



Site de Calern
2130 route de l'Observatoire
06460 Caussols



IUT Mesures Physiques de Limoges
Techniques Instrumentales

Emilien MOTHE

Rapport de stage : 4 avril – 15 juin 2005

Intégration et caractérisation optique
de la boîte focale de MI SOLFA

Tests opto-électroniques de sa voie pupille



Maître de stage : Frédéric MORAND

Sommaire

| | |
|---|-----|
| Remerciements | p4 |
| Introduction | p5 |
| I) L'Observatoire de la Côte d'Azur | p6 |
| I -1) Présentation | p6 |
| I -2) Le département GEMINI | p7 |
| I -3) Astrométrie solaire à Calern | p8 |
| II) Missions scientifiques | p9 |
| II -1) PICARD | p9 |
| II -2) MI SOLFA | p10 |
| II -2-a) Objectifs | p10 |
| II -2-b) Principe de fonctionnement | p11 |
| II -2-c) Description de l'instrument | p12 |
| II -2-d) Méthode de mesure..... | p14 |
| III) Objectifs du stage | p17 |
| IV) Boîte focale de MI SOLFA | p18 |
| IV-1) Présentation de la boîte focale | p18 |
| IV-2) Caractérisation optique | p20 |
| IV-2-a) Calculs préliminaires | p20 |
| IV-2-b) Calcul de la focale des lentilles-fente | p21 |
| a) Détermination du plan focal | p21 |

| | |
|--|------------|
| β) Détermination du plan pupille | p22 |
| γ) Calcul de la focale des lentilles-fentes | p23 |
| IV-3) Photodiode de flux global | p24 |
| IV-3-a) Objectif | p24 |
| IV-3-b) Principe retenu | p24 |
| IV-3-c) Dimensionnement optique | p25 |
| IV-3-d) Choix technologiques | p26 |
| α) Optique séparatrice de faisceaux | p26 |
| β) Lentille | p26 |
| γ) Support mécanique | p26 |
| IV-4) Les problèmes liés au montage et aux réglages | p27 |
| IV-4-a) Calculs de tolérance, latitude de positionnement..... | p27 |
| a) Latitude de mise au point sur la caméra | p27 |
| b) Influence de la distance entre le primaire et le secondaire sur la focale équivalente | p28 |
| g) Influence de la distance entre le primaire et le secondaire sur le diamètre de l'image de la pupille | P29 |
| d) Influence de la distance entre le primaire et le secondaire sur la position du plan focal | p30 |
| e) Positionnement du cube séparateur | p31 |
| IV-4-b) Réalisation « pratique » | p32 |
| V) Banc optique | p33 |
| V-1) Objectif | p33 |
| V-2) Simulation de la source et du télescope | p33 |

| | |
|--|-----|
| V-3) Lentille-fente de « simulation » | p34 |
| V-4) Dimensionnement du banc | p35 |
| V-5) Réalisation du banc | p28 |
| IV-5-a) Matériel | p28 |
| IV-5-b) Réalisation | p29 |
| V-6) Tests et résultats | p30 |
| V-6-a) Caractérisation de la réponse fréquentielle du détecteur | p38 |
| V-6-b) Déplacement de la lentille-fente et et de la fibre | p38 |
| | |
| Conclusion | p42 |
| Bibliographie | p43 |
| Liste des acronymes | p44 |
| Annexes | p45 |

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier Frédéric MORAND, ingénieur, qui m'a pris en charge durant ces 11 semaines. Il s'est rendu disponible tout au long du stage et sa bonne humeur a beaucoup contribué à son bon déroulement.

Je remercie Christian DELMAS, responsable de l'équipe Astrométrie et Métrologie Solaires, de m'avoir accueilli dans son service.

Merci aussi à Laurent DELAGE, professeur à l'IUT de Mesures Physiques de Limoges, qui m'a permis d'obtenir ce stage, malgré les difficultés à trouver des entreprises acceptant des stagiaires.

Je remercie Pierre ASSUS, chef de projet MI SOLFA et Amokrane BERDJA, membre du CRAAG, pour les conseils qu'ils m'ont apportés pendant mon stage.

Merci à Xavier MARTIN, Richard BRUNET et Christian MUNIER de l'atelier qui ont fabriqué les pièces dont j'avais besoin.

Je tiens enfin à remercier l'ensemble du personnel de l'Observatoire de Calern pour son accueil et sa générosité.

Introduction

Ce document présente le rapport du stage que j'ai effectué du 4 avril au 15 juin 2005 à l'Observatoire de la Côte d'Azur sur le plateau de Calern, au département GEMINI, dans l'équipe Astrométrie et Métrologie Solaires.

Ce stage entre dans ma formation à l'Institut Universitaire de Technologie de Limoges, dans le département Mesures Physiques, en option Techniques Instrumentales. Il a pour but de me faire découvrir le monde professionnel tout en mettant en pratique les connaissances acquises durant les deux ans en Mesures Physiques.

Durant ce stage, il m'a été demandé de réaliser l'intégration et la caractérisation d'un instrument de mesure.

Dans un premier temps, j'ai dû étudier l'influence du déplacement des différents éléments de cet instrument sur ses caractéristiques optiques. Cela m'a permis de déterminer la latitude de mise au point dont on dispose.

Dans un deuxième temps, j'ai dû reproduire sur banc optique une partie de cet instrument de mesures afin d'y réaliser différents tests opto-électroniques d'une de ses voies, et ainsi déterminer la criticité des réglages des éléments.

I) L'Observatoire de la Côte d'Azur

I-1) Présentation

L'Observatoire de la Côte d'Azur, actuellement dirigé par M. Jacques Colin, est né de la fusion en 1988 de l'Observatoire de Nice et du Centre d'Etudes et de Recherches Géodynamiques et Astronomiques (CERGA).

Avec un effectif d'environ 200 personnes, l'OCA est réparti sur 3 sites du département des Alpes-Maritimes :

- ▣ Le plateau de **Calern**, à **Caussols**, où se trouvent les instruments d'observation
- ▣ Le Centre de Roquevignon à **Grasse**
- ▣ Le Mont Gros à **Nice**



La principale mission de l'OCA est la recherche scientifique dans le domaine des sciences de l'Univers, dans le but d'accroître notre connaissance de celui-ci. Les activités principales se concentrent donc autour :

- ▣ des observations et de leurs interprétations
- ▣ des développements de nouveaux outils théoriques, numériques et instrumentaux
- ▣ de l'enseignement et de la formation de nouveaux chercheurs dans le cadre de nombreuses collaborations.

L'Observatoire de la Côte d'Azur est constitué de trois départements scientifiques et d'un département des services communs répartis sur les trois sites :

- ▣ Le **département Galilée** est une UMS (Unité Mixte de Services) qui regroupe les services d'administration et de gestion de l'OCA, les services techniques et d'infrastructure : informatique, bibliothèques,

ateliers.

- ▣ Le **département Cassiopée** (UMR : Unité Mixte de Recherche) regroupe des chercheurs et des ingénieurs autour de cinq thèmes : Planétologie, Physique stellaire, Analyse des données et Cosmologie, Fluides et plasmas, Turbulence et Cosmologie.
- ▣ Le **département Artémis** (UMR) dont les activités s'articulent autour de la détection des ondes gravitationnelles et plus généralement de l'astronomie non photonique.
- ▣ Le **département Gémini** (UMR), où s'est déroulé mon stage.

I-2) Le département scientifique GEMINI

Le laboratoire GEMINI est né en janvier 2004 suite à la restructuration des départements scientifiques de l'OCA. Il rapproche des chercheurs et des ingénieurs impliqués dans des recherches instrumentales et observationnelles et les regroupe autour des thématiques suivantes :

- étude des étoiles et de leur connexion avec l'environnement, du soleil : sismologie pour la structure interne, imagerie haute dynamique et haute résolution angulaire pour les étoiles et les planètes, coronographie.

- mécanique céleste et spatiale, systèmes de référence, et applications en géodynamique.

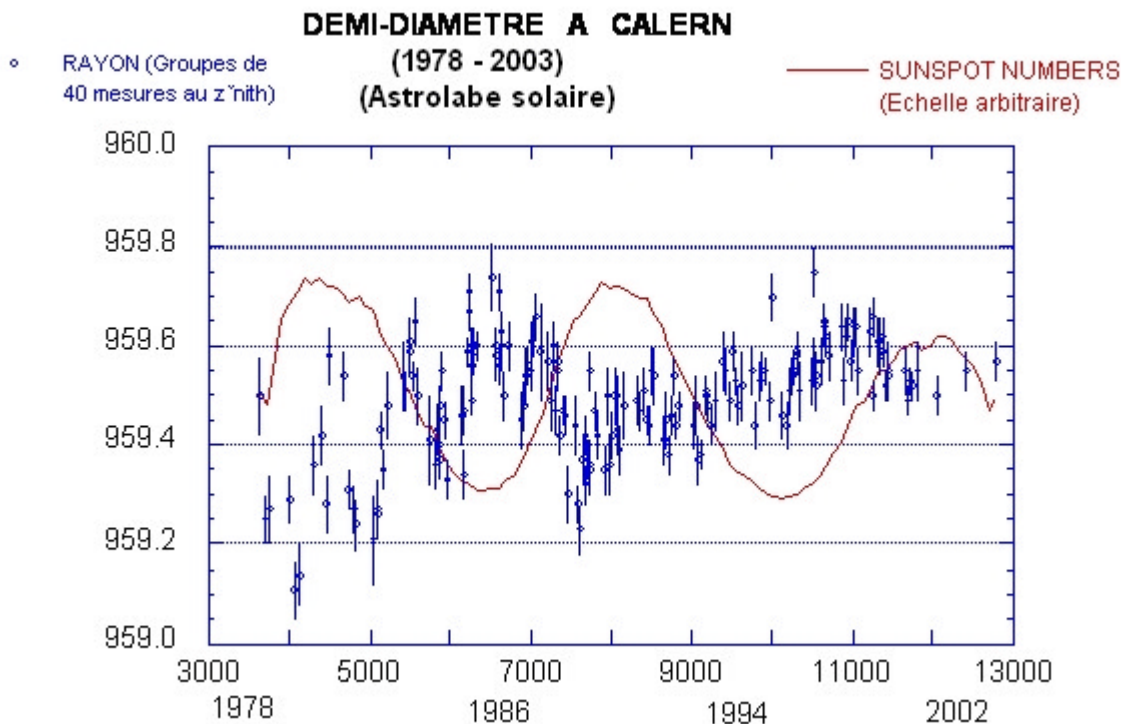
Le département est divisé en 6 équipes :

- étoiles / vents / enveloppes (équipe PSI)
- instruments HRA et interférométrie (équipe DI VA)
- géodésie et mécanique céleste (équipe GMC)
- télémétrie opérationnelle (équipe TELO)
- métrologie optique et temps-fréquence (équipe RDM)
- astrométrie solaire (équipe AMS), où j'ai effectué mon stage

I-3) L'astrométrie solaire à Calern

En 1975, Francis Laclare débute sa série d'observations visuelles sur le Soleil afin de mesurer les variations de son rayon. D'abord effectuées à l'aide d'un astrolabe solaire, ces mesures sont réalisées grâce à l'instrument DORAYSOL (Définition et Observation du RAYon SOLAire) depuis 1999.

Les mesures du diamètre solaire faites à l'Observatoire de Calern sur un peu moins de trois cycles solaires montrent des variations apparentes. Ces variations semblent présenter une anticorrélation avec l'activité solaire. En effet, le diamètre du Soleil est plus faible quand son activité est plus importante.



Cependant, on ne connaît pas l'influence de l'atmosphère sur les mesures. C'est pour cela que le projet PICARD, une mission composée d'un satellite (PICARD) et d'une section sol (PICARD-SOL), va voir le jour.

Cette mission va permettre de poursuivre les observations et d'établir un lien entre l'activité solaire et le climat de la Terre en analysant la physique et la structure interne du Soleil. Divers instruments placés en orbite et au sol permettront, grâce à leurs résultats, de nous éclairer sur les mécanismes de notre étoile et de fournir également les paramètres qui qualifient les conditions d'observation aux instants précis des mesures (voir projet MI SOLFA : II-2 page 9).

II) Missions scientifiques

II-1) PICARD

La mission PICARD a été ainsi nommée en hommage à l'astronome français Jean Picard (1620-1682) qui fit les premières mesures de précision du diamètre solaire au XVII^e siècle.

PICARD est un satellite permettant de mesurer simultanément l'irradiance solaire absolue (totale et spectrale), le diamètre et la forme du soleil, et de sonder son intérieur par la méthode de l'héliosismologie. Cette mission disposera d'instruments placés en orbite et au sol.

Son objectif est d'apporter des mesures spécifiques pour approfondir notre connaissance :

- ▣ du fonctionnement de notre étoile grâce à de nouvelles observations
- ▣ de l'influence de l'activité solaire sur le climat de la Terre.

Le satellite PICARD



Le satellite PICARD comporte trois instruments:

- ▣ SODI SM I (SOlar Diameter Imager and Surface Mapper) : mesure le diamètre et la forme du soleil à quelques milliarcsecondes près, et effectue un sondage de l'intérieur solaire (héliosismologie).
- ▣ SOVAP (SOlar VARIability PICARD): mesure l'irradiance solaire totale.
- ▣ PREMOS (PREcision Monitor for OScillation measurement): composé de trois photomètres pour étudier la variabilité de l'ozone et observer les oscillations solaires (héliosismologie).

L'ensemble au sol (PICARD-SOL), complémentaire aux instruments du satellite, est situé sur le site de Calern. Cet ensemble effectuera des mesures au sol pendant la mission PICARD et les poursuivra après la fin de cette mission.

Cet ensemble au sol se compose de:

- ▣ Deux instruments: l'astrolabe de Danjon qui a vu lui succéder DORAYSOL, en ce moment utilisé.
- ▣ SODI SM II, réplique de SODI SM I, qui sera sollicité pour la mesure du diamètre solaire
- ▣ MI SOLFA (Moniteur d'Images SOLaires Franco-Algérien), un instrument spécifique à la caractérisation de la turbulence atmosphérique en cours de réalisation (tout comme les autres instruments de PICARD et PICARD-SOL).

La comparaison sol-espace permettra de comprendre l'influence de l'atmosphère sur la mesure du diamètre au sol.

II-2) MI SOLFA :(Moniteur d'Images SOLaires Franco-Algérien)

II-2-a) Objectifs

Lorsqu'une mesure solaire est effectuée au sol, elle est entachée d'incertitudes dues, en grande partie, aux perturbations atmosphériques qui dégradent le front d'onde.

Chaque point du contour de l'image du Soleil est formé par le front d'onde dégradé par la turbulence. On observe alors un étalement du bord solaire et une agitation des images au foyer du télescope. Ces effets peuvent donc affecter les mesures du diamètre solaire ainsi que ses variations.

C'est pourquoi l'objectif de MI SOLFA est, dans un premier temps, de quantifier les effets de la turbulence atmosphérique sur la mesure au sol du

diamètre par les instruments DORAYSOL et SODISM II et, dans un second temps, de valider les méthodes de correction de ces effets perturbateurs en comparant les mesures du diamètre solaire faites par SODISM I et sa réplique au sol SODISM II. Le raccordement des mesures sol et espace se fera grâce à la modélisation de la réponse impulsionnelle de l'atmosphère aux instants de mesure du diamètre.

Pour cela, l'instrument MI SOLFA mesurera les différents paramètres de la turbulence atmosphérique de jour, sur le Soleil.

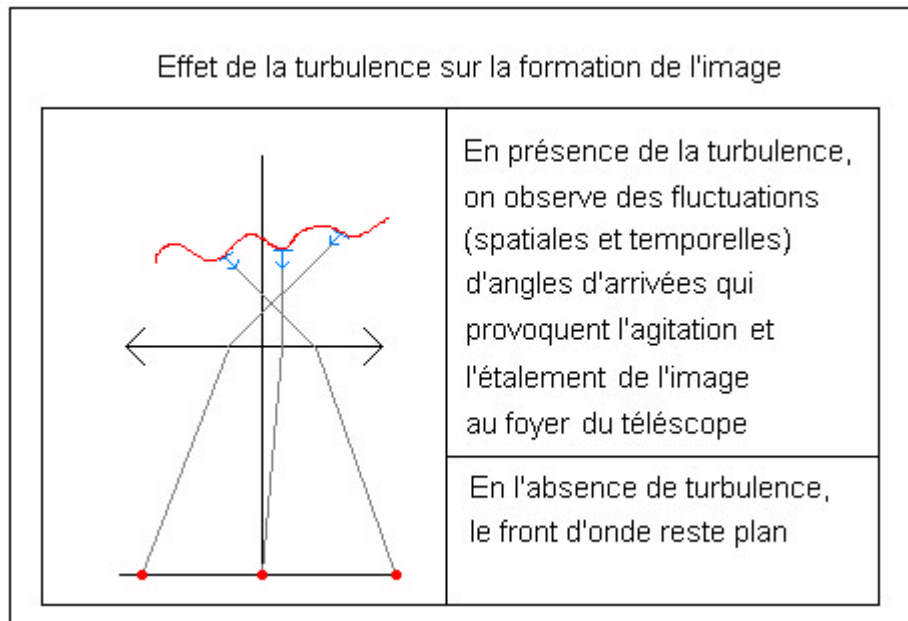
Ces paramètres sont:

- ▣ **le paramètre de Fried r_0** : En l'absence de turbulence, la résolution d'un télescope dépend uniquement de son diamètre. A cause des turbulences atmosphériques la résolution d'un télescope est limitée. r_0 correspond, théoriquement, au diamètre du télescope qui donnerait, en absence de turbulence, la même résolution qu'un télescope de diamètre infini en présence de turbulence.
- ▣ **l'échelle externe de cohérence spatiale L_0** : Elle définit la taille maximale des perturbations du front d'onde qui restent cohérentes.
- ▣ **le domaine d'isoplanétisme q_0** : Il définit la zone angulaire sur laquelle les grandeurs considérées (angles d'arrivée, fluctuations de phase, ...) restent similaires.
- ▣ **le temps caractéristique d'évolution du front d'onde t_0** : C'est le temps durant lequel on peut considérer que les grandeurs considérées gardent leur cohérence temporelle et que l'atmosphère est comme figée.
- ▣ **le profil de turbulence $C_n^2(h)$** : Il définit de quelle manière l'énergie turbulente varie le long du trajet optique de l'onde lors de sa traversée de l'atmosphère.

