Professeur : Wildi François

Travail de diplôme 2005, EIVD

Seeing Monitor

Mesure du Seeing à l'aide d'un DIMM

Décembre 2005

Ceci est un travail de diplôme réalisé dans le but d'obtenir le titre d'ingénieurs HES en microtechnique.

Dal Magro Léonard, Mamin Sébastien,





Département Si+M Filière MI Candidats : Léonard DAL MAGRO Sébastien MAMIN

TRAVAIL DE DIPLOME 2005

Conception et réalisation d'un «seeing monitor»

Cadre

La performance des systèmes d'astronomie est limitée en grande partie par la turbulence atmosphérique qui dégrade les images en réduisant la résolution. La grande majorité des instruments à l'étude aujourd'hui font appel d'une manière ou d'une autre à un système d'optique adaptative permettant de réduire la turbulence vue par l'instrument scientifique

L'optimisation des performances des systèmes d'optique adaptative passe par la connaissance en temps réel d'un certain nombre de paramètres de l'atmosphère.

Description globale :

Le travail consiste en la conception et la réalisation d'un analyseur de 'seeing' dont le but et de pouvoir servir d'instrument permanent sur un site d'observation. Cet analyseur livrera en temps réel les paramètres de l'atmosphère comme (r0, t0, vecteurs de vent, etc.).

Le travail de semestre a consisté en l'étude des principes de seeing monitor existants et à abouti au choix de réalisation de l'instrument de type DIMM ainsi qu'à l'achat d'un télescope MEADE LX200 de 300mm de diamètre comme optique principale du DIMM, ainsi qu'une camera SBIG ST-402.

Objectifs

Voici la spécification des exigences pour le travail de diplôme, tenant compte de l'état du projet après le travail de semestre :

- Conception et réalisation d'un moyen pour maintenir en place les coins optiques destinés au décalage des images.
- 2. Conception et réalisation d'une interface pour fixer la camera d'acquisition et permettre le centrage visuel.
- Conception et réalisation d'un programme (de préférence basé MATLAB) pour la commande à distance des principales fonctions du télescope.
- 4. Conception et réalisation d'un programme d'acquisition et de stockage des données en temps réel
- Etude, conception et réalisation d'un programme de traitement des données qui puisse mettre à jour les paramètres atmosphériques en tout cas une fois par minute (on vise plutôt 4-6 fois/minute)

-1-





- 6. Elaboration d'un plan de test et de validation
- 7. Caractérisation en labo
- Planification, préparation et exécution d'une campagne de mesures sur un ou plusieurs sites d'observation
- 9. Réduction des données obtenucs sur le ciel

Le travail de diplôme commencera par l'établissement d'un plan d'action (l'équivalent du « développement plan » d'un projet complexe) dans lequel la stratégie d'avancement sera définie, les points durs potentiels identifiés et un planning prévisionnel établi.

Partage de tâches entre les deux étudiants :

Bien qu'une séparation Hardware/Software ait été prise en baseline en début de projet, la situation aujourd'hui impose de reconsidérer cette politique. En effet, l'achat d'un grand télescope et d'une caméra interfacée USB a considérablement simplifié la réalisation matérielle du projet. On considère que c'est lors de l'élaboration du plan d'action que la répartition des tâches doit s'effectuer sur proposition des étudiants, pour ensuite être avalisée par le prof. responsable. L'élaboration du plan d'action est donc une étape importante du projet et sera valorisée comme telle.

Les candidats :

Do Hanges

J. Muht et S. Mamin

Le professeur responsable :

F. Wildi

Le chef du département Systèmes industriels et Microtechniques

: Da' Vara

Prof. G. Corday





Table des matières

1	RÉSUMÉ	7		
2	INTRODUCTION			
3	RÉPARTITION DES TÂCHES ET PLANNING			
4 DESCRIPTIONS ET ÉLÉMENTS THÉORIOUES				
	 4.1 QU'EST-CE QU'UN FRONT D'ONDE ?			
 4.5 CORRESPONDANCE EN RADIAN ET EN SECONDE D'ARC SUR LE CIEL D'UN PIXEL 5 LA MESUDE DU SEEINC 				
5	5.1 Différentes grandeurs (i.e. description de l'atmosphère) 5.2 Seeing 5.3 Paramètre de Fried, R_0 5.4 C_n^2	16 		
6	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU DIMM			
	 6.1 PRINCIPES ET ÉQUATIONS RÉGISSANT DU DIMM 6.2 SCHÉMA D'IMPLANTATION 			
7	LE TÉLESCOPE			
	7.1 DÉPLOIEMENT	27 29 29 29 30 30 30 30 31 31		
8 MASQUE MUNI DE SOUS OUVERTURES				
	 8.1 ETUDE DU MASQUE 8.2 CARACTÉRISATION DES PRISMES 			
9 CAMÉRAS				
	9.1 ROUTINE EN C 9.1.1 Fichiers mex 9.1.2 Compilation de fichiers mex 9.2 S-BIG ST-402 9.2.1 Driver de commande	35 35 36 36 37		
	9.2.2 Utilisation du mode TDI			
	9.3 LUMENERA 9.3.1 Drivers particuliers 9.3.2 Vérification des vitesses de lecture de la caméra 9.3.3 Pixels Chauds/Froids 9.3.4 Taille des pixels de la caméra 9.3.5 Offset de la caméra	41 41 41 41 41 41 41 45		
1(9.4 ETALONNAGE DE LA CAMERA (DARK FRAME ET FLAT FIELD) 0 ALGORITHMES DE TRAITEMENT D'IMAGE			





10.1	Centroïde	
10.2	FIT GAUSSIAN 2D	
10.3	SEUILLAGE (THRESHOLD EN ANGLAIS)	
10.4	FWHM	
10.5	Dark field / dark sky	
10.6	CALCUL DU SEEING	
11 IN	FERFACE DE SIMULATION	57
11.1	INTERFACE GRAPHIOUE	
11.	1.1 Paramètres de simulation de l'amosphère « 1 »	
11.	1.2 Paramètres général du télescope « 2 »	
11.	1.3 Bouton " run in CLOSED loop " « 3 »	
11.2	DETAIL DE LA FONCTION « RUN_AO_CLOSED_LOOP.M »	
11.3	TESTS ET MESURES	
11	3.1 Limitation par le r_0	
11	3.2 Vérification de notre algorithme	
11	3.3 Comparaison de nos résultats pour différentes valeurs de r ₀	
12 UT	ILISATION DE L'APPAREIL	
12.1	INSTALLATION ET MATÉRIEL NÉCESSAIRE	69
12.2	INTERFACE UTILISATEUR, MODE D'EMPLOI	
12.	2.1 Affichage principal	
12.	2.2 Menu liaison	
12	2.3 Mise en station date, heure et lieu	
12	2.4 Tracking (suivi d'étoile)	
12.	2.5 Gestion des caméras	
12	2.6 Gestion du télescope	
12	2.7 Bouton Focus	
12	2.8 Bouton Dark frame / dark sky	
12	2.9 Bouton Threshold	
12	2.10 Sauvegarde des valeurs	
12.3	MISE EN SERVICE « RAPIDE DE L'INTERFACE »	
12.4	MISE HORS SERVICE DU SEEING MONITOR	
12.5	DÉROULEMENT DES OPÉRATIONS	
13 TE	ST DE MISE AU POINT	
13.1	6 OCTOBRE 2005	
13.2	12 OCTOBRE 2005	
13.3	20 OCTOBRE 2005	
13.4	10 NOVEMBRE 2005	
13.5	18 NOVEMBRE 2005	
14 VA	LISE DE CAMPAGNE	
14 1	CHECK LISTE DU MATÉRIEL À PRENDRE POUR LES CAMPAGNES DE MESURES	91
14.2	DIMENSIONNEMENT DE L'ONDUI EUR	91
15 PL	AN DE TEST ET DE VALIDATION	97
15 1	VÉRIFICATION EN LABORATOIRE	92
10.1	MDA ONE DE MECHDE	
16 CA	MPAGNE DE MESURE	
16.1	UBSERVATOIRE FRANÇOIS-XAVIER BAGNOUD	
16.	$1.1 \qquad Planification \dots \\ 1.2 \qquad 1 \\ 1.2 \qquad 1 \\ 1.2 \\ 1.$	
16.	1.2 Iere mult (Ma-Me)	
10. 12	1.5 Zeme null (Me-Je)	
10.	1.4 Settle null (Je-Ve)	
10. 14	1.5 Anuiyse des données – Si-Luc	
16.2	1.0 Conclusion sur le sile de SI-Luc	
10.2	ODSERVATOIRE STIIINA JUNUTRAUJUUI	,





16.2	2.1 Planification	
16.2	2.2 lère nuit (Lu-Ma)	
16.2	2.3 2ème nuit (Ma-Me)	
16.2	2.4 3ème nuit (Me-Je)	
16.2	2.5 Analyse des données - Jungfraujoch	
16.3	CONCLUSION SUR LE SITE DE LA JUNGFRAU	101
17 VÉ	RIFICATION DE L'ORDRE DE GRANDEUR DE NOS MESURES	
18 PO	SSIBILITÉ D'ÉVOLUTION POUR LA SUITE	
19 CO	NCLUSION	
20 LIS	TE DES RÉFÉRENCES	
20.1	BIBLIOGRAPHIE	
20.2	WEBOGRAPHIE	
21 TE	RMINOLOGIE - CCD	
21.1	LIGHT FRAME	
21.2	DARK CURRENT	
21.3	DARK FRAME	
21.4	FLAT FIELD	
21.5	ANTIBLOOMING	
21.6	EFFICACITE QUANTIQUE	
21.7	READOUT NOISE	108
22 RE	MERCIEMENTS	
23 AN	NEXES	
23.1	CHECK-LISTE POUR LES DÉPARTS EN CAMPAGNE	
23.2	INFORMATIONS SUR LES DATAS PRISES À ST-LUC	
23.3	INFORMATIONS SUR LES DATA PRISES À LA JUNGFRAU	
23.4	PLAN DU MASQUE	
23.5	DIVERS	



1 Résumé

Ce projet de diplôme consiste à réaliser un appareil étant capable de caractériser l'atmosphère, en faisant apparaître la valeur du paramètre de Fried (r_0) ainsi que le Seeing. Après avoir étudier divers Seeing monitor déjà existant (RoboDimm) durant de travail de semestre, nous avons choisit de réaliser un DIMM. La base de ce principe est un télescope muni d'un masque générant des sous pupilles. Au foyer du télescope se trouve une caméra CCD qui servira à déterminer la position des centroïdes (image de l'étoile sur laquelle on effectue la mesure). Tout ceci est piloté par un ordinateur muni du logiciel Matlab. Celui-ci comporte également les diverses fonctions afin de générer une interface « utilisateur » et d'y afficher les diverses valeurs recherchées.

Plusieurs campagnes de mesures (sur le site de St-Luc et de la Jungfraujoch) ont été réalisées dans le but de mettre en œuvre l'appareil sur des sites astronomiques et également de vérifier le bon fonctionnement des divers algorithmes.

2 Introduction

La performance des systèmes astronomiques est limitée en grande partie par la turbulence atmosphérique qui dégrade les images. Aujourd'hui, la grande majorité des instruments font appel d'une manière ou d'une autre à un système d'optique adaptative permettant de réduire l'effet de la turbulence vu par l'instrument d'observation. La caractérisation d'un bon système passe par la connaissance en temps réel de l'atmosphère. Comme nous allons le voir par la suite, ces perturbations sont caractérisées par divers paramètres et principalement le Seeing.

Dans le cadre de ce travail de semestre, nous avions :

Travail de diplôme 05

- Etudié les différents systèmes de Seeing Monitor déjà réalisés.
- Choisi un système qui se prête le mieux à une réalisation à l'EIVD et qui fournisse les paramètres les plus utiles pour l'astronomie.
- Effectué le design et le dimensionnement des divers éléments.
- Gardé à l'esprit une politique de prix acceptable pour l'école.
- Commandé/acheté les divers composants pour commencer la réalisation de ce projet dès le début du diplôme.

Le travail de diplôme consiste à :

- réaliser le montage
- réaliser les algorithmes de traitement
- l'implémentation des caméras (S-big et lumenera)
- création d'une interface programme pour en sortir les mesures du paramètre de Fried et du Seeing
- la validation sur le ciel par le biais de diverses campagnes de tests

On relèvera encore que ce travail est basé sur la collaboration de deux personnes. Lors du travail de semestre il avait été convenu de répartir le travail en deux parties à savoir :

- Partie optique mécanique et électronique
- Partie Traitement du signal





Ceci a été modifié car la première partie a été grandement simplifiée vu l'achat d'un télescope type Meade LX200 12''. Lors de la première semaine du travail de diplôme, nous avons effectué une nouvelle répartition des diverses tâches selon le « mind-map » se trouvant au paragraphe suivant.









Figure 1 – Mind map représentant la répartition des tâches







Figure 2 - Planning avec répartition du travail





4 Descriptions et éléments théoriques

4.1 Qu'est-ce qu'un front d'onde ?

Selon Huygens, la propagation de la lumière résulte d'un processus de génération d'ondelettes sphériques en chaque point atteint par un front d'onde, ondelettes dont la somme donne le champ de propagation. En traçant la tangente aux fronts d'onde des ondelettes à un instant donné, on obtient le front de l'onde de l'onde totale à ce même instant. Le front d'onde est le lieu des points du milieu atteint par le mouvement ondulatoire au même instant. La direction de propagation d'un front d'onde est donnée par la direction du rayon lumineux. Un front d'onde plat est composé de rayons collimatés (parallèles).



Figure 3 – Surface d'ondes S, S' et S'' et ondes secondaires (petits demi-cercles)

Cette intuition est proche de la réalité (comme l'a montré Fresnel dans sa théorie de la diffraction). C'est un moyen simplifié de comprendre le processus de propagation de l'onde. Par contre, ce principe n'explique pas le phénomène de polarisation de la lumière (dans le cadre du diplôme, nous ne nous occuperons pas de cet aspect-là !).

4.2 Optique de Fourrier

L'optique de Fourrier permet de décrire l'éclairement énergétique des points d'une image formée par une lentille. Cette image, située sur le plan focal, est définie comme étant la transformée de Fourrier bidimensionnelle du front d'onde au niveau de la lentille et délimitée par la forme de cette lentille. Cette considération sera justement utilisée dans le programme de simulation. Au passage, on peut apercevoir sur la figure suivante la FFT d'un front d'onde avec les anneaux d'Airy :





Travail de diplôme 05



Figure 4 – FFT d'un front d'onde avec les anneaux d'Airy

Précisons encore que le pic central est appelé ordre 0, le pic secondaire ordre 1, etc. Par contre, le cercle décrivant le premier minimum est appelé cercle d'Airy qui délimite la tache d'Airy ou aussi appelée la tache de diffraction.

Lorsque le front est plat, le pic a la forme d'une gaussienne 3D mais lorsque celui-ci se déforme, le pic se déplace et sa forme peut être modifiée légèrement.

4.3 Padding

Le « padding » consiste à augmenter la résolution de l'image que l'on simule. Pour ce faire, on place la matrice décrivant le front d'onde au centre d'une matrice nulle dont les côtés ont été multipliés par un facteur de garde (nous l'avons simplement appelé « padding » dans la simulation). Voyons cela d'un peu plus près :

Travail de diplôme 05





Figure 5 – Mise en évidence du padding pour augmenter la résolution

L'information reste inchangée (il n'y en a ni plus ni moins) mais nous avons une meilleure linéarité dans la variation de la courbe. La partie de gauche représente donc la sous ouverture de 60 mm de diamètre (ce qui représente environ 6 carrés de large !). Nous pouvons aussi voir que le masque n'est pas parfait, c'est-à-dire que l'ouverture n'est pas parfaitement circulaire. Ceci aura certainement une influence sur les résultats, à voir par la suite...

Une chose importante est encore à remarquer : dans le cas où on ne « grossit » pas volontairement la fenêtre avec le masque et la sous ouverture (ajout de 0 autour de cette matrice), il y a en fait déjà une forme de padding. En effet, nous avons bien à faire à une sous ouverture circulaire mais nous ne faisons pas seulement la FFT de la sous pupille mais en fait du masque avec la sous pupille. La taille de la sous pupille étant 1/5 de la taille du masque (du fait que les sous pupilles sont de 60 mm et la pupille d'entrée du télescope de 300 mm), nous avons fait déjà un « padding » dont le facteur de garde vaut 5. Au passage, nous détaillerons par la suite les divers éléments du montage cités ci-dessus. Il faudra prendre en compte ce facteur lorsque nous chercherons ce que vaut une élément de matrice (plus explicitement ce que vaut la largeur d'un petit carré qui apparaît sur les figures).

4.4 Angle séparant 2 éléments de matrice ($\Delta \alpha$) dans la simulation

Dans le cadre de la simulation, nous nous sommes basés sur la théorie de l'optique de Fourrier. Le conjugué d'un objet (par exemple d'une étoile) par un système optique est l'équivalent de la transformée de Fourrier du front d'onde parvenant au système optique. Il est



donc possible de déterminer à partir d'un front d'onde simulé, l'image d'un objet sur le plan focal (appelé aussi plan de Fourrier).

Une fois que l'on a effectué la transformée de Fourrier de ce front d'onde, il reste à déterminer la résolution spatiale de cette transformée. Dans le cas où on ne rajoute pas de point pour augmenter la résolution (on ne fait donc pas de padding), la résolution spatiale vaut :

$$\delta = \frac{\lambda/2}{d/2} = \frac{\lambda}{d}$$

avec λ , la longueur d'onde d'observation [m] d, le diamètre de la sous ouverture [m]

 δ , la résolution spatiale en [rad]



Figure 6 – Schéma d'un front d'onde avec du tip

Par contre, si on fait du padding, il y a le facteur de garde qui intervient dans l'équation :

$$\delta = \frac{\lambda}{facteur_garde \cdot D}$$

avec λ , la longueur d'onde d'observation [m] D, le diamètre de la sous ouverture [m] δ , la résolution spatiale en [rad]



Figure 7 – Sans padding en haut et avec en bas

La figure précédente montre le résultat de la transformée de Fourrier sans et avec padding : en fait, on augmente la résolution de l'image car on rajoute des points (points rouges) entre les échantillons d'origine (points bleus sur la figure).

4.5 Correspondance en radian et en seconde d'arc sur le ciel d'un pixel

La caméra nous renvoie des matrices dont chaque élément correspond à un pixel du CCD. Il faut maintenant déterminer à quoi correspond un pixel de la caméra sur un angle en [arcsec] rapporté sur le ciel. Pour ce faire, nous devons connaître les paramètres suivants :

- La largeur d'un pixel, 7.4 [µm] (que l'on a introduit dans la fonction « alg Seeing2.m »)
- La distance focale « f » du télescope « meade LX 200 12'' », 3.048 [m]

La correspondance en radian de la largeur d'un pixel vaut :





resolution =
$$\frac{taille _ pixel}{f} = \frac{7.4 \cdot 10^{-6}}{3.048} = 2.4 \cdot 10^{-6} [rad]$$

La correspondance en seconde d'arc de la largeur d'un pixel vaut :

 $resolution = \frac{taille_pixel}{f} \cdot conv_rad_arc\sec = \frac{7.4 \cdot 10^{-6}}{3.048} \cdot 206264.8 = 5.0 \cdot 10^{-1} [arcsec]$

Cette valeur intervient dans le calcul du centroïde des spots.





5 La mesure du Seeing

5.1 Différentes grandeurs (i.e. description de l'atmosphère)

Nous allons voir les différents paramètres nous permettant de caractériser l'atmosphère. Mais avant toute chose, il est important d'expliquer assez brièvement l'origine de ces perturbations. Les zones qui dominent en termes de fluctuation de l'indice de réfraction sont les frontières entre les couches atmosphériques et la tropopause (voir Figure 8). Nous allons voir qu'est-ce qui détermine l'indice de réfraction dans l'air, l'origine des turbulences dans l'atmosphère, le modèle de Kolmogorov et les effets des turbulences sur la propagation optique.

La réfractivité de l'air est :

$$N = (n-1) \cdot 10^{6} = 77.6 \cdot (1+7.52 \cdot 10^{-3} \lambda^{-2}) \cdot \left(\frac{P}{T}\right)$$

avec P = pression en mbar, T = température en Kelvin, n = indice de réfraction (faible dépendance avec la longueur d'onde λ .

La variation de cette réfractivité est essentiellement fonction de la température. En effet, la pression est considérée comme constante parce que les vitesses sont fortement inférieures de la vitesse du son. La variation de pression est rapidement rendue négligeable par la propagation de l'onde sonore :

$$\delta(N) = -77.6 \cdot \left(\frac{P}{T^2}\right) \cdot \delta(T)$$

Regardons maintenant un modèle de l'atmosphère et des types de perturbation que l'on peut avoir à certaines altitudes.



Figure 8 - Modèle simplifié de l'atmosphère en fonction de l'altitude

Les perturbations les plus importantes sont celles des premiers kilomètres. Ensuite, l'atmosphère est relativement stable. D'autre part, le dôme engendre de fortes perturbations





(convexion, vents qui tournoient) et ceci de par sa géométrie. L'idéal serait d'avoir une structure qui s'ouvre totalement lorsque l'on passe en mode d'observation. Cela aurait pour effet de diminuer les perturbations et les incidences de la température sur la structure du télescope.

Nous pouvons aussi faire une caractérisation de l'atmosphère en fonction du temps.



Figure 9 - Structure de l'atmosphère en fonction de l'altitude et de l'heure de la journée

Durant la journée, la frontière entre les couches est grande (jusqu'à 1 km), dominée par des « plumes » convectives qui s'élève de la surface du sol, chauffée par le soleil. Tandis que durant la nuit, les écroulements entre les couches à quelques cent mètres, sont stratifiés et relativement stables.

Concernant le facteur « température », on pourrait croire que celle-ci décroît avec l'altitude. Globalement, cette affirmation est vraie mais tout dépend du type de couche que l'on traverse :





Figure 10 - Evolution de la température en fonction de l'altitude

A basse altitude, le gradient de température est négatif mais lorsqu'on passe dans la stratosphère, celui s'inverse puis change à nouveau dans la mésosphère. Nous pouvons de ce fait nous rendre compte l'effet que peuvent avoir ces phénomènes sur l'observation télescopique.

Le modèle de Kolmogorov (aérodynamicien Russe, 1903-1987) décrit un système représentant statistiquement la répartition des bulles (bulles d'aire possédant un indice de réfraction propre) en régime stationnaire. Les plus grandes bulles (celles qui ont une importance dans l'optique adaptative) ont un diamètre maximum L_0 tandis que les plus petites (celle qui sont le moins gênantes car elles possèdent peu d'énergie) ont un diamètre minimum l_0 .



Figure 11 - Modèle de Kolmogorov





Supposez que l'énergie est ajoutée au système depuis la plus grande échelle qui serait l' « outer scale », L_0 . Alors l'énergie se répartit en cascade de l'échelle la plus grande à la plus petite (des remous turbulents "s'écoulent" dans des structures de plus en plus petites). Finalement, la taille des remous devient si petite que ce phénomène est soumis à la dissipation de la viscosité. Nous atteignons donc la taille de la plus petite : « Inner scale », l_0 .

 L_0 peut valoir de 10 à 100 m tandis que l_0 vaut quelques mm.

5.2 Seeing

Si, par une excellente nuit, on faisait des observations astronomiques, un télescope serait limité par le phénomène de diffraction exclusivement (dans l'hypothèse que les perturbations liées à l'atmosphère seraient nettement inférieures à la diffraction). L'angle de diffraction de la tache d'Airy est fonction du diamètre du télescope par la formule suivante :

$$\theta_{tot} = 2 \cdot \frac{1.22 \cdot \lambda}{D}$$

avec D comme étant le diamètre de l'ouverture du télescope et λ une longueur d'onde définie.

Cette formule nous montre que si nous augmentons le diamètre du télescope, nous diminuons l'angle de diffraction. Ceci nous indique dans un premier temps que l'on a tout intérêt à choisir un télescope de grande ouverture. D'ailleurs, par le critère de Rayleigh, si la séparation de deux points objets est telle que le maximum de la figure de diffraction de l'un tombe sur le premier minimum de l'autre, alors nous pouvons distinguer ces deux points. Dans le cas contraire, nous n'en observons qu'un seul !

$$\theta_{res} = \frac{1.22 \cdot \lambda}{D}$$

La résolution angulaire du télescope correspond donc au demi diamètre du disque d'Airy. Celle-ci (équation 3-1) est exprimée en radian mais dans le domaine de l'astronomie, nous l'exprimons plutôt en seconde d'arc (arcsec). La conversion est la suivante :

$$1[rad] = \frac{1}{\pi} \cdot 180 \cdot (60 \cdot 60) = 206264.8"$$

Malheureusement, la résolution du télescope est victime d'un autre phénomène. A partir d'un certain diamètre du télescope, la limite de diffraction devient négligeable par rapport à la perturbation engendrée par l'atmosphère. De manière plus précise, ce n'est plus la limite de diffraction qui définit la résolution du télescope mais la perturbation engendrée par les différentes couches de l'atmosphère.

C'est pour cela qu'une grandeur a été instaurée : le Seeing qui caractérise les perturbations engendrée par l'atmosphère. Celui-ci indique la largeur angulaire à mi-hauteur de l'image d'une source ponctuelle d'une longueur d'onde donnée. Cette valeur est donnée en général en [arcsec]. On parle alors de : FWHM qui signifie Full Width at Half Maximum.







Figure 12 - Valeur de FWHM qui se calcule à 50 % de I_{max}

Dans le cas d'observation astronomique, il est possible de faire de longue pause sur une étoile et de mesurer la FWHM de la tache. Ceci est valable pour des télescopes de grand ouverture (au moins 300mm de diamètre) car sinon, la tache de diffraction générée par l'ouverture serait trop importante.

