

# 14TH INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY

Commission N° VII  
Working group n° G.VII/5  
Type de papier : Communication

Magdeleine DINGUIRARD - J.M.MAISONNEUVE  
Département d'Etudes et de Recherches en Optique  
O.N.E.R.A.-C.E.R.T.  
TOULOUSE (France)

*"Capteur solaire à fibres optiques pour l'étalonnage en vol d'un instrument de prise de vue embarqué sur le satellite SPOT"*

## SOMMAIRE :

Le soleil a été choisi comme source externe d'étalonnage de la caméra H.R.V. développée par le Centre National d'Etudes Spatiales (C.N.E.S.)

Un capteur à fibres a été étudié pour projeter sur les détecteurs un éclairage connu avec précision.

Ce capteur se compose :

- d'une boule disposant des fibres en bouquet de façon à capter le soleil quelle que soit la saison,
- d'un dispositif de couplage des modes de propagation des fibres,
- d'un dispositif de rangement des fibres en lignes
- d'un câble optique assurant la liaison entre les différents dispositifs

On étudie les problèmes théoriques et technologiques que pose le développement d'un tel capteur.

## ABSTRACT

To realize the in-flight calibration of the push-broom remote sensing camera (H.R.V.) developed by the French National Space Center (C.N.E.S) the sun has been chosen as a radiometric reference.

An optical fibers device has been studied to project a reference illumination on the detectors.

This device is composed of :

- a sphere where fibers are equally disposed so that they catch the sun whatever the season may be
- a fibers mode coupling device
- a linear fibers array
- an optical cable to connect the different devices.

## INTRODUCTION

Un système à fibres optiques est prévu pour utiliser le soleil en tant que source primaire d'étalonnage en vol de la caméra haute résolution (HRV) embarquée sur le satellite SPOT du Centre National d'Etudes Spatiales.

La caméra observe dans trois bandes spectrales allant de 0,5 à 0,9  $\mu\text{m}$  à l'aide de barrettes linéaires d'éléments photosensibles au silicium appelés C.C.D (Charge Coupled Devices). Dans le plan focal du télescope, ces barrettes sont optiquement confondues de façon à réaliser une ligne continue de 6.000 détecteurs élémentaires. Une quatrième voie panchromatique (0,5-0,9 $\mu\text{m}$ ) est séparée spatialement des trois autres.

Les détecteurs étant indépendants, il est nécessaire de les étalonner les uns par rapport aux autres. Ceci sera réalisé en vol par un dispositif interne à lampe qui éclairera uniformément tous les détecteurs. Le vieillissement de cette lampe n'étant pas connu actuellement avec précision, on n'est pas assuré de disposer à bord d'une référence radiométrique précise sur toute la durée de vie du satellite (2 ans). Il a donc été prévu de réaliser le réétalonnage spectral et absolu de la lampe à l'aide du soleil en n'utilisant que quelques détecteurs de la caméra comme référence.

Pour ce faire, on a envisagé un système à fibres optiques qui amène l'éclairement solaire sur les détecteurs quelle que soit la position du soleil par rapport à l'instrument quand le satellite est en sortie d'éclipse.

Ce système comportera, côté soleil, des fibres réparties sur une portion de sphère appelée "boule" dont les normales aux faces d'entrées de deux fibres voisines font un angle constant. A l'autre extrémité, ces fibres seront ordonnées suivant deux nappes que l'on placera au foyer de l'optique du boîtier d'étalonnage, de façon à ce que le plan image de la face de sortie des fibres coïncide avec le plan des détecteurs. A chaque direction de fibre on associera au minimum deux fibres (une par nappe). Ainsi, quelle que soit la position du soleil, il y aura un groupe de détecteurs éclairés dans les quatre voies (au minimum 10 éléments de 13  $\mu\text{m}$ ).

### 1. POSITION DU SOLEIL PAR RAPPORT AU SATELLITE

Afin d'éviter tout problème de lumière parasite, l'idéal est de calibrer en entrée ou en sortie d'éclipse quand l'instrument est au dessus d'une zone non éclairée ; c'est à dire quand la direction solaire se situe dans la par-

tie hachurée du schéma 1.

En considérant que l'instrument peut "voir" de la lumière parasite avec un angle de vue de  $40^\circ$  et que son altitude moyenne est de 822 km, on obtient les valeurs suivantes :

$$\begin{aligned}\theta_1 &= 64^\circ \\ \theta_2 &= 83^\circ\end{aligned}$$

Parrapport au trièdre Z, Y, Z du satellite ( $\vec{X}$  est opposé au tangage,  $\vec{Z}$  suivant la verticale locale dans la direction opposée au centre de la terre,  $\vec{Y}$  complète le trièdre direct), le soleil décrit, au cours d'une orbite, un cône d'axe  $\vec{X}$  et de demi angle au sommet  $\alpha$  fonction de l'heure de synchronisation et de la saison.