II-2-b) Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement de MI SOLFA est la mesure des fluctuations des angles d'arrivée qui provoquent l'agitation des images au foyer du télescope. Les angles d'arrivée sont définis comme la normale en chaque point du front d'onde dégradé par la turbulence.

Le schéma qui suit illustre l'effet de la turbulence sur la formation de l'image.



Avec MISOLFA, la mesure des fluctuations d'angles d'arrivée se fait simultanément dans deux plans :

- **la voie plan image** : une caméra CCD placée au foyer du télescope permet de mesurer ces fluctuations d'angles d'arrivé.
- **la voie plan pupille** : Des photodiodes placées sur l'image de la pupille du télescope mesurent les fluctuations de phase qui provoquent les fluctuations d'intensité observées sur cette image.

IV-2-c) Description de l'instrument

MISOLFA se compose d'un télescope de type Cassegrain coudé. Ce télescope est installé sur une monture alt-azimutale. Elle permet d'assurer le pointage puis le suivi du Soleil au cours de la journée.



Le télescope est équipé d'un miroir primaire d'un diamètre de 254 mm, d'un miroir secondaire de diamètre utile 35.5 mm et d'un miroir plan elliptique à 45°.

Au foyer de ce télescope, est située une boîte comprenant l'instrumentation focale de l'instrument. Elle porte l'ensemble de l'optique et des détecteurs (caméra CCD et photodiodes). Elle est constituée de deux voies d'analyse de types différents.

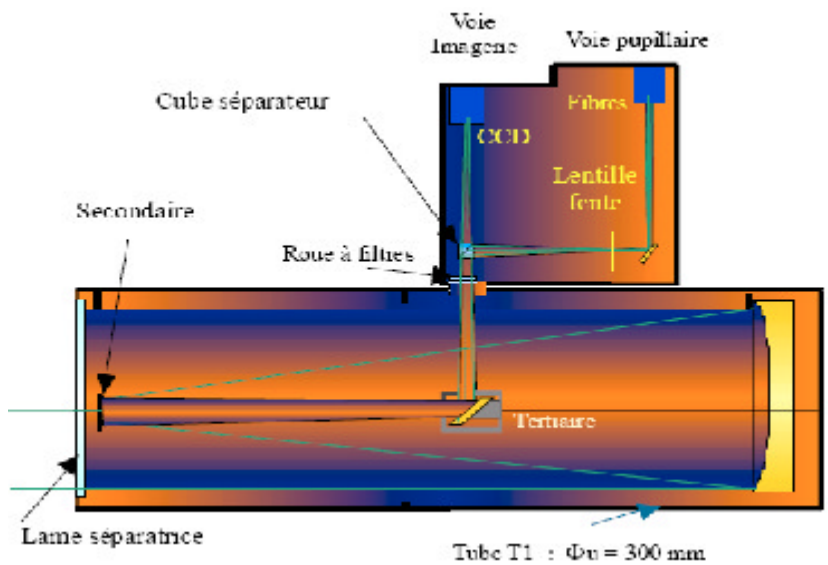
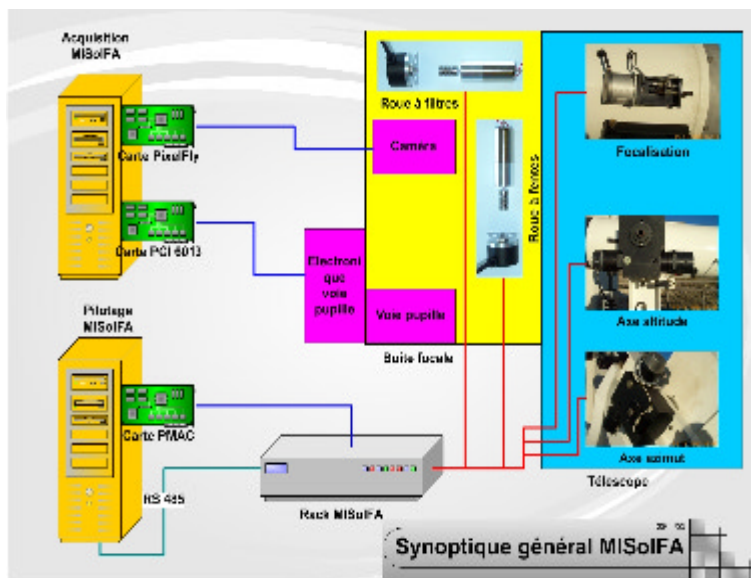


Schéma technique de MI SOLFA

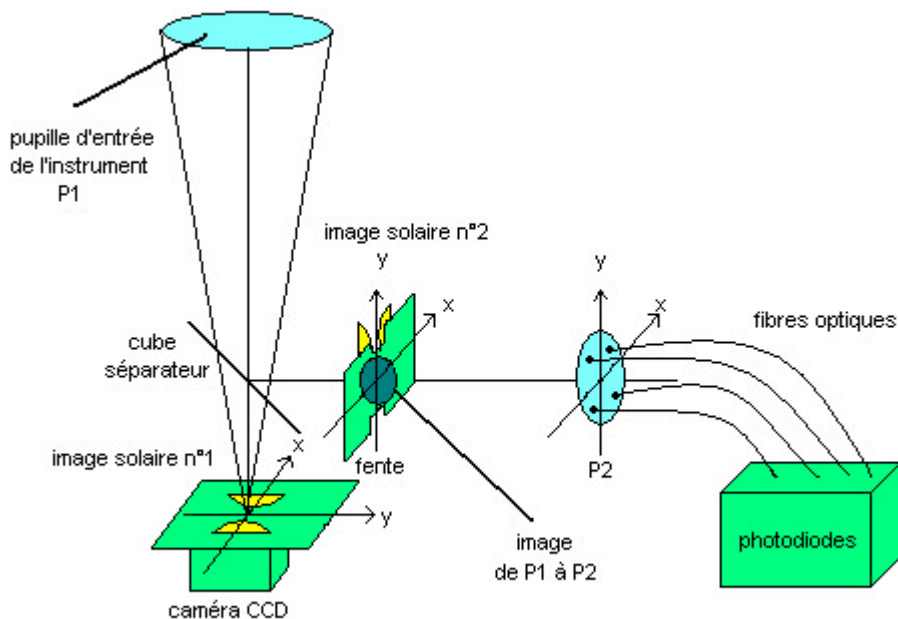
MI SOLFA comprend aussi une partie électronique divisée en deux parties :



- une électronique d'acquisition qui assure l'acquisition des données de la caméra CCD et des photodiodes.
- une électronique de pilotage qui a pour fonction de fournir la puissance aux moteurs qui assurent les mouvements des mécanismes suivants : les deux axes du télescope, la mécanique interne de la boîte, la mise au point par déplacement du secondaire.

II-2-d) Méthode de mesure

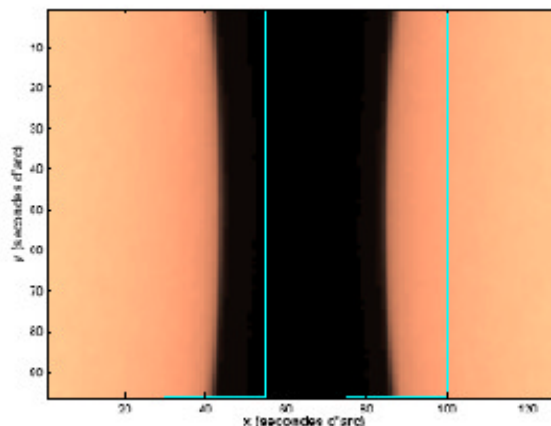
Grâce aux deux voies MISOLFA (voie image et voie pupille) tous les paramètres spatio-temporels de la turbulence peuvent être estimés, mais pour des raisons techniques seule la voie pupille pourra estimer les constantes de temps de l'atmosphère. En effet, le temps entre deux acquisitions de la caméra est plusieurs fois supérieur au temps d'évolution du front d'onde.



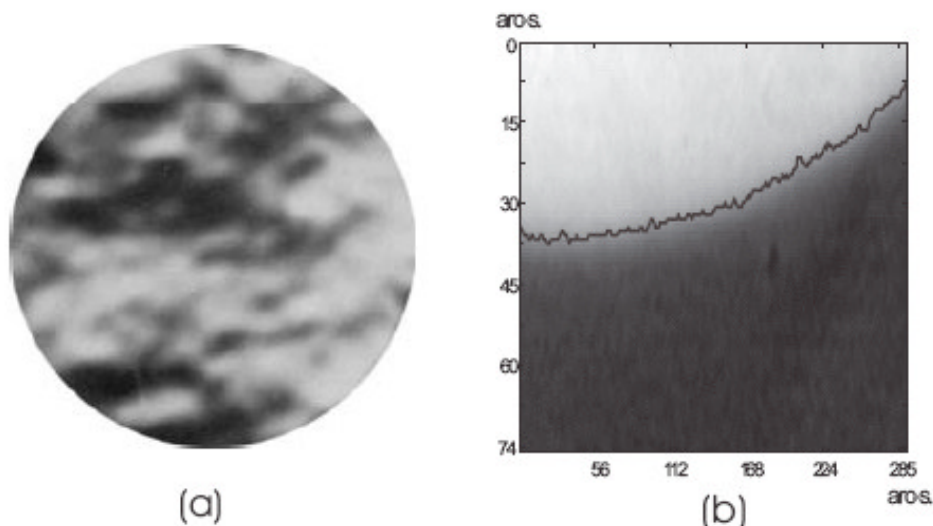
Principe de l'instrumentation focale de MI SOLFA

La voie plan image sert uniquement à mesurer les paramètres spatiaux de la turbulence par l'intermédiaire d'une caméra CCD placée dans le plan focal du télescope. L'image formée sur la CCD est constituée de deux bords solaires diamétralement opposés. Pour former ces deux bords solaires une lame prismatique, partiellement réfléchissante sur les deux faces, est placée à l'entrée du télescope.

Images du soleil telles qu'elles seront observées dans la voie plan image de MI SOLFA



Les fluctuations d'angles d'arrivée sont celles que l'on observe sur les contours des images du Soleil et sont ainsi mises en évidence dans le plan focal.



(a) Observation des fluctuations d'angle d'arrivée
dans la voie *plan pupille* (a) et *plan image* (b)

La voie plan pupille permet, en plus de la mesure des paramètres spatiaux, d'estimer le(s) temps d'évolution du front d'onde. L'évolution de la turbulence étant très rapide, la détermination de ce paramètre se fera grâce à l'utilisation de photodiodes.

Les résultats de la mesure des paramètres spatiaux sur la voie pupille seront comparés à ceux obtenus sur la voie image.

Cette comparaison permettra ou non de valider cette méthode de mesure. Le but étant, dans les projets futurs, d'avoir un instrument avec une seule voie qui mesure tous les paramètres.

Une image de la pupille est formée sur cette voie grâce à une lentille fente de quelques secondes d'arc de large et de quelques dizaines de secondes d'arc de hauteur, placée perpendiculairement au contour d'un des bords du Soleil.

Grâce à cette fente, les fluctuations de phase du front d'onde, générant les fluctuations d'angles d'arrivée, sont transformées en fluctuations d'intensité sur l'image de la pupille.

De cette façon, l'image de la pupille présente des fluctuations d'intensité lumineuse appelées ombres volantes qui sont proportionnelles aux fluctuations

d'angles d'arrivée sur la pupille d'entrée.

Ces variations sont acheminées jusqu'à des photodiodes par 4 fibres optiques de diamètres différents ($2r_0$, r_0 et $0,5 r_0$) placées sur la pupille réimagée pour permettre l'extraction des paramètres de la turbulence.

Les diamètres des fibres sont choisies en fonction du r_0 estimé à Calern : 3cm. Cette valeur ramenée à l'image de la pupille du télescope (de diamètre 10 mm) correspond à environ 1 mm. Des fibres de diamètre 2 mm, 1 mm et 500 μm sont donc choisies.

Le fait de placer ces quatre fibres de diamètres différents permet l'intégration des angles d'arrivée sur des zones de tailles différentes et ainsi d'estimer le degré de cohérence de la zone échantillonnée et donc le r_0 .

Le paramètre L_0 est estimé en positionnant deux fibres de même diamètre à deux endroits opposés sur la pupille réimagée. De cette manière, les fibres étant de même diamètre, les variations observées entre les mesures réalisées à l'aide de ces deux fibres ne peuvent que venir de leur positionnement sur l'image de la pupille, et donc de la distance qui les sépare. Ainsi le L_0 peut être estimé.

Une cinquième voie de mesure est placée sur la voie pupille pour déterminer le flux global et ainsi détecter les fluctuations d'intensité qui ne sont pas dues à la turbulence.

Durant mon stage, j'ai dû réfléchir à la manière d'intégrer cette voie. Le détail de cette étude se trouve au paragraphe V-3) page 24.

III) Objectifs du stage

L'objectif de mon stage est de réaliser l'intégration de la boîte focale de MI SOLFA et de rédiger un protocole pour faciliter le positionnement des éléments de la boîte après la mise au point de l'instrument.

Pour ce faire il faut d'abord que je fasse une étude sur le positionnement des éléments optiques du télescope de façon à qualifier et à quantifier l'influence de ce paramètre sur les caractéristiques optiques de l'instrument et connaître ainsi la latitude de mise au point dont on dispose avec le télescope.

Ensuite, mon travail consiste à connaître l'influence de la position transversale et longitudinale de la fente et de la fibre sur l'image de la pupille.

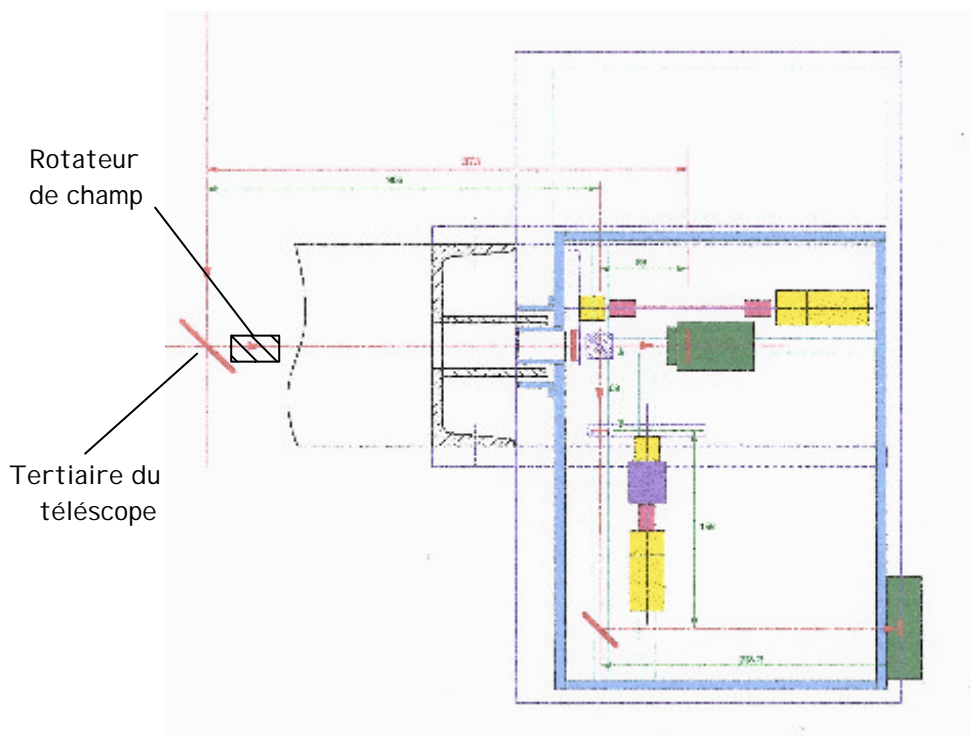
Pour cela je dois simuler sur banc la voie pupille de la boîte focale de MI SOLFA afin d'y étudier la criticité des réglages des éléments de cette voie. Ce banc servira aussi à tester et à mettre au point l'électronique des photodiodes.