Le Seeing dépend non seulement de la longueur d'onde mais aussi du r_0 (paramètre de FRIED qui est décrit au § 5.3 :

$$FWHM(\lambda) = 0.98 \cdot \frac{\lambda}{r_0}$$

Cette valeur est en radian mais elle est le plus souvent exprimée en [arcsec] (ϵ_{FWHM} ou ϵ). Au niveau de la résolution, les télescopes de grand diamètre n'apportent pas forcément d'amélioration dû au Seeing mais ils offrent tout de même un facteur non négligeable : qui dit grand diamètre dit grande ouverture. Nous avons donc plus de lumière qui rentre dans celle-ci et il est alors possible de voir des étoiles de magnitude plus élevée (d'intensité plus faible).

Il est aussi intéressant de voir comment évolue le Seeing en fonction de la longueur d'onde. Pour une faible longueur d'onde, c'est plutôt les turbulences de l'atmosphère qui augmente celui-ci selon $\lambda^{-1/5}$. Par contre, pour les faibles longueurs d'onde, la limite de diffraction fait évoluer le FWHM selon λ .







Figure 13 - Dépendance de la longueur d'onde pour la résolution d'un télescope

Le Seeing est partagé en 5 grandes catégories :



Figure 14 - Les 5 catégories de Seeing

- I. Image vibrante sans signe visible de diffraction : > 4"
- II. Importants remous dans le disque central. Anneaux absents ou partiellement absents de diffraction : $\sim 3.0 4.0$ "
- III. Déformation du disque central et anneau irrégulier dû à la diffraction : $\sim 1.0 2.0$ "
- IV. Légères ondulations des disques de diffraction : $\sim 0.4 0.9$ "
- V. Figure de diffraction quasiment parfaite : < 0.4"

5.3 Paramètre de Fried, ro

Le paramètre de Fried est le paramètre le plus commun utilisé en astronomie. Il est utilisé pour décrire l'effet de l'atmosphère sur les performances du télescope. Théoriquement, en l'absence de turbulence, la résolution d'un télescope est limitée par la taille de ces miroirs et par la longueur d'onde de la lumière. Si nous suivons le modèle simplifié d'un télescope ayant une simple ouverture circulaire de diamètre D, le critère de Rayleigh fixe l'angle minimum entre deux points discernables (voir § 5.2).

Pour un site d'observation, une turbulence et une longueur d'onde donnée, le r_0 est égal au diamètre d'un télescope qui ne subirait pas la turbulence et dont la qualité d'image serait équivalente au diamètre infini qui lui la subirait.

Dal Magro Léonard

« Seeing monitor »



Travail de diplôme 05



Figure 15 - Représentation du r₀

Si on regarde maintenant la formule brute du r₀ :

$$r_0(\lambda) = \left[0.423 \cdot \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) \cdot \sec(\zeta) \cdot \int_0^\infty C_n^2(h) dh\right]^{-3/5}$$
(5-1)

avec λ qui est la longueur d'onde d'observation, h l'altitude des couches (pour le $Cn^2,$ voir § 5.4)

On remarque que le r_0 est proportionnel à $\lambda^{6/5}$. Cela signifie que les grandes longueurs d'ondes (à partir des infrarouges) sont moins affectées par la turbulence (voir Figure 13).

Pour donner un petite idée, un $r_0 = 100 \text{ [mm]}$ est valable pour un site de plaine standard (au mieux), typique = 40-50 [mm], $r_0 = 400 \text{ [mm]}$ pour l'observatoire de Paranal (au nord du Chili).





5.4 C_n^2

Il s'agit d'une variable en fonction de l'altitude du profil des turbulences engendrées par les différentes couches d'altitudes. Voici un exemple de profiles établi en septembre 26/27 2004 à Cerro Tololo Inter-American Observatory :



Figure 16 - Profile du Cn2 suivant l'altitude





6 Principe de fonctionnement du DIMM

6.1 Principes et équations régissant du DIMM

Le premier DIMM (Differentiel Image Motion Monitor) a été développé par M. Sarazin et F. Roddier (voir article « The ESO differentiel image motion monitor », 1990, Astron, Astrophy.227, 294-300). La qualité de l'image à travers un télescope est directement liée à la statistique de la perturbation du front d'onde arrivant. Cette méthode consiste en la mesure de la différence du front d'onde à travers de petites pupilles (entre 40 et 60 mm d'ouverture) séparées par environ 20 cm, ces données pouvant varier suivant le télescope choisi. Grâce à cette méthode, dite différentielle, la technique est insensible aux erreurs de tracking et aux vibrations. De plus, elle ne nécessite pas d'avoir un télescope de très grande qualité optique (cependant, des images circulaires sont nécessaires).

En pratique, la lumière d'une étoile (son flux) passe à travers 2 petites sous ouvertures circulaires, découpée dans un masque qui se fixe directement sur le télescope (télescope de 10 à 12 pouces). Ceci est nécessaire pour la mesure du Seeing mais si on veut caractériser le ciel en terme de vitesse et de direction de vent, il nous faut une troisième ouverture.

Pour la mesure du Seeing (on part sur le principe de 2 ouvertures), nous avons besoin de défocaliser l'une des 2 images. Pour ce faire, nous employons un prisme qui dévie l'axe optique (voir détail Figure 17)



Figure 17 - Mise en évidence du prisme pour modifier l'axe optique

On mesure la statistique du mouvement relatif des centroïdes de ces deux images qui donne accès au paramètre de Seeing r_0 .

La variance de l'image à travers une ouverture circulaire de diamètre D dépend du Seeing comme :

$$\sigma_{xy}^2 = 2\sigma_x^2 = 2\sigma_y^2 = 0.36 \cdot \lambda^2 \cdot D^{-1/3} \cdot r_0^{-5/3}$$





avec d qui est la distance qui sépare les ouvertures.

La variance du mouvement d'images différentielles par les ouvertures circulaires de diamètre D, séparé par d est :

$$\sigma_l^2 = 2\lambda^2 r_0^{-5/3} (0.179 D^{-1/3} - 0.097 d^{-1/3})$$

$$\sigma_l^2 = 2\lambda^2 r_0^{-5/3} (0.179 D^{-1/3} - 0.145 d^{-1/3})$$

avec σ_t^2 la variance longitudinale et σ_t^2 la variance transverse.

Ces deux variances permettent de calculer une estimation du r_0 pour un d > 2D. Pour cela, nous devons mesurer le déplacement longitudinale et transverse des 2 taches lumineuses l'une par rapport à l'autre. Nous devons donc chercher les dx et dy et il nous faut au moins 50 images pour le calcul la variance de dx et de dy.



Figure 18 - Principe du DIMM

Un fois ces variances trouvées, nous pouvons introduire les valeurs dans les équations décrites juste avant et nous obtenons donc deux valeurs de r_0 . Nous faisons ensuite la moyenne de ces deux valeurs :

$$r_0 = \frac{1}{2} \big(r_{0l} + r_{0t} \big)$$





Nous avons à ce moment la possibilité de trouver le Seeing :

Seeing = FWHM =
$$0.98 \frac{\lambda}{r_0}$$

Dans le cas du RoboDIMM (construit sur le Cerro Tololo au Mexique le 27 août 2000), la longueur d'onde de travail est 500 nm et dans la direction du zénith.

Dans notre cas, nous allons tenter de faire un DIMM avec 3 ouvertures d'un télescope de 12" Meade. Nous utiliserons 2 des 3 ouvertures pour effectuer la mesure du Seeing. La troisième ouverture, en collaboration avec les deux autres, permettra de déterminer les vents (vitesses et orientations) comme le fait le GSM mais à l'échelle du DIMM.

Nous aurons de ce fait besoin de deux prismes pour dévier l'axe optique. De plus, nous devrons être capable de faire des temps d'expositions de 10 ms à 5 ms (voir même 1 ms) selon la vitesse des vents (donc de l'importance des perturbations). Le nombre d'images devra atteindre 10 (essentiellement pour la mesure du Seeing) à 100 par secondes (surtout si l'on veut trouver la vitesse et la direction des vents).

6.2 Schéma d'implantation

Les divers éléments utiles afin de réaliser un DIMM sont les suivants :

- Le Télescope
- Le Masque
- La Caméra
- L'Ordinateur muni de divers algorithmes

Ceux-ci sont représentés dans la figure suivante avec les différentes tâches propres à chacun :

Matlab / routines en C Commande de l'interface Calcul en temps réel		(70)	interfacage depuis Matlab
Affichage des datas	Ordinateur	Telescope	divers câbles de liaisons
Sauvegarde des datas			
		DIMM	
			Fonction Focus
2 voir 3 sous ouverture	<u>s</u>		Fonction Dark frame / Dark sky
30" d'arc Wedg	e Masque	Caméra	Fonction Threshold
			Fonction tracking

Figure 19 – Les différents éléments régissant du DIMM





7 Le télescope

Le télescope est l'un des éléments primordial dans l'application DIMM. Sa tâche est de focaliser les rayons provenant des étoiles sur le CCD. Lors du travail de semestre, nous avons opté pour un appareil de 12" de fabrication Meade. Son système de collimation est basé sur le principe Schmidt-Cassegrain.



Figure 20 - FLIP - MIRROR SYSTEM

Nous avons également ajouter un système « flip – mirror » au foyer du télescope afin d'envoyer les rayons soit dans l'oculaire pour une observation lors du centrage de l'étoile par exemple, soit sur le CCD de la caméra pour les mesures. La vis située à droite du flip permet d'effectuer une mise au point correcte pour les deux éléments. Il suffit alors de tourner le poulet moleté se trouvant sur l'axe du miroir afin de déplacer le foyer.

7.1 Déploiement

Comme nous le verrons au chapitre 7.5, il est possible d'effectuer toutes les commandes utiles du télescope à l'aide de l'ordinateur afin de simplifier au maximum les opérations lors de la mise en place pour la mesure.

Cependant il est également possible de piloter et d'employer le télescope directement depuis la console (ou pad) de commande. Pour ce faire, il faut :

Installer le « tripod » sur une surface la plus rigide possible. En effet, si le télescope est aligné correctement et que le pied se déplace même légèrement, il faudra recommencer l'alignement. Pour écarter les pieds, il est conseillé de les écarter l'un après l'autre d'une petite distance à plusieurs reprises jusqu'à ce que les bras soient tenus. Si la surface n'est pas parfaitement horizontale, on peut effectuer un premier réglage de l'horizontalité du support en faisant varier la longueur des divers pieds. Celle-ci peut être relativement grossière et sera corrigé une fois le télescope fixé sur son support.

On peut ensuite sortir délicatement le télescope de sa mousse de protection afin de le déposer sur le « tripod ». Il faut être particulièrement attentif lors de la sortie du carton car les axes de rotations ont été débrayé afin d'éviter de « forcer » sur les moteurs pendant le transport. La meilleure solution envisageable est de se mettre à 2 personnes, en ayant une main sur les poignées et une seconde main disponible afin de soutenir le tube.

Il faut ensuite le déposer sur le « tripod ». Une des deux personnes peut serrer la vis de fixation pendant que la seconde assure le maintient du télescope sur le pied. Afin de garantir qu'il n'y ait pas d'emmêlement des câbles de liaison, il faut impérativement que le panneau d'alimentation soit orienté **face au nord**. On peut employer une boussole afin de s'orienter ou tout simplement se référer à l'étoile polaire.





Avant d'effectuer le câblage, il faut mettre à niveau l'assiette du télescope. Ceci s'effectue en modifiant la longueur des pieds. La bulle doit se trouver dans le cercle central. Ne pas prendre cette opération à la légère, sinon le suivi d'étoile ainsi que l'opération GOTO sera imprécise.

A ce stade de l'installation, on peut effectuer le câblage du télescope : alimentation 230VAC, pad, moteur vertical, moteur de mise au point de la focalisation ainsi que la connexion RS-232 avec l'ordinateur (si l'on désirer le piloter par ce dernier).

Il ne faut pas mettre le télescope sur ON à ce stade de l'installation car cela pourrait engendrer une mauvaise prise en compte du zéro sur le codeur du moteur vertical.

Orienter ensuite manuellement le tube plein SUD avec une élévation de 90 degrés (le tube doit être horizontal).

On peut maintenant enclencher le télescope à l'aide de l'interrupteur se trouvant sur le panneau d'alimentation. Pendant environ une dizaine de seconde, le télescope va effectuer un léger mouvement sur chaque axe afin de garantir la calibration des codeurs. Si l'on effectue cette opération lorsque le tube est à la verticale, les butées électriques seront mal implémentées et il pourrait y avoir un risque que le tube touche la fourche lors d'un déplacement par exemple.

La figure ci-dessous représente la marche à suivre lors du déploiement du télescope.







7.2 Entrée des informations de base (sans l'interface DIMM)

Dans ce chapitre nous aborderons comment entrer les informations de bases (site, date, heure et mode de suivi) à l'aide du pad.

Pour ce faire, il faut appuyer sur ENTER puis sélectionner le sous menu : SITE. La mémoire du LX200 peut contenir 4 sites, avec une abréviation de 3 lettres. (Par exemple : YVE, pour Yverdon). En conservant l'appui sur la touche ENTER, on peut entrer le nom du site puis une seconde pression sur ENTER permet de choisir la latitude/longitude de l'emplacement. Confirmer ensuite le choix avec une pression sur ENTER.

En pressant deux fois sur la touche MODE, on peut entrer l'heure locale de la même manière que la position. On confirmera l'heure à l'aide de la touche ENTER. On entrera ensuite le fuseau horaire. En Suisse, on se trouve dans le méridien GMT + 1 ! En appuyant une dernière fois sur ENTER, on saisira la date actuelle de la même façon que l'heure.

7.3 Sélection de l'étoile de référence

Afin de compléter la calibration du télescope (calibrage des codeurs pour l'azimut et l'élévation), il faut centrer dans l'oculaire ou sur la caméra une des 33 étoiles de référence et ensuite confirmer.

On va donc opérer de la manière suivante : sélectionner TELESCOPE/SITE/ALIGN/ALTAZ à l'aide des flèches et de la touche ENTER.

On obtient ensuite le menu suivant :

1 Star or 2 Star Alignment

L'option numéro 1 permet d'effectuer un alignement à l'aide d'une seule étoile de référence, et réciproquement l'option 2 à l'aide d'une seconde étoile de référence. La seconde méthode possède deux avantages : Meilleure précision lors du tracking et le fait que le télescope connaît la position d'une étoile de référence par rapport à une autre. Il peut ainsi vérifier que le seconde choix est correcte par rapport au premier. On préconisera donc d'employer la seconde option.

Il faut ensuite appuyer deux fois sur la touche ENTER, puis on sélectionne le nom de l'étoile de référence que l'on désire employer pour aligner le télescope. A ce stade, on peut appuyer sur les touches : N/S/E/W et également s'aider de plus petites vitesses Find/Guide, afin de centrer de manière plus précise l'étoile dans l'oculaire. Etant donné que le champ de vision du CCD est beaucoup plus faible que celui de l'oculaire, il faut commencer par aligner l'étoile au centre de l'oculaire, puis centrer cette même étoile sur le CCD. On confirmera le choix de l'étoile par la touche ENTER.

7.4 Emploi de la fonction GOTO

Le télescope Meade LX200 dispose d'une fonction GOTO. Celle-ci s'emploie afin d'effectuer un déplacement sur une nouvelle cible. Une fois le déplacement effectué, le tracking (suivi d'étoile) est relancé. On rappellera cependant qu'avant de pouvoir employer cette fonction il faut impérativement aligner correctement le télescope comme décrit dans le chapitre précédent.

Afin de lancer un GOTO sur une étoile ou un objet contenu dans la mémoire du LX200, il faut le chercher dans les listes (à partir de la page 36 du mode d'emploi, disponible en annexe) et également savoir dans quelle catégorie cet objet se trouve (Messier, Star et





CNGC). Il faut tout d'abord sélectionner la catégorie à l'aide des touches 9/8/3 et ensuite sélectionner le numéro. En cliquant sur ENTER, on affiche sur l'écran les diverses infos de l'objet (nom, magnitude). Puis en cliquant sur GOTO on lance le tracking sur l'objet voulu.

7.5 Interfaçage RS-232 depuis Matlab

Toutes les opérations que nous avons effectuées sur la raquette de commande (choix de la date, du lieu, de l'heure) peuvent s'effectuer à l'aide d'une interface sérielle RS-232. Le constructeur du télescope propose une liste non négligeable de commandes que l'on peut envoyer au LX200, il suffit juste de disposer d'un câble de liaison.

On pourra de ce fait à l'aide de n'importe quel programme supportant l'envoi et la réception de caractères sur le port série (dans notre cas : Matlab) commander le télescope.

7.5.1 Câble de liaison

Un câble de liaison est nécessaire afin d'assurer le dialogue entre le télescope et l'ordinateur. On peut soit en acquérir un ou construire son propre câble. Les normes américaines n'étant pas identiques aux normes européennes, il a fallut effectuer un grand nombre d'essais avant de disposer d'un câble qui fonctionne parfaitement en émission ainsi qu'un réception. Si l'ordinateur ne dispose pas de port série, il est possible d'ajouter une interface USB créant un port série virtuelle. Selon le driver, il est possible de choisir directement à quel « COM » il sera attribué dans le gestionnaire de périphériques de windows.

La numérotation ainsi que le « pinning » est la suivante :



Figure 22 - Câble de liaison RS-232 avec « pinning »

7.5.2 Paramètres de communication

Si l'on désire employer notre propre programme afin de commander le télescope, il faut s'assurer que les paramètres de communication soient bien ceux que le télescope attend. Dans un premier temps, on peut employer l'HyperTerminal de Windows afin de vérifier la bonne configuration de ceux-ci ainsi que du câble de communication.





Propriétés de COH3 2 X Paramètres du pot
Big par seconde : 9600
Bts de gonnées : 8.
Parté : Aucun 💌
Bts d'arrêt : 1
Contrôle de flux : Aucun
Pagamètres par défaut
OK Annuler Appliquer

Vitesse de transfert :	9600 bps
Bits de données :	8
Parité :	Aucune
Bit d'arrêt :	1
Contrôle de flux :	Pas de contrôle de flux

Figure 23 – Paramètres employés lors de la communication série

7.5.3 Commande

Toutes les commandes disponibles se trouvent à partir de la page 55 du « datasheet » du télescope. Parmi elles, on trouve des commandes d'ordre général (p. ex : envoi de la date et de l'heure), des fonctions assurant le mouvement du télescope (p. ex : déplacement dans la direction du nord) ainsi que diverses commandes assurant la gestion des objets se trouvant dans la librairie du LX200 (p. ex : sélection d'une étoile pour la fonction GOTO).

On remarquera cependant que certaines commandes renvoient une valeur alors que d'autres n'ont aucun paramètre de sortie. Il faudra alors, dans certain cas, ajouter une certaine attente dans le programme afin d'assurer que la tâche a bien été effectuée.

7.5.4 Remarques sur la communication série avec Matlab

Avant de pouvoir effectuer une communication sur le port série à l'aide de Matlab, il faut tout d'abord créer un objet intitulé : *Serial Port Object*. Celui-ci se déclare par la syntaxe suivante :

avec S1 l'objet et 'COM3' le nom du port que l'on désire ouvrir. Les paramètres par défaut de Matlab étant ceux qu'il faut employer pour le LX200, il n'est alors pas nécessaire d'effectuer un changement de ceux-ci.

Deux syntaxes seront employées : la première sert à envoyer une chaîne de caractère sur le port. La seconde est employée afin de vider le « buffer » d'entrée du port série, et d'insérer les caractères dans une variable Matlab.

La commande : fprintf(s1,':GL#') va envoyer au télescope la chaîne de caractères « :GL# ». Respectivement, la commande « fscanf(s1) » retourne la chaîne de caractères se trouvant sur le « buffer » d'entrée.

Dal Magro Léonard



En multipliant l'envoi de commande et la réception d'informations, on peut effectuer un programme afin de commander les principales fonctions du télescope.

On relèvera juste qu'il est conseillé, lors de la première communication et après l'ouverture du port, de vider le « buffer » d'entrée. Ceci s'effectue juste en employant la commande : « fscanf(s1) ». En effet, il pourrait rester des informations non voulues dans le « buffer » et de ce fait, fournir une valeur erronée à Matlab.



8 Masque muni de sous ouvertures

Travail de diplôme 05

8.1 Etude du masque

Comme nous l'avons vu lors du travail de semestre, nous devons disposer d'un masque muni de sous ouvertures, ceci dans le but d'obtenir deux voire plusieurs images de l'étoile au niveau du CCD. Le masque a été directement prévu afin de disposer de trois sous ouvertures. En effet par la suite, le projet peut être optimisé de manière à effectuer la mesure des vecteurs de vent. Et, comme nous l'avons déterminé lors du travail de semestre, il faut disposer de trois centroïdes pour effectuer cette mesure. Les diverses caractéristiques de celui-ci doivent être les suivantes :

- Montage et démontage sur le télescope le plus rapidement et le plus facilement possible.
- Le plus léger possible afin de ne pas déséquilibrer le télescope lors de la mise en place de celui-ci.
- Il faut garantir une obscuration totale hormis les sous ouvertures
- La possibilité de choisir facilement quelle sous ouverture pourra être masquée (cela serait un avantage principalement pour la mise au point du télescope).

Afin de fixer les prismes sur le masque, nous avons choisi d'employer des supports de lentilles disponibles au laboratoire d'optique. Il était d'ailleurs à notre disposition pour les premiers tests.

Après avoir reçu les nouveaux prismes, le masque a été légèrement modifié afin d'y fixer des prismes d'un diamètre de 75mm au lieu de 60mm comme prévu. Deux bagues ont été réalisées pour assurer la fixation d'un plus gros prisme et également de maintenir le diamètre de sous pupille à 60mm.

La fixation du masque sur le télescope est réalisée par trois vis que l'on peut facilement serrer à la main.

Les plans du masque se trouvent d'ailleurs en annexe de ce travail de diplôme.

8.2 Caractérisation des prismes

Après avoir reçu les prismes ayant un angle théorique de 30 secondes d'arc, nous avons trouvé qu'il serait intéressant de pouvoir vérifier cette valeur. Pour ce faire, nous avons imaginé deux méthodes : une très simple et peu précise et une seconde plus compliquée (ayant recours à plus de matériel) mais plus précise.

La première méthode consiste à mesurer la déviation d'un faisceau laser produit par un pointeur (style pointeur laser à main de présentation). Pour ce faire, nous avons fixé fortement le pointeur « enclenché » sur une table à l'une des extrémités du couloir de l'école. Une seconde personne se trouvait à l'opposé du couloir (à 70m) et observait la position de la tache produite par la source laser sur un écran. On a pu donc estimer facilement le déplacement de la tache lorsque l'autre personne ajoutait le prisme à la sortie de la source (voir § 13). A l'aide des valeurs suivantes, on peut obtenir une bonne estimation de la variation de distance sur l'écran entre le cas « sans prisme » et « avec prisme ». Nous avons besoin :





- Longueur du couloir
- l'angle entre les deux faces du prisme « α »
- Indice de réfraction du verre en fonction de la longueur d'onde du laser

La formule suivante donne la variation de distance sur l'écran :

deviation _mur = $tan(arcsin(sin(\alpha) \cdot indice verre - \alpha) \cdot longueur couloir)$

Si l'on possède un prisme ayant un angle alpha de 30'' d'arc, un couloir d'une longueur de 70m et un verre type fused silica d'indice = 1.458 à 633nm, on obtient la déviation suivante :

 $deviation_mur = \tan(\arcsin(\sin(30'') \cdot 1.458 - 30'') \cdot 70)$ $deviation_mur = 4.66mm$

La seconde méthode plus précise fait recours au télescope, au masque, à une source laser muni d'une fibre optique de faible diamètre ainsi qu'à la caméra CCD. Nous allons tout d'abord placer le laser muni de sa fibre optique à l'une des extrémités du couloir (l'extrémité de la source étant dirigée sur la pupille du télescope). On va ensuite effectuer la mise au point du télescope au niveau du point lumineux produit par la fibre. Cette mise au point sera effectuée sur le CCD et non pas dans l'oculaire. Le CCD servira d'appareil de mesure. Ceci étant fait, on peut ajouter le masque sur la pupille du télescope. Seul une des sous ouvertures doit être ouverte, les autres restant masquées.

La mesure va alors s'effectuer de la manière suivante : on va tout d'abord prendre une image à l'aide de la caméra. Puis, dans un second temps, on viendra présenter le prisme à mesurer juste devant la sous ouverture non cachée pour ensuite prendre un second cliché. Il faut impérativement ne pas toucher le télescope et également vérifier qu'il se trouve en mode « Land » (pas de tracking) pendant le laps de temps séparant les deux prises de vues. La mesure étant faite, on peut effectuer les calculs afin de déterminer la distance séparant les deux centroïdes sur le CCD.

Les valeurs suivantes sont nécessaires :

- Variation en « x » ainsi qu'en « y » de la position du barycentre au niveau du CCD
- L'angle entre les deux faces du prisme « α »
- Indice de réfraction du verre en fonction de la longueur d'onde du laser
- Longueur focale du télescope

La formule suivante donne la variation de distance sur le CCD :

*deviation*_*CCD* = $tan(arcsin(sin(\alpha) \cdot indice_verre - \alpha) \cdot longueur_focale)$

L'application numérique pour une longueur focale de 3.048m donne :

 $deviation_CCD = tan(arcsin(30'') \cdot 1.458 - 30'') \cdot 3.048)$ $deviation_CCD = 0.203mm = 203\mu m$



Hes.so





9.1 Routine en C

9.1.1 Fichiers mex

Les fichiers mex sont des routines externes à Matlab produites à partir du code C. Après compilation, leur fonctionnement est identique au fichier de type *.m, mise à part que l'extension pour ce type de fichier est *.dll.

