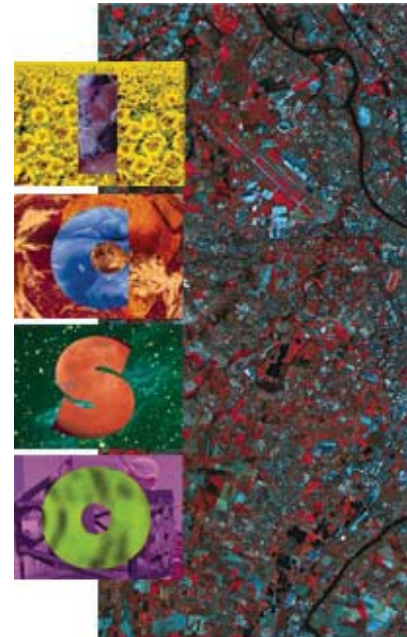


International Conference on Space Optics—ICSO 2000

Toulouse Labège, France

5–7 December 2000

Edited by George Otrio



Conception d'instrument pour une mission d'observation haute resolution et grand champ

*Jean-Philippe Fayret, Catherine Gaudin-Delrieu,
Jean-Luc Lamard, Christophe Devilliers,*



ics0 proceedings



CONCEPTION D'INSTRUMENT POUR UNE MISSION D'OBSERVATION HAUTE
RESOLUTION ET GRAND CHAMP

Jean-Philippe FAYRET (1), Catherine GAUDIN-DELRIEU (1), Jean-Luc LAMARD (1),
Christophe DEVILLIERS (1), Vincent COSTES (2)

(1) ALCATEL SPACE INDUSTRIES, 100 Bd. du Midi, 06156 Cannes la Bocca - France

(2) CNES, Centre de Toulouse, 18 Avenue E. Belin, 31401 Toulouse Cedex 4 - France

ABSTRACT - *The future Earth observation missions aim at delivering images with a high resolution and a large field of view. The PLEIADES mission, coming after the SPOT satellites, lead to enhance the resolution to submetric values with a swath over 20km. Panchromatic and multispectral images will be proposed. Starting with the mission requirements elaborated by the CNES, Alcatel Space Industries has conducted a study to identify the instrument concepts most suited to comply with these performance. In addition, to minimise the development costs, a mini satellite approach has been selected, leading to a compact concept for the instrument design. During the study, various detection techniques and the associated detectors have been investigated from classical pushbroom to supermode acquisition modes. For each of these options, different optical lay-outs were proposed and evaluated with respect to performance as well as interfaces requirements. Optical performance, mechanical design constraints and manufacturing processes were taken into account to assess the performances of the various solutions. Eventually the most promising concept was selected and a preliminary design study performed. This concept, based on a Korsch optical scheme associated with TDI detectors, complies with the mission requirements and allows for a wide number of possibilities of accommodation with a mini-satellite class platform.*

1. INTRODUCTION

Les futures missions d'observation de la Terre définies par le CNES à la suite des missions SPOT sont caractérisées par des objectifs ambitieux vis à vis des performances recherchées.

En particulier la résolution spatiale visée est inférieure au mètre alors que SPOT reste dans une classe de 3 à 5 mètres. De plus le besoin d'un champ important (supérieur à 20km) est identifié pour conserver des capacités de couverture importante sur des zones étendues. Enfin, pour permettre un grand nombre d'applications thématiques des images acquises, les capacités de prises de vues doivent couvrir la bande visible (PANCHROMATIQUE) ainsi que des bandes multi-spectrales dans cette bande visible et dans le proche infrarouge.

Ces besoins nouveaux posent la question du concept instrumental le plus adapté pour les satisfaire, tant au niveau de la combinaison optique que de l'architecture générale de l'instrument. En effet les satellites PLEIADES doivent être compatibles des mini-lanceurs afin de minimiser les coûts du système. Ceci se

traduit naturellement au niveau de l'instrument par des contraintes fortes au niveau de l'encombrement (et donc de la taille de la pupille) et de la masse.

2. SOLUTIONS ENVISAGEABLES POUR LA DETECTION

2.1 Solutions à balayage (Pushbroom)

Dans la continuité des missions SPOT, la première technique envisagée consiste à utiliser un détecteur barrette CCD en balayage. Les barrettes CCD ATMEL sont envisageables ; elles présentent des pas pixels de $6.5\mu\text{m}$ pour des barrettes de 12000 points.

Cette solution technique conduit à une première classe d'instruments caractérisés par une focale courte (typiquement 4 à 5 mètres) en raison du faible pas pixel.

De plus la vitesse de balayage de la scène conduit à une performance radiométrique faible si la pupille de l'instrument n'est pas de grand diamètre. Ceci peut être compensé en partie par un ralenti sur image afin d'augmenter le temps de pause.

2.2 Solutions à TDI

Afin de s'affranchir de cette limitation de la performance radiométrique, une solution à TDI (Time Delay Integration) est envisageable. Dans ce cas une optimisation globale peut être effectuée entre le nombre de lignes TDI et la dimension de la pupille, et donc la masse et le volume de l'instrument.

Les produits disponibles sont des détecteurs ayant des pixels de 13 à $15\mu\text{m}$. Ceci définit une seconde famille de combinaisons optiques ayant des focales longues (dans un rapport 2 par rapport aux solutions à barrettes).

3. COMBINAISONS OPTIQUES ENVISAGEES

3.1 Combinaisons à focale courte

Les combinaisons optiques à focale courte envisagées sont les suivantes :

- Korsch centré
- Korsch Off-Axis (ou TMA à image intermédiaire)
- Les TMA (Three Mirrors Anastigmat)

ces différentes solutions ont été étudiées et optimisées avec les moyens d'ingénierie d'ALCATEL, dont le logiciel CODE V.

Ces combinaisons optiques sont contraintes par la taille maximale de pupille admissible pour l'emport d'un instrument à bord d'un mini-satellite, à savoir 700 mm de diamètre, mais aussi le volume global qui doit rester de la classe de $1.5\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m}$.

3.1.1 Solution Korsch centré

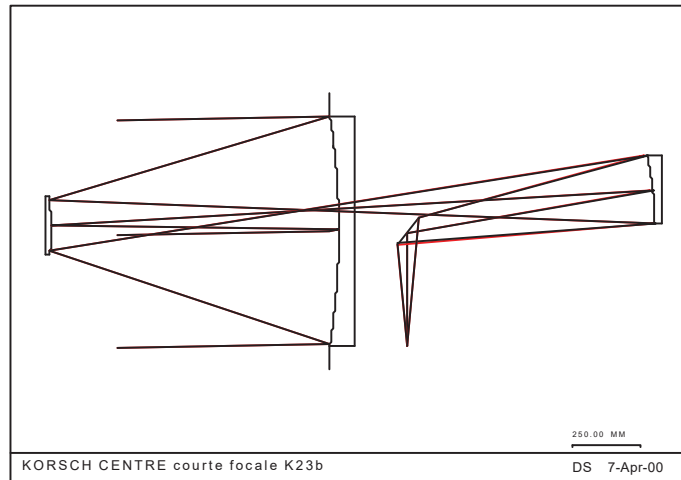


Fig. 1 : Korsch centré courte focale

Cette combinaison est composée de 4 miroirs dont un miroir de repli afin de limiter le volume occupé par l'instrument. Ce volume reste cependant très important, en particulier la longueur de l'instrument qui dépasse 2m.

Enfin, l'ouverture de la combinaison (à F/7) conduit à une très grande sensibilité aux dépositionnements des optiques. Les allocations de stabilité de cette solutions deviennent alors extrêmement contraignantes, typiquement 1 à 2 μm tous effets confondus pour chaque élément optique.

3.1.2 Solution Korsch Off-Axis (ou TMA à image intermédiaire)

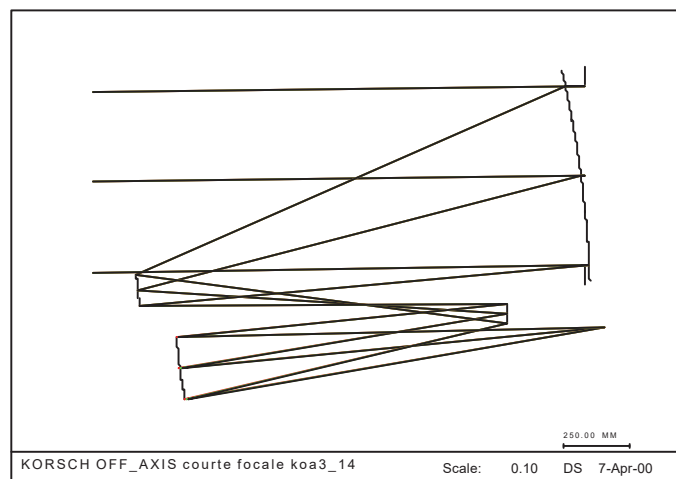


Fig. 2 : Korsch Off-Axis courte focale

Cette combinaison est aussi constituée de 4 miroirs dont 1 miroir de repli. Son volume reste cependant conséquent (1.9m de long par 1.4m de large). La combinaison est sensible aux excentremets mais surtout présente des miroirs hors d'axe difficiles à réaliser afin de limiter sa longueur hors tout.

3.1.3 Solution TMA (Three Mirrors Anastigmat)

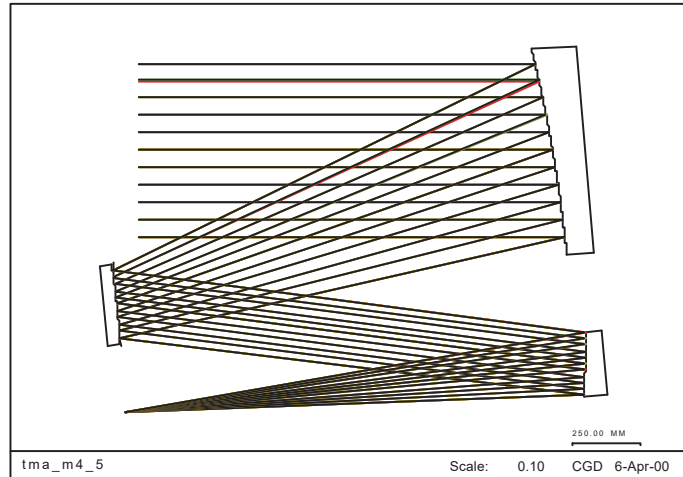


Fig. 3 : TMA courte focale

Cette dernière combinaison est très adaptée pour obtenir des champs importants. Elle se compose de 3 miroirs mais reste très encombrante, la distance M1-M2 restant proche de la moitié de la focale. L'optimisation de cette longueur impose aussi un miroir M1 de très grandes dimensions (0.9m x 0.9m) ce qui est très pénalisant au niveau de la masse.

3.2 Combinaisons à focale longue

Les solutions envisagées sont les suivantes :

- Korsch centré,
- Korsch Off-Axis,
- Cassegrain.

3.2.1 Korsch centré

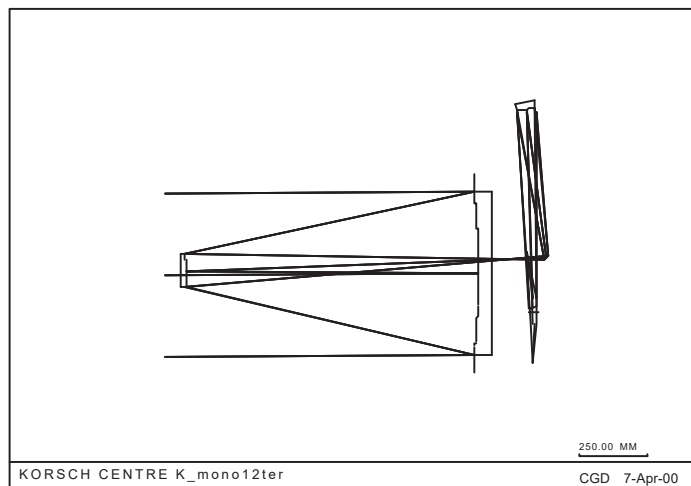


Fig. 4 : Korsch centré focale longue

Cette combinaison optique est composée de 4 miroirs dont un miroir de repli. Elle offre un grand intérêt au niveau de son aménagement, sa faible ouverture permettant un repli aisé des faisceaux à l'arrière du miroir M1.

Son volume reste limité à moins de 1.4m de long et 1 m de diamètre au niveau du point le plus éloigné, à savoir le miroir M3.

Enfin, son ouverture faible conduit à une sensibilité en dépositionnement des optiques de la classe de 10 μ m en focalisation (axe le plus contraignant).

3.2.2 *Korsch Off-Axis*

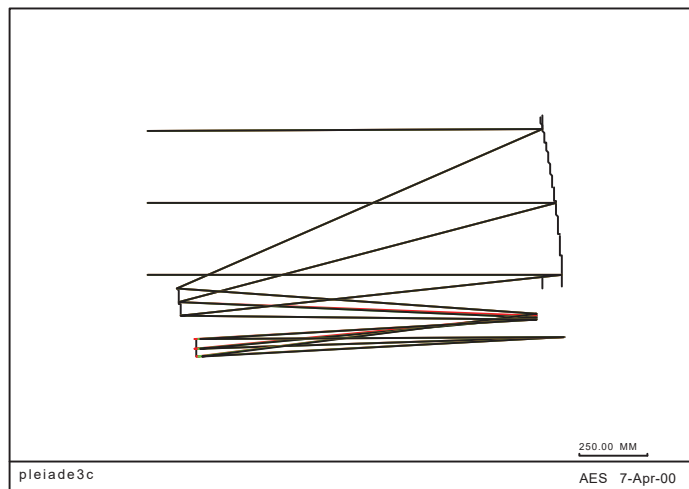


Fig. 5 : Korsch Off-Axis focale longue

Cette solution reprend les principes de la solution à courte focale avec 4 miroirs. Elle reste cependant assez volumineuse, en particulier au niveau de la distance M1-M2 qui doit être supérieure à 1.5m pour conserver un bon niveau de faisabilité du miroir M1.

Elle bénéficie d'une bonne performance optique en raison de son absence d'obturation centrale et sa sensibilité aux excentremets est comparable à celle du Korsch centré présenté ci-dessus.

3.2.3 Cassegrain

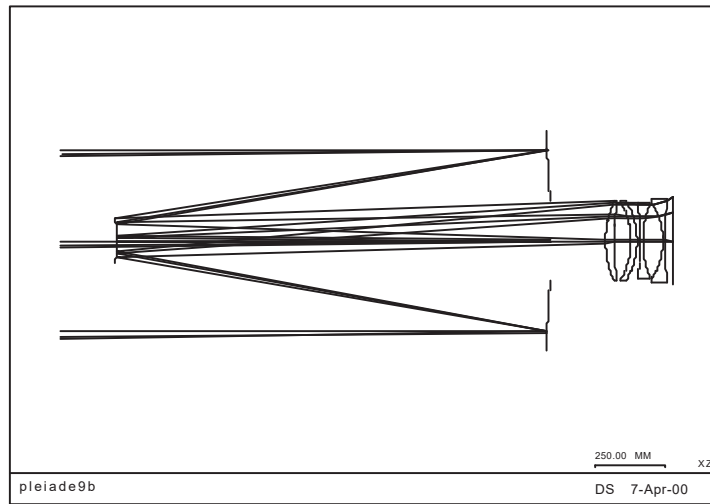


Fig. 6 : Cassegrain focale longue

Cette dernière combinaison envisagée est une solution classique avec un ensemble à miroirs M1-M2 et un correcteur dioptrique à l'arrière du M1.

Cette solution est fortement handicapée par sa forte obturation centrale qui dégrade sa performance optique mais aussi son volume et en particulier une longueur supérieure à 2m.

Notons enfin que la taille du champ conduit à un plan focal de grandes dimensions dont le bafflage vis à vis de la lumière parasite directe sera très complexe.

3.3 Sélection

Le tableau ci-dessous fait la synthèse des solutions étudiées.

Critères	Focale courtes			Focales longues		
	Korsch centré	Korsch Off Axis	TMA	Korsch centré	Korsch Off Axis	Cassegrain
Contrainte mission (ralenti sur image)	-	-	-	+	+	+
Performance optique	-	+	+	-	+	--
Volume	--	-	--	++	+	-
Sensibilité aux dépositionnements	--	-	-	+	+	+
Faisabilité des miroirs	+	-	+	+	-	+
Total	4-	4-	3-	4+	3+	0

La solution retenue est donc le Korsch centré en focale longue.

4. SOLUTIONS TECHNIQUES PROPOSEES POUR L'INSTRUMENT

4.1 Détection

Les contraintes de champ imposées par la mission PLEIADES conduisent afin de réaliser les lignes de détection d'abouter plusieurs détecteurs dans le plan focal. La solution retenue est basée sur des optiques divolis (Diviseurs Optiques de Lignes) à miroirs assurant une projection au sol continue de l'ensemble de la rétine détectrice.

Ce plan focal est associé à une électronique hautement intégrée sur la base du concept SEDHI (Sous-Ensemble de Détection Hautement Intégré) en développement par ALCATEL [Ref 1]. Cette architecture offre l'avantage de compacter significativement les électroniques de mise en œuvre des détecteurs ainsi que les chaînes vidéo, ce qui se traduit par un gain de masse significatif.

L'architecture retenue est présentée par la figure ci-dessous.

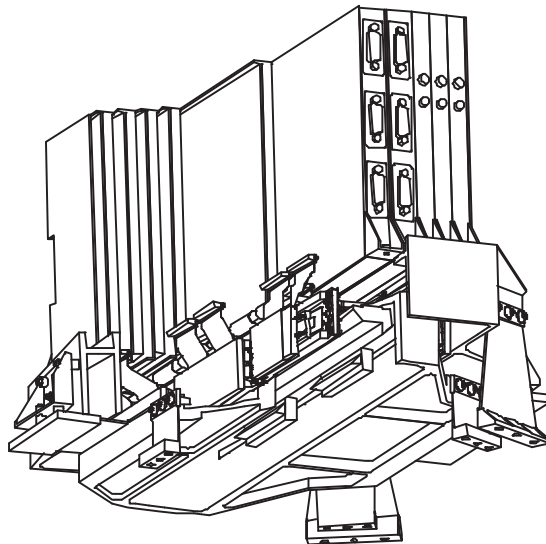


Fig. 7 : Vue du Sous-Ensemble de Détection Hautement Intégré (SEDHI)

On y voit le plan focal avec les détecteurs reliés aux cartes électroniques montées à l'arrière du support.

4.2 Architecture d'ensemble

L'architecture d'ensemble de l'instrument doit satisfaire les contraintes de masse, de volume, de rigidité et de stabilité des éléments optiques.

Les solutions envisagées sont donc basées sur des matériaux structuraux stables à haute stabilité dimensionnelle.

Deux matériaux sont envisageables pour la structure de Pléiades, le SiC et le Carbone/Carbone (voir tableau des principales propriétés). Du fait de la spécificité de chacun des matériaux deux architectures sont proposées :

- Une architecture en carbure de silicium qui présente une très bonne rigidité qui associée à une très bonne conductivité permet de limiter les gradients thermiques dans la structure à condition de disposer néanmoins d'un rapport épaisseur sur longueur suffisant. La masse volumique élevée du SiC le pénalise pour assurer à iso-masse une grande homogénéité de température rendue nécessaire par sa relative importante dilatation thermique, sur des structures de grande longueur et de surface élevée. Pour cela on privilégiera des structures de types barres pour la liaison critique M1-M2.

Le dimensionnement d'une structure SiC doit aussi prendre en compte sa relative limitation aux contraintes de tractions et au minimum d'épaisseur technologiquement réalisable.

- Une architecture utilisant le Carbone/Carbone, matériau à très grande stabilité thermoélastique, pour les éléments les plus critiques (liaison M1-M2 en particulier). Le très faible coefficient de dilatation thermoélastique (qui autorise des écarts de température importants et favorise les échanges radiatifs), associé à sa faible masse volumique permettant d'augmenter l'épaisseur pour contrebalancer sa relative faible conductivité et décontraindre le contrôle thermique.

La limitation du carbone carbone se situe au niveau de sa faible rigidité spécifique et de sa limitation vis du niveaux de contraintes admissibles dans la liaison M1-M2 pour ne pas créer de déformation résiduelles. Pour les autres zones sa faible densité et sa relative haute tenue en compression le rende compétitif.

La conception d'une structure en Carbone/Carbone nécessite enfin de prendre en compte les possibilité de réalisation développée actuellement (virole , plaque, sandwich).

Les éléments comparatifs typiques des 2 matériaux sont donnés ci-dessous.

	Carbure de Silicium	Carbone/Carbone
Densité (kg/m ³)	3200	1600
Rigidité spécifique E/ρ (GPa m ³ kg)	0,13	0,038
Dilatation α (μm/m°C)	2,2	0,1
Conductivité λ (W/m°C)	170	7
Stabilité thermoélastique spécifique λ/αρ	0,024	0,044
Tenue spécifique σ/ρ	0,023	0,093
Stabilité mécanique spécifique (pour 1 μm/m)	0,023	0,0125

4.2.1 Architecture en SiC

L'architecture en SiC est présentée ci-dessous.

Elle est caractérisée par une architecture à base d'une tripode liant les Miroirs M1 et M2 et d'une platine en SiC située en arrière du M1 assurant l'interface entre la partie avant (tripode, M1) et la partie arrière (M3, SED, interface de l'instrument avec le satellite).

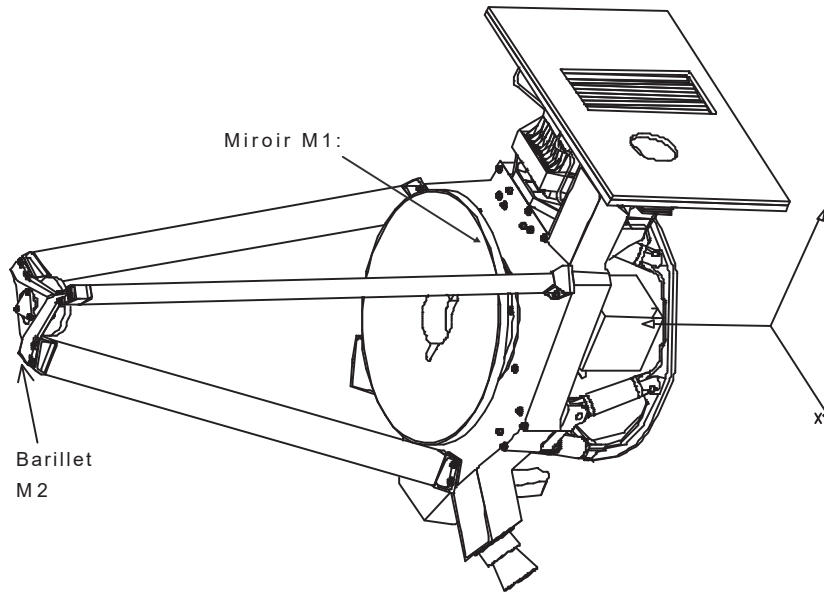


Fig. 8 : Vue de l'instrument – Solution SiC

4.2.2 Architecture en C/C

L'architecture en C/C est présentée ci-dessous.

Elle est caractérisée par une architecture à base d'une virole liant les Miroirs M1 et M2 et d'une platine située en arrière du M1 assurant l'interface entre la partie avant (virole, M1) et la partie arrière (M3, SED, interface de l'instrument avec le satellite).

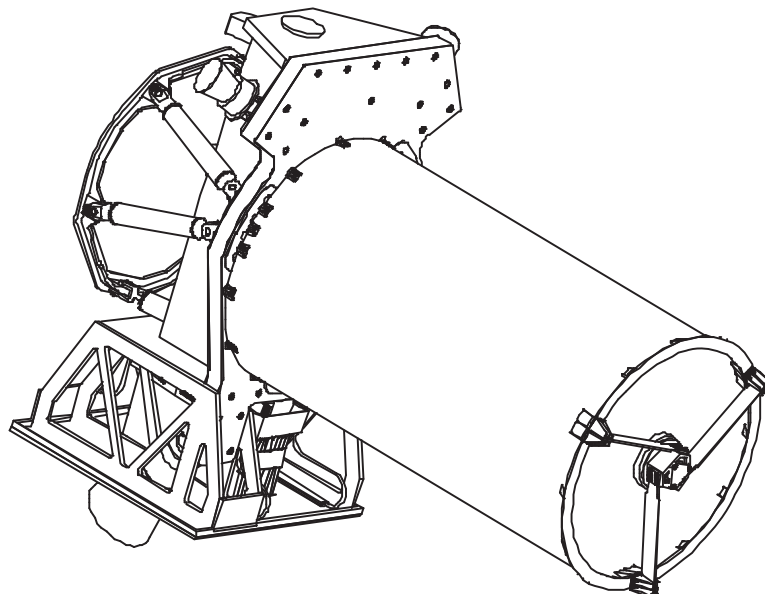


Fig. 9 : Vue de l'instrument – Solution C/C

5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

5.1 Principales performances

Le tableau ci-dessous résume les principales caractéristiques de l'instrument PLEIADES.

Caractéristiques	Performance
Résolution	< 1 m
Champ	> 20 km
Bandes spectrales	1 bande Panchromatique 4 bandes multi-spectrales
FTM	> 0.10
RSB	> 90
Masse	200 kg
Puissance	350W en prise de vue

Les performances de FTM ont été établies par une méthode statistique, basée sur l'outil de bilans BILSTAT_OPTIQUE développé par le CNES.

5.2 Perspectives

La suite des études en cours vont permettre de statuer sur l'architecture retenue en final et en particulier sur le choix du matériau utilisé.

Ce choix permettra d'engager les activités de définition au cours de l'année 2001 pour réaliser les instruments modèles de vol à l'horizon 2004.

BIBLIOGRAPHIE :

- [Ref 1] D DANTES, C NEVEU, JM BIFFI, C DEVILLIERS, S ANDRE, " SEDHI : A new generation of detection electronics for Earth observation satellites ", ICSO 2000.