

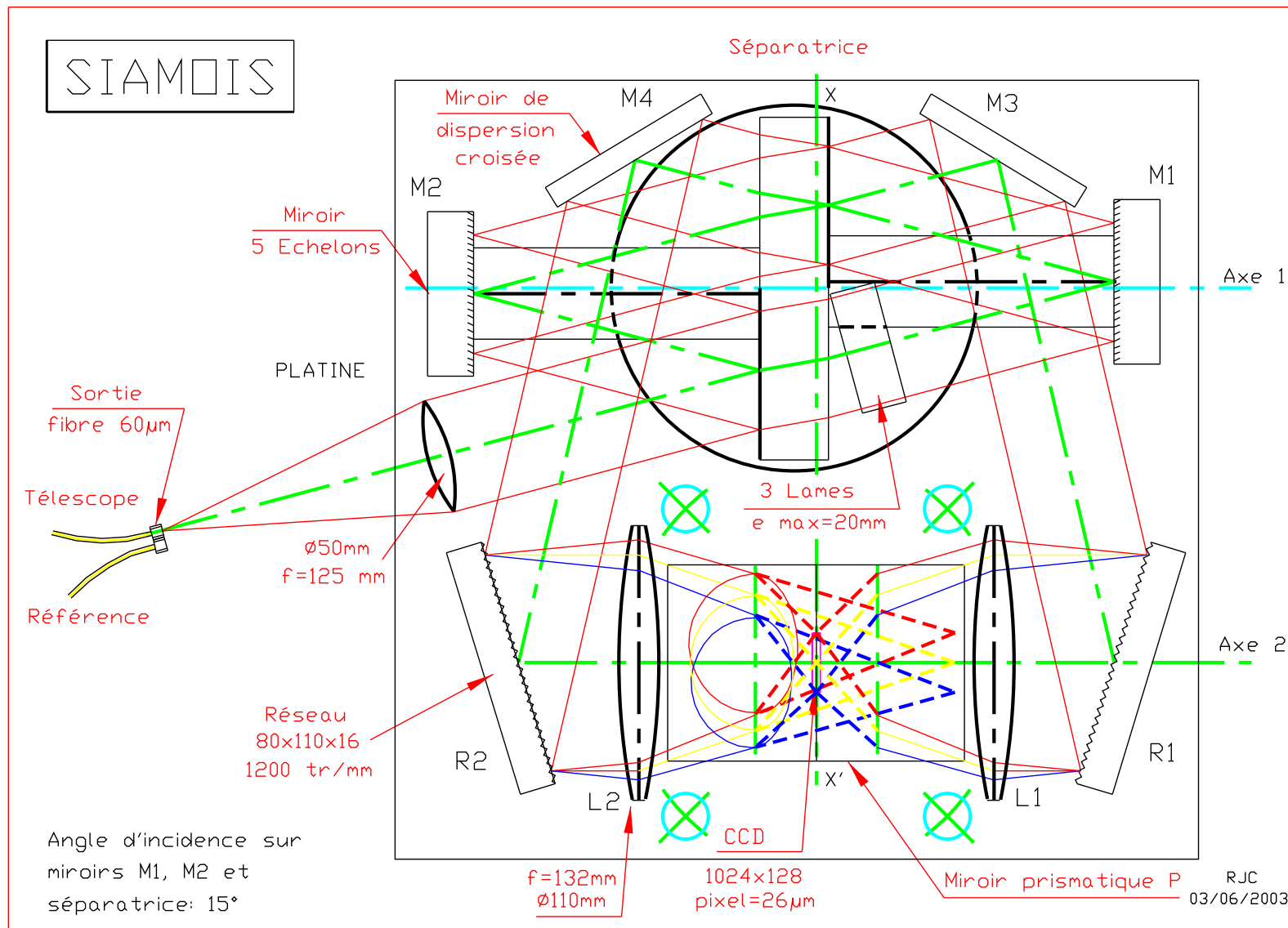
# SPÉCIFICATIONS POUR LE SISMOMÈTRE INTERFÉRENTIEL SIAMOIS

J.P. Maillard, IAP

## 1 Présentation du concept

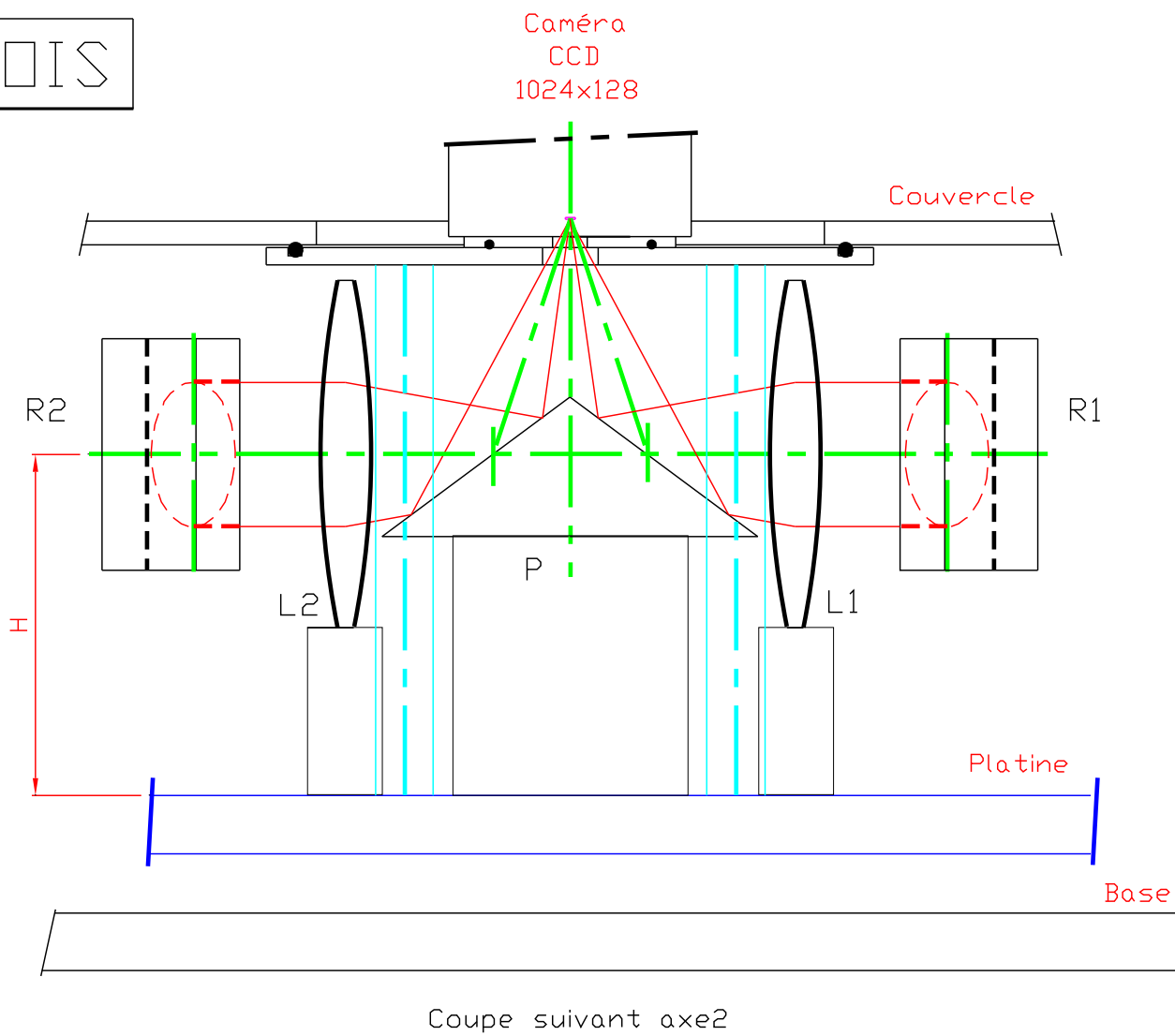
L'instrument dénommé **SIAMOIS** (**S**ismomètre **I**nterférentiel **A** Mesurer les **O**scillations **I**nternes **S**tellaires) est destiné à la détection des modes d'oscillation d'étoiles de type solaire (modes  $p$ ), par mesure de l'effet Doppler sur les raies du spectre de l'étoile, engendré par la convection dans l'atmosphère stellaire. La technique spectroscopique choisie est dérivée de la méthode de spectroscopie dite par **Transformation de Fourier**. Le cœur de l'instrument est donc un interféromètre à 2 ondes, mais qui fonctionne à différence de marche **fixe**. Sachant que le signal Doppler à mesurer est très petit ( $\sim 10^{-8}$  la vitesse de la lumière) et doit être mesuré en continu pendant plusieurs nuits consécutives d'observation, les conditions de stabilité sont particulièrement sévères. Pour satisfaire à cette exigence le choix est fait d'un **interféromètre sans pièce mobile**, constitué d'une séparatrice et de 2 miroirs parallèles, liés ensemble par deux entretoises de longueur égale, pour être **monolithique**. Les éléments optiques nécessitant des réglages pour l'alignement des faisceaux au montage sont réduits au nombre strictement nécessaire, précisés dans la Partie II du document. L'instrument est relié au télescope par une **fibre optique**. Les données sont reçues sur une **caméra CCD**. Le projet est décrit par 5 schémas cotés reproduits ici comme figures, correspondant chacun à un fichier dxf transmis par ailleurs.

