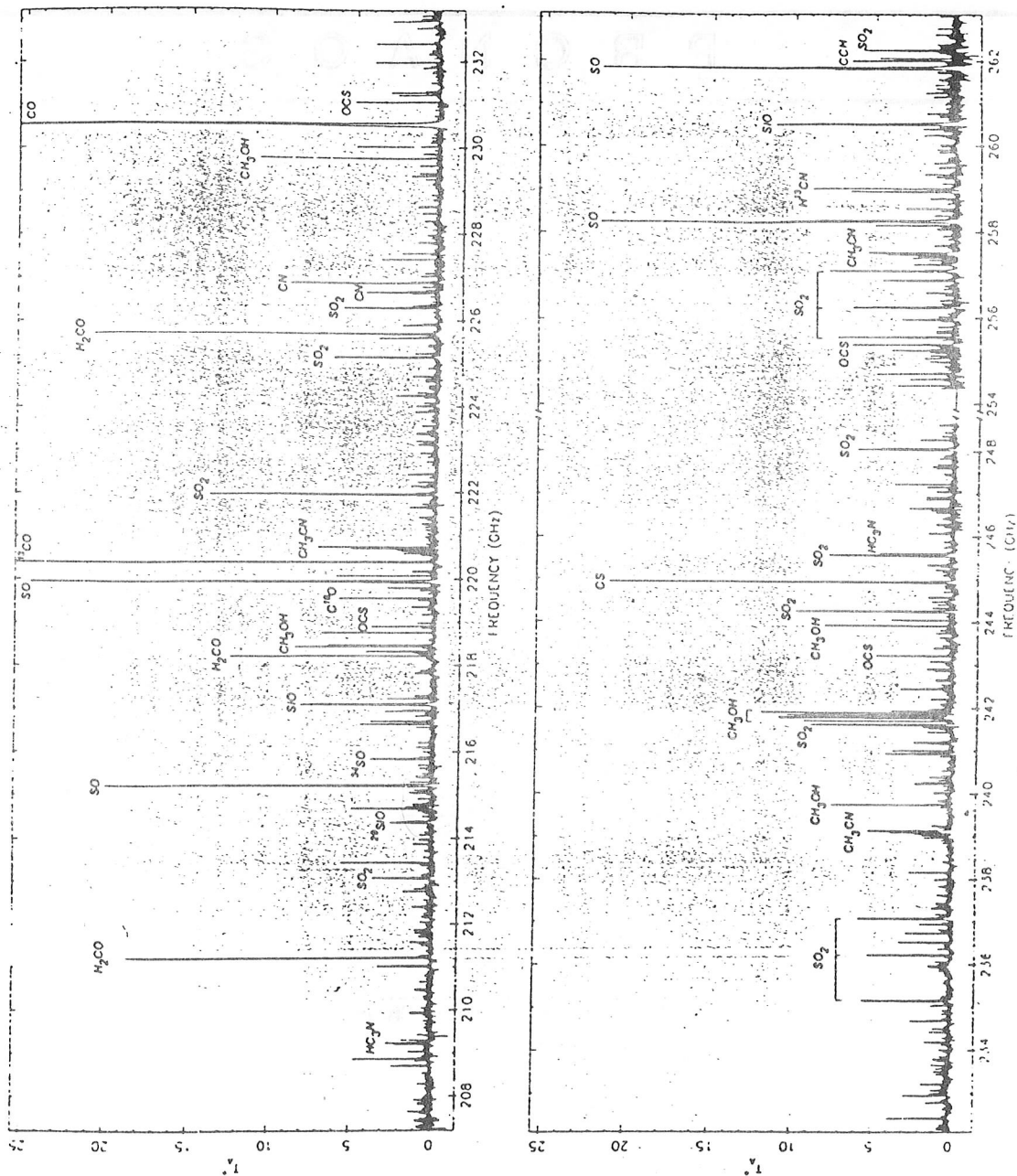
Various backgrounds at high galactic and ecliptic latitudes. The dot-dashed lines are loci of points of equal flux collected in one diffraction limited beam. The 2 dashed lines in the 60μ to 300μ region are prediction of the extragalactic background.

INTERSTELLAR MEDIUM



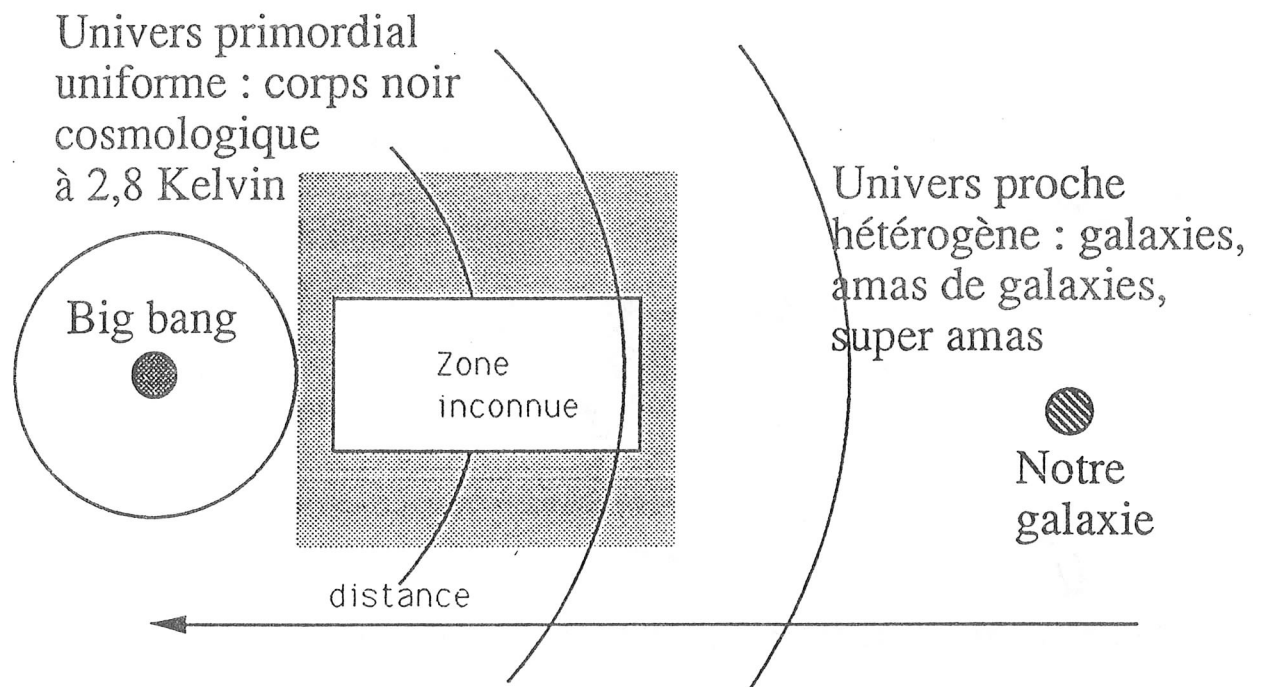
This anticipated emission profile of a typical interstellar cloud shows the great extent of the information expected from spectroscopic sub-mm observations. Only a few of the most fundamental of the host spectral features have been included.

Figure 22: Caltech spectral line survey of the Orion-KL star forming region near a frequency of 230 GHz. There are more than 800 spectral lines; only some of the strongest features have been identified in the Figure.



B) L'UNIVERS LOINTAIN

Du fait de l'expansion de l'univers, le rayonnement émis par les objets lointains est décalé vers les basses fréquences par effet Doppler.