Cela se fait en réalisant une série de mesures photométriques sur l'image de la pupille.

IV) Boîte focale de MI SOLFA

IV-1) Présentation de la boîte focale

La boîte focale est un parallélépipède de dimensions extérieures 368x256x128 mm. Elle est fixée sur une console horizontale positionnée sur le côté de la fourche du télescope. Elle constitue en quelque sorte l'instrumentation focale de MI SOLFA et reçoit les différents éléments optiques nécessaires à l'acquisition des données.



Plan de la boîte focale

Le miroir tertiaire du télescope réfléchit les faisceaux venant du secondaire de manière à les envoyer vers la boîte focale. Les faisceaux entrent dans la boîte par un trou latéral.

Avant d'entrer dans la boîte, les faisceaux traversent un rotateur de champ composé d'un prisme de dove entouré de deux lames inclinées. Le rotateur de champ permet de conserver au cours de la journée une orientation constante des images des deux bords opposés du soleil sur la caméra.

En entrant dans la boîte, les faisceaux traversent un filtre de longueur d'onde.

Un cube séparateur permet de créer les deux voies de mesures. La partie des faisceaux qui est transmise forme l'image solaire au foyer de la caméra CCD.

La partie réfléchie traverse une lentille-fente pour créer l'image de la pupille du télescope.

Une roue à filtres et une roue à fentes complètent la mécanique de la boîte. Ces éléments permettent de modifier le filtre ou la fente en fonction des conditions d'observation. Chaque roue est constituée d'un disque percé de trous circulaires (6 pour la roue à filtres, 8 pour la roue à fentes) recevant les supports de filtres ou de lentilles-fentes. Des codeurs fixés sur l'axe des disques permettent de coder la position de la roue. Des motoréducteurs complètent le système pour permettre la rotation des roues.

A mon arrivée, la boîte focale ainsi que ses éléments mécaniques venaient d'être fabriqués puis assemblés dans le but de réaliser les tests mécaniques.

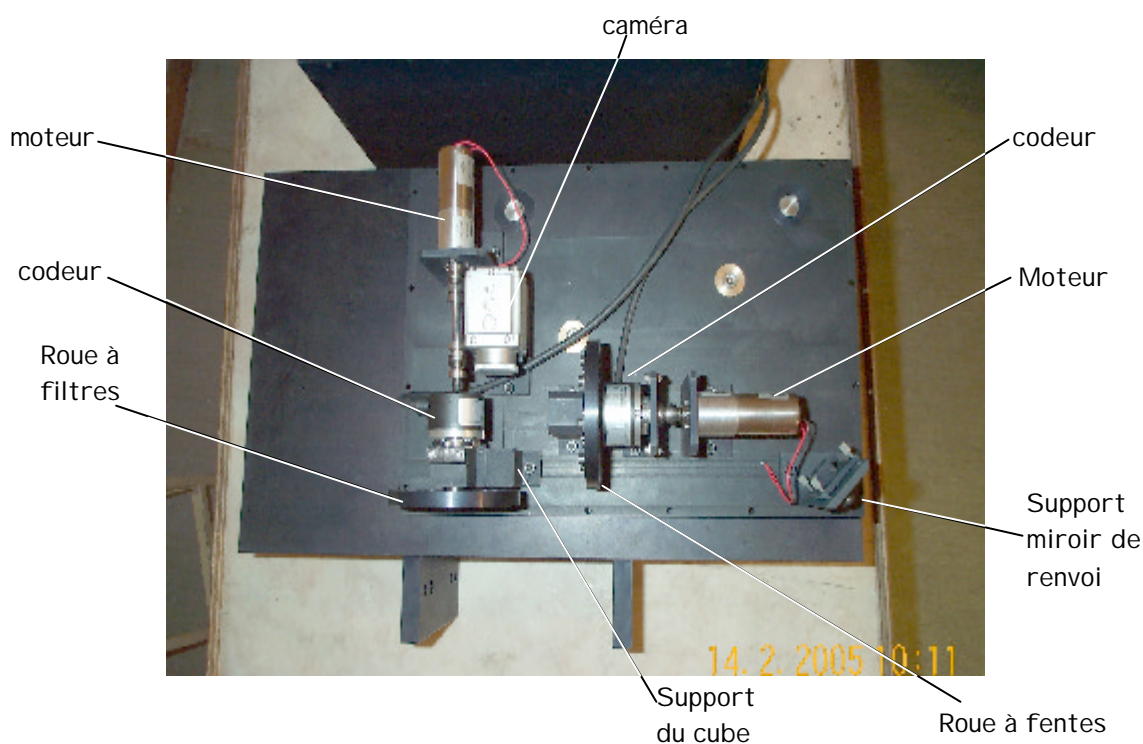


Photo de la boîte focale

La boîte se trouvant à l'atelier de l'observatoire, il a fallu que je démonte l'ensemble de la boîte (platines, supports, ...) afin de dépoussiérer et de nettoyer ses éléments à l'aide d'air comprimé et d'alcool avant d'y intégrer les optiques.

Cela m'a permis de voir comment s'assemblent les différents éléments de l'instrument, ce qui facilitera la réalisation de cette partie de mon stage : la rédaction d'un protocole pour l'intégration et le montage de la boîte focale.

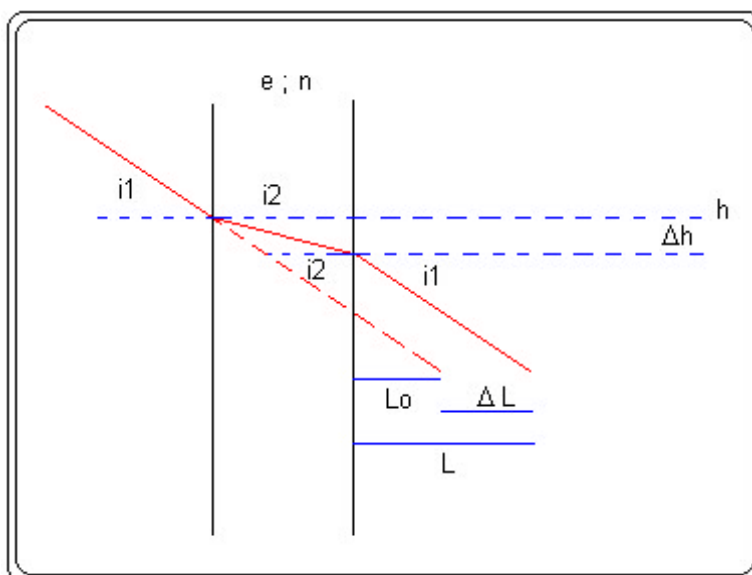
IV-2) Caractérisation optique

Le rotateur de champ ayant été rajouté après la réalisation des plans de la boîte, j'ai repris les calculs optiques qui permettent de déterminer l'emplacement des différents éléments. Il est surtout nécessaire de refaire les calculs de la focale de la lentille-fente. Ces calculs m'ont permis de mieux comprendre la partie optique du système.

IV-2-a) Calculs préliminaires

Il m'a fallu tout d'abord quantifier l'effet des éléments optiques sans puissance (filtres, cube, lames) sur le trajet optique. Cette différence de trajet optique dépend de l'indice de l'élément traversé (dans ce cas du verre d'indice $n=1,52$) et de l'épaisseur traversée (e).

L'influence de ces éléments est illustrée par le schéma suivant:



Le trait en pointillés représente le trajet optique sans l'élément en verre et celui en trait plein le trajet avec l'élément en verre.

$$\Delta L = L - L_0$$

$$\Delta L = h / \tan(i_1) - (h - \Delta h) / \tan(i_1)$$

$$\Delta L = \Delta h / \tan(i_1)$$

On fait alors apparaître l'épaisseur et l'indice de l'élément traversé dans

l'expression de Δh :

$$\Delta h = e(\sin(i_2) - \sin(i_1))$$

$$\Delta h = e(n-1)\sin(i_1)$$

On remplace Δh dans l'expression de ΔL :

$$\Delta L = e(n-1)\cos(i_1)$$

$\Delta L \neq e(n-1)$, du fait de l'approximation $\cos(i_1) \sim 1$ étant donné que les faisceaux ne sont pas très ouverts.

Les épaisseurs de verre ont donc pour effet de rallonger le trajet optique. La position du plan focal est alors plus éloignée. En revanche, elles ne modifient pas l'ouverture des faisceaux.

IV-2-b) Calcul de la focale des lentilles-fente

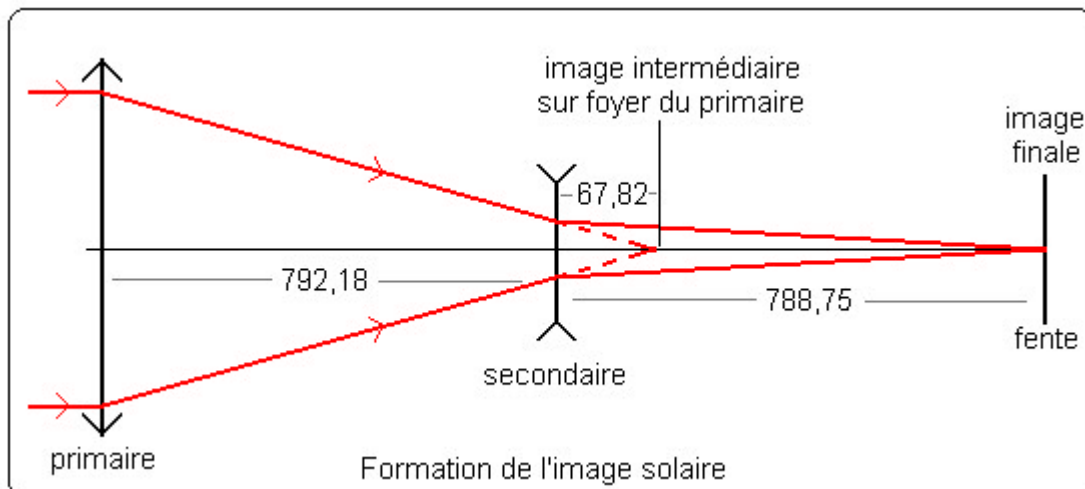
La méthode qui permet de déterminer cette focale est la suivante:

a) Détermination du plan image

Avec MI SOLFA, on forme une image solaire (sur la caméra et sur la fente) et une image de la pupille.

Une première image est formée au foyer du miroir primaire. Cette image est reprise par le miroir secondaire qui forme une image solaire au foyer du télescope. Calculer la position de cette image revient à calculer la position du plan focal, et donc la distance entre le secondaire et la fente (ou la caméra).

Le schéma suivant présente le trajet des faisceaux qui forment l'image solaire sur la fente. Par souci de clarté les miroirs ont été remplacés par des lentilles équivalentes.



On utilise la relation de conjugaison pour déterminer la position du plan focal :

$$1/p' - 1/p = 1/f' \text{ devient } p' = (1/f' + 1/p)^{-1}$$

Dans cette relation :

- f' est la focale du secondaire -74.2 mm
- p est la distance entre l'image des bords solaires faite par le primaire et le secondaire. Etant donné que cette image est formée sur le foyer du primaire, p est en fait la distance entre le foyer du primaire et le miroir secondaire.

Donc $p = f'_1 - e = 860 - 792,18 = 67,82 \text{ mm}$

Cela donne : $p' = 788,75 \text{ mm}$

Entre le secondaire et la fente les faisceaux traversent 68 mm de verre (rotateur, filtre, cube). A cette distance p' il faut donc rajouter :

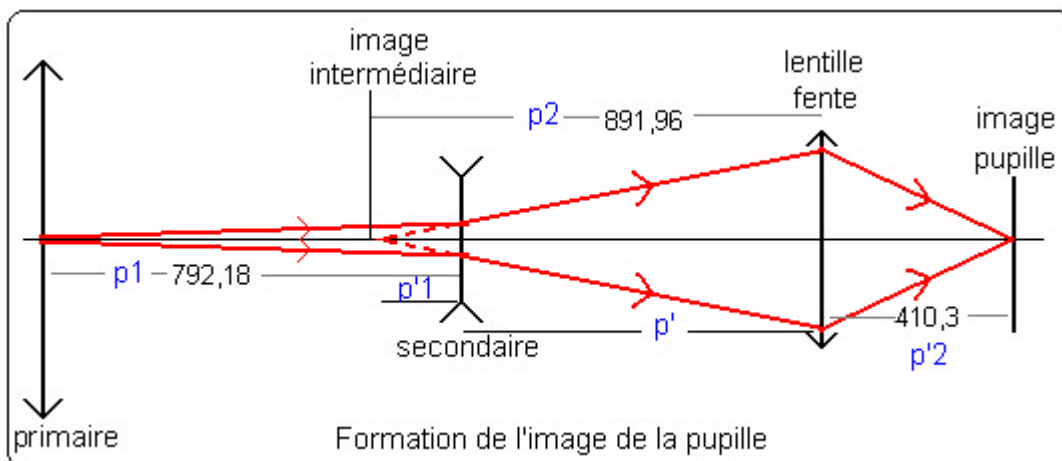
$$68 \cdot (1,52 - 1) = 35,36 \text{ mm}$$

Cela donne 824,11 mm pour la position du plan focal et donc l'endroit où la lentille-fente doit être placée.

β) Détermination de la position du plan pupille

La pupille d'entrée du télescope est par définition le miroir primaire du télescope.

Le schéma suivant présente le trajet des faisceaux qui forment l'image de cette pupille. Par souci de clarté les miroirs ont été remplacés par des lentilles équivalentes.



Une première image de la pupille est formée par le secondaire. La distance objet p_1 est donc la distance entre les deux miroirs.

$$p_1' = (1/f' + 1/p_1)^{-1}, \text{ avec } p_1 = -792,18 \text{ et } f' = -74,2$$

$$\text{d'où } p_1' = -67,85 \text{ mm}$$

L'image intermédiaire de la pupille se forme donc à 67,85 mm du secondaire avec un grandissement G_1 , avec $G_1 = -67,85 / -792,18 = 0,0856$

La lentille-fente reprend cette image intermédiaire pour former l'image finale de la pupille avec un grandissement G_2 .

On peut calculer la distance objet p_2 pour la formation de cette image (c'est-à-dire la distance qui sépare l'image intermédiaire de la pupille et la lentille fente).

$$P_2 = -(|p_1'| + p_1') = -(67,85 + 824,11) = -891,96 \text{ mm}$$

└─ p' calculé en α)

En revanche la distance image dépend du diamètre voulu pour l'image de la pupille et de l'ouverture du faisceau.

Le diamètre désiré pour la pupille réimagée est de 10 mm. La pupille du télescope étant de 254 mm de diamètre, le grandissement équivalent de tout le système est: $G_{eq} = G_1 * G_2 = -10/254$

On en déduit le grandissement G_2 :

$$G_2 = G_{eq} / G_1 = (-10/254) / (67,85/792,18) \approx -0,460$$

La distance à laquelle est formée l'image de la pupille par la lentille fente peut maintenant être calculée :

$$p_2' = G_2 * p_2 = -0,460 * -891,96 = 410,3 \text{ mm}$$

γ) Calcul de la focale des lentilles-fente

Connaissant les deux valeurs p_2 et p_2' , la focale des lentilles fente peut être déterminée à l'aide de la relation de conjugaison :

$$f' = (p_2'^{-1} - p_2^{-1})^{-1}$$

Cela donne une focale de 281 mm.

IV-3) Photodiode de flux global

IV-3-a) Objectif

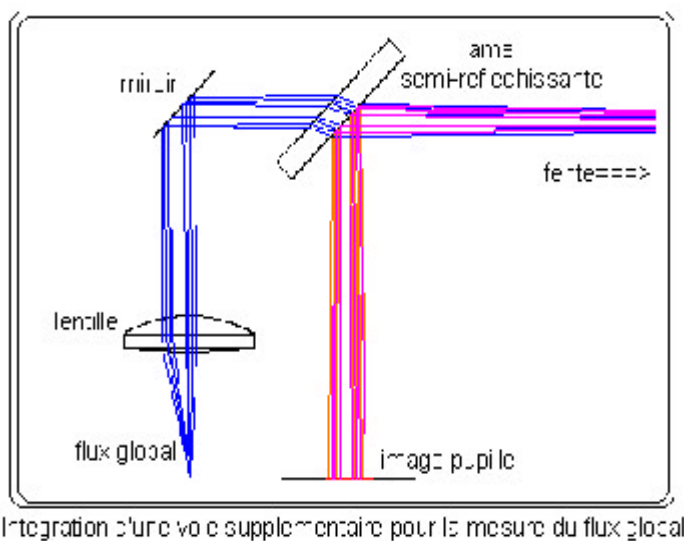
Après la définition de la boîte, Amokrane BERDJA a montré, à l'aide de logiciels de simulation et de tests, que les variations d'intensité dues aux vibrations du télescope ne peuvent pas être complètement décorrélées de celles dues aux fluctuations des angles d'arrivée.