Les deux angles  $\alpha$  extrêmes possibles, compte-tenu d'une incertitude d'une demi-heure locale moyenne sont :

$$\alpha_1 = 55^\circ \text{ (heure moyenne au noeud descendant = 10 h en février)}$$

$$\alpha_2 = 81^\circ \text{ (heure moyenne au noeud descendant = 11 h en juin).}$$

Pour pouvoir suivre le soleil quelle que soit la saison, les fibres devront être implantée dans la zone indiquée sur la figure 1 qui sera donc placée sous l'instrument.

La mesure s'effectuera en direct au-dessus de la station de Toulouse en période d'été et le reste du temps, elle pourra s'effectuer au-dessus de la station Suédoise de KIRUNA, ou être enregistrée par l'enregistreur de bord.

## 2. PROBLEMES LIES AU NON COUPLAGE DES MODES DE PROPAGATION DANS LA FIBRE

La longueur des fibres utilisées sera d'environ 3 m. Cette longueur est trop courte pour que tous les modes de propagation de la fibre soient excités. Il y aura donc des modes privilégiés et, par conséquent, des variations de la luminance de sortie  $L(x, y, \theta, \eta)$ , fonctions des conditions d'injection comme l'ont montré des tests réalisés sur de la fibre "toute silice" de la Société Quartz et Silice France (Référence 2).

L'éclairement de la face de sortie des fibres, projeté sur les détecteurs par l'intermédiaire de l'optique du boîtier d'étalonnage et le télescope, devant servir de référence quelle que soit l'incidence solaire à l'entrée de la fibre (entre  $0$  et  $6^\circ$ ), il est nécessaire de réaliser un couplage des modes.

Pour cela, on impose des courbures à la fibre optique à l'aide d'un dispositif spécial, appelé "coupleur", de façon à parvenir à un état d'équilibre des conditions de propagation de l'énergie lumineuse. Ce coupleur doit introduire un minimum de pertes et rester stable dans des conditions d'environnement spatial.

## 3. DESCRIPTION DU DISPOSITIF A FIBRES

Les fibres utilisées seront "toute silice" pour être le moins sensible possible aux radiations. Elles auront un diamètre de coeur de  $200 \mu\text{m}$ .

### 3.1. - IMPLANTATION DES FIBRES

#### 3.1.1 - Côté soleil

Les fibres de chaque barrette seront disposées dans la zone définie par

la figure 1, de façon à ce que, côté soleil, les normales à la face d'entrée des deux fibres correspondant à deux directions de visée voisines fassent un angle constant de  $10^\circ$  (compromis entre les ouvertures numériques disponibles et un nombre limité de fibres).

Environ sept directions sont nécessaires pour que le soleil, quelle que soit sa position par rapport au satellite (dans les conditions sortie d'éclipse et terre à l'ombre), soit "vu" par au moins une fibre sous incidence quasi-normale, au maximum avec une incidence  $i_M$  telle que :

$$\sin i_M = \frac{4}{3} \sin \frac{\theta}{2} ; \quad \theta = 10^\circ \rightarrow i_M = 6^\circ$$

La variation d'incidence au cours des 30 s de mesure sur le soleil sera inférieure à  $2^\circ$ .

Il est prévu de protéger la face d'entrée des fibres entre deux mesures par un capot amovible, afin d'éviter tout problème de pollution.

3.1.2 - Côté détecteurs, les fibres seront ordonnées en nappes.

Dans le plan focal de l'instrument, il est nécessaire que 10 détecteurs au moins soient éclairés. Compte tenu des tolérances mécaniques de l'instrument, il faudra associer quatre fibres par direction solaire et par nappe pour être sûr de couvrir les dix détecteurs (figure 2).

Les centres des fibres groupés par sept seront alignés à  $5 \mu\text{m}$  près et pour éviter les problèmes de défocalisation, les fibres seront coplanaires à  $5 \mu\text{m}$  près.

### 3.2 - LIAISON BOULE - NAPPES

Le boîtier de calibration étant de dimension trop importante pour pouvoir se placer sous l'instrument, un câble optique sera nécessaire pour amener les fibres de la boule au boîtier de calibration.

### 3.3 - COUPLEURS

Actuellement, une étude est en cours pour réaliser des coupleurs modulaires de dimension réduite qui se placeront sur le boîtier d'étalonnage au-dessus de l'arrangement en nappes des fibres.