Etude des galaxies très lointaines

Apparition des inhomogénéités de l'Univers

PRONAOS PHASE A SPM

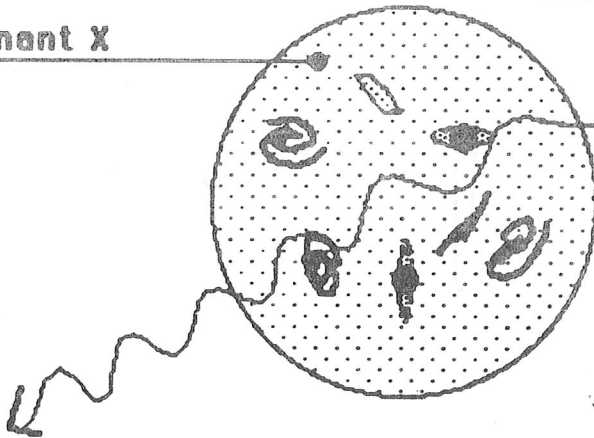
COSMOLOGIE : MESURE DE L'EFFET SUNYAEV-ZELDOVITCH

I- L'EFFET S-Z

Nuage d'électrons chauds

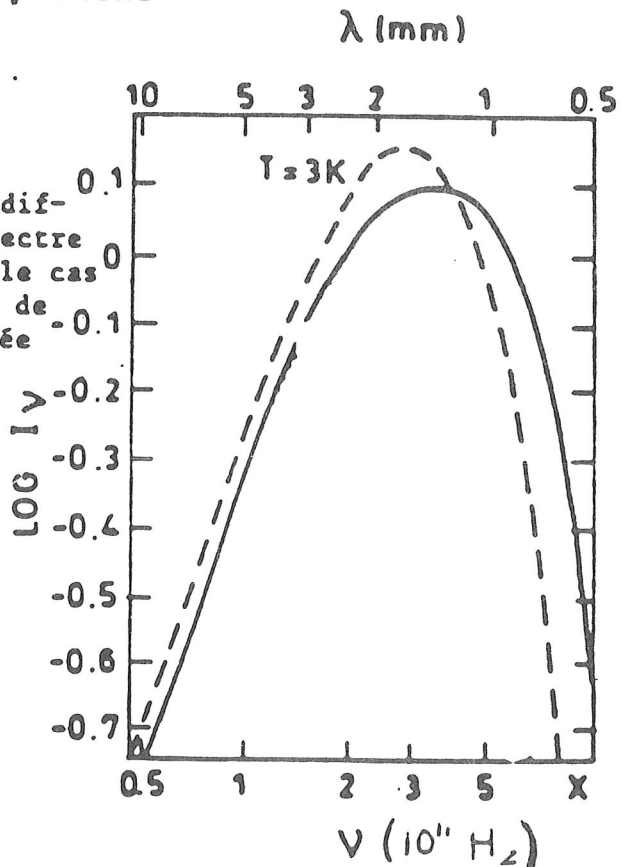
rayonnant X

Rayonnement du corps noir cosmologique (3K)



Rayonnement modifié par diffusion Compton : les électrons cèdent de leur énergie aux photons

Figure 4 : Effet de la diffusion Compton sur le spectre du fond micro-onde dans le cas d'une libération tardive de l'énergie. La ligne brisée correspond au spectre du corps noir initial, la ligne droite correspond au spectre qui résulte de la diffusion Compton



PRONAOS

PHASE A SPM

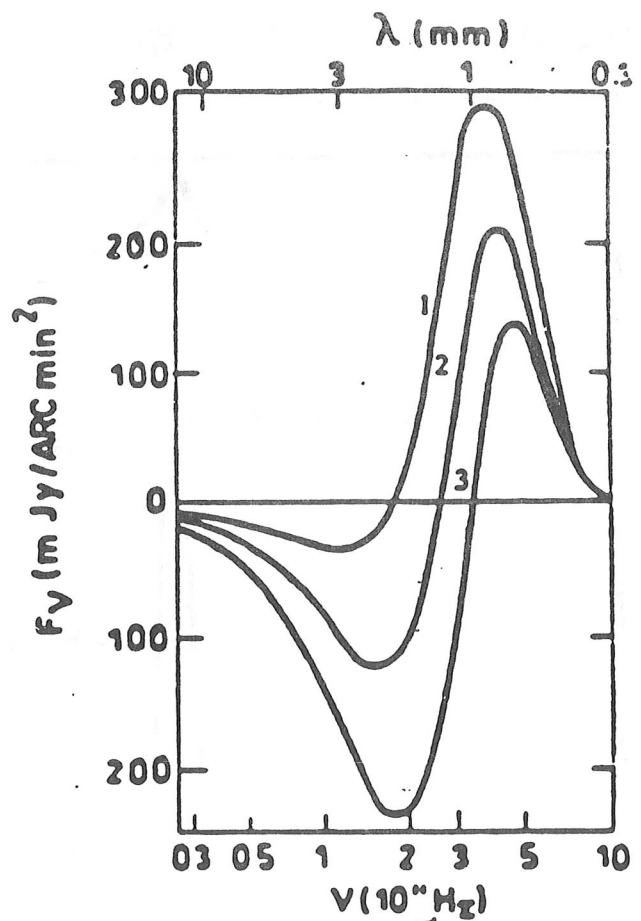
B) MESURE DU SPECTRE DU FOND DIFFUS COSMOLOGIQUE
 Effet S-Z = dérivée du spectre du C.N. cosmologique
 Effet différentiel^f angulaire, donc indépendant de l'émission
 du milieu interplanétaire et interstellaire (cirrus IR)

C) MESURE DES VITESSES DES AMAS DANS LE REFERENTIEL
 COSMOLOGIQUE

Figure 5 : Spectre du rayonnement
 micro-onde d'un amas de galaxies
 en fonction de sa vitesse :

1. $V = -3000$ km/s
2. $V = 0$
3. $V = 3000$ km/s.

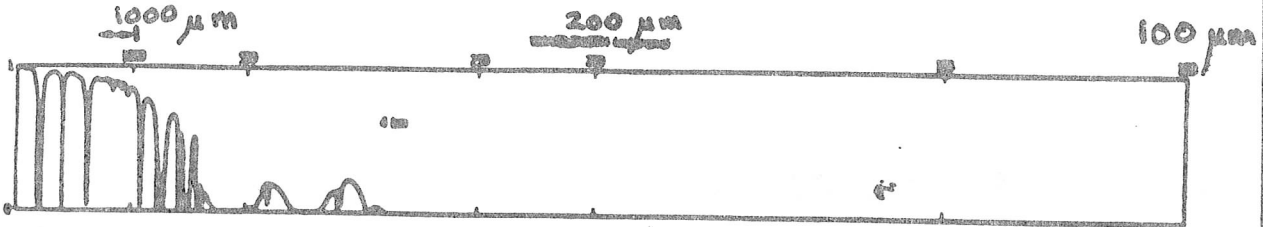
Les paramètres sont $kT_e = 5,1$ keV,
 $T_r = 3K.$, $\zeta = 0.1$



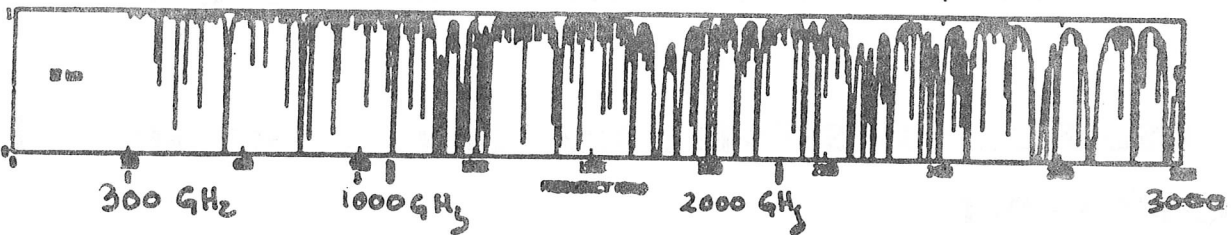
P R O N A O S

atmospheric transmission (after Buhl 1984)

ground : h = 4 km



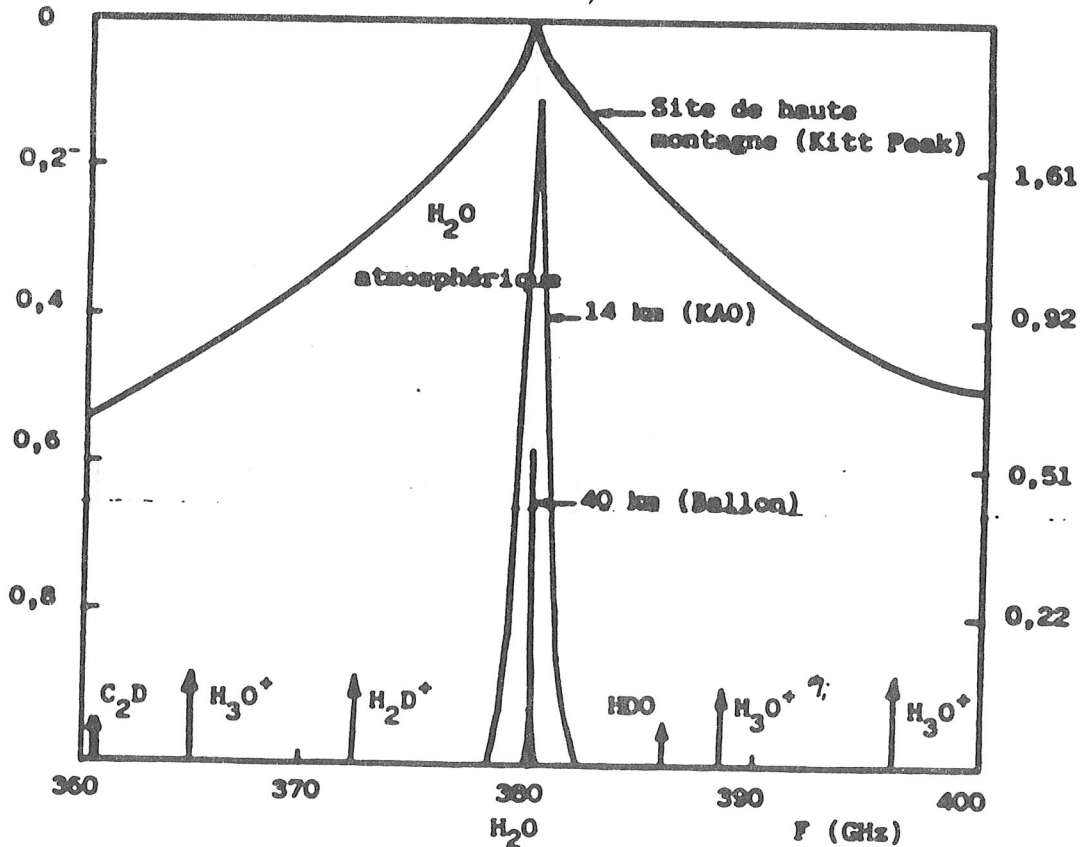
plane : h = 14 km



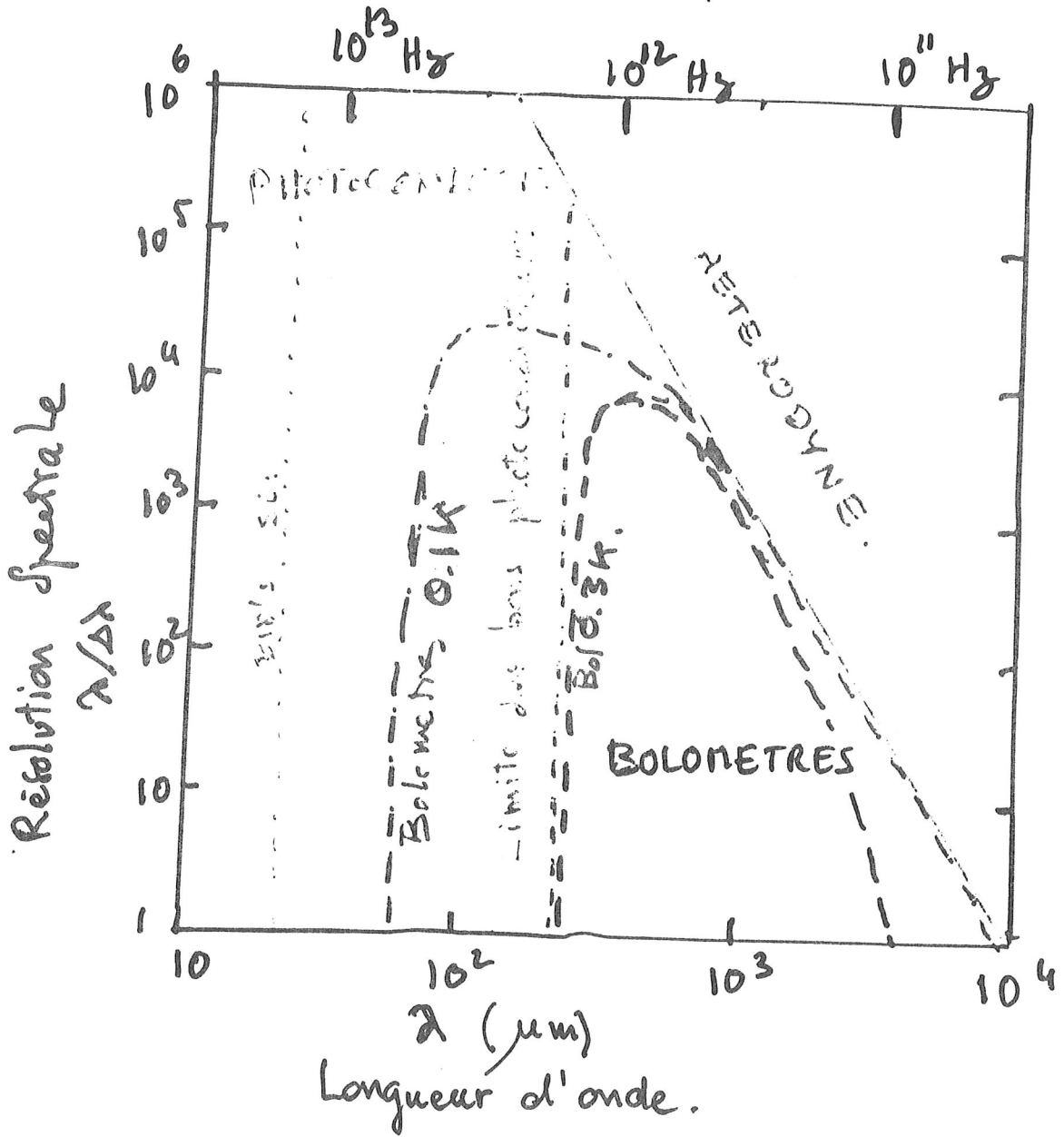
Balloon : h = 40 km

T (transmission $T = e^{-\tau}$)

