

SIAMOIS : Tests en environnement de la fibre optique

Préparé par :	Date :	Signature :
Pernelle BERNARDI	07/05/2007	
Pour application :	Date :	Signature :
Chef de projet : Tristan BUEY		

	Titre du document : Tests en environnement de FO	Référence: SIAM-FO-07-01
	Auteurs : P. Bernardi	Version: 1.0 Date : 05/04/2007

- 2 -

HISTORIQUE DES MODIFICATIONS DU DOCUMENT

Ed.	Rév.	Date	Modifications	Visa
1	0	04/2007	1ère rédaction du document	

DOCUMENTS DE REFERENCE

Repère	Ed.	Titre du document	Auteur	Date
DR1	1	Définition du toron de fibres optiques (SIAM-Meca-06-01)		
DR2	1	Qualification des connecteurs de fibre optique		
DR3	1	Design optique de SIAMOIS (SIAM-Optique-07-01)		

SOMMAIRE

1. Spécifications et contraintes environnementales	4
2. Description de la fibre optique utilisée.....	4
2.1. Fibre optique Polymicro	4
2.2. Importance du champ lointain de la fibre optique	5
2.3. Mesure du champ lointain de la fibre optique.....	6
2.3.1. <i>Montage optique</i>	6
2.3.2. <i>Traitement des images</i>	6
2.3.3. <i>Résultats</i>	6
3. Tests thermiques	8
3.1. Objectif et critère	8
3.2. Configuration de l'essai	8
3.3. Résultats	8
4. Tests mécaniques.....	10
4.1. Stress mécanique.....	10
4.2. Sensibilité à l'injection	12
4.2.1. <i>Translation du support de la fibre optique</i>	13
4.2.2. <i>Rotation du support de la fibre optique</i>	13
4.2.3. <i>Bilan</i>	14
5. Caméra ANDOR	14
6. Conclusion.....	15

1. Spécifications et contraintes environnementales

L'instrument SIAMOIS, sismomètre à Transformée de Fourier pour le Dôme C en Antarctique, est composé d'un télescope dédié de 40cm et d'un interféromètre placé dans un local fermé. La liaison entre le télescope et le cœur de l'instrument est réalisée par une fibre optique.

Les spécifications pour cette fibre optique sont les suivantes :

- Bande spectrale : [400 ; 560 nm]
- Diamètre du cœur : 50 μm

Remarque : Le diamètre de cœur de la fibre optique est fixé par la résolution spectrale spécifiée et le grandissement de l'instrument (plus on augmente le diamètre de cœur de la fibre, plus on mélange les couleurs au niveau du plan focal).

Ces spécifications nous ont amenés à choisir une fibre POLYMICRO décrite au paragraphe 2.

Cette fibre optique va voir un environnement thermique difficile puisque les températures hivernales au Dôme C descendent jusqu'à -80°C . Notons de plus le gradient thermique entre l'extérieur ($\sim -80^{\circ}\text{C}$) et l'intérieur du local contenant l'instrument ($\sim 20^{\circ}\text{C}$).

Ceci impose des essais thermiques, dont les résultats sont présentés dans le paragraphe 3.

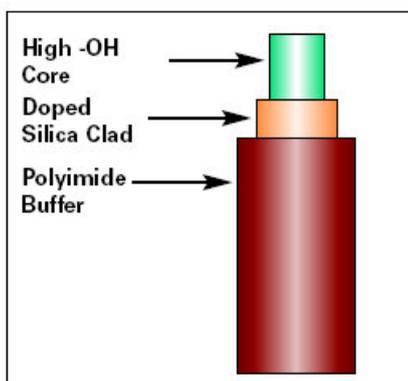
Il nous est apparu indispensable de stresser mécaniquement cette fibre pour évaluer les dégradations d'éclairement en sortie. En effet, toutes les 24 heures, le télescope devra pivoter de 360° ce qui entraînera des contraintes mécaniques sur la fibre optique (bien que des précautions soient prises pour les minimiser, voir DR1). Les résultats sont présentés au paragraphe 4.

Enfin les essais menés sur cette fibre optique ont été l'occasion de tester une caméra ANDOR très proche de celle choisie pour équiper SIAMOIS. Nous lui consacrons le paragraphe 5.

2. Description de la fibre optique utilisée

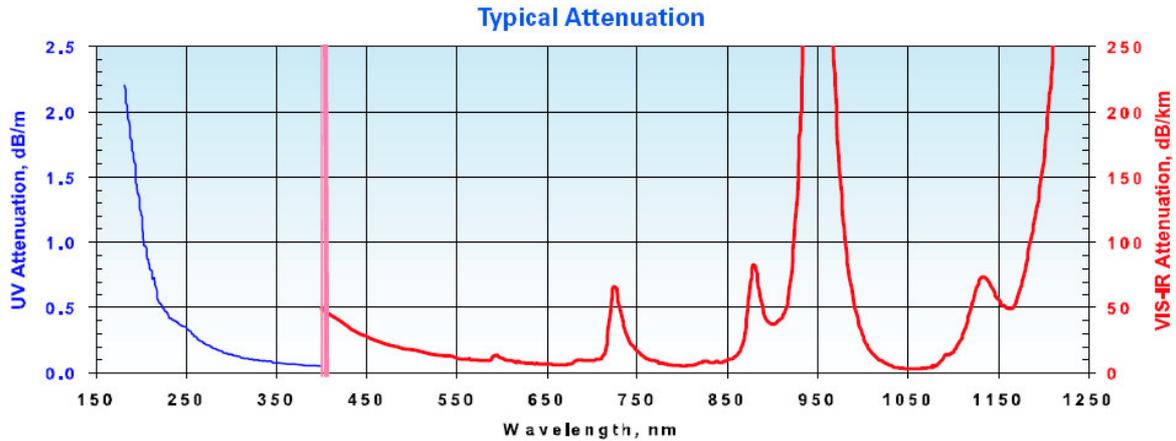
2.1. Fibre optique Polymicro

La fibre optique choisie est une fibre optique multimode Silice/ Silice à saut d'indice de POLYMICRO Technologies. Le cœur de cette fibre est dopé OH pour améliorer la transmission dans l'UV.