La figure 3 schématise les divers composants du dispositif.

## 4. SPECIFICATIONS RADIOMETRIQUES

L'éclairement obtenu dans le plan focal des détecteurs sera situé en haut de dynamique des C.C.D. Soit, pour une ouverture numérique des fibres de 0,17

Bandes spectrales

	B1 (0,51-0,59 $\mu\text{m}$ )	B2 (0,61-0,69 $\mu\text{m}$ )	B3 (0,79-0,90 $\mu\text{m}$ )	P (0,50-0,90 $\mu\text{m}$ )
E(W/m <sup>2</sup> )	0,50	0,43	0,39	1,23

Cet éclairement sera connu avec une précision de 10% en absolu sur les deux ans de durée de vie à partir d'un étalonnage au sol.

## CONCLUSION

L'étalonnage sur le soleil est prévu à la fréquence d'une fois par mois, et servira donc de référence radiométrique pour la lampe embarquée.

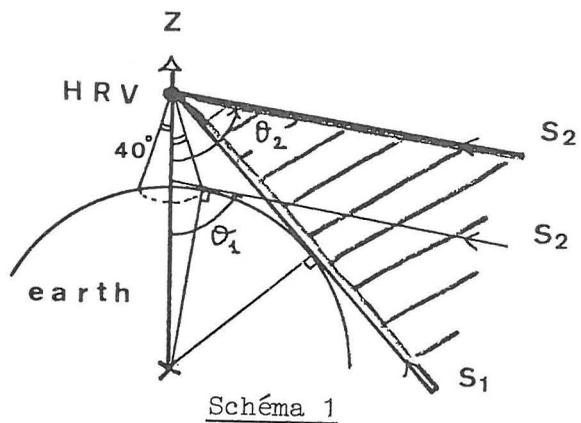
Durant toute la durée de vie du satellite, soit deux ans, le dispositif à fibres devra donc fournir, dans le plan des détecteurs, un éclairement connu à 10% près en absolu et à 3% en relatif entre les différentes bandes spectrales.

Actuellement, l'étude se poursuit à la compagnie BERTIN-Aix en Provence, pour développer le dispositif, notamment le coupleur, et pour adapter l'ouverture des fibres afin que l'éclairement reste stable quand l'incidence solaire varie entre 0 et 6°.

Les composants utilisés seront des composants disponibles sur le marché (pas de fabrication spéciales) qui auront présenté une bonne fiabilité en environnement spatial.

## BIBLIOGRAPHIE

1. Etude de dispositifs de calibration en vol de la caméra H.R.V.  
J.M.MAISONNEUVE - M.DINGUIRARD  
Rapport ONERA-CERT 5/6047 - Octobre 1978 - Convention 78/CNES/0524
2. Dispositif d'étalonnage en vol de la caméra H.R.V.  
J.M.MAISONNEUVE - M.DINGUIRARD - B.DUCHENNE  
Rapport ONERA-CERT 3/6056 - Novembre 1979 - Convention 79/CNES/716



$$\theta_1 = 64^\circ$$

$$\theta_2 = 83^\circ$$

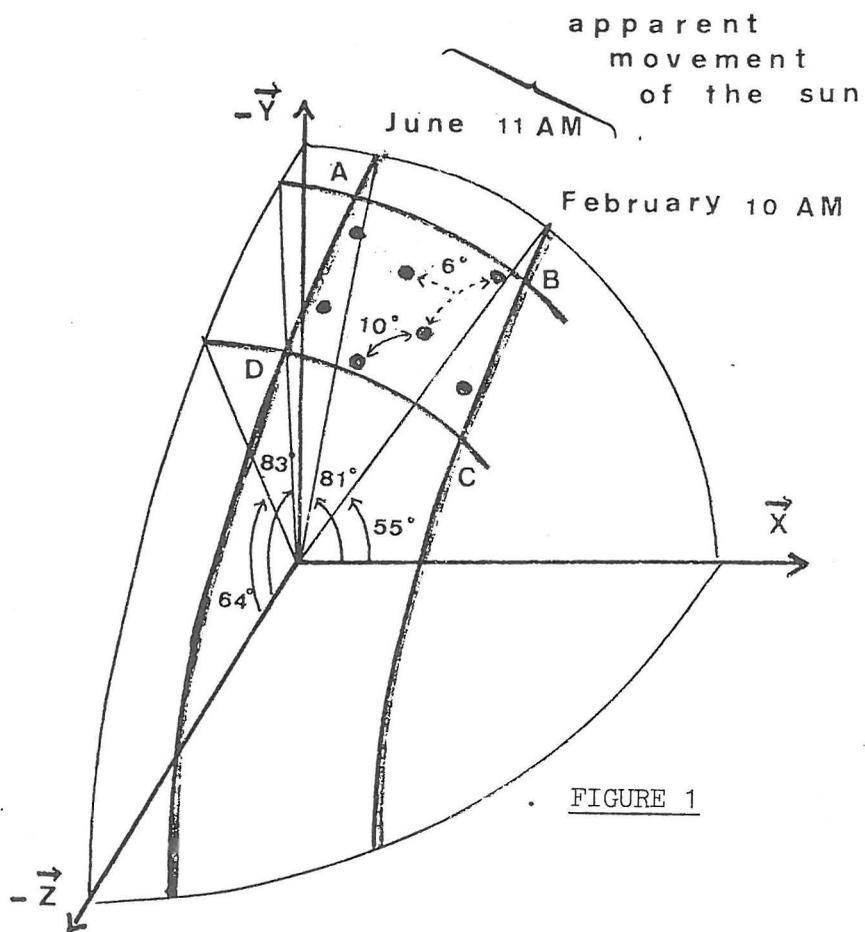
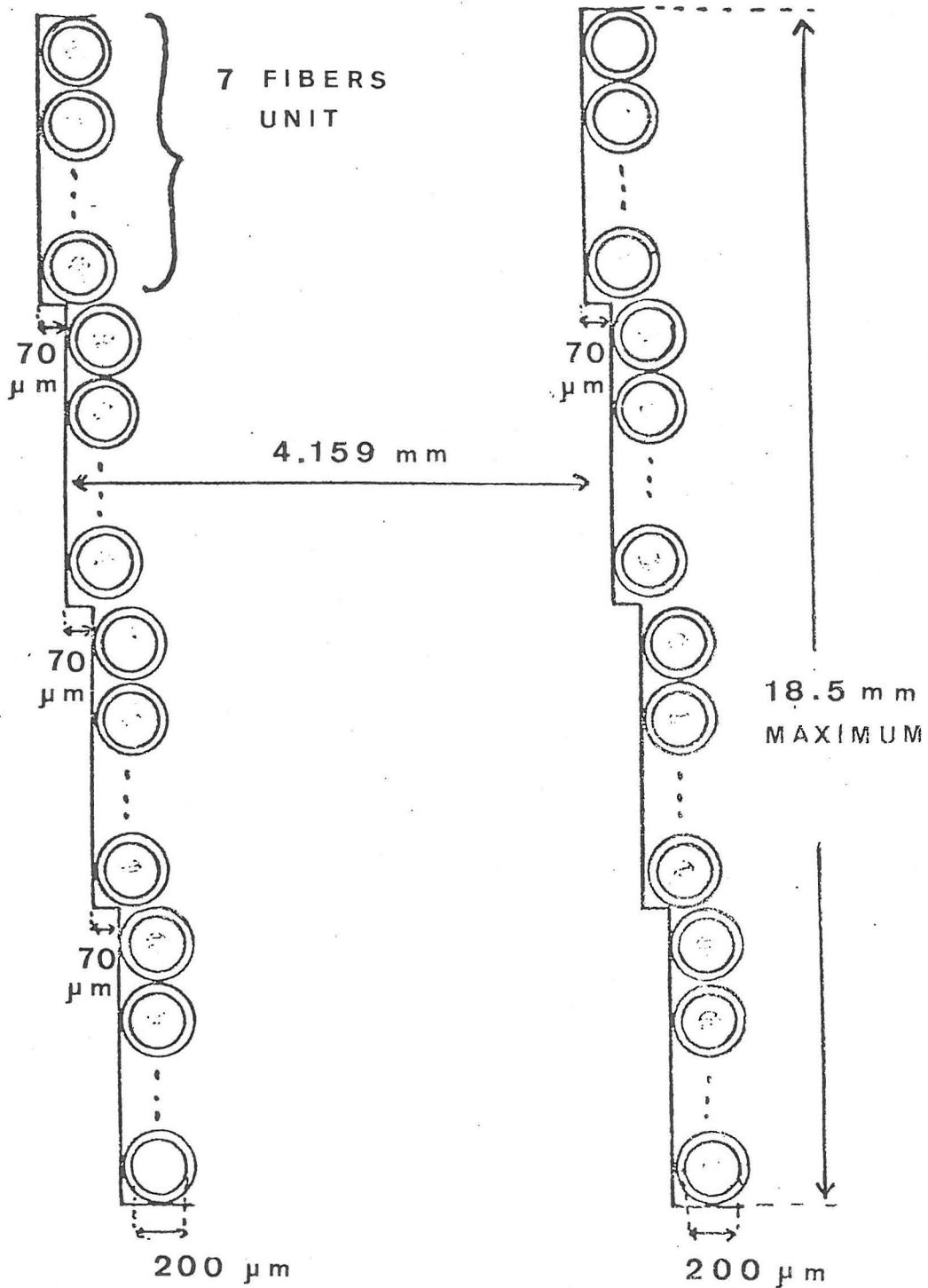