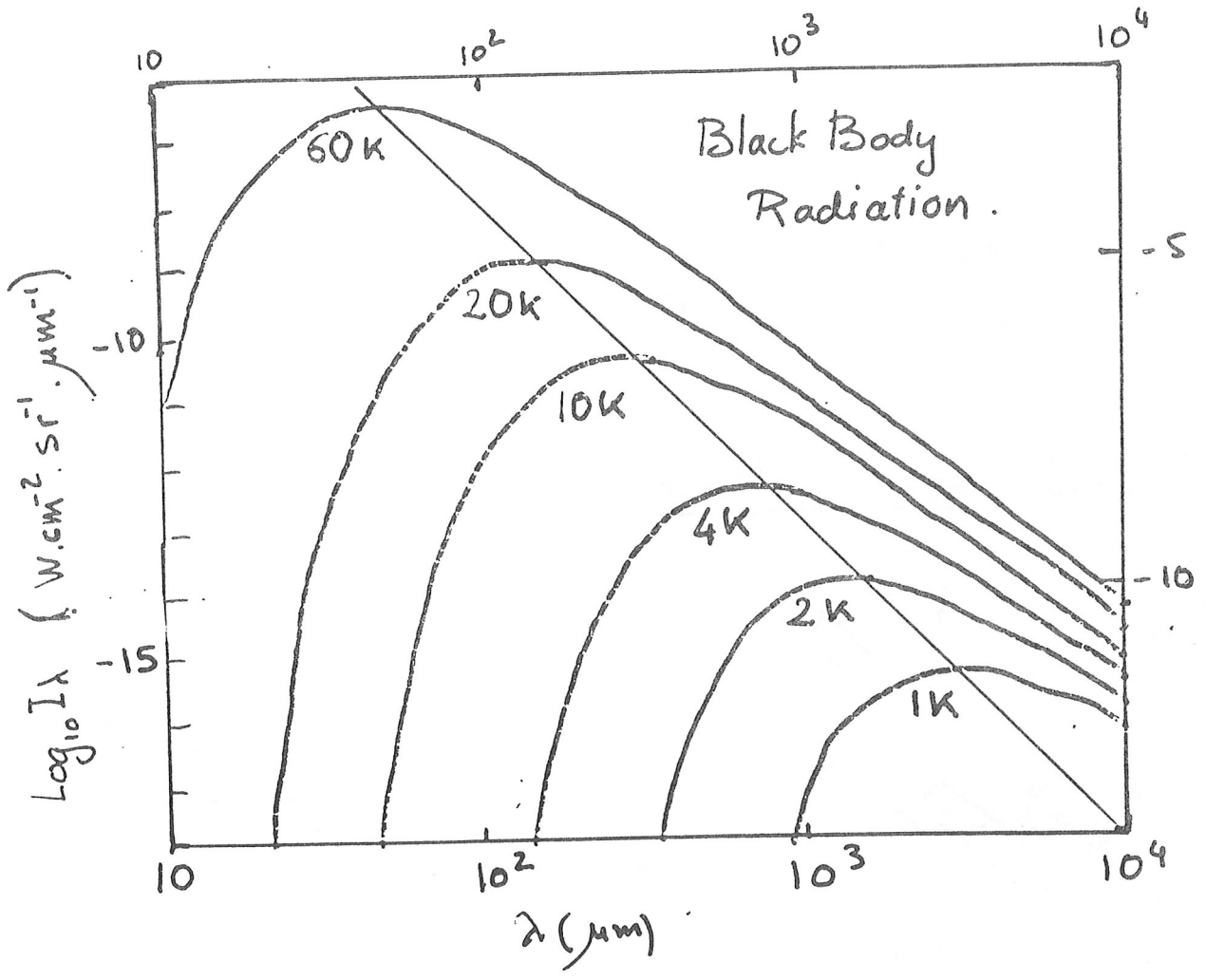
τ (épaisseur optique)



CHOIX du DETECTEUR le plus SENSIBLE.

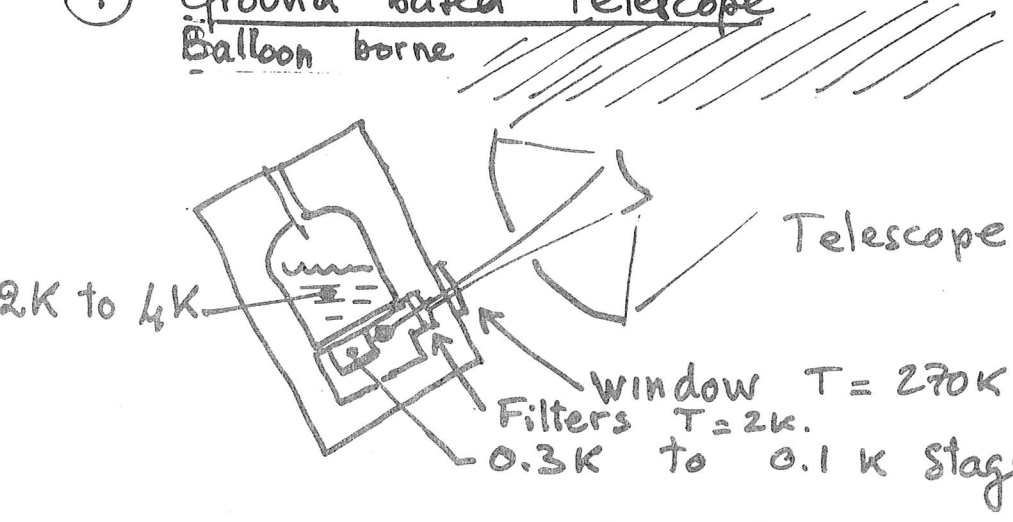


WHY TO COOL TELESCOPES ?



2. Think of the instrument as a source of radiation.

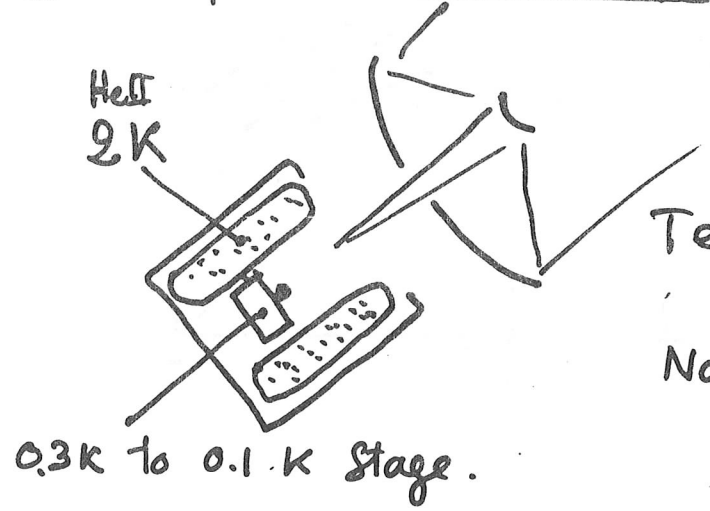
① Ground based Telescope
Balloon borne



atmosphere
 $T \approx 250K$
 $E = 0.1$ to 0.7 ($\times 1$)
 Telescope $T \approx 270K$
 $E \approx 0.05$

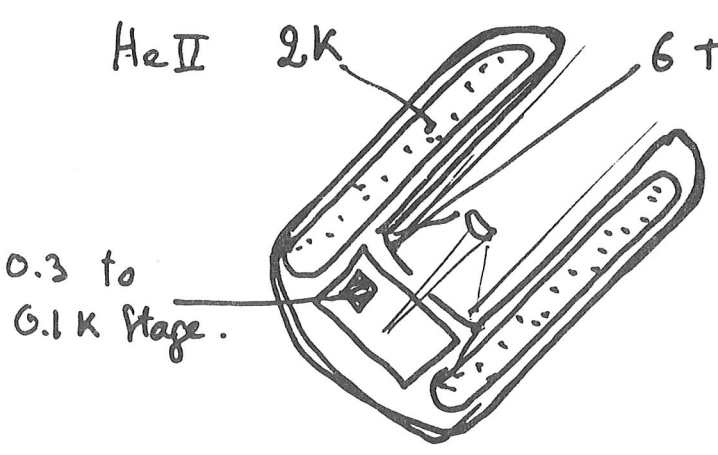
② Space warm telescope.

FIRST-SMM-LDR



Telescope $T = 100$ to $150K$
 $E = 0.05?$
 No window

③ Cold telescope in space



Diameter ≤ 1 m

Photon noise (using formula 24)

$\lambda \approx 1 \text{ mm}$ $S\Omega = 2 \text{ mm}^2 \text{ sr.}$

$NEP_{ph} (W. H_3^{-1/2})$

$\Delta\lambda/\lambda$		∞	0.1	10^{-4}
Balloon borne? (ground based) Tel.	$T = 250 \text{ K}$ $\epsilon = 0.2$	$9 \cdot 10^{-13}$	$4 \cdot 10^{-16}$	$1 \cdot 10^{-17}$
"Warm" Telescope in space	$T = 150 \text{ K}$ $\epsilon = 0.05$	$1 \cdot 10^{-13}$	$8 \cdot 10^{-17}$	$3 \cdot 10^{-18}$
Cryogenically Cooled Telescope	$T = 8 \text{ K}$ $\epsilon = 0.2$	$2 \cdot 10^{-16}$	$2 \cdot 10^{-17}$	$6 \cdot 10^{-19}$
Detector housing	$T = 2 \text{ K}$ $\epsilon = 1$	$1 \cdot 10^{-17}$	$3 \cdot 10^{-18}$	$8 \cdot 10^{-20}$

To be compared with the best $NEP_{det} \approx 10^{-17} W H_3^{-1/2}$
 $5 \cdot 10^{-16} W H_3^{1/2}$

- \Rightarrow Use of cold filters at $T \leq 2 \text{ K}$ to reduce $\Delta\lambda$.
- \Rightarrow Work to reduce emissivity of warm parts.
- \Rightarrow Warm telescopes seem better adapted for spectroscopy.

Cold telescopes \rightarrow wide band high sensitivity meas.

But we must take into account other

- parameters:
- Collecting power (Area)
 - Angular resolution

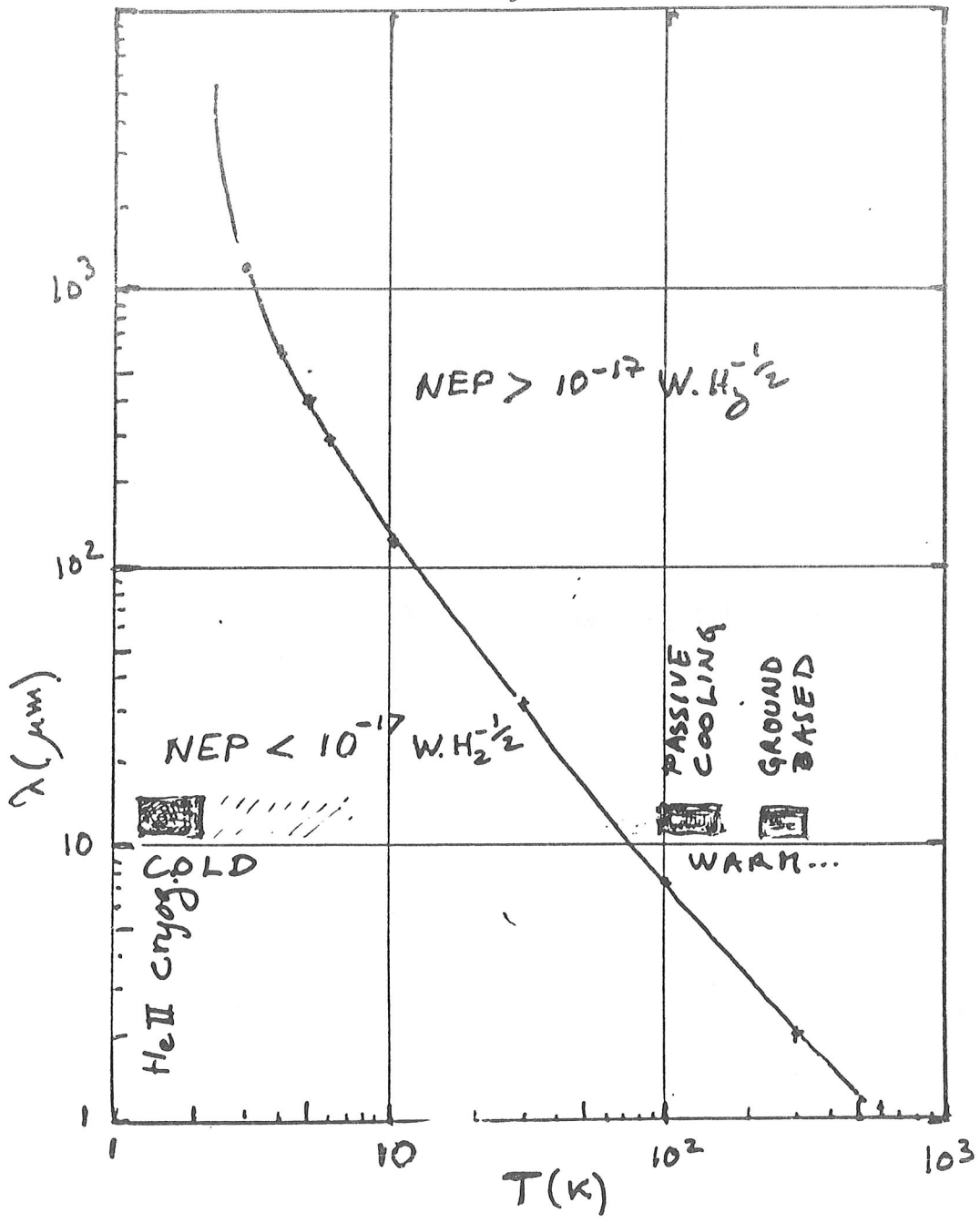
\Rightarrow confusion limit on other sources