Ils permettent de lier Matlab avec diverses commandes basées sur du C ou d'exécuter un algorithme écrit un C par Matlab (sans avoir besoin de le récrire).

Ce type de fichier mex est séparé en deux parties distinctes :

- La première partie contient la routine informatique contenant tout le code C que l'on veut implémenter à l'aide de cette fonction mex.
- La seconde partie est composée d'une routine passerelle, faisant l'interface entre le code C et Matlab, ceci afin de stocker et de transférer les diverses variables entre Matlab et le code C.

Une routine passerelle commence toujours par le schéma suivant :

Void mexFunction(int nlhs, mxArray *plhs[], Int nrhs, const mxArray *prhs[])

- nlhs : nombre de paramètres de sortie (type int)
- plhs : paramètre(s) de sortie(s)
- nrhs : nombre de paramètres d'entrée (type int)
- prhs : paramètre(s) d'entrée(s)



Figure 24 – Cycle d'un fichier mex





Les variables d'entrées et de sorties peuvent prendre divers formats : int, double, float, matrice et structure. Le mode d'emploi (en annexe) réalisé par S. Tanniger résume très bien l'emploi de ces diverses fonctions.

9.1.2 Compilation de fichiers mex

La compilation des fichiers mex s'effectue depuis matlab à l'aide de la commande mex. Il faut cependant qu'un compilateur C soir installé sur la machine. Après de nombreux tests, on affirmera que matlab 7.0 n'est pas compatible avec Borland C++. Par contre, la compilation fonctionne avec Microsoft visual C++. La raison de cette non compatibilité n'a pas été expliquée.

Si la fonction C a recours à des librairies C, il faut impérativement que celles-ci se trouvent dans le même répertoire que le fichier *.mex. La déclaration employée, afin de lancer la compilation et effectuer le lien avec la librairie, est la suivante :

mex fichier_mex.c librairie.lib

Dans le cas de la caméra S-Big, il faudra ajouter dans le répertoire, où se trouve le fichier *.mex, la librairie « SBIGUDrv.lib » ainsi que le fichier d'entête « Sbigudrv.h ». Comme dans toute programmation C, il faudra également ajouter dans la déclaration des entêtes sla commande suivante :

include "Sbigudrv.h"

9.2 S-Big ST-402

Lors du travail de semestre, nous avons opté pour une caméra S-Big type ST-402ME. Par rapport à la Lumenera, cette caméra astronomique offre les avantages suivants :

- Très bonne efficacité quantique (85%)
- Peu de bruit de lecture $(17e^- à 0^\circ C)$

On rappellera qu'une meilleure efficacité quantique nous permet d'obtenir un rapport signal sur bruit pour une étoile de magnitude identique meilleur. Ceci nous permet de réduire les temps de pause afin de mieux figer la position des centroïdes et également d'effectuer une observation sur une étoile de plus forte magnitude (plus faible intensité).

La difficulté réside au niveau de la commande de la caméra. En effet, S-Big propose divers programmes orientés « photographie longue pause » avec divers options tels que la prise en compte du dark et mise en place de filtre (afin de réaliser de la trichromie par exemple).

Dans un premier temps, nous avons réalisé des drivers relativement simples tel que :

- Ouverture du port de la caméra sur le port USB
- Commande du « shutter »
- Lancement de l'exposition
- Etc...




Ceci a été réalisé dans le but de bien comprendre le fonctionnement de cette caméra. Par la suite, il serait bien de développer un pilote capable de faire des acquisitions le plus rapidement possible (de l'ordre de 5ms) et également de réduire au maximum la vitesse de transfert (en effectuant du fenêtrage par exemple). On relève qu'avec les pilotes de base, la ST-402 ne peut pas effectuer des expositions plus courtes que 40ms, ce qui est beaucoup trop long pour notre application DIMM.

9.2.1 Driver de commande

Si l'on désire développer ses propres fonctions en C afin de piloter la caméra, il faut préalablement prendre connaissance du *.pdf intitulé « Sbig Universal Driver/Library ». Celui-ci comporte tous les explicatifs concernant les commandes C avec les divers paramètres que l'on peut employer pour réaliser et personnaliser ces fonctions.

La syntaxe employée afin d'appeler une commande de la caméra est définie par :

SBIGUnivDrvCommand(fonction_employée, ¶m_entrée, ¶m_sortie)

fonction_employée : nom de la commande que l'on désire appeler. &*param_entrée* : paramètres d'entrée nécessaires à la commande la caméra. Il s'agit de paramètres sous la forme de pointeurs sur une structure. &*param_sortie* : paramètres de sortie également sous la forme de pointeurs sur une structure

Afin de bien comprendre le fonctionnement de ces pilotes, la fonction servant à ouvrir le port USB a été détaillée de la manière suivante :





/*
* SbigCameraOpen.C Open a connection to the camera with USB port \star
* The calling syntax is:
<pre>* [nom de la caméra] = SbigCameraOpen; *</pre>
* This is a MEX-file for MATLAB.
- L. Dat Mageo - Elop - Heavall de diplome Olnov 2005
······································
#include <math.h> 2</math.h>
#include "mex.h"
void mexFunction (int nlhs,
mxArray *plhs[], int nrhs, 3
<pre>const mx&rray *prhs[]) {</pre>
<pre>short err; //variable de vérification d'erreur avec le driver caméra 4 bool portOpen;</pre>
OpenDeviceParams odp; EstablishLinRResults elr; GetCCDInfoParams gcip; 5 GetCCDInfoResults0 gcir0;
odp.deviceType = DEV_USB; //choix du type de port dans notre cas : USB gcip.request = 0;
portOpen = 0; //variable servant à controler si le port est bien ouvert en fin de routine
<pre>err = SBIGUnivDrvCommand(CC_OPEN_DRIVER, NULL, NULL); // ouverture du driver 6 if (err == CE_NO_ERROR) (</pre>
<pre>err = SBIGUnivDrvCommand(CC_OPEN_DEVICE, sodp, NULL); //ouverture du device 7 if (err == CE_NO_ERROR) </pre>
<pre>err = SBIGUnivDrvCommand(CC_ESTABLISH_LINK, NULL, &elr); if (err == CE_NO_ERROR) {</pre>
SBIGUnivDrvCommand (CC_GET_CCD_INFO, &gcip, &gcir0);
<pre>plhs[0] = mxCreateString(goir0.name);</pre>
<pre>mex#farnHsgTxt("Impossible de faire le liens avec le composant"); }</pre>
else 9
mexwarmusgixt[~\n impossible d.ouvilt is bevice\n concroler in finison osb-); }
else
<pre>(mexwarMagirXt(")himpossible d'ouvrir le priverin controler si pas deja ouvert"); // SBIGUnivDrvCommand(CC_CLOSE_DRIVER, NULL, NULL); // fermeture du driver si pas de lisaison avec la camér)</pre>
, return; 10

Figure 25 – Exemple de code C, fonction d'ouverture du port USB depuis Matlab

Les chiffres 1 à 10 représentent les diverses parties du programme :

1. En-tête du programme

Commentaires comportant la syntaxe à employer dans Matlab lors de l'appel de la sous fonction.

- Appel des diverses *header* nécessaires à la compilation.
 « Sbigudrv.h » comporte les entête nécessaires à la librairie « SBIGUDrv.lib ». Et
 « mex.h » est nécessaire afin de compiler un fichier *.mex depuis Matlab.
- *3. La routine passerelle* Cette routine a été expliquée au chapitre 9.1.1.
- 4. Déclaration de diverses variables employées dans la sous routine la variable « err » est déclarée et sera employée par la suite afin de vérifier qu'il n'y a





pas d'apparitions d'erreurs lors de l'appel de fonctions pour la commande de la caméra.

- 5. Déclaration de structures servant à « passer les paramètres » aux commandes
- 6. Appel de la fonction CC_OPEN_DRIVER Cette commande va ouvrir le driver : on emploie le pointeur NULL comme paramètre d'entrée et de sortie car cette fonction ne requiert ni ne fournit aucune information.
- Appel de la fonction CC_OPEN_DEVICE
 Cette commande recherche sur quel port USB la caméra se trouve puis ouvre le
 device ; on aura préalablement fixé la variable « odp.deviceType » à « DEV_USB ».
 Cela signifie qu'il s'agit d'une caméra USB et non pas une caméra se trouvant sur le
 port parallèle.
- 8. *Appel de la fonction CC_ETABLISH_LINK* Cette fonction établit le lien entre le pilote USB et la caméra.

Appel de la fonction CC_GET_CCD_INFO Une fois le lien établi, cette fonction renvoie le nom de la caméra

On va ensuite assigner la variable de sortie zéro (plhs 0) de la fonction « mex » à « gcir0.name ». De cette façon lorsque la connexion avec la caméra est établie, on obtient le nom de celle-ci dans Matlab.

- 9. Cette partie de programme est activée lorsque la variable « err » est différente de « CE_NO_ERROR ». De cette manière, on peut savoir depuis Matlab sur quelle fonction on n'obtient pas de retour.
- 10. Commande return

Commande servant à terminer la sous routine mex et redonne la main à Matlab.

Les autres fonctions telles que « SbigCameraClose », « SbigCameraStartExposure », etc... sont rédigées de la même manière.

9.2.2 Utilisation du mode TDI

Comme nous l'avons vu précédemment, la durée minimale de l'exposition du capteur est de 40ms. Ce temps est bien trop long pour notre application DIMM. Alan Holmes de la société S-Big nous propose de faire du TDI (Time Delay Integration). Cette méthode également appelée drift-scan (ou par balayage en français) consiste à lire la matrice du CCD en continu, en réglant avec précision la vitesse d'acquisition de chaque ligne.

Cela signifie que lorsque la caméra se trouve en mode TDI, elle envoie en permanence sur le port USB la valeur du registre horizontal de sortie du CCD puis décale la ligne et ainsi de suite. A l'aide de divers paramètres, on peut faire varier la vitesse de décalage.

Dans le cadre de l'imagerie astronomique, ce mode d'acquisition d'images consiste à déplacer l'image optique sur le capteur en synchronisme avec le transfert de trame du CCD. On peut donc effectuer des prises de vue ayant pour largeur celle du CCD et une longueur infinie. Si





l'on disposait d'un télescope fixe et que l'on synchronisait la vitesse à laquelle on vide le registre horizontal du CCD, on pourrait alors disposer d'une image ayant la forme d'une longue bande.

Le schéma suivant explique dans les détails comment fonctionne le mode TDI



Figure 26 – Lecture du CCD en mode TDI (Time Delay Integration)

Sur la figure A, on observe la matrice du CCD avec en 3 (en rouge sur la figure ci-dessus) la scène mobile que l'on désire numériser. Sur les figures B à D, on peut voir l'information dans chaque pixel qui « grandit » lorsque le temps avance. Cela signifie que les charges accumulées dans chaque pixel se décalent en même temps que l'on décale l'image sur le CCD. Une fois les charges accumulées (qui se trouvent dans le registre horizontal fig. E), on peut numériser l'information. Le cycle peut ainsi recommencer.

La possibilité s'offrant à nous (afin de réduire le temps d'exposition), consiste à employer cette méthode pour le DIMM sous réserve de quelques modifications. En effet si l'on fait varier la vitesse de lecture du CCD d'un ordre de grandeur d'environ 100fois (10ms et 0.1ms par ligne), on obtiendra le même effet que l'emploi d'un « shutter » mécanique. Si l'on vide une ligne en 10ms, cela correspond à une exposition de 10ms au niveau du CCD. Si dans un deuxième temps, on laissait le shutter ouvert (afin de gagner du temps pour cette fois-ci vider les 100 lignes comportant les centroïdes à la cadence de 0.1ms par ligne), on obtiendrait donc un léger filer en dessous des centroïdes (possibilité de le supprimer par l'algorithme). Par contre, on pourrait lire bien plus rapidement le CCD.

Alan Holmes nous a fait parvenir un exemple de pilote écrit en VisualBasic permettant d'effectuer du TDI sur une caméra ST-402. Après une semaine et demie de divers essais non concluants, de rédaction de pilotes en C ainsi qu'en VisualBasic, nous avons décidé de mettre de côté la caméra S-Big afin de concentrer tous nos efforts sur la Lumenera (ceci en étant conscient qu'il ne s'agit pas d'une caméra astronomique et que son efficacité quantique n'atteint pas les mêmes performances que la S-Big). On sera alors obligé d'effectuer des mesures sur des étoiles de plus faible magnitude.







9.3 Lumenera

9.3.1 Drivers particuliers

La plupart des drivers utilisés (de la Lumenera) ont été réalisés par Sébastien Tanniger. Cependant aucun driver n'était rédigé afin de spécifier à la caméra les divers paramètres à utiliser lors de l'emploi du mode vidéo. Lors de l'utilisation de la commande *lucamTakeVideo* les divers paramètres (comme le nombre d'images par seconde ainsi que la taille de la sous fenêtre) étaient fixés par défaut, respectivement 60fps et 640x480.

La fonction *lucamSetVideoFormat* a été réalisée afin d'envoyer la structure (à la caméra) comportant les paramètres de fenêtrage ainsi que le nombre d'images par seconde que l'on désire. Il s'agit en effet de la même structure employée lorsque l'on désire effectuer une prise de vue en mode *lucamTakeSnapshot*. De cette manière, on peut passer en mode vidéo ou en mode une seule image sans avoir besoin de changer de structure.

9.3.2 Vérification des vitesses de lecture de la caméra

Lors de emploi de la fonction « lucamTakeVideo(handle,numFrames)», il faut spécifier à la commande le handle ainsi que le nombre d'images que l'on désire acquérir. Lorsque la commande est lancée, Matlab est aveugle. Cela signifie que l'on ne peut pas effectuer du calcul pendant la durée d'acquisition. On remarquera qu'avec la configuration de nos PCs actuels, cette commande fonctionne parfaitement bien jusqu'à occurrence de 100 images par acquisition. Si l'on passe à 150 images, une parties des images sont remplacées par des matrices nulles. Ce problème persiste quelque soit la vitesse d'acquisition (60fps ou 100fps) ainsi que la taille du fenêtrage. On constate également le même problème si l'on fait l'acquisition d'une fenêtre beaucoup plus petite (64x48 pixels).

Il est fort probable qu'il s'agisse d'un problème lié à la mémoire de l'ordinateur. En effet la même acquisition de 150 images a été réalisée sur un portable ayant 1Go de RAM ainsi que sur un second portable n'ayant que 768Mo de RAM. On a remarqué un nombre plus élevé d'images perdues sur le PC disposant que de 768Mo. Nous n'avons pas chercher à inverser la RAM des deux ordinateurs afin d'affirmer cette constatation. Afin de palier à ce problème, on a fixé une restriction à 100 images par acquisition. De cette manière le programme fonctionne parfaitement bien sur les deux ordinateurs portables et cela, sans pertes d'images.

9.3.3 Pixels Chauds/Froids

Lorsque l'on utilise la caméra en 8bits, l'influence des pixels chauds ou froids se cache dans le niveau de bruit. Cependant lorsque l'on passe en mode échantillonnage à 16 bits, l'influence des pixels chauds ou froids est bien plus importante. Il faudrait alors déterminer un masque afin de les supprimer et forcer les valeurs de ces pixels à 0. Cependant un gros problème réside : étant donné que nos centroïdes sont de très faibles diamètres, le fait de forcer certains pixels à 0 peut engendrer une grande variation de la position de ceux-ci.

On choisira alors de rester en mode 8 bits pour la détection de centroïdes, ceci afin d'obtenir la meilleure précision possible pour la détection de position.

9.3.4 Taille des pixels de la caméra

Comme nous le verrons plus tard, il est impératif de connaître précisément la taille des pixels lors de la mesure de la variance. En effet, l'échantillonnage d'une portion de ciel en seconde d'arc dépend de la distance focale ainsi que la taille d'un pixel. Pour ce faire, on peut se





référencer au « datasheet » du CCD de la Lumenera (Sony ICX424AL). On peut y lire que la taille d'un pixel est de 7.4µm et qu'il s'agit de pixel carré.

Cependant, à la page 2 de ce même « datasheet », on peut observer la figure suivante :



Figure 27 – Diagramme bloc avec connexion des pins CCD Sony implantés dans la Lumenera

On observe donc l'apparition de registres verticaux et horizontaux afin d'assurer la lecture complète du CCD. Pour que nos mesures soient validées, il faut s'assurer que les pixels sont carrés et également qu'il n'y ait pas d'apparition d'interstices entre les pixels (zone ignorée lors de la lecture comme on pourrait le croire en observant la figure précédente).

Pour ce faire, on a choisit de réaliser une mesures afin de caractériser les pixels de la caméra. Le matériel suivant a été nécessaire :

- Une source ponctuel, LED laser (633nm) muni d'une fibre optique ayant un diamètre de sortie de 4µm. Celle-ci doit être placée à une distance relativement grande. On peut de ce fait considérer que les rayons arrivent parallèles sur l'objectif de la caméra.
- La Lumenera muni du CCD Sony à caractériser, ainsi que son objectif de distance focale valant 16mm.
- L'ordinateur afin de faire les acquisitions.

Dans un premier temps, il a fallu fixer la source sur un banc d'optique afin de faire un déplacement transversal d'une distance fixée sans modifier l'angle de sortie ainsi que la distance longitudinale. De l'autre coté du laboratoire a été fixé la Lumenera à la même hauteur que l'extrémité de la fibre optique. La distance « caméra » - « extrémité de la fibre » optique, vaut : $9.57m \pm 0.03$.

On peut donc représenter notre montage par le schéma suivant :







Figure 28 – Schéma de mesure utilisé pour la caractérisation du CCD Sony

La distance X est déterminée à l'aide de la règle des triangles semblables.

A savoir :
$$\frac{Y}{D} = \frac{X}{f'} \Longrightarrow X = \frac{Y \cdot f'}{D}$$

La distance focale de l'objectif étant fixée à 16mm \pm 1mm, ainsi que la distance D à 9.57m \pm 0.03. Il nous reste donc la possibilité de modifier la distance Y.



Figure 29 – Image du centroïde sur le CCD provenant de la source laser 633nm

Dans un premier temps, nous avons fixé Y à 0.2m \pm 0.5mm. On obtient alors les valeurs suivantes :

	0m	0.2m	pix
Position du barycentre "Horizontale" [pixel]	83	37	46
Position du barycentre "Verticale" [pixel]	82	36	46





En observant le tableau ci-dessus, on peut directement affirmer que nous sommes en présence de pixels carrés (comme spécifié dans le « datasheet »).

La distance X, au niveau du CCD correspondant au déplacement Y de 0.2 vaut :

$$X = \frac{Y \cdot f'}{D} = \frac{0.2 \cdot 16 \cdot 10^{-3}}{9.57} = 0.334 \cdot 10^{-3} m = 0.334 mm$$

On peut donc en ressortir la taille d'un pixel :

$$TaillePixel = \frac{X}{\Delta pix} = \frac{0.334 \cdot 10^{-3}}{46} = 7.26 \cdot 10^{-6} m = 7.26 \mu m$$

Afin de vérifier nos mesures, nous avons augmenté la distance Y jusqu'à obtenir 0.4m ± 0.5 mm, les valeurs obtenues sont les suivantes :

	0m	0.2m	pix
Position du barycentre "Horizontale" [pixel]	162	70	92
Position du barycentre "Verticale" [pixel]	190	98	92

Ce qui donne respectivement les valeurs suivantes :

$$X = \frac{Y \cdot f'}{D} = \frac{0.4 \cdot 16 \cdot 10^{-3}}{9.57} = 0.669 \cdot 10^{-3} m = 0.669 mm$$

TaillePixel = $\frac{X}{\Delta pix} = \frac{0.669 \cdot 10^{-3}}{92} = 7.26 \cdot 10^{-6} m = 7.26 \mu m$

Incertitude sur la mesure :

$$\Delta TaillePixel = \left| \frac{\partial TP}{\partial Y} \cdot \Delta Y \right| \cdot \left| \frac{\partial TP}{\partial f'} \cdot \Delta f' \right| \cdot \left| \frac{\partial TP}{\partial D} \cdot \Delta D \right| \cdot \left| \frac{\partial TP}{\partial Pix} \cdot \Delta Pix \right|$$

$$\Delta Y = 0.5 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta f' = 1 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta D = 0.03$$

$$\Delta Pix = 1$$

Dans le premier cas (Y = 0.2 & $\Delta Pix = 46$) : Incertitude sur la mesure : $0.65 \cdot 10^6 = 0.6 \mu m$

- Dans le second cas (Y = 0.4 & $\Delta Pix = 92$) : Incertitude sur la mesure : $0.56 \cdot 10^6 = 0.5 \mu m$
- On obtient alors la valeur suivante pour la taille des pixels : $TaillePixel = 7.26 \mu m \pm 0.5$

On peut donc affirmer que l'on est bien en présence de **pixels carrés** de taille **valant 7.4µm**. Tout comme spécifié dans le « datasheet ».



9.3.5 Offset de la caméra

Travail de diplôme 05

La Lumenera nous offre la possibilité d'effectuer un fenêtrage du CCD et également de sélectionner un certain offset. Celui-ci se qualifie par un déplacement en X et en Y de la sous fenêtre lors de la prise d'images ou de film.

Un problème est apparu lors de l'emploi de ce déplacement pour la fonction tracking. Celui-ci est qualifié par un xOffset et yOffset en nombre de pixels dont l'origine se trouve en haut à gauche du CCD. Après plusieurs essais, on remarquera que si l'on additionne 1 à la valeur de l' xOffset, on constate effectivement un déplacement de 1 au niveau de la sous fenêtre. Cependant si l'on additionne 1 à yOffset, on observera aucun déplacement de la sous fenêtre. On verra apparaître un déplacement lorsque l'on aura choisit un yOffset de 8 et le déplacement sera de 10 pixels. En fait, on a remarqué que les déplacements se produisaient tous les multiples de 8 pour lesquels il faut en plus rajouter 2.

Après avoir regarder de près nos commandes Matlab, principalement celle effectuant la gestion du fenêtrage, on constate aucun problème de notre part. On a également effectuer divers tests pour diverses valeurs d'offset et l'on peut affirmer qu'il s'agit d'un problème de driver interne à la caméra !

La commande tracking a alors été modifiée afin de contourner le problème lié à cette non linéarité sur le yOffset. C'est d'ailleurs pour cela que la fonction tracking provoque des « sauts » sur l'image lorsqu'elle est activée.





9.4 Etalonnage de la caméra (dark frame et flat field)

Travail de diplôme 05

Comme dans de nombreux cas en technique, la pratique ne correspond pas toujours à la théorie. En effet, tous les pixels d'un capteur CCD n'ont pas le même gain de conversion, et ne possèdent pas la même sensibilité pour une luminance identique. Même une très faible variation de cette sensibilité entre deux pixels se voit nettement sur une image (l'œil humain est très sensible aux variations différentielles).

On rappellera que le dark frame (bruit de noir) varie en fonction de la température du CCD ainsi que la durée d'exposition. Il faut comprendre ce bruit de noir comme un certain nombre d'électrons générés en présence d'aucune lumière. Plus l'exposition est longue, plus il y aura d'électrons générés. Le nombre d'électrons ainsi créés varie en fonctionne de la température. Plus celle-ci est faible, moins il y a d'électrons générés. C'est la raison pour laquelle la plupart des caméras CCD dédiées à l'astronomie sont dotées d'un système de refroidissement. On peut comparer ce bruit de noir à un offset (non identique pour chaque pixel), que l'on peut soustraire à l'image finale afin d'obtenir une image corrigée.

Etant donné que pour notre application DIMM, nous réalisons des poses de très faible durée (de l'ordre de 10ms), le bruit de noir est relativement peu gênant pour le calcul de la position des divers centroïdes.

Comme aucun capteur CCD n'est parfait, un second problème apparaît au niveau de la conversion photons en nombre d'électrons puis un troisième après conversion A/D en nombre de bits. En effet, si l'on éclaire uniformément le CCD (avec la même luminance pour chaque pixel), la valeur en bit de chaque pixel après conversion ne sera pas identique. Il va résider une légère variation entre ceux-ci. Cet écart varie passablement avec le gain de conversion. Tout comme le dark frame, le flat field peut également être corrigé. Il suffit de déterminer la sensibilité de chaque pixel sous une luminance constante. On pourra alors déterminer une matrice de correction comportant un facteur multiplicateur pour chaque pixel.

Un petit programme Matlab a été réalisé de sorte à obtenir facilement la matrice de flat pour différents temps d'exposition et différents gains. Celle-ci pourra alors être employée lors du traitement de données en temps réel ou en post-processing. Il suffira de soustraire la matrice des darks à l'image fournie par la camera et de multiplier cette image corrigée par le dark par la matrice du flat. Nous obtenons ainsi une matrice corrigée du dark et du flat :







Figure 30 – Programme servant à la mesure du dark et du flat field

La marche à suivre afin de déterminer ces deux matrices est la suivante :

Il faut dans un premier temps monter l'ensemble caméra et télescope (sans le masque). Après avoir effectuer le câblage de la camera, on peut lancer le programme et connecter la caméra. On peut ensuite sélectionner un temps d'exposition ainsi qu'un gain de conversion avec lesquels on désire effectuer la mesure. La fenêtre « Moyenne sur » permet de choisir le nombre d'échantillons que l'on désire moyenner pour une mesure. Cette valeur peut varier de 1 à 100.