Ce problème a conduit à l'insertion d'une nouvelle voie, dite « de flux global ». Cette voie permet, à l'aide d'une photodiode, de mesurer les fluctuations d'intensité causées par les déplacements de l'image dans la fente, c'est-à-dire uniquement dues aux "problèmes" mécaniques. En retranchant les résultats des mesures de cette photodiode aux mesures faites sur les 4 voies d'analyse du plan pupille, seules les fluctuations dues aux turbulences seront mesurées.

Il faut donc que je détermine la meilleure solution pour insérer cette nouvelle voie dans la boîte.

IV-3-b) Principe retenu

Après plusieurs propositions, la solution retenue est de remplacer le miroir prévu initialement par une lame semi-réfléchissante ($R=0,9$ et $T=0,1$) pour renvoyer le faisceau qui forme la pupille. Derrière cette lame, est placé un miroir à 45° de façon à renvoyer le faisceau sur une voie parallèle à celle qui forme la pupille. Le faisceau réfléchi par ce miroir traverse une lentille pour converger dans une fibre reliée à la photodiode de flux global.



IV-3-c) Dimensionnement des éléments optiques

Il faut maintenant déterminer la position et la focale de la lentille. Le grandissement doit être tel que tout le faisceau entre dans la fibre. Il est donc plus petit que 1 (de l'ordre 0.2 car on dispose d'une fibre de 1mm de diamètre) et forme une image juste au voisinage de l'entrée de la fibre.

Si le miroir est placé à 20 mm de la lame et en tenant compte des épaisseurs de verre traversées, l'image de la fente doit se former à 432 mm de la fente pour se trouver dans le même plan que l'image de la pupille (voir IV-3-d).

Donc si p est la distance fente-lentille et p' la distance fente-image, on a :

$$|p| + p' = 432 \text{ mm}$$

et avec le grandissement de 0,2 : $p'/p = -0,2$

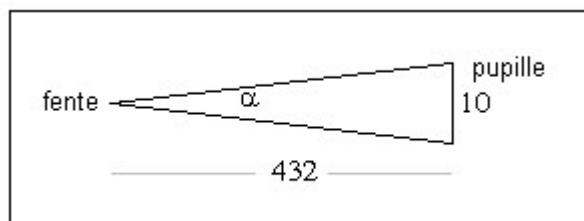
Donc $p'/0,2 + p' = 432 \text{ mm}$ d'où $p' * 1,2/0,2 = 432 \text{ mm}$

Cela donne : $p' = 72 \text{ mm}$ et $p = -360 \text{ mm}$

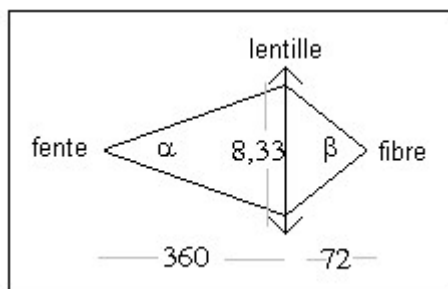
La lentille sera donc placée à 360 mm de la fente, soit à 182 mm du miroir.

La focale nécessaire pour ce montage est déterminée grâce à la relation de conjugaison : $f' = (p'^{-1} - p^{-1})^{-1}$. Le résultat donne une focale de 60 mm.

Il reste à s'assurer que l'ouverture du faisceau sortant de la lentille est compatible avec l'ouverture numérique de la fibre.



La pupille, formée à 432 mm de la fente fait 10 mm de diamètre. L'angle d'ouverture est alors de α , avec $\tan \alpha = 10/432$, d'où $\alpha = 1,33^\circ$



Sur la lentille placée à 360 mm de la fente le diamètre du faisceau est alors de : $\Phi = 360 * \tan \alpha$, ce qui donne un diamètre de 8,33 mm

Les faisceaux sont focalisés à 72 mm après la lentille. L'angle d'ouverture β est donc de

$$\tan \beta = 8,33/72, \text{ d'où } \beta = 6,60^\circ$$

Typiquement l'ouverture numérique d'une fibre est de 0.3, ce qui correspond à un angle de plus de 17°. L'angle d'ouverture est donc suffisamment faible pour ne pas risquer de pertes de flux à l'entrée dans la fibre.

IV-3-d) Choix technologiques

L'étude mécanique détaillée de cette voie de flux global reste à faire. Je propose néanmoins les idées directrices suivantes :

α) Optique séparatrice de faisceaux

L'idéal est une lame semi-réfléchissante de coefficient de réflexion de 90% (ou plus) et un coefficient de transmission de 10% (ou moins). Malheureusement les catalogues proposent plutôt l'inverse (R=10% , T=90%). L'idée pourrait donc être d'inverser les deux voies.

Dans ce cas, la voie de la pupille étant la voie transmise, elle est entâchée d'aberrations chromatiques et d'astigmatisme. Ces dernières ne seraient sans doute pas très grandes étant donné que l'ouverture des faisceaux est faible. Il est néanmoins préférable d'éviter les aberrations sur l'image de la pupille. Il faudra donc faire fabriquer spécialement cette lame.

β) Lentille

Il est important que le diamètre de la lentille ne soit pas trop grand pour éviter de vignetter l'image de la pupille qui se forme sur la voie d'à côté. Une lentille de diamètre 12,5 mm ne pose pas de problème.

De plus, il est préférable que la lentille ne se trouve pas trop loin du miroir pour qu'il y ait le moins de lumière parasite qui entre dans la lentille, et donc qui est focalisée sur la fibre.

γ) Support mécanique

Cette cinquième fibre sera placée dans le même boîtier mécanique que les quatre fibres de l'image de la pupille. De cette manière, les fibres sont soumises à la même température et cela facilite la réalisation mécanique du système support de fibres.

Les 3 optiques (lame semi-réfléchissante, miroir et lentille) pourraient être montées sur un même support qui serait fixé sur la platine de la boîte focale. De cette manière une fois que ces trois éléments sont réglés entre eux, le positionnement de ce support permet de focaliser simultanément sur les deux voies. Mais la lentille étant à 182 mm du miroir, il se peut qu'elle ne se trouve pas sur le même support que la lame et le miroir.

IV- 4) Les problèmes liés au montage et aux réglages

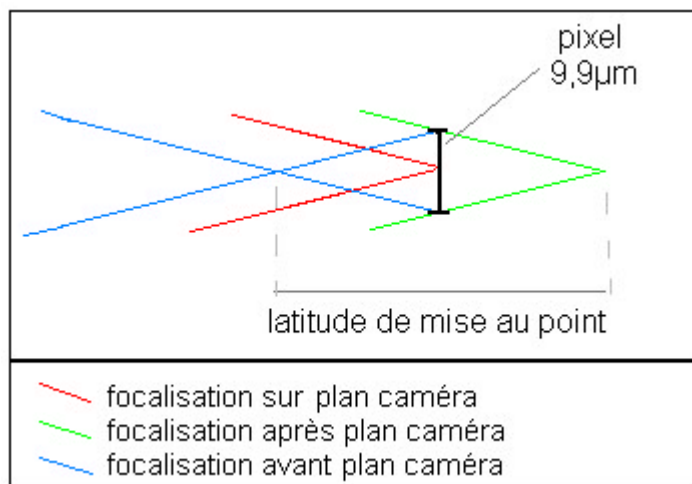
IV-4-a) Calculs de tolérance, latitude de positionnement

La mise au point de l'instrument est faite en déplaçant le miroir secondaire selon son axe optique. J'ai donc étudié l'influence de ce déplacement sur les caractéristiques optiques de l'ensemble de l'instrument (position du plan focal et focale équivalente du télescope) et les tolérances de réglage et de mise au point dont on dispose.

a) latitude de mise au point sur la caméra

Du fait de la dimension des pixels de la caméra et de l'ouverture du faisceau, on dispose d'une certaine latitude de déplacement longitudinal de la caméra pour laquelle la netteté de l'image n'est pas affectée.

Le dessin suivant illustre ce phénomène :



Le faisceau étant ouvert à $f/40$ et les pixels de la caméra faisant $9,9\mu\text{m}$, on dispose, de chaque côté du plan focal, d'une latitude de mise au point de :

$$9,9 \cdot 40 = 360\mu\text{m}$$

La caméra peut donc être déplacée de $720\mu\text{m}$ sans que la netteté de l'image ne soit affectée.

b) Influence de la distance entre le primaire et le secondaire sur la focale équivalente du télescope :

Le calcul de la focale équivalente du télescope se fait grâce à la formule de Gllstrand : $f' = f'_1 * f'_2 / (f'_1 + f'_2 - e)$

où :

f' : focale équivalente

f'_1 : focale du miroir primaire : 860mm (la moitié du rayon de courbure)

f'_2 : focale du secondaire : -74.2 mm (la moitié du rayon de courbure)

e : distance entre les deux miroirs 792, 18 mm

La valeur théorique de f' est : $f' = 10001,88$ mm

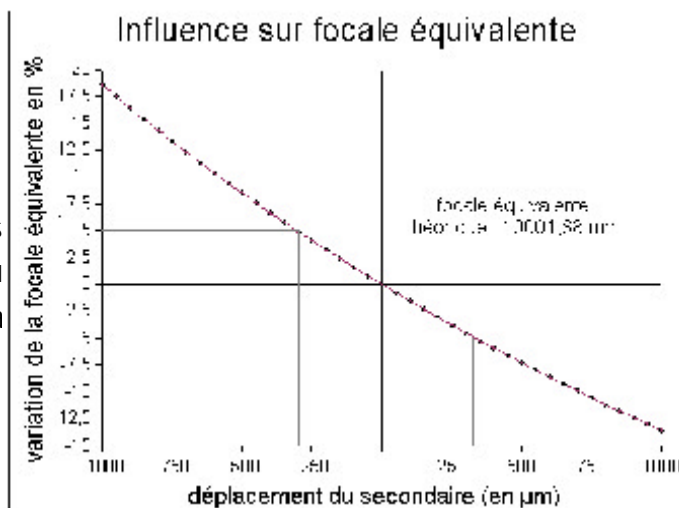
Le but étant d'étudier l'influence du déplacement du secondaire sur la focale équivalente du télescope, une variable x est insérée dans la formule. Elle correspond à la variation de la distance entre les deux miroirs introduite lors de la mise au point de l'instrument.

La formule devient alors:

$$f' = f'_1 * f'_2 / (f'_1 + f'_2 - (e + x)) \text{ soit } f' = f'_1 * f'_2 / (f'_1 + f'_2 - e - x)$$

Le tableau de valeurs est en annexe.

Cette courbe va permettre, plus tard, de calibrer la focale du télescope en fonction de la déplacement du secondaire



Le r_0 moyen observé à Calern est estimé à 3cm ; cela entraîne des fluctuations de l'ordre de 3 secondes d'arc sur l'image du Soleil. La résolution a été fixée à 0,2 seconde d'arc par pixel de façon à échantillonner correctement ces fluctuations. Lors du déplacement du secondaire, cette résolution change du fait de la modification de la focale équivalente. Pour ne pas trop modifier cette résolution, la tolérance de la focale équivalente est fixée à 5%.

Grâce à la courbe précédente, on détermine qu'une variation de 5% de la focale correspond à une modification de la distance primaire-secondaire +/-300µm.

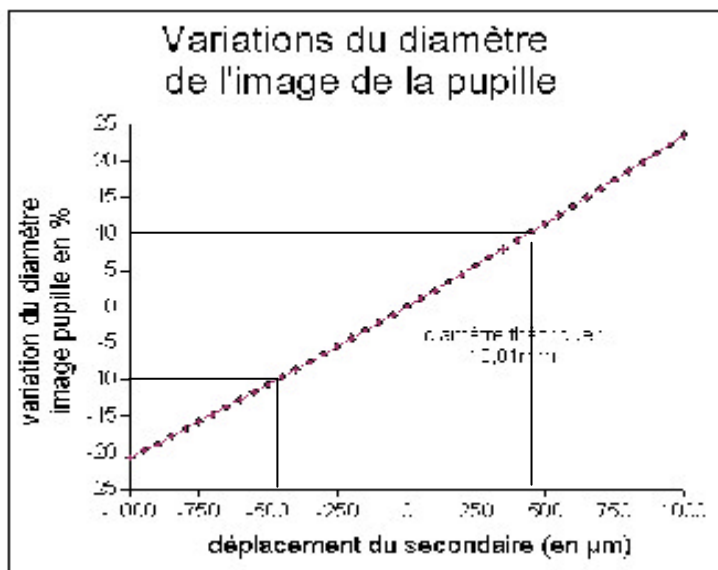
γ) Influence de la distance entre le primaire et le secondaire sur le diamètre de l'image de la pupille

Le diamètre de l'image de la pupille est fixé en fonction des diamètres des fibres, eux-mêmes fixés à partir des estimations faites du r_0 . Il faut donc limiter les variations du diamètre de cette image. Si le grandissement est trop ou pas assez important, la valeur du r_0 moyen ramené à l'image de la pupille ne correspondra plus aux diamètres des fibres ($2r_0$, r_0 et $0,5r_0$). Une variation de 10% du grandissement permet de rester dans les ordres de grandeur de r_0 .

Le diamètre de l'image de la pupille est fonction elle aussi de la distance primaire-secondaire. Les variations du diamètre de l'image en fonction de la modification de la distance entre ces deux miroirs sont déterminées grâce aux calculs de G_{eq} faits dans le paragraphe IV-2-b.

Le tableau de valeurs est en annexe

Grâce à cette courbe, on peut déterminer qu'une variation de 10% du diamètre de l'image de la pupille s'obtient en modifiant la distance primaire-secondaire de +/- 450µm



Il apparaît donc que de ces deux contraintes (focale équivalente et diamètre de l'image de la pupille), celle de la focale équivalente est la plus sévère. On pourra donc déplacer, pour la mise au point, le secondaire de +/- 300µm sans modifier notablement les caractéristiques d'échantillonnage du plan image et de la pupille.

δ) Influence de la distance entre le primaire et le secondaire

sur la position du plan focal:

Le calcul de la position du plan focal est réalisé de la même manière que dans le paragraphe IV-2.

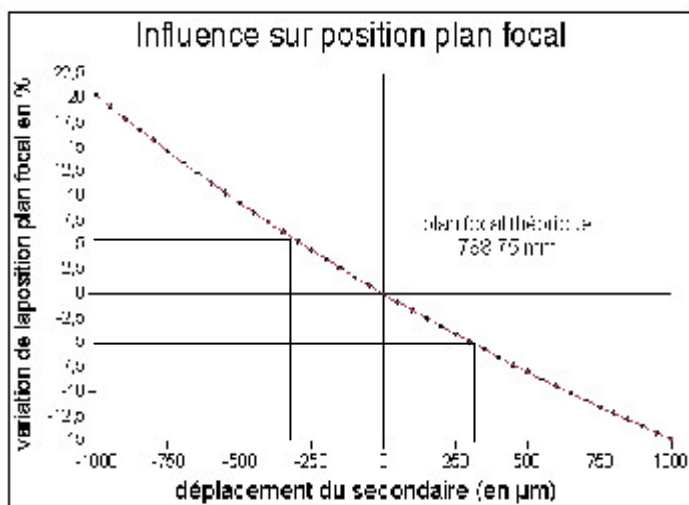
Le fait de changer la distance entre les deux miroirs changera donc la distance p :

$$p = f'_1 - e - x$$

La formule de p' devient : $p' = (1/f' + 1/(f'_1 - e - x))^{-1}$

Le tableau de valeurs est en annexe

On remarque que la variation du plan focal en fonction de la variation de la distance primaire-secondaire n'est pas linéaire.



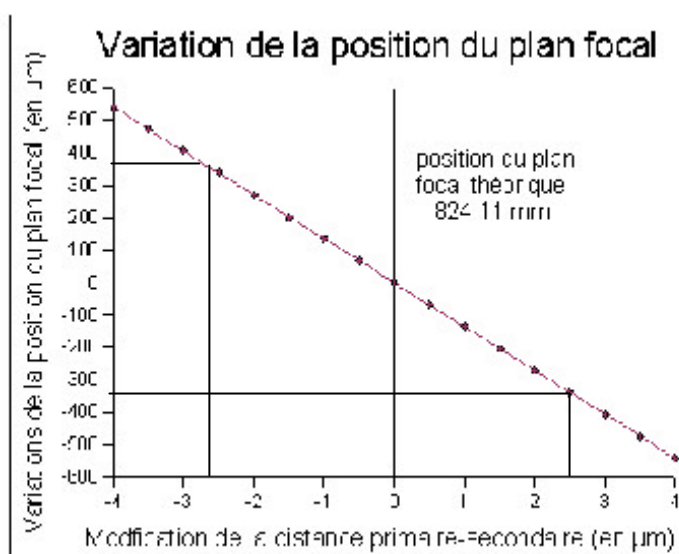
Précédemment, nous avons vu que le secondaire pouvait être déplacé de +/- 300µm. Grâce à cette courbe, on peut déterminer les variations de la position du plan focal causées par ce déplacement.