LONG WAVE LIMIT SET BY PHOTON NOISE

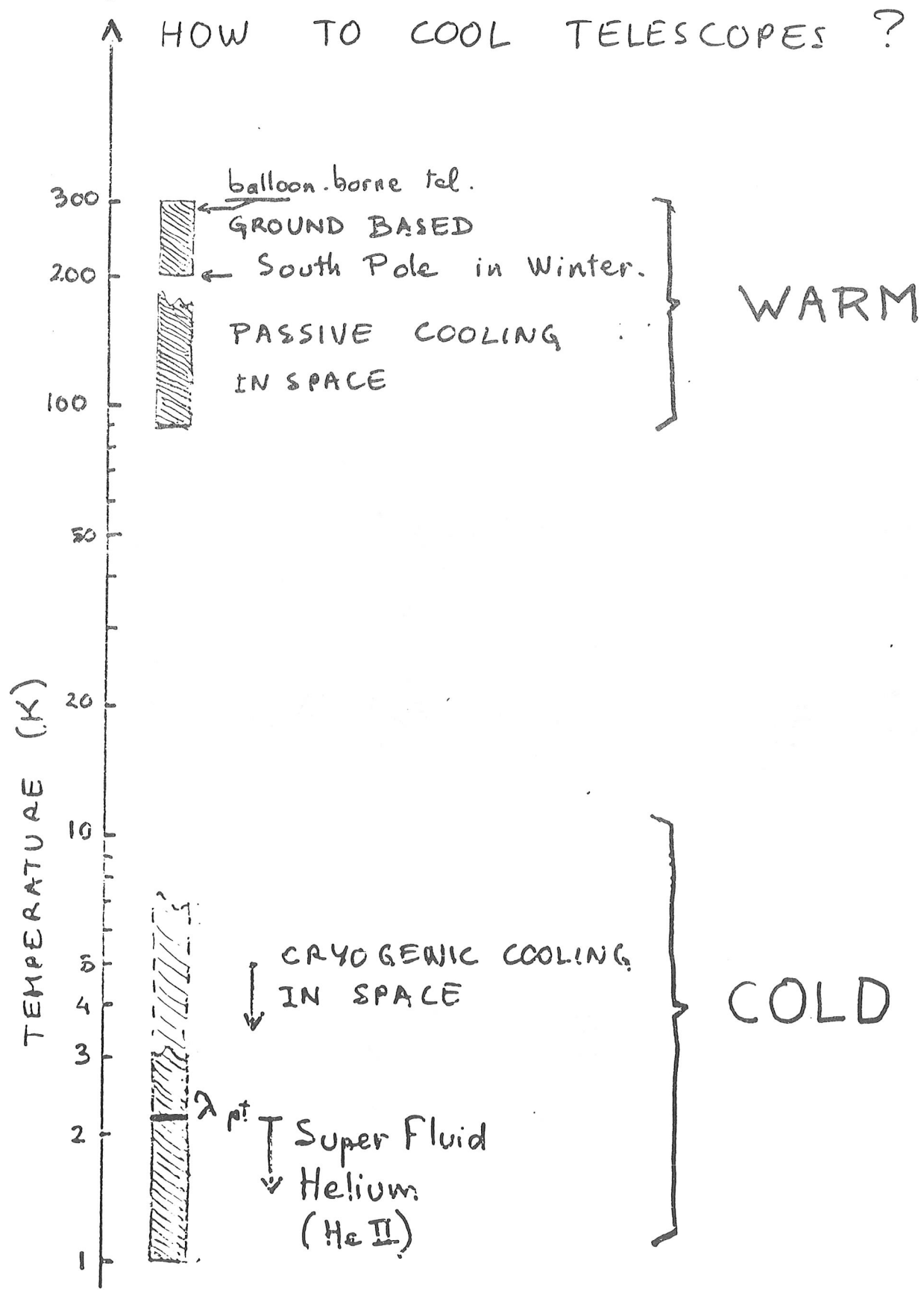
FOR OBSERVATION. WITH A $NEP_{\text{photon}} \leq 10^{-17} \text{ W.H}_z^{-1/2}$

$\epsilon = 0.3$

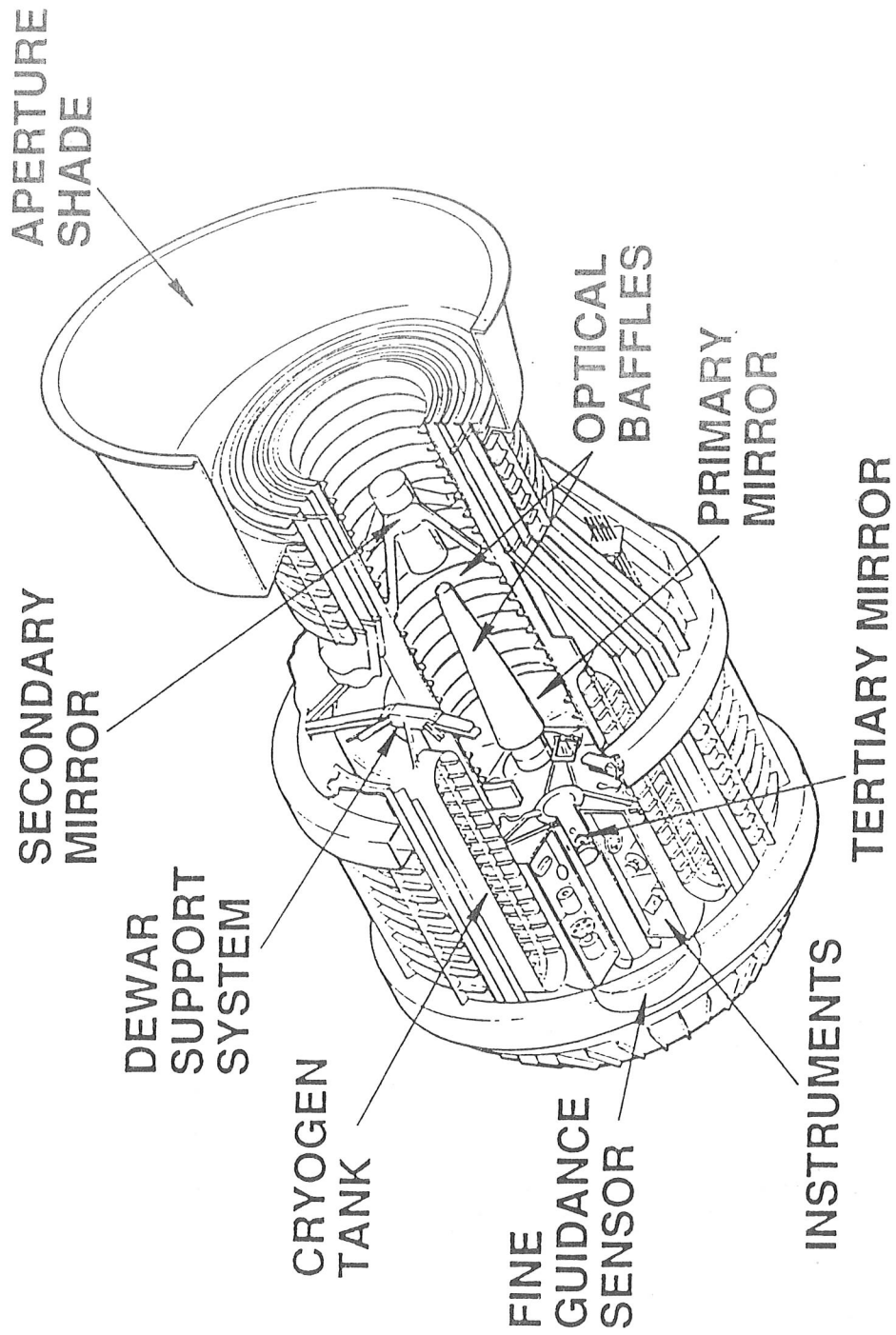
$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 0.2$ (photometry) $\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = 5$



HOW TO COOL TELESCOPES ?