Dans un premier temps, on va acquérir l'image de dark en masquant complètement la pupille d'entrée du télescope. En faisant bien attention à ne pas modifier les paramètres de la caméra, on peut ensuite orienter le télescope sur une source uniforme. Le plus simple est de se mettre au zénith à l'heure où le soleil se couche, tout en vérifiant qu'il n'y a pas de nuages ! On peut ainsi acquérir l'image de flat field.

Dans un premier temps, on va acquérir le nombre d'échantillons voulus avec les paramètres de la caméra choisis (gain et temps d'exposition) pour la mesure des dark. La moyenne est ensuite calculée et mémorisée.

Dans un seconds temps, après avoir enlevé le masque sur le télescope, on clique sur « Flat Field ». On effectue en fait une seconde acquisition avec les mêmes paramètres. La moyenne sur le nombre d'acquisitions choisi est également calculée. On peut alors soustraire le dark au flat (avec une simple soustraction de matrice). Ceci nous donne une nouvelle matrice : appelée « flatmoinsdark ». On extrait ensuite la moyenne des valeurs sur cette matrice. Cette valeur sera alors notre référence afin de qualifier les autres pixels. Pour terminer, on divise la matrice « flatmoinsdark » par la valeur moyenne de référence. De cette façon, on obtient alors une nouvelle image intitulée « matrice correction ».





Lors de notre campagne à la Jungfrau (§ 16.2) nous avons profité d'un après midi ensoleillé afin d'effectuer quelques mesures sur le ciel bleu. La figure suivante représente la matrice de correction pour différents paramètres.





Dans un premier temps, on remarque diverses lueurs circulaires sur la matrice de correction. On a tout d'abord pensé à une mauvaise focalisation (ce qui ferait apparaître la pupille d'entrée au niveau de l'image). Mais après avoir effectué une rotation de la caméra on remarquera que les diverses taches ne se déplacent pas. Il s'agit en effet de poussières se trouvant sur le CCD ou sur la vitre le protégeant. Nous n'avions malheureusement pas le matériel nécessaire nous permettant d'ouvrir et de nettoyer la caméra sur le site de la Jungfrau pour refaire les mesures.

Sur les trois premières images, si l'on fait abstraction des diverses taches, on remarque que le gain de chaque pixel varie entre 0.99 et 1. Cela signifie qu'il réside une variation de 1% entre les divers pixels. Sur la dernière image, le gain étant relativement élevé (19) comparé au temps d'exposition (0.1ms), on remarque que la variation est supérieure. Le gain varie alors entre 0.92 et 1.02 en faisant abstraction de la grosse tache en haut à droite. Il s'agira alors d'une variation de presque 10%. Ceci serait très mauvais pour de l'imagerie mais de le cas de l'application DIMM nous n'employons PAS un temps d'exposition aussi court, il s'agit juste de tester le CCD dans les pires conditions (temps d'exposition très court et gain très élevé).





10 Algorithmes de traitement d'image

10.1 Centroïde

Nous avons développé deux fonctions qui calculent le centroïde d'une image. Les fonctions à utiliser sont les suivantes :

« [centro_x,centro_y]=centroid(image,resolution,size_x,size_y) »
« [centro_x,centro_y]=centroid2(image_data,resolution,size_x,size_y) »

La première version possède sont point d'origine au centre de l'image et « centro_x et centro_y » sont dans le sens conventionnel de l'axe x et y (c'est-à-dire abscisse et ordonnée). Par contre, pour la deuxième version (que nous utiliserons d'ailleurs dans le programme « DIMM »), l'axe x correspond aux lignes de la matrice et l'axe y aux colonnes, avec le point d'origine dans le coin supérieur gauche de cette dernière.

Nous avons le choix de saisir la résolution (si on ne met rien, la fonction met resolution=1) et de rentrer aussi la taille de la matrice ou non. Si on ne le fait pas, la fonction calcule les dimensions selon la matrice entrée.

10.2 Fit gaussian 2D

Le « fittage » gaussien consiste à minimiser, par exemple, une gaussienne 2D sur la courbure surfacique obtenue à partir de la fft d'une PSF (Point Spread Function qui se traduit comme la réponse impulsionnelle d'un système optique). C'est un moyen simple par exemple d'éliminer du bruit sur la courbe mesurée (dans notre cas, il s'agit d'une surface mesurée) ! La fonction est la suivante :

« [spot_fit,Amax,x0,y0,sx,sy]=gaussian_fit_2D(sx0,sy0,PSF) »

Il faut faire attention que les fonctions suivantes soient visibles pour Matlab (car elles sont utilisées dans cette fonction !) :

- « gauss_func »
- « centroid2 »

La fonction est de la forme suivante :

$$Gaussian(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} e^{-\left[\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2}\right]} \cdot e^{-\left[\frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right]}$$

où plus simplement :

$$Gaussian(x, y) = A_{\max} \cdot e^{-\left[\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2}\right]} \cdot e^{-\left[\frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right]}$$



Figure 32 – Gaussienne 2D





avec $\sigma_x, \sigma_y = \text{écart-type de la position } x$, respectivement y $\mu_x, \mu_y = (x,y)$ du maximum de la surface $A_{\text{max}} = \text{valeur max de la surface}$

L'avantage de « fitter » est que nous pouvons obtenir alors directement la FWHM (Full width at half maximum, qui est appelé aussi la largeur à mi-hauteur) de la surface selon la formule suivante :

$$FWHM_x = 2 \cdot \sqrt{2 \ln(2)} \cdot \sigma_x$$
 et $FWHM_y = 2 \cdot \sqrt{2 \ln(2)} \cdot \sigma_y$

L'unité dépend de celle utilisée selon x et y (cela peut être en [rad], [m], [arcsec], etc).

Cette fonction a été utilisée dans le programme de simulation d'un front d'onde (voir § 11)

10.3 Seuillage (threshold en anglais)

Comme dans le cas de la détermination du centre de gravité, deux types de fonction de seuillage ont été développés :

«[image_seuil]=seuillage(image_data,seuil) »
«[image_seuil_spec]=seuillage_special(image_data,seuil) »

La première consiste à mettre à zéro toutes les valeurs de l'« image_data » qui n'atteigne pas le niveau de seuil. Par contre, les autres valeurs sont laissées telles quelle ! Les deux images qui suivent, décrivent mieux la fonction :



Figure 33 – Image bruitée à gauche et seuillée à droite avec la première fonction

Le niveau de bruit était d'environ 5% du niveau max de l'image. On se rend compte qu'il nous reste seulement nos deux spots et que leur forme (hauteur et largeur) est identique. Par contre, avec la deuxième fonction de seuillage, leur taille n'est plus tout à fait la même :







Figure 34 – Image bruitée au gauche et seuillée à droite avec la deuxième fonction

On voit que la hauteur a diminué (voir aussi par rapport à la Figure 33) et bien sûr la largeur aussi. Cette fonction consiste à soustraire le niveau de seuil à l'ensemble de l'image. Nous aurons le choix lorsque nous emploierons le programme « DIMM » entre l'une ou l'autre de ces fonctions.

Nous allons maintenant démontrer l'avantage que peut offrir le seuillage. Si on ne seuille pas une image relativement bruitée, nous avons tendance, lors du calcul du centroïde, à diminuer le poids des points qui définissent le spot. De ce fait, il se peut que la variation de position de ce dernier soit minimisée et donc nous n'en ressortons pas la bonne valeur. Le bruit peut « noyer » la véritable position du spot sur l'image. Par contre, il faut faire attention de ne pas avoir un niveau de seuil trop important, de façon à ce que l'information résultante ne reflète plus la réalité !

Dans un premier temps, déterminons visuellement la position des centroïdes (voir Figure 35). Au passage, les deux spots sont des spots parfaits (symétriques et de mêmes formes) afin que notre impression visuelle pour la détermination des centroïde soit le reflet de la réalité. En effet, il serait difficile à l'œil de considérer en plus le poids de chaque pixel pour déterminer la position de ces derniers.

Les unités de l'abscisse et de l'ordonnée sont données en terme de nombre de largeurs de pixels.







Figure 35 – Image de 2 spots bruités dont on détermine le centroïde

Les résultats pour le calcul du centroïde selon les fonctions de correction de l'image sont répertoriés dans le tableau suivant :

Coordonnée	spot gauche x	spot gauche y	spot droite x	spot droite y
à l'oeil	23	15	23	48
image bruitée	23.69	15.59	23.65	48.01
image seuillée	22.98	14.96	22.94	48.09
image avec	22.99	14.98	22.97	48.01
seuillage spécial				

Nous pouvons voir que si l'on veut déterminer le centroïde d'image image bruitée, il est préférable de la seuiller avant ! Avec la fonction de « seuillage_special », nous sommes très proche de la position que l'on peut déterminer à l'œil.

Lors de nos mesures, nous avons parfois renoncé à faire du seuillage car le bruit de fond de ciel et le bruit de noir résiduel (après avoir soustrait ces derniers) étaient négligeables (voir campagne de test à St-Luc). En fait, lorsque le gain de la caméra est faible (étoile suffisamment puissante), il y a très peu de bruit et donc le rapport signal/bruit est très élevé.





10.4 FWHM

Cette fonction mesure la largeur à mi-hauteur d'une courbe (donc la FWHM) :

«value FWHM=FWHM(spot x,spot y)»

On entre les valeurs de la courbe en x et en y (spot_x et spot_y) et la fonction nous renvoie le FWHM. Cette fonction a été utilisée pour l'assistant de focalisation du télescope dans le programme « DIMM » :



Figure 36 – Fenêtre pour la focalisation du programme « DIMM »

Nous n'avons pas utilisé la fonction « gaussian_fit_2D » mentionnée précédemment car cela prenait un temps de calcul plus important de faire cela plutôt que d'utiliser simplement la fonction « FWHM ». De plus, il se peut que dans notre cas, nous n'ayons pas forcément un seul spot. La fonction « gaussian_fit_2D » ne fonctionne que si nous avons un seul spot. Gérer ce problème aurait demandé un temps de calcul trop important et de ce fait, nous avons renoncé à utiliser cette dernière au profit de la fonction « FWHM ».

10.5 Dark field / dark sky

Cette fonction soustrait le bruit de noir et de fond de ciel à l'image qui nous sert à la mesure du Seeing. Elle est de la forme suivante :

« [true_frame]=corr_image(light_frame,dark_frame,windowing_x,windowing_y)»





« light_frame » est l'image non corrigé mais elle peut être fenêtrée. Par contre, « dark_frame » est l'image correspondant à l'image de noir et de fond de ciel. Cette dernière est prise en taille maximum (donc non fenêtrée, 640x480 pour la lumenera) et c'est pour cela que nous devons indiquée la coordonnée du fenêtrage sur le CCD par windowing_x et windowing_y. Nous devons soustraire à « light_frame » une fenêtre de même taille correspond au bon endroit sur le CCD.

Cette fonction n'a finalement pas été utilisée tel quel en raison des problèmes liés à la caméra, étant donné que la position du fenêtrage ne fonctionne pas tout à fait correctement (voir § 9.3.5). Par contre, le principe a été repris et quelques petites modifications ont été apportées pour palier au problème du fenêtrage.

10.6 Calcul du Seeing

Travail de diplôme 05

Deux versions pour le calcul du Seeing ont été développées. La deuxième est la version améliorée de la première:

« [Seeing,r0_trans,r0_longi,r0]=alg_Seeing(image_data,struct_telescope) »
« [Seeing,r0_trans,r0_longi,r0]=alg_Seeing2(image_data,struct_telescope) »

Les deux versions ont la mission de donner le Seeing, le diamètre de Fried longitudinal, transversal et moyen.

Il faut tout d'abord expliquer le contexte de mesure : les images acquises (« image_data ») possèdent deux spots (qui sont le résultat des 2 sous ouvertures) et on doit donc déterminer le centroïde de chacun des deux spots. Ensuite, l'algorithme pour la mesure du Seeing peut être appliqué.

La première version supposait que chacun des centroïdes se trouvaient, pour l'un dans la partie supérieure et pour l'autre dans la partie inférieure. Or, lors des mesures sur le toit de l'école (nuit du 17 au 18 novembre 2005), nous nous sommes rendu compte que les spots pouvaient facilement se déplacer. L'un des deux spots s'est même rapproché du centre de l'image au point où une partie se retrouvait sur la partie supérieure :







Figure 37 – Problème de la fonction « alg_Seeing »

Lors du calcul de la position du centroïde pour l'image supérieure, celui-ci aurait été influencé par la traînée laissée par le spot inférieur. Nous aurions eu donc une erreur au niveau de la position du centroïde supérieur et inférieur, une erreur répercutée sur le calcul du Seeing.

La deuxième version quant à elle cherche la position du point de valeur maximum, puis supprime cette valeur et celles au alentour de celle-ci. Une fois cela effectué, le processus de détection de la position du deuxième point maximum est renouvelé. Nous connaissons donc la position approximative de chacun des deux spots. L'image peut donc maintenant être divisée en deux parties dont la coupure est déterminée par la distance moyenne des deux maximums.







Figure 38 – Principe de la fonction « alg_Seeing2 »

Une fois que les deux sous images sont définies, il ne reste plus qu'à utiliser la fonction « centroid2 » qui nous donne la position de chacun des centroïdes. Une fois ces centroïdes déterminés, l'algorithme de la mesure du Seeing est appliqué.





11 Interface de Simulation

Ce programme de simulation de front d'onde en fonction de l'atmosphère a été développé par F. Wildi et modifié par nous même. Celui-ci simule un front d'onde dont on peut faire varier certains paramètres comme le r_0 (paramètre de Fried), L_0 (échelle externe) et l_0 (échelle interne) et bien d'autres paramètres. Nous ne rentrerons pas en détail dans la fonction qui simule ce front d'onde mais nous allons expliquer comment utiliser ce programme et ce que nous pouvons en tirer (valeurs mesurées).

Ce programme et toutes les fonctions nécessaires à la bonne exécution de celui-ci se trouvent dans le dossier « Simulation_matlab ». De plus, il faut modifier dans le fichier

« init_SW_conf.m » le chemin d'accès de ce dossier et rajouter ce dernier dans le « path » de matlab. Pour le reste, tout est géré automatiquement !

Maintenant, il est temps de lancer ce programme de simulation : il suffit de taper dans l'interface de contrôle « simul » et c'est parti !

11.1 Interface graphique

L'interface graphique se présente de la manière suivante :



Figure 39 - Interface graphique de simulation "essais"

Avant de passer dans le détail de ce programme, il faut savoir qu'au lancement de ce dernier, les chemins d'accès des sous dossiers de « Simulation_matlab » sont rajoutés au « path » temporairement puis sont supprimés lorsque l'on quitte le programme, que ce soit avec le bouton « exit » ou la croix de fermeture de la fenêtre.

Nous allons passer en revue les différentes fonctionnalités de cette interface.



Figure	2: Atmosp	heric pa	rameter s	etting w	vindow	- 🗆 ×
le <u>E</u> dit	<u>V</u> iew <u>I</u> nser	t <u>T</u> ools	Desktop <u>\</u>	⊻indow	<u>H</u> elp	¥د ا
	<u></u>					
	altitude [m]	direction [deg]	speed [m/s]	r0 [m]		
layer #1	10000	0	30	0.16		
layer #2	10000	0	0	0		
layer #3	10000	0	0	0		
layer #4	10000	0	0	0		
layer #5	10000	0	0	0		
layer #6	10000	0	0	0		
	common param	eters				7 1
external sca	ile LO (m)	100	1		VIEW SELECTION	
internal scal	e 10 [m]		и		SAVE	
turbulence s	caling constant	0.7	1		MAKE NEVV FILE	
	the second s	0.7	1.5 Marca 1.5 Ma			

11.1.1 Paramètres de simulation de l'amosphère « 1 »

Figure 40 – Figure "Atmospheric parameter setting window"

Dans la partie supérieure de la fenêtre, nous introduisons le paramètre de Fried (voir § 5.3), l'altitude, la direction et la vitesse des vents.

Dans la partie inférieure, nous avons entré selon le modèle de Kolmogorov (voir travail de semestre) la valeur de l'échelle interne et externe (1 [mm] et 100[m]).

Le bouton « View Selection » permet d'afficher les valeurs courantes, le bouton « Save » de sauvegarder les valeurs que l'on aurait modifiées dans le fichier courant. Finalement, le bouton « Make NewFile » permet de sauvegarder, par exemple, des nouvelles valeurs rentrées dans un autre fichier. Attention de faire attention de bien recharger le nouveau fichier crée dans la fenêtre « essais » si on veut les utiliser immédiatement.





11.1.2 Paramètres général du télescope « 2 »

Eile Edit View Insert Tools Desktop Window Help telescope related telescope diameter D [m] 0.3 sub pupil [m] 0.06 focal length [m] 0.06 focal length [m] 0.05 guide star related	2: win_general_p	Figure
telescope related telescope diameter D [m] 0.3 sub pupil [m] 0.06 focal length [m] 3.048 central obscuration [m] 0 optical efficiency 0.5 guide star related [VIEW SELECTION] sky magnitude @lambda WFS 18 photometric zero [photon/m2] 2.29e+010 time related QUIT sampling interval [s] 0.5	<u>View</u> <u>Insert</u> <u>T</u> ools	e <u>E</u> dit
telescope diameter D [m] 0.3 sub pupil [m] 0.06 focal length [m] 3.048 central obscuration [m] 0 optical efficiency 0.5 guide star related	telescope related	
sub pupil (m) 0.06 focal length (m) 3.048 central obscuration (m) 0 optical efficiency 0.5 guide star magnitude @lambda WFS 0 guide star magnitude @lambda WFS 0 sky magnitude @lambda WFS 18 photometric zero [photon/m2] 2.29e+010 time related QUIT sampling interval [s] 0.50	liameter D [m]	telescope o
focal length [m] 3.048 central obscuration [m] 0 optical efficiency 0.5 guide star related (VEW SELECTION) sky magnitude @lambda WFS 0 sky magnitude @lambda WFS 18 photometric zero [photon/m2] 2.29e+010 time related QUIT simulated time duration [s] 0.5 sampling interval [s] 0.001	บ 🛛	sub pupil (n
central obscuration [m] 0 optical efficiency 0.5 guide star related	[m]	focal length
optical efficiency 0.5 guide star related guide star related guide star magnitude @lambda WFS 0 sky magnitude @lambda WFS 18 photometric zero [photon/m2] 2.29e+010 time related MAKE NEVV FILE simulated time duration [s] 0.5 sampling interval [s] 0.001	curation [m]	central obs
guide star related guide star magnitude @lambda WFS 0 sky magnitude @lambda WFS 18 photometric zero [photon/m2] 2.29e+010 time related MAKE NEW FILE simulated time duration [s] 0.5 sampling interval [s] 0.001	iency	optical effic
guide star magnitude @lambda WFS 0 sky magnitude @lambda WFS 18 photometric zero [photon/m2] 2.29e+010 time related MAKE NEW FILE simulated time duration [s] 0.5 sampling interval [s] 0.001	guide star related	
sky magnitude @lambda WFS 18 photometric zero [photon/m2] 2.29e+010 time related MAKE NEW FILE simulated time duration [s] 0.5 sampling interval [s] 0.001	nagnitude @lambda WFS	guide star i
photometric zero [photon/m2] 2.29e+010 time related MAKE NEW FILE simulated time duration [s] 0.5 sampling interval [s] 0.001	ude @lambda WFS	sky magniti
time related simulated time duration [s] 0.5 sampling interval [s] observation related	zero (photon/m2)	photometric
simulated time duration [s] 0.5 QUIT sampling interval [s] 0.001 observation related	time related	
sampling interval (s) 0.001	me duration [s]	simulated ti
observation related	terval [s]	sampling in
	observation related	
observing wavelength [micron]	wavelength [micron]	observing

Figure 41 – Figure « win_general_parameters »

Cette fenêtre permet d'entrer les paramètres du télescope et de la simulation en général. Nous devons entrer la longueur d'onde à laquelle nous voulons travailler (500 [nm]), le diamètre et la distance focale du télescope, le diamètre des sous pupilles pour la mesure en différentiel. Les paramètres restants n'ont pas été modifiés (nous l'avons laissé en valeur par défaut, paramètres propres à la simulation). En ce qui concerne les boutons à droite, ils ont les mêmes fonctions que celles décrites au paragraphe précédent.

11.1.3 Bouton " run in CLOSED loop " « 3 »

Ce bouton permet de lancer la simulation. Nous avons le choix d'afficher ou non les graphiques de l'évolution du front d'onde, ainsi que du spot correspondant à la transformée de fourrier de ce front d'onde.









Le spot (à droite) correspond donc à la FFT du front d'onde apparaissant dans la sous pupille en haut centrée sur le masque.

Nous avons fait 4 sous ouvertures pour permettre 2 mesures en parallèles afin de voir si l'on est bien corrélé ou non. Plus exactement, nous avons effectué 2 paires de mesures en mode différentiel et 1 mesure en non différentiel.

De plus, à la fin de la simulation, nous affichons la somme de tous les spots puis nous observons le profile de ce dernier par les deux côtés. La raison de ce procédé sera décrite un peu plus loin dans ce § 11.



Figure 43 – FWHM de chaque profile de la somme des spots d'une sous ouverture

Nous affichons par la même occasion la FWHM de chaque profile et la tâche d'Airy générée par une sous ouverture (donc de 60 mm, voir § 11.1.2)

A la fin de la simulation, nous affichons les résultats obtenus pour la mesure du Seeing dans l'interface Matlab.

11.2 Détail de la fonction « run_AO_closed_loop.m »

Comme cela a déjà été précisé auparavant, nous ne détaillerons pas comment est généré le front d'onde mais nous allons expliquer ce que nous en faisons.

Premièrement, nous avons un front d'onde échantillonné d'une matrice carrée de 30 par 30 qui correspond à la réalité de 30 par 30cm (30cm étant le diamètre de notre télescope). Nous y ajoutons un masque avec 4 sous ouvertures circulaires de 6 échantillons de diamètre (correspondant donc à 60mm) pour pouvoir travailler en mode différentiel.





Il faut ensuite transformer ce front en exponentiel complexe afin de pouvoir faire la FFT (Fast Fourrier Transform) de ce dernier.

$$X(k) = \sum_{n=1}^{N} x(n) \cdot e^{-\frac{j \cdot 2 \cdot \pi \cdot (k-1) \cdot (n-1)}{N}} \text{ pour } 1 \le k \le N$$

En fait, cela est équivalent à l'image d'un objet par un système optique sur le plan focal image (se référer à l'optique de Fourrier). Nous obtenons donc un spot dont la largeur de ce dernier est limité par la figure de diffraction ou tâche d'Airy (car nous avons des ouvertures circulaires). La dimension de la matrice obtenue (après avoir fait la FFT du front d'onde) est identique à la dimension de la matrice du front d'onde. Il est possible d'augmenter la résolution de notre transformée de Fourrier en rajoutant des valeurs nulles autour de notre matrice de 30 par 30 (en fait, augmente la taille de la matrice par un facteur de garde). Ce processus est décrit dans le § 4.3 et porte le nom de « padding » en anglais. Du fait que nous ne faisons pas de mesure en temps réel (dans le cadre de la simulation), nous aurons un facteur de garde qui sera seulement limité par l'espace mémoire nécessaire à la transformée de Fourrier.

Dans le cadre de la simulation, nous avons fixé le facteur de garde à 5. Cela signifie que la taille de la matrice passe de 30x30 à 150x150.

Une fois la FFT effectuée, on passe à la détermination du centroïde pour chaque spot puis au calcul de la variance de ce dernier. Ensuite, nous pouvons rentrer les valeurs de l'algorithme du Seeing proprement dit.

Entre temps, nous avons fait la somme de tous les spots et, à la fin de la simulation, nous affichons le résultat. Ceci a, dans un premier temps, été fait afin de pouvoir vérifier le résultat donné par l'algorithme. A partir de la figure de la somme de tous les spots, nous pouvons calculer la FWHM et donc en déduire le Seeing. Malheureusement, nous démontrerons par la suite que cette méthode ne fonctionne pas dans ce cas car nous sommes trop « diffraction limited ».

11.3 Tests et mesures

Dans ce paragraphe, nous parlerons des différents tests effectués pour vérifier le résultat donné par l'algorithme, de la limitation de la plage de mesure limitée par les sous ouvertures du masque.

11.3.1 Limitation par le r₀

Un moyen pour vérifier l'efficacité de l'algorithme est de faire différents tests de la simulation avec différentes valeurs de r_0 . Rappelons tout d'abord que le paramètre de Fried est équivalent au diamètre d'un télescope qui ne subirait pas la turbulence et dont la qualité de l'image serait équivalente au diamètre infini qui lui la subirait. Si on avait un r_0 supérieur à la sous pupille (de 60mm de diamètre), nous devrions pouvoir observer les anneaux d'Airy sans « speckel » (décomposition du spot en plusieurs petites taches). Par contre, dès que le diamètre devient plus grand que le r_0 , nous devrions commencer à observer une décomposition du spot en bulles distinctes. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle nous sommes limités dans la plage de mesure du Seeing :

Si on a un diamètre de sous pupille qui vaut 0.06 m, alors





$$=> Seeing = 0.98 \cdot \frac{\lambda}{r_0} \cdot conv \, rad \, en \, arc \sec = 0.98 \cdot \frac{500 \cdot 10^{-9}}{0.06} \cdot 206264.8 = 1.7"$$

C'est théoriquement à partir de cette valeur que l'on devrait voir apparaître ces « speckels ».