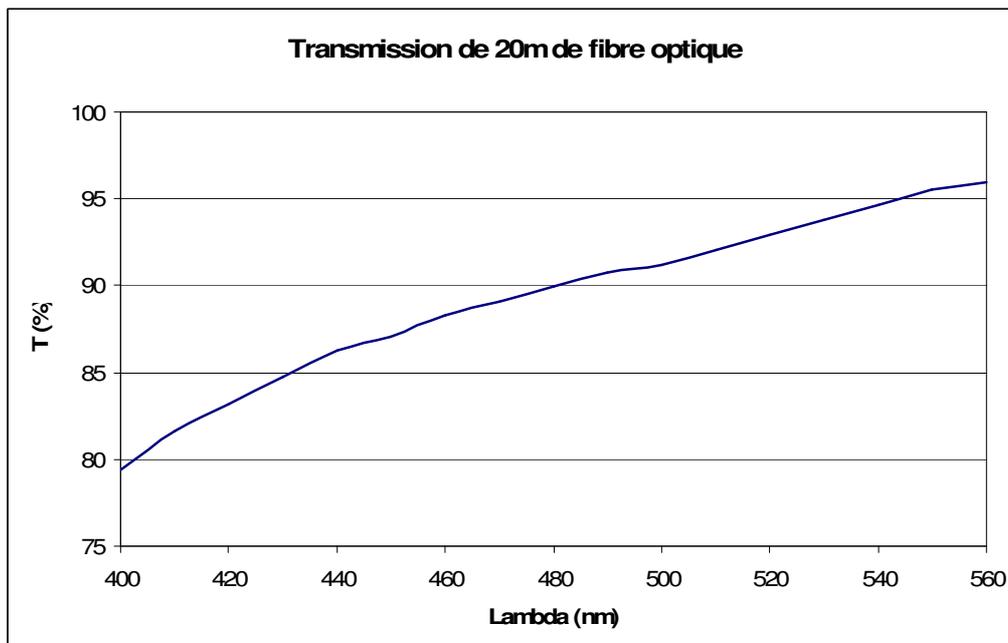


Diamètre de cœur : $50 \pm 5 \mu\text{m}$
Diamètre du clad : $55 \pm 5 \mu\text{m}$
Diamètre du buffer : $65 \pm 5 \mu\text{m}$

On présente ci-dessous une courbe typique d'atténuation :

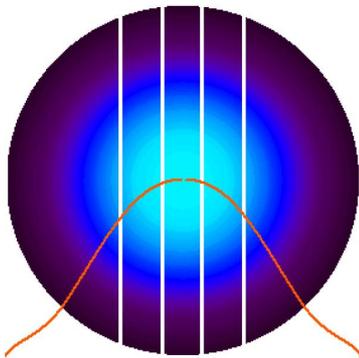


La longueur de la fibre entre le télescope et l'instrument sera de 20m (DR1). La transmission pour 20m de fibre dans la bande spectrale utile de SIAMOIS est représentée ci-dessous :



2.2. Importance du champ lointain de la fibre optique

La sortie de la fibre optique est placée au foyer d'un collimateur qui éclaire l'interféromètre, et notamment le miroir à échelons (voir DR3). Le miroir à échelons voit donc le champ lointain de la fibre. Chaque marche du miroir va créer un point de l'interférogramme (\Leftrightarrow un spectre sur le détecteur). L'équilibre des différents points de l'interférogramme nécessite un éclairage équiréparti des différents échelons : la largeur des marches du miroir à échelons dépend donc du profil de l'éclairage en champ lointain de la fibre optique.



Le schéma ci-contre montre le partage du faisceau lumineux en cinq échelons, et la superposition du flux sommé le long des colonnes (en rouge). L'échelon central représente de l'ordre de 10% du diamètre du faisceau.

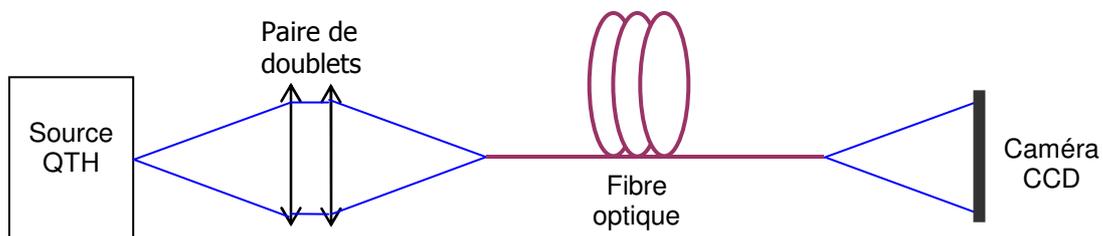
Il est donc impératif de caractériser le champ lointain de la fibre Polymicro car celui-ci définit la largeur des marches du miroir à échelons.

On souhaite de plus analyser les déformations éventuelles du profil du champ lointain causées par des variations de température de la fibre ou par un stress mécanique (voir paragraphes 3 et 4).

2.3. Mesure du champ lointain de la fibre optique

2.3.1. Montage optique

Le montage optique utilisé pour mesurer le champ lointain de la fibre optique est le suivant :



Une source halogène fibrée est imagée sur l'entrée de la fibre optique à l'aide d'une paire de doublets achromatiques. Le cône de sortie de la fibre est directement enregistré par une caméra équipée d'un CCD de 2048 x 2048 pixels de 13.5µm ($\Leftrightarrow \sim 27\text{mm} \times 27\text{mm}$) à deux sorties vidéo.

2.3.2. Traitement des images

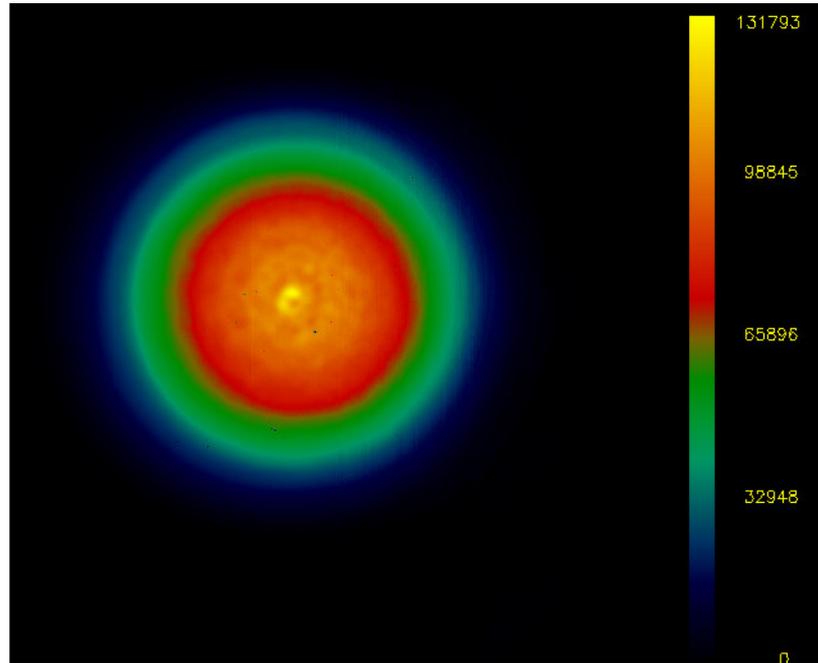
Le CCD est lu en mode full frame, et on acquiert 10 images d'obscurité suivies de 10 images éclairées. Les 10 images d'obscurité sont empilées. Idem pour les images éclairées. On corrige l'offset électronique sur chacune des deux images avant de les soustraire (l'offset et le courant d'obscurité sont ainsi corrigés).

