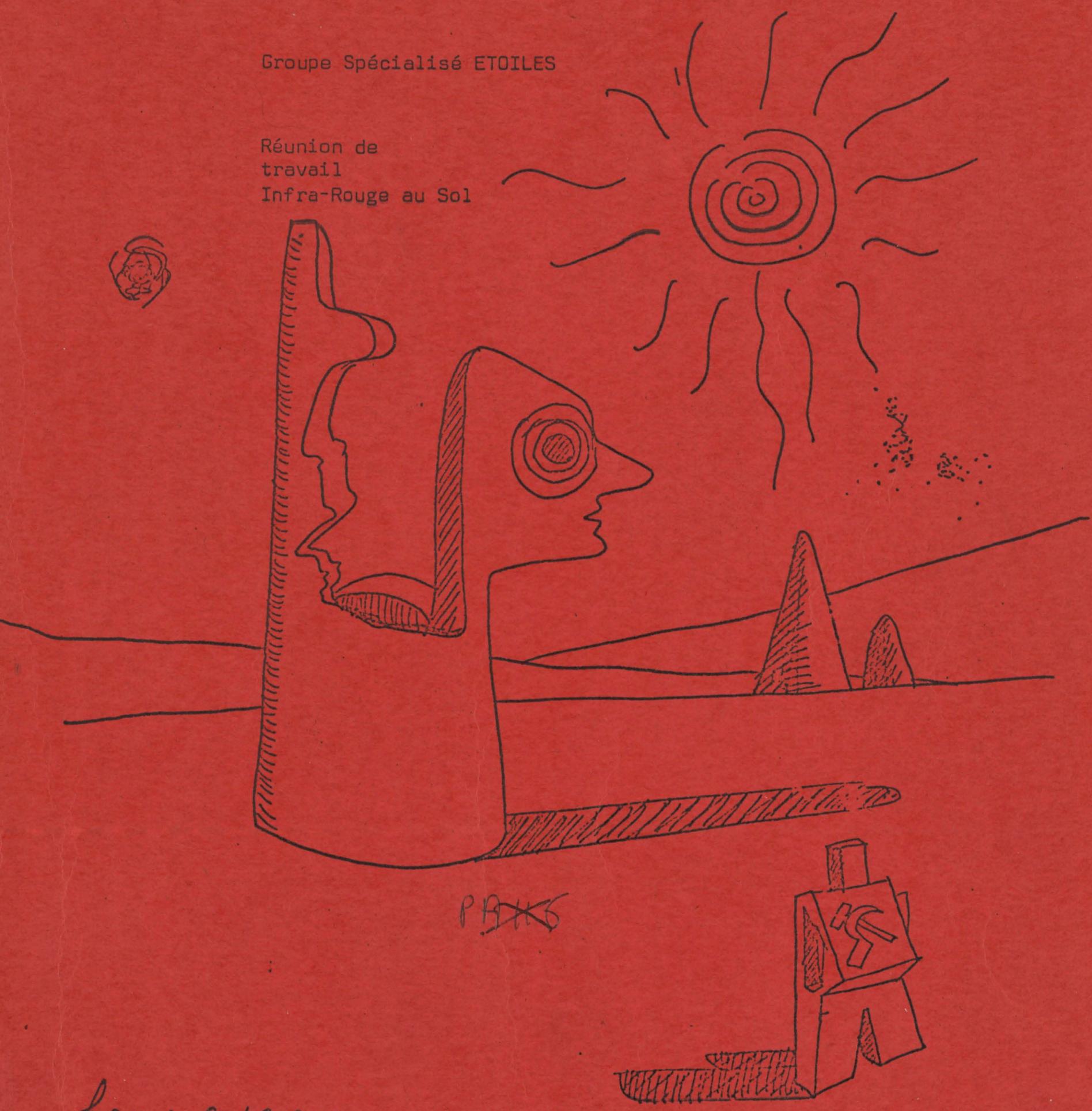


W 260

Groupe Spécialisé ETOILES

Réunion de
travail
Infra-Rouge au Sol



homme suparorange
regardant l'objet
infrarouge mal identifié,
2) protoétoile 3) protogzoaire
3) proton
les choses restent mystérieuses....

Observatoire de Lyon
16-17-18 mai 1972

USUEL OCA

(11163)

OCA-NI-011163



W 260 011163
usuel OCA

GROUPE SPECIALISE ETOILES

Réunion de travail INFRA ROUGE AU SOL

Observatoire de LYON 16-17-18 mai 1972

La réunion de travail IR au sol, à Lyon, a comporté des discussions sur les points suivants :

- confrontation des différentes techniques disponibles en France dans l'IR au sol ou en avion et des moyens mis en oeuvre.
- proposition de projets d'instruments nouveaux.
- nécessité d'un site d'observation IR à la disposition des chercheurs français.
- concertation sur certains programmes :
 - mécanisme de rayonnement IR
 - planètes, étoiles froides
 - mécanisme de pompage OH par l'IR proche
 - formation des étoiles.

Les résultats les plus frappants de ces discussion ont été rassemblés ici. Compte-tenu du caractère très informel de cette réunion, ce compte-rendu est probablement partial et incomplet. Nous nous en excusons.

POSSIBILITES, MÉTHODES et AVENIR DE L'ASTRONOMIE
INFRAROUGE AU SOL.

S. BENSAMMAR
Observatoire de Meudon.

Le développement actuel de l'Astronomie IR au sol dépend des méthodes et des techniques d'observation. Ces dernières sont tributaires de l'atmosphère terrestre. Dans ce sens, il me semble nécessaire de rappeler les résultats et les conséquences de l'"Etude de site pour l'Astronomie IR" qui a été dirigée par J. GAY (Action spécifique INAG n°658 012, 1970-1971).

L'étude théorique de la transmission atmosphérique (10μ - 2 mm) a nécessité l'utilisation de deux profils de raie de la vapeur d'eau (absorbant principal) et de différents modèles d'atmosphère (répartition de la quantité de vapeur d'eau). Le résultat des calculs dans le cas d'observations en haute montagne (3000m), en avion (12 km) et en ballon (30 km) fait l'objet d'un atlas /1/.

L'étude expérimentale, faite essentiellement à l'Observatoire du CORNERGRAT (3150m, Suisse) a permis de confirmer le modèle théorique /2/. De très nombreuses fenêtres atmosphériques existent dans les domaines spectraux suivants :

$$8 - 13 \mu ; 18 - 28 \mu ; 300 \mu ; 550 \mu ; 600 \mu ; \\ 700 \mu ; 900 \mu ; \text{etc., } \dots > 1 \text{ mm}$$

La faible quantité de la vapeur d'eau $(1,5 \pm 0,5)\text{mm}$ pendant l'hiver, autorise l'utilisation de ces fenêtres avec une transmission verticale minimale de 30%. Dans certaines conditions météorologiques, la quantité de vapeur d'eau peut être égale à 0,5 mm /Détection de la nébuleuse d'Orion (3)/.

Au printemps la transmission verticale est de l'ordre de 20% pour certaines fenêtres ($18 \mu - 25 \mu$). Aucune estimation de la transmission n'a été faite en été.

L'auteur de cet article estime que le site de l'Observatoire du CORNERGRAT présente des conditions favorables à l'exploitation d'un programme d'observations IR. La présence d'un grand télescope (2m) lui semble souhaitable.

Au cours des diverses expériences notre équipe (J. GAY, S. BENSAMMAR, N. EPCHTEIN) a souvent constaté des fluctuations importantes de la transmission atmosphérique. J'ai détecté en avril 1971, l'arrivée de perturbations atmosphériques, quelques heures avant la modification des conditions météorologiques locales.

La conséquence immédiate de ces remarques est la préparation d'une expérience d'étude du spectre en fréquence du bruit de la transmission et de l'émission atmosphérique en fonction du diamètre de l'instrument d'observation. Les manipulations commenceront en juillet 1972, à l'Observatoire de Meudon, avec les télescopes de 0,60m et 1m /Domaine 8 - 13 μ : 90% de transmission mesurée en hiver (2)/. Nous nous proposons d'optimiser la compensation de ce bruit. Enfin les futures expériences au sol devraient comporter un contrôle enregistré de la vapeur d'eau /Régularité de la transmission (manip CAYREL) et estimation exacte du contenu total en vapeur d'eau (manip KOUTCHMY)/. Le travail de réduction des données se trouvera facilité et les résultats seront certainement plus valables ...

L'Astronomie Infrarouge au sol est actuellement dans une "phase ingrate". Des moyens existent /Spectro par T.F.; interféromètres à œil de chat, bolomètres/, d'autres techniques se préparent /Imagerie (4), détection heterodyne (J. GAY)/. Un programme d'observation d'objets IR devra être défini avec l'aide des "théoriciens". Il devra nécessairement comporter d'abord l'étude photométrique et ensuite l'étude spectroscopique. Enfin, les "théoriciens" pourraient participer aux expériences afin de rendre cette collaboration plus enrichissante de part et d'autre. N'oublions pas que c'est aussi l'un des objectifs de ce colloque.

Références

- 1 N. EPCHTEIN et S.BENSAMMAR, 1972, Theoretical Water Vapour Transmission of the Infrared and Submillimetric Regions (proposé à referee).
- 2 S. BENSAMMAR, Thèse de 3e Cycle, Paris, 1972.
- 3 S. BENSAMMAR, Y. BIRAUD, N. EPCHTEIN, J. GAY et F. SETRE, 1972, Observation of the Submillimetric Radiation from Orion Nebula.
- 4 A. GIRARD, 1971, Analyse d'image et codage multiplex, ONERA. J. GAY, Détection heterodyne, Rapport interne Meudon, mai 1971.

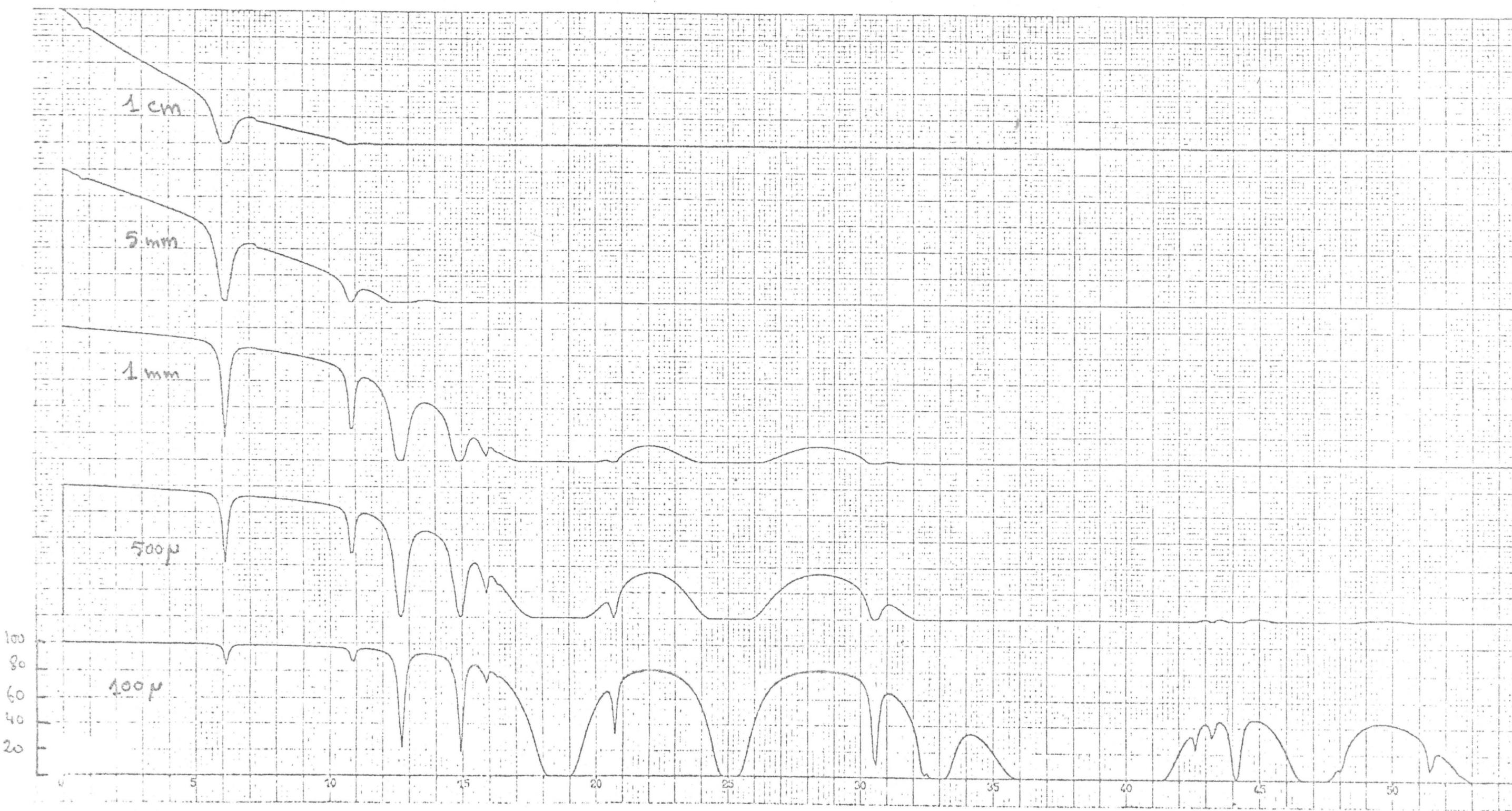


Figure 1 (tirée de l'Atlas 1) Abscisses : fréquences en cm^{-1} ; ordonnées : transmission en %
1 carreau = 20%

Conditions : $P = .7 \text{ atm}$; $T = 220 \text{ }^{\circ}\text{K}$; $h = 3000 \text{ m}$

Quantités de vapeur d'eau égales (de bas en haut) à : 10mm, 5mm, 1mm, 500μ et 100μ

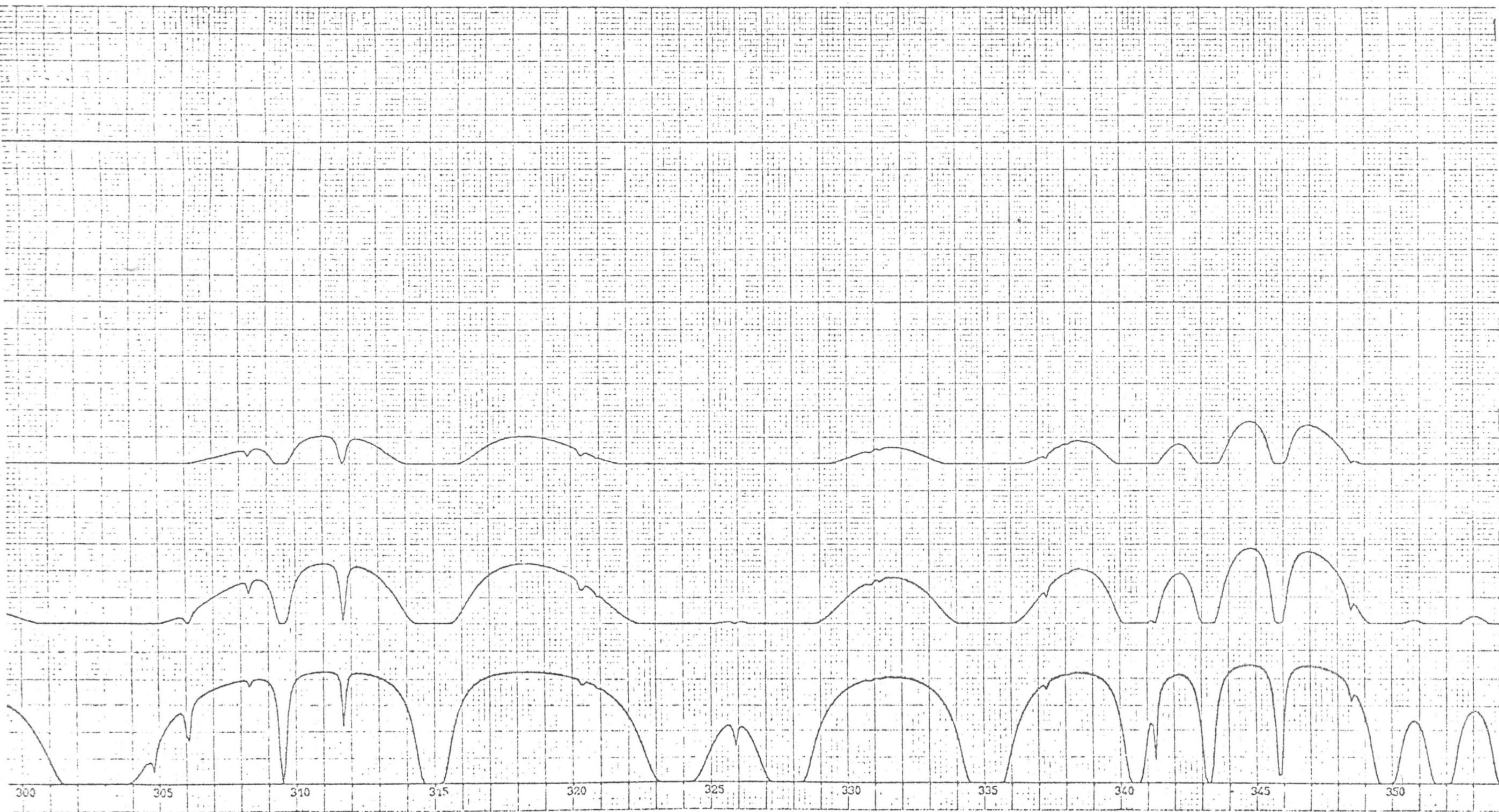


Figure 2 (tirée de l'Atlas 1) Axiées : fréquences en cm^{-1} ; ordonnées : transmission en %

1 carreau = 20%

Conditions : $P = .7 \text{ atm}$; $T = 220 \text{ }^{\circ}\text{K}$; $h = 3000 \text{ m}$

Quantités de vapeur d'eau égales (de bas en haut) à : 10 mm, 5 mm, 1 mm, 500 μ et 100 μ

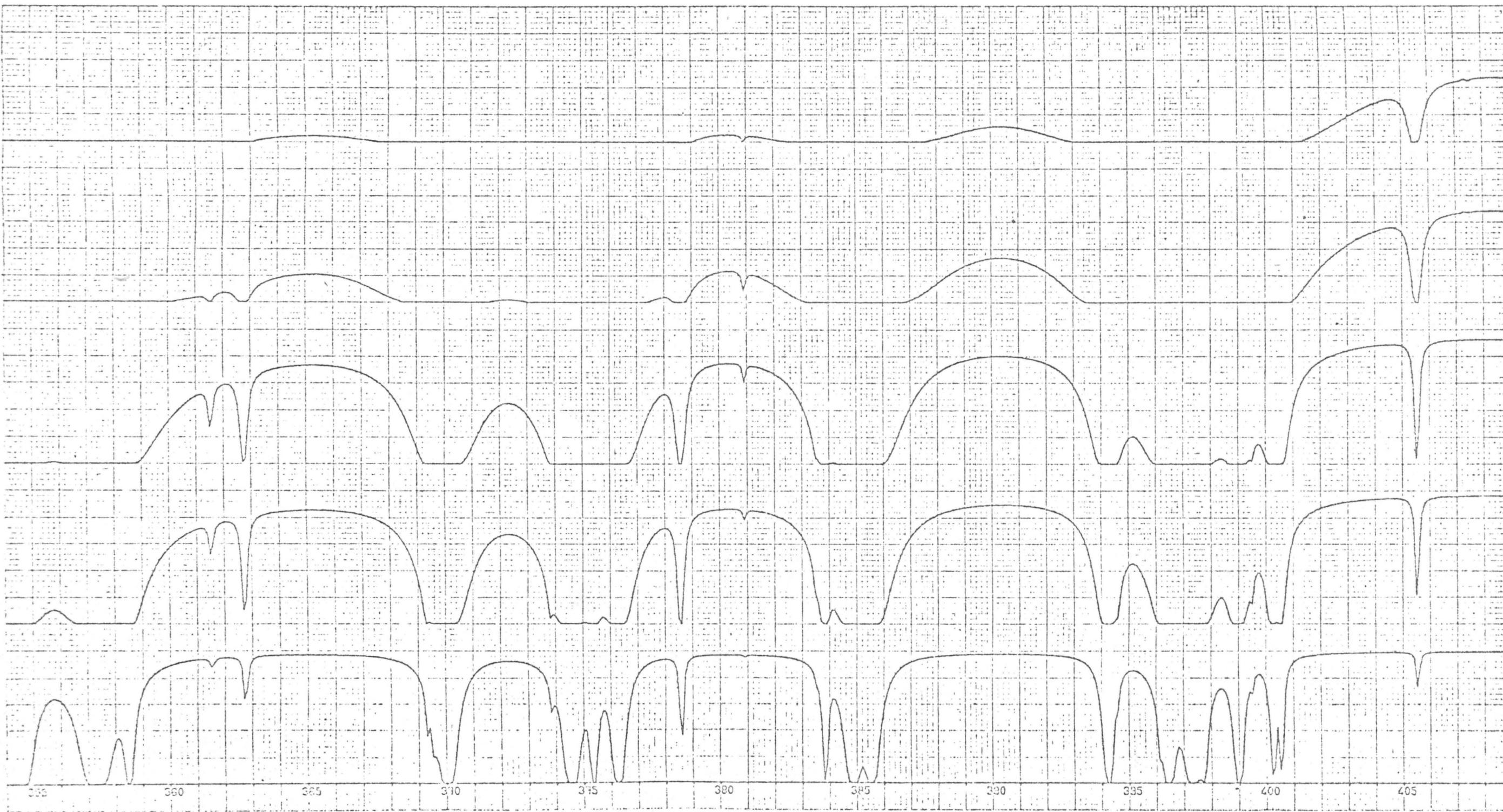


Figure 3 (tirée de l'Atlas 1) Abscisses : fréquences en cm^{-1} ; ordonnées : transmission en %
1 carreau = 20%
Conditions : $P = .7 \text{ atm}$; $T = 220 \text{ }^{\circ}\text{K}$; $h = 3000 \text{ m}$
Quantités de vapeur d'eau égales (de bas en haut) à : 10 mm, 5 mm, 1 mm, 500 μ et 100 μ

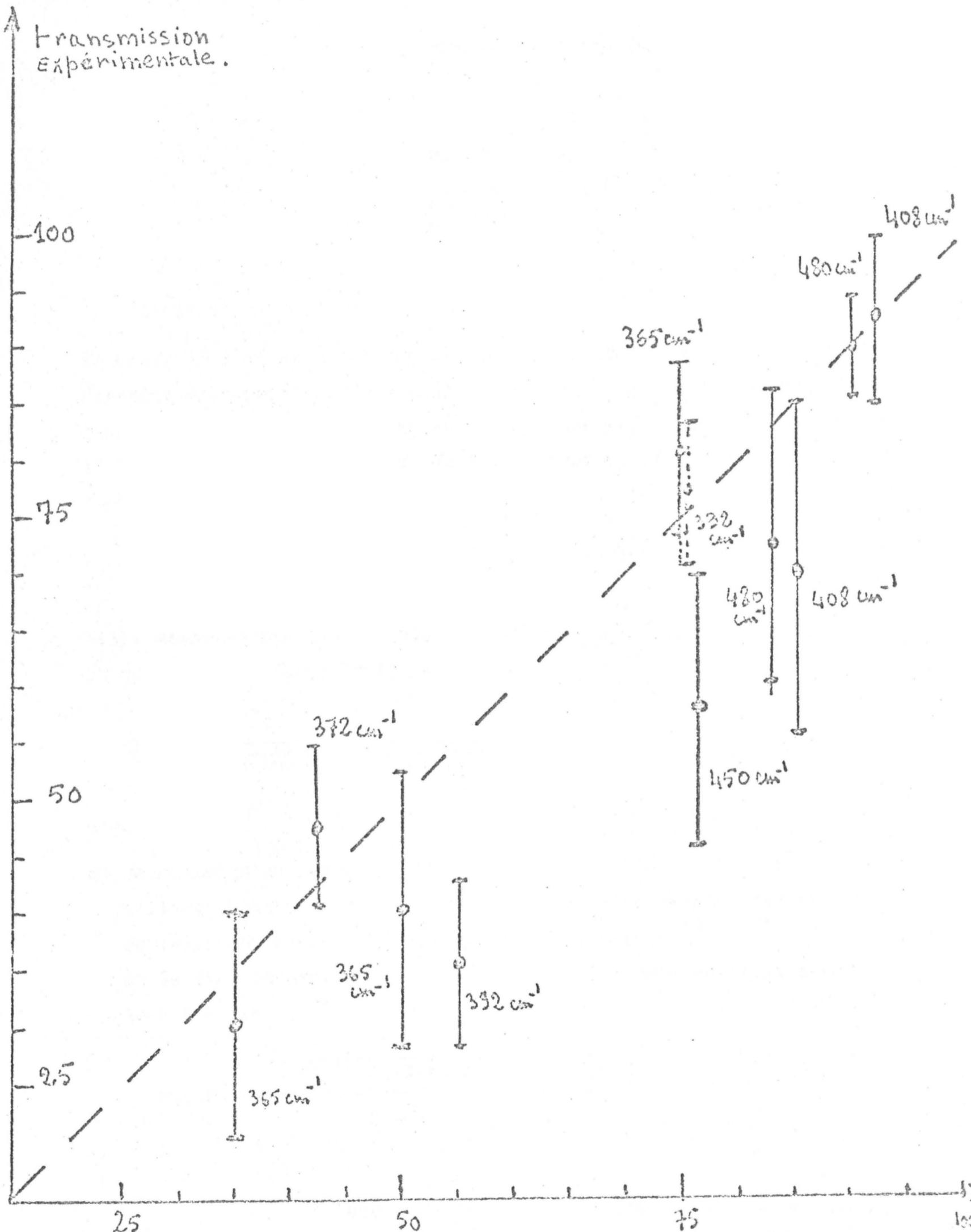


Figure 4 Vérification expérimentale du modèle théorique (tirée de 2).

transmission
théorique

LES DETECTEURS INFRA-ROUGE

PERFORMANCES et LIMITATIONS

N. COPON
J. LEBLANC }
G. DOMBIER } L.P.S.P.

I LIMITATIONS THEORIQUES.

En bref: la limitation ultime est due au bruit de photons dans le flux parasite émis par l'optique chaude. Supposons une optique chaude à la température T d'émissivité ϵ_λ et une optique froide à $T_0 \ll T$ limitant la bande passante à $\Delta\lambda$ autour de λ . On peut montrer que le détecteur reçoit par unité de surface un flux parasite

$$W_u \approx \epsilon_\lambda \pi F(\lambda, T) \Delta\lambda$$

$F(\lambda, T)$ étant la fonction de Planck; le détecteur recevant sous 2π et que la détectivité limite est donc

$$D^* \approx \frac{1}{\sqrt{\text{sup}(hv, KT)}} \times \frac{1}{\sqrt{W_u}}$$

d'où :

a) détection d'un objet:

s'il est ponctuel et si le détecteur est bien adapté à l'optique du télescope alors : S (surface du détecteur) $\approx \lambda^2$
et le flux donnant en 1" de temps un signal égal au bruit sera
le N.E.F. :

$$\text{N.E.F.} = \frac{\lambda \sqrt{\epsilon_\lambda \pi F(\lambda, T) \Delta\lambda \text{sup}(hv, KT)}}{\pi D^2 \times (1 - \epsilon_\lambda)}$$

D étant le diamètre du télescope et l'optique + l'atmosphère ayant une transmission $(1 - \epsilon_\lambda)$

b) spectre d'un objet (avec résolution d λ)

le signal sur bruit par élément spectral d λ est

$$\frac{S}{N} \sim \frac{d\lambda}{\sqrt{\Delta\lambda}}$$

d'où le compromis à faire entre spectre dans une large bande et haute résolution.

On remarquera que l'apparition de la fonction de Planck P (λ , 300°K) divise l'infra rouge en deux parties où les problèmes de détection sont assez différents : celle $\lambda < 5\mu$ et celle $\lambda > 5\mu$;

II CAS REELS.

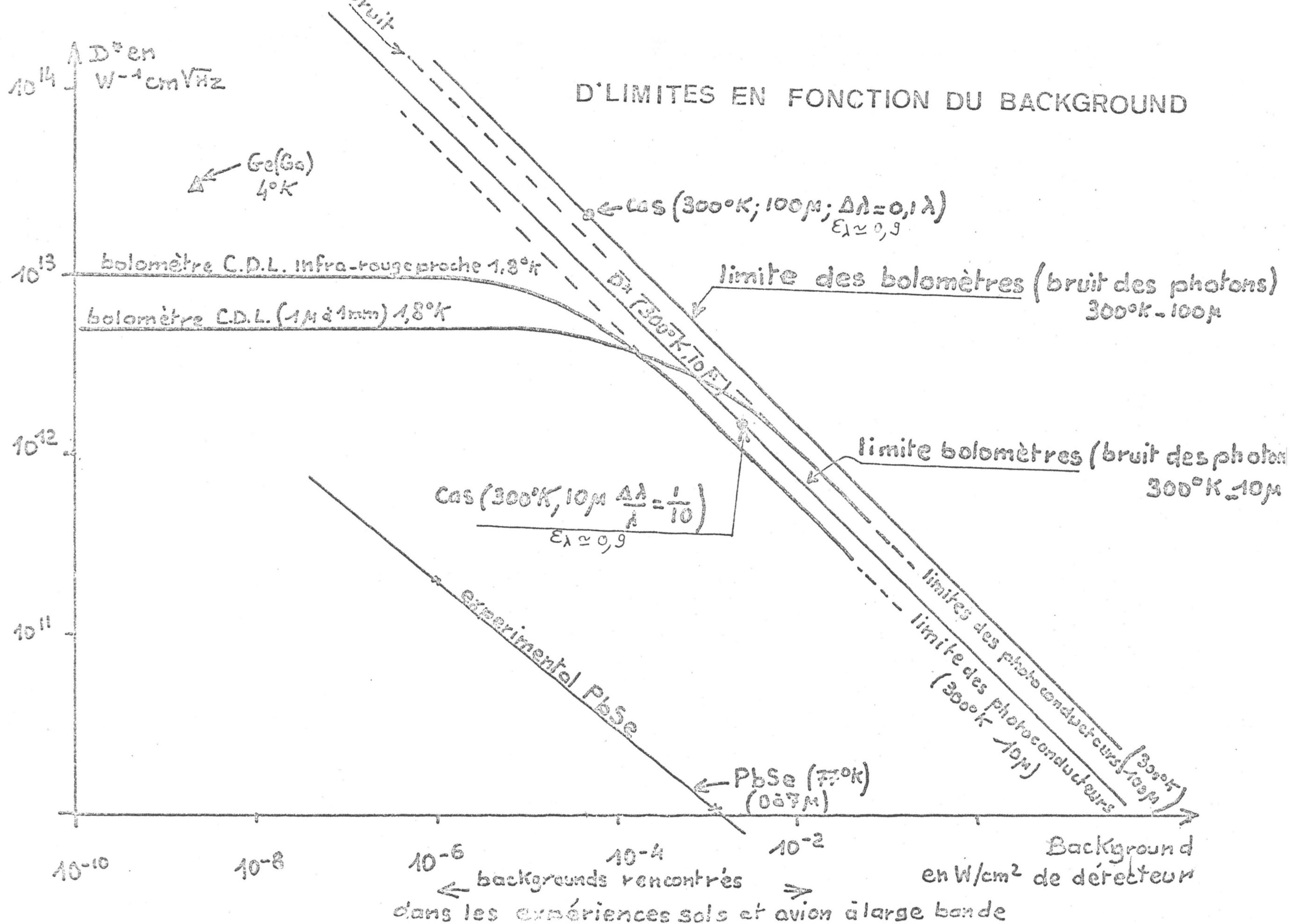
En fait les bruits intrinsèques des détecteurs sont souvent supérieurs aux bruits théoriques surtout lorsque le background est faible. En pratique au sol ou en avion on est justement dans la zone intermédiaire où les bruits parasites des meilleurs détecteurs sont de l'ordre des bruits limites théoriques (figure 2).