Dans le cadre expérimental, voyons ce que cela donne avec différentes valeur de r0 (données en [m] puis l'équivalent Seeing en [arcsec]):



Figure 44 – 1/ r_0 =1=0.1", 2/ r_0 =0.1=1", 3/ r_0 =0.06=1.7", 4/ r_0 =0.03=3.4", 5/ r_0 =0.02=5"6/ r_0 =0.01=10"

Sur l'image 1, nous avons une Seeing de 0.1" d'arc. C'est une valeur impossible à mesurer en Suisse, du fait des conditions météorologiques et de la configuration géographique des lieux. Par contre, cette dernière a pu être observée au Dome C en mai 2004 (voir « Optical Turbulence On The Antartic Plateau », Tony Travaillon, sept 2004). On peut remarquer que nous sommes en présence d'un cas exclusivement « diffration limited » : on voit clairement la tâche d'Airy et les anneaux qui suivent.

Sur l'image 2 et 3, les spots sont identiques à la figure 1 mais nous pouvons voir un début de très légers « speckles » apparaître sur la périphérie de l'image (Seeing de 1'' et 1.7'' d'arc). Nous nous attendons d'ailleurs de pouvoir mesurer ces valeurs de Seeing lors de nos campagnes de mesure.

La figure 4 voit son spot qui commence à se déformer et des « speckels » nettement plus visibles font leur apparition. Dans ce cas, un seuillage serait nécessaire pour éliminer les bavures qui apparaissent en bordure du spot central. Le calcul du centre de gravité est cependant toujours possible.





Sur la figure 5 et 6, nous n'avons plus un seul spot mais plusieurs petits, qui, lors de la simulation, se « baladent » sur l'image. A ce moment, la détermination du centroïde devient incorrecte donc inutile. De toute manière, pour un Seeing de plus de 3'' d'arc, cela ne vaut plus la peine de faire des observations astronomiques.

La figure 3 corrobore bien le fait qu'un télescope, sans correction par l'optique adaptative, devrait théoriquement respecté le principe suivant : le diamètre de la pupille d'entrée doit être de l'ordre de grandeur du diamètre de Fried (donc du r_0). La pratique nous montre que même si nous avons un r_0 plus petit que l'ouverture du télescope (dans une mesure raisonnable), il est encore possible de faire des mesures de Seeing.

11.3.2 Vérification de notre algorithme

Dans un premier temps, nous avons eu l'intention de vérifier l'algorithme en calculant d'une manière différente la valeur du Seeing (en [arcsec]). Cette autre méthode consiste à sommer toutes les images du spot puis de calculer la largeur à mi-hauteur (FWHM) du spot en question. Pour des télescope de grand diamètre (ou la diffraction est de moindre importance), c'est un moyen simple et rapide de déterminer le Seeing. Il suffit de faire une longue pause sur une étoile et de calculer la FWHM de l'image. Malheureusement, dans le cas de l'algorithme, nous avons des sous ouvertures de faible diamètre dont la diffraction prend une grande importance. De ce fait, il faut soustraire à la FWHM de la somme des spots la FWHM de la tâche d'Airy. Malheureusement, un autre problème est intervenu. Nous avons affiché plusieurs spots instantanés de la simulation (spot n°120, 233,413) que nous avons normalisé à 1 puis nous avons tracé le niveau correspond à 0.5 (ce qui est équivalent à chercher la FWHM du spot). Nous avons comparé ces résultats à l'affichage de la somme des spots (appelé « spot total » dans la simulation, voir Figure 45) que nous avons aussi normalisé et sur lequel nous avons aussi tracé le niveau correspondant à 0.5 (FWHM du « spot total »). Pour chaque figure qui suit, nous avons affiché à gauche le spot original et à droite le spot dont nous avons utilisé la fonction de régression gaussienne (fonction « gaussian fit 2D.m »). Nous cherchons à déterminer le nombre de pixel simulé correspondant à chaque FWHM trouvée :



Figure 45 – Somme des spots à gauche et somme des spots à droite en utilisant la régression







Figure 46 – Spot n°120 à gauche et son homologue à droite en utilisant la régression



Figure 47 - Spot n°233 à gauche et son homologue à droite en utilisant la régression





« Seeing monitor »



Si on résume dans le tableau suivant :

<i>Type de graphique</i>	Spot vierge	Spot qui a subit la régression
spot_total	28.46 pixels	28.39 pixels
spot n°120	24.82 pixels	23.84 pixels
spot n°233	24.88 pixels	23.91 pixels
spot n°413	24.75 pixels	23.96 pixels

Dans cette simulation, nous avions fixé le paramètre de Fried à :

$$r_0 = 0.08 \,[\mathrm{m}]$$

qui correspond en terme de Seeing à :

seeing =
$$0.98 \cdot \frac{\lambda}{r_0} \cdot conv \, rad \, arc \sec = 1.26 \, [arcsec]$$

La largeur d'un pixel de la simulation vaut :

$$pixel_arc \sec = \frac{\lambda}{facteur_garde \cdot D} \cdot conv_rad_arc \sec = 0.0688 [arcsec]$$

avec :

 λ =500·10⁻⁹ [m] conv_rad_arcsec=206264.8 facteur_garde=5 (pour le padding, voir § 4.3) D=300·10⁻³ [m]

On s'aperçoit, et de façon surprenante, que la PSF s'élargit seulement d'environ 4 pixels (avec la superposition de plus de 500 spots) ! Cela ne nous permet absolument pas d'en déduire le Seeing car cela signifierait que le Seeing vaudrait moins de :

Seeing = $4 \cdot 0.0688 = 0.2752$ [arcsec]

Nous avons d'autre part cherché la valeur rms du déplacement du centroïde du spot sur les 500 spots générés par la simulation :

- Selon x, nous avons un déplacement rms de 6.289 pixels.
- Selon y, nous avons un déplacement rms de 5.933 pixels.

Selon le § 10.2 :

$$FWHM_x = 2 \cdot \sqrt{2 \ln(2)} \cdot \sigma_x$$
 et $FWHM_y = 2 \cdot \sqrt{2 \ln(2)} \cdot \sigma_y$

Au passage, c'est une manière différente de déterminer la FWHM du déplacement du centroïde que la méthode décrite dans le § 6.1 !

Le Seeing correspondant à la valeur rms du déplacement selon x, est :

seeing valeur rms $x = 14.8 \cdot pixel arc \sec = 14.8 \cdot 0.0688 = 1.02$ [arcsec]

Le Seeing correspondant à la valeur rms du déplacement selon y, est :





seeing valeur rms $x = 14.0 \cdot pixel arc \sec = 14.0 \cdot 0.0688 = 0.96$ [arcsec]

On peut donc voir que ces valeurs sont pourtant bien de l'ordre de grandeur du Seeing rentré dans la simulation (1.26'' d'arc) même si elles différent encore passablement.

Afin d'essayer de comprendre pourquoi nous n'obtenons pas les bonnes valeurs, un graphique de l'élargissement de la PSF en fonction du Seeing rentré dans la simulation a été tracé :



Figure 49 – Non-linéarité de l'élargissement de la PSF en fonction du Seeing rentré dans la simulation

Nous pouvons voir que l'élargissement de la PSF n'est pas linéaire par rapport à la valeur du Seeing que l'on rentre dans la simulation. Cette manière de faire ne nous permet donc pas de déterminer la valeur du Seeing. Par contre, nous verrons au paragraphe suivant que les valeurs du r_0 fournies par l'algorithme correspondent à peu de chose près aux valeurs entrées dans la simulation du front d'onde. C'est pourquoi nous ne nous sommes pas trop attardés à essayer de comprendre ce phénomène.

11.3.3 Comparaison de nos résultats pour différentes valeurs de r₀

Nous avons comparé les résultats de r_0 donné par l'algorithme à la valeur du r_0 rentrée dans la simulation. Rappelons au passage qu'un r_0 de 0.08 [m] correspond à environ 1.26 [arcsec]. Nous avons fait des mesures en mode différentiel avec deux couples de sous ouvertures comme le montre la figure qui suit :







Figure 50 – Figure avec les 2 couples pour la mesure en mode différentiel

De plus, nous avons aussi mesuré le r_0 à l'aide d'une seule sous ouverture car dans la simulation, nous n'avons en fait pas besoin de travailler en différentiel. En effet, nous n'avons pas de perturbation comme le serait un télescope sur une plateforme soumis au vent, vibration, etc. La simulation calcule le r_0 à partir de 500 spots. Le résultat nous fournit le r_0 longitudinal, transversal et la moyenne des deux. La simulation a été répétée quatre fois pour observer la stabilité dans le temps des mesures avec le même paramètre de Fried ($r_0=0.08$ [m]). Le r_0 est donné en [m] :

Test n°	1	2	3	4
Moy r_0 trans couple 1	0.0873	0.1169	0.1131	0.1153
Moy r_0 longi couple 1	0.0791	0.0675	0.0765	0.0873
Moy r_0 couple 1	0.0832	0.0922	0.0948	0.1013
Moy r_0 trans couple 2	0.0928	0.1069	0.1167	0.1180
Moy r ₀ longi couple 2	0.0818	0.0796	0.0774	0.1019
Moy r_0 couple 2	0.0873	0.0933	0.0971	0.1100
Moy r_0 1 ouvert. selon axe 1	0.1016	0.1081	0.1111	0.0901
Moy r_0 1 ouvert. selon axe 2	0.1100	0.1019	0.0831	0.1426
Moy r_0 1 ouverture	0.1058	0.1050	0.0971	0.1164

- L'erreur de mesure pour le couple n°1 varie de 4% à 27%.
- L'erreur de mesure pour le couple n°2 varie de 9% à 38%.
- L'erreur de mesure pour une ouverture varie elle de 21% à 45%.

Ces erreurs semblent relativement importantes mais il ne faut pas oublier que les ouvertures faites par le masque (en vert) ne sont pas parfaitement circulaire et sont grossièrement pixellisées.

Un autre constat peut être fait au sujet de la mesure longitudinale qui semble presque toujours inférieure à celle transversale :

- L'erreur de mesure pour le couple n°1 transversal varie de 9% à 46%.
- L'erreur de mesure pour le couple n°1 longitudinal varie de 9% à 15%.
- L'erreur de mesure pour le couple n°2 transversal varie de 16% à 47%.





• L'erreur de mesure pour le couple n°2 longitudinal varie de 3% à 27%.

De plus, elle semble bien mieux correspondre à la valeur du r_0 rentrée dans la simulation. Cela signifie que le Seeing sera plus important dans le sens longitudinal que transversal, du fait que le r_0 est inversement proportionnel à la valeur du Seeing.

Au début, nous avons tenté de déterminer une ou des erreurs dans la programmation de l'algorithme mais nous n'en avons pas trouvé.

Ce phénomène sera ensuite à nouveau observé lors des mesures de campagne mais nous en reparlerons plus loin.

Nous avons décidé tout de même de valider l'algorithme et de poursuivre le travail dans l'élaboration de l'interface « dimm ».





12 Utilisation de l'appareil

12.1 Installation et matériel nécessaire

Une check liste comportant le matériel nécessaire afin d'assurer la mise en route de l'interface DIMM se trouve dans les annexes. Lorsque l'on se trouve sur le lieu d'observation, on peut effectuer le montagne du télescope comme décrit au chapitre 7.1. Une fois celui-ci effectué, on peut fixer la caméra sur le « flip mirror » et réaliser le câblage suivant :



Figure 51 – Schéma de raccordement de l'interface DIMM

- Alimentation électrique du télescope
- Raccordement du pad de commande (RJ 11)
- Liaison entre le panneau frontal du télescope et la fourche (RJ 45), alimentation du moteur assurant l'élévation



- Liaison série entre l'ordinateur et le port RS-232 du télescope
- Liaison USB 2.0 entre l'ordinateur et la caméra

Remarque : si l'on désire disposer de plus de 5m entre l'ordinateur et la caméra, il faut avoir recours à un hub USB (2.0 !) muni d'une alimentation externe. En effet la puissance électrique sur les sorties USB d'ordinateurs portables est relativement faible. Les hubs auto alimentés ne sont alors pas capables d'assurer la liaison avec la caméra pour une grande distance.

12.2 Interface utilisateur, mode d'emploi



12.2.1 Affichage principal







1. Active le mode vidéo : une nouvelle fenêtre en noir et blanc, générée à partir du code en C, apparaît et la caméra passe en mode vidéo. Ce mode est propre à la caméra et n'a rien à voir en fait avec le code de programmation Matlab. Pour arrêter ce mode, il faut appuyer à nouveau sur ce bouton. Si par hasard on venait à fermer la fenêtre avec la croix supérieure droite, il faudrait dans un deuxième temps aussi appuyer sur ce bouton pour désactiver le mode en question.

2. Affiche une image de la caméra sur l'emplacement réservé sur la console général (figure cidessus).

3. Active le mode streaming : ce mode consiste à afficher image par image. L'avantage de ce dernier est que l'on peut modifier les paramètres de gain, d'exposition et de fenêtrage en même temps que cette fonction est activée.

4. Le tracking peut être activé lorsqu'on se trouve en fenêtrage (windowing). Elle permet de suivre par exemple le déplacement des spots lorsque le télescope n'est pas parfaitement tracking. Le tracking est malheureusement limité par la taille de la fenêtre total (fenêtre 640x480). Une fois que les spots ont quitté la zone du CCD, il faut centrer à nouveau ces derniers manuellement sur la fenêtre.

5. Ce bouton permet de sélectionner l'endroit où l'on veut sauvegarder les données. Il faut faire tout de même attention à une chose : il ne faut pas remonter plus haut dans l'arborescence que le dossier « DIMM_system » dans lequel se trouve l'ensemble du code de programmation. Conseil : utiliser le répertoire par défaut « runs » et créer des nouveaux dossiers à l'intérieur !

6. Ce bouton ferme toutes les fenêtres Matlab, désactive la connexion de la caméra et du télescope si cela n'a pas été déjà fait et quitte le programme.

7. Ce bouton permet de stopper les mesures mais laisse la mesure en cours se terminer. Une fois cette dernière terminée, une fichier de sauvegarde est généré (voir § 12.2.10).

8. Fonction qui permet de faire seulement de l'acquisition de donnée (emmagasinage d'images) mais ne s'occupe pas du calcul de Seeing (pas d'affichage sur les graphes et pas d'affichage des valeurs). Les images dont les matrices correspondantes comportent que des zéros, sont supprimées (parfois, la caméra échoue dans l'acquisition d'une image et renvoie une matrice de zéros à la place). Par contre, si cette fonction n'est pas activée, l'affichage des résultats, lui, est activé. Les matrices dont l'intensité ne dépasse pas les 4 % de la valeur maximum (255 en 8 bits et 65535 en 16 bits) sont aussi supprimées. En effet, cela nous protège par exemple de quelqu'un qui passerait juste devant le télescope au moment où on serait en train d'acquérir les images. Comme cela, l'image en question ne serait pas prise en compte dans le calcul du Seeing.

Pour les deux cas, si la caméra plante totalement (elle nous renvoie plus que des matrices vides), il y a détection de ce phénomène. A ce moment-là, la mesure se stoppe automatiquement. Par contre, la fonction se termine jusqu'à la fin du processus de calcul. Cela signifie que le programme gère ce type de mésaventure afin d'éviter que Matlab plante (plutôt que le programme en question plante). Au passage, si la caméra a planté totalement, le





seul moyen de la réactiver est de la déconnecter d'une part avec le programme (menu >> Liaison >> Déconnecter caméra) et d'autre part de débrancher le câble USB (ceci effectue un reset de la caméra) de l'ordinateur. Il n'y a pas besoin ni de relancer Matlab, ni le programme.

9. Ce bouton démarre l'acquisition des données et le calcul des différentes valeurs recherchées (pour autant donc que « Only data images » ne soit pas activé).

10. Assistant pour la détermination du niveau de seuil sans et avec la soustraction du dark frame / dark sky (voir détail § 12.2.9)

Permet de faire l'acquisiton du « dark frame /dark sky » (voir détail § 12.2.8)
 Assistant de focalisation (voir détail § 12.2.7).

13. Si activation, soustraction du « dark frame / dark sky ». Les changements sont valables tout aussi bien pour l'affichage que pour les mesures. Par contre, le mode vidéo ne prend pas en compte ceci.

14. Si activation, la fonction « seuillage » est employée. Les changements sont valables tout aussi bien pour l'affichage que pour les mesures.

15. Si activation, la fonction « seuillage_special » est employée. Les changements sont valables tout aussi bien pour l'affichage que pour les mesures.

16. Permet de modifier le gain : la plage varie de 1 à 24 pour un pas de 0.1 ! Si l'on rentre une valeur en dehors de cette plage, le système rectifie automatiquement la valeur afin qu'elle reste dans les limites possibles.

17. Permet de modifier le temps d'exposition : la plage varie de 1 [ms] à 500 [ms] pour un pas minimum de 1 avec le curseur! Si on rentre une valeur en dehors de cette plage, le système rectifie automatiquement la valeur pour être soit à 1, soit à 500. Par contre, on peut mettre des chiffres à virgules dans la zone correspondante.

18. Après avoir sélectionné une taille de fenêtre (320x240, 160x120, 64x48 ou 32x24), on peut appuyer sur « ON ». Il faut ensuite cliquer sur la fenêtre à l'endroit où on veut faire le fenêtrage. Pour désactiver le fenêtrage ou pour changer de taille, il faut appuyer à nouveau sur « ON » (on relève le bouton) pour recommencer le processus décrit précédemment.

19. Zone qui permet de modifier l'orientation du télescope (il faut préalablement activer la connexion par le menu >> Liaisons >> Paramètre communication, choisir le port puis recommencer >> Liaisons >> Connecter télescope). On peut aussi choisir la vitesse (Guide, Cntr, Find et Slew). On peut ensuite appuyer sur une des directions souhaitées mais pour stopper le mouvement, il faut appuyer sur « STOP ». Ce pad est très agréable lorsqu'il faut centrer le spot sur le CCD (nous ne sommes pas forcément à proximité du télescope). Il sert aussi à faire les prises de dark frame / dark sky. En effet, lorsqu'on a fait la mise au point sur une étoile et lorsqu'on a réglé le gain et l'exposition de cette dernière, on peut chercher une zone à proximité de celle-ci et enregistrer une image de dark. Tout cela peut être fait simplement directement avec l'interface « SeeingMonitor ». Par contre, un petit conseil : lorsque l'on utilise le pad, il est préférable de suivre l'évolution du déplacement à l'aide de la




fonction « mode video » (n°1) plutôt qu'avec le mode « streaming » (n°2). Le mode « sreaming » demande beaucoup de ressources à Matlab et celui-ci ne réagit pas bien lorsqu'on veut activer ou désactiver un déplacement.

20. Affichage de l'état de connexion du télescope et de la caméra. L'affichage de la température ne fonctionne pas avec la Lumenera mais par contre, la S-big pourrait le faire ! (rappelons que nous n'avons pas eu le temps d'implémenter la S-big dans cette interface). La dernière lucarne permet d'afficher le nombre d'images perdues (lorsque la caméra renvoie des matrices vides).

21. Affichage de l'évolution du Seeing (longitudinal, transversal). Seulement 10 échantillons sont affichés et lorsque ces 10 échantillons sont atteints, il y a un renouvellement du graphique pour chaque nouveau échantillon. A droite, nous avons l'affichage des dernières valeurs de Seeing et de r_0 calculées.

Remarque générale

Cette interface a été construite de manière à ce que certaines fonctions ne puissent pas être activées alors que d'autres le seraient déjà (gestion de l'activation des boutons). Il se peut que, parfois, certains boutons ne soient pas activés alors qu'ils devraient l'être (plantage du programme ou enchaînements non considérés lors de la programmation). Nous avons fait un bouton « magique » qui permet de réactiver ces derniers sans devoir relancer le programme. Il suffit d'aller dans le menu >> Fichier >> Reset.

Normalement, les fenêtres d'aide pour la recherche de la focalisation et du seuillage sont programmées de manière à ce qu'on puisse les fermer à n'importe quel moment. La réaction ne sera parfois pas immédiate en raison du fait qu'on impose au programme de finir la tâche qu'il est en train de faire avant de fermer cette dernière.

Finalement, on peut suivre le déroulement des opérations dans la fenêtre de dialogue sur la console centrale (enregistrement des données, lots de 100 images et des mesures calculées à l'aide de l'algorithme).

12.2.2 Menu liaison

Le menu « liaison » est constitué de deux parties distinctes, à savoir :

- La liaison de l'ordinateur avec le télescope par l'intermédiaire du port série (RS-232).
- La liaison de la communication avec les caméras (Lumenera S-Big)



Figure 53 – Menu « Liaison » de l'interface DIMM

Avant de pouvoir effectuer la connexion avec le télescope Meade LX200, il faut impérativement sélectionner le port de communication (de COM1 à COM5) celui-ci doit correspondre à l'emplacement sur lequel est connecté le télescope. En cas d'utilisation d'une interface USB - RS232, on peut consulter l'emplacement du port « virtuel » dans le *gestionnaire de périphériques* de Windows.



Une fois la configuration du port de communication effectuée, on peut enclencher le télescope puis cliquer sur : *connecter le télescope*. Ceci aura pour effet d'ouvrir le port série et d'envoyer une requête à l'appareil connecté afin de confirmer sa présence. La programmation de l'interface a été effectuée de sorte à valider l'état du télescope sur l'affichage principal que lorsque celui-ci est enclenché et connecté sur le bon port de communication.

Si le télescope est mal connecté ou mal reconnu par l'interface, un message d'erreur ainsi que quelques conseils afin de réparer le problème de communication sont affichés dans le « Dialog window ».

Les menus en rapport avec la connexion des caméras sont relativement plus simples étant donné qu'il s'agit de caméra USB (pas de choix de port à faire). Le driver USB reconnaît automatiquement à quel emplacement elle se trouve, puis ouvre le port sur celle-ci.

Il est également possible d'effectuer une déconnexion du télescope ou de la caméra manuellement, mais ceci n'est pas nécessaire étant donné que la déconnexion est effectuée lors de la fermeture du programme.

12.2.3 Mise en station date, heure et lieu

Le menu « Mise en station » et composé de deux sous chapitres :





- « Date et heure » servant à vérifier ainsi qu'à modifier l'horloge interne du télescope
- « Lieu » servant à choisir un des lieu préalablement configuré ainsi qu'à modifier la configuration (longitude, latitude).



Figure 54 – Mise en station du télescope, réglage de la date et de l'heure

Le fonctionnement de ces interfaces est similaire. En cliquant sur « GET », on remonte les informations se trouvant dans la mémoire du télescope pour les afficher dans les cellules prévues à cet effet. Et réciproquement, lorsque l'on clique sur « SET », on envoie au télescope les valeurs se trouvant dans les cellules.

Lorsque l'on désire modifier un paramètre, il est conseillé de tout d'abord cliquer sur « GET », ensuite de modifier les valeurs et pour terminer cliquer sur « SET ». De cette manière on se rend rapidement compte de l'état de la mémoire de télescope. On évite de ce fait d'effacer un site.







Figure 55 – Gestion et sélection de la position de l'observation

L'utilisation est semblable pour ce qui est de la gestion de la position (emploi de SET et GET) hormis un « check box » afin de valider dans quelle configuration l'on se trouve.





12.2.4 Tracking (suivi d'étoile)

L'interface « Tracking » sert à gérer le mouvement du télescope. Comme nous l'avons vu lors du chapitre 7.4, le télescope dispose d'un système de suivi d'étoile ainsi qu'une fonction GOTO étant capable de pointer et de lancer le suivi sur un objet.

La fenêtre « Tracking » simplifie au maximum la configuration pour le suivi d'étoile.



Figure 56 – Gestion du tracking pour le Meade 12"

Dans un premier temps on choisit le mode du télescope (Alt-Az, Land ou Polar) à l'aide de l'onglet *Mode télescope*.

L'onglet : *Etoile de référence*, rend le choix de l'étoile de référence en mode Alt-Az bien plus aisé. Une fois la connexion puis la configuration de base effectuée (Date, heure et lieu), il





suffit d'employer le pad de commande où les boutons disponibles sur l'interface principale afin de centrer une des 33 étoiles de référence au centre du champ de l'oculaire. Après avoir sélectionné l'étoile dans le menu déroulant, il suffit de cliquer sur « Apprentissage » afin de donner la notion d'orientation au télescope.

La partie *Coordonnées* permet de relever la position du télescope (peu importe l'état du télescope lorsque l'on désire lancer cette commande).

Les dernières commandes disponibles sur cette fenêtre sont regroupées dans l'onglet *Destination*. On peut y choisir un objet, une étoile ou une planète en entrant son code dans la cellule prévue à cet effet. Le choix effectué, on a la possibilité d'obtenir des informations sur cet objet en cliquant sur *A propos de*. Il s'agira par exemple de sa magnitude, de sa position par rapport à la ligne d'horizon. En cliquant sur *GOTO*, on va alors lancer le déplacement du télescope puis le tracking sur l'objet choisis. Le bouton *STOP* permet de cesser le déplacement s'il y a danger (butée sur la caméra par exemple).

On rappellera qu'il faut impérativement conserver un œil attentif sur le télescope lors de l'emploi de la fonction *GOTO* ! La présence de deux personnes est donc vivement recommandée.

12.2.5 Gestion des caméras

Ce bouton ouvre une autre fenêtre qui permet de régler les paramètres comme le gain, l'exposition et de choisir si l'on veut que la caméra nous renvoie les données en 8 ou 16 bits.