SIRTF TELESCOPE OVERVIEW
SIRTF TELESCOPE



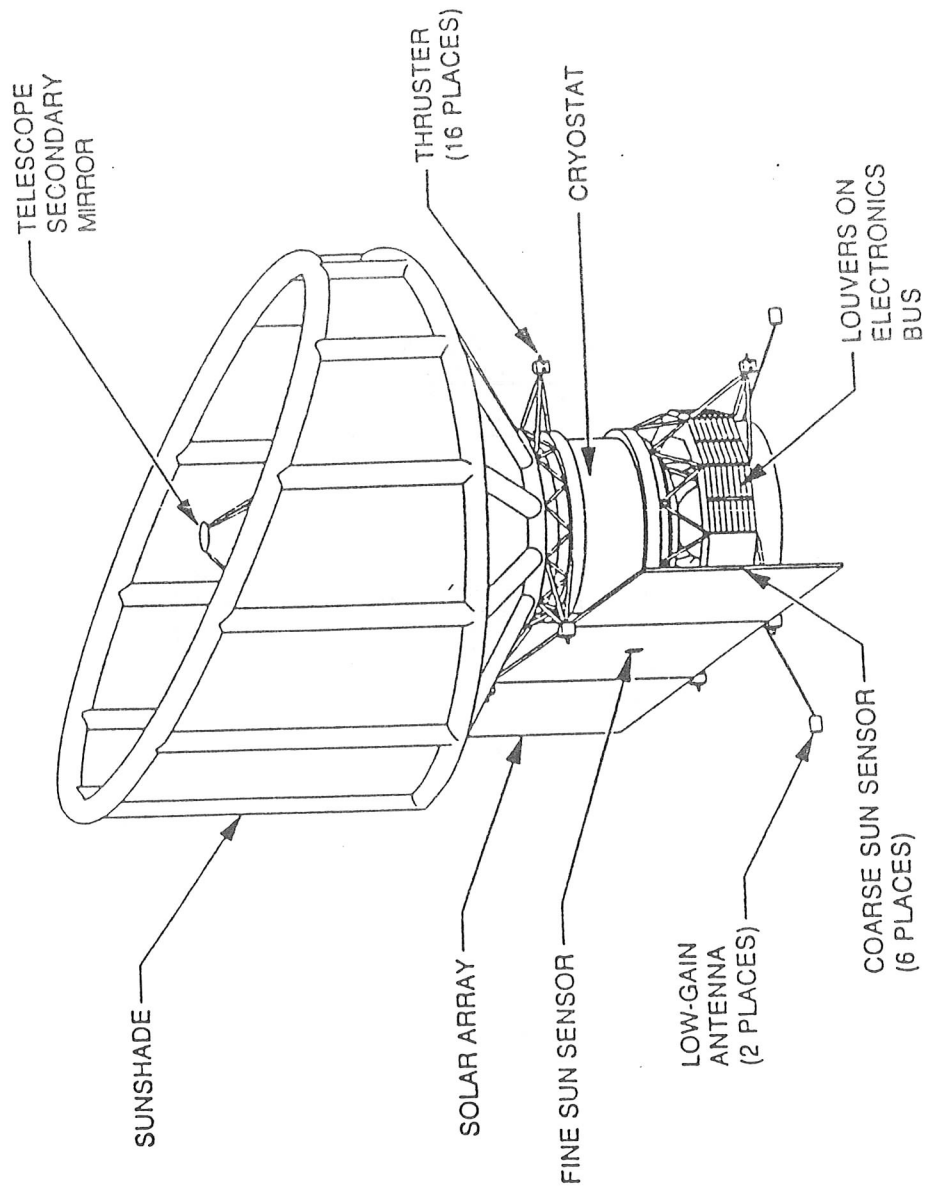


Figure 4. SMILS Spacecraft Flight Configuration

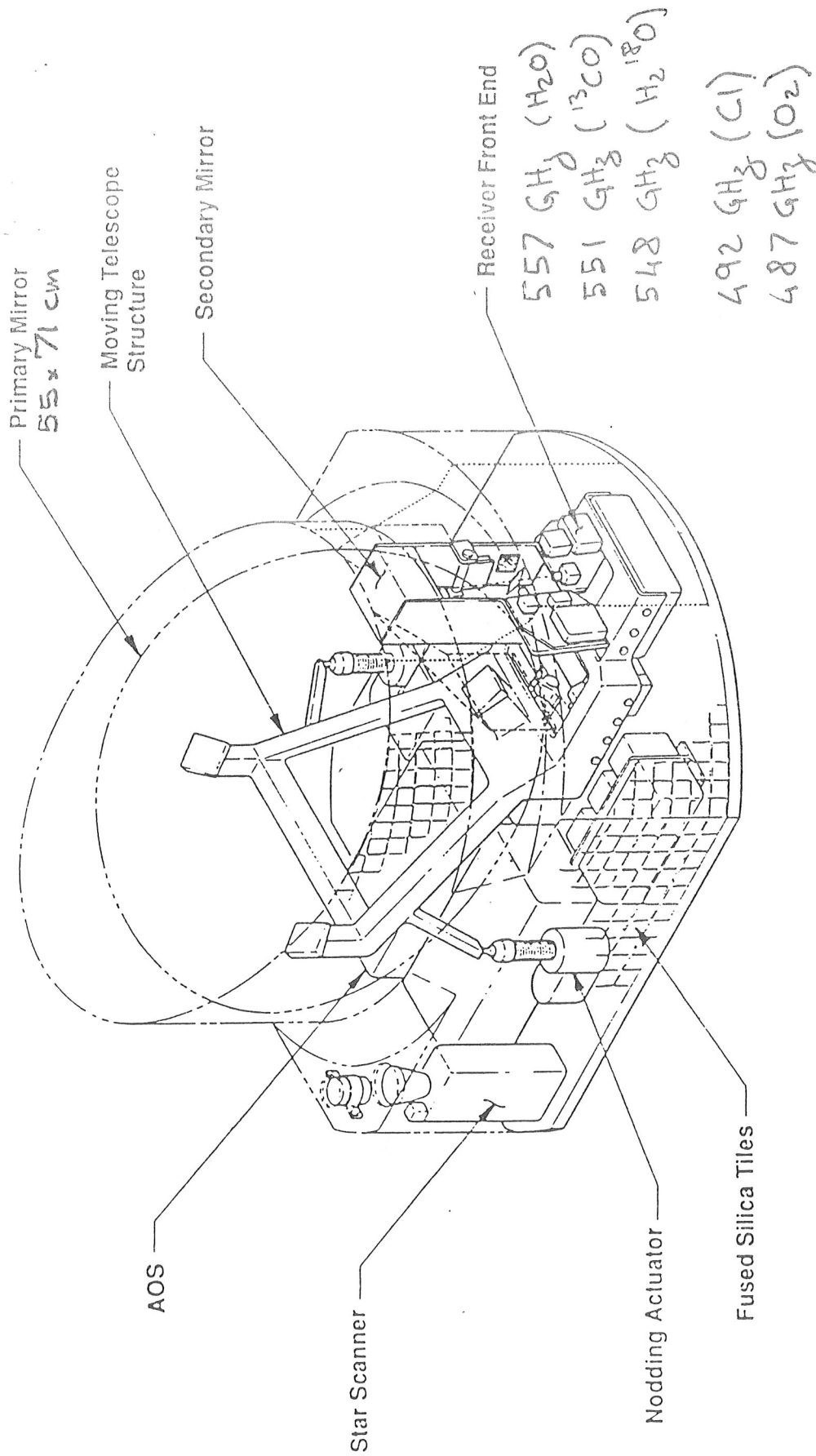


Figure 2. Cutaway view of the SWAS instrument. Shown are the moving telescope assembly, the interface baseplate assembly, and the thermal control housing. The moving telescope structure holds the primary mirror, secondary mirror, and receiver front end in precise alignment. The structure also carries the receiver cold plate radiators, which view cold space both directly and through reflection off the primary mirror. Two flexure-mounted linear actuators tilt the moving telescope assembly in the elevation and azimuth axes. The interface plate serves as a mounting for these actuators as well as the acousto-optical