L'instrument est conçu pour être **transportable**, afin de pouvoir être installé derrière différents télescopes dans le monde. Cela impose qu'il soit **indéréglable** pendant le transport. Cependant le bloc interférométrique et éventuellement la caméra doivent être démontables pour les précautions de transport et donc pouvoir être remis en place de manière **reproductible**. L'instrument est conçu pour être le plus **compact** possible, pour faciliter son transport, son installation, son équilibre thermique et en principe, réduire le coût total. Pour les mêmes raisons, par le choix des matériaux, un poids minimum est visé ( $< 50$  kg).



**Fig. 1** Interféromètre et optique de sortie. Les 2 faisceaux de sortie dispersés sont imagés en parallèle sur un même CCD; grandissement de sortie  $132/125=1,056$ .

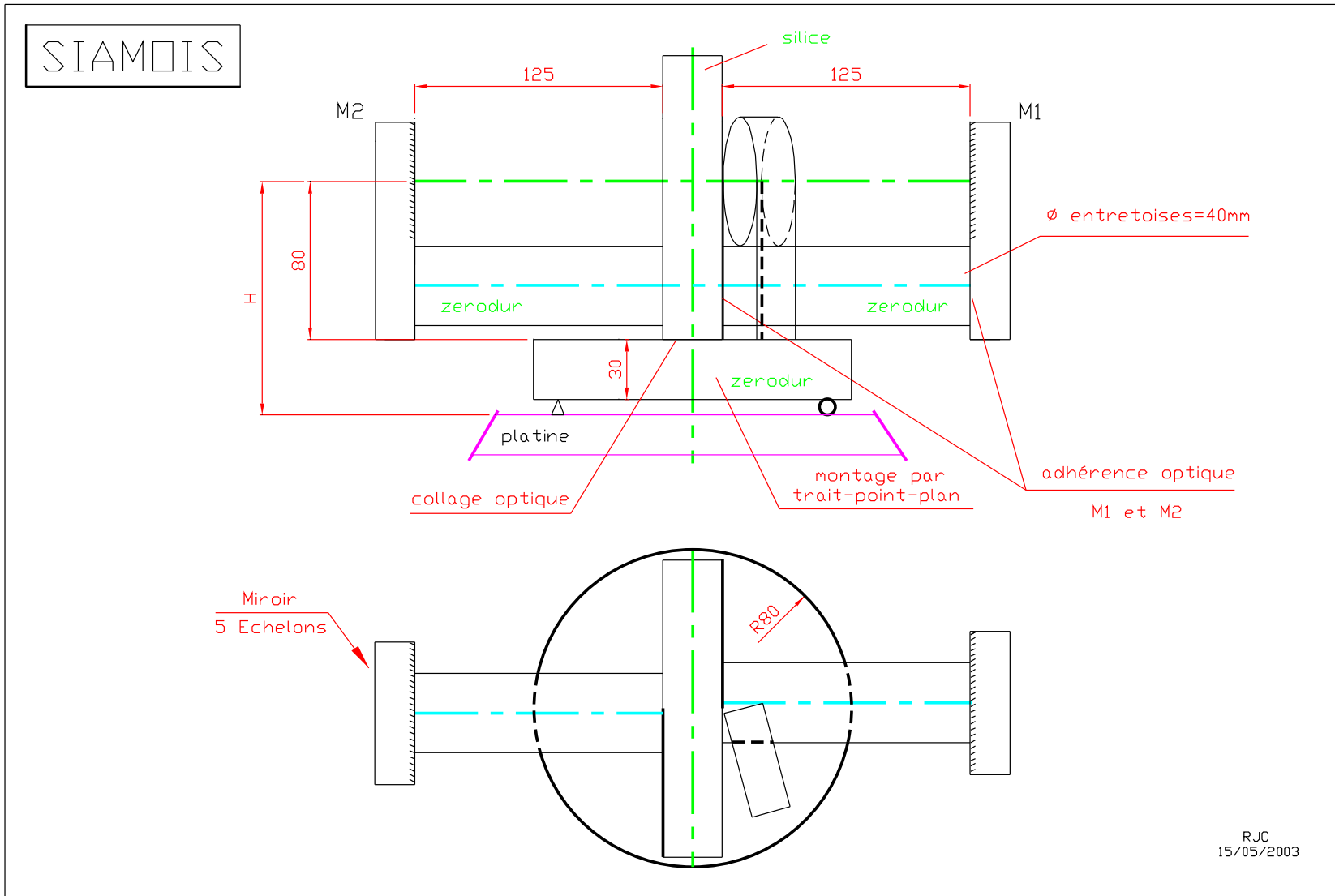
SIAMOIS



3

RJC  
03/06/2003

**Fig. 2** Focalisation des faisceaux sur la caméra et montage de la caméra



**Fig. 3** Ensemble interférométrique monolithique avec miroirs et séparatrice.  
Montage de la lame à faces parallèles.

## PARTIE I : OPTIQUE

### 2 Schéma optique

#### 2.1 Paramètres de définition

L'instrument comprend le minimum de pièces optiques indispensables, pour atteindre la plus grande luminosité (visée  $> 60\%$ ), sur tout le domaine spectral, limité au domaine bleu-vert. Le **schéma optique**, le plus exact possible est représenté Fig. 1. Il est déterminé par les paramètres suivants qui sont **figés** :

a) diamètre de fibre d'entrée	50 $\mu\text{m}$
b) ouverture de l'objectif d'entrée	f/2.5 soit $f=125 \pm 1$ mm
c) diamètre du faisceau parallèle	50 mm
d) longueur des entretoises de l'interféromètre	125 +0 -0.01 mm
e) angle d'incidence sur séparatrice	$15^\circ \pm 10'$
f) épaisseur séparatrice	30 +0 -0.005 mm
g) angle d'incidence sur réseaux R1 et R2	$60.08^\circ$
h) domaine spectral	400 - 560 nm
i) angle de diffraction des réseaux à 480 nm	$-16.9^\circ$
j) focale des objectifs de sortie L1 et L2	132 +0 -0.25 mm
k) caméra CCD	1024 $\times$ 128, pixel 26 $\mu\text{m}$

Le schéma optique aurait été simplifié par l'adoption d'une solution avec 2 caméras, une sur chaque faisceau de sortie, mais ceci augmenterait considérablement le coût. Les positions des éléments M3, M4, R1, R2, L1, L2 sont fortement contraintes par les valeurs des paramètres a) à k) et par le choix d'un schéma optique compact. Donc les degrés de liberté sont faibles par rapport à ce schéma. Sans revenir sur la justification des différents paramètres une forte contrainte géométrique est **imposée** par le choix de la longueur  $D$  des entretoises de l'interféromètre (Fig. 3). La plus courte longueur est préférable pour limiter le moment exercé par M1 et M2 sur l'adhérence optique de chaque entretoise sur la séparatrice, et limiter leur flexion qui introduit un défaut de parallélisme entre miroirs et séparatrice. Mais diminuer  $D$  restreint trop la distance L1-L2 pour former l'image des spectres sur le CCD unique et pose des problèmes pour le passage des faisceaux. Pour donner plus de place il serait tentant d'augmenter un peu  $D$  par rapport à la valeur adoptée, mais outre l'inconvénient indiqué plus haut cela conduit à augmenter le diamètre de la séparatrice, pièce optique délicate. Pour compenser il faudrait diminuer l'angle d'incidence, ce qui rendrait également difficile le passage des faisceaux de sortie.

## 2.2 Disposition générale des éléments (Fig. 1)

### 2.2.1 cote H

Les axes de tous les faisceaux sont dans un même plan horizontal (sauf après L1 et L2). Ce plan est caractérisé par une cote  $H$  indiquée sur Fig. 2, 3, 5, repérée par rapport à la platine. Cette cote n'est pas figée. Sa valeur exacte dépendra du système de montage du bloc interférométrique sur la platine (Fig. 3). Sa valeur indicative sur les plans est  $H = 118$  mm. Cette cote étant déterminée, elle impose le positionnement des éléments représentés sur les Fig. 2, 3 et 5, d'où son rappel sur chaque plan.

### 2.2.2 Axes 1 et 2

L'instrument a 2 axes parallèles bien déterminés, notés *Axe 1* et *Axe 2* sur Fig. 1.

- *Axe 1* : axe de l'interféromètre passant par le plan médian vertical de la séparatrice et le plan des faisceaux défini plus haut.
- *Axe 2* : axe commun des deux faisceaux de sortie après les réseaux, à la hauteur  $H$  et défini par l'angle de diffraction sur R1 et R2 à 480nm.

La distance entre *Axe 1* et *Axe 2* est à adapter suivant l'épaisseur vraie des objectifs L1 et L2 en respectant l'angle d'incidence sur les réseaux R1 et R2. On cherchera à la conserver la plus proche possible d'une valeur nominale de  $\sim 165$  mm, pour laquelle les objectifs sont le plus près possible de l'interféromètre.

### 2.2.3 axe XX'

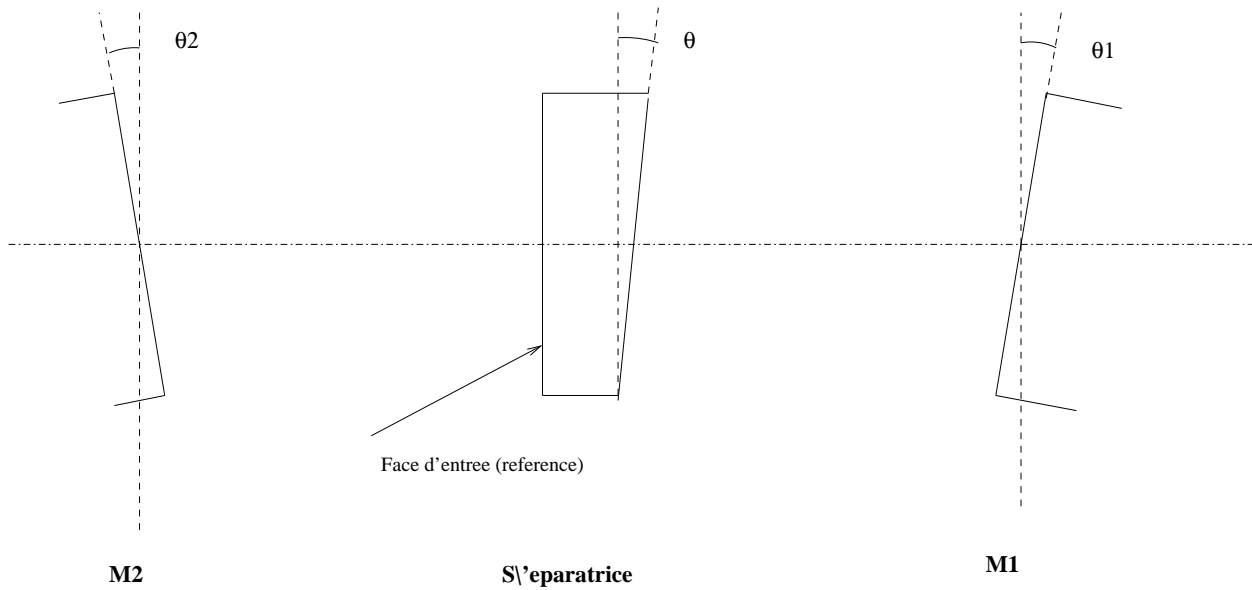
Les 2 faisceaux de sortie sont symétriques par rapport à cet axe (Fig. 1). Il coïncide avec l'arête du prisme P, mais **ne passe pas au milieu de l'épaisseur de la séparatrice**. Il passe par un plan situé à mi-distance de l'image de la face d'entrée de la séparatrice dans cette lame et la face de sortie. Ceci explique que le faisceau après M3 passe plus près de M1 que son symétrique par rapport à M2. Connaissant l'épaisseur et la matière de la séparatrice (silice) la position de ce plan **par rapport à la face d'entrée de la séparatrice** calculée à 480 nm [ $n(480) = 1.46254$ ] est exactement  $d = 25.06550$  mm. On choisit :

$$d = 25.10 \pm 0.05 \text{ mm}$$

valeur qui sert à positionner l'ensemble des faisceaux de sortie par rapport au bloc interférométrique (Fig. 3). Les faisceaux de sortie de l'interféromètre sont rigoureusement **symétriques** par rapport à l'axe  $XX'$ .

**En conclusion, lorsque les cotes ne sont pas indiquées sur les différents plans, ou ne sont pas précisées dans ce texte, elles ne sont pas figées mais la valeur relevée sur les plans en représente la valeur nominale. Les tolérances sur les cotes imposées sont toutes précisées dans ce cahier des charges.**

### 3 Pièces optiques



**Fig. 3bis :** Angles entre les pièces de l'interféromètre intervenant dans le calcul du contraste des franges. Leur effet est minimisé avec une disposition de  $\theta_1$  et  $\theta_2$  symétriques par rapport à la séparatrice.

#### 3.1 Tolérances sur les pièces de l'interféromètre

Les tolérances les plus sévères portent sur ses composants, la séparatrice  $S$ , les 2 miroirs M1 et M2 et les entretoises. Les défauts à contraindre sont la qualité des surfaces et de parallélisme afin qu'après montage les angles entre les ondes qui interfèrent satisfassent aux tolérances requises. Ces 2 ondes doivent être planes et parallèles. Un défaut de parallélisme entraîne une baisse de contraste des franges intégrées sur tout le faisceau. Pour 2 ondes parfaitement planes formant un petit angle  $\Phi$  le contraste des franges pour un faisceau circulaire de rayon  $R$  est :

$$C = 2 \frac{J_1(2\pi\theta R/\lambda)}{2\pi\Phi R/\lambda}$$

Si l'on impose un contraste meilleur que 90% on en déduit pour le faisceau de diamètre 50 mm et  $\lambda = 480nm$  (milieu du domaine spectral) :

$$\Phi < 0.5736''$$

En fait, le miroir M2 divise le faisceau incident en 5 portions, calculées pour que les 5 faisceaux soient d'égale intensité, décalées en différence de marche (DDM) d'une quantité  $a$  (Fig. 4). Pour chaque portion de l'onde plane d'entrée, en présence d'un angle  $\Phi$  de la surface d'onde dans le sens du décalage  $a$ , on a 5 DDM décalées non plus de  $2a$  mais  $2a + \Phi * l$ , avec  $l$  la hauteur d'un échelon. Ceci s'accompagne également d'une baisse de contraste de même forme mais calculé sur la hauteur d'un échelon. Le décalage  $2a + \Phi * l$  n'est pas gênant dans la mesure où il est calibré (et stable). Les échelons extérieurs sont les plus hauts (16.9 mm). Ils déterminent la tolérance finale :

$$\Phi < 0.85''$$

Les angles qui interviennent pour déterminer  $\Phi$  sont,  $\theta$  qui caractérise le parallélisme de la séparatrice,  $\theta_1$  l'orientation du miroir M1,  $\theta_2$  l'orientation du miroir M2 (Fig. 3bis). En prenant comme référence pour tous ces angles la face d'entrée de la séparatrice et en suivant les réflexions et transmissions de chaque onde dans l'interféromètre il résulte :

pour la voie de sortie 1 :

$$\Phi_1 = 2(\theta - \theta_1 - \theta_2)$$

pour la voie de sortie 2 :

$$\Phi_2 = 2(-n\theta + \theta_1 + n\theta_2)$$

Mais en fait  $\theta_1$  et  $\theta_2$  dépendent du parallélisme des entretoises. Soit  $\alpha$  l'angle entre les 2 faces des entretoises. On a  $\theta_1 = \theta + \alpha$ . Le montage des entretoises peut permettre de minimiser  $\Phi_1$  et  $\Phi_2$ . Si  $\theta_2 = -\alpha$ , c'est-à-dire si les miroirs M1 et M2 ont des orientations symétriques par rapport à la séparatrice (Fig. 3bis), on obtient (avec  $n \simeq 1.5$ ) :

$$\Phi_1 = 0 \quad \text{et} \quad \Phi_2 = \simeq (\theta + \alpha)$$

**En conclusion**, il advient comme condition :

$$\theta + \alpha < 0.85''$$

On adopte donc  $\theta < 0.4''$  et  $\alpha < 0.4''$ .

A noter que ceci suppose que l'orientation des défauts angulaires de la séparatrice et des entretoises soient repérés afin de permettre de respecter les conditions de montage qui minimisent les défauts de parallélisme entre les ondes qui interfèrent. Les traitements devront aussi être déposés sur la séparatrice de sorte que  $\theta$  soit dans le plan principal de l'interféromètre.

Mais ceci suppose que les surfaces d'onde qui interfèrent soient parfaitement planes. Chaque onde subit 3 réflexions. Si chaque surface est polie avec une précision de  $\lambda/N$ , après les 3 réflexions, sachant qu'une réflexion double le défaut de l'onde incidente, si tous les défauts s'additionnent, la somme des défauts entre les 2 ondes résultantes peut atteindre  $28\lambda/N$ . Sachant que la profondeur d'un échelon est  $\sim \lambda/4$  en DDM, il est nécessaire que la différence des 2 ondes sur chaque sortie, sans les échelons, présente un écart significativement plus petit ( $\lambda/16$ ). Prenant une valeur moyenne pour l'addition des défauts de surface on obtient la condition :

$$14\lambda/N < \lambda/16$$

Il en résulte sur la surface du faisceau, une condition de qualité de surface extrêmement rigoureuse, comparable à celle des lames de Fabry-Pérot :

$$\sim \lambda/200$$

Comparativement les tolérances sur les parallélismes sont moins sévères, à la condition de respecter un montage optimum.

### 3.2 Description des éléments optiques

En suivant le trajet de la lumière à partir de l'entrée de l'instrument (Fig. 1), les différents éléments optiques sont passés en revue.



- **fibres optiques**

La liaison avec le télescope se fait par une fibre optique de diamètre  $60\ \mu\text{m}$ , de longueur  $\sim 15\ \text{m}$ . Une étude annexe portera sur la liaison télescope-fibre optique. Elle n'est pas détaillée ici. A côté de cette fibre est installée une fibre optique dite de **référence**. Elle est alimentée en permanence par une lampe spectrale. Elle peut être alimentée par une source blanche pour les réglages. La liaison avec cette source de référence se fait par une fibre également de diamètre  $60\ \mu\text{m}$ , de longueur maximum  $\sim 50\ \text{cm}$ .

- Les 2 fibres doivent être dotées d'un réglage indépendant de positionnement et de focalisation (voir Sect. 5.1).

- La fibre de référence doit pouvoir être placée pour des tests à la place de la fibre principale.

- Le support des fibres, non représenté sur Fig. 1, doit être solidaire de la platine.

- L'entrée des fibres constitue un passage sous vide, qui doit donc être étanche tout en permettant le réglage des fibres. **Cela ne signifie pas que les réglages de fibres doivent être fait sous vide** mais la traversée des fibres pour l'entrée dans le caisson à vide (Sect. 8) doit se faire avant le sous-ensemble de support et de réglage des fibres et en permettant son accès et l'échange de fibres.

**Les caractéristiques précise des fibres (autre que diamètre) seront définies avec Jacques Baudrand. Le consulter sur le mode de fixation, l'étanchéité, l'alimentation d'une fibre par une lampe spectrale, par une lampe blanche (voir Partie II).**

- **objectif d'entrée** - à étudier (voir J.M. Reess)

Doublet achromatique sur le domaine 400-560 nm.

- distance focale  $125\ \text{mm} \pm 1\ \text{mm}$ ,

- diamètre utile 50 mm,

- traitement de surface faisant filtre passe-bande 400-560 nm (largeur à mi-hauteur)

- transmission uniforme sur ce domaine  $> 98\%$

- transmission bloquée en dehors de la bande passante sur tout le domaine de sensibilité du CCD, 150-1150 nm,  $< 0.1\%$

L'objectif est monté sur la platine sans réglage.

- **bloc interféromètre (Fig. 3)**

L'interféromètre lui-même est constitué par la séparatrice et les 2 miroirs M1 et M2 (M2 détaillé sur Fig. 4). M1 et M2 sont maintenus à distance égale par 2 entretoises. L'ensemble est fixé par collage optique au centre d'une base polie. Le positionnement de ce bloc doit répondre aux spécifications suivantes :

- en orientation, séparatrice éclairé par le faisceau parallèle d'entrée avec l'angle d'incidence de  $15^\circ \pm 10'$ ,

- en position, suivant l'axe *Axe 1* et en respectant le déplacement **d** indiqué Sect. 2.2

- ne comporter aucun réglage

- ne pas induire de contraintes sur l'ensemble interférométrique

- être facile à enlever, sans risque (pour le transport)

- pouvoir se remettre en place sans re-réglage de l'instrument.

Suggestion : mise en place reproductible par système trait-point-plan. Blocage par patte en téflon à l'aplomb des 3 points placés à  $180^\circ$ .

Séparatrice

Matériau : silice fondue, qualité optique

Diamètre :  $150\ +0\ -0.2\ \text{mm}$

Epaisseur :  $30 +0 -0.1$  mm

Qualité des 2 surfaces parallèles sur tout le diamètre :  $\lambda/75$

Parallélisme :  $\pm 0.4''$

Traitement semi-réfléchissant  $50 \pm 1\%$ , sur domaine 380 - 580 nm suivant description (Fig. 3)

Traitement AR sur même domaine, suivant plan (Fig. 3).

#### Miroirs M1 et M2

Matériau : Zerodur

Dimensions externes selon Fig. 4

Epaisseur :  $20 +0 -0.2$  mm

Qualité de la surface totale :  $\lambda/100$

Face arrière doucie

Parallélisme :  $\pm 5'$

Montage par adhérence optique sur chaque entretoise (Fig. 3)

4 échelons équidistants sur M2 selon Fig. 4, par usinage ionique

Profondeur  $a$  (calculée pour  $\lambda = 435$  nm) :  $50$  nm  $\pm 5$  nm

Qualité de surface de chaque échelon: celle de la surface d'origine

Largeur des 3 échelons du centre :  $\pm 0.1$  mm

Epaisseur du décrochement entre échelons :  $< 0.5$  mm

#### Entretoises

Matériau : Zerodur

Longueur :  $125 +0 -0.1$  mm

Diamètre :  $40 +0.5 - 0$  mm

Egalité de longueur :  $\pm 0.01$  mm

Qualité des 2 surfaces parallèles :  $\lambda/50$

Parallélisme des 2 faces :  $\pm 0.4''$

Repérage du défaut de perpendicularité

Décalage au montage entre les axes des 2 entretoises :  $5.4 \pm 0.1$  mm

Montage par adhérence optique sur chaque face de la séparatrice (Fig. 3)

#### Base

Matériau : Zerodur

Diamètre :  $160 +0 -0.5$  mm

Epaisseur :  $30 +0 -0.1$  mm

Qualité de la surface supérieure :  $\lambda/10$

Face arrière doucie

Parallélisme :  $\pm 1'$

#### • **lames à faces parallèles**

Trois lames à face parallèle d'épaisseur différente doivent pouvoir être interchangeables dans le bras de l'interféromètre, côté du miroir M1 (Fig. 1 et 3). Leur mise en place doit permettre de respecter les conditions d'incidence.

Matériau : silice

Diamètre utile : 50 mm

Épaisseur (déterminée pour les DDM = 8, 3, 1.5 mm) : 17.3, 6.5, 3.2 ± 0.1 mm

Variation de l'épaisseur optique de chaque lame sur la surface utile :  $\lambda/100$

Angle d'incidence au montage :  $0^\circ \pm 1'$

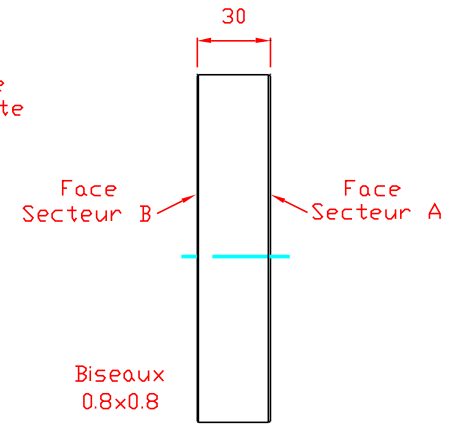
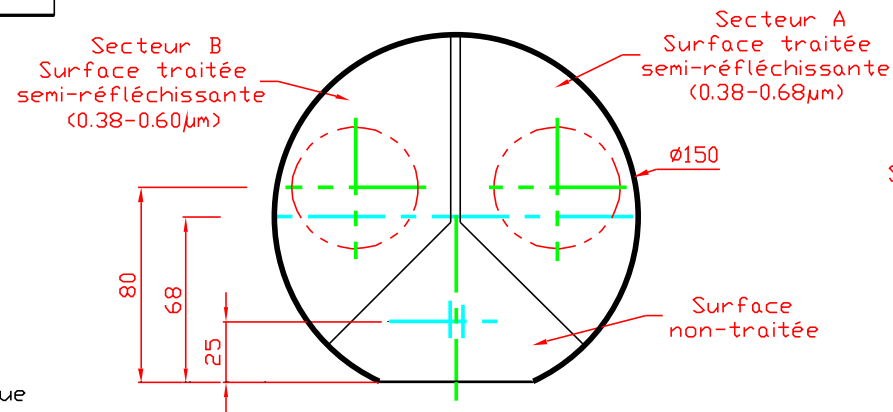
Traitement AR domaine 400 – 560 nm : < 0.5%

La tolérance sur l'angle d'incidence sur les lames est contrainte par la variation de DDM avec la longueur d'onde que l'on peut tolérer; un changement d'incidence correspond à une petite variation de DDM, dont la valeur absolue n'est pas très contrainte ( $\pm 0.1$  mm). Par contre la **stabilité** du positionnement est extrêmement contrainte. C'est elle qui détermine les performances de l'instrument. Pour cela le positionnement des lames n'a aucun réglage. Le support d'appui des lames est solidaire du bloc interférométrique. Elles constituent aussi l'élément sensible en température pour la stabilité et donc les performances de l'instrument (voir Sect. 9).