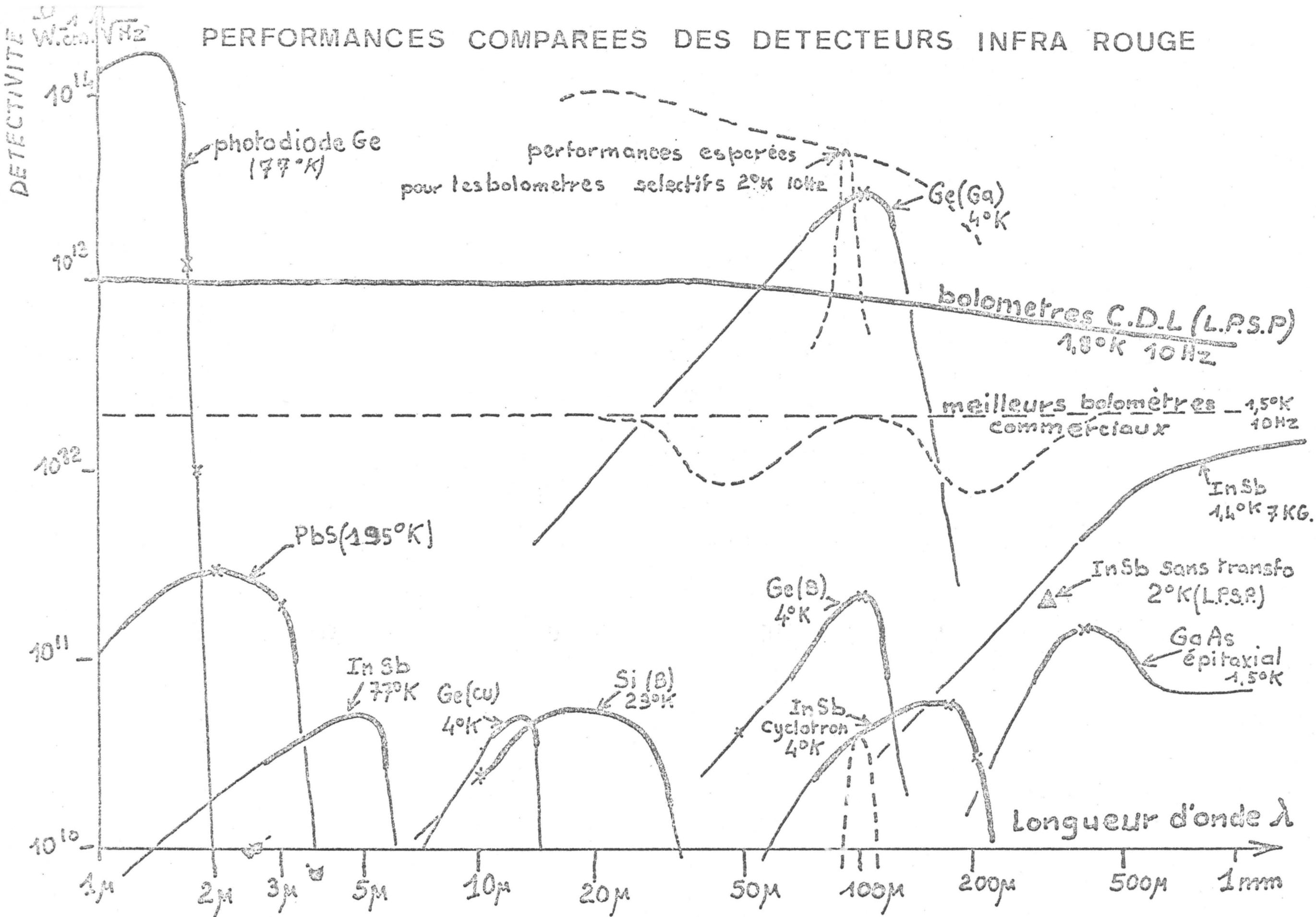
La limite théorique des bolomètres est $\sqrt{2}$ meilleure que celle des photoconducteurs à background égal.

Les bolomètres refroidis d'un type nouveau, dits C.D.L., que nous avons développés au L.P.S.P., atteignent une détection supérieure à $5 \times 10^{12} W^{-1} cm \sqrt{Hz}$ dans tout l'infra rouge (voir figure 1 la comparaison des performances).

On voit que sauf le cas exceptionnel du détecteur Ge(Ga) de l'expérience de Herwit et Skwaviadan les bolomètres restent les meilleurs détecteurs de 10μ à 1 mm lorsque des grandes vitesses de modulation ne sont pas nécessaires (0 à 100 Hz).

Les performances indiquées pour les bolomètres sélectifs sont celles espérées dans un proche avenir pour des bolomètres ayant un q de 5 à 20 à des longueurs d'onde entre 20μ et 280μ dont le développement est en cours au L.P.S.P.





PHOTOMETRE INFRAROUGE : Groupe de LYON

J. BERGEAT

M. LUNEL

F. SIBILLE

Domaine spectral 0,8 à 3,6 microns

Bandes photométriques I J H K L

Détecteur PbS 0,25 x 0,25 mm refroidi à l'azote liquide N.E.P. $4 \cdot 10^{-14}$ w

L'optique calculée pour un télescope ouvert à F/15 permet un diaphragme maximal de 5,6 mm soit 2' environ pour un télescope de 70 cm. On peut utiliser des diaphragmes plus petits mais la résolution spatiale limite est fonction de la qualité des images.

La comparaison du fond de ciel se fait automatiquement, alternativement au nord et au sud de l'objet (à une distance réglable).

L'oculaire monté sur une platine micrométrique permet le pointage d'objets non visibles, à partir d'étoiles voisines.

Le laboratoire est équipé d'un corps noir (1500 °K) et d'un banc de mesures des performances des détecteurs.

Un premier dépouillement sommaire des mesures faites sur le ciel à l'O.H.P. tout récemment donne une estimation de la magnitude K limite: soit K = 5,2 (S/B = 1) avec un télescope de 80 cm. Ce résultat provisoire sera revu à la suite de notre mission de cet été au Jungfraujoch.

CAMERA ELECTRONIQUE de l'OBSERVATOIRE de PARIS dans
le DOMAINE de l'INFRA-ROUGE PROCHE (0.8 - 1.4 μ)

La technologie est la même que celle du visible.

La couche photoélectrique utilisée est $S_1(Ag C_{s2} O C_s)$.

Actuellement elle peut être utilisée au Newton du télescope de 193 cm de l'OHP avec des cathodes d'un diamètre de 20 mm - champ $\sim 5'$ - en photographie directe; 4 à 5 heures de pose sont possibles sans émission parasite.

Un spectrographe à moyenne résolution est actuellement en préparation pour ce télescope (Mme Y. ANDRILLAT, BARANNE, DUCHESNE).

Le problème de la photométrie quantitative n'est pas encore bien résolu à cause de l'inhomogénéité de la sensibilité de la couche.

Le tableau ci-dessous donne les gains en sensibilité par rapport aux plaques classiques généralement utilisées (ALPERN, BIJAOUTI, DUCHESNE in Adv. in Electr. 22).

Longueur d'onde (\AA)	Émulsion utilisée en photographie classique	Émulsion utilisée en électronographie	Tension d'accélération totale	Grandissement électro-nique	Sensibilité de la couche photo-émissive à 2854° K	Largeur de fente du monochromateur (μm)	Densité photographique	Temps de pose en photographie classique	Gain en sensibilité
8000	I-N Kodak Rochester	Définix Kodak	23 kV	0.89	10 $\mu\text{A/lm}$	90	0.33	30 min	10
9000	I-Z Kodak Rochester	Définix Kodak	23 kV	0.89	10 $\mu\text{A/lm}$	90	0.50	30 min	500
10,000	I-Z Kodak Rochester	Définix Kodak	23 kV	0.89	10 $\mu\text{A/lm}$	90	0.30	30 min	50
11,000	I-Z Kodak Rochester	Définix Kodak	23 kV	0.89	10 $\mu\text{A/lm}$	90	0.18	30 min	210
11,500	I-Z Kodak Rochester	Définix Kodak	23 kV	0.89	10 $\mu\text{A/lm}$	100	0.29	3 h	320
12,000	I-Z Kodak Rochester	Définix Kodak	23 kV	0.89	10 $\mu\text{A/lm}$	100	0.19	5 h	440

LABORATOIRE Aimé COTTON (ORSAY)

et TELESCOPE INFRAROUGE (MEUDON)

Laboratoire Aimé Cotton.

- 1) Interféromètre de Fourier A pour infrarouge proche, actuellement utilisé au Steward Observatory (University of Arizona, télescope de 225 cm) par H. LARSON. Essentiellement spectres planétaires. Résultats récents : démonstration de la présence de CO₂ sur les calottes polaires de Mars.
- 2) Interféromètre de Fourier B (J.P. MAILLARD) installé au 193 cm à l'OHP. Missions en janvier et mai 72. Observations d'étoiles M et carbonées. Interprétation des résultats par F. et M. QUERCI, T. TSUJI et J. CHAUVILLE (Observatoire de Meudon).
- 3) Interféromètre C, en construction (P. CONNES) destiné à des missions au foyer Coudé de grands télescopes étrangers (en particulier télescope russe de 6 m).
- 4) En projet : collaboration avec le "Lunar and Planetary Laboratory", University of Arizona, pour la réalisation d'un interféromètre utilisable sur le télescope embarqué en avion de la NASA (90 cm).

Observatoire de Meudon.

(MM. CUISENIER, CHEVILLARD, FRITEAU)

Réalisation d'un collecteur d'infrarouge de 420 cm de diamètre formé d'une mosaïque de 36 éléments sphériques, destiné essentiellement à la spectroscopie dans l'infrarouge proche d'astres brillants.

SPECTROMETRIE ABSOLUE D'ETOILES FROIDES DE 2 à 5 MICRONS AVEC UN INTERFEROMETRE REALISE A L'O.N.E.R.A.

Observatoire de Paris
Meudon
O.N.E.R.A.

MM. CAYREL, GAY, DE BATZ,
BENSAMMAR, POUILLOT

MM. GIRARD, LAURENT, Mme LEMAITRE,
MM. CHATAGNIER, DELAUAUD, PORTAT.

I INTRODUCTION

En complément des observations à très haute résolution dans le proche infrarouge, il est utile de faire des observations absolues (c'est-à-dire avec comparaison au corps noir) à plus basse résolution. La théorie des atmosphères des étoiles froides doit en effet être mise à l'épreuve par son aptitude à reproduire en gros la distribution d'énergie dans le spectre pour pouvoir interpréter quantitativement avec confiance de fins détails du spectre. D'autre part, la loi d'absorption interstellaire dans l'infrarouge déterminée par photométrie (JOHNSON) semble présenter de grosses variations suivant la région du ciel et certaines lois impliquent une révision considérable de la constante R, rapport entre l'absorption totale A_V dans le visible et l'excès de couleur E (B-V).

Des observations spectrophotométriques de couples d'étoiles identiques très rougies et peu ou pas rougies sont intéressantes pour approfondir la nature de ces anomalies.

C'est pourquoi, un petit spectromètre interférentiel a été réalisé à l'O.N.E.R.A. sur financement conjoint du C.N.E.S. et de l'O.N.E.R.A., le projet initial étant d'observer sur ballons à 25 km d'altitude pour être débarrassé de l'absorption de la vapeur d'eau tellurique.

La partie "en vol" de l'expérience ayant été supprimée nous décrivons ci-après l'appareil utilisé au sol à l'observatoire du Jungfraujoch au cours de deux missions en 1971 et 1972.

II PRINCIPE GENERAL DU MONTAGE

Pour utiliser au mieux l'énergie disponible, une méthode de spectrométrie par transformation de Fourier a été utilisée, associée à un détecteur de grande détectivité.

La spectrométrie interférentielle est très sensible aux effets de la turbulence atmosphérique. Pour diminuer ces effets on utilise un balayage rapide et une sommation d'interférogrammes élémentaires (L. MERTZ).

La solution adoptée est du second type. Un interférogramme est enregistré en un temps de l'ordre de deux secondes. Les interférogrammes élémentaires sont sommés jusqu'à l'obtention d'un rapport S/B convenable.

L'appareil analyse alternativement les rayonnements émis par l'étoile et par le ciel dans une région proche de l'étoile, pour éliminer l'émission atmosphérique.

III INTERFEROMETRE A CHAMP COMPENSE

Conçu dans la perspective d'une utilisation ultérieure sur ballon sonde ou sur avion, il se présente sous la forme d'un bloc de quatre pièces optiques collées, compact et indéréglable. Il est étroitement adapté à deux caractéristiques du sujet traité : faible résolution (20 cm^{-1} avant apodisation) et faible étendue de faisceau (source ponctuelle).

De forme parallélépipédique (18 x 18 x 80 mm) il est constitué de deux prismes rectangles isocèles en fluorine collés par leurs faces hypothénuses dont l'une porte le traitement semi-réfléchissant et constitue donc la surface séparatrice de l'interféromètre. Les éléments externes sont des lames d'air limitées par une face des prismes et un miroir. Un des prismes comporte une superépaisseur de matière qui augmente linéairement, selon la direction du barreau, la lame d'air correspondante diminuant selon la même direction. En choisissant convenablement les épaisseurs relatives de fluorine et d'air, une différence de marche linéairement variable, selon la plus grande dimension du barreau est obtenue en conservant la coïncidence des images géométriques des deux miroirs à travers la séparatrice.

L'image de l'étoile formée dans le plan de localisation des "franges de coin d'air" occupe une surface assez faible (quelques centièmes de mm de diamètre) pour que tous les rayons lumineux soient affectés de la même différence de marche à la sortie de l'interféromètre. Dans ces conditions, l'exploration de la transformée de Fourier du spectre s'effectue grâce à un mouvement à vitesse uniforme de l'interféromètre perpendiculairement aux franges de coin d'air, c'est-à-dire selon la plus grande dimension du barreau.

La différence de marche varie de - 280 μ à + 280 μ d'une extrémité à l'autre de l'interféromètre.

IV SCHEMA OPTIQUE

L'image de l'étoile est focalisée dans le plan des franges par un objectif de microscope à miroir d'ouverture F/2. Après traversée de l'interféromètre, l'image est reprise par un objectif germanium-silicium qui la focalise sur le détecteur bolomètre au germanium, type LOW, refroidi à 2 °K.

La quantification du signal est obtenue à des intervalles de marche constante grâce à une source laser He - Ne de référence qui traverse également l'interféromètre.

Le centrage de l'image de l'étoile sur l'axe optique de l'appareil peut être contrôlé en permanence grâce à un viseur.

Le déplacement du miroir de commutation ciel-étoile est synchronisé avec le cycle de translation de l'interféromètre.

Un miroir commutable permet de viser un corps noir au moyen duquel l'étalonnage de la sensibilité spectrale de l'appareil est effectué. Enfin, un laser hélium-néon infrarouge (3,39 μ) sert à l'enregistrement de fonctions d'appareil dans le but de contrôler le bon fonctionnement d'ensemble.

V ELECTRONIQUE DE MESURE

Le signal délivré par le bolomètre est amplifié par un amplificateur faible bruit. La température de bruit est de l'ordre de 1 °K dans les conditions d'utilisation (1M Ω de résistance d'entrée et fréquences de quelques dizaines de Herz).

Un amplificateur de largeur de bande réduite, compatible avec le domaine fréquentiel utile, élève le signal au niveau nécessaire à la conversion digitale.

Simultanément, à chaque passage à zéro du signal délivré par le détecteur de la voie de référence (laser 6328 Å), le convertisseur analogique-numérique reçoit un ordre de conversion.

VI PREMIERS RESULTATS

La figure 2 montre un spectre de α Herculis, corrigé de l'émission du ciel mais non corrigé de l'absorption tellurique, obtenu au cours de l'unique nuit claire de la mission de 1971. Plus de deux cents spectres de quatre ou cinq objets brillants ont été obtenus à la mission de 1972 et sont en cours de dépouillement. Une grosse difficulté rencontrée dans le dépouillement est la manière dont il faut procéder pour corriger les spectres de l'absorption tellurique de la vapeur d'eau.

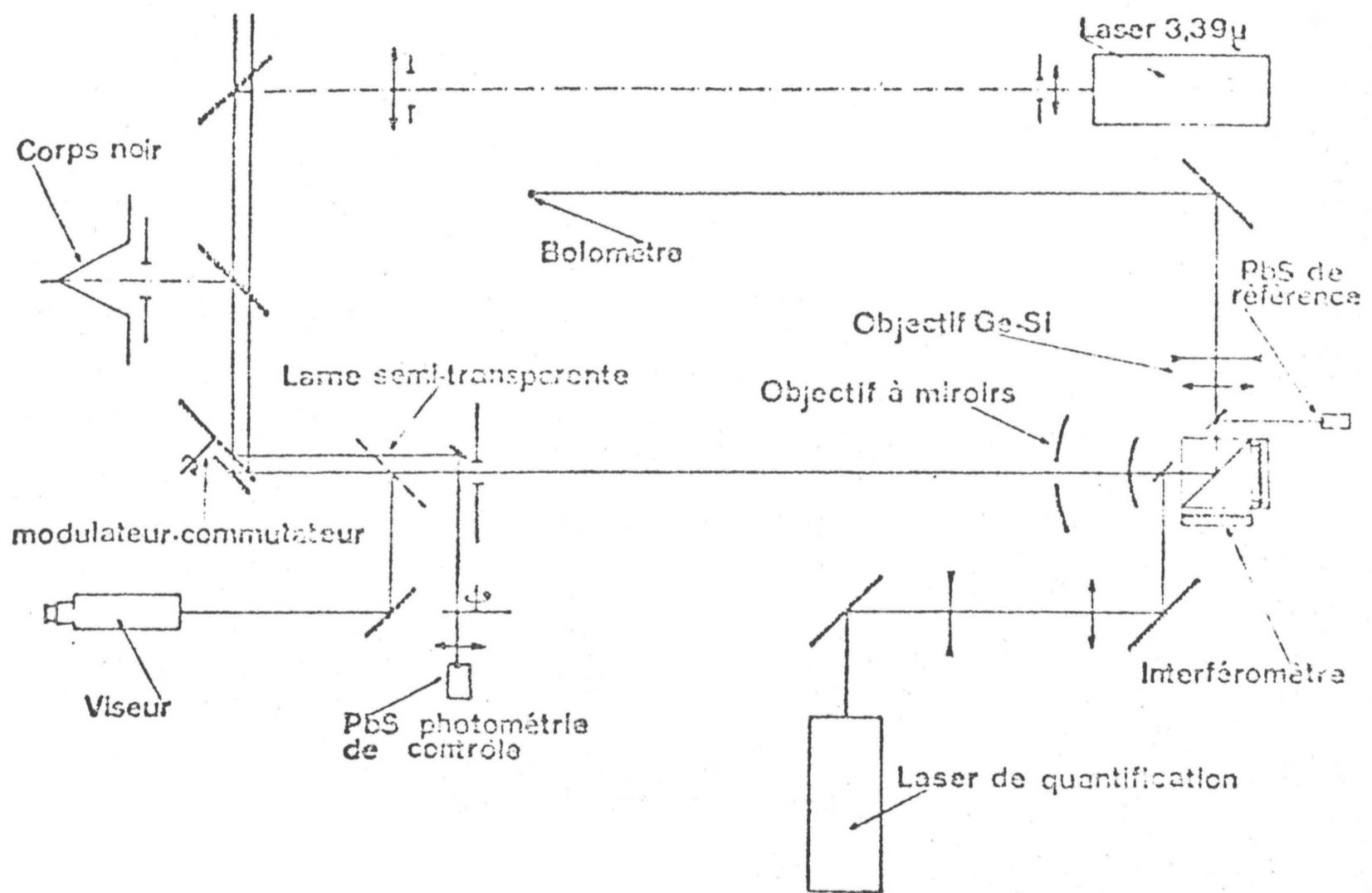


Figure 1 Schéma optique.