On corrige ensuite les écarts de gain entre les voies gauche et droite du CCD.

On corrige enfin le smearing (la caméra de test ne possède en effet pas de shutter, contrairement à la caméra de SIAMOIS).

2.3.3. Résultats

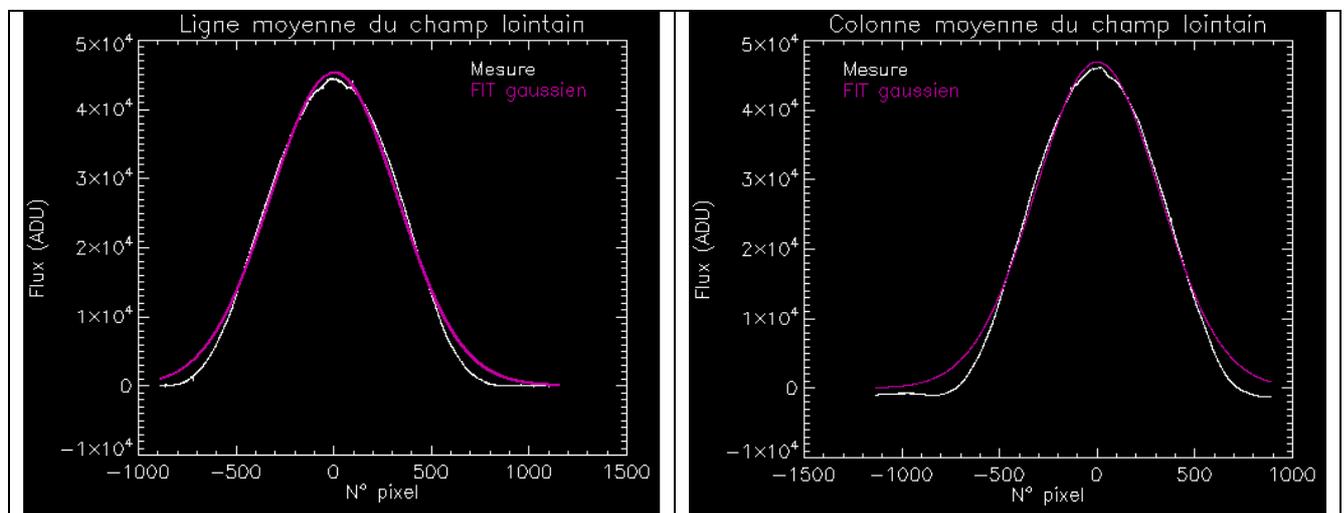
L'image corrigée du cône de fibre est présentée ci-dessous :



Champ lointain de la fibre Polymicro

Les structures présentes au centre de l'image sont dues au système d'éclairage (faisceau de fibres optiques en plastique de la lampe halogène).

On présente ci-dessous la moyenne suivant les colonnes et lignes du CCD (en blanc), approximées par une fonction gaussienne (en mauve) :



Le paramètre suivi lors des essais thermiques et mécaniques est la largeur de la gaussienne qui approxime au mieux la ligne et colonne moyennes du champ lointain.

Rappelons que la connaissance du champ lointain de cette fibre optique est un paramètre important pour la définition du miroir à échelons. Cette étude devra être à nouveau menée avec une injection plus propre en entrée (ouverture à F/5 et spot de diamètre inférieur à 25 μ m), et surtout sur une fibre équipée des connecteurs spécifiés pour notre application (voir DR1). Il a en effet été montré sur de précédents projets, notamment GIRAFFE, que la fibre Polymicro est intrinsèquement très performante du point de vue de la FRD (Focal Ratio Degradation), et que les dégradations sont apportés par les connecteurs.

3. Tests thermiques

3.1. Objectif et critère

L'objectif de l'essai thermique est l'analyse du comportement de la fibre optique lorsqu'elle est soumise à des températures jusqu'à -80°C . Les connecteurs de la fibre optique sont qualifiés par ailleurs (voir DR1 pour la définition des connecteurs et DR2 pour la qualification).

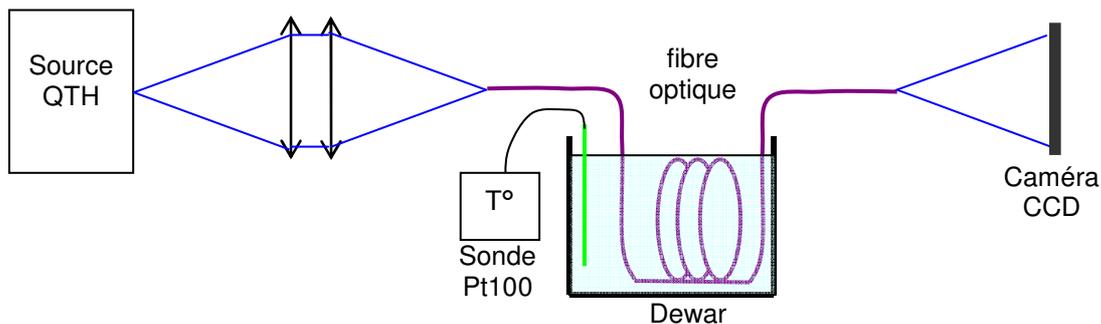
Le paramètre suivi pendant tout l'essai est le champ lointain de la fibre.

3.2. Configuration de l'essai

Une longueur de 4 mètres de fibre optique est enroulée (section de 10 cm) et plongée dans un Dewar. Celui-ci est rempli d'huile cryogénique et refroidi par un cryo-plongeur. On plonge également dans le Dewar une sonde Pt100 pour suivre la température.