Cela correspond à une variation de 5% de la position du plan focal, soit un déplacement de +/- 40mm.

Ceci montre que l'on dispose d'une grande marge de positionnement dans la boîte du plan de référence choisi (voir plus loin) : le plan du CCD de la caméra.

Auparavant, la latitude de mise au point dont on dispose sur la caméra a été déterminée (paragraphe α). Cette latitude correspond à un déplacement du plan focal de +/- 360µm.

Un agrandissement de la courbe précédente permet de remonter à la distance dont on peut déplacer le secondaire sans modifier la netteté de l'image de la caméra. On obtient une valeur de $\pm 2,6 \mu\text{m}$. Le secondaire peut donc se déplacer par pas de $2,6 \mu\text{m}$ sans affecter la précision de réglage.



ε) Tolérance de positionnement du cube séparateur

Le cube doit être placé avec précision car un mauvais positionnement du cube d'un angle α , provoque un déplacement du faisceau réfléchi de 2α . Si le cube est mal positionné l'image solaire qu'il réfléchit ne sera pas sur la fente, et aura des conséquences sur l'image de la pupille.

Pour déterminer de quel angle α le cube peut être tourné sans conséquence, il faut d'abord calculer sous quel angle la fente est vue du cube.

La plus petite fente fait $2\text{mm} \times 50 \mu\text{m}$.

Placée à 68 mm du cube cette fente est vue sous un angle θ de : $\theta = \text{Arctan}(0,050/68) = 0,0421^\circ$ soit $2'32''$

En étant sévère sur l'erreur que l'on se fixe, la valeur prise pour le terme 2α est $\theta/5$. Cela conduit à une erreur tolérée sur le positionnement du cube de $\alpha = 0,0042^\circ$ soit de $15,15''$.

Les lentilles-fentes sont aussi utilisées horizontalement. Il faut alors refaire les mesures mais il ne faut pas prendre 2mm. Il faut prendre 5% (c'est-à-dire $100 \mu\text{m}$) de cette valeur car le déplacement des fentes positionnées dans ce sens est plus critique à cause de la réduction de flux qu'il provoque.

Dans ce cas, les $100 \mu\text{m}$ de la fente sont vue sous un angle $\theta = 0,0842^\circ$. Cela conduit à une erreur tolérée sur le positionnement du cube de $\alpha = 30,33''$

En fonction de l'orientation des fentes, le positionnement du cube est plus ou moins simple. Mais comme toutes les fentes vont être utilisées, il faut faire les

réglages avec l'erreur la plus petite.

La mise en place du cube séparateur apparaît donc comme critique.

IV-4-b) Réalisation « pratique »

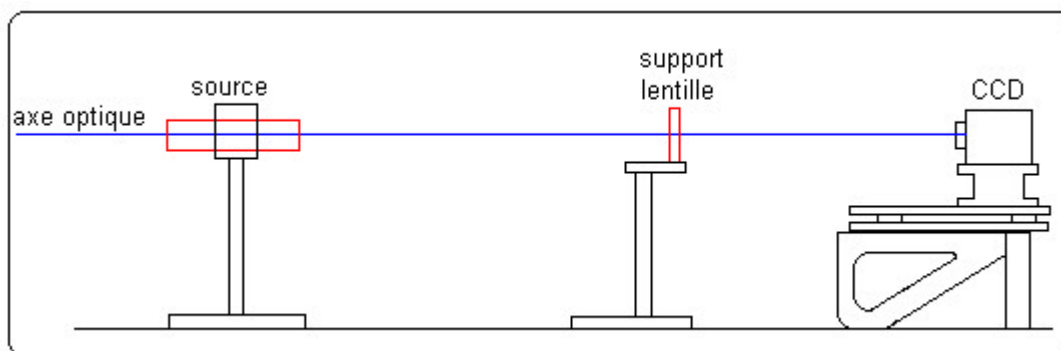
Pour commencer, j'assemble d'abord le support de la boîte ainsi que la platine montée sur trou-trait-plan. Cela étant fait, les supports optiques et mécaniques peuvent être fixés sur la platine.

Pour cela il faut d'abord se fixer un plan de référence. Il s'avère que le seul point de référence approprié est la position du plan focal car la mise au point est faite grâce à l'image donnée par la caméra. Le premier élément placé est donc la caméra CCD.

Un premier positionnement de la caméra est effectué tout simplement en définissant grâce aux plans mécaniques à quelle distance du bord de la platine doit se trouver le support de la caméra.

Les calculs précédents montrent que le positionnement de la caméra n'est pas du tout critique et que l'on peut se permettre de la positionner à 1 ou 2 mm près.

Il reste maintenant à définir de quelle manière vont être positionnés les autres supports.



Le schéma précédent présente une manière de réaliser le positionnement des autres éléments:

Pour le positionnement du cube la source est un LASER. En centrant le spot du LASER sur l'image faite par la caméra, il est possible de déterminer si le cube est bien positionné.

Dans ce montage, la source est celle d'une lunette autocollimatrice réglée à l'infini. La lentille placée après permet de focaliser les faisceaux parallèles venant

de la source à son foyer. Pour recréer la bonne ouverture, la source doit être diaphragmée ; le diamètre de ce diaphragme est à définir en fonction de la focale de la lentille. La lentille est en suite déplacée pour focaliser sur le foyer de la caméra CCD. Il suffit de regarder l'image donnée par la caméra pour savoir si la lentille est bien placée.

La position de la roue à fentes peut être déterminée de la même manière, en observant où se focalisent les faisceaux réfléchis par le cube.

Le positionnement du rotateur de champ est très critique car il doit être parfaitement aligné.

Lors des premiers essais de la boîte sur le télescope on voit si la caméra est bien placée dans le plan focal image du télescope grâce à l'image qu'elle nous donne. Si ce n'est pas le cas, la correction de mise au point est faite par déplacement du secondaire, dans le domaine de tolérance dont on dispose (+/- 40mm). On voit donc que le positionnement de la boîte sur le télescope n'est pas critique.

V) Banc optique

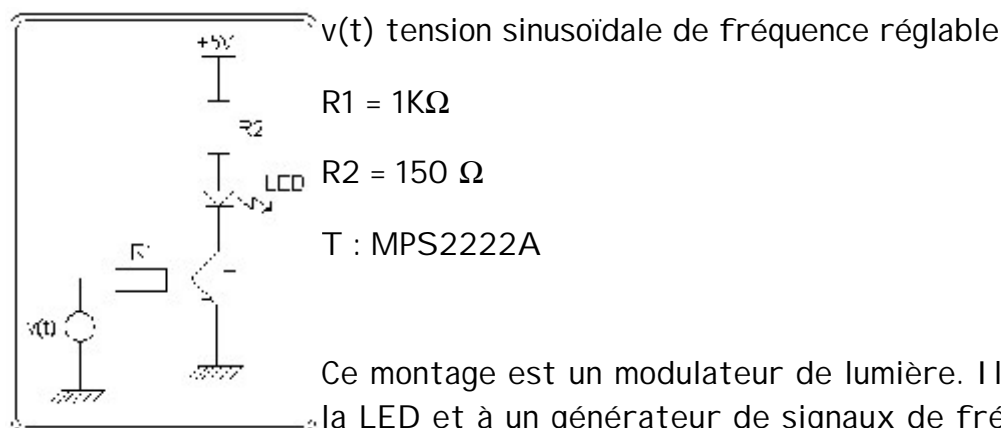
V-1) Objectif

Le banc optique sert à reproduire l'équivalent optique de la voie pupille de la boîte focale de MI SOLFA pour étudier la criticité des réglages des éléments de cette voie et à qualifier la réponse en fréquence des photodiodes et de leur électronique.

Pour ce faire, il faut simuler au mieux les conditions réelles de mesures. Il faut donc reproduire une partie de l'optique du télescope, en particulier son ouverture (f/40).

V-2) Simulation de la source et du télescope

La source est une LED émettant à une longueur d'onde de 660 nm. Le montage d'alimentation de la LED est celui proposé dans le rapport de stage d'Alexandre CEDRO et est le suivant:



Ce montage est un modulateur de lumière. Il permet grâce à la LED et à un générateur de signaux de fréquence réglable de reproduire des fluctuations dans un signal continu. L'ajout d'une composante continue permet à l'intensité lumineuse de la LED de varier sans effet de clignotement.

Le banc se présente de la façon suivante:

Une lame de cutter censée simuler un bord solaire est placée devant la LED. La lame de cutter est imagée grâce à la lentille de focale 50mm. En fonction de la distance où s'image la lame, un diaphragme est placé après la lentille pour reproduire l'ouverture de $f/40$. Cette lentille de focale 50 mm représente la pupille du télescope.

A l'endroit où la lame de cutter s'image est placée la deuxième lentille. Cette lentille doit imager la pupille (c'est-à-dire le diaphragme) avec un grandissement de 1 pour éviter d'avoir un banc de longueur trop importante. Pour savoir où se forme l'image de la pupille un réticule est fabriqué et placé sur le diaphragme. Le support de fibre est placé à l'endroit où s'image le réticule (donc la pupille).

V-3) Lentille-fente « de simulation »

Il a fallu que je détermine la focale de la lentille mise à ma disposition. Celle dont je dispose n'est pas la bonne car quand elle a été commandée, l'intégration du rotateur de champ n'avait pas été faite. La focale de cette lentille est importante car c'est celle qui image la pupille.

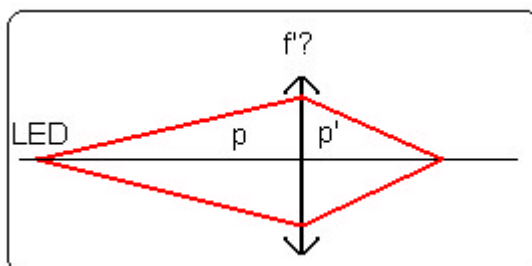
Pour déterminer la focale de cette lentille, un simple montage avec la lentille et une source (LED) est suffisant. Je cherche d'abord où se forme l'image de la source à travers la lentille, puis grâce à la relation de conjugaison, je détermine la focale de la lentille.

De façon à avoir une mesure la plus précise possible, la latitude de mise au point doit être la plus faible possible. Il faut donc que la source se trouve le plus

loin possible de la lentille, pour que le faisceau soit le moins ouvert possible. La meilleure solution est de placer la source assez loin pour simuler un objet à l'infini, mais à cause de la longueur du banc cela n'est pas possible.

Je réalise alors le montage suivant:

$p = -718 \text{ mm}$ $p' = 526 \text{ mm}$
 la relation de conjugaison donne:
 $1/f' = 1/p' - 1/p$ d'où $f' = 302 \text{ mm}$



- Un deuxième montage, sans doute plus précis, aurait pu être réalisé pour déterminer la focale de cette lentille.

Celui-ci fait intervenir un système afocal composé de deux lentilles (parmi lesquelles celle dont on veut déterminer la focale) et une lunette autocollimatrice réglée à l'infini. Grâce à la lunette placée en sortie du système il est possible de déterminer si celui-ci est afocal. Dans ce cas, l'écart entre les deux lentilles et la focale connue d'une des deux lentilles permettent de calculer la focale de la deuxième lentille.

Mais ce montage n'a pas été réalisé car il n'est pas nécessaire d'avoir une telle précision sur la focale de la lentille, un ordre de grandeur est suffisant.

Le résultat montre que la focale est de 300 mm ce qui n'est pas prévu. En effet en refaisant les calculs (voir IV-1), il s'avère que la bonne focale pour les lentilles fente est de 281 mm.

Je ne peux donc pas reproduire exactement la voie pupille de la boîte.

V-4) Dimensionnement du banc

La seule façon d'imager la pupille avec un grandissement de 1 est de faire un montage 4f. Pour réaliser ce montage, la pupille (lentille $f' = 50 \text{ mm}$), la lentille de focale 300 mm et le support de fibre espacés de 600 mm les uns des autres.

Il faut ensuite calculer à quelle distance de la pupille doivent être placées la source et la lame de cutter pour que cette dernière s'image sur la lentille de focale 300 mm, à travers la lentille de focale 50 mm.

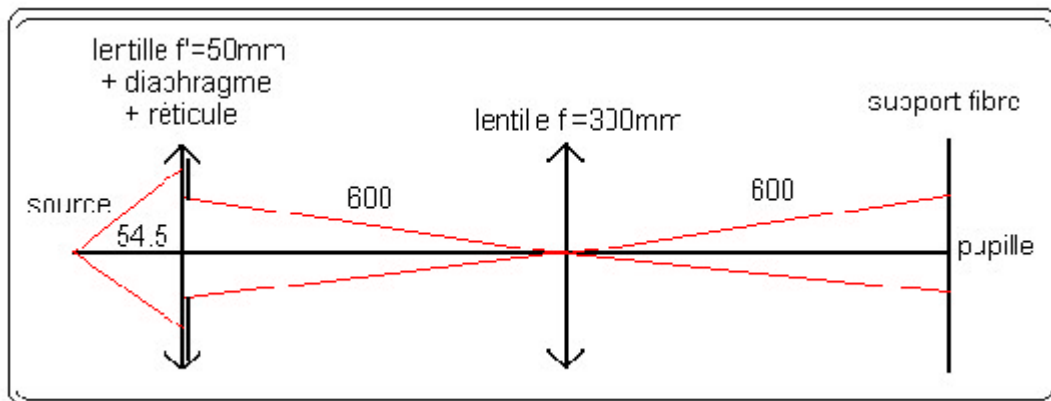
La relation de conjugaison permet de déterminer cette distance:

$$1/p' - 1/p = 1/f' \quad \text{--->} \quad 1/p = 1/p' - 1/f'$$

avec $p' = 600$ mm et $f' = 50$ mm

Donc $p = -54.5$ mm

Je place alors la LED et la lame de cutter à 54.5 mm avant la première lentille.



Etant donnée la distance entre la pupille et la lentille, c'est un diaphragme de 15 mm de diamètre qu'il faut pour reproduire l'ouverture de 1/40.

V-5) Réalisation du banc optique

V-5-a) Matériel

Avant de réaliser le banc, il faut, en fonction des lentilles à disposition, que je détermine les supports nécessaires à sa réalisation. Ces supports étant de hauteurs différentes, j'ai dessiné et fait réaliser par l'atelier différents supports pour réhausser certaines pièces et ainsi aligner les lentilles et les autres éléments du banc avec l'axe optique

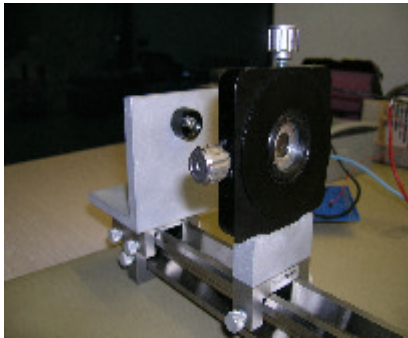
Les plans de ces pièces sont en annexes pages I, II, IV, V, VI, VII, VIII.

Voici la liste du matériel utilisé pour réaliser le banc et effectuer les tests:

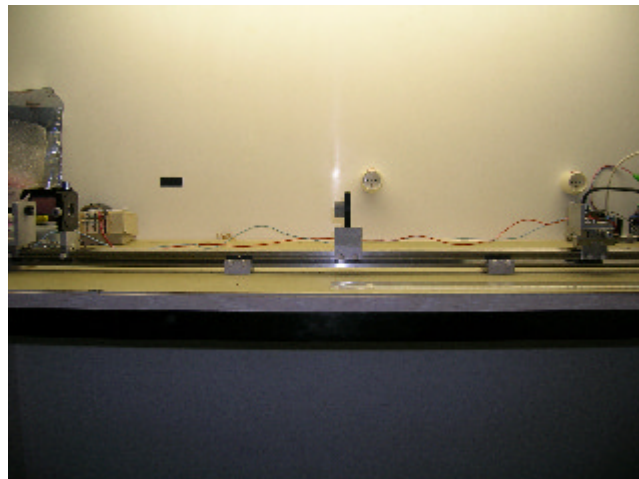
- ▣ bancs optiques en acier X26-384 MICRO-CONTROLE
- ▣ cavaliers M-CN26-12 et M-CN26-40 MICRO-CONTROLE
- ▣ support de lentilles LH-0.5 MICRO-CONTROLE

- support de lentilles LA1-XY MI CRO-CONTROLE
- platines de translation de précision à double chemin de billes
M-UMR16 MI CRO-CONTROLE
- puissance-mètre optique modèle 1815-C MI CRO-CONTROLE
- détecteur basse puissance 818-SL MI CRO-CONTROLE
- une lentille plan convexe de focale 50 mm

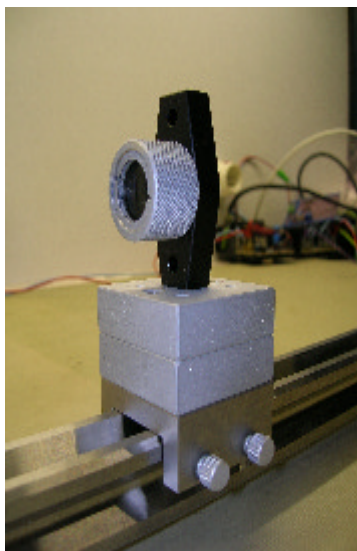
V-5-b) Réalisation



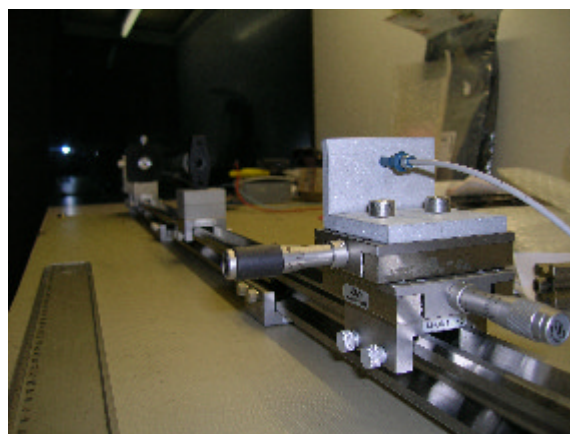
Source et pupille simulée



Vue d'ensemble du banc



Lentille-fente



Support de fibre (premier plan)

V-6) Tests et résultats

Une fois le banc optique réalisé, j'ai procédé à différents tests.

Les mesures doivent être faites avec la photodiode prévue dans l'électronique de MISOLFA, mais à cause de problèmes administratifs, Mammour FODIL, ingénieur algérien chargé de l'électronique voie pupille n'est pas arrivé à temps pour que je les fasse.

Pour réaliser les tests, j'ai utilisé un puissance-mètre de laboratoire. Pour ce faire, j'ai réalisé une pièce permettant d'adapter la fibre au photodétecteur.

Le plan de cette pièce est en annexe page III

V-6-a) Caractérisation de la réponse fréquentielle du détecteur

Pour caractériser la réponse fréquentielle du détecteur, le câble BNC du photodétecteur est branché sur une voie de l'oscilloscope (nécessité de passer par le montage d'amplification du puissance-mètre) et la sortie du générateur sur une autre. Le générateur délivre à la LED, en plus d'une tension continue fournie par un autre générateur, une tension sinusoïdale de fréquence réglable.

_ Pour de basses fréquences (inférieures à 30 Hz), le signal de sortie a la même fréquence que le signal d'entrée. Le signal de sortie est déphasé. Le signal de sortie est aussi très bruité. Le signal est de type triangulaire: cela est sûrement dû au temps de réponse du détecteur.

_ Pour des fréquences plus hautes, à partir de 30 Hz, le signal de sortie n'est pas exploitable car il se peut que la fréquence choisie se trouve hors de la bande passante du photodétecteur.

La bande passante du puissance-mètre ne convient donc pas aux fréquences temporelles de la turbulence de jours (100 Hz ou plus).

Je ne pourrai donc pas réaliser l'ensemble des tests voulus.

V-6-b) Déplacement de la lentille et de la fibre

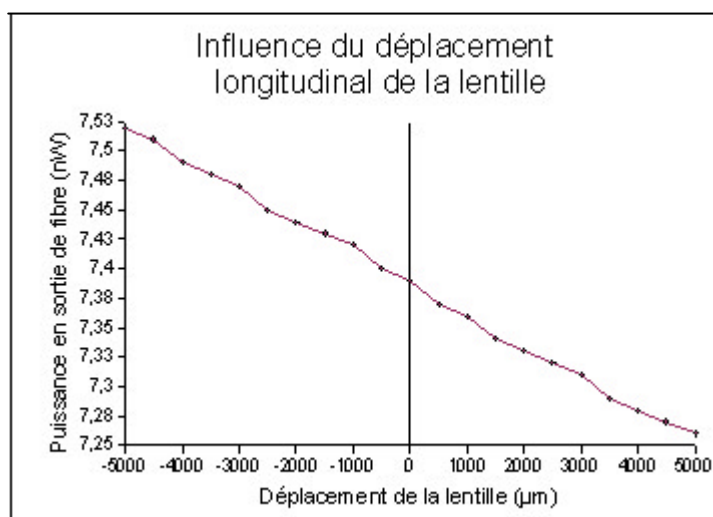
Il faut aussi étudier l'influence des déplacements longitudinaux et transversaux de la lentille fente et de la fibre sur la forme du signal transporté par la fibre placée sur l'image de la pupille.

J'ai malgré tout réalisé la série de tests suivants même si elle n'est pas très significative pour les raisons évoquées en V-6-a.

De plus, le fait de placer la fente derrière le lentille réduit considérablement le flux, ce qui pose problème avec le puissance-mètre qui ne peut pas détecter les variations. C'est pourquoi, je ne placerais pas la fente sur le montage pendant les mesures.

Avant d'effectuer les mesures je m'assure que la fibre est au centre de l'image de la pupille. Pour régler la position du spot sur la fibre, j'utilise les vis d'entraînement du support de lentille LA1-XY.

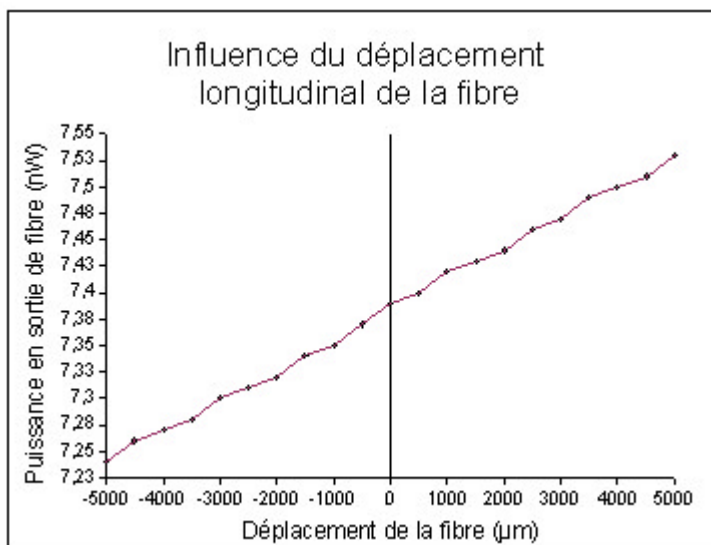
□ Déplacement longitudinal de la lentille :



Sur la courbe présentant les résultats de ce test, un déplacement négatif de la lentille revient à la rapprocher du support de la fibre. Il est donc normal de voir que la puissance augmente puisque le diamètre du spot sur le support de fibre est réduit alors que le flux est le même. Il est aussi tout à fait normal de voir qu'un déplacement dans l'autre sens provoque une diminution de la puissance.

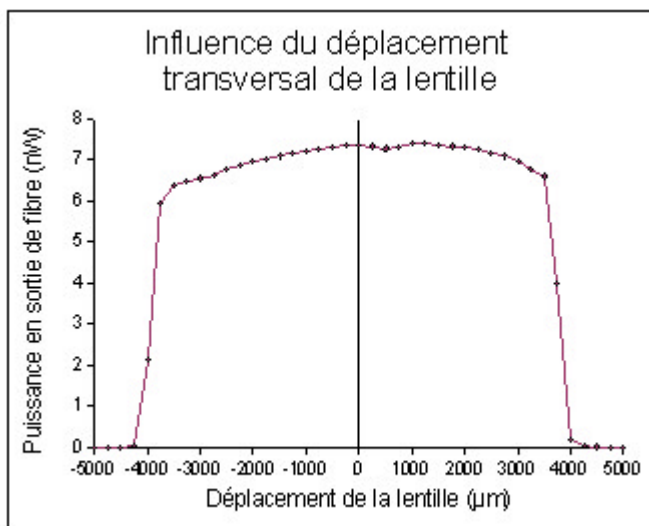
□ Déplacement longitudinal de la fibre:

Cette fois ci, un déplacement négatif revient à s'éloigner de la lentille et entraîne une augmentation du diamètre du spot. Pour les mêmes raisons que précédemment, la diminution de la puissance en sortie de fibre est donc justifiée. L'effet inverse est obtenu lors d'un déplacement dans l'autre sens.



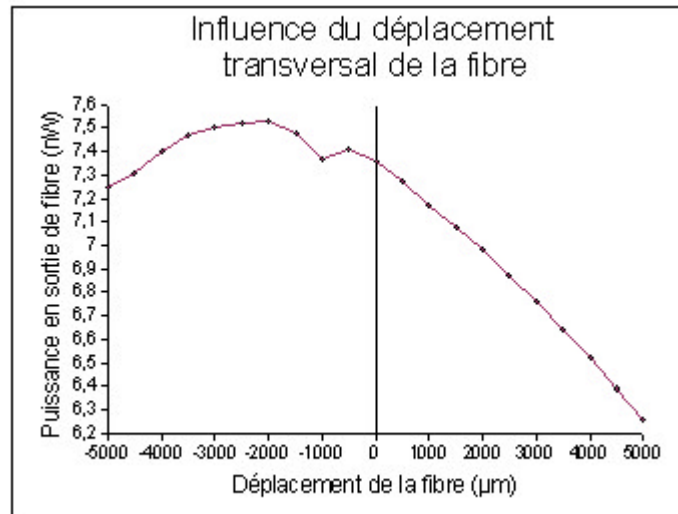
□ Déplacement transversal de la lentille:

Le fait de déplacer la lentille de cette manière provoque un déplacement de l'image de la pupille sur le support de la fibre. L'entrée de la fibre est donc de moins en moins au centre du spot et se rapproche des bords de ce dernier. La puissance est quasiment constante tant que la fibre reste dans le spot, mais chute quand elle ne l'est plus.



□ Déplacement transversal de la fibre:

Le même type de résultats qu'avec le déplacement transversal de la lentille devrait être obtenu lors de ce déplacement. C'est à peu près le cas, mais il est normal de ne pas observer une perte totale de la puissance car la fibre ne sort jamais de l'image de la pupille. La forme de la courbe vient peut-être du fait que le support n'est pas parfaitement positionné.



Malheureusement, il n'est pas possible de tirer des conclusions sur les tolérances de positionnement de ces deux éléments avec ces mesures, qui n'ont pas été effectuées avec le détecteur approprié et dans les conditions normales de fonctionnement (flux constant, pas de fente).

Conclusion

Ce stage m'a permis de mettre en pratique des connaissances dans de nombreux domaines tels que l'optique et l'électronique. Il m'a aussi permis de découvrir le domaine de la recherche et les différentes contraintes et difficultés de ce domaine.

Des contretemps, dus à des problèmes administratifs, m'ont empêché de rencontrer certaines personnes plus tôt et m'ont malheureusement retardé dans la réalisation de certains tests. D'autres problèmes techniques m'ont aussi quelques fois ralenti dans la progression de mon stage.

Cependant, ce stage m'a beaucoup appris et restera une très bonne expérience tant sur le plan professionnel que sur le plan relationnel.

Bibliographie

- ▣ Abdanour IRBAH, Pierre ASSUS, Amokrane BERDJA, Julien BORGNI NO, Maamar FODIL, Frédéric MORAND, Yacine SAIDI : "Micro-satellite PICARD - MI SOLFA : un moniteur de qualité d'images solaires utile à la mission PICARD"
- ▣ Alexandre CEDRO : "Projet Picard _ MI SOLFA , Conception d'un banc d'essai et de test de l'acquisition de la voie pupille"

Liste des acronymes

AMS : Astrométrie et Métrologie Solaires

CERGA : Centre d'Etudes et de Recherches en Géodynamique et Astronomie

CRAAG : Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique

DORAYSOL : Définition et Observation du RAYon SOLaire

MI SOLFA : Moniteur d'Images SOLaires Franco-Algérien

OCA : Observatoire de la Côte d'Azur

PREMOS : PREcision Monitor for OScillation measurement

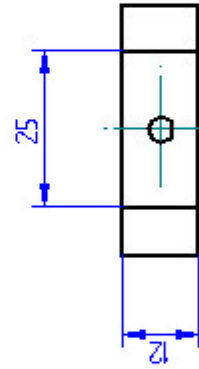
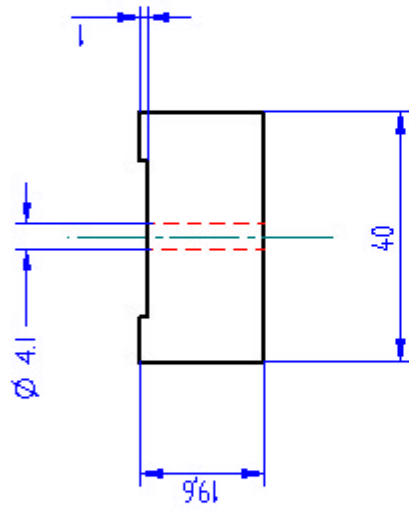
SODI SM : SOLar DI ameter and Surface Mapper

SOVAP : SOLar VARIability Picard

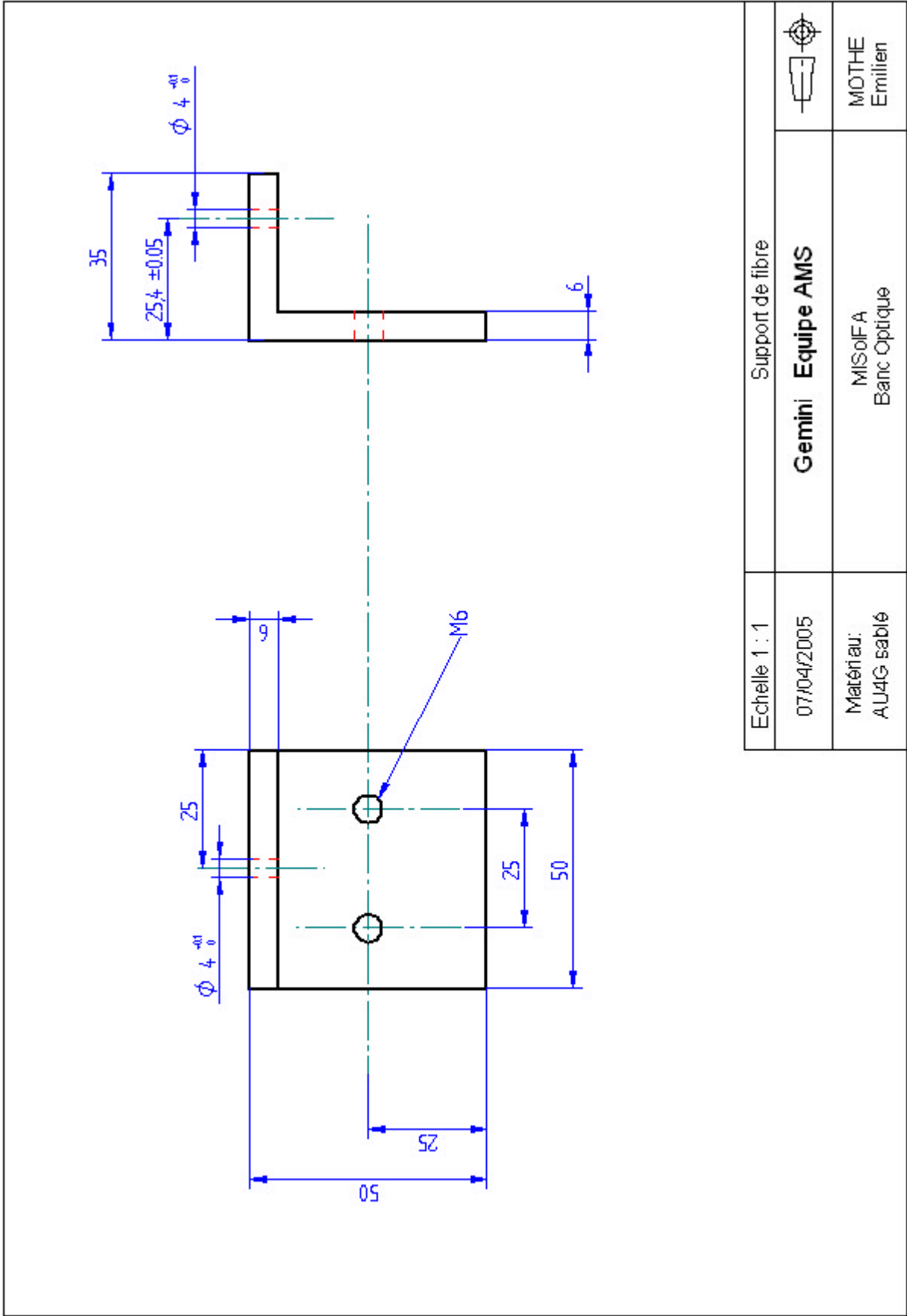
UMR : Unité Mixte de Recherche

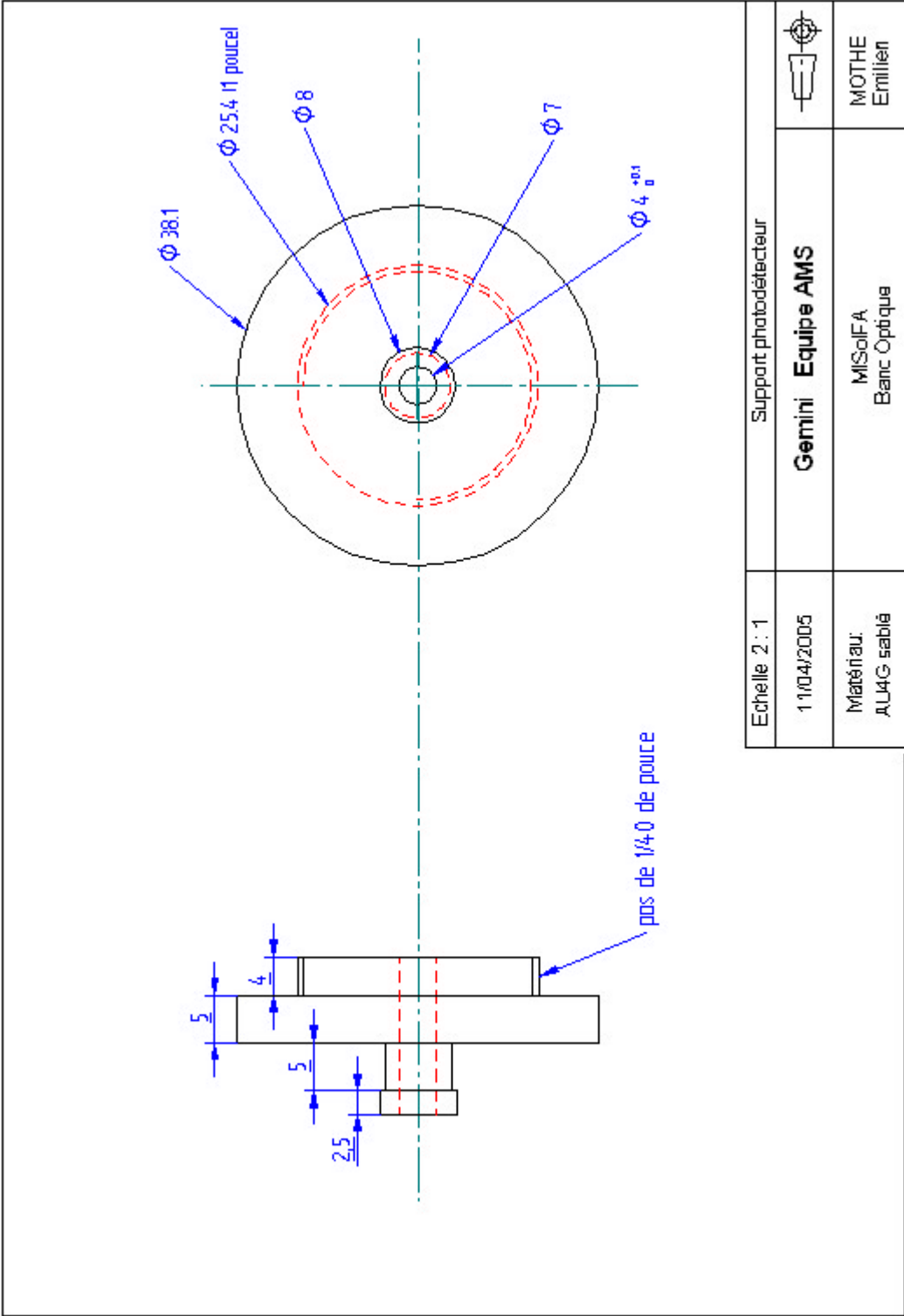
UMS : Unité Mixte de Services

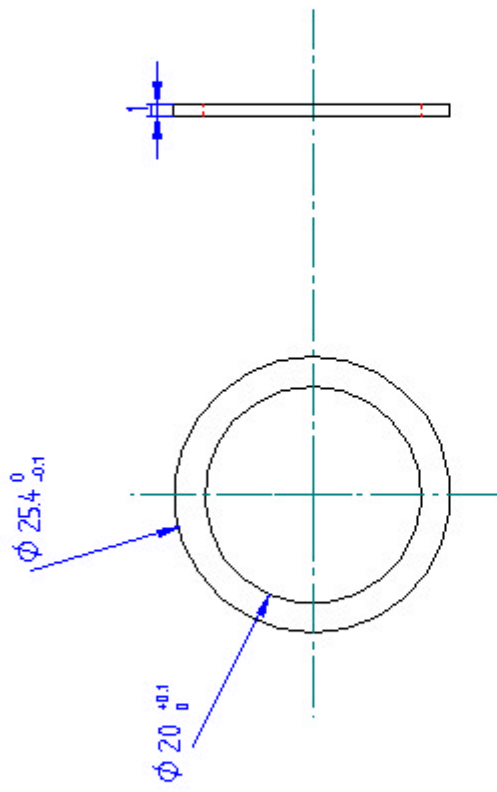
ANNEXES




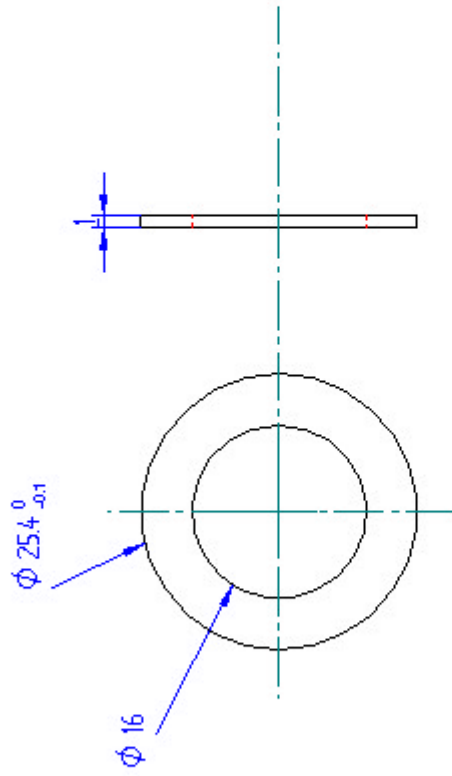
| | | |
|-------------------------|--------------------------|---|
| Support de lentille | |  |
| Echelle 1 : 1 | Gemini Equipe AMS | MOTHE Emilien |
| 07/04/2005 | MISoIFA Banc Optique | |
| Matériau: AU4G sablé | | |



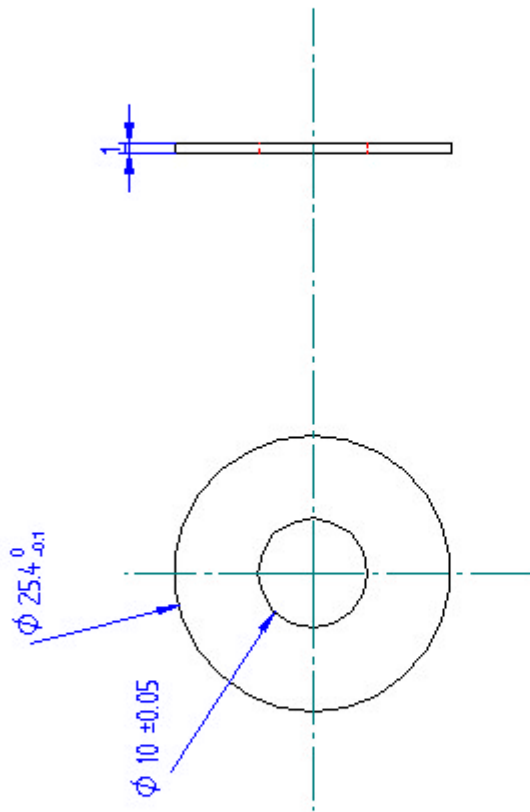




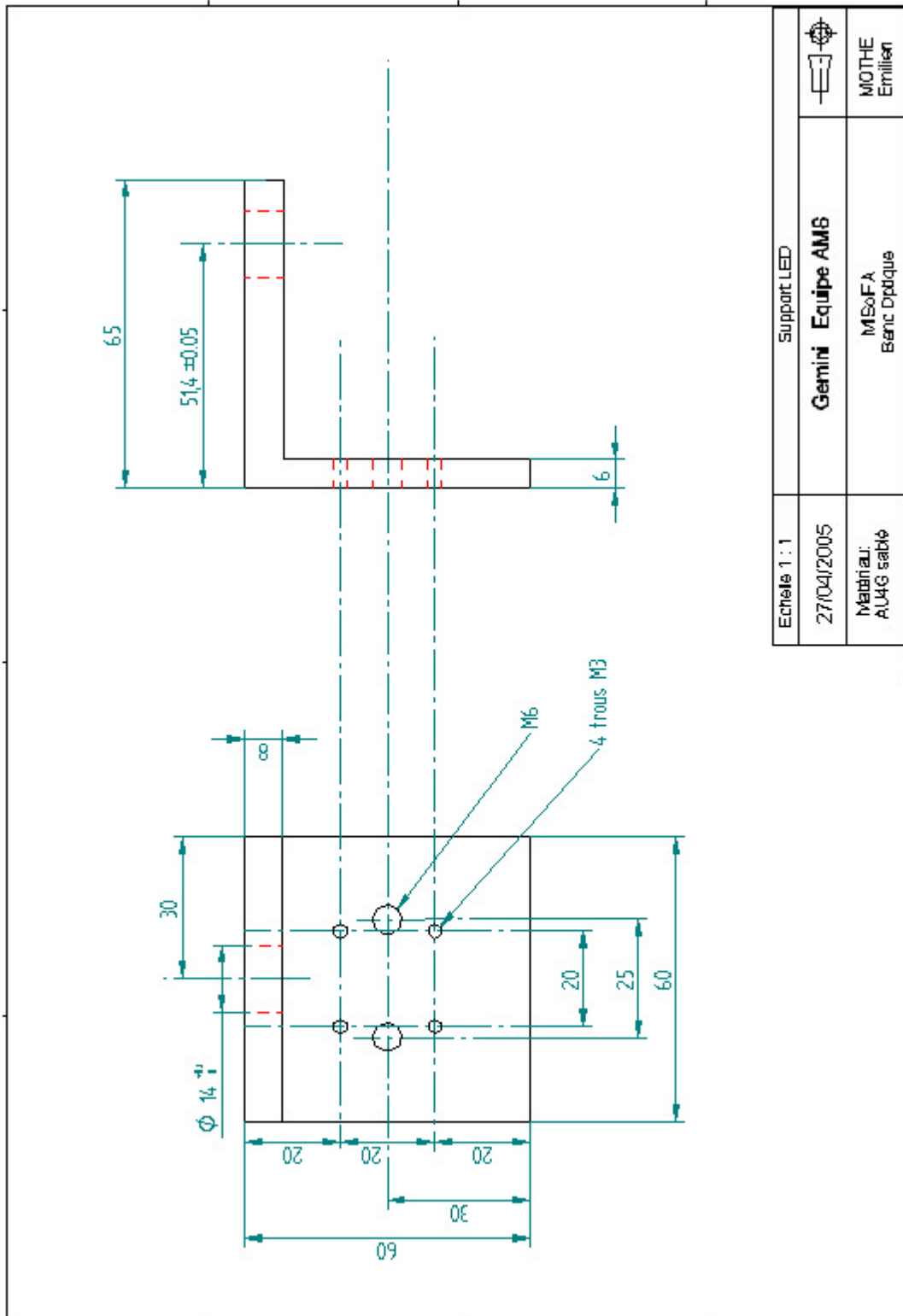
| | | |
|-------------------|--------------------------|---|
| Echelle 2 : 1 | Réducteur | |
| 11/04/2005 | Gemini Equipe AMS |  |
| Matériau: AUAG | MISaIFA Banc Optique | MOthe Emilien |

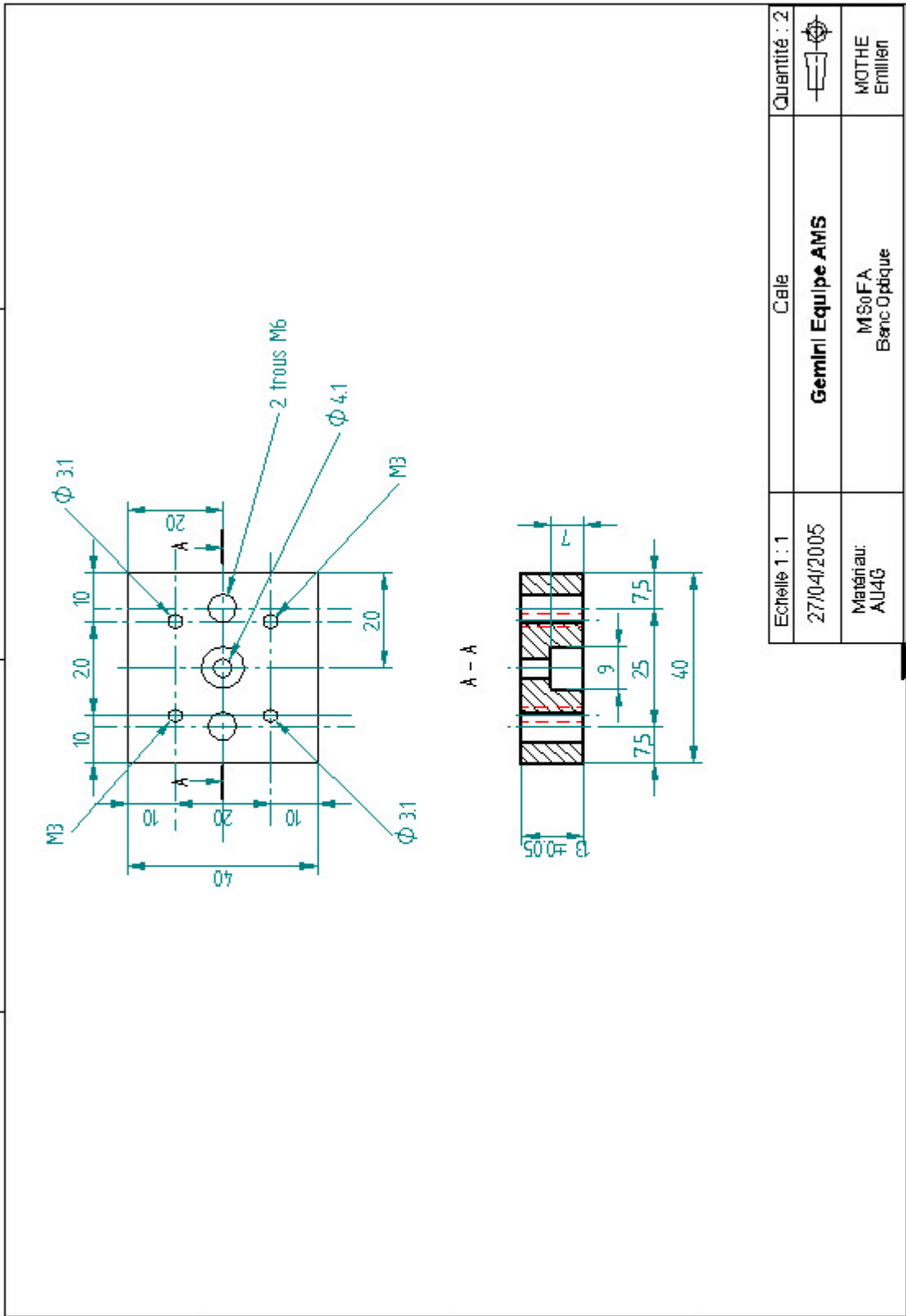


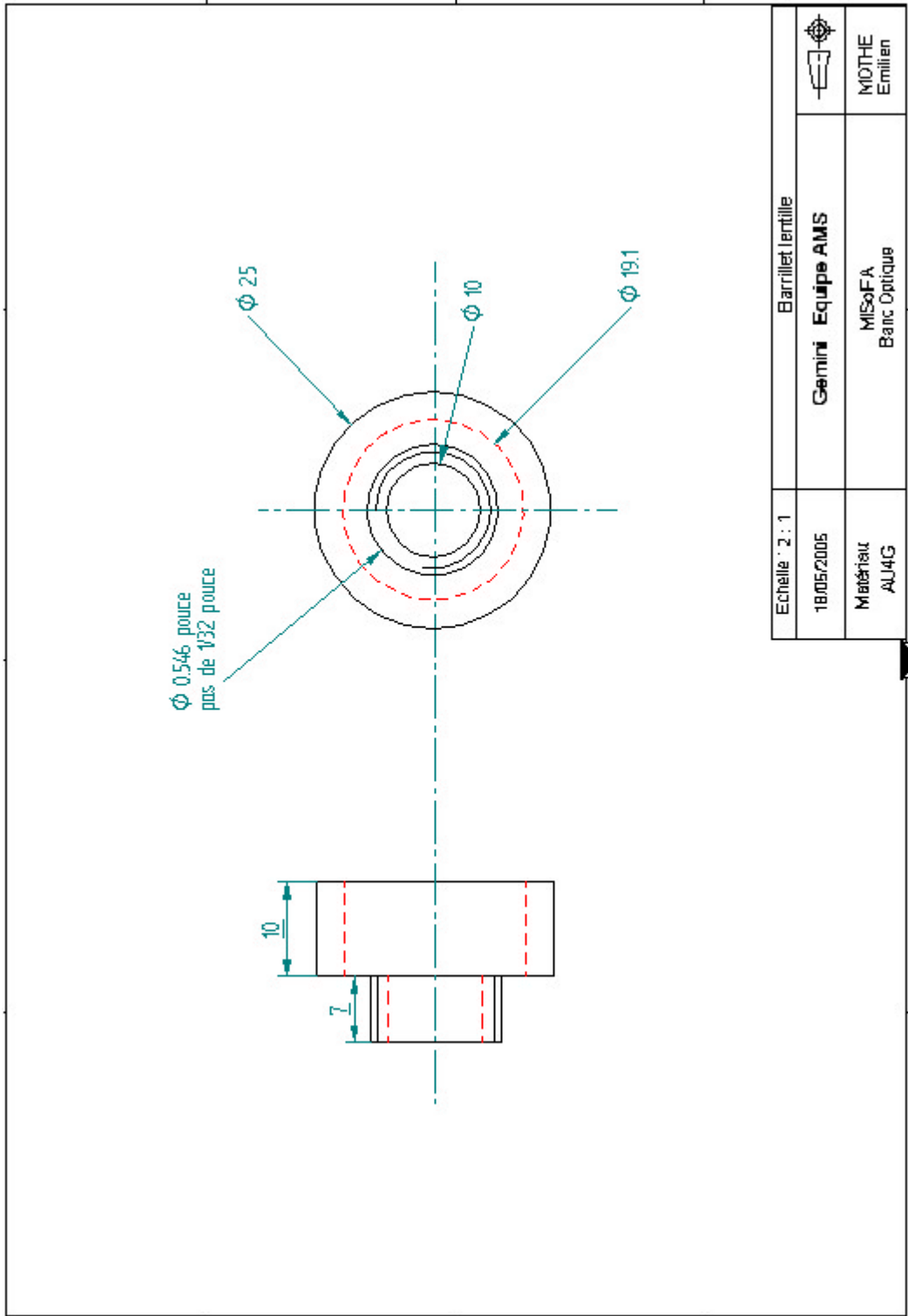
| | | | |
|--------------------------------|--------------------------|--|------------------|
| Echelle 2 : 1 | Diaphragme | | |
| 11/04/2005 | Gemini Equipe AMS | | MOTHE Emilien |
| Matériau: PVC ou équivalent | MISaIFA Banc Optique | | |



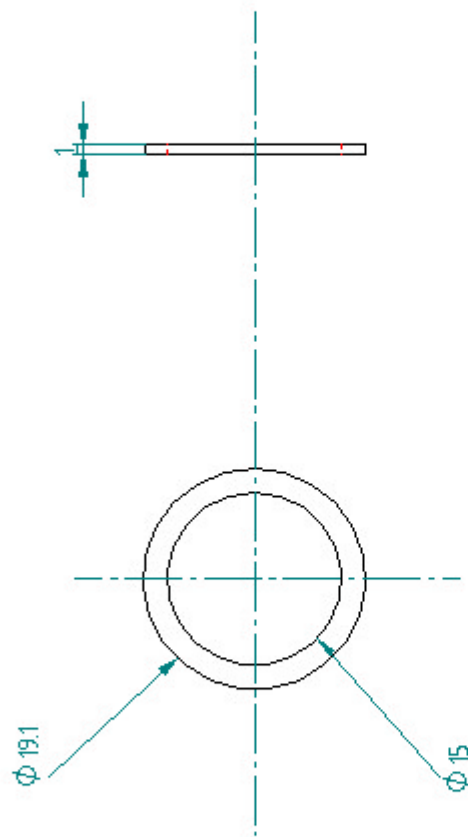
| | | |
|--------------------|--------------------------|---|
| Echelle 2 : 1 | Diaphragme | |
| 11/04/2005 | Gemini Equipe AMS |  |
| Matériau: ALUIG | MISolFA Banc Optique | MOTHE Emilien |



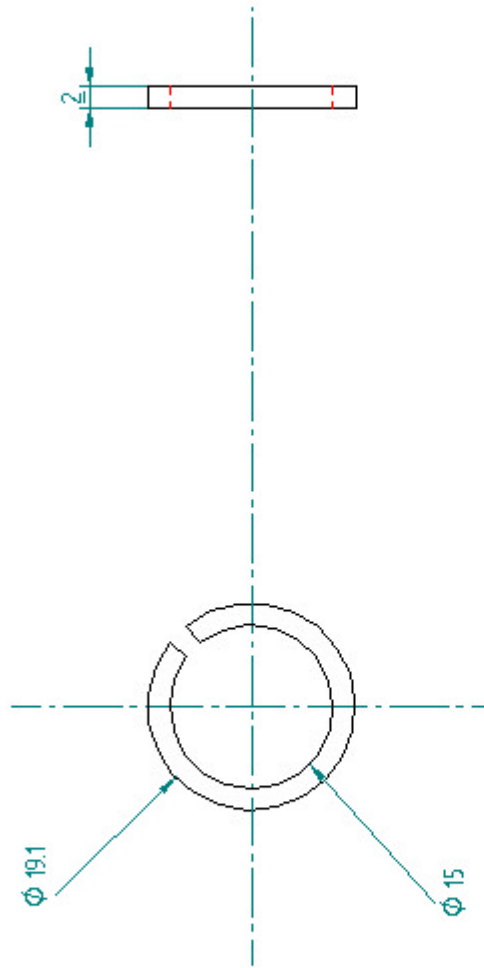




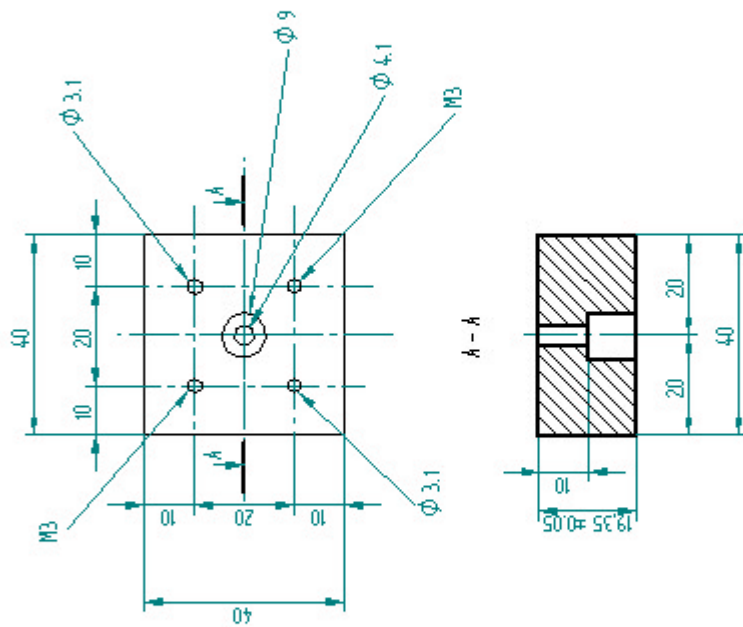
| | | |
|------------------|--------------------------|------------------|
| Echelle : 2 : 1 | Barrillet lentille | |
| 18/05/2005 | Gemini Equipe AMS | |
| Matériau AU4G | MISOFA Banc Optique | MOTHE Emilien |



| | | |
|--------------------------------|--------------------------|---|
| Echelle : 2 : 1 | Anneau | quantité : 2 |
| 18/06/2005 | Gemini Equipe AMS |  |
| Matériau: PVC ou équivalent | MISoIFA Banc Optique | MOTHE Emilien |



| | | |
|---------------|--------------------------|---|
| Echelle 2 : 1 | bague fendue | |
| 18/05/2006 | Gemini Equipe AMS |  |
| Matériau | MISOIFA Blanc Optique | MOTHE Eirlien |



| | | |
|--------------------|-------------------------|------------------|
| Echelle : 1:1 | support photodétecteur | |
| 23/05/2005 | GEMINI Equip AMS | MOTHE Emilien |
| Matériau: ALUIG | MISOLFA Banc Optique | |

Influence de la distance entre le primaire et le secondaire
sur la position du plan focal et sur la focale équivalente

| X (μm) | P' (mm) | Δ P' en % |
|--------|---------|-----------|
| -1000 | 984,51 | 19,46 |
| -950 | 975,09 | 18,32 |
| -900 | 965,84 | 17,2 |
| -850 | 956,75 | 16,1 |
| -800 | 947,83 | 15,01 |
| -750 | 939,07 | 13,95 |
| -700 | 930,46 | 12,9 |
| -650 | 922 | 11,88 |
| -600 | 913,69 | 10,87 |
| -550 | 905,52 | 9,88 |
| -500 | 897,49 | 8,9 |
| -450 | 889,6 | 7,95 |
| -400 | 881,84 | 7 |
| -350 | 874,2 | 6,08 |
| -300 | 866,69 | 5,17 |
| -250 | 859,31 | 4,27 |
| -200 | 852,04 | 3,39 |
| -150 | 844,89 | 2,52 |
| -100 | 837,85 | 1,67 |
| -50 | 830,93 | 0,83 |
| 0 | 824,11 | 0 |
| 50 | 817,4 | -0,81 |
| 100 | 810,8 | -1,62 |
| 150 | 804,29 | -2,41 |
| 200 | 797,88 | -3,18 |
| 250 | 791,57 | -3,95 |
| 300 | 785,36 | -4,7 |
| 350 | 779,23 | -5,45 |
| 400 | 773,2 | -6,18 |
| 450 | 767,26 | -6,9 |
| 500 | 761,4 | -7,61 |
| 550 | 755,62 | -8,31 |
| 600 | 749,93 | -9 |
| 650 | 744,32 | -9,68 |
| 700 | 738,79 | -10,35 |
| 750 | 733,34 | -11,01 |
| 800 | 727,96 | -11,67 |
| 850 | 722,66 | -12,31 |
| 900 | 717,43 | -12,95 |
| 950 | 712,27 | -13,57 |
| 1000 | 707,18 | -14,19 |

| X (μm) | F' (mm) | Δ F' en % |
|--------|----------|-----------|
| -1000 | 11860,97 | 18,59 |
| -950 | 11751,75 | 17,5 |
| -900 | 11644,53 | 16,42 |
| -850 | 11539,24 | 15,37 |
| -800 | 11435,84 | 14,34 |
| -750 | 11334,28 | 13,32 |
| -700 | 11234,51 | 12,32 |
| -650 | 11136,47 | 11,34 |
| -600 | 11040,14 | 10,38 |
| -550 | 10945,45 | 9,43 |
| -500 | 10852,38 | 8,5 |
| -450 | 10760,88 | 7,59 |
| -400 | 10670,9 | 6,69 |
| -350 | 10582,42 | 5,8 |
| -300 | 10495,39 | 4,93 |
| -250 | 10409,79 | 4,08 |
| -200 | 10325,57 | 3,24 |
| -150 | 10242,7 | 2,41 |
| -100 | 10161,15 | 1,59 |
| -50 | 10080,88 | 0,79 |
| 0 | 10001,88 | 0 |
| 50 | 9924,11 | -0,78 |
| 100 | 9847,53 | -1,54 |
| 150 | 9772,13 | -2,3 |
| 200 | 9697,87 | -3,04 |
| 250 | 9624,74 | -3,77 |
| 300 | 9552,69 | -4,49 |
| 350 | 9481,72 | -5,2 |
| 400 | 9411,8 | -5,9 |
| 450 | 9342,9 | -6,59 |
| 500 | 9275 | -7,27 |
| 550 | 9208,08 | -7,94 |
| 600 | 9142,12 | -8,6 |
| 650 | 9077,1 | -9,25 |
| 700 | 9012,99 | -9,89 |
| 750 | 8949,79 | -10,52 |
| 800 | 8887,47 | -11,14 |
| 850 | 8826 | -11,76 |
| 900 | 8765,38 | -12,36 |
| 950 | 8705,59 | -12,96 |
| 1000 | 8646,61 | -13,55 |

$$P' = 1 / (1 / (F'2) + 1 / (F'1 - E - X))$$

$$F'1 = 860 \text{ mm}$$

$$F'2 = -74.2 \text{ mm}$$

$$F' = F'1 * F'2 / (F'1 + F'2 - E - X)$$

$$E = 792,18 \text{ mm}$$

Influence de la distance primaire-secondaire
sur le diamètre de l'image de la pupille

| Modif prim-sec : X | Position plan focal | Image A pupille par sec | Image de A par fente |
|--------------------|---------------------|-------------------------|----------------------|
| -1000 | 984,51 | -67,84 | 383,37 |
| -950 | 975,09 | -67,84 | 384,63 |
| -900 | 965,84 | -67,84 | 385,91 |
| -850 | 956,75 | -67,84 | 387,19 |
| -800 | 947,83 | -67,84 | 388,48 |
| -750 | 939,07 | -67,84 | 389,78 |
| -700 | 930,46 | -67,84 | 391,08 |
| -650 | 922 | -67,84 | 392,39 |
| -600 | 913,69 | -67,84 | 393,72 |
| -550 | 905,52 | -67,84 | 395,05 |
| -500 | 897,49 | -67,84 | 396,38 |
| -450 | 889,6 | -67,84 | 397,73 |
| -400 | 881,84 | -67,84 | 399,09 |
| -350 | 874,2 | -67,84 | 400,45 |
| -300 | 866,69 | -67,84 | 401,82 |
| -250 | 859,31 | -67,84 | 403,2 |
| -200 | 852,04 | -67,84 | 404,59 |
| -150 | 844,89 | -67,84 | 405,99 |
| -100 | 837,85 | -67,84 | 407,4 |
| -50 | 830,93 | -67,84 | 408,82 |
| 0 | 824,11 | -67,85 | 410,24 |
| 50 | 817,4 | -67,85 | 411,68 |
| 100 | 810,8 | -67,85 | 413,12 |
| 150 | 804,29 | -67,85 | 414,57 |
| 200 | 797,88 | -67,85 | 416,04 |
| 250 | 791,57 | -67,85 | 417,51 |
| 300 | 785,36 | -67,85 | 418,99 |
| 350 | 779,23 | -67,85 | 420,49 |
| 400 | 773,2 | -67,85 | 421,99 |
| 450 | 767,26 | -67,85 | 423,5 |
| 500 | 761,4 | -67,85 | 425,02 |
| 550 | 755,62 | -67,85 | 426,56 |
| 600 | 749,93 | -67,85 | 428,1 |
| 650 | 744,32 | -67,85 | 429,65 |
| 700 | 738,79 | -67,85 | 431,22 |
| 750 | 733,34 | -67,85 | 432,79 |
| 800 | 727,96 | -67,85 | 434,38 |
| 850 | 722,66 | -67,85 | 435,97 |
| 900 | 717,43 | -67,85 | 437,58 |
| 950 | 712,27 | -67,85 | 439,2 |
| 1000 | 707,18 | -67,85 | 440,83 |

Influence de la distance primaire-secondaire
sur le diamètre de l'image de la pupille

| Grand equiv | Diamètre image pupille | Δ diamètre image pupille % |
|-------------|------------------------|-----------------------------------|
| 0,0312 | 7,93 | -20,7 |
| 0,0316 | 8,03 | -19,73 |
| 0,0320 | 8,13 | -18,74 |
| 0,0324 | 8,23 | -17,76 |
| 0,0328 | 8,33 | -16,76 |
| 0,0332 | 8,43 | -15,76 |
| 0,0336 | 8,53 | -14,76 |
| 0,0340 | 8,63 | -13,74 |
| 0,0344 | 8,73 | -12,73 |
| 0,0348 | 8,83 | -11,7 |
| 0,0352 | 8,94 | -10,67 |
| 0,0356 | 9,04 | -9,63 |
| 0,0360 | 9,15 | -8,59 |
| 0,0364 | 9,25 | -7,54 |
| 0,0368 | 9,36 | -6,48 |
| 0,0373 | 9,46 | -5,42 |
| 0,0377 | 9,57 | -4,35 |
| 0,0381 | 9,68 | -3,27 |
| 0,0385 | 9,79 | -2,19 |
| 0,0390 | 9,9 | -1,1 |
| 0,0394 | 10,01 | 0 |
| 0,0398 | 10,12 | 1,1 |
| 0,0403 | 10,23 | 2,22 |
| 0,0407 | 10,34 | 3,34 |
| 0,0411 | 10,45 | 4,46 |
| 0,0416 | 10,56 | 5,59 |
| 0,0420 | 10,68 | 6,74 |
| 0,0425 | 10,79 | 7,88 |
| 0,0430 | 10,91 | 9,04 |
| 0,0434 | 11,03 | 10,2 |
| 0,0439 | 11,14 | 11,37 |
| 0,0443 | 11,26 | 12,55 |
| 0,0448 | 11,38 | 13,74 |
| 0,0453 | 11,5 | 14,93 |
| 0,0457 | 11,62 | 16,14 |
| 0,0462 | 11,74 | 17,35 |
| 0,0467 | 11,86 | 18,57 |
| 0,0472 | 11,99 | 19,79 |
| 0,0477 | 12,11 | 21,03 |
| 0,0482 | 12,23 | 22,27 |
| 0,0487 | 12,36 | 23,52 |