FIRST

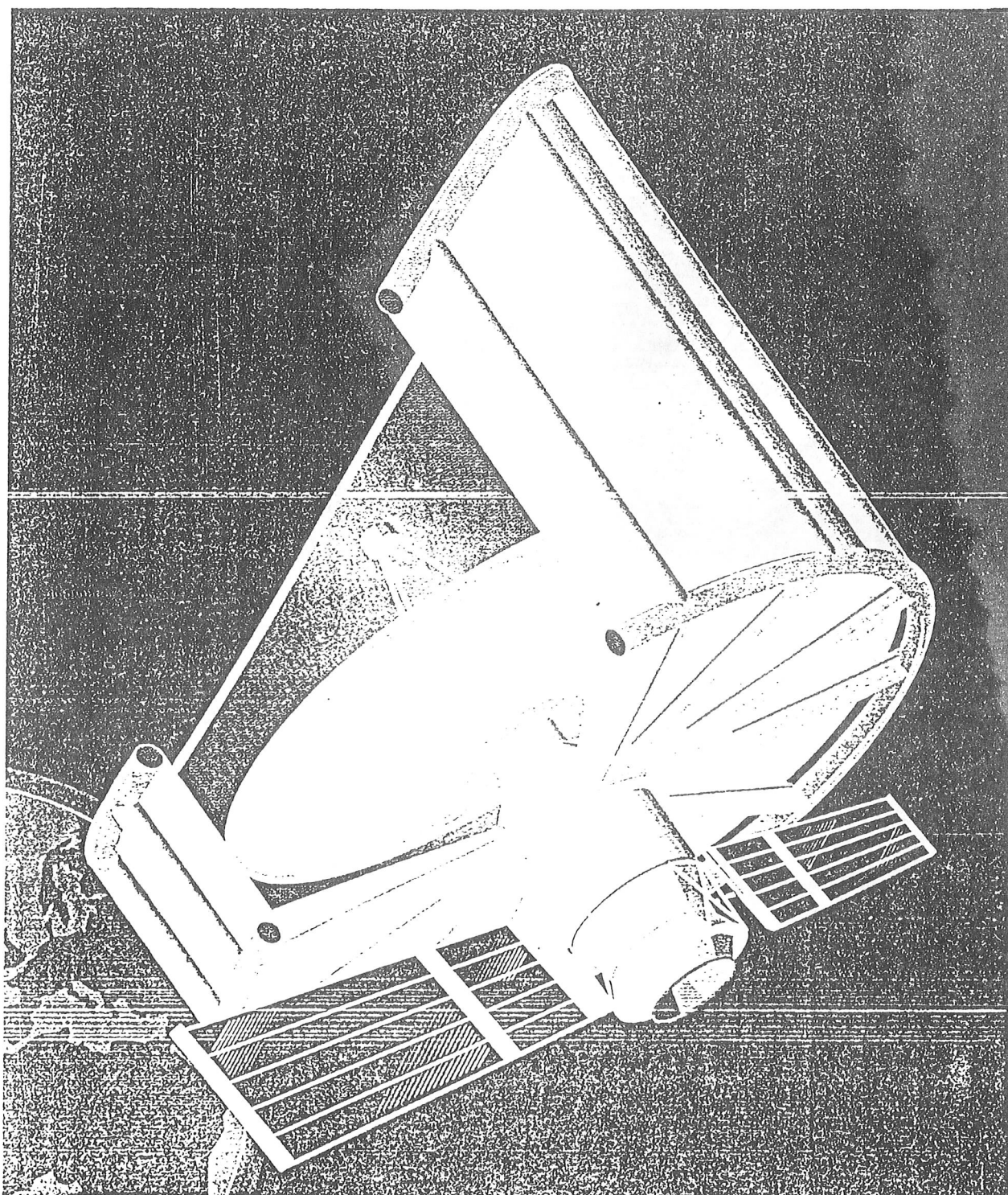
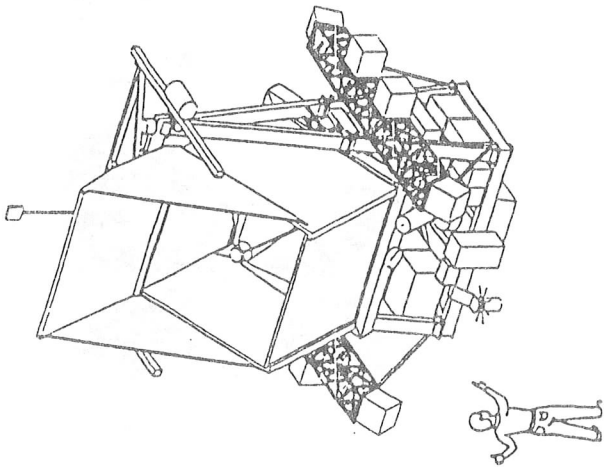
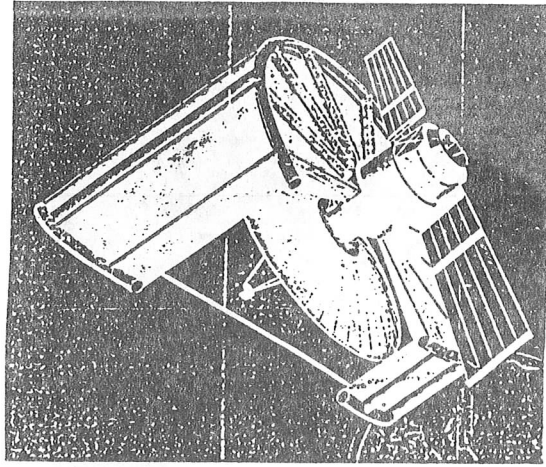


Figure
space
shield



PRONAOS
(ballon stratosphérique)
CNES - 1993



FIRST
(ESA)

2002

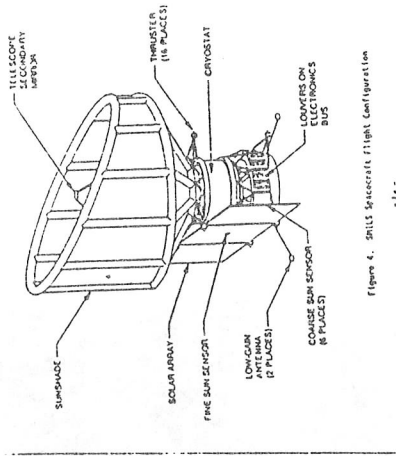


Figure 4. SMIM Spacecraft flight configuration

SMIM
(NASA-CNES)

Recherche technologique (télescopes allégés, détecteurs, Très basses températures,...)

Validation des méthodes par des observations au sol à des longueurs d'onde voisines où l'atmosphère est transparente

Diabolo

Spectro sub-mm sol

PRONAOS