La fibre optique est éclairée par une source blanche (lampe halogène) fibrée suivie d'une paire de doublets ouverts à F/5.

En sortie de la fibre optique, on place une caméra CCD qui permet d'imager le champ lointain.



Les premières images sont acquises à température ambiante (19°C), puis la machine cryogénique est configurée pour descendre jusqu'à -95°C . Des acquisitions d'images sont réalisées pendant la descente en froid, puis le lendemain pendant la remontée en température :

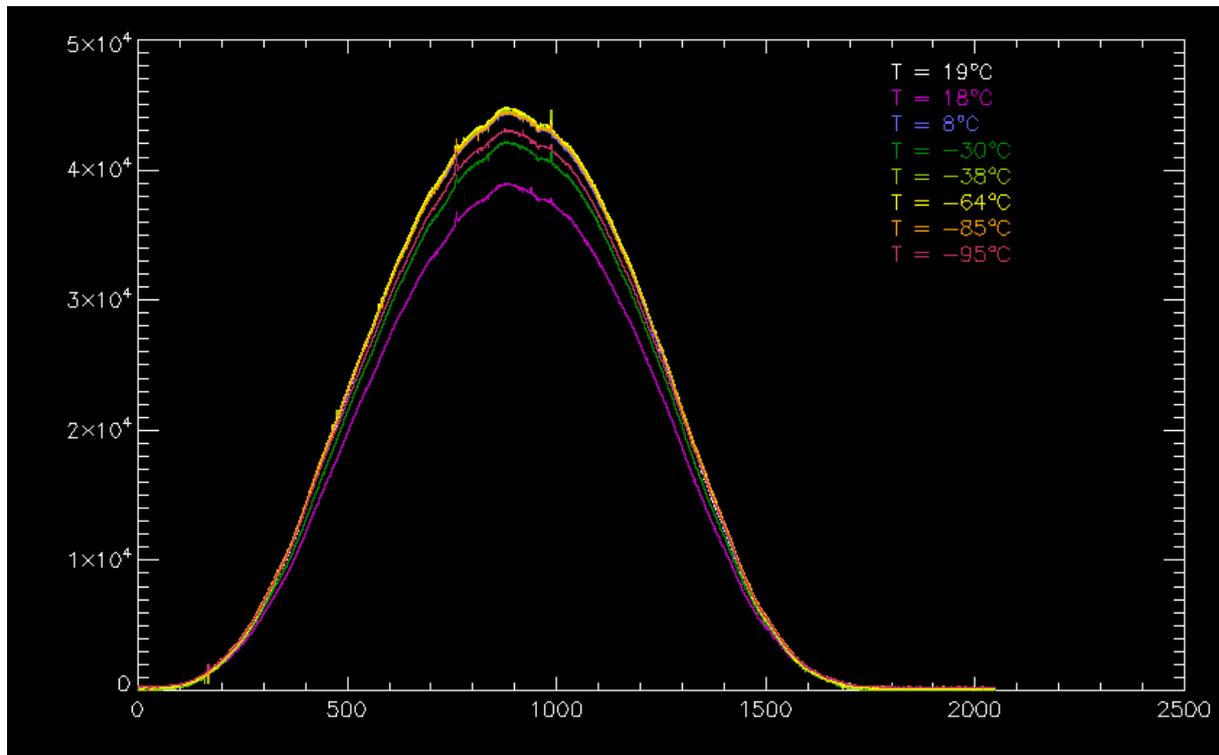
Date	Phase	Température ($^{\circ}\text{C}$)
25/01/2007	Température ambiante	19
26/01/2007	Descente	8
26/01/2007	Descente	-38
26/01/2007	Descente	-64
26/01/2007	Descente	-85
26/01/2007	Descente	-95
27/01/2007	Remontée	-30
29/01/2007	Remontée	18

La lampe halogène reste allumée pendant toute la manip, excepté entre les 27 et 29/01.

3.3. Résultats

Les acquisitions et traitement d'images sont identiques à ceux décrits au paragraphe 2.3.2.

Le graphique suivant superpose la ligne moyenne du champ lointain aux différentes températures :



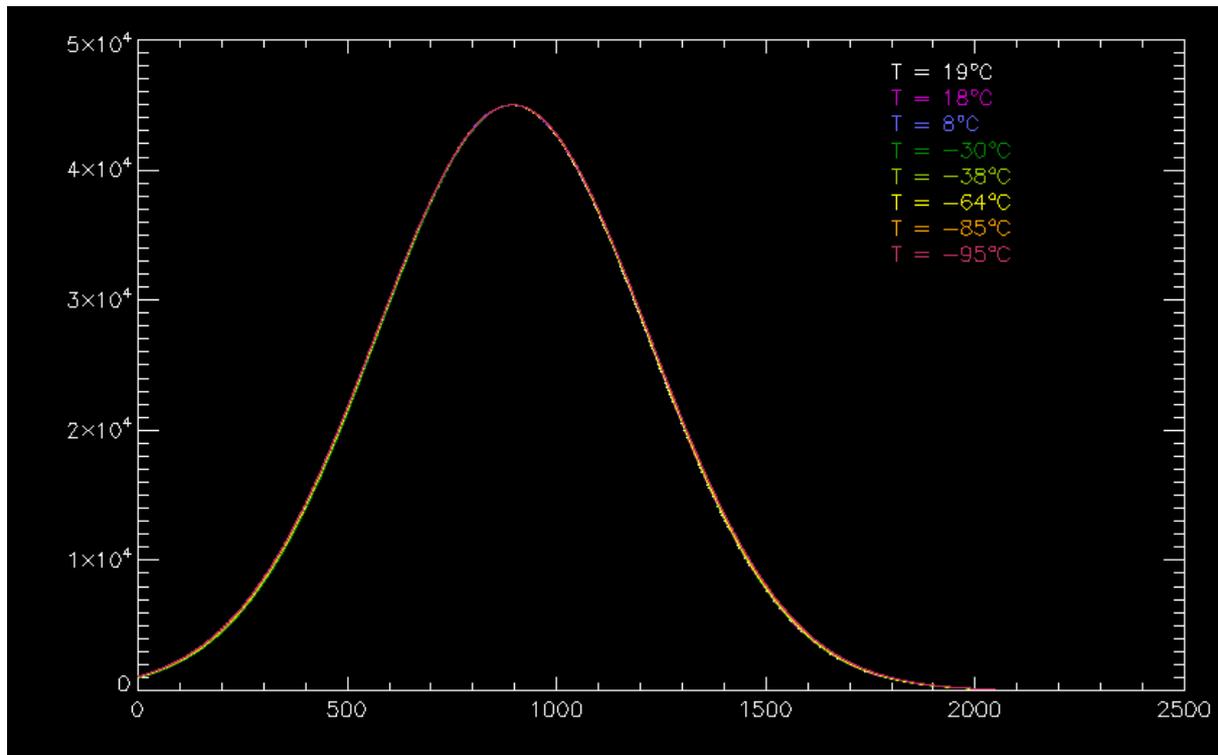
Ligne moyenne du champ lointain de la fibre optique à différentes températures