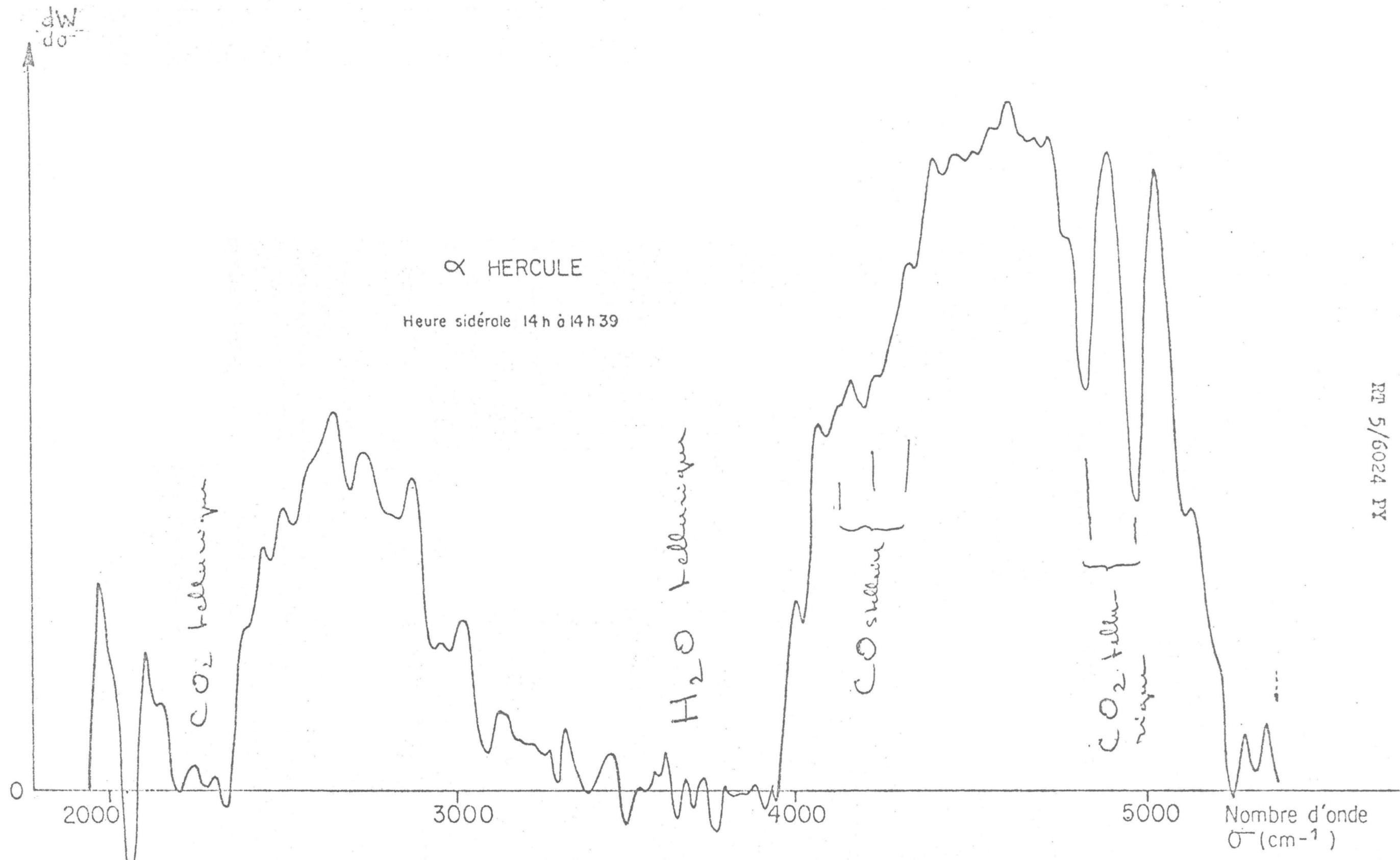


Figure 2 Spectre de λ Herculis.

INTERFEROMETRE RADIOASTRONOMIQUE A 35 GHz

BAUDRY A.	LACROIX J.
BOCCIA R.	MONTIGNAC G.
BUSSET J.P.	POUMEYROL F.
DELANNOY J.	ROBERT M.R.
GERARD F.	ROBILLOT J.M.

Observatoire de BORDEAUX

L'étude et la réalisation de l'appareil a fait l'objet, jusqu'au 1er janvier 1972, de la RCP 139 du CNRS.

Rappelons brièvement les caractéristiques de l'interféromètre. Il est composé de deux antennes de 2,50 m de diamètre, sur des montures altazimutales à l'extrémité d'une base de 64 mètres. Un ordinateur travaillant en temps réel a pour fonction prioritaire de piloter une chaîne d'asservissement, permettant une poursuite automatique à la précision de - 15 secondes d'arc. La fréquence centrale du récepteur est de 35 GHz, la bande passante MF est de 100 MHz.

Le système récepteur est classique, les solutions originales portent sur la génération et le transport de l'onde locale: deux oscillateurs locaux sont bloqués en phase sur une même référence, issue d'un guide surdimensionné à très faible perte, et asservie en fréquence par système SWARUP (longueur électrique de la base, 7500 longueurs d'onde, maintenue constante à $\lambda/20$ près).

Actuellement, l'activité de toute l'équipe est centrée sur l'achèvement de la construction, au stade de l'assemblage en vue des premiers essais. Le gros oeuvre, les montures et les aériens sont terminés et en place. Le système d'entraînement est en cours de finition; les tests d'asservissement de pointage en boucle ouverte sont confirmés aux prévisions théoriques. Les câblages électriques sont pratiquement terminés.

Les programmes de poursuite ont été inclus dans un système de programmation OP 16, de Honeywell, en temps réel. Le programme de détection synchrone pour l'acquisition des données est en cours d'élaboration, et sera inclus dans le même système.

Enfin en ce qui concerne l'électronique, l'ensemble récepteur, HF et BF, réalisé sous sa forme opérationnelle, a été essayé en laboratoire et le montage définitif est commencé.

Après mise au point du système de poursuite (réalisation d'une came de correction numérique pour les deux axes et pour les deux antennes) il sera procédé aux essais d'enregistrement des signaux solaires dans le cours de l'été 1972.

Rappelons enfin que les premiers buts scientifiques sont l'étude des couches profondes de l'atmosphère solaire et de la structure des centres d'activité à 8 mm conjointement à l'amélioration de nos connaissances sur les fluctuations du front de phase des ondes planes dans l'atmosphère terrestre.

Les perspectives d'avenir, liées aux améliorations de l'interféromètre, sont les suivantes :

- . étude des mécanismes d'émission solaires, en adjoignant aux mesures de dimensions des régions émissives des mesures de polarisation,
- . spectroscopie moléculaire par l'étude de certaines raies d'émission des molécules interstellaires.

PROJET D'IMAGERIE INFRAROUGE

J. GAY, Observatoire de Meudon

On propose le développement de deux méthodes permettant une résolution spatiale pour l'étude des sources infrarouge.

I METHODE DE CODAGE MULTIPLEX.

(A. GIRARD, ONERA)

Elle permet d'utiliser au mieux les performances d'un détecteur IR tout en conduisant à la résolution spatiale maximum compatible avec le diamètre du télescope. Il faut pour cela que l'étendue du faisceau relative à un élément de résolution, c'est-à-dire

$$\delta(S_w) = \left| \frac{\pi}{4} D^2 \right| \times \left| (1,22 \frac{\lambda}{D})^2 \frac{\pi}{4} \right| = \lambda^2,$$

soit notamment supérieur à l'étendue du faisceau admissible par le détecteur (S_w). Le gain multiple de $\frac{S_w}{\delta(S_w)}$ n'est réel que si l'augmentation de (S_w) ne détériore pas les performances du détecteur. La méthode ne présente donc d'intérêt qu'aux longueurs d'onde inférieures ou égales à 10 ou 20 μ

Exemple :

$$\lambda = 10 \mu \quad \delta(S_w) = 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ sterad}$$

$$S_w = \frac{\pi}{4} 1 \text{ m}^2 \times \frac{\pi}{4} (3 \cdot 10^{-4})^2 = 6 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ sterad}$$

(Télescope de 1m champ de 1' maximum admissible pour un bolomètre travaillant avec un n_e réel de 10^{-13} watts. Le nombre d'éléments d'image

$$N = \frac{6 \cdot 10^{-4}}{10^{-6}} \sim 600$$

Le gain de la méthode est donc de 600 en temps d'observation pour un même rapport signal/bruit par rapport à une méthode de balayage du champ (ou bien pour un même temps d'observation une amélioration de $\sqrt{600} \sim 25$).

La grille de codage proposée par A. GIRARD est analogue dans son principe aux fonctions de HADAMARD, mais représente une économie de motifs qui en rend le coût peu élevé et une utilisation commode (grilles pseudo-aléatoires périodiques). Le système peut être ajouté à n'importe quel photomètre IR sans investissement coûteux. Le programme de réduction nécessite un ordinateur associé à l'expérience si on se propose de l'installer dans un observatoire de mission.

II SYNTHESE D'OUVERTURE.

C'est la méthode bien connue en radioastronomie (et nous évitons de l'appeler "interférométrie" pour ne pas prêter à confusion dans l'infrarouge avec les méthodes spectroscopiques interférentielles). Nous avons montré qu'il est possible de réaliser le même type de détecteur du rayonnement à 10μ que dans le domaine radio par heterodynage avec un oscillateur local (un laser CO₂ à $10,6 \mu$) dont les battements avec l'onde incohérente reçue de l'étoile sont détectés par une photodiode à faible constante de temps (photodiode HgCdTe de la S.A.T. $\tau \leq 10^{-9}$ sec). Le signal de battement contient toute l'information de phase et d'amplitude de l'onde reçue. On a donc la possibilité de réaliser la corrélation entre deux détecteurs associés à deux télescopes distants de L, et obtenir ainsi des franges d'interférences en transportant non pas les signaux optiques directs mais les signaux électriques délivrés par les détecteurs. La longueur de cohérence $L \sim C\tau \approx 30$ cm permet d'obtenir un défilement des franges sur une durée assez longue. (On répétera le défilement en ajoutant des lignes à retard).

La résolution escomptée λ/L n'est pas limitée théoriquement. Seules sont gênantes la turbulence atmosphérique, dont les effets au-delà de $L \sim$ quelques mètres sont inconnus (mais 20 fois inférieurs à ce qu'ils sont dans le visible), et les microséismes dont on ignore les effets actuellement. Le projet d'étude prévoit une base de 100 mètres (résolution 1/100") mais pourra être prolongé jusqu'à 1 km en plus selon les résultats obtenus. Les télescopes de 1 mètre de diamètre (technique des miroirs allégés de P. CONNES) permettront dans un premier temps d'étudier des sources de quelques centaines d'unité de flux à 10μ . Ceci représente 15 à 20 sources environ, parmi les objets recensés actuellement dans ce domaine spectral, qui sont pour la plupart des étoiles à enveloppe de poussières.

REFERENCES

- A. GIRARD, juin 1971, Analyse d'images et codage multiplex, Rapport interne ONERA.
- J. GAY 1972, Rayonnement submillimétrique des enveloppes de poussières, Colloque d'Aussois.
- J. GAY } 1972 (à paraître), Détection heterodyne d'un rayonnement incohérent à 10.6μ , Rapport interne.
A. JOURNET }
- J. GAY mai 1971, Détection heterodyne du rayonnement infra rouge et interférométrie astronomique, Rapport interne Meudon.

LE PROJET de PLATE-FORME STRATOSPHERIQUE PEGASE

BALASKOVIC

Pour plus de détail, réf.: Compte-Rendu d'Etude - Projet Péaase.

Disponible sur demande à BALASKOVIC
STS
B.P. 11
92- VERRIERES LE BUISSON

Les caractéristiques optiques de l'atmosphère limitant considérablement les possibilités d'observation astronomique au sol, les astronomes ont cherché à s'affranchir de ces contraintes en ayant recours à des véhicules divers : ballons libres stratosphériques, fusées, satellites, et ont envisagé l'installation d'un observatoire sur la Lune.

Dans l'état actuel de la technique ces "observatoires" sont des stations automatiques avec les sujétions de celles-ci, transmission de l'information ou récupération.

L'apport essentiel de ces nouveaux moyens consiste en l'ouverture de nouveaux domaines spectraux observables. Il subsiste néanmoins des limitations qui relèvent de trois domaines :

- durée maximum d'une pose unitaire
 - dimension max télescope
 - précision de pointage.

Nous présentons ici un projet d'observatoire embarqué sur ballon dirigeable stratosphérique dont l'ambition est de réduire considérablement les limitations que nous venons d'énumérer. En effet, le projet Pégase (plate-forme d'étude géophysique et astronomique stratosphérique) présente des caractéristiques telles

- altitude 20 - 22 000 m,
 - masse totale 150 tonnes,
 - masse embarquée 30 tonnes.

qu'il permet d'obtenir des performances nettement supérieures à celles obtenues avec les véhicules déjà cités. Le tableau n°1 présente une

comparaison de ces différents systèmes.

Tableau n°1

Performances	Masse totale	Masse utile	Altitude d'arc	Pointage	parc unitaire	coût véhicule	$\Delta\lambda$	μ
Ballon libre	1	0,500	40	60"	> 500'	0,5MF	0,2-10 ⁵	
Fusées	2	0,1 0,3	>80 :	60"	5' à 20'	3 MF	0 - ∞	
Satellites	2	0,4 0,5	>400	60"	20' 40'	400MF	0 - ∞	
Pégase	150	30	22	0,1"	> 500'	30MF	0,3-10 ⁵	
								à 50MF

Ajoutons à cela que le projet Pégase peut être soit un observatoire automatique, soit emmener des observateurs. Il est réutilisable après chaque mission et ceci sur au moins une décennie.

Signalons enfin que l'intérêt d'une telle plate-forme en tant que base disponible à des fins multiples a suscité le financement de son étude de fiabilité par une action concertée des organismes suivants :

- INAG
- CNES
- CNET
- ORTF
- DATAR

Cette étude de fiabilité a débuté en juillet 1970 et se continue actuellement dans le cadre d'une étude d'avant-projet.

La plate-forme Pégase est constituée par un ballon dirigeable de forme lenticulaire sur la face supérieure duquel serait installé l'observatoire. Ses caractéristiques principales sont présentés sur le tableau n°2.

Tableau n°2

:	Volume	$3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$:
:	Diamètre	300 m	:
:	Hauteur	75 m	:
:	Masse totale	150 tonnes	:
:	Charge utile	30 tonnes	:
:	Altitude	20-22 km	:
:	Autonomie	quelques semaines	:
:	Période d'utilisation	avril-novembre	:
:	en France		:

la transmission atmosphérique est excellente dans tout l'IR au dessus de 15 000 m.

Le cycle d'utilisation de la plate-forme serait le suivant :

- l'engin dérive pendant la phase d'observation à haute altitude (vitesse nulle par rapport à l'air),
- puis après une descente vers 10 000 m revient à son point initial en utilisant un système propulsif de type classique: moteur à piston + hélice - turbopropulseur, ...

Conditions d'observations.

Le principe d'utilisation de la plateforme joint aux caractéristiques de celle-ci conduit aux conditions d'observation optique suivantes :

- domaine spectral $0,3 - 10^5 \mu$
- scintillation pratiquement nulle
- fond de ciel réduit à la luminescence du ciel nocturne
- dimension tache image \sim télescope + pointage
 $> 0,2''$ d'arc
- durée annuelle d'observation $\sim 4 000 \text{ h}$

Notons que du fait de la réduction de la tache image d'un facteur 5 à fond de ciel équivalent à celui du sol la magnitude équivalente est $m \sim 25-26$ en dehors de ϕ auroraux il est possible de gagner un facteur 40 sur le temps de pose.

Le débattement du pointage fin du télescope est $\pm 1,5^\circ$ sans voir les bords de l'avion.

La partie suspendue formée du télescope et la chambre d'expérience sont asservies. L'asservissement permettra en premier lieu un pointage à une précision de 1' d'arc, et par la suite de 20" d'arc.

Le poids de l'expérience peut atteindre 20 kg.

Trois expérimentateurs peuvent être à bord avec leur matériel électronique de labo qui peut atteindre 250 kg.

POSSIBILITES d'OBSERVATION EN AVION

Khelil Hammal

Groupe Infra-Rouge Spatial

Des observations I.R. sans fenêtre seront possibles dans un délai très proche (octobre 1972) à partir de la Caravelle (en attendant la possibilité d'utiliser le Mystère 20 dont la souplesse sera bien plus grande).

L'avion Caravelle.

L'avion Caravelle peut voler entre 35 000 et 39 000 ft (41 000 exceptionnellement) ce qui correspond à une altitude de 11 à 13 km environ, ceci pour un temps d'observation égal à 3 heures à la vitesse de 350 à 425 Kt (capacité de vol de l'avion est de 4h30).

Les heures de vol de mise au point sont gratuites.

Le coût d'une heure d'observation est 13 KF.

Le télescope embarqué.

Le télescope installé à bord de l'avion est un Cassegrain et il a les caractéristiques suivantes :

Primaire Ø : 320 mm - f = 70 cm $\lambda/4$ en zéro dur

Secondaire à $\lambda/4$ en Béryllium

Surface dorées

La focale équivalente F = 2,45 m; champ du télescope = 0.75°
au foyer

Deux montages sont réalisés pour le secondaire, permettant l'élimination du fond du ciel :

- un secondaire avec un miroir tournant asservi (vitesse limite 110 Hz)

- un secondaire avec un miroir vibrant

L'angle de visée du puits du télescope est

- en site $30^\circ \pm 4^\circ$

- en azimuth $\pm 4^\circ$

AUTRES PROJETS : AVION C 141

L'avion C 141 de la NASA offre les possibilités suivantes :

vol à 40 000 pieds (12,2 km) pendant 8h5

ou vol à 45 000 pieds (13,7 km) pendant 4h

Ceci avec une charge utile très grande.

Le télescope embarqué a pour diamètre Ø : 90 cm, et pour précision de pointage de 10 arc sec jusqu'à 3 arc sec en vol avec un vent calme. L'axe de visée du télescope peut varier entre 35° à 75° en site. Le trackeur tout en ayant un champ de 8° permet de voir des étoiles de magnitude 13.

L'avion commencera ses vols pour des visées astronomiques au courant de l'année 1973. Le groupe I.R.S. Meudon a proposé l'expérience "Gaz Interstellaire" sous la responsabilité scientifique de J.P. BALUTEAU.

Les chercheurs intéressés peuvent s'adresser au groupe I.R.S. pour plus d'information.

PROCESSUS d'EMISSION IR

On est arrivé au choix des objets suivants :

- centre galactique
 - Orion
 - η Car

pouvant permettre l'espérance de résoudre certains problèmes :

- étude de poussières : spectroscopie à basse résolution (2μ - 500μ).
 - choix entre divers modèles proposés pour le rayonnement IR du centre galactique :
 - 1) obtention d'un spectre à basse résolution de 1μ à 1 cm, spécialement les points à $\lambda > 70\mu$.
 - 2) préparation spatiale des sources émettrices par imagerie IR.
 - amélioration des connaissances physiques (abondance, Te, Ne) dans la matière interstellaire par spectroscopie à haute résolution
 - observation des raies de structure fine atomiques S IV, Ne II, O III, ...
 - observation des raies moléculaires (H_2 , CO, OH).
 - prolongement de la loi de rougissement interstellaire (comparaison free-free IR au free-free radio).
 - test de théories de l'émission maser OH, H_2O (spectroscopie à haute résolution sur les raies moléculaires).

Directions de recherche à développer :

- théorique étude de la molécule CO dans le cas non ETL
 - semi théorique (étude des poussières au labo)
 - technique
 - a. détection hétérodyne (profil de la raie $10,5 \mu$ de S IV à l'aide d'un laser à CO_2)
 - b. interférométrie à grande base à 10μ

Groupes

→ Bordeaux	interférométrie millimétrique
Meudon	IRS
	a. spectroscopie basse résolution 20 μ \rightarrow 1 mm (avion)
	b. spectroscopie haute résolution 8 μ à 1 mm (sol + avion)
Meudon	Gay
	a. héterodyne 10 μ
	b. imagerie
Lyon	1 à 3 μ (sol IJHKL)
Caméra électronique IR	0,8 μ à 1,2 μ
+ spectro IR	même domaine

Programmes d'appoint.