Figure 1: win_lumenera_paramete	rs 💶 🗙
lumenera related exposure (1ms-500ms)	SAVE
gain [1-56] 24	MAKE NEVV FILE
🗖 16 bits	QUIT
lumenera_default.mat	Browse

Figure 57 – Fenêtre pour régler les paramètres de la caméra

Le bouton « VIEW VALUES » permet d'afficher les paramètres actuels de la caméra. On peut voir aussi de quel fichier sont tirés ces valeurs. A partir de là, il y a 4 choix qui s'offrent à nous :

 On peut modifier les paramètres sans sauvegarder les modifications dans le fichier courant (dans ce cas, « lumenera_default.mat »). Cela signifie que les nouveaux paramètres seront valable seulement pour cette session mais la prochaine fois que nous relancerons le programme, le programme s'initialisera avec les anciens paramètres dans « lumenera_default.mat ». C'est en fait ce que l'on fait lorsque l'on modifie le gain et l'exposition directement dans l'interface générale.





- 2. On peut enregistrer avec le bouton « SAVE » les nouveaux paramètres dans le fichier courant. Cela signifie la prochaine initialisation du programme, les paramètres actuels deviendront les paramètres par défaut.
- 3. On peut créer un nouveau fichier avec le bouton « MAKE NEW FILE ». Il faut simplement faire attention de ne pas l'enregistrer plus haut dans le arborescence que le dossier « DIMM_system ». Par contre, au prochain lancement du programme, ce ne sera pas ce nouveau fichier qui sera exécuté mais toujours le fichier « lumenera_default.mat ». Cela peut servir pour enregistrer les paramètres d'une soirée que nous voudrions reprendre par exemple pour une autre nuit d'observation. A ce moment, il suffirait de presser le bouton « Browse… » et de sélectionner le fichier en question qui sera chargé automatiquement par le programme.
- 4. On peut charger directement un fichier (comme déjà spécifier dans le point 3) à l'aide du bouton « Browse... ».

Pour quitter, on peut soit fermer la fenêtre à l'aide de la croix ou à l'aide du bouton « Quit ».

12.2.6 Gestion du télescope

Cette fenêtre permet de régler les paramètres généraux du télescope et de la longueur d'onde d'observation. Pour le reste, au niveau de son fonctionnement, se référer au § précédent qui décrit les fonctions exactes des différents boutons de la fenêtre.

Figure 1: win_telesco	pe_parame	ters
telescope related		
telescope diameter D [m]	0.305	
sub pupil [m]	0.06	VIEW SELECTION
sub pupil separation [m]	0.195	SAVE
focal length [m]	3.048	MAKE NEW FILE
observation related		
observing wavelength [micron]	0.5	QUIT
telescope_default	mat	Browse

Figure 58 - Fenêtre pour régler les paramètres du télescope

Le fichier « telescope_default.mat » est le fichier de chargement par défaut lors de l'initialisation. Normalement, les paramètres ci-dessus doivent être modifiés seulement si on venait à changer de télescope. Par contre, on pourrait être amené à changer la longueur d'onde d'observation.

12.2.7 Bouton Focus

Lorsqu'on appuie sur le bouton « Focus », une fenêtre s'ouvre afin de nous aider à bien focaliser le télescope. Pour que cette fonction soit utile, il faut que la fonction « Streaming » (bouton n°3) soit activée. On a aussi meilleur temps d'effectuer du fenêtrage afin de diminuer





le temps de calcul. Le rafraîchissement de l'image est quasi synchronisé avec le rafraîchissement de cette fenêtre :



Figure 59 – Fenêtre d'aide à la focalisation du télescope

Cette fenêtre recherche le centroïde de l'image et fait une coupe transversale et longitudinale en ce point. Pour chaque rafraîchissement, on détermine la FWHM du spot et on recherche son minimum. Lorsqu'on est au minimum de cette dernière, cela signifie que l'on est focalisé. On a remarqué qu'il était plus facile de focaliser avec le masque muni de 2 sous ouvertures (sans wedge) car lorsqu'on est défocalisé, nous observons 2 spots. Puis, plus on se rapproche du plan focal, plus les 2 points se rapprochent l'un de l'autre jusqu'à se confondre. A ce moment, on peut se servir de l'information de la largeur de la FWHM pour déterminer parfaitement le plan focal. D'ailleurs, on peut mettre à zéro (à n'importe quel moment) la recherche du « FWHM_MIN » à l'aide du bouton « Reset MIN ».

12.2.8 Bouton Dark frame / dark sky

Par défaut, l'image du dark à l'initialisation du programme est une matrice de 0 de taille 640x480. D'ailleurs, lorsqu'on pèse sur le bouton « Dark frame / dark sky », le fenêtrage se désactive automatiquement (si celui-ci était activé) pour permettre une acquisition en fenêtre totale.







Figure 60 – Fenêtre pour l'acquisition du dark

Si tout d'un coup on renonçait à faire l'acquisition du dark, il suffit de fermer la fenêtre à l'aide de la croix. Au contraire, si on voulait enregistrer le dark, nous n'aurions juste à appuyer sur le bouton « OK ».

12.2.9 Bouton Threshold

En appuyant sur ce bouton, une fenêtre telle que ci-dessous apparaît. Pour rafraîchir la fenêtre, il suffit d'appuyer sur la touche n°2 (« une image ») de la console générale. Il est préférable de faire du fenêtrage sur la zone de l'image qui nous intéresse afin que le temps de rafraîchissement soit optimisé. D'autre part, il est fortement déconseillé de faire du « Streaming » en même temps que cette fonction mais plutôt d'utiliser la touche « une image ».



Figure 61 – Fenêtre pour déterminer le niveau de seuil en fonction du bruit



Travail de diplôme 05

Cette fonction nous aide à déterminer le niveau de seuil. Dans la partie de gauche et de droite, il s'agit de la vue en profile de l'image : c'est comme si on représentait l'image en 3D et que l'on observait les « bâtons » de chaque pixel (qui représente le niveau d'intensité). En fait, on affiche le maximum de chaque pixel dans le sens de la longueur de l'image.

La partie de gauche représente l'image vierge de toute modification ou correction tandis que celle de droite, représente l'image dont on a soustrait le dark. Le niveau de seuil peut donc être choisi indépendamment selon les 2 cas. Au passage, le système gère de lui-même quel niveau de seuil il devra prendre suivant si on a activé la fonction de soustraction du dark ou non.

La partie supérieure des graphes représente le profile total de l'image tandis que la partie inférieure représente la zone qui se trouve en dessous du niveau de seuil : cela permet un meilleur réglage (meilleure précision) !

Pour le réglage grossier, il faut le faire avec le curseur qui déplace la ligne rouge. Si ensuite, on veut un réglage plus précis, on peut régler le pourcentage de la valeur max en insérant la valeur manuellement. Sur la figure ci-dessus, il faudrait fixer le niveau de seuil à peine en dessus de 2 LSB (valeur absolue).

La raison pour laquelle on affiche la valeur relative du seuil par rapport à la valeur maximum de l'image, est que nous avons de ce fait une information du rapport signal / bruit. On peut donc fixer un seuil en connaissance de cause.

La valeur de seuillage enregistrée ensuite pour la fonction de seuillage n'est pas la valeur relative mais la valeur absolue. Elle reste donc fixe par la suite et ne dépend donc pas de la valeur maximum de l'image.





12.2.10 Sauvegarde des valeurs

Travail de diplôme 05

Les fichiers de sauvegardes sont générés automatiquement. Il y a deux types de sauvegarde :

- Les lots de 100 images qui sont les données brutes sans modification ou correction (de dark ou de seuillage). En fait, il s'agit de matrice dont la taille est LARGEUR x LONGUEUR x 100. Leur nom comporte la date (année mois jour heure minute seconde) de création. La forme de la structure est « data_2005_12_14_22h09_24.mat ». Le nom de la variable (de cette structure) est « data image serie ».
- Le fichier qui est généré juste avant la fin de la mesure. Il comporte d'une part les résultats de Seeing, de r₀ et d'autre part les paramètres de la caméra, du télescope, l'image du dark, etc.

with_dark_frame_sky	1
with_threshold	0
with_threshold_plus	1
seeing	<1x40 double>
rO	<1x40 double>
r0_trans	<1x40 double>
r0_longi	<1x40 double>
tele_diam	0.305
sub_aper_diam	0.06
sub_pup_sep	0.195
focal_length	3.048
obs_wavelength	5e-007
acqui_data_duration	<1x40 double>
windowing_xOffset	<1x40 double>
windowing_yOffset	<1x40 double>
dark_image	<480x640 double>
exposure	8
gain	21
frameRate	60

Figure 62 – Exemple de mise en forme de la sauvegarde des mesures et des paramètres

Ce type de fichier lors des mesures faites à St-Luc est moins complet. Nous avons opéré des modifications dans le code pour améliorer les renseignements que l'on pouvait donner afin de refaire l'analyse des données ultérieurement (besoin du fenêtrage afin de soustraire la bonne zone du dark par exemple).

Si l'on active la coche n°8 (« Only data images »), la sauvegarde se réduit et les données suivantes n'ont pas d'intérêt étant donné qu'il n'y a pas eu de mesure du Seeing :

- 1. Indication si l'on a utilisé le dark, la fonction seuillage ou seuillage plus
- 2. La valeur du Seeing
- 3. La valeur du r_0 , r_0 longitudinal et transversal





12.3 Mise en service « rapide de l'interface »

Dans un premier temps, il faut vérifier que le chemin d'accès du dossier « DIMM_system » soit correctement signalé dans le fichier « init_dimm_SW_conf.m » car celui-ci gère ensuite automatiquement les « paths » de Matlab. De plus, il faut ajouter ce même chemin dans le path de Matlab et le sauvegarder. Il n'y a par contre pas besoin de signaler le chemin des autres sous dossiers (ceux-ci sont automatiquement générés) !

Une fois cela établi, il est possible de lancer le programme DIMM proprement dit :

- 1. Taper dans l'interface matlab >>dimm
- Une fois la fenêtre chargée, aller dans le menu -> Liaison -> Connecter camera -> Lumenera (s'assurer que les drivers de la caméra ont été installés et que la caméra soit connectée au port USB). Si la caméra a réussi la connexion, la zone de la caméra sur l'interface « Seeing Monitor » passe en vert.
- Connecter le télescope : Menu -> Liaison -> Paramètre de communication -> Choisir le port (com1, com2, etc) puis à nouveau Menu -> Liaison -> Connecter télescope. Si la connexion a réussi, l'affichage de l'état de connexion passe au vert !
- 4. Appuyer sur « une image », bouton n°2.
- 5. Régler le gain et l'exposition (activer le mode « Streaming », bouton n°3, c'est plus facile !) ainsi que le fenêtrage. Pour les régler correctement, vérifier que l'on ne soit pas en saturation (voir l'affichage du « Niveau max » qui ne doit pas être en rouge).
- Une fois les spots dans la fenêtre et une fois la zone fenêtrée (le centrage est plus simple à faire à l'aide du pad, boutons n°19), on peut activer le « tracking », bouton n°4.
- 7. Effectuer ensuite la focalisation, bouton n°12 (voir § 12.2.7)
- 8. Faire la prise du dark, bouton n°11 (voir § 12.2.8)
- 9. Choisir le niveau de seuil, bouton n°10 (voir §12.2.9)
- 10. Choisir ensuite les différentes corrections que l'on veut faire pour le traitement des images, bouton n°13, 14, 15 !
- 11. Choisir l'emplacement du fichier de sauvegarde à l'aide de la touche n°5.
- 12. Lancer la mesure à l'aide du bouton n°9 (ayant précisé préalablement si on voulait seulement les données ou non, bouton n°8).

12.4 Mise hors service du Seeing monitor

Afin de rendre la mise hors service de l'interface DIMM la plus simple possible, tous les divers ports (liaisons avec la caméra et liaisons avec le télescope) sont fermés lorsque l'on clique sur : fichier – quitter. Ceci est également valable si l'on emploie la croix se trouvant en haut à droite de la fenêtre.

Il faudra s'assurer préalablement que le système est au repos :

- Pas de mesure Seeing en cours
- Pas de streaming
- Pas de mode vidéo





12.5 Déroulement des opérations

Le dossier « DIMM_system est structuré de la manière suivante :



Figure 63 - Structure du dossier « DIMM_system »

L'emplacement des fonctions principales se trouve dans le dossier « code ». De plus, le fichier qui commande les boutons de la fenêtre générale « SeeingMonitor » se nomme « general_sequencer.m ». C'est dans celui-ci que l'on fait appel aux diverses fonctions comme :

- centroid2.m
- alg_Seeing2.m
- corr_image.m
- FWHM.m
- seuillage.m
- seuillage_special.m
- etc





Une mesure du Seeing se déroule selon l'organigramme suivant :



Figure 64 – Organigramme pour la mesure du Seeing



1

Travail de diplôme 05

13 Test de mise au point

13.1 6 octobre 2005

Lieu : Yverdon, toit de l'école Heure : de 22h à 00h00 Météo : le ciel s'est couvert rapidement à partir de 23h30

Dans un premier temps, nous avons suivi pas à pas la méthode proposée dans le mode d'emploi du LX200, afin d'effectuer un alignement correcte du télescope, et de ce fait pouvoir employer la fonction GOTO.

Afin de bien prendre en main le télescope, nous avons testé la fonction GOTO sur diverses étoiles. Par la suite, nous avons effectué quelques observations (pour le plaisir) de la lune.

On en retiendra :

Prendre une lampe de faible puissance lorsque l'on travaille sur l'ordinateur ou sur du papier afin de ne pas être ébloui.

Effectuer la mise à niveau le plus précisément possible du « tripod », ceci afin d'obtenir un bon suivi.

13.2 12 octobre 2005

Lieu : Yverdon, toit de l'école Heure : de 21h à 03h00 Météo : divers passage de nuage tout au long de la nuit

Après avoir aligné correctement le télescope, nous avons monté l'ensemble flip-miror, oculaire et caméra. Le but était de faire diverses acquisitions avec la Lumenera afin de déterminer sur quel type d'étoiles (magnitude) on peut pointer en exposant à coup de 10ms. Il s'est avérer que l'étoile polaire (magnitude 2.2) donne des résultats tout à fait satisfaisants.

13.3 20 octobre 2005

Après avoir reçu la commande de chez Linos, nous avons effectué divers test de mise au point, et de focalisation à l'aide des wedges. Etant donné que les conditions météo étaient relativement mauvaises, nous avons attendu la nuit pour faire divers essais dans le couloir de l'école.

L'avantage de travailler la nuit dans le couloir et que personne ne circule dans celui-ci, ce qui évite de perturber nos tests.

Nous avons employé un laser à fibre optique d'une longueur d'onde de 633nm. La sortie de la fibre ayant un diamètre de 4 μ m. Sur la longueur du couloir, environ 70m, on peut considérer ce point lumineux comme un source ponctuelle. On a considéré alors que les rayons arrivaient collimatés (parallèles) à l'entrée du télescope.

Dans un premier temps, nous avons fixé le masque sans les prismes. On peut de cette façon effectuer la mise au point de façon à obtenir seulement "UN" points sur la caméra (et non pas 3...).

Dal Magro Léonard





Par la suite, nous avons ajouté uniquement un prisme, la 3ème sous ouverture étant couverte par un carton. On a donc une ouverture "sans prisme" et la seconde avec un prisme. A notre grand désespoir, on obtient qu'un point sur le CCD. Son diamètre étant d'environ 10 pixels. Lorsque l'on cache l'ouverture avec prisme et ensuite l'ouverture sans prisme, on n'observe aucun déplacement de la tache sur le CCD. On remarque cependant que lorsque l'on passe à travers le prisme, on a une légère atténuation d'intensité! On peut donc affirmer que les 2 centroïdes se trouvent sur le même point.

Nous avons ensuite remis en cause nos calculs effectués lors du travail de semestre. Avec Zemax, on devrait obtenir un déplacement de 203µm sur le CCD. En faisant le calcul à la main on obtient 200µm. Ce qui devrait correspondre à 27 pixels sur la Lumenera! Nos calculs sont donc corrects!

Nous avons également remis en cause l'indice du Fused silica. Après contrôle, (zemax, Internet, cours optique), il s'agit effectivement de l'indice : 1.453

On a ensuite remis en cause la longueur d'onde du laser employé. Il s'agit d'un laser rouge ayant une longueur d'onde de 633nm. Après contrôle, l'indice de réfraction pour cette longueur d'onde est également vérifié!

La dernière supposition que l'on peut faire est le fait que l'angle de wedge ne vaut pas 30''. On a alors vérifié avec un laser (collimatés). En se mettant à 70m, il devrait y avoir (selon calculs) un décalage de 5mm ! Cependant aucun décalage n'est visible à l'œil. On peut donc affirmer qu'il ne s'agit pas d'un prisme ayant un angle de wedge de 30''.

Le lendemain, nous avons pris contact avec le revendeur Linos pour la Suisse. Il s'est avéré qu'un wedge ayant un angle de 30'' signifie que la tolérance se trouve entre 0 et 30'' d'arc. Nous sommes donc en présence de prisme ayant un angle se trouvant très proche de 0'' d'arc.

Nous ne pouvons donc pas employer ces wedges pour notre montage !

On en retiendra :

• Toujours demander une confirmation au fournisseur si la « DataSheet » n'est pas claire.

13.4 10 novembre 2005

Lieu : Yverdon, couloir de l'école, Heure : de 20h à 6h00

Des tests dans le couloir de l'école ont été effectués afin de vérifier les diverses fonctions développées à ce moment-là (fonction qui gère les paramètres télescope-caméra, mode « streaming », win_search_focus, fenêtrage, etc).

Lorsque l'on faisant du fenêtrage (pour avoir le spot bien centré), nous nous sommes rendus compte que, lorsque l'on bougeait le télescope avec la commande du meade, nous sortions très rapidement de la fenêtre. Il était des lors très difficile de retrouver le spot sans « défenêtrer ». C'est à ce moment qu'il nous est venu l'idée de faire une fonction « tracking » qui déplace la fenêtre afin qu'elle soit centrée sur le spot. Il s'est avéré par la suite que cette

Dal Magro Léonard





fonction fût fort utile en raison du fait qu'il est très difficile d'assurer un bon suivi avec le télescope.

D'autre part, nous avons testé d'autres fonctions comme « centroid2.m » et « FWHM.m » mais celles-ci plantaient immédiatement alors qu'elles fonctionnaient parfaitement bien dans la simulation. En fait, le problème venait du fait que la caméra nous envoyait les données non pas en « double » (format à virgule flottante 32 bits) mais en « uint » (virgule fixe 16 bits non signé). Au niveau du calcul, « 4-6 » valait 0 et de ce fait, les fonctions ne fonctionnaient pas correctement.

D'autre part, nous avions aussi tout avantage à transformer les données en « double » car nos processeurs travaillent en virgule flottante. De ce fait, le traitement des données est beaucoup plus rapide.

13.5 18 novembre 2005

Lieu : Yverdon, toit de l'école, Heure : de 22h à 1h00 Météo : température -1.5°C à 1h15, forte bise.

Etant donné que nous avons reçu la dernière commande de Wedges, nous avons profité d'une nuit très dégagée pour monter sur le toit de l'école afin de faire divers essais de déviation des faisceaux.

Ce qui a fonctionné :

Sur 4 prismes commandés, un seul détient un angle de déviation suffisant (environ 100 pixels) ce qui correspond à un angle d'environ 45'' d'arc. Nous sommes donc en possession d'un et d'un seul prisme afin de faire nos diverses mesures. Les 3 autres font subir une déviation du faisceau définit par la sous ouverture de quelques pixels seulement, ils sont trop parallèles. Il restera cependant la solution de mettre 2 prismes en série afin de doubler la déviation. Lors de cette soirée de test, nous avons également pu tester la fonction « focus » il s'est avérer que celle-ci est bien utile afin de faire la mise au point à l'infini. De ce fait, on pourrait rédiger une seconde routine faisant appel à la fonction « focus » qui effectuerait la mise au net automatiquement. Celle-ci pourrait fonctionner de la manière suivante : envoyer les diverses commandes au télescope afin de faire varier le focus, tout en recherchant un minimum à l'aide de la fonction « focus ».

La fonction « calcul Seeing » n'étant pas encore totalement implémentée dans le programme « DIMM », nous avons fait diverses acquisitions de 100 images à 10ms de la position de 2 spots, ceci afin de pouvoir tester la fonction « calcul Seeing » en laboratoire.

Ce qui n'a pas fonctionné :

Dans un premier temps, nous avons eu de grande difficulté à mettre le télescope en mode « tracking ». Il s'agit d'une mauvaise interprétation de notre part de la carte du ciel. Nous avons remarqué une erreur dans la fonction « tracking ». En effet lorsque l'on active cette fonction, la sous fenêtre lue sur le CCD devrait suivre les 2 barycentres. Ce n'est pas encore le cas. Il faudra corriger ceci au Labo.

On en retiendra :

- Prévoir des habits chauds « TRES chauds», une lampe de poche frontale.
- Disposer d'une carte donnant la position des étoiles en fonction de la saison, voire d'un programme calculant leur position en fonction de la date, de l'heure et de la





position de l'observation. Le logiciel « WinStar 2 » est un outil très apprécié des astronomes amateurs afin de déterminer la position des étoiles.

• Prévoir obligatoirement une caisse, comportant tout le matériel nécessaire pour lancer la manipulation (câble, alimentation, ...) ainsi qu'une check liste complète de ce matériel.





14 Valise de campagne

14.1 Check liste du matériel à prendre pour les campagnes de mesures

Lors de nos différentes campagnes de mesures, il est impératif de ne rien oublier lors du départ. En effet, si l'on se trouve sur le toit de l'école, il est relativement aisé de descendre de quelques étages afin de prendre le matériel « oublié ». Cependant si l'on est en altitude (St-Luc, Jungfraujoch), il n'est pas concevable de venir rechercher le matériel oublié. C'est la raison pour laquelle nous avons réalisé une check-liste à contrôler impérativement avant chaque départ en campagne. Celle-ci est également très pratique afin de contrôler que tout le matériel soit bien retourné à l'école et que l'on ait rien oublié sur place (consulter l'annexe § 23.1 si nécessaire).

14.2 Dimensionnement de l'onduleur

Lors de la préparation de nos diverses campagnes de mesures, nous en avons également ressortit la possibilité de faire des observation dans un endroit ne possédant pas d'alimentation électrique (Chasseron, ...). Pour ce faire, un couple : « batterie onduleur » est indispensable.

Meilleur cas P [W]		[W]	Mauvais cas P [W]	
Caméra S-Big	avec refroidissement	8	sans refroidissement	15
Ordinateur				
P4				
DELL 5150 3GHz	CPU 0%	44	CPU 100%	90
Centrino				
DELL 8600 1.5GHz	CPU 0%	24	CPU 100%	40
Téléscope	Stan-by	4	Tracking	15
Total avec DELL 5150 :		56		120
Total avec DELL 8600 :		36		70

Les divers consommateurs nécessaires à la mesures sont les suivants :

Dans le pire des cas, on a une consommation de 120W. L'article no 920620 de chez Distrelec fera parfaitement l'affaire. En effet celui-ci peut fournir une puissance constante de 138W supportant les pics de temps bref (5min) jusqu'à 200W.

En optant pour une batterie de 100AH, une consommation moyenne de 100W et un rendement d'environ 70% de l'onduleur, l'autonomie est d'environ 9h si la batterie est chargée au maximum.





15 Plan de test et de validation

Avant de commencer la ou les campagnes de mesures, il faut savoir ce que l'on désire mesurer. En effet, on remarquera très vite que lorsque l'on se trouve sur le toit de l'école ou sur la terrasse de l'observatoire de St-Luc, la réflexion est bien moins évidente avec le froid. Il faut donc préparer un maximum les mesures, jusqu'à même préparer en avance les divers dossiers sur le disque dur où vont se trouver les informations et les diverses mesures. *Une préparation effectuée tranquillement au chaud est bien plus efficace que de se dire sur le toit : sur quelle étoile va-t-on se diriger* ? Il en va de même pour une modification d'algorithmes. La meilleure façon de modifier ou de corriger une fonction est de noter sur une feuille les problèmes observés, de terminer la mesure et ensuite de rentrer pour modifier la fonction au chaud.

15.1 Vérification en laboratoire

Le niveau B de l'école possède un couloir de relativement grande distance (70m). Bien qu'il ne s'agisse pas du même ordre de grandeur qui nous sépare d'une étoile sur laquelle on fera la mesure, le télescope peut effectuer la mise au point à partir de 20m environ. Ceci nous permet alors d'effectuer un test simple sur les fonctions. Un second avantage de cette méthode est le fait que l'étoile, qui est générée par l'extrémité d'une fibre optique ne bouge pas. On peut donc effectuer un test de la fonction calcul_Seeing sans forcément que la gestion du suivi d'étoile sur le télescope soit enclenché (emploi en mode LAND) ou encore ne pas avoir recours à la fonction de gestion du tracking sur le CCD. De cette façon, on simplifie les problèmes engendrés par un mauvais suivi d'étoile.

On désire donc valider les points suivants en laboratoire :

Vérification du bon alignement du flip, de l'oculaire et de la caméra.

Ceci peut s'effectuer soit dans le laboratoire à l'aide d'un auto-collimateur qui génère un point lumineux à l'infini ou dans le couloir à l'aide d'une source laser placée d'un côté de celui-ci.

Etant donné que la pupille de sortie de l'auto collimateur est relativement faible (30mm), le f/# de l'ensemble sera élevé. De ce fait, la profondeur de champ du télescope sera très grande ce qui rend une mise au point de bonne qualité impossible. On préconisera alors d'employer la méthode dans le couloir.

Vérification du bon angle sur les Wedges. Comme on l'a mis rapidement en évidence, il n'a pas été des plus facile de trouver des wedges ayant l'angle de 30'' d'arc voulu. Avant de monter ces wedges sur le masque, il faut s'assurer que la déviation obtenue est bien celle voulue. Ceci a pu être facilement caractérisé en laboratoire, plus précisément dans le couloir du niveau B à l'aide de la source laser et du télescope (se référer à la caractérisation des wedges § 8.2)

Vérification de la fonction alg_Seeing. Avant de commencer à monter sur le toit de l'école pour effectuer la mesure du Seeing, on a effectué cette mesure dans le couloir. Comme on l'a vu précédemment, bien que la distance séparant la source du télescope est relativement courte, on remarque nettement sur les images du CCD qu'il y a du Seeing. Ceci est principalement du au divers courant d'air dans le couloir. On peut faire varier celui-ci en ouvrant ou en fermant les portes des divers laboratoires donnant sur le couloir (déplacement d'air à des températures différentes). Ceci a permis de vérifier qu'il n'y a pas de « plantage » dù à certaines fonctions.





16 Campagne de mesure

16.1 Observatoire François-Xavier Bagnoud



L'Observatoire François-Xavier Bagnoud (OFXB) situé au-dessus du village de St-Luc dans les Alpes valaisannes, près de la ville de Sierre, se trouve à une altitude de 2'200 mètres. Ses coordonnées géographiques sont 7° 36' 45.6" de longitude Est et 46° 13' 41.8" de latitude Nord. La station de St-Luc n'étant pas encore ouverte, M. Frédéric Mallmann, le responsable de l'observatoire, nous a proposé de rester sur place du mardi 29 novembre au vendredi 2 décembre. Nous avons donc pu passer trois nuits sur place.

Figure 65 – Observatoire François-Xavier Bagnoud

Cet observatoire est composé de trois grandes parties à savoir :

- Un dôme hébergeant un télescope de 60cm (relativement difficile d'y ajouter le 12'')
- Une terrasse avec la possibilité d'accueillir notre tripod avec le LX200
- Une partie hébergement (dortoir, atelier, laboratoire photo et cuisine)

16.1.1 Planification

Lors de cette première expédition sur un site astronomique, on désire effectuer les mesures suivantes afin de vérifier la plupart de nos algorithmes ainsi que l'interface de commande du télescope :

- Vérification du fonctionnement de la mesure du Seeing en temps réel (toutes les 5 secondes), avec affichage des courbes et mémorisation à la fois des diverses matrices de points ainsi que des valeurs de Seeing obtenues. Le fait de conserver les diverses matrices de points donne la possibilité de refaire du post-processing au laboratoire si l'on observe un divergence entre les valeurs obtenues et celles espérées.
- Vérification des diverses fonctions de commande de la caméra (tracking sur le CCD et fenêtrage)
- Vérification des fonctions pour l'apprentissage du télescope (date, heure, lieu de l'observation)
- Vérification des fonctions de pilotage du télescope (choix des étoiles de référence, emploi de la fonction GOTO)
- Mesure du Seeing sur diverses étoiles et principalement sur diverses élévations

16.1.21ère nuit (Ma-Me)

Lors de la première soirée, la météo n'a malheureusement pas été de la partie. Nous sommes sorti installer le télescope sur la terrasse aux alentours de 20h. La première constatation que l'on a pu faire est le fait que l'on voit, à l'œil nu, une quantité bien supérieure d'étoiles qu'à





Yverdon, vu la faible « pollution lumineuse » du site. Lors de l'installation nous avons perdu passablement de temps, à cause du froid. Bien que nous étions parfaitement équipé, il n'est pas évident d'installer le matériel avec une lourde veste et des gants !

Vers 21h, des nuages sont arrivés par le sud-ouest. A 22h le ciel est devenu complètement couvert. Nous avons donc pu effectuer quelques observations à l'aide de l'oculaire, mais nous n'avons malheureusement pas eu le temps de mettre en route l'application DIMM.

On en retiendra :

Un bon équipement pour le froid est très agréable, mais rend toutes les manipulations très difficiles !

Cette brève soirée d'observation nous a également fait remarquer une sorte de problème qui pourrait bien nous gêner lors des soirs suivants :

Les canons à neige ! En effet, l'observatoire se situe à environ 50m d'une piste de ski. Les canons à neige fonctionnent 24h sur 24 afin de garantir un bon enneigement de la station. Ceci engendre une sorte de brume de très basse altitude.

16.1.32ème nuit (Me-Je)

Nous sommes sortis aux alentours de 21h30 afin d'installer le télescope sur la terrasse de l'observatoire. Le ciel était ouvert à 100%, pas de nuages, hormis une légère brume vers le nord-ouest générée par les fameux canons à neige.

Dans un premier temps nous avons utilisé le télescope en mode « land », sans le suivi d'étoile, directement sur la polaire. Ceci nous a permis d'effectuer un test de la fonction tracking sur le CCD.

Ce test à mis un évidence un léger problème : l'interface DIMM plante complètement lorsque les centroïdes sortent de la surface du CCD. Une première optimisation serait de détecter lorsque les centroïdes sont hors CCD, de stopper la mesure et d'en avertir l'utilisateur. Une seconde optimisation, la plus pratique, serait d'envoyer une commande au télescope par l'interface RS-232 afin de modifier légèrement son orientation ce qui aurait pour effet de recentrer les centroïdes. Lors de cette soirée, nous avons effectué la mesure du Seeing sur diverses étoiles, à savoir : La Polaire, Sirius, Capella.

Une constatation que l'on fera rapidement lors des diverses observations est le fait que l'écart entre la valeur du Seeing transversal et longitudinal est d'autant plus grand que l'on s'éloigne du zenith comme prévu dans la simulation.

On en retiendra :

Il faut effectuer une correction de la fonction tracking car celle-ci plante lorsque la position des centroïdes sort de la fenêtre prévue à cet effet.

16.1.43ème nuit (Je-Ve)

Dans un premier temps, nous avons installé et aligné le télescope sur la terrasse de l'observatoire afin de disposer de la fonction de suivi d'étoile. Ceci nous a permis d'effectuer des mesures du Seeing dans un relativement grand nombre de directions. En effet, lors de cette soirée l'étoile Capella se trouvait très proche du zénith alors que Sirius (étoile de très faible magnitude) se trouvait relativement proche de l'horizon. Cette soirée nous a permis de mettre nettement en évidence le fait qu'un Seeing est bien plus faible lors d'une observation au zénith que lorsque le front d'onde traverse une épaisseur bien plus importante de couche atmosphérique.





L'écart que nous avions observé le soir précédent sur l'écart entre la valeur transversale et longitudinale est bien plus faible lors de la 3^{ème} nuit d'observation. On n'explique pas ou mal ce phénomène.

On en retiendra :

Les diverses fonctions de suppression de Dark ont été programmées de sorte à mémoriser avant la mesure une image du fond de ciel. Celle-ci doit se prendre juste à coté de l'étoile sur laquelle on fait la mesure. Un problème que nous n'avons pas prévu avant, est le fait que lorsque l'on fait du fenêtrage sur le CCD, il faut impérativement savoir dans quelle zone l'on se trouve afin d'effectuer la soustraction des dark.

16.1.5 Analyse des données – St-Luc

Toutes les diverses mesures que nous avons effectuées lors de la campagne à St-Luc ainsi qu'à la Jungfrau se trouvent en annexes, avec quelques petits commentaires.

Nous avons cependant jugé intéressant d'effectuer une analyse plus complète de deux mesures ayant les mêmes paramètres de calculs (dark, seuillage, temps d'exposition, ...) mais pour des étoiles ayant **une élévation différente.**

Il s'agit dans notre cas de :

- L'étoile Capella (se trouvant relativement proche du zénith en cette date)
- Riegel (à l'extrémité inférieure de la constellation d'Orion) ayant une élévation bien moindre.



Data 4 Data 5 Observation sur Riegel (plus bas que capella) Observation sur Capella (proche du zenith) AZ: 153°52' AZ: 83°36' EL: 74°13' EL: 31°48' heure : 23h41 heure : 23h24 temps d'expo : 5ms temps d'expo : 5ms gain: 4 gain : 5 avec soustraction du dark avec soustraction du dark







Si dans un premier temps, on se penche sur la valeur moyenne du Seeing, on peut constater que celui-ci est meilleur au zénith (1.1 et réciproquement 1.9" d'arc). On sait que la lumière provenant d'une étoile se trouvant proche de l'horizon devra parcourir un plus long chemin dans diverses couches qui vont perturber le front d'onde. La perturbation sera alors plus importante d'où, un plus mauvais Seeing.

Le Seeing de cette soirée est relativement bon pour la Suisse, malgré la présence de canon à neige à proximité du site d'observation.

Sur la figure de gauche, on remarque diverses pics (exemple pour la mesures numéro 32). Il s'agit probablement de petites rafales ou coups de vents. Celles-ci ne sont pas très importantes sur la durée de mesure, mais font légèrement augmenter la valeur du Seeing.

Lors de cette soirée, nous avons également effectué diverses prises de vue en mode « longue pause », sans le masque, afin de déterminer par la suite la valeur de la FWHM. Une fois le retour de la campagne, nous nous sommes rendus compte que les prises de vue effectuées n'étaient pas nettes et que la taille de la tache était bien trop grande. Il s'agit sûrement d'une erreur de notre part sur la focalisation du télescope.

On constate encore sur la figure de droite un pic des plus importants au début de la mesure. Il est difficile d'en tirer des conclusions, mise à part le passage d'un ratrac (les phares allumés !) proche du site d'observation lors du début de cette mesure.

16.1.6 Conclusion sur le site de ST-Luc

Après ces 3 jours sur le site (2 nuits de mesures), on peut en conclure que le Seeing sur le site est relativement bon. Celui-ci varie en moyenne de 0.8 à 3.0" d'arc. Lors de cette campagne nous avons pu tester notre appareil et mettre en évidence les divers défauts résiduels, ceci dans le but d'améliorer le soft pour la campagne à la Jungfrau.

Lorsque l'on effectue des mesures proches de l'horizon (relativement loin du zénith), le Seeing est plus mauvais. Ceci est une conséquence logique de la configuration de l'atmosphère. On observe cependant une sorte d'offset entre la valeur du Seeing longitudinale et transversale. Comme remarqué déjà lors des diverses simulations, le Seeing transversal, qui est plus faible, a une certaine tendance à améliorer (réduire) le Seeing.

Nous n'avons remarqué aucune variation de l'offset selon l'orientation du masque sur le télescope.

Remarque : la session « St_Luc_05_12_01 » comporte également des prises de vue avec trois sous ouvertures défocalisées afin d'effectuer divers tests au labo pour les futurs algorithmes du GSM.





16.2 Observatoire Sphinx Jungfraujoch



Figure 67 – Observatoire Sphinx Jungfraujoch

L'observatoire du Sphinx est une filiale du Jungfraubahn. Ce observatoire dispose d'un dôme astronomique, de plusieurs laboratoires, d'un atelier ainsi que de deux terrasses pour des expériences scientifiques. L'instrument d'observation installé dans le dôme astronomique est un télescope de 76 centimètres avec le foyer Cassegrain. Beaucoup d'expériences à long terme sont installées de manière permanente dans les laboratoires. L'espace pour d'autres projets et campagnes est disponible sur demande. Coordonnée : 7° 59' 2" E 46° 32' 53" N

16.2.1 Planification

Lors de cette seconde expédition, il nous faut effectuer les mesures suivantes :

- Mesure du flat de la caméra pour divers temps d'exposition et divers gains. Nous allons réaliser cette mesure au coucher du soleil. Après les essais de St-Luc, nous avons relevé les temps d'exposition ainsi que les gains les plus utilisés, à savoir : 5ms et 10ms, et respectivement pour les gains : 1, afin de figer les étoiles de faible magnitude (polaire, Sirius) et 15 à 20 pour celles de plus forte magnitude. On désire donc ressortir les matrices de correction pour nos différentes valeurs de temps d'exposition et de gain employées lors de nos mesures.
- Vérification de l'écart existant entre le Seeing longitudinal et transversal. En effet lors de notre seconde soirée à St-Luc, nous avions observé un très grand écart entre le Seeing longitudinal et transversal. Celui-ci augmentait au fur et à mesure que l'on approchait de l'horizon (faible écart au zénith, et grand écart proche de l'horizon). Selon Rodolphe Conan, il devrait effectivement y avoir un écart, mais celui-ci ne devrait pas varier en fonction de l'angle d'élévation du télescope.
- Vérification de l'ordre de grandeur du Seeing mesurer avec l'interface DIMM avec une mesure longue pause en pupille complètement ouverte, valeur que nous avions essayé de mesurer sur le site de St-Luc (mais probablement avec une mauvaise mise au point). Ceci a été entrepris afin de valider les diverses fonctions de recherche de barycentres et de mesures du Seeing.
- Vérification de la commande et de la gestion du tracking depuis l'ordinateur. En effet, quelques modifications ont été effectuées entre les deux campagnes. On désire donc vérifier le bon fonctionnement de ces nouvelles routines (choix des étoiles de référence et gestion de la fonction GOTO depuis Matlab)





16.2.21ère nuit (Lu-Ma)

La météo ne nous a malheureusement pas permis de sortir le matériel. Le ciel était complètement couvert.

16.2.3 2ème nuit (Ma-Me)

Dans un premier temps, nous avons installé le télescope vers 15h sur la terrasse de l'observatoire, ceci dans le but d'effectuer la mesure du flat field de la caméra à l'aide du programme expliqué § 9.4. Plusieurs problèmes sont apparus : câblage du télescope et emplacement de la terrasse. Ceci nous a fait perdre passablement de temps. Et, du fait que nous sommes presque en hiver, les nuits tombent très rapidement (vers 17h). Une fois que la mesure était fin prête, le ciel est devenu beaucoup trop sombre afin d'effectuer celle-ci. On en retiendra qu'il faudra effectuer cette mesure le lendemain bien plus tôt (ou prendre moins de temps pour la mise en place du matériel) !

Nous sommes ensuite ressortis vers 20h30 afin d'installer le matériel sur la terrasse de l'observatoire. Un ciel très dégagé était présent. Après la mise en station du télescope, nous avons lancé diverses mesures en observant diverses étoiles et principalement au zénith, ceci dans le but de vérifier l'écart entre le Seeing longitudinal et transversal. Tout comme nos mesures de St-Luc, il réside un léger écart entre le Seeing transversal et longitudinal et celuici est minimum lorsque l'on effectue la mesure au zénith.

Lors de cette soirée nous avons utilisé les diverses commandes du télescope (mise en station, GOTO) depuis Matlab, ceci dans le but de vérifier les diverses fonctions modifiées depuis la campagne de St-Luc.

On remarquera cependant un léger problème au niveau du choix des étoiles de référence : si l'on effectue la mise en station à l'aide d'une, et une seule étoile de référence la fonction GOTO aura une précision très médiocre. L'objet visé ne se trouvera même pas dans le champs de vision défini par l'oculaire. Cependant, si l'on effectue la mise en station à l'aide de deux étoiles de référence, la précision est bien meilleure. Cette précision peut même être augmentée si l'on prend deux étoiles se trouvant à l'opposé (une plein sud, et une seconde plein nord).

Aux alentours de minuit, le vent est presque tombé (0m/s sur la station météo de l'observatoire). Ceci nous a permis de mesurer un Seeing au zénith inférieur à 1 seconde d'arc.

Dans un dernier temps, nous avons refait la mise au point du télescope pour ensuite effectuer des mesures pleines ouverture et ceci en longue pause. Afin de ne pas saturer le CCD nous avons pointer le télescope légèrement à coté d'une étoile sur laquelle nous avons fait une mesure à l'aide de la méthode DIMM mais cette fois-ci d'une magnitude bien supérieure.





Pour terminer l'observation, quelques photos de M41 & M42 ainsi que de Saturne ont été prises à l'aide la Lumenera.



(M41-M42 temps: 8s, gain: 3.7)



(Saturne temps: 1s, gain: 5)

Figure 68 – Photos prises à l'aide de la Lumenera

16.2.43ème nuit (Me-Je)

A 13h15, nous avons ressorti le matériel sur la terrasse afin de faire les diverses mesures du flat field. Il s'agissait d'un après midi complètement dégagé. Ceci nous a permis d'éclairer le CCD uniformément en dirigeant le télescope au zénith. Les diverses valeurs obtenues se trouvent au chapitre 23.2.

Après l'arrivé sur le site de la Jungfrau de F.Wildi (vers 16h), nous avons profité de son aide pour installer le télescope dans le dôme afin d'y effectuer des mesures dans la soirée, ceci dans le but de diminuer les turbulences au niveau de la pupille du télescope et principalement de travailler dans de meilleures conditions (au chaud !).

Après le souper, nous sommes montés à l'observatoire afin de lancer l'application DIMM. Etant donné que le télescope se trouvait dans le dôme, la mise en station a été légèrement plus difficile. En effet, le champ de vision à l'œil étant limité par celui-ci, il est moins évident de trouver les étoiles de références. Lors de l'observation, il faut également prendre en compte le fait qu'il faut faire tourner le dôme (celui-ci n'est pas automatisé) afin de garantir un bon suivi d'étoile.

Nous avons ensuite effectuer des mesures principalement sur 3 étoiles : au zénith, face au vent, et avec le vent. Sur chaque étoile, 3 mesures ont été effectuées (obtention de deux centroïdes à l'aide du wedge, puis en défocalisant et une mesure en pupille ouverte avec une longue pause. Lors de ces diverses mesures, nous avons également fait varier les divers paramètres comme la suppression du dark et l'utilisation des fonctions de seuillage.







16.2.5 Analyse des données - Jungfraujoch

Pour les diverses mesures effectuées au site de la Jungfrau, nous avons choisi d'analyser dans les détails deux datas prises lors de notre 3^{ème} nuit sur le site. Il s'agit de l'observation :

- face au vent sur l'étoile polaire
- dos au vent sur Menkar

Nous avons choisit d'effectuer la deuxième série du mesure sur Menkar étant donné que son élévation était relativement proche de celle de l'étoile polaire.









Figure 69 - Tableau comparatif, analyse de résultats 3^{ème} nuit à la Jungfrau

Si dans un premier temps on se penche sur la valeur moyenne du Seeing, on observe que celui-ci est légèrement meilleur lorsque l'on se trouve dos au vent.

Dans un premier temps, on peut supposer que le Seeing n'est pas le même dans toutes les direction pour une même élévation. Lors de cette soirée une perturbation arrivait sur le site depuis le nord.

Une seconde supposition que l'on peut faire est le fait que lorsque l'on observe face au vent nous sommes en présence d'un écoulement d'air turbulent au niveau de l'ouverture du dôme. Par contre lorsque l'on se trouve dos au vent, l'écoulement est moins turbulent voire laminaire. Ceci reste une supposition au niveau de la mécanique des fluides (nous n'avons pas modéliser la coupole en simulation).

Un écoulement laminaire engendrerait un meilleur Seeing par rapport à un écoulement turbulent.





Tout comme les mesures de St-Luc, on observe toujours un certain offset entre le Seeing transversal et longitudinal. Il se peut qu'il y ait une erreur dans notre algorithme, mais après de multiples vérifications, celui-ci semble correct en fonction de ce que l'on trouve dans la théorie sur le DIMM.

16.3 Conclusion sur le site de la JungFrau

Les observations sur ce site nous ont permis de mettre en évidence une très faible variation lors de l'emploi des fonctions de seuillage. Le même offset (entre Seeing longitudinal et transversal) est remarqué lorsque l'on s'éloigne du zénith.

Comme on le verra au chapitre suivant, la vérification des valeurs obtenues à l'aide de l'interface dimm est fort semblable aux mesures effectuées en mode « longue pause ». En moyenne, le Seeing est moins bon qu'à St-Luc. Ceci peut être probablement expliqué du fait que le vent peut atteindre des vitesses plus élevées étant donné la configuration de la vallée et de son glacier.





17 Vérification de l'ordre de grandeur de nos mesures

Comme nous l'avons vu précédemment, la définition du Seeing est la largeur à mi-hauteur du maximum de l'intensité d'un spot, pour un système générant peu de diffraction. Lors de notre campagne sur le site de la Jungfrau, nous avons effectué diverses acquisitions longues pauses (20-30 secondes) sur des étoiles de très forte magnitude. On peut ensuite déterminer cette valeur de la FWHM à l'aide de photoshop de la manière suivante :

Il suffit de déterminer :

- le fond de ciel
- la valeur maximale du spot

pour ensuite déterminer la largeur du spot à mi-hauteur.

Une fois que l'on connaît cette largeur en nombre de pixels, il est facile à l'aide de la formule vu lors du § 4.5 de déterminer ce que vaut cette largeur en nombre d'arc seconde sur le ciel.

La commande « seuil » se trouvant dans le menu « image » - « réglages » nous permet de déterminer un certain niveau de seuil afin de faire diverses sélections. En déplaçant le « slide bar » on peut déterminer le niveau maximum. Dans l'exemple ci-dessous, celui-ci vaut environ 90 ADU.



Figure 70 – Niveau maximum sur une image longue pause (50 secondes sur une étoile très proche de la polaire)

De la même manière, on détermine le niveau du dark ainsi que du fond de ciel. Pour cette même étoile, on obtient un bruit valant 65 ADU. On peut ensuite soustraire le dark à la valeur maximum :

$$90 - 65 = 25$$
 ADU





Ensuite déterminer le niveau à mi-hauteur à savoir :

$$\frac{25}{2} = 12.5$$
 ADU

Etant donné que nous sommes en présence de nombres entiers, on fixera à 13 ADU la valeur à mi-hauteur. Avant de passer à la suite, il ne faut pas oublier de additionner à nouveau le dark à la valeur à mi-hauteur :

$$12.5 + 65 \approx 13 + 65 = 78$$
 ADU

On peut maintenant, sélectionner 78 dans photoshop comme niveau de seuil et déterminer la largeur à mi-hauteur en nombre de pixels. La tache est légèrement allongée étant donné que le mode tracking du télescope n'est pas parfait.



Figure 71 - Largeur à mi-hauteur de la tache en nombre de pixels

Celle-ci vaut environ 5 pixels. A l'aide de la formule vue au chapitre 4.5, on peut en déduire la valeur du Seeing.

$$5 pixels \cdot 0.5$$
" arc _ par _ pix = 2.5 " d'arc sur le ciel

On rappelle que la valeur du Seeing mesurée avec l'interface DIMM vaut environ 2'' d'arc. Celle-ci varie légèrement en fonction des diverses configurations.

Il faut également rappeler que la mesure longue pause, afin de déterminer le Seeing, n'est pas insensible aux diverses vibrations.

Plusieurs vérifications sur diverses images longue pause ont été effectuées pour en arriver à la conclusion que l'ordre de grandeur de notre interface est vérifié !



18 Possibilité d'évolution pour la suite

Travail de diplôme 05

Bien que l'interface fonctionne dans sa totalité, on peut ajouter de nombreuses améliorations afin de rendre son utilisation encore plus simple voire plus performante. Nous avons dressé une liste de quelques points qui pourraient être améliorés par la suite afin de réaliser un appareil « parfait ».

- Effectuer une **modification du flip mirror** voire en réaliser un second afin de disposer de 3 sorties donc 3 foyers. On pourrait de ce fait choisir à l'aide du miroir sur quelle sortie on envoie les rayons lumineux. La possibilité de commander la rotation du miroir depuis Matlab serait également un avantage afin de rendre l'appareil le plus automatisé possible.
- La création de trois sorties comme décrit au point précédent permettrait d'ajouter non seulement l'oculaire et la caméra de mesure, mais de disposer dans cette configuration d'une **caméra de champ**. Ceci rendrait l'opération de sélection et de centrage d'étoile bien plus facile qu'actuellement.
- Afin d'optimiser au mieux l'automatisation, il serait agréable de pouvoir **commander** l'interface complète à **distance** à l'aide d'Ethernet où, au mieux grâce à Internet. L'ordinateur se trouvant à proximité du lieu de mesure aurait pour tâche d'effectuer la commande du télescope ainsi que le traitement des données. Et, par l'intermédiaire d'un réseaux IP, on pourrait, sous la forme de client, commander l'interface à distance. L'ordinateur serveur aurait également pour tache de générer des pages web comportant les diverses mesures du Seeing, des paramètres météo ainsi qu'un système de base de données permettant de visualiser et d'effectuer des moyennes sur diverses tranches d'heures, de dates ou d'années. Ces pages web seraient évidemment consultable depuis n'importe où dans le monde via la toile.
- Un point intéressant à améliorer serait le fait de pouvoir effectuer du **multitâche**. En effet, lorsque la caméra est en phase d'acquisition de 100 frames, Matlab est aveugle. Cela signifie que l'on ne demande aucune ressource au CPU mais que Matlab est bloqué car une fonction en externe, qui attend les images, est en cours. Il serait alors intéressant de disposer de ce temps pour effectuer le traitement des matrices précédentes. Nous n'avons pas eu le temps de nous pencher plus sur ce problème, mais quelques idées ont été lancées afin de réduire le temps de cycle.
 - Modifier les pilotes de la caméra pour ne pas bloquer Matlab.
 - Tester un système afin d'ouvrir deux Matlab sur le même poste, le premier effectuant l'acquisition d'image et le second le traitement de données.
 - Si ce n'est pas possible, essayer de créer un système où deux postes sont connecté en réseau, de sorte qu'un ordinateur s'occupe de l'acquisition des matrices et du stockage de celles-ci sur le disque dur de l'autre ordinateur par l'intermédiaire de l'Ethernet.
 - Un autre solution consisterait à utiliser le toolbox « multitâche » prévu pour Matlab, toolbox que nous n'avons pas étudié !
- L'optimisation de l'appareil afin de ressortir les vecteurs de vents « type GSM » serait également un grand pas en avant pour notre DIMM
- Un système automatique de sélection d'étoiles proche du zénith.





19 Conclusion

Les objectifs de ce travail de diplôme ont été atteints. En effet, on dispose actuellement d'un appareil basé sur le télescope Meade LX200 étant capable de fournir les divers paramètres tels que : paramètre de Fried et valeur du Seeing.