Les écarts de flux maximum entre les différentes courbes ne peuvent pas être interprétés comme des baisses de transmission car c'est la courbe à -30°C qui présente le flux le plus faible, et non pas celle à -95°C. On remarque cependant que le flux diminue avec le temps : les courbes à 19°C, 8°C, -38°C, -64°C et -85°C sont quasiment superposées, puis viennent celles à -95°C (dernière acquisition du 26/01), celle à -30°C (acquisition du 27/01) et enfin celle à 18°C (acquisition du 29/01). Ceci semble donc indiquer une diminution du flux émis par la lampe halogène. Notons qu'une baisse de flux globale n'est de toute façon pas pénalisante pour les performances de l'instrument : tous les spectres voient alors baisser leur flux simultanément, ce qui ne perturbe pas la reconstruction de l'interférogramme.

Il est donc intéressant de comparer les approximations gaussiennes de ces courbes, et de s'affranchir des variations de flux de la lampe. On approxime donc chaque courbe par une gaussienne de la forme :

$$f(x) = A_0 * e^{-\frac{z^2}{2}} \quad \text{avec} \quad z(x) = \frac{x - A_1}{A_2}$$

Le graphique ci-dessous représente les résultats de ces approximations, en fixant après coup le paramètre A_0 à 45000 :



Approximation gaussienne de la ligne moyenne du champ lointain à différentes températures.

On peut ainsi conclure que le champ lointain de la fibre optique ne se déforme pas avec la température. Notons de plus que cet essai permet de vérifier plus généralement le bon comportement de cette fibre exposée à des températures plus froides que le pire cas mesuré en hiver au Dôme C. Ajoutons enfin que la descente en froid a été très rapide, ce qui peut être assimilé à un choc thermique pour la fibre optique. Les conditions réelles seront bien moins sévères.

4. Tests mécaniques

4.1. Stress mécanique

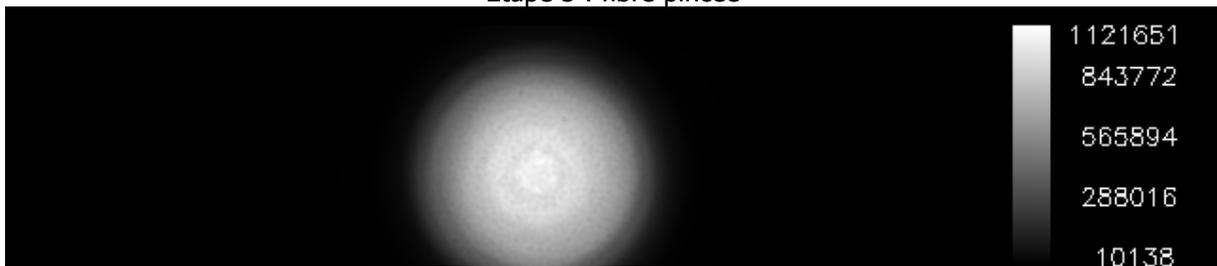
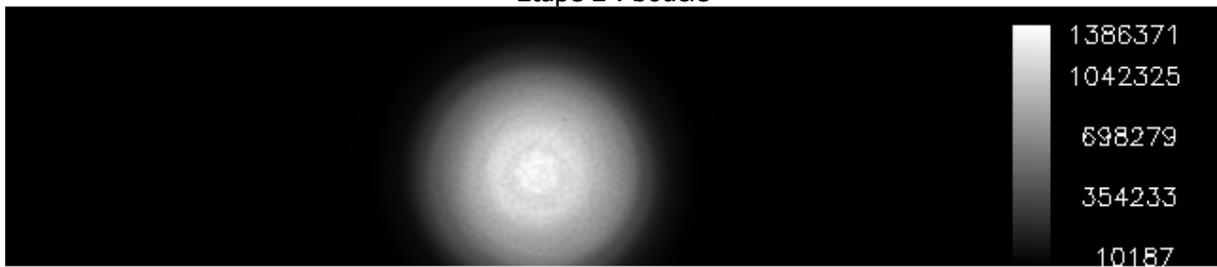
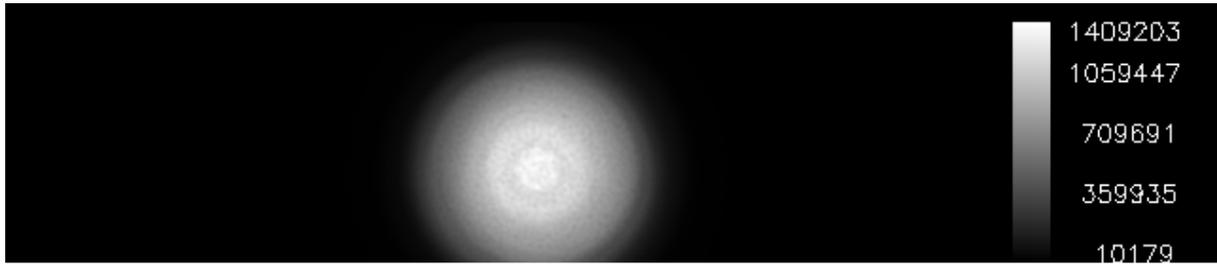
L'objectif de cet essai est de contraindre mécaniquement la fibre optique (diminution du rayon de courbure) et d'analyser les éventuelles déformations de l'éclairement en sortie.

Le montage optique utilisé est identique à celui décrit au paragraphe 2.3.1. Le champ lointain de la fibre optique est enregistré par une caméra de la société ANDOR Technology (voir 5.).

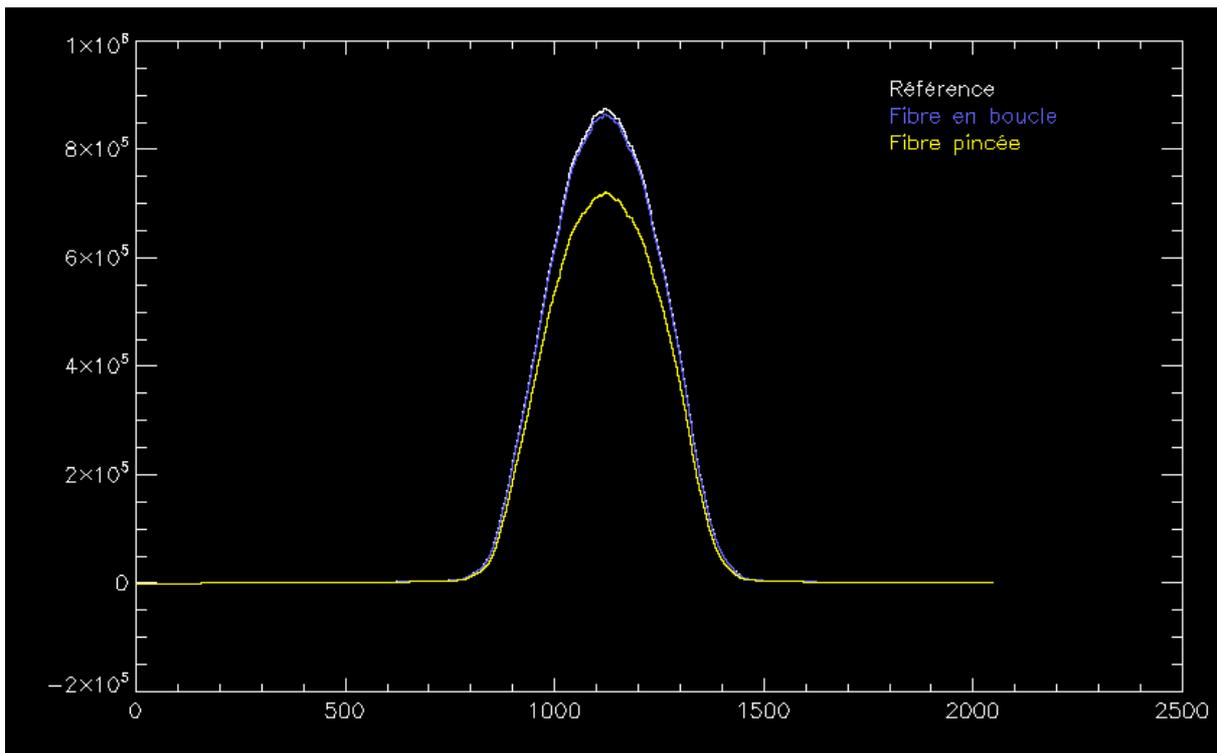
L'essai se déroule en trois étapes :

- Etape 1 : référence. La fibre optique est déroulée sans contrainte sur la table optique. On acquiert une accumulation de 30 images (image « Référence »).
- Etape 2 : on réalise une boucle sur la fibre optique pour diminuer localement le rayon de courbure. On acquiert une accumulation de 30 images (image « Stress 1 »)
- Etape 3 : on pince la fibre. On acquiert une accumulation de 30 images (image « Stress 2 »).

Etape 1 : Référence

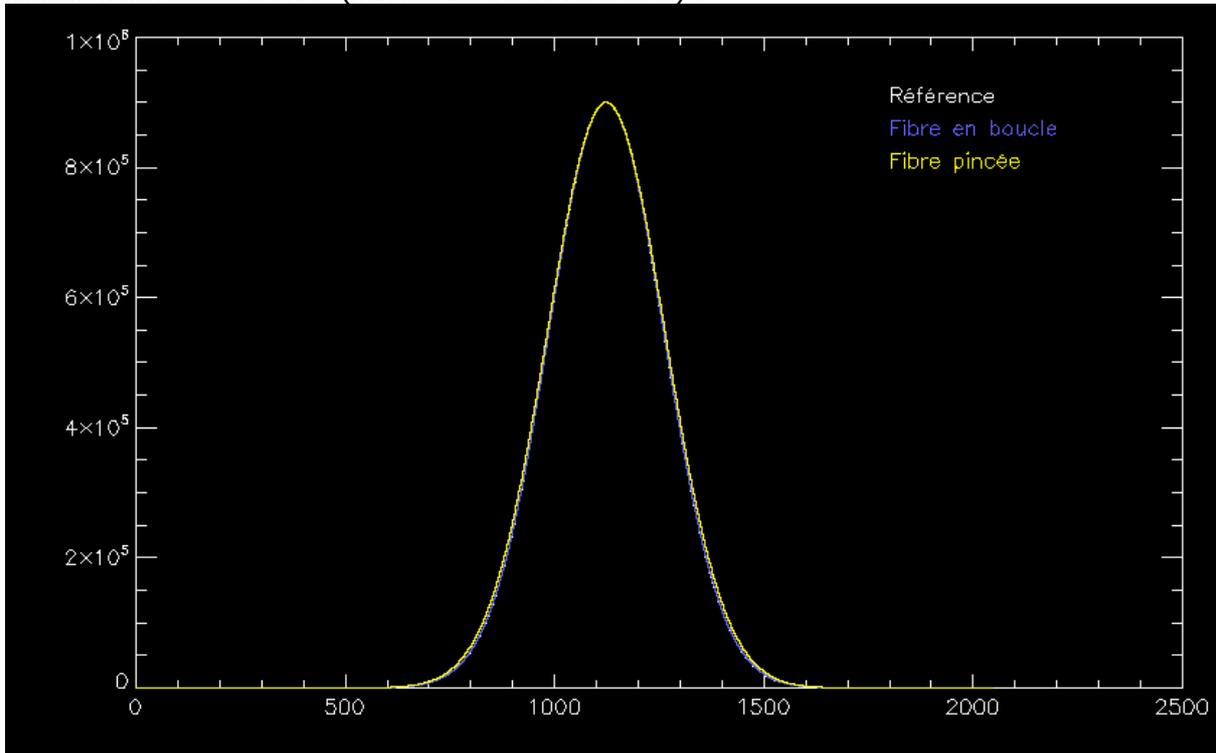


Le graphique suivant présente la ligne moyenne du champ lointain à chacune des trois étapes de l'essai :



Ligne moyenne du champ lointain de la fibre optique dans différentes configurations mécaniques.