**A étudier** : montage des lames

SIAMOIS

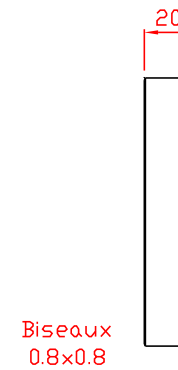
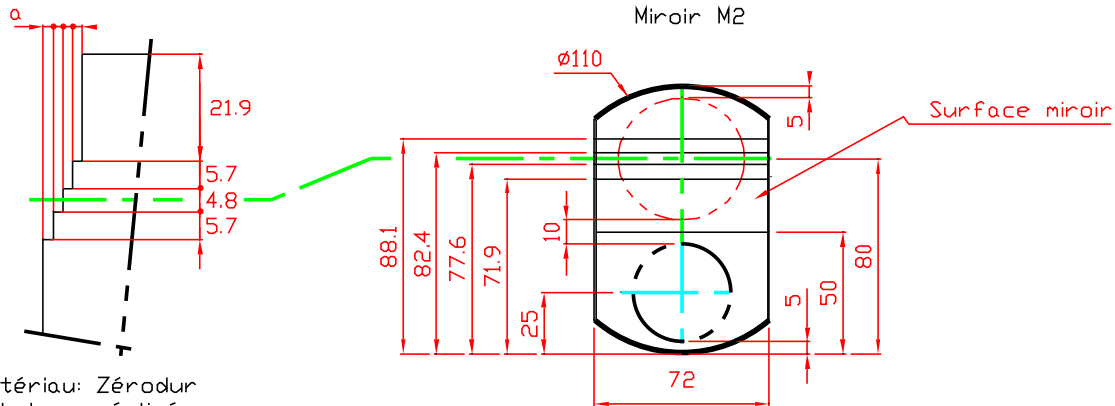
Séparatrice



Traitement anti-reflet sur face opposée à chaque secteur

- matériau: silice fondue
- homogénéité
- faces A et B polies  $\lambda/50$
- parallélisme A et B:

Miroir M2



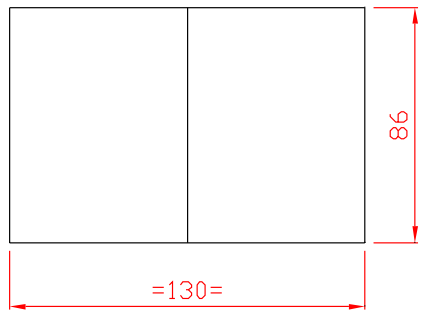
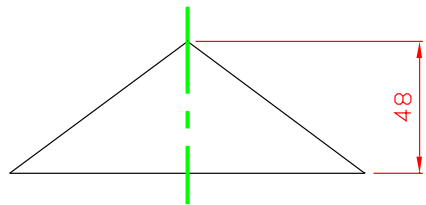
- matériau: Zérodur
- Echelons réalisés par usinage ionique

RJC  
15/05/2002

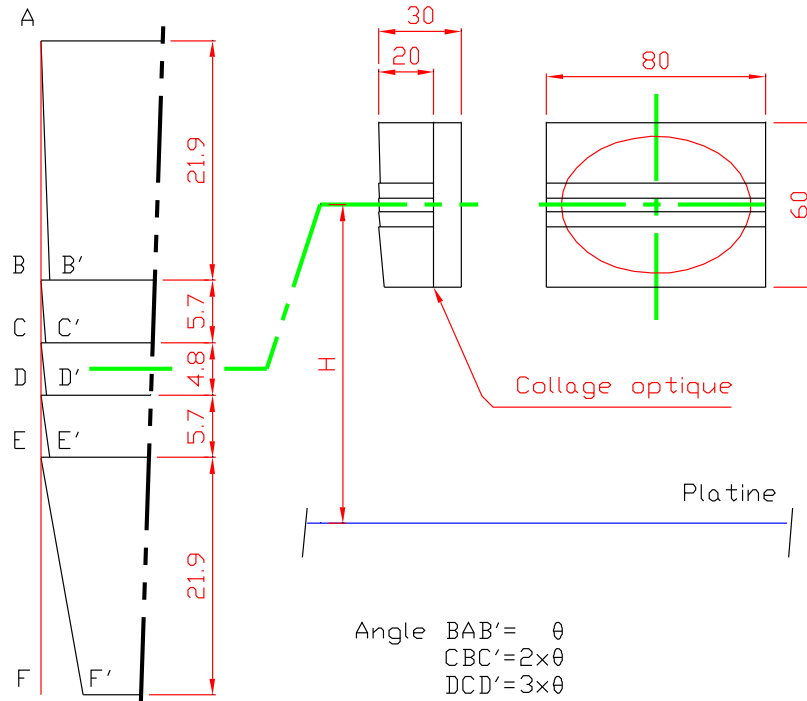
**Fig. 4** Vue de détails de la séparatrice et du miroir à échelons M2.  
Le miroir M1 est identique à M2 sans les échelons.

SIAMOIS

MIROIR PRISMATIQUE P



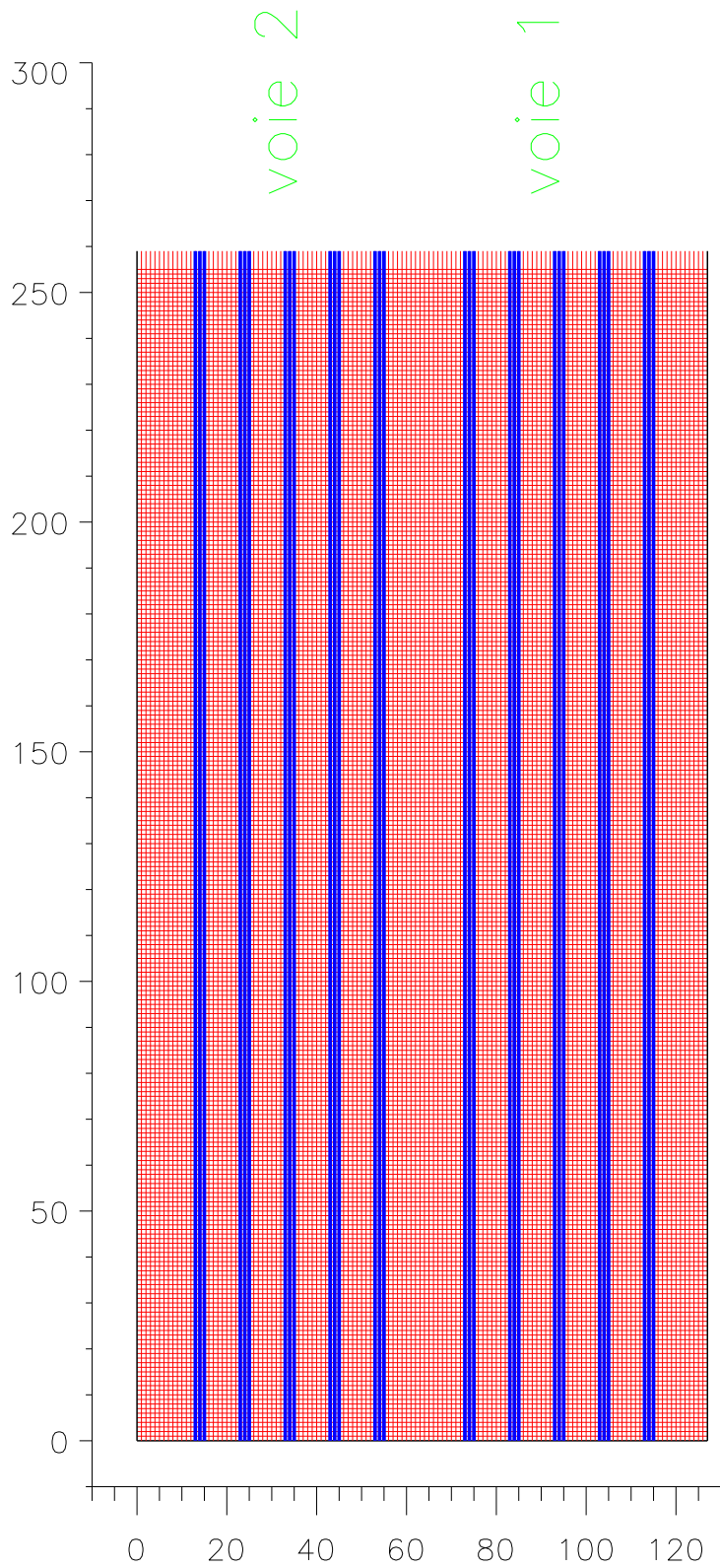
MIROIRS M3 et M4



Angle  $BAB' = \theta$   
 $CBC' = 2 \times \theta$   
 $DCD' = 3 \times \theta$   
 $EDE' = 4 \times \theta$   
 $FEF' = 5 \times \theta$   
 $\theta = 3.4' \pm 6''$

RJC  
 03/06/2003

**Fig. 5** Ensemble miroirs M3 et M4 dits à *déviaton croisée*. Les angles sont grossis pour la représentation. Vue du miroir prismatique P.



**Fig. 6** Disposition des 10 spectres (hauteur 3 pxl), 5 par voie, sur le CCD de la caméra de 1024×128 pixel.

- **miroirs de déviation croisée M3 et M4 (Fig. 5)**

Ces miroirs ont pour fonction de séparer dans la direction perpendiculaire au plan de la Fig. 1 les 5 portions de faisceau délimitées par les échelons du miroir M2. Ils sont donc formés de 5 segments assemblés par collage optique, ayant exactement la même largeur que les échelons de M2. Cette déviation est obtenue en donnant à chaque segment un petit angle calculé de telle sorte que 5 spectres pour chaque faisceau de sortie se forment sur le CCD suivant le dessin de la Fig. 6. Ils sont régulièrement espacés et la position nominale des 5 spectres de chaque voie est symétrique par rapport à la rangée centrale de pixels du CCD. La valeur des angles à donner à chaque facette, avec la tolérance est donnée sur la Fig. 5. Les 5 facettes sont montées par collage optique sur une lame commune comme indiqué sur cette figure.

**La mise en place de ces miroirs nécessite des réglages (Sect. 5.2).**

- **réseaux R1 et R2**

Référence : Jobin-Yvon Horiba 510 08 160. Dimensions : 80×110×16 mm (reportées sur Fig. 1).

Caractéristiques	nb of line/mm	=	1200.00
	order	=	1st
	Blaze angle	=	22° 12'
	Angle of incidence	=	60.0872°
	Blaze wavelength	=	497.000 nm
	Beam size on grating	=	100.264 mm
	Diff. angle at 480nm	=	-16.9°
	Diff. angle at 400nm	=	-22.7°
	Diff. angle at 560nm	=	-11.2°

**Réglage à prévoir, voir Sect. 5.3.**

- **objectifs de sortie L1 et L2 - à étudier (voir J.M. Reess)**

Ensemble achromatique sur le domaine 400-560 nm donnant la qualité d'image nécessaire sur toute la largeur du domaine spectral, défini par la taille d'un pixel de la caméra, soit 26 microns.

– distance focale : 132 + 0. - 0.5 mm

– diamètre utile : 110 mm

– traitement AR sur domaine : 400-560 nm.

Avec cette focale, les spectres occupent 1021 pxl en longueur sur la caméra CCD (Fig. 6)

**Réglages à prévoir, voir Sect. 5.4.**

- **miroir prismatique P**

Pièce aux dimensions nominales données sur la Fig. 5.

– Tolérances sur toutes les cotes : - 0 + 0.2mm.

– Positionnement de l'arête du prisme selon l'axe  $XX'$ ; centrage :  $\pm 0.1$  mm.

– 1/2 angle au sommet du prisme :  $53^\circ 30' \pm 5'$

– Qualité de polissage des 2 surfaces de miroir :  $\lambda/5$ .

– Face d'appui doucie.

Le prisme doit pouvoir être monté en position sans réglage.

## PARTIE II : MECANIQUE

L'ensemble des éléments optiques décrits dans la Partie I sont montés sur une **platine** installée dans un **caisson étanche**, mis en vide primaire ( $\sim 10^{-3}$  mm) pour les observations. Le vide permet de supprimer :

- la turbulence sur les chemins optiques de l'interféromètre
- la convection pour l'isolement thermique de la platine et des pièces optiques.

Un paragraphe traite spécialement de la stabilité en température requise.

### 4 Platine

Elle est de dimension  $\sim 350 \times 350$  mm. Elle constitue le plan de référence pour tout l'instrument. Tous les éléments sont montés dessus (Fig. 1, 2, 3). Elle porte un bras (non représenté sur Fig. 1) qui supporte l'entrée des fibres optiques.

Matériau : Dural. Surface supérieure usinage fin ( $\nabla\nabla$ ).

### 5 Réglages

Les réglages ont une course estimée par rapport à la position nominale, variant sur une mise en place des supports éléments à la précision usuelle des usinages mécaniques. **Ce sont donc tous des réglages fins.** Ils doivent pouvoir être bloqués après alignement complet, sans dérèglement.

#### 5.1 centrage et focalisation des fibres

L'objectif d'entrée étant fixe la position de chaque fibre au foyer de l'objectif détermine la direction du faisceau, pour qu'il soit à la hauteur  $H$ , et son angle d'incidence sur la séparatrice.

Les 2 fibres sont placées l'une au-dessus de l'autre (note : pas comme représenté sur Fig. 1). Le spectre produit par la lampe à Hg dans le domaine 400-560 nm est constitué essentiellement de 2 raies intenses, à 546,2 nm et une autre à 435,8 nm. Le positionnement de la fibre *référence* doit permettre de former les 10 spectres correspondants (voie 1 et voie 2) intercalés entre les spectres stellaires (Fig. 6). Cela suppose une séparation nominale entre les 2 centres de fibre de :

$$128 \pm 20 \text{ microns}$$

Les 2 fibres étant très proches, n'ont pas de réglage l'une par rapport à l'autre. Elles doivent donc être montées avec cette séparation, pour être centrées et focalisées simultanément. La fibre normalement reliée au télescope doit pouvoir être éclairée par une source blanche pour éviter d'interchanger les fibres. L'image sur la caméra des spectres ainsi obtenu est utilisée pour les opérations de réglage des éléments optiques et pour vérifier le centrage final (par exemple après remise en place du bloc interférométrique après un déplacement).

- Amplitude du mouvement de focalisation :  $\pm 2$  mm
- Mouvement XY de centrage; amplitude  $\pm 1$  mm.

A voir également le démontage ou le rangement des fibres pour le transport de l'instrument.

#### 5.2 réglage de M3 et M4

Les 5 tranches de ces miroirs doivent correspondre rigoureusement aux échelons de M2. Ceci suppose donc :



- un réglage en hauteur pour amener à la cote  $H$  le milieu de chaque bloc M3 et M4 par rapport à la platine (voir Fig. 5); amplitude :  $\pm 1$  mm par rapport à la valeur nominale.
- deux réglages de rotation par butée micrométrique (avec blocage) à  $90^\circ$  de M3 et M4, pour un déplacement du faisceau parallèle au plan de la platine (réglage X) et perpendiculairement (réglage Y); amplitude  $\pm 30'$ . Le réglage en X permet de centrer le faisceau sur le réseau.

### 5.3 réglage de l'angle incidence sur les réseaux

Autour de la valeur nominale de l'angle d'incidence (voir Sect. 2.1) du faisceau sur chacun des réseaux leur réglage en rotation permet de centrer les spectres dans la grande dimension du CCD. Une rotation de  $\pm 1^\circ$  correspond à un déplacement latéral du foyer du faisceau central (480nm) de  $\pm 1.2$  mm sur le CCD. La résolution nécessaire du réglage doit permettre un centrage à mieux qu'un demi-pixel, soit angulairement sur le réseau une rotation de  $39'$ .

- Axe de rotation situé dans le plan de chaque réseau et au milieu de la largeur; précision de centrage  $\pm 0,5$ mm; amplitude de rotation  $\pm 2^\circ$  (par rapport à l'orientation nominale).

### 5.4 focalisation sur la caméra

La caméra est **fixe** (voir Fig. 2 et montage Sect. 6) pour être solidaire de l'ensemble de l'instrument. Pour le miroir prismatique P et les objectifs L1 et L2 (Fig. 2) il existe une position au-dessus de P du foyer de chaque objectif, mais pas nécessairement à la même hauteur et pas à la position correcte latéralement (direction perpendiculaire à la dispersion des réseaux). Le réglage du réseau a permis de centrer les spectres par rapport au CCD dans la direction de dispersion. Il reste à effectuer la focalisation des spectres sur le CCD et leur alignement tel que représenté Fig. 6 :

- Focalisation par le réglage en profondeur de L1 et L2. Amplitude :  $\pm 1$  mm.

Ce réglage déplace verticalement et latéralement chaque foyer.

- Alignement des spectres obtenu par la retouche du réglage en Y de M3 et M4.

La combinaison alternée des 2 réglages permet d'effectuer le positionnement et la focalisation correcte des spectres.

## 6 Montage de la caméra CCD

Caméra 1024×128 pixels :

référence DU401-BV, refroidissement TE, fabricant Andor Technology ([www.andor-tech.com](http://www.andor-tech.com)).

Sera discuté avec le fabricant la possibilité de traitement AR adapté pour le domaine 400-560 nm.

Le montage de la caméra est représenté sur la Fig. 2. Elle est :

- montée sur une bride
- face supérieure polie pour être la face d'appui du joint torique (dia int. 54 mm - voir doc de la caméra) monté sur la bride rectangulaire liée à la caméra.
- ensemble porté par 4 colonnettes, hauteur :  $\sim 180$  mm,
- fixées sur la platine sur un cercle de rayon : 95 mm pour former un ensemble rigide avec l'ensemble optique.

**A étudier** : liaison au caisson à vide tout en assurant l'étanchéité.

## 7 Sources de référence

Deux types de source de référence sont à implanter : une source blanche et une lampe spectrale.

### 7.1 lampe spectrale

Le type de source : lampe à vapeur de Hg basse pression - référence à chercher.

Elle éclaire l'instrument indifféremment avec la fibre **télescope** ou la fibre **référence**. Alimentant l'instrument par la fibre **télescope** elle est utilisée pour :

- calibrer l'interféromètre en différence de marche à partir du signal donné par ses raies d'émission de longueur d'onde bien connue,
- effectuer des tests de performance : contraste des franges.

Pendant les observations, elle alimente l'instrument par la fibre **référence**, permettant le contrôle de la dérive thermique de l'instrument (voir Sect. 9).

Positionnement de la source : elle est placée à l'extérieur du caisson à vide, montée sur le couvercle. Il n'y a pas de contraintes particulières pour son emplacement (liaison par fibre).

**A étudier** : un injecteur de fibre optique à partir de la lampe spectrale permettant un échange de fibre.

### 7.2 source blanche

Elle ne sert que pour les réglages, donc elle n'a pas être installée nécessairement en permanence sur l'instrument. Toutefois, il peut être plus commode que ce soit le cas.

Type de source : petite lampe halogène.

Elle alimente uniquement la fibre **télescope**. Elle est utilisée pour faire les réglages de mise au point sur le CCD.

**A étudier** : un injecteur de fibre optique semblable au précédent à partir de la source blanche.

## 8 Caisson à vide

De forme cubique, de dimension de l'ordre de  $\simeq 500 \times 400 \times 260$  (sans la caméra), il protège l'ensemble de l'optique. Il supporte la platine optique qui est découplée thermiquement du caisson. Il repose sur 4 plots caoutchouc pour l'isolation des chocs et des vibrations.

Il a comme fonctionnalité de permettre le montage de la caméra en conservant l'étanchéité et en apportant le minimum de contraintes mécaniques à la mise sous vide comme décrit dans la section 6. Il permet l'enlèvement aisé du bloc interféromètre pour transport, et sa remise en place.

Il doit donc être conçu pour permettre d'installer à l'intérieur la platine optique toute équipée. Il est pour cela constitué en 2 parties :

- une base rectangulaire avec 4 pieds de supportage avec les points de supportage et de fixation de la platine, et les 4 cotés montés par soudure.
- un couvercle rectangulaire (Fig. 2) avec joint torique pour l'étanchéité sous vide.

Plusieurs passages sous vide sont à prévoir, venant sur les côtés :

- le système d'entrée des 2 fibres optiques,
- une vanne de pompage, permettant une rentrée d'air pour remise en pression

- une jauge à vide primaire pour contrôle du vide,
- la commande électrique de régulation thermique de la platine suivant le système retenu.
- matériau : Dural soudable.

**A étudier** : nervures soudées pour la base et le couvercle, pour limiter les déformations à la mise sous vide et diminuer la masse.

## 9 Stabilité thermique

L'exigence de stabilité thermique de l'interféromètre est très élevée. Mais du fait de sa symétrie il est insensible à une variation thermique de la longueur des bras, fixée par les entretoises. L'élément sensible est la lame à face parallèle fixant la différence de marche (Sect. 3.2) dont l'épaisseur optique change par la variation thermique d'épaisseur mécanique et par variation thermique d'indice. On peut en déduire que la stabilisation doit permettre de contrôler une montée ou une baisse  $< 0.1 \text{ deg C/ 6 heures}$ .

**A étudier** : montage du caisson sous vide de l'instrument dans une enceinte thermostatée.

Un test permanent de la stabilité thermique pourra être effectué à l'aide de la source de référence, par la mesure de la phase de la frange en lumière monochromatique délivrée par cette source. La variation de phase de la frange introduite par un changement d'épaisseur optique de la lame est proportionnel à la variation de température.

## 10 Nature de l'étude

Il est demandé une **étude mécanique** de l'instrument SIAMOIS suivant les plans de la pré-étude reproduits sur les Fig. 1 à 5 (documents dxf correspondants) et les spécifications du présent cahier des charges, ainsi que la constitution du dossier complet de réalisation de l'instrument. Des études particulières sont mentionnées au long du présent document.

**Aucune des pièces optiques ne sont des éléments optiques du commerce**, à part les fibres et les réseaux R1 et R2. L'étude demandée nécessite donc pour les pièces optiques :

- un dessin de détail pour fabrication,
- un dessin de détail pour réalisation des traitements de surface,
- un dessin de montage quand nécessaire.

Cette partie de l'étude sera **faite en priorité**, pour une demande d'évaluation puis de lancement de fabrication.