FIGURE 2 : Optical fibers ends arrangement in the calibration box focal plane



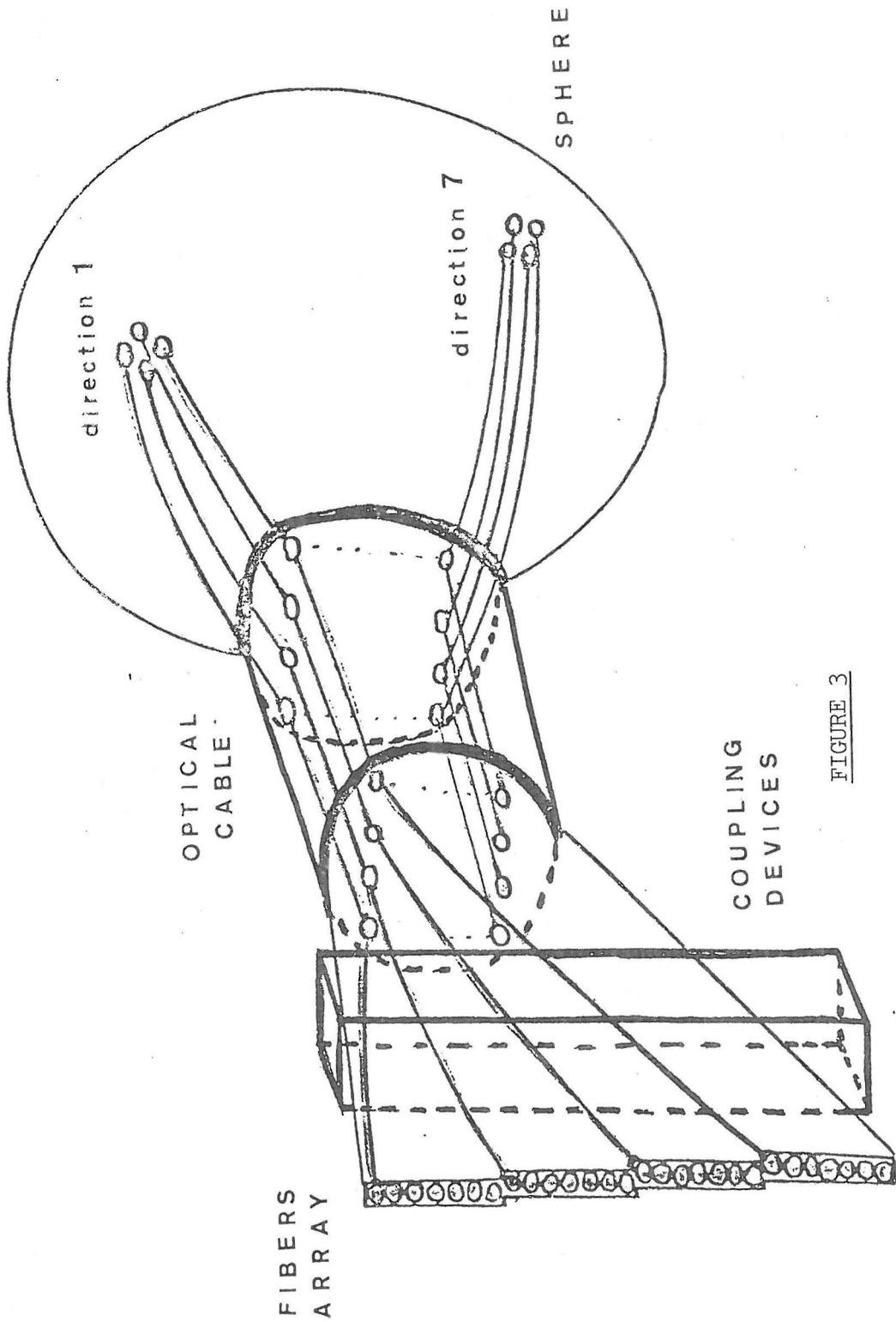


FIGURE 3