Le profil obtenu en enroulant la fibre optique est très proche du profil de référence, contrairement à celui obtenu avec la fibre pincée qui présente une diminution du flux transmis. Le graphique ci-dessous présente les approximations gaussiennes des lignes moyennes du champ lointain normalisées à $9 \cdot 10^5$ (flux maximum de référence) :



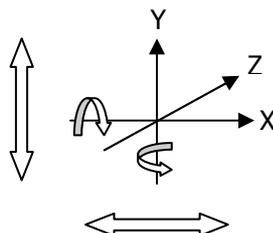
Approximation gaussienne de la ligne moyenne du champ lointain dans différentes configurations mécaniques.

Ceci permet de vérifier que le champ lointain de la fibre optique n'est pas déformé lorsque cette dernière subit des contraintes mécaniques. Le flux transmis semble par contre diminuer lorsque la fibre est enroulée avec un rayon de courbure petit (inférieur à 2cm). Notons que cette fibre optique sera protégée par des gaines empêchant d'atteindre des rayons de courbure trop faibles dans le montage instrumental.

4.2. Sensibilité à l'injection

L'objectif de cet essai est d'obtenir des éléments pour spécifier le guidage du télescope et le système optique d'injection dans la fibre optique.

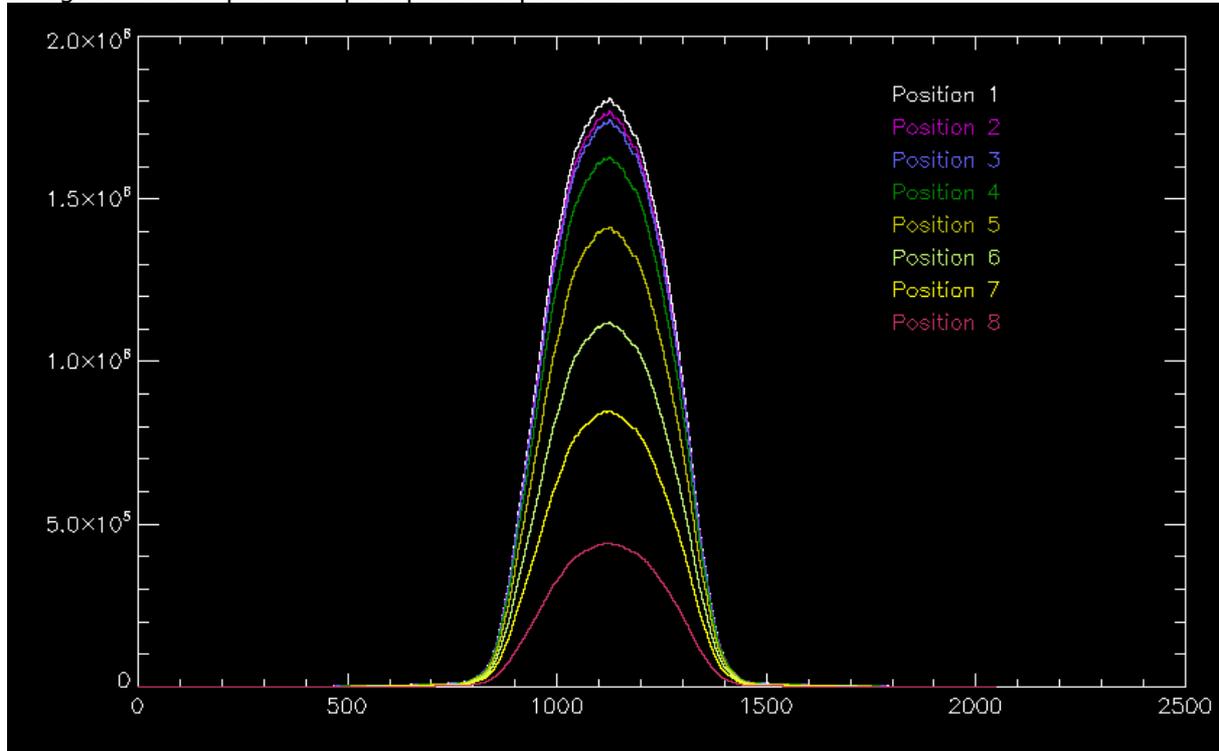
La fibre optique est montée sur un support qui possède des réglages en translation et en rotation :



L'essai consiste à injecter la source blanche dans la fibre optique, puis à dégrader l'injection par des mouvements en translation et rotation du support de la fibre optique.

4.2.1. Translation du support de la fibre optique

A partir d'une position de référence (position 1), on translate le support de fibre suivant l'axe Y et on enregistre le champ lointain pour plusieurs positions :