Détection des noyaux de galaxies (5 μ - 10 μ \rightarrow 300 μ)

Monitoring des sources IR variables (noyaux de Seyfert à 10 μ).

TESTS DE CONTRACTION

Le problème posé était : comment peut-on déterminer si une étoile située à droite de la séquence principale est dans la phase de contraction ou bien dans la phase géante?

c'est-à-dire

Comment détecter la présence d'une enveloppe en contraction?

a) Dans l'enveloppe se forment des raies en émission, à distinguer des raies chromosphériques. Pour s'assurer de la contraction il faut un déplacement violet.

ex.: des profils P Cygni inversés ont été observés dans O₁ Ori C (CONTI) et dans les T Tau à excès d'UV du genre Y Y Ori (WALKER).

Mais peut-on dire que le profil P Cygni inversé est un critère d'enveloppe en contraction à lui tout seul?

Pour observer les raies du gaz en contraction il faut que la région de formation soit en contraction. Cette phase est très rapide. On a donc peu de chances de la voir. Par contre on peut voir pendant plus longtemps l'enveloppe de poussière.

Peut-on espérer voir le déplacement vers le bleu des bandes des silicates ? (au voisinage de 10 μ).

b) Recherche du continu de l'enveloppe.

Excès d'IR

Rechercher dans le survey à 2.2 μ les objets à excès d'IR en portant R - I en fonction de K.

Excès d'UV STROM and al. dans NGC 2264.

c) Peut-on associer la variabilité erratique à la contraction?

ex.: T. Tau, P Cyg, FU Or sont variables.

→ rechercher les étoiles en contraction par des photos Schmidt dans le rouge au blink.

d) Rechercher la jeunesse par l'association à une région de formation récente d'étoiles.

- relation rougissement - luminosité
- présence d'objets très jeunes étoiles IR, T Tau que l'on peut rechercher par photo au voisinage de 1 μ .
- présence d'absorption interstellaire.

Conclusion : pas de programme immédiatement en vue où possibilité d'une compétitivité.

Groupe FORMATION DES ETOILES

-1- Zones intéressantes.

Régions denses en général.

H II compactes (étoiles massives).

Globules de Bok ?

Nébuleuse d'Orion émissive en IR.

Objets particuliers : DR 21, W3, W49, NGC 2264, K 350, (S 158), NGC 2175.

A compléter par un fichier.

-2- Domaine de longueur d'onde.

- $1\mu < \lambda < 100\mu$
- 1720 MHz = critère protoétoile massive.
- \neq raies susceptibles de fournir des valeurs précises de la densité (en particulier élevée) (O III), S II, S IV dans le visible ou l'IR.

-3- Techniques IR envisagées.

- Plaques Z ou I N à la limite de l'intéressant difficile à mettre en oeuvre (à voir).
Grand Schmidt OHP
- Caméra IR mais limitée à $1,2 \mu$ et à 5' de champ
 \Rightarrow réducteur d'image.
- Tube image IR BALASKOVIC prendra contact avec M. CHOPINET ou Robert DUPLAT pour voir si essayable d'ici six mois.
- Utilisation de l'avion pour détecter les nuages de poussière froids dans le domaine $25 \rightarrow 100\mu$.
- Interférométrie pour les objets de petit diamètre (projet à long terme motivé par les données théoriques).

-4- Projet de travail immédiat.

a) Sélection de régions favorables tant théoriquement qu'observationnellement.

- réalisation d'un fichier opérationnel (centralisation de divers fichiers existants).
- choix des critères d'observabilité et d'intérêt théorique.

b) Coordination des \neq techniques françaises d'observation sur les objets jugés intéressants.

{ IR
Radio
{ OH

ETOILES FROIDES et PLANETES

HAUTE RESOLUTION

1) Etoiles froides.

Les possibilités d'observation à haute résolution ($R \approx 10^5$) de $0,9 \mu$ à $2,5 \mu$ avec l'interféromètre du laboratoire Aimé COTTON type III associé au télescope de 193 cm de l'OHP sont, pour l'immediat suffisantes pour alimenter les travaux des astronomes travaillant sur les atmosphères des étoiles froides.

Il reste souhaitable d'étendre le domaine spectral à la fenêtre de 5μ où se trouvent les bandes fondamentales de CO et de CN.

2) Planètes.

Dans le domaine spectral $0,9 - 2,5 \mu$ l'instrumentation actuelle permet de satisfaire les besoins de l'équipe "Planètes". Une extension du domaine spectral à la fenêtre des 5μ serait intéressante pour étudier les composants mineurs des atmosphères de Jupiter et de Saturne.

BASSE RESOLUTION

1) Etoiles froides.

Les possibilités de l'association télescope de 76 cm du Jungfraujoch - interféromètre de l'ONERA sont pratiquement épuisées par les missions effectuées. Il faut pour l'avenir utiliser cet interféromètre dans un bon site infrarouge avec un télescope d'au moins 2 m.

2) Planètes.

Un programme à basse résolution a été commencé dans le domaine $8 - 12 \mu$. Le problème de la compensation du fond de ciel est la limitation principale.

Pour les planètes les sites actuels (Saint-Michel, Jungfraujoch) permettent de réaliser les programmes en cours.

Pour les observations futures à 5μ et à haute résolution un site en altitude et un grand télescope sont nécessaires.

L'accroissement de la magnitude limité à la résolution de 100 000 que permettra le collecteur de 4,20 m de Meudon est essentiel pour les travaux à venir sur les étoiles froides.

OBSERVATIONS INFRAROUGES ET RADIONEUTRALES DES ETOILES EVOLUÉES A ENVELOPES

A. BAUDRY

Le Colloque infrarouge au sol de Lyon a mis en évidence la nécessité d'un effort concerté des radioastronomes et des "infrarouges" en ce qui concerne l'étude de certaines étoiles évoluées à émission OH.

Les données de l'observation radio.

L'observation radio à $\lambda \approx 18$ cm permet de distinguer 2 grandes classes d'étoiles infrarouges (i.r.)/ OH, de type spectral avancé et presque toujours variables à longue période :

- 22 étoiles (dites de type III) dont l'émission prépondérante à 1612 MHz est concentrée en 2 groupes de vitesses distants de 30 à 40 Km/s environ.
- Une deuxième classe d'objets dont le nombre s'accroît (Nancay) (type I) émettant sur 1665/67 MHz, en deux groupes de vitesses distants de seulement 10 Km/s environ.

Dans les deux cas, les rapports d'intensités des 4 raies sont très éloignés de ceux calculés pour l'équilibre thermodynamique.

Propriétés infrarouges.

Si la présence d'une enveloppe de poussière ne paraît pas toujours suffisante pour déterminer une émission OH, par contre l'épaisseur de cette enveloppe tend à indiquer si l'émission 18 cm doit se faire sur les raies principales ou à 1612 MHz. En effet l'indice de couleur I - K, reliable à l'épaisseur de l'enveloppe, est significativement plus élevé pour les sources de type II que pour les sources de type I ($I - K \approx 6,4$ pour le type II, et $I - K \approx 4$ à 5 pour le type I). De plus, l'étendue spectrale de l'émission OH moins grande pour le type I, paraît indiquer un taux d'éjection de matière plus faible (et donc une enveloppe moins épaisse) que pour le type II; ce point est d'ailleurs confirmé par une corrélation, indice de couleur i.r. / ΔV_{radial} (OH).

Tout récemment, plusieurs nouvelles étoiles (émetteurs à 1665/67 MHz) viennent d'être détectées à Nancay, s'ajoutant aux six précédemment connues de type I. Une étude i.r. analogue à celle entreprise pour les étoiles i.r. / OH de type II paraît nécessaire pour une compréhension d'ensemble des objets de type I. Une photométrie à larges bandes jusqu'à 20 μ doit permettre de préciser les nouvelles Miras à émission OH de Nancay ont une enveloppe ténue.

Processus d'excitation des Masers OH.

C'est un des problèmes fondamentaux de l'étude des sources i.r. / OH. Approches observationnelles possibles : recherche d'une corrélation entre les variations temporelles des flux i.r. et radio, et mise en évidence par détection directe du flux excitateur de OH.

Les Masers de type II : le pompage par le proche i.r. de LITVAK peut, pour une épaisseur optique convenable, expliquer l'inversion de population entre les niveaux F = 1 et 2 de la transition 1612 MHz. Aucun test expérimental direct n'a été tenté pour ce mécanisme de pompage par le flux à 2,8 μ . Huit objets de type stellaire d'après leur émission radio typique de la classe II n'ont pas d'étoile i.r. associée. Leur recherche, en photométrie i.r., est actuellement possible puisque l'on dispose aujourd'hui

de positions radio précises.

Les Maser de type I : les premiers objets de ce type possèdent tous des molécules H₂O décelables soit par leur émission radio à 1,35 cm soit par des bandes d'absorption i.r. (2,8). Puisque le mécanisme proposé par Litvak n'explique pas l'émission prépondérante sur les raies principales, les molécules H₂O pourraient être à l'origine de l'excitation de OH. Deux mécanismes ont jusqu'ici été avancés, l'un par coïncidence des niveaux de OH et H₂O une excitation de OH; l'autre est purement collisionnel H₂O + H Energie OH* + 2H. Les molécules OH excitées (OH*) se désexcitant en émettant un rayonnement à 84 et 126 cm⁻¹, peut être observable directement à 84 cm⁻¹ (observations avion).

Dans ce contexte, il paraît urgent de savoir si les nouvelles étoiles de type I découvertes à Nancay émettent à 1,35 cm (H₂O) : coïncidence des vitesses radiales de OH et H₂O (?), position interférométrique des points émissifs.

Projet d'action coordonnée.

Les récentes découvertes faites à Nancay et les instruments infrarouges français actuellement disponibles doivent permettre une action coordonnée:

- pour l'étude des objets i.r. / OH de type I : photométrie jusqu'à 20 μ, corrélation des flux i.r. et radio, recherche des molécules d'eau.
- pour la recherche photométrique des étoiles i.r. associées aux émissions OH à 1612 MHz (rien ne paraît encore tenté dans cette direction).

Notons que pour ces observations un soutien peut être fourni par la physique fondamentale puisqu'une nouvelle R.C.P. (n° 272) axée sur l'étude de OH au laboratoire vient d'être créée à Bordeaux.

OCA Nice Mont-Gros



OCA-NI-011163