Après avoir effectué diverses observations et campagne de mesures, on peut affirmer que l'ordre de grandeur de nos valeurs est vérifiée par une seconde méthode de mesure qui consiste à réaliser des images longues pauses.

Il réside néanmoins quelques points à améliorer :

- Le problème lié à l'offset entre le Seeing transversal et longitudinal n'a pas été expliqué.
- La possibilité de déterminer le t₀ ainsi que les vecteurs de vent à l'aide de la 3^{ème} sous ouverture n'a pas été élaborée, bien que celle-ci ait été étudiée lors du travail de semestre.
- Etant donné que nous avons reçu la caméra S-Big relativement tard, celle-ci n'a pas été mise en œuvre sur l'interface DIMM. En effet, le temps prévu selon le planning pour la création de ses pilotes a été sous estimé. Ceci a remis en question la répartition des tâches.

Une liste exhaustive de divers points à améliorer sur l'interface se trouve dans le chapitre précédent de sorte à motiver d'autres personnes à continuer sur le sujet.

Yverdon, le 22 décembre 2005

Sébastien Mamin & Léonard Dal Magro

Signature :





20 Liste des Références

20.1 Bibliographie

Article:

G.S.M : a Grating Scale Monitor for atmospheric turbulence measurements, - Astronomy & Astrophysics, - 173-180 (1994)

CTIO RoboDIMM software Description, A Tokovinin, (2001)

Measuring Astronomical Seeing : The DA/IAC DIMM, - Publications of the Astronomical Society of the Pacific, - Jean Vernin, 265-272 (1995)

The ESO differential image motion monitor, - Astron. Astrophys, 294-300 (1990)

Optical Turbulance On The Antartic Plateau, - School of Physics, - University of New South Wales, (2004)

Littérature :

Chosing and using a CCD camera, - Richard Berry, - Willmann-Bell,Inc Cours de programmation C++ 1ère année, -EIVD, - R. Perrin

20.2 Webographie

http://www.meade.com - Fabricant de télescope http://www.sbig.com - Fabricant de caméra CCD dédiée à l'astronomie http://www.ctio.noao.edu/telescopes/dimm/dimm.html - RoboDIMM http://www.robodimm.com/index.pl/dimm_techspecs - RoboDIMM http://www.astro.washington.edu/rest/dimm - DIMM http://www.astrosurf.com/cavadore/Seeing/monitor_DIMM - DIMM http://www.distrelec.ch - Fournisseur http://www.ofxb.ch - Observatoire Francois Xavier Bagnoud - St-Luc (VS) http://www.ifjungo.ch - Observatoire de la Jungfraujoch





21 Terminologie - CCD

21.1 Light frame

La « light frame » est l'image d'un objet avant que le « dark frame » ait été soustrait.

21.2 Dark current

Le dark current (ou dark noise) est la conséquence de l'échauffement que produit des électrons dans les pixels du CCD lors d'une exposition. Le nombre d'électrons dus à ce courant de noir est lié à deux paramètres : le temps d'intégration et la température du CCD. Plus long est le temps d'intégration, plus grand sera ce bruit de noir. Inversement, plus ce temps sera court et moins il y aura de courant de noir. C'est la raison pour laquelle nous sommes forcé de refroidir le CCD pour de longs temps d'intégration.

Le courant de noir est la source de bruit ayant la plus grande répétitivité et c'est pourquoi il est possible de soustraire ce courant de noir à la « light frame » en prenant des mesures de « dark frame ».

21.3 Dark frame

Le « dark frame » est l'image prise avec l'obturateur (« shutter ») fermé pendant une exposition donnée. Le « dark frame » est soustrait au « light frame » pour éliminer le courant de noir mais il faut que ces deux images aient le même temps d'intégration et la même température (c'est-à-dire que les conditions initiales soient identiques).

21.4 Flat field

Le « flat field » est l'image avec une distribution uniforme de la lumière entrant dans le télescope. Elle est utilisée avec le « CCDOPS » (voir « datasheet » de la S-big) pour corriger l'image du vignettage. Nous avons procédé à l'acquisition d'une série d'images (100) et nous avons cherché la valeur moyenne de chaque pixel. Une fois cela calculé, nous avons déterminé la moyenne globale de l'ensemble des points de la matrice et nous avons divisé chacun des points de la matrice par cette valeur. De ce fait, nous obtenons le gain propre de chaque pixel et ceci s'appelle le « flat field ». Lorsque nous ferons l'acquisition des données, nous diviserons chacune des matrices correspondant à l'image de l'étoile observée par la matrice « flat field ». Nous faisons en quelques sortes une correction des gains de chaque pixel.

21.5 Antiblooming

Lorsque que le CCD a atteint sont maximum de capacité, les électrons peuvent déborder des pixels en saturation sur les pixels adjacents. L'antiblooming peut aider à stopper les électrons (ou en tout cas à diminuer ce phénomène) lorsque qu'il y a des zones en saturation sur le CCD.

21.6 Efficacité quantique

L'efficacité quantique se réfère à la fraction des électrons formés dans les pixels du CCD pour un nombre donné de photons. L'efficacité quantique dépend généralement de la longueur d'onde et surtout de la qualité du CCD (webcam / caméra dédiée à l'astronomie).



21.7 Readout noise

Le « readout noise » est le bruit que l'on a lorsqu'on va relever l'état de chaque pixel à la fin de l'exposition. Il est le résultat du bruit par les liaisons dans le CCD, des charges résiduelles capacitives, des convertisseurs A/D et du préamplificateur.

22 Remerciements

- Alan Holmes, pour ses nombreux conseils sur l'utilisation de la caméra S-Big
- Sébastien Tanniger, pour son aide à la création de fichiers *.mex
- Frédéric Mallmann, pour son soutient lors de notre campagne à St-Luc
- "We acknowledge that the International Foundation High Altitude Research Stations Jungfraujoch and Gornergrat (HFSJG), 3012 Bern, Switzerland, made it possible for us to carry out our experiment at the High Altitude Research Station at Jungfraujoch."




Travail de diplôme 05

23 Annexes

23.1 Check-liste pour les départs en campagne

- □ Le télescope Meade 12''
 - o L'alimentation
 - La raquette de commande
 - Le câble d'alimentation des moteurs
 - Le Flip-miror 2"
 - o L'oculaire
 - Câble de liaison port série télescope (RS-232 RJ11)
- □ Le masque en PVC
 - Les 3 vis en plastique pour la fixation de celui-ci sur le télescope
 - Les supports de wedges avec bagues (nécessaires pour fixer un wedge de diamètre 75mm)
 - Les wedges
- □ La camera Lumenera
 - Son câble de liaison USB
- □ La camera S-Big ST-402
 - Son câble de liaison USB (peut être identique à celui de la Lumenera)
 - L'alimentation 12VDC 1.5A avec jack
- □ Câbles
 - Enrouleur 230V
 - Rack multi-prises
 - o Rallonge USB
- □ Informatique
 - o Ordinateur portable muni du Soft : « DIMM »
 - Son alimentation
 - Une souris, avec carpette
 - Interface USB -> RS232
 - Hub USB 2.0 (muni d'une alimentation externe)
 - Un disque dur externe, avec grande capacité de stockage (100Go)
 - Son alimentation
 - Le câble de liaison
- □ Pratique
 - Lampe de poche frontale (2x) avec piles
 - Cyalumes (bâtons lumineux)
 - Onduleur (dépend du lieu de l'expédition)
 - Batterie chargée
- □ Habillement
 - o Habits très chauds
 - o Gants laissant la possibilité de travailler sur le clavier
 - o Bonnet





23.2 Informations sur les datas prises à ST-Luc

Un programme d'affichage des données a été réalisé dans le but de visualiser les données prises en campagne (« affichage_resultat_stluc.m »).

Les données brutes prises lors de la soirée du *30 novembre au l^{er} décembre* sont sauvegardées dans divers dossier intitulé Data :

Data 1 : Observation sur l'étoile polaire 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 23h00 masque : position horizontale temps d'expo : 10ms gain : 11 sans traitement d'image

Data 2 : Observation sur l'étoile polaire 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 23h30 masque : position horizontale temps d'expo : 10ms gain : 11 sans traitement d'image







Data 3 : Observation sur l'étoile polaire 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 01h50 masque : position horizontale temps d'expo : 10ms gain : 10 sans traitement d'image







Data 4 : Observation sur l'étoile polaire 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure: 2h00 masque : position horizontale temps d'expo : 10ms gain : 10 sans traitement d'image







Data 5 : Observation sur l'étoile polaire 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 2h10 masque : position horizontale temps d'expo : 10ms gain : 10







Data 6 : Observation sur l'étoile polaire 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 2h17 masque : position horizontale temps d'expo : 10ms gain : 10

avec suppression du Dark et seuillage + A affichage_resultats_stluc - 🗆 🗙 Seeing en arcsec 3 2 20 40 45 10 2.5 Seeing en arcsec 2 1.5 10 15 20 25 30 35 40 45 r0 en m ec (valeurs m nnes) ro longi Seeing longi Gain Fonction dark 0.04 2.562 10 🔲 Seuillage Seeing trans r0 trans 0.085 Exposition 10 V Seuillage Seeing 1.633 r0 0.063 Nb im 60 Vedge Durée Temps d'acquisition pour 100 images en sec 2.711 Temps d'acquisition p 8.413 ur 100 i cul du S Temps total de la mesure de toutes les données acquises et dont on a calculé le Seeing avec traite ent de l'image (dark ou/et se 6m27sec Affiche Quitter





Data 7 : Observation sur l'étoile polaire 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 2h26 masque : position horizontale temps d'expo : 5ms gain : 20







Data 8 : Observation sur Sirius 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 2h43 temps d'expo : 5ms gain : 1 masque : position horizontale

sans traitement d'image, car étoile très lumineuse







Data 9 : Observation sur Sirius 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 3h07 temps d'expo : 5ms gain : 1 masque : position verticale







Data 10 : Observation sur Capella (quasi zenith) 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 3h34 temps d'expo : 5ms gain : 3 masque : position verticale sans traitement d'image, car étoile très lumineuse







Data 11 : Observation sur Capella (quasi zenith) 3 ouvertures de 60mm sans les wedges avec défocalisation heure : 4h01 temps d'expo : 5ms gain : 3 sans traitement d'image, car étoile très lumineuse





Du 1^{er} au 2 décembre

Data 2 : Observation sur Capella (proche du zenith) Sans Wedge, avec défocalisation heure : 22h31 masque : position verticale temps d'expo : 6ms gain : 4 avec soustraction du dark acquisition de 100fps

Data 3 :

Observation sur Capella (proche du zenith) Sans Wedge, avec défocalisation heure : 23h08 masque : position verticale temps d'expo : 5ms gain : 5 avec soustraction du dark acquisition de 60fps







Data 4 : Observation sur Capella (proche du zenith) 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 23h24 masque : position verticale temps d'expo : 5ms gain : 5 avec soustraction du dark acquisition de 60fps









Data 5 :

Observation sur Riegel (constellation d'Orion, plus bas que capella) 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 23h41 masque : position verticale temps d'expo : 5ms gain : 4 avec soustraction du dark acquisition de 60fps



Remarque sur la Data 5 : un ratrac est passé proche de l'observatoires pendant l'acquisition. Le Seeing est moins bon car l'on effectue la mesure plus proche de l'horizon.





Data 6 :

Observation sur Riegel (constellation d'Orion, plus bas que capella) 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 23h54 masque : position verticale temps d'expo : 6ms gain : 1 avec soustraction du dark acquisition de 60fps







Data 7 :

Observation sur Bettelgeuse (constellation d'Orion, plus bas que capella) 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 00h12 masque : position verticale temps d'expo : 6ms

gain : 7 avec soustraction du dark acquisition de 60fps







Data 8 : Observation sur Mars (essai ludique) 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 00h22 masque : position verticale temps d'expo : 10ms gain : 10 avec soustraction du dark acquisition de 60fps arr affichage_resultats_stuc

	4	6	8	10 12	14 16
4 3 2 1 2	4	6	8	10 12	14 16
0 en m et seeing en a rolongi r0 trans r0	csec (valeurs moy 0.065 0.03 0.048	vennes) Seeing longi Seeing trans	1.627 3.747 2.255	Paramètres caméra	Avec 10 10 10 50 Fonction dark Seuilage Image: Seuilage Image: Seuilage Image: Seuilage
Durée l'emps d'acquisition po l'emps total de la mesu	ur 100 images en s re de toutes les do	vec 2.711 nnées acquises et dont	Temps d'acqu t on a calculé le Seei	iistion pour 100 images avec calcul du ng avec traitement de l'image (dark ou/	a Seeing en sec 5.647 let seuillage) 1m36sec
			Affick	e r	





Data 9 : Observation sur Aldebaran 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 00h35 masque : position verticale temps d'expo : 9ms gain : 5 avec soustraction du dark acquisition de 60fps







Data 10 : Observation sur l'étoile Polaire (Polaris) 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 01h28 masque : position verticale temps d'expo : 10ms gain : 11 avec soustraction du dark acquisition de 60fps

2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	ffichage_re <mark>s</mark> u	ltats_stluc	:					_
1.5 20 40 60 80 100 120 140 20 40 60 80 100 120 140 20 40 60 80 100 120 140 20 40 60 80 100 120 140 40 60 80 100 120 140 70 120 140 120 140 140 140 140 140 140 140 14								
0.5 20 40 60 80 100 120 140 20 40 60 80 100 120 140 20 40 60 80 100 120 140 20 40 60 80 100 120 140 10 120 120 10 120 120 120 120 120 120 120 120 120 1	1.5				34M		\$. ****	AM.
2 4	0.5	20	40	60	80	100	120	140
0.5 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1		rv Ay	Ver Vive	tint the time	- A-A-A-	saafootArsaat¥	et proven	of the states
r0 en m et seeing en arcsec (valeurs moyennes) ro longi 0.079 Seeing longi 1.303 r0 trans 0.092 Seeing trans 1.133 r0 0.085 Seeing 1.198 Durée Temps d'acquistion pour 100 images en sec 2.711 Temps d'acquistion pour 100 images avec calcul du Seeing en sec 5.647 Temps total de la mesure de toutes les données acquises et dont on a calculé le Seeing avec traitement de l'image (dark ou/et seuillage) Affiche Cutter	0.5	20	40	60	80	100	120	140
r0 trans 0.092 Seeing trans 1.133 Exposition ms 10 Seuilage r0 0.085 Seeing 1.198 Nb images/sec 60 Seuilage + Durée Temps d'acquisition pour 100 images en sec 2.711 Temps d'acquisition pour 100 images avec calcul du Seeing en sec 5.647 Temps total de la mesure de toutes les données acquises et dont on a calculé le Seeing avec traitement de l'image (dark ou/et seuillage) 14m07sec Affiche Guitter	r0 en m et seeing en a ro longi	arcsec (valeurs n 0.079	ioyennes) Seeing longi	1.303	Paramè Gain	ntres caméra1	1	Avec
r0 0.085 Seeing 1.198 Nb images/sec 60 ✓ Wedge Durée Temps d'acquistion pour 100 images en sec 2.711 Temps d'acquistion pour 100 images avec calcul du Seeing en sec 5.647 Temps total de la mesure de toutes les données acquises et dont on a calculé le Seeing avec traitement de l'image (dark ou/et seuillage) 14m07sec Affiche Guitter	r0 trans	0.092	Seeing trans	1.133	Expos	sition ms	0	Seuillage
Durée Temps d'acquisition pour 100 images en sec 2.711 Temps d'acquisition pour 100 images avec calcul du Seeing en sec 5.647 Temps total de la mesure de toutes les données acquises et dont on a calculé le Seeing avec traitement de l'image (dark ou/et seuillage) 14m07sec Affiche Guitter	rO	0.085	Seeing	1.198	Nb ima	ages/sec 6	0	Vedge
Temps d'acquisition pour 100 images en sec 2.711 Temps d'acquisition pour 100 images avec calcul du Seeing en sec 5.647 Temps total de la mesure de toutes les données acquises et dont on a calculé le Seeing avec traitement de l'image (dark ou/et seuillage) 14m07sec Affiche Outter	Durée							
Affiche Quitter	Temps d'acquisition po Temps total de la meso	our 100 images e ure de toutes les	n sec 2.711 données acquises et d	Temps d'ac	quisition pour 100 eing avec traiteme	images avec calcul du nt de l'image (dark ou/	Seeing en sec et seuillage)	5.647 14m07sec
Guitter				Affi	che			
				Qui	ter			





23.3 Informations sur les data prises à la Jungfrau

Un programme d'affichage des données a été réalisé dans le but de visualiser les données prises en campagne (« affichage_resultat.m »). Il diffère légèrement au niveau de la prise en charges automatiques des paramètres.

Les diverses données de la nuit du 13 décembre au 14

Data 1 : Observation sur l'étoile polaire 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 21h02 temps d'expo : 5ms gain : 20 avec fonction dark, seuillage + et wedge ✓ affichage_resultats







Data 2 : Observation sur Almaak 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 22h07 temps d'expo : 5ms gain : 23 avec fonction dark, seuillage + et wedge



Remarques : le vent est plus faible que lors de la mesure précédente et on constate une amélioration sur le Seeing.





Data 3 :

Observation sur Sirius (relativement proche de l'horizon) 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure :22h32 temps d'expo : 1.5ms gain : 3 avec fonction dark et wedge



Remarques : le Seeing est devenu très mauvais. Sirius a un angle d'élévation très faible, on se trouve très proche de l'horizon. Il est alors normal que le Seeing soit mauvais. On constate également un scintillement de cette étoile même lorsqu'on l'observe à l'œil nu.

On remarque également un énorme offset entre le Seeing transversal et longitudinal.





Data 4 : Observation sur Riegel 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 22h46 temps d'expo : 3ms gain : 3.6 avec fonction dark, seullage + et wedge



Remarques : le Seeing est légèrement meilleur que la mesure précédente (on se rapproche légèrement du zenith) mais relativement mauvais en général. Le vent est toujours relativement fort.





Data 5 : Observation sur Capella 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 23h02 temps d'expo : 4ms gain : 4.1 avec fonction dark, seuillage + et wedge



Remarques : le Seeing est relativement bon (environ 1.6'' d'arc). Ceci est probablement dû au fait que l'on se trouve quasi au zénith. Il réside néanmoins un léger décalage entre le Seeing transversal et longitudinal (0.2'' d'arc)





Data 6 : Observation sur Capella 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 23h14 temps d'expo : 4ms gain : 4.1 avec fonction dark, et wedge



Remarques : les paramètres sont identiques que ceux pris lors de la mesure précédente mise à part de la suppression de la fonction seuillage +. On observe alors une très légère augmentation de la moyenne (1.608 à 1.609'' d'arc). Il s'agit plus d'un écart dû à l'incertitude de mesure qu'une variation due à la fonction seuillage +





Data 7 : Observation sur Capella 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 23h25 temps d'expo : 4ms gain : 4.1 affichage_resultats



Remarques : le Seeing a tendance à être meilleur que pour la mesure précédente. On peut expliquer ceci car on a supprimé la fonction dark. La variance est légèrement plus faible et l'on a tendance à donner moins d'importance aux pixels définissant le spot.





Data 8 : Observation sur Capella 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 23h50 temps d'expo : 4ms gain : 4.2 avec fonction dark, seuillage + et wedge



Remarques : Le but de cette mesure est d'effectuer une mesure de plus longue durée (environ 15min). Les paramètres sont identiques que Data5, et l'on se trouve dans le même ordre de grandeur pour le Seeing. Respectivement 1.69''d'arc et 1.608''d'arc précédemment. La mesure a été terminée par une sortie du spot du CCD. Mauvais tracking de la part du télescope.





Data 9 : Observation sur Betelgieuse 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 00h50 temps d'expo : 5ms gain : 5.2 avec fonction dark, seuillage + et wedge



Remarques : on constate toujours un offset entre le Seeing transversal et longitudinal d'environ 1" d'arc.





Data 10 : Observation sur Betelgieuse 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 01h00 temps d'expo : 5ms gain : 5.2 avec fonction dark, et wedge



Remarques : en comparant à la Data 9, on a juste supprimé l'effet de la fonction seuillage +. Ceci a eu pour effet de faire tomber la moyenne du Seeing de 2.2 à 1.85" d'arc. Il est malheureusement impossible d'affirmer qu'il s'agisse vraiment de l'effet de la fonction « seuillage » mais cela ne serait pas étonnant. Le Seeing a peut-être aussi probablement varié !





Data 11 : Observation sur Betelgieuse heure : 01h07 temps d'expo : 5ms gain : 5.2 avec fonction dark, et seuillage +, SANS wedge



Remarques : après avoir supprimé le wedge et effectuer une défocalisation des divers faisceaux pour obtenir deux taches au niveau du CCD, on constate une nette amélioration du Seeing par rapport à le mesure précédente (1.84 à 0.9'' d'arc). Il est difficile d'affirmer que cette variation est due à la non présence du wedge étant donné que l'on ne peut pas savoir s'il y a eu effectivement une variation du Seeing entre les deux mesures !





Data 12 : Observation sur Betelgieuse heure : 01h15 temps d'expo : 5ms gain : 5.2 avec fonction dark, et seuillage +, SANS wedge 📣 affichage_resultats - 🗆 🗙 Seeing en arcsec 1. 0 46 Seeing en arcsec 1.3 0.8 10 30 45 r0 en m ies) Param · (valeur ro long Seeing long Fonction dar Gain 0.133 0.779 5.2 C Seuillage Seeing trans r0 trans 0.132 Expositi 5 0.133 0.77 r0 Seeing 60 Wedge Durée Temps d'acquisition pour 100 images en sec 3.703 Temps d'acquisition p 4.538 ul du S Temps total de la mesure de toutes les données acquises et dont on a calculé le Seeing avec traite nt de l'ir 3m56sec Affiche Quitter

Remarques : Les paramètres sont identiques à la mesure précédente, mise à part la suppression de la fonction seuillage +. La valeur du Seeing a légèrement varié ! (0.9 à 0.8'' d'arc)

Dal Magro Léonard





Les diverses données de la nuit du 14 décembre au 15

Data 1 : Observation sur Algol 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 22h09 temps d'expo : 8ms gain : 21 avec fonction dark, seuillage + et wedge ✓ affchage_resultats



Remarque : cette étoile se situe presque au zénith.





Data 2 : Observation sur Algol 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 22h17 temps d'expo : 8ms gain : 21 avec fonction dark et wedge



Remarque : les divers paramètres de mesures sont identiques hormis le seuillage +. La valeur moyenne du Seeing a légèrement augmenté.





Data 3 : Observation sur Algol heure : 22h32 temps d'expo : 8ms gain : 21 avec fonction dark et SANS wedge affichage_resultats - 🗆 🗙 Seeing en arcsec 4 3 Seeing en arcsec 3 2 40 10 20 30 50 60 r0 en m e ec í valeur nnesì Paramètres car ro long Seeing long Gain Fonction dar 0.036 2.865 21 Seeing trans г Seuilla r0 trans 0.058 1.831 Exposit 8 0.047 r0 Seeing 2.208 60 Durée Temps d'acquisition pour 100 images en sec 2.738 Temps d'acquisition p cul du Se 5.46 Temps total de la mesure de toutes les données acquises et dont on a calculé le Seeing avec traiter ent de l'image (dark owet 5m44sec Affiche Quitter

Remarque : on observe une légère variation du Seeing en passant en mode « sans wedge, avec défocalisation » (2.6 à 2.7'' d'arc). La variation est moins importante que celle observée lors du soir précédent lors de la suppression du wedge. Ce qui est rassurant !





Data 4 : Observation sur l'étoile Polaire 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 23h22 temps d'expo : 6ms gain : 19.1 avec fonction dark et wedge



Remarque : lors des observations sur l'étoile polaire, on se trouve face au vent.





Data 5 : Observation sur l'étoile Polaire 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 23h43 temps d'expo : 6ms gain : 19.1 avec fonction dark, seuillage + et wedge






Data 6 : Observation sur l'étoile Polaire heure : 23h58 temps d'expo : 8ms gain : 21 avec fonction dark, SANS wedge affichage_resultats







Data 7 : Observation sur l'étoile Polaire heure : 00h04 temps d'expo : 8ms gain : 21 avec fonction dark, avec seuillage + et SANS wedge







Data 8 : Observation sur Menkar 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 00h41 temps d'expo : 8ms gain : 20.9 avec fonction dark, et wedge



Remarque : après avoir effectuer diverses mesures sur l'étoile polaire, on a choisit de passer sur Menkar étant donné que l'on observait le vent dans le dos, avec une élévation proche de celle de la polaire.





Data 9 : Observation sur Menkar 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 00h48 temps d'expo : 8ms gain : 20.9 avec fonction dark, seuillage + et wedge







Data 10 : Observation sur Capella 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 01h15 temps d'expo : 5ms gain : 4.3 avec fonction dark, et wedge







Data 11 : Observation sur Capella 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 01h20 temps d'expo : 5ms gain : 4.3 avec fonction dark, et wedge







Data 12 : Observation sur Capella 1 ouverture munie du wedge à 45 secondes d'arc (Melles-Griot) + 1 sans Wedge heure : 01h31 temps d'expo : 5ms gain : 4.3 avec fonction dark, seuillage + et wedge







23.4 Plan du masque



23.5 Divers

- Affiche pour la présentation du 20 janvier
- Mode d'emploi des diverses functions Matlab de commande Lumenera
- Utilisation des fichiers *.mex et ses applications (S. Tanniger)
- Mode d'emploi des diverses fonctions en C de la caméra S-Big
- Mode d'emploi du télescope Meade LX200 12"