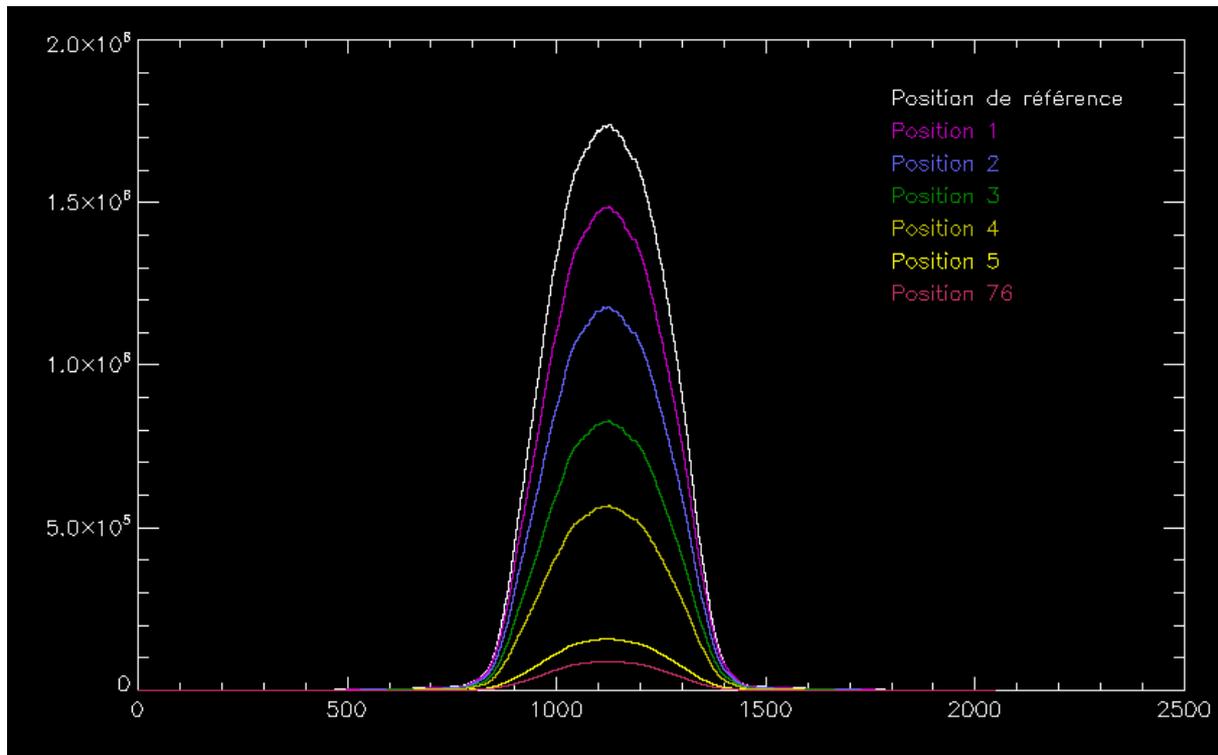


Ligne moyenne du champ lointain de la fibre optique pour les différentes positions Y.

On observe une diminution du flux transmis par la fibre lorsque l'on s'éloigne de la position de référence. On vérifie néanmoins (en approximant les courbes par des gaussiennes) que le profil du champ lointain ne se déforme pas.

4.2.2. Rotation du support de la fibre optique

A partir d'une position de référence, on pivote le support de fibre et on enregistre le champ lointain pour plusieurs positions :



Ligne moyenne du champ lointain de la fibre optique pour les différents tilts.

Encore une fois, on observe une diminution du flux transmis par la fibre optique lorsqu'on éloigne de la position donnant une injection optimale. On vérifie également que le profil du champ lointain n'est pas dégradé.

4.2.3. Bilan

Ces essais ont été difficiles à mener compte-tenu de la mauvaise qualité du support de la fibre optique. Un nouveau support a été approvisionné permettant des réglages plus fins et *répétables* (le premier support présente une hystérésis).

Les résultats sont difficiles à interpréter car le spot imagé en entrée de la fibre optique a une taille équivalente ou supérieure au diamètre de cœur de la fibre. Il faudra réitérer ces mesures en utilisant une optique de meilleure qualité et le nouveau support à 6 degrés de liberté.

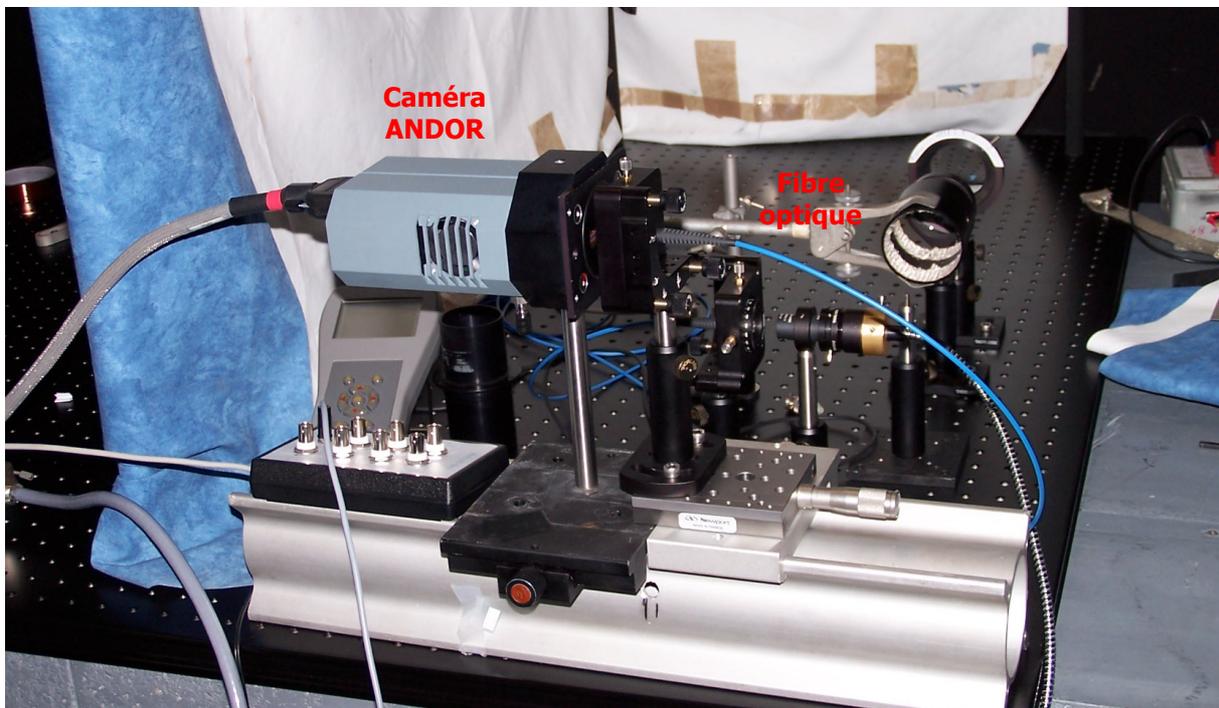
5. Caméra ANDOR

La caméra retenue pour le plan focal de SIAMOIS est une caméra de la société ANDOR Technology, de référence DU440A. Il s'agit d'une caméra intégrée dédiée à la spectroscopie, équipée d'un CCD de 2048x512 pixels de 13.5µm.

Nous avons pu tester sur notre banc une caméra ANDOR DU440-BU identique à la DU440A sauf pour la connectique (carte PCI au lieu d'une connexion USB2.0) :



La photo suivante présente la caméra ANDOR installée sur le banc de test :



Cette caméra a été utilisée dans deux modes d'acquisition :

- Full images
- Multi-tracks : acquisition de lignes (binnées ou non) contenant les spectres

6. Conclusion

Les essais thermiques réalisés sur la fibre Polymicro ont permis de vérifier son bon comportement en température.

Les tests de sensibilité à l'injection seront à poursuivre avec une optique de meilleure qualité et un support mécanique adapté. Ils pourront être menés sur la fibre Polymicro équipée des connecteurs développés pour SIAMOIS. Ceci permettra de caractériser *dans les conditions instrumentales* le profil du champ lointain.