

# REVUE DE PROJET

## 21 Octobre 2004

<i>Préparé par</i>	<i>Signature</i>
<p><i>Names:</i>  Francois Bouchy, Claudine Carol, Denis Gillet,  Lucien Hill, Sergio Ilovaisky, Gerard Knispel,  Mourad Merzougui, Jean-Pierre Meunier,  Sandrine Perruchot, Xavier Regal,  Pierre Richaud, Yoann Richaud, Rico Sottile</p> <p><i>Date : 12/10/2004</i></p>	
<i>Approuvé par ::</i>	<i>Signature</i>
<p><i>Name: Lucien Hill</i></p> <p><i>Date : 12/10/2004</i></p>	

## Fiche d'évolution

Date	Edition	Révision	Modification	Pages concernées
12/10/2004	01	00		



REF : OHP.PJT.SOP.RAP.041012\_01

Version : 01 Révision 00

DATE : 12/10/04 Page 3/78



## Liste de distribution

Institut	Nom	1/0												
OHP	Böer M.	X												
OHP	Bouchy F.	X												
OHP	Carol C.	X												
OHP	Chaillan M.	X												
OHP	Gillet D.	X												
OHP	Guyot S.	X												
OHP	Hill L.	X												
OHP	Ilovaisky S.	X												
LAM	Laloge A.	X												
Obs. Genève	Mégevand D.													
OHP	Merzougui M.	X												
OHP	Meunier J.P.	X												
LAM	Moreaux G.	X												
OHP	Payen J.	X												
LAM	Perruchot S.	X												
OHP	Regal X.	X												
OHP	Richaud P.	X												
OHP	Richaud Y.	X												
LAM	Sivan J.P.	X												
Obs. Genève	Sosnowska D.													
OHP	Sottile R.	X												
Obs. Genève	Udry S.													
OHP	Vialle C.	X												

## Table des matières

<b>1. MOTIVATIONS SCIENTIFIQUES .....</b>	<b>8</b>
1.1 LES OBJECTIFS SCIENTIFIQUES .....	8
1.1.1 <i>Les planètes extrasolaires</i> .....	8
1.1.2 <i>L'astérosismologie</i> .....	10
1.1.3 <i>L'astrophysique des atmosphères stellaires</i> .....	11
1.1.4 <i>Autres objectifs</i> .....	11
1.2 LES SPÉCIFICATIONS RECHERCHÉES .....	11
1.2.1 <i>Planètes extra solaires</i> .....	11
1.2.2 <i>Astérosismologie</i> .....	12
1.2.3 <i>Etude des atmosphères</i> .....	12
1.3 COMPARAISONS AVEC D'AUTRES SPECTROGRAPHES ACTUELS .....	13
<b>2. INSTRUMENT.....</b>	<b>14</b>
2.1 OPTIQUE .....	14
2.1.1 <i>Optique principale</i> .....	14
2.1.1.1 Généralités.....	14
2.1.1.2 Remarques du comité de revue du 8 Juillet 2003 .....	16
2.1.1.2.1 Solution alternative avec réseau VPH.....	16
2.1.1.2.2 Déformation du miroir plan .....	16
2.1.1.2.3 Réalisation lame de Schmidt.....	16
2.1.1.3 Ensemble collimateur chambre.....	16
2.1.1.3.1 Spécifications.....	16
2.1.1.3.2 Etat d'avancement et planning de réalisation .....	16
2.1.1.4 Eléments dispersifs.....	17
2.1.1.4.1 Prisme .....	17
2.1.1.4.1.1 Spécifications techniques .....	17
2.1.1.4.1.2 Etat d'avancement et planning de réalisation.....	17
2.1.1.4.2 Réseau Echelle.....	17
2.1.1.4.2.1 Spécifications techniques .....	17
2.1.1.4.2.2 Etat d'avancement et planning de réalisation.....	18
2.1.1.5 Transmission .....	18
2.1.1.5.1 Traitements de surface anti-reflet .....	18
2.1.1.5.2 Traitements de surface réfléchissant .....	19
2.1.1.5.3 Transmission globale.....	19
2.1.1.5.3.1 Transmission spectrographe.....	19
2.1.1.5.3.2 Performances globales attendues.....	20
2.1.2 <i>Posemètre</i> .....	20
2.1.2.1 Généralités.....	20
2.1.2.2 Principe optique de prise de lumière.....	20
2.1.2.3 Photomultiplicateur .....	21
2.1.2.4 Fonctionnement du posemètre .....	21
2.1.2.5 Etat d'avancement.....	22
2.1.3 <i>Train de fibres</i> .....	22
2.1.3.1 Description .....	22
2.1.3.2 Etat d'avancement.....	22
2.2 MÉCANIQUE.....	24
2.2.1 <i>Présentation</i> .....	24
2.2.2 <i>Structure granit</i> .....	25
2.2.3 <i>Support des miroirs</i> .....	25
2.2.3.1 Montage du miroir sphérique.....	25
2.2.3.2 Montage du miroir plan percé.....	27
2.2.4 <i>Cuve étanche</i> .....	27
2.2.4.1 Description de la cuve .....	27
2.2.4.2 Montage lame de Schmidt .....	28
2.2.4.3 Montage prisme .....	29
2.2.4.4 Montage réseau échelle .....	29

2.2.5	Montage de l'ensemble de détection.....	30
2.2.6	Posemètre.....	30
2.2.7	Entrée de fibres et obturateur .....	31
2.3	ENSEMBLE DE DÉTECTION.....	31
2.3.1	CCD .....	31
2.3.2	Refroidissement du CCD.....	32
2.3.3	Contrôleur.....	32
<b>3.</b>	<b>INFORMATIQUE .....</b>	<b>33</b>
3.1	INTRODUCTION .....	33
3.1.1	Généralités .....	33
3.1.2	Contexte .....	33
3.2	ARCHITECTURE LOGICIELLE GÉNÉRALE .....	33
3.3	DESCRIPTION DES DIFFÉRENTS LOGICIELS.....	35
3.3.1	Logiciel de commande.....	35
3.3.2	Logiciel Télescope.....	39
3.3.3	Logiciel Guidage.....	39
3.3.4	Logiciel CCD .....	40
3.3.5	Logiciel observateur.....	42
3.3.6	Logiciel réduction .....	43
3.3.7	Sauvegarde des données.....	44
3.3.8	Archivage .....	45
<b>4.</b>	<b>IMPLANTATION ET ENVIRONNEMENT .....</b>	<b>46</b>
4.1	AMÉNAGEMENTS .....	46
4.1.1	Lieu d'implantation .....	46
4.1.2	Disposition de la salle.....	46
4.2	RÉGULATION THERMIQUE .....	49
4.2.1	Dimensions du caisson et déperdition.....	50
4.2.2	Constante de temps de refroidissement ou de réchauffement de l'air intérieur. Réponse aux perturbations.....	50
4.2.3	Puissances de régulation.....	50
4.2.4	Cryostat.....	51
4.2.5	Contrôle des températures et de la pression atmosphérique.....	51
4.3	TÉLESCOPE .....	51
4.3.1	Bonnette .....	51
4.3.1.1	Interface train de fibre .....	52
4.3.1.2	Interface électronique .....	52
4.3.1.2.1	Introduction .....	52
4.3.1.2.2	Adaptation de l'électronique de commande.....	53
4.3.2	Coordonnées télescope.....	54
4.3.2.1	Introduction .....	54
4.3.2.2	Le nouveau système. ....	54
4.3.3	Plan de mise à niveau .....	54
<b>5.</b>	<b>PLAN DE VALIDATION ET D'INTEGRATION .....</b>	<b>55</b>
5.1	VALIDATION DE L'OBTURATEUR .....	55
5.2	VALIDATION DE LA BONNETTE.....	55
5.2.1	Historique et remarques générales .....	55
5.2.2	Validation.....	55
5.3	VALIDATION DE LA RÉGULATION THERMIQUE) .....	55
5.4	VALIDATION DES SOUS SYSTÈMES .....	56
5.4.1	Le contrôleur.....	56
5.4.2	Recette des CCD .....	56
5.5	RECETTE DES COMPOSANTS OPTIQUES .....	57
5.5.1	Optique principale .....	57
5.5.2	Réseau échelle.....	57
5.5.3	Trains de fibres .....	57
5.6	INTÉGRATION DE L'INSTRUMENT.....	57

	 <p><b>OBSERVATOIRE DE HAUTE-PROVENCE</b></p>	<p><b>REF : OHP.PJT.SOP.RAP.041012_01</b></p> <p><b>Version : 01 Révision 00</b></p> <p><b>DATE : 12/10/04 Page 6/78</b></p>
--	---	--

5.7	VALIDATION DE L'INSTRUMENT COMPLET.....	57
<b>6.</b>	<b>EXPLOITATION SCIENTIFIQUE.....</b>	<b>57</b>
6.1	DESCRIPTION DES MODES D'OBSERVATIONS.....	57
6.1.1	<i>Les types d'observations.....</i>	58
6.1.2	<i>Les modes d'observations.....</i>	58
6.1.3	<i>Configuration de l'instrument.....</i>	58
6.1.4	<i>Classification des Templates.....</i>	60
6.1.5	<i>Descripteurs des images FITS.....</i>	61
6.2	MODE OPÉRATOIRE.....	61
6.3	PERFORMANCES.....	61
6.4	ARCHIVAGE.....	61
6.5	BASE DE DONNÉES.....	62
<b>7.</b>	<b>ORGANISATION.....</b>	<b>64</b>
7.1	PHASE DE RÉALISATION.....	64
7.1.1	<i>Généralités.....</i>	64
7.1.2	<i>Ressources Humaines.....</i>	64
7.1.3	<i>Organigramme fonctionnel.....</i>	66
<b>8.</b>	<b>BUDGET.....</b>	<b>67</b>
8.1	BILAN DU FINANCEMENT.....	67
8.1.1	<i>Année 2002.....</i>	67
8.1.2	<i>Année 2003.....</i>	67
8.1.3	<i>Année 2004.....</i>	68
8.1.4	<i>Total des crédits au 11 octobre 2004.....</i>	68
8.2	BILAN DES ENGAGEMENTS AU 11 OCTOBRE 2004.....	68
8.3	BUDGET PRÉVISIONNEL DES DÉPENSES.....	69
8.4	BILAN AU 11 OCTOBRE 2004.....	69
8.5	COMPLÉMENT DE FINANCEMENT.....	69
8.6	MAINTENANCE.....	69
<b>9.</b>	<b>PLANNING.....</b>	<b>70</b>
9.1	CRITICITÉ DES APPROVISIONNEMENTS.....	70
9.2	CRITICITÉ EN TERME DE RESSOURCES HUMAINES.....	70
9.3	MISE À JOUR DU PLANNING.....	70
<b>10.</b>	<b>GESTION DE LA DOCUMENTATION.....</b>	<b>76</b>

## Liste des Figures

Figure 1. Diagramme des exoplanètes.....	9
Figure 2. Schéma optique .....	14
Figure 3. Vue isométrique des éléments optiques .....	15
Figure 4. Comparaison des efficacités.....	17
Figure 5. Réflexion typique des traitements AR (Optical surfaces) .....	18
Figure 6. Traitement réfléchissant argent DENTON (valeurs mesurées sur les miroirs ESPADON) .....	19
Figure 7. Schéma optique du posemètre. ....	21
Figure 8. Empreinte des faisceaux.....	21
Figure 9. Dessin de mise en place des différents éléments .....	24
Figure 10. Vue en coupe de l'ensemble .....	24
Figure 11. Dessin de la structure.....	25
Figure 12. Dessin du montage du miroir sphérique .....	26
Figure 13. Dessin du montage du miroir plan percé .....	27
Figure 14. Dessin de la cuve.....	28
Figure 15. Dessin du montage de la lame de Schmidt .....	28
Figure 16. Dessin du montage du prisme .....	29
Figure 17. Dessin du montage réseau.....	29
Figure 18. Dessin de l'ensemble de détection.....	30
Figure 19. Dessin de l'implantation de l'entrée de fibres.....	31
Figure 20. Architecture informatique SOPHIE .....	34
Figure 21. Simulation du modèle optique .....	44
Figure 22. Dessin d'ensemble de la salle d'observations .....	47
Figure 23. Coupe du support du spectrographe .....	49
Figure 24. Synoptique de fonctionnement de la commande de bonnette .....	52
Figure 25. Raccordement du PC à l'électronique de commande.....	53

## INTRODUCTION

### 1. MOTIVATIONS SCIENTIFIQUES

Lors de sa mise en service en 1994, le spectrographe ÉLODIE, au foyer du télescope de 193 cm de l'OHP, était l'un des rares instruments au monde capable de détecter la présence de grosses planètes autour des étoiles. En 1995, la découverte par M. Mayor et D. Queloz de la première planète extrasolaire (51 Pegb) avec ÉLODIE a constitué un événement mondial majeur. ÉLODIE a aussi été un instrument dont les performances ont permis de mener des études d'astérosismologie et une large gamme d'études originales d'astrophysique stellaire. Toutefois, sa faible transmission ( $< 1\%$ ) et quelques autres limitations d'ordre plus technique, nous ont conduit à repenser un nouveau projet plus performant.

Les travaux réalisés à l'OHP sur l'Accéléromètre Astronomique Absolu, les efforts considérables accomplis pour la conception et la réalisation du spectromètre HARPS, la demande insistante des utilisateurs d'ÉLODIE pour reculer les limites de ce spectrographe, l'action de prospective instrumentale menée par le PNPS et la récente prospective scientifique de l'INSU de la Colle sur Loup sont autant de facteurs qui ont conduit les équipes techniques et scientifiques de l'OHP à une réflexion en profondeur sur ce que pourrait être au 193 l'après-ÉLODIE. De là est né le projet SOPHIE. Ce spectrographe peut être considéré comme un "super-ÉLODIE", de même qu'ÉLODIE avait été initialement baptisé "super-CORAVEL" en référence au spectromètre CORAVEL dont il reprenait le principe. Il peut aussi être considéré comme constituant la contre-partie Nord du spectrographe HARPS.

Une des principales faiblesses du spectrographe ÉLODIE est sa faible efficacité: inférieure au 1 %. Avec une transmission totale qui devrait se situer entre 4 et 9 %, dépendant de la longueur d'onde et du mode de résolution choisi, SOPHIE atteindra ce que l'on peut espérer faire actuellement de mieux. Ainsi SOPHIE permettra d'améliorer d'environ 2.5 magnitudes la magnitude limite d'ÉLODIE ! Ce progrès est colossal car il permettra aux observateurs d'augmenter considérablement l'échantillon des objets d'intérêt et ceci quel que soit le domaine étudié. En outre, on espère gagner un facteur 2,5 à 3 par rapport à ÉLODIE sur la précision en mesure de vitesse radiale (On atteint actuellement 5 à 6 m/s avec ÉLODIE sur le long terme grâce à de récentes améliorations des algorithmes de traitement).

#### 1.1 Les objectifs scientifiques

Les objectifs scientifiques de SOPHIE se répartissent suivant les trois axes suivants :

- les planètes extrasolaires
- l'astérosismologie
- l'astrophysique des atmosphères stellaires

##### 1.1.1 Les planètes extrasolaires

Neuf ans après la découverte de 51 Pegb, plus d'une centaine d'exoplanètes (voir Figure 1) ont été détectées par la mesure de vitesse radiale stellaire de haute précision (quelques mètres par seconde). Aujourd'hui, tout le monde s'accorde à penser que la détection et l'étude des planètes extrasolaires est l'un des domaines les plus exaltants et les plus prometteurs de l'astronomie du début du troisième millénaire.

Le programme de recherche d'exoplanètes autour d'étoiles de type solaire commencé en 1994 par Mayor et Queloz, continue au foyer du 193 de l'OHP, à raison de 7 nuits par mois, dans le cadre d'une collaboration franco-suisse.



C'est à ce jour près de 30 planètes qui ont été découvertes avec ÉLODIE. Ce programme a son pendant dans l'hémisphère Sud avec CORALIE (copie d'ÉLODIE) au foyer du télescope genevois de 1,20 m de La Silla. Depuis début 2003 au 3,6 m de l'ESO, HARPS permet de donner à ce programme des performances accrues. À la suite d'ÉLODIE, SOPHIE sera dans l'hémisphère Nord le seul instrument français dédié aux exoplanètes.

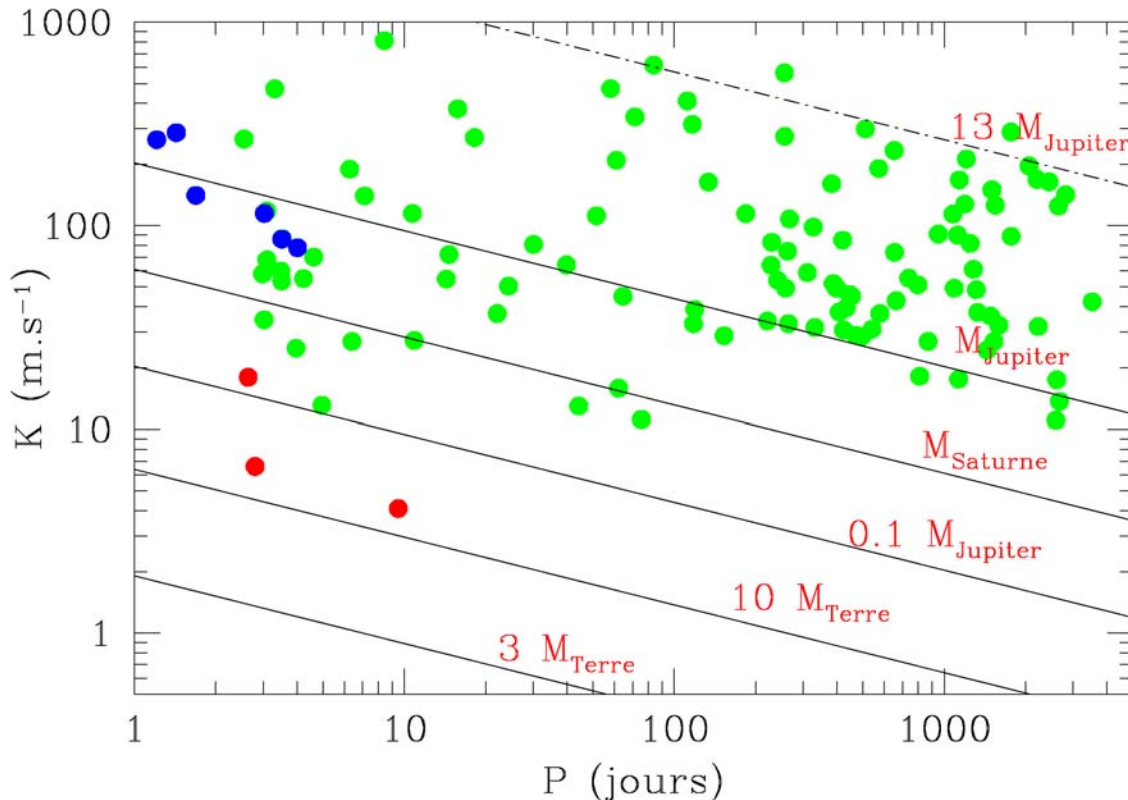


Figure 1. Diagramme des exoplanètes

*Cette figure représente les 130 exoplanètes détectées à ce jour dans le plan (K,P), K étant la semi-amplitude en vitesse radiale et P la période orbitale. Les lignes iso-masse ont été calculées pour une étoile de 1 masse solaire (et un plan orbital parallèle à la ligne de visée). Les points bleus correspondent aux exoplanètes détectées par transits photométriques et caractérisées par vitesse radiale, les points rouges correspondent aux récentes annonces de super-terres.*

Une année de fonctionnement de HARPS a permis de mettre en évidence les aspects suivants: HARPS bute littéralement sur la limite stellaire et plus spécifiquement sur l'activité sismique des étoiles de type solaire (voir Mayor et al. 2003, Messenger, 114). L'environnement thermo-mécanique de HARPS semble avoir été surdimensionné car la dérive de l'instrument ne dépasse pas 1 m/s par nuit. Cela signifie que pour certains programmes, le thorium simultané n'est même plus utilisé. La nouvelle stratégie de mesure mise en oeuvre sur mu Arae (Santos et al. 2004. astro-ph/0408471), qui consiste à moyenniser l'activité sismique de l'étoile, a permis de décrocher la première planète de type super-terre.

Ces éléments sont très encourageants pour SOPHIE, d'une part l'instrument ne nécessite pas un environnement thermo-mécanique aussi poussé que sur HARPS, de plus les super-terres existent et SOPHIE doit se positionner rapidement dans ce créneau tout frais.

Dans l'hémisphère Nord les américains viennent de constituer un large consortium (le consortium N2K - voir Fisher et al 2004. [astroph/0409107](#)) qui inclue le Keck, Magellan et Subaru. Ce consortium vient de démarrer un programme qui consiste à observer un échantillon de 14000 étoiles de type solaire pour sélectionner les plus métal-riche. La précision actuelle de ces instruments est de l'ordre de 3 à 5 m/s. ELODIE ne peut plus faire face à cette compétition. SOPHIE pourra par contre jouer la carte des petites masses en visant la précision de 1 à 2 m/s.

Récemment des planètes extra-solaires ont été détectées par transit photométrique par le programme OGLE et confirmées et caractérisées grâce aux suivi en vitesses radiales (voir Bouchy et al. 2004, A&A, 421, L13). Le suivi Doppler des programmes photométriques est indispensable pour distinguer les ambiguïtés (binaires rasantes, transit d'étoile de faible masse, etc.) et mesurer la masse exacte des exoplanètes. Le satellite COROT, qui sera lancé fin 2006, nécessitera un très important suivi Doppler : 100 nuits CORALIE et 50 nuits HARPS sont d'hors et déjà garanties pour le suivi COROT. Nous estimons qu'il faudra les compléter par 200 nuits SOPHIE. SOPHIE s'inscrit par conséquent comme un complément indispensable et fondamental pour le succès du satellite COROT.

Ainsi, en ce qui concerne le programme exoplanétaire, les gains en magnitude et en précision de vitesse permettront :

- d'élargir l'échantillon d'étoiles actuellement observé (~ 2000 étoiles en plus),
- de poursuivre la recherche des planètes "longue période" commencée sur ELODIE,
- de détecter des planètes de masses plus faibles (Neptune chauds et super-terres),
- de détecter des systèmes multiples dans les systèmes à planètes connus,
- d'effectuer un suivi rigoureux de la stabilité des orbites des Jupiters chauds,
- de focaliser sur un sous échantillon d'étoiles riches en métaux,
- de poursuivre et d'étendre la recherche d'exoplanètes autour des naines M,
- de caractériser la masse des objets détectés par transits photométriques,
- de réaliser le suivi des candidats COROT,
- de préparer les futurs programmes d'interférométrie sols (VLTi) ou spatiaux (DARWIN).

### 1.1.2 L'astérosismologie

La physique de l'intérieur des étoiles est assez mal connue. Ceci se traduit par une incertitude sur les modèles de structure interne et sur les modèles d'évolution stellaire, par conséquent sur tous les domaines de l'astrophysique qui utilisent ces résultats. La sismologie est un outil très performant pour sonder l'intérieur des étoiles. Elle apporte ainsi des contraintes indispensables sur la structure interne. Cette méthode « l'héliosismologie » est utilisée sur le Soleil et fournit des informations pertinentes sur la structure interne (rotation interne, taille de la zone convective...). La sismologie stellaire est actuellement en plein essor. Des détections d'oscillations stellaires ont été effectuées par mesure de vitesse radiale avec ÉLODIE, CORALIE et HARPS. Le satellite photométrique MOST a récemment montré son inefficacité pour déceler les modes p de Procyon (Matthews, et al., 2004, Nature, 430, 51) malgré plus de 700 heures d'observation alors que quelques heures sur HARPS suffisent (Bouchy et al., 2004, Nature, in press). Néanmoins il est quasi impossible de mener sur HARPS de longues campagnes d'astérosismologie compte tenu de la forte pression du 3.6-m. A ce jour seulement 1 campagne de 6 à 9 nuits a pu être réalisé par semestre. La possibilité pour la communauté française de disposer d'un spectrographe d'accès facile, de haute stabilité et de haute précision, sera un atout majeur fondamental pour l'astérosismologie. Alors qu'ÉLODIE ne permettait que de mener ce type d'étude sur une poignée d'objets, SOPHIE pourra sonder les intérieurs stellaires sur un échantillon significatif d'étoiles brillantes de type solaire (soit une cinquantaine d'objets

jusqu'à la magnitude 6). SOPHIE permettra ici aussi de compléter judicieusement le satellite COROT dédié pour moitié à l'astérosismologie sur une poignée d'étoile de type solaire.

### 1.1.3 L'astrophysique des atmosphères stellaires

L'étude des atmosphères stellaires permet aujourd'hui grâce d'une part au développement considérable de la qualité et de la sensibilité des spectrographes à haute résolution spectrale et au surcroît de puissance énorme des calculateurs d'autre part, de réaliser des observations de très grande finesse et des modèles permettant une comparaison de l'ordre du "1%". Ainsi le domaine de la dynamique des atmosphères stellaires, comme par exemple les mouvements non-linéaires dans les AGB ou post-AGB et le problème fondamental de l'origine de leur perte de masse, est depuis quelques années en plein développement comme le démontrent les nombreux colloques internationaux consacrés à ce thème. En particulier, l'observation précise de l'évolution de profils de raie à haute résolution spectrale (70'000) sera déterminante pour la compréhension des phénomènes physiques survenant dans l'ensemble de ces objets. Les études d'abondances ou l'étude fine des raies formées dans des conditions physiques plus « statiques » à partir d'une bonne « photométrie d'extraction de l'information CCD » connaîtront également un gain très appréciable dans ce domaine de recherche.



### 1.1.4 Autres objectifs

Les études des atmosphères "statiques" comme celles des naines brunes ou celles d'échantillons stellaires dédiés à la préparation de la mission spatiale COROT, ont largement bénéficié de la présence d'ÉLODIE sur un télescope aussi "accessible" que le 1,93 m. Il est certain que SOPHIE permettra d'élargir amplement la qualité et la richesse des échantillons puisque sa magnitude limite sera très notablement augmentée. Des études majeures seront donc de nouveau envisageables dans ce domaine de la physique stellaire. D'autre part, comme l'ont bien démontré les derniers colloques internationaux de l'IAU dédiés à la physique et à la dynamique des atmosphères stellaires, les études basées sur la spectroscopie à haute résolution spectrale ( $R > 40000$ ) et disposant d'un nombre de nuits appréciables étalées sur quelques semaines ou sur quelques mois, seront déterminantes pour comprendre les nombreux processus physiques souvent nonlinéaires et nonadiabatiques qui y surviennent. Ce type d'observations ne pouvant être réalisées sur les grands télescopes (classes 4 m, 8 m, etc.), seuls des 2 m pourront répondre à cette demande de plus en plus pressante de la communauté internationale. Il en est de même pour le suivi de nombreux objets variables comme les sources X par exemple. Ainsi, SOPHIE, avec un gain en magnitude limite d'environ 2.5 par rapport à ÉLODIE, permettra de mettre en place un très grand nombre de nouveaux programmes stellaires qui étaient impossible avec ÉLODIE ou sur d'autres instruments de grande efficacité comme FEROS au Chili à cause de leur facteur de pression énorme.

## 1.2 Les spécifications recherchées

### 1.2.1 Planètes extra solaires

- Précision Doppler:  $< 3$  m/s sur quelques années et  $< 2$  m/s sur quelques jours
- Échantillonnage :  $> 2.5$  pixel par élément spectral
- Espace inter-ordre :  $\geq 10$  pixels
- Rendement (haute résolution):  $\geq 4\%$  (500 nm)
- Résolution :  $\geq 65000$
- Bruit de photon  $< 2$  m/s atteint en 30 min jusqu'à la magnitude 10

	 <b>OBSERVATOIRE DE HAUTE-PROVENCE</b>	<b>REF : OHP.PJT.SOP.RAP.041012_01</b> <b>Version : 01 Révision 00</b> <b>DATE : 12/10/04 Page 12/78</b>
--	---	--

- Dérive mécanique : < 10 m/s par jour
- Variation de pression dans la cuve étanche : < 0.1 mbar (azote) par jour
- Temps de lecture du CCD : =< 3 min
- Bruit de lecture : =< 4 e-
- Domaine spectral : < 696 nm (Raie intense de l'argon au dessus de 696 nm)
- Magnitude limite posemètre : >14
- Fente sur le ciel = 3" d'arc

*Mode dégradé (mode basse résolution sans double brouilleur pour une utilisation sur les étoiles de magnitude importante)*

- Précision de mesure de vitesse radiale : < 15 m/s sur quelques années
- Rendement (haute résolution): >= 8% (500 nm)
- Résolution : >= 35000

### 1.2.2 Astérosismologie

- Précision de mesure de vitesse radiale : < 1 m/s sur quelques heures
- Temps de lecture du CCD : < 30 secondes
- Bruit de lecture : < 8 e-
- Bruit de photon =< 1 m/s atteint en 1 min jusqu'à la magnitude 5
- Dérive mécanique : aucun signal dans le domaine [0.5-5 mHz]

### 1.2.3 Etude des atmosphères

- Rendement (basse résolution) : >= 8% (500 nm)
- Résolution (basse résolution) : >= 35000
- S/B = 100 en 1 heure sur une magnitude 11
- Rendement (haute résolution) : >= 4 % (500 nm)
- Résolution (haute résolution) : >= 65000
- S/B = 100 en 1 heure sur une magnitude 10
- Bruit de lecture : =< 4 e-
- Temps de lecture du CCD : =< 3 min
- Fente sur le ciel = 3" d'arc
- Domaine spectral : le plus large possible

### RESUME DES SPÉCIFICATIONS SOUHAITEES DU SPECTROGRAPHE :

Précision de mesure de vitesse radiale	< 3 m/s sur quelques années < 1 m/s sur quelques dizaines de minutes
Échantillonnage	< 1500 m/s/pixel
Espace inter-ordre	>= 10 pixels
Domaine spectral	387 - 696 nm
Résolution	haute résolution >= 65000 basse résolution >= 35000
Rendement	>= 4% (500 nm) (haute résolution) >= 8% (500 nm) (basse résolution)
Bruit de Photon	< 2 m/s atteint en 30 min jusqu'à la magnitude 10 < 1 m/s atteint en 1 min jusqu'à la magnitude 5
Rapport S/B	> S/B=100 en 1 heure sur une magnitude 11 (basse résolution) > S/B=100 en 1 heure sur une magnitude 10 (haute résolution)
Dérive mécanique	< 10 m/s par jour aucun signal entre [0.5-5 mHz]
Variation de pression dans la cuve étanche	< 0.1 mbar (azote) / jour
Temps de lecture du CCD	=< 3 min avec bruit de lecture =< 4 e- =< 30 secondes avec bruit de lecture =< 8 e-
Magnitude limite posemètre	> 14
Fente sur le ciel	3" d'arc

### 1.3 Comparaisons avec d'autres spectrographes actuels

	ELODIE (1,93 m OHP)	HARPS (3,60 m ESO)	SOPHIE (1,93 m OHP)	FEROS (2,20 m ESO)	EMILIE (1,52 m OHP)
technique	2 fibres simultanées « étoile » & « Th-Ar »				1 Fibre Système A.A.A.
champ	2 sec d'arc	1 sec d'arc	<b>3 sec d'arc</b>	1.9 sec d'arc	2.7 sec d'arc
diam. faisceau collimaté	100 mm	208 mm	<b>200 mm</b>	136 mm	210 mm
domaine spectral	380 - 690 nm	380 - 690 nm	<b>387 - 696 nm</b>	370 - 860 nm	410 - 650 nm 50%
format du spectre	67 ordres 25 x 25 mm	68 ordres 61,44 x 62,74 mm	<b>38 ordres 61 x 31 mm</b>	40 ordres 61 x 31 mm	50 ordres 25 x 25 mm
résolution spectrale	42 000	> 100 000	<b>35000 65 000</b>	48 000	125 000
détecteur	1 CCD Tk1024 1k x 1k px de 24 µm	2 CCD EEV 2k x 4k px de 15 µm	<b>1 CCD EEV 2k x 4k px de 15 µm</b>	1 CCD EEV 2k x 4k px de 15 µm	1 CCD Tk1024 1k x 1k px de 24 µm
échantillonnage pixel/élément spectral	2,5	4	<b>3,3</b>	2	1,8
efficacité max (totale) 550 nm	0.9% - 0.6%	6%	<b>9 - 4%</b>	13%	3%
précision en VR sur plusieurs années	< 6 m/s	1 m/s	<b>2 m/s</b>	?	1 m/s *

\*Il s'agit pour l'instant d'une précision souhaitée.

## 2. INSTRUMENT

### 2.1 Optique

#### 2.1.1 Optique principale

##### 2.1.1.1 Généralités

Le système optique a été décrit dans le document de la revue de projet du 8 Juillet 2003; depuis cette date, il n'y a pas eu de modifications du design; seules sont à noter les modifications suivantes :

- Augmentation de l'épaisseur de la lame de Schmidt de 10 mm à 25 mm pour s'adapter à la technique de polissage
- Suppression du miroir de repli à 90° à la sortie des fibres optiques, grâce à une tête de cryostat plus petite; cette modification permet, d'une part de simplifier la pièce mécanique supportant les fibres et, d'autre part, de supprimer la perte de flux engendrée par cette réflexion (~1%)
- Modification de la largeur de fente, de 50  $\mu\text{m}$  à 40  $\mu\text{m}$ , de sortie de fibre haute résolution (Cf. Annexe 1)

A titre de rappel, sont présentés ci-dessous le schéma optique, une vue isométrique des éléments et les principales caractéristiques optiques du système.

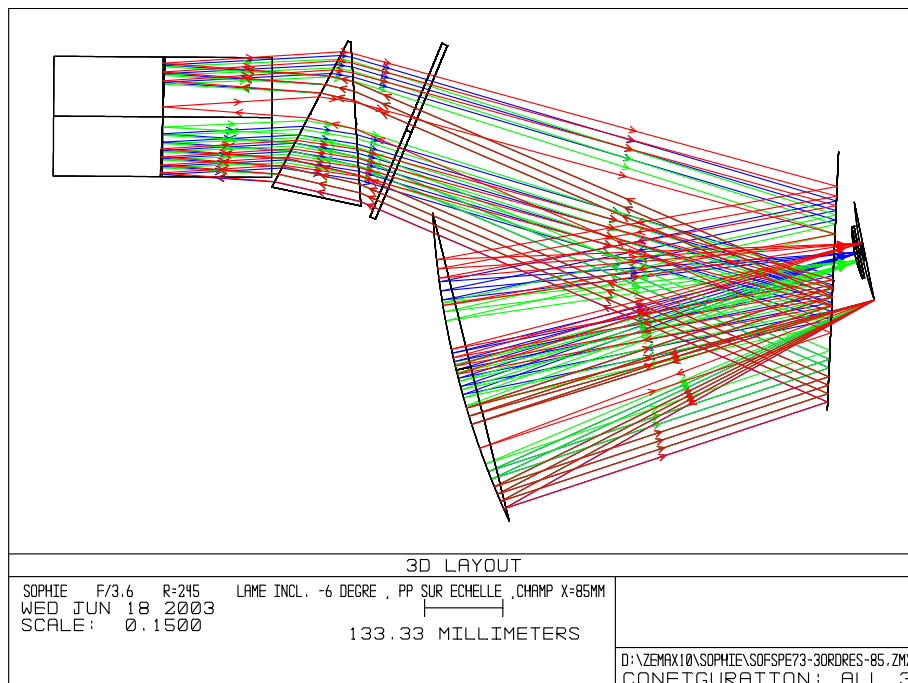


Figure 2. Schéma optique



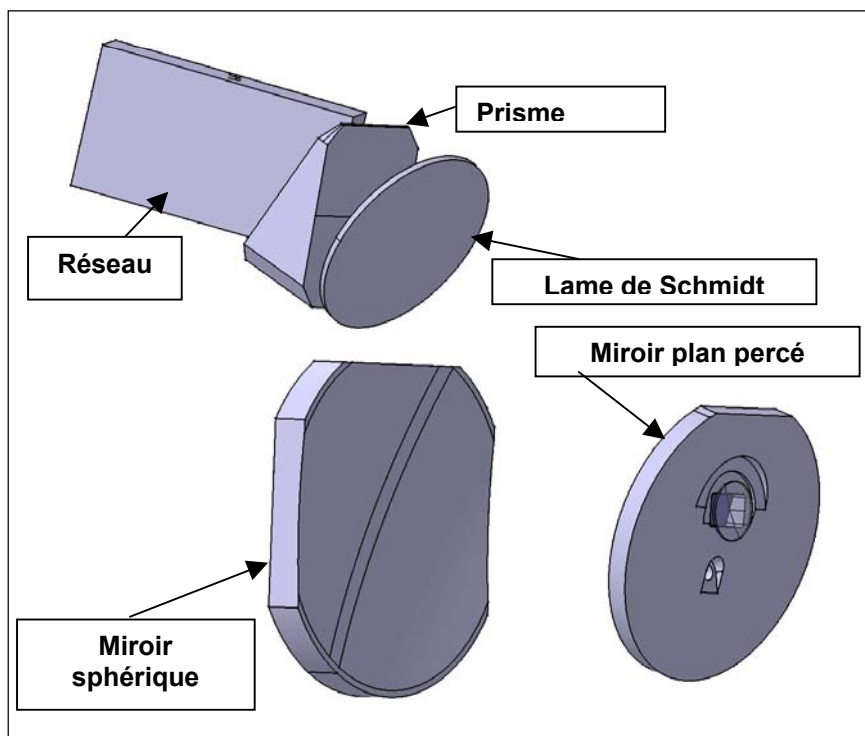


Figure 3. Vue isométrique des éléments optiques

Pupille	Ø = 200 mm
Réseau de diffraction	Echelle R2 – 52,65 t/mm- Blaze 65° - 204x410mm
Collimateur et chambre	Focale = 720 mm – Ouverture numérique 3.6 * Miroir sphérique : Ø ~ 540 mm Lame de Schmidt : Profil de Kerber; O.N. effective 2,4, diam.utile 300mm ;diam.total 320mm Miroir plan percé avec perçages : diam. 440mm, Ø = 25 et 50 x 82
Cross-disperseur	Prisme en verre OHARA PBL25Y angle 31° - Faces = 280 X 220 mm
Angle entre les axes collimateur et chambre	6.7°
Angle d'incidence sur le réseau Echelle	3.35°
Tirages chambre	50 mm derrière la surface active du miroir plan percé
Tirages collimateur	79 mm derrière la surface active du miroir plan percé
Lentille de courbure plan convexe	Matière : SUPRASIL Ø = 90 mm, R = 245 mm Face plane à 6 mm du détecteur
Champ	Plan avec inclinaison résiduelle de 0,11°

### Principales caractéristiques optiques

### 2.1.1.2 Remarques du comité de revue du 8 Juillet 2003

#### 2.1.1.2.1 Solution alternative avec réseau VPH

Bien que présentant certains avantages, cette solution, suggérée par Bernard Delabre, n'a pas été retenue, car une rapide analyse a montré qu'elle imposait de mettre tout le spectrographe dans une cuve étanche.

Une telle remise en cause du concept mécanique aurait pu avoir des conséquences majeures sur le planning, déjà identifié comme critique, eu égard aux ressources humaines disponibles.

Toutefois, afin de consolider le design, les points jugés critiques par le comité de revue ont fait l'objet d'une analyse particulière (voir § suivants)

#### 2.1.1.2.2 Déformation du miroir plan

La déformation de ce miroir sous son propre poids a été modélisée (Cf. Annexe 2) par éléments finis à l'aide du logiciel CATIA; les déformations locales ont alors été analysées par ZEMAX en interpolant les déformations par des splines.

Cette étude a montré que bien que la déformation maximale soit de l'ordre de 210 nm, elle peut se décomposer en un basculement, compensable au réglage et une déformation effective de 40 nm environ.

Dans ces conditions, l'analyse de l'impact de ces déformations sur la qualité image a montré une augmentation moyenne du spot rms d'environ 0.1  $\mu\text{m}$ , ce qui est tout à fait acceptable.

#### 2.1.1.2.3 Réalisation lame de Schmidt

La qualité de réalisation de la lame de Schmidt a été analysée; en particulier sa sensibilité aux écarts de fabrication; cette étude a montré que la tolérance en terme d'écart sur la flèche maximale, pouvait aller jusqu'à 2 %, ce qui est apparu comme réaliste.

Dans le cadre de l'appel d'offre pour la réalisation de l'optique, la sélection du candidat a pris en compte, non seulement le prix proposé, mais aussi le savoir faire dans le domaine des surfaces asphériques; le choix s'est porté vers Optical Surfaces, qui a notamment réalisé avec succès les miroirs paraboliques du spectrographe ESPADON.

### 2.1.1.3 Ensemble collimateur chambre

#### 2.1.1.3.1 Spécifications

Voir Annexe 3

#### 2.1.1.3.2 Etat d'avancement et planning de réalisation

En cours de réalisation suivant le calendrier ci-après :

Fabricant	Optical Surfaces
Notification du marché	14 Juin 2004
T0 réalisation	21 Juin 2004
Recette finale	24 Janvier 2005



#### 2.1.1.4 Eléments dispersifs

##### 2.1.1.4.1 Prisme

###### 2.1.1.4.1.1 Spécifications techniques

Voir Annexe 3

###### 2.1.1.4.1.2 Etat d'avancement et planning de réalisation

Identique à § 2.1.1.3.2

**Remarque :** Afin que le délai d'approvisionnement de 4 mois du verre OHARA PBL25Y, ne pénalise pas le délai de réalisation de l'optique, qui avait été identifié comme un point critique, celui-ci a été commandé dès Août 2003, livré en Décembre 2003 et fourni à Optical Surfaces dès la notification du marché

##### 2.1.1.4.2 Réseau Echelle

###### 2.1.1.4.2.1 Spécifications techniques

Les courbes d'efficacité des répliques obtenues à partir de la matrice BL68 de Richardson Grating Laboratories (RGL), du groupe Spectra-Physics, étant inférieures d'environ 11 % à celles attendues à l'origine, il a été demandé à RGL quelles seraient les performances à attendre d'une nouvelle matrice réalisée avec une machine de nouvelle génération.

Au vu des performances affichées, la décision a finalement été prise de commander cette nouvelle matrice.

Les performances affichées par Spectra-Physics sont dans le document fourni en annexe 4.

La comparaison des efficacités de la nouvelle matrice par rapport à la BL68 sont données ci-dessous; le gain moyen attendu se situe entre 4 et 11 %.

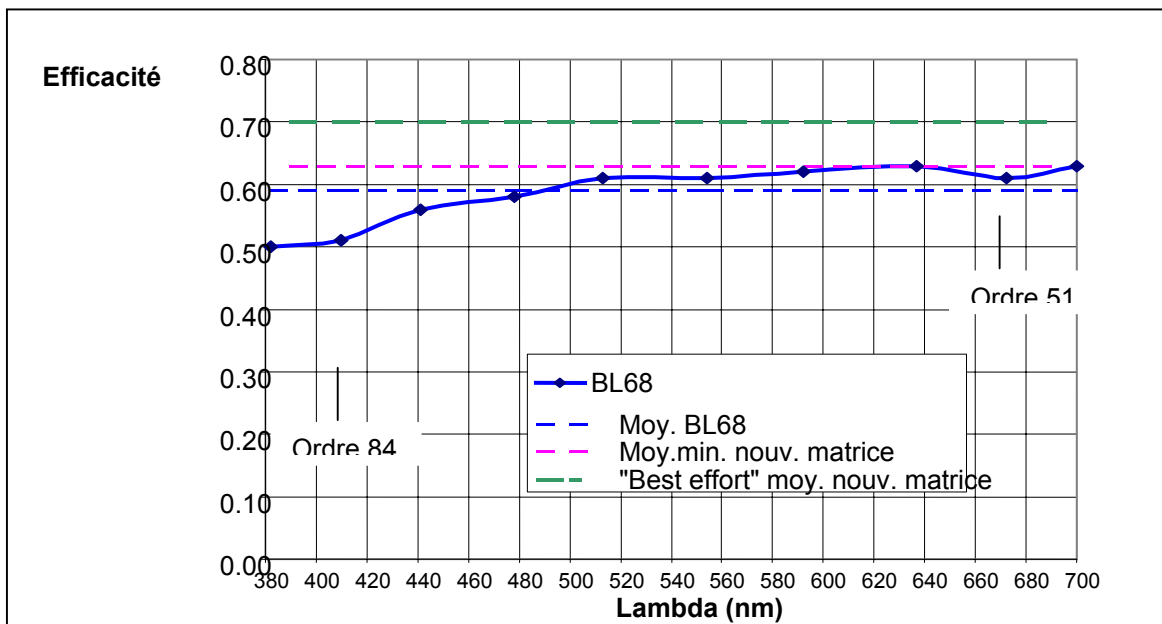


Figure 4. Comparaison des efficacités

2.1.1.4.2.2 Etat d'avancement et planning de réalisation

Notification du contrat	16 Janvier 2004
Livraison réplique de prêt	21 Juin2004
Début réalisation nouvelle matrice	Décembre 2004
Recette nouvelle matrice	Mars 2005
Recette nouvelle réplique	Juillet 2005

2.1.1.5 *Transmission*

2.1.1.5.1 Traitements de surface anti-reflet

Spécifications : voir annexe 3

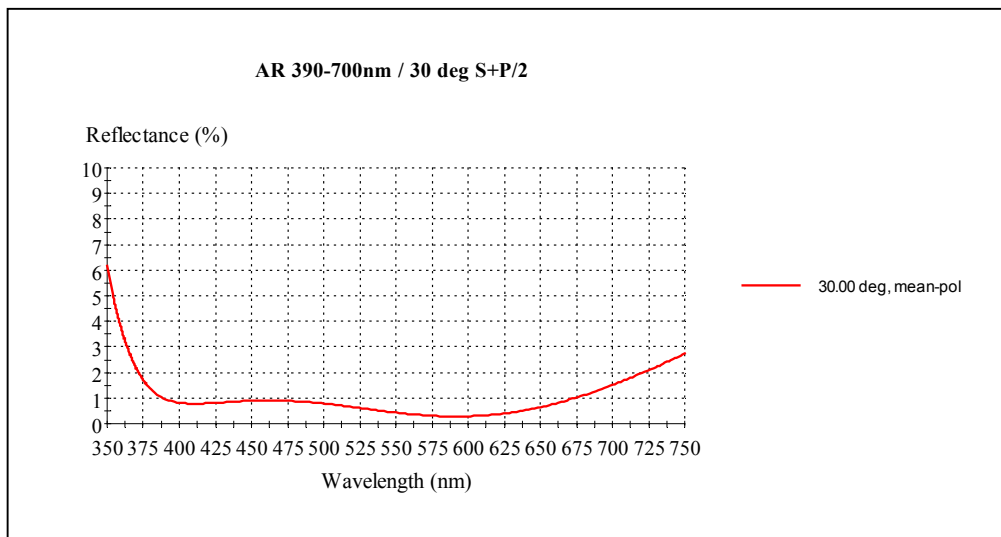


Figure 5. Réflexion typique des traitements AR (Optical surfaces)

### 2.1.1.5.2 Traitements de surface réfléchissant

Spécifications : voir annexe 3

Réalisation : DENTON

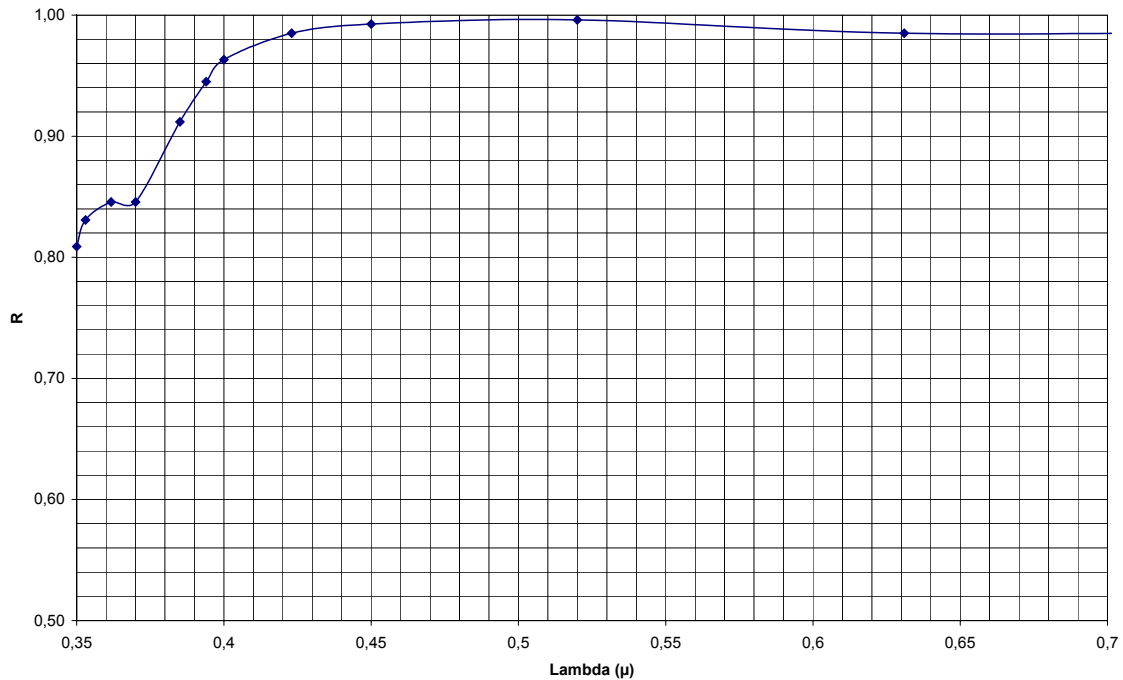


Figure 6. Traitement réfléchissant argent DENTON (valeurs mesurées sur les miroirs ESPADON)

### 2.1.1.5.3 Transmission globale

#### 2.1.1.5.3.1 Transmission spectrographe

Le bilan de transmission est effectué en prenant en compte :

- les valeurs spécifiées pour les miroirs et les dioptrés
- la valeur minimum et celle susceptible d'être obtenue ("best effort") pour le réseau Echelle

a	Vignetting et obturations	0.810
b	4 miroirs R moyen spécifié	0.922
c	Réseau Echelle min. spécifié	0.630
d	Réseau Echelle "Best effort"	0.700
e	10 dioptrés T moyen spécifié	0.932
f	Prisme en OHARA PBL25Y e=164 mm	0.970
g	T interne lame de Schmidt (2* 25 mm)	0.991
	a x b x c x e x f x g	0.422
	a x b x d x e x f x g	0.468

### 2.1.1.5.3.2 Performances globales attendues

Le bilan des performances donné ci-dessous reprend celui donné dans le document en annexe 2, en y incluant les mises à jour suivantes (en rouge dans le tableau):

- la suppression du miroir plan d'entrée, soit 4 miroirs au lieu de 5
- Les valeurs spectrales typiques des traitements réfléchissants et AR
- La longueur de fibre effective, soit 17 m au lieu de 25 m
- La largeur de fente effective en mode haute résolution, soit 40  $\mu\text{m}$  au lieu de 45  $\mu\text{m}$

	390	400	430	500	690
Vignetting et obturations	0,810	0,810	0,810	0,810	0,810
4 miroirs traités multidiélectriques (Denton)	0,75	0,86	0,95	0,98	0,94
Réseau échelle	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630
10 dioptries traités (spécifications)	0,92	0,92	0,92	0,92	0,86
Prisme	0,968	0,974	0,974	0,987	0,993
Lame de Schmidt	0,978	0,982	0,987	0,992	0,996
<b>Total Spectro</b>	<b>0,333</b>	<b>0,386</b>	<b>0,429</b>	<b>0,450</b>	<b>0,408</b>
CCD	0,670	0,700	0,760	0,810	0,680
Télescope (+obturation)	0,690	0,690	0,690	0,690	0,690
Bonnette	0,960	0,960	0,960	0,960	0,960
Fibre (17 m)	0,770	0,780	0,820	0,850	0,830
Acceptance fibre avec seeing 2.5"	0,626	0,626	0,626	0,626	0,626
Absorption atmosphérique	0,650	0,680	0,740	0,810	0,870
<b>Total mode Haute Efficacité</b>	<b>0,046</b>	<b>0,059</b>	<b>0,082</b>	<b>0,104</b>	<b>0,083</b>
Double Brouilleur	0,850	0,850	0,850	0,850	0,850
Fente 40 microns	0,490	0,490	0,490	0,490	0,490
<b>Total mode Haute Résolution</b>	<b>0,019</b>	<b>0,025</b>	<b>0,034</b>	<b>0,043</b>	<b>0,035</b>

## 2.1.2 Posemètre

### 2.1.2.1 Généralités

Le posemètre permet d'effectuer durant la pose une mesure du flux réel entrant dans le spectromètre. Un système optique prélève une partie de la lumière perdue à cause d'obturations ultérieures du spectromètre et l'achemine vers un photomultiplicateur à comptage.

### 2.1.2.2 Principe optique de prise de lumière

La prise de lumière se fait devant le miroir collimateur, juste après la collimation. Deux petits miroirs plans rectangulaires (100 mm x 20 mm) sont placés de part et d'autre du faisceau utile, dans des parties obturées plus tard par le réseau, et prélèvent ainsi suffisamment de lumière pour faire la mesure.

Les deux miroirs sont inclinés de façon à ce qu'après focalisation par le miroir collimateur l'image soit renvoyée dans une zone non vue par le spectromètre permettant l'aménagement de la partie détection. Deux doublets imagent chacun un miroir plan, pupille du système optique, sur le détecteur unique (imagerie de pupille pour une mesure photométrique).

La détecteur est un photomultiplicateur à comptage HAMAMATSU H8259-01 dont la zone utile a pour dimensions : 20 mm x 4 mm.

On se reportera au document en annexe 5 pour la définition optique du système.

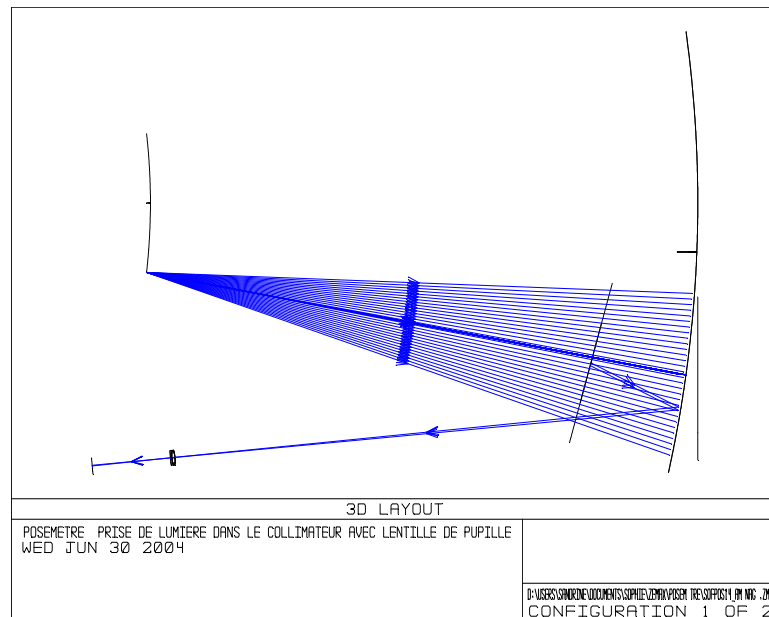


Figure 7. Schéma optique du posemètre.

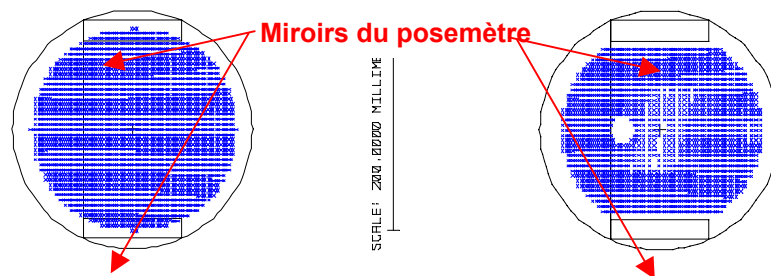


Figure 8. Empreinte des faisceaux

Prise de lumière par les deux miroirs rectangulaires du posemètre au retour du collimateur (trajet collimateur – miroir plan percé). A gauche : faisceau initialement d'ouverture 3.6 ; les miroirs sont partiellement illuminés. A droite : faisceau utile, vignetté par le réseau.

### 2.1.2.3 Photomultiplicateur

Le détecteur utilisé est un module photomultiplicateur à comptage type H8259-01 de Hamamatsu. Il présente les mêmes caractéristiques que le modèle H6240-01 utilisé pour le projet HARPS et désormais obsolète, à l'exception d'une fonction « gate » qui a été ajoutée. Ce module intègre un tube photomultiplicateur, une alimentation haute tension, et un circuit électronique permettant de générer une sortie des impulsions, en niveau TTL, pour le comptage de photons.

### 2.1.2.4 Fonctionnement du posemètre

Le posemètre qui assure le comptage des impulsions délivrées par le photomultiplicateur est en cours de développement à l'OHP. Un afficheur permet de visualiser en permanence le flux entrant dans le

spectromètre (nombre de coups total, et nombre de coups/seconde) lorsque l'obturateur est ouvert. Le PC qui intègre le logiciel de commande de SOPHIE communique avec le posemètre par l'intermédiaire d'une liaison Ethernet.

Le posemètre assure la protection du module Hamamatsu ; le tube photomultiplicateur risque d'être endommagé en cas d'exposition à une lumière trop importante.

Le module possède une entrée « gate » qui agit, comme un obturateur électronique, en diminuant la sensibilité du photomultiplicateur avec un rapport 1000 en moins de 600ns. La carte de comptage activera cette entrée « gate » et coupera l'alimentation du module lorsque le résultat du comptage dépassera un seuil qui reste à déterminer. Cette solution ne garantit pas une protection totale car le photomultiplicateur restera tout de même exposé à la surintensité lumineuse pendant toute la période de comptage.

On prévoit un autre mode de protection qui consiste à placer au niveau de l'obturateur une photodiode qui se trouvera éclairée par les fibres optique arrivant du télescope lorsque l'obturateur est en position fermée. Si l'intensité lumineuse dépasse un certain seuil, le posemètre ne sera pas alimenté à l'ouverture de l'obturateur

#### 2.1.2.5 *État d'avancement*

Le photomultiplicateur a été approvisionné.

Les doublets du commerce ne présentent pas de difficulté d'approvisionnement.

Les miroirs plans, qui ne posent pas de problème particulier de réalisation, seront prochainement lancés en fabrication.

### 2.1.3 **Train de fibres**

#### 2.1.3.1 *Description*

La description de ce sous-système a été effectuée dans le document de la revue du 8 Juillet 2003.

La seule modification de principe à signaler est le choix d'une fente de largeur 40 µm au lieu de 50 µm en mode Haute Résolution (Cf. annexe 1).

Le développement de ce sous-système bénéficie des solutions adoptées pour le projet HARPS, en particulier pour le brouilleur.

Côté spectrographe l'interface est relativement simple, puisque l'injection dans le spectrographe se fait à f/3.6, donc sans optique d'adaptation d'ouverture; côté télescope, la bonnette d'Elodie n'étant pas modifiée, seule l'optique du réducteur focal doit être légèrement modifiée.

#### 2.1.3.2 *Etat d'avancement*

Compte tenu des arguments du paragraphe précédent, ainsi que de la faiblesse des ressources humaines dans le domaine de l'optique, ce sous-système n'a pas été considéré comme prioritaire et son étude effective a été repoussée assez tard.

Ce choix a aussi permis de s'assurer de la disponibilité d'un technicien du LAM (expérience acquise en particulier dans l'assemblage et le contrôle de IFU VIMOS), des moyens de polissage de fibre, de collage, de réglage et de contrôle du train de fibre sous ambiance contrôlée.

Le calendrier est actuellement le suivant :

	<b>Début</b>	<b>Fin</b>
Etude opto-mécanique	Octobre 2004	Novembre2004
Réalisation des optiques :	Décembre 2004	Mars 2005
Montage, réglage, tests	Avril 2005	Mai 2005



## 2.2 Mécanique

### 2.2.1 Présentation

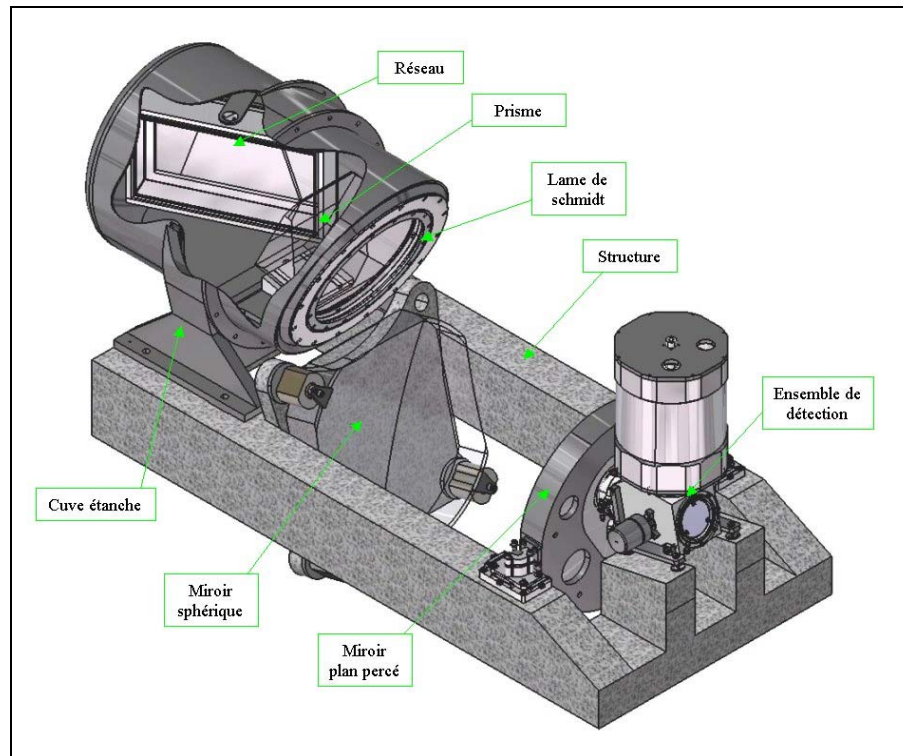


Figure 9. Dessin de mise en place des différents éléments

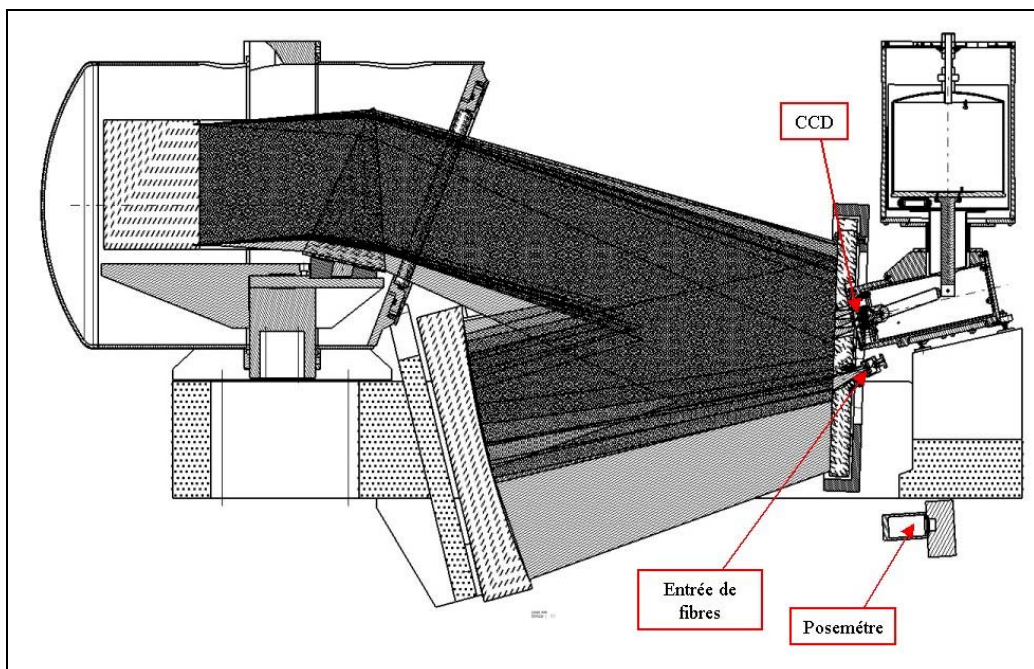


Figure 10. Vue en coupe de l'ensemble



## 2.2.2 Structure granit

La structure principale est fabriquée exclusivement en granit mécano-collé-vissé. Cet ensemble homogène permet d'accroître la stabilité ( thermique et mécanique ).

Ce tablier de granit est constitué de deux poutres maîtresses, entretoisées de poutres secondaires qui reçoivent l'ensemble de détection et la plaque support du miroir sphérique ; à noter que cette plaque est aussi en granit. La cuve étanche et le barillet du miroir plan percé s'appuient directement sur les deux poutres maîtresses. L'assemblage de ces différents éléments est assurée par des inserts métalliques ancrés sur le marbre.

Les dimensions de ce tablier ( hors plaque support miroir sphérique ) sont : 1500x712x200mm pour une masse ~300kg.

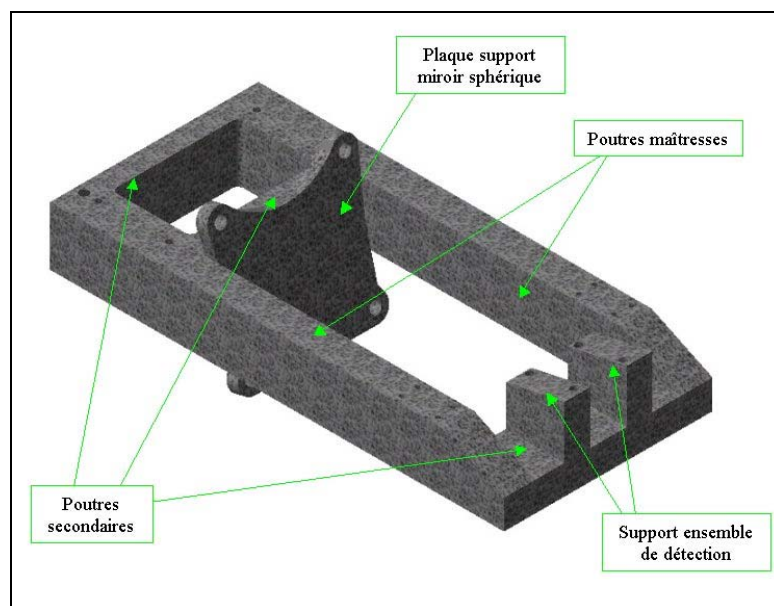


Figure 11. Dessin de la structure.

La commande de la structure en granit devrait s'effectuer à la fin du mois de novembre 2004 auprès de la société MICROPLAN ( 23360 La Foret du Temple ).

## 2.2.3 Support des miroirs

### 2.2.3.1 Montage du miroir sphérique

Le miroir sphérique ( 540mm de diamètre, épaisseur 90mm, masse ~40kg) se positionne directement sur la structure en granit pour garantir un maximum de stabilité. Trois appuis rotulés, disposés sur la périphérie du miroir, permettent son positionnement et son bridage sur le granit. Aucun réglage n'est prévu à ce niveau.

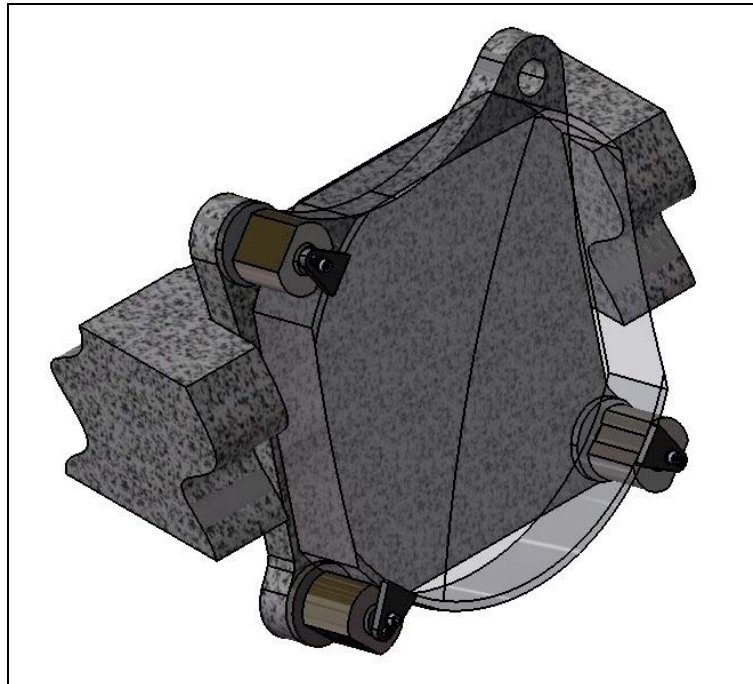


Figure 12. Dessin du montage du miroir sphérique

### 2.2.3.2 Montage du miroir plan percé

Étant donné sa géométrie ( 440mm de diamètre, épaisseur 35mm, masse ~12,6kg, des trous de passage pour les faisceaux), le miroir plan percé prend place sur trois points d'appui. Les déformations dues au propre poids du miroir ne sont pas critiques (Cf. annexe 2).

Ce barillet est fixé au granit via un système rotulé situé de part et d'autre du miroir. Cette conception permet un montage isostatique ( liaison rotule + liaison linéaire annulaire ).

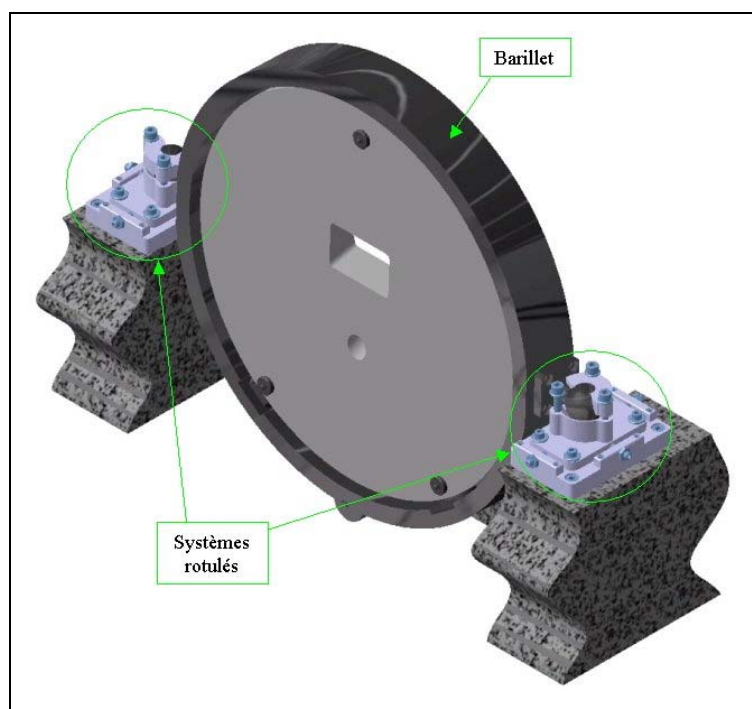


Figure 13. Dessin du montage du miroir plan percé

## 2.2.4 Cuve étanche

### 2.2.4.1 Description de la cuve

La cuve régulée en température, à volume constant, avec une pression quasi équivalente à celle de la pression extérieure ( légère surpression ), rend la dispersion quasi-insensible aux variations de pression atmosphérique. Elle est équipée de deux vannes pour le remplissage et la purge, ainsi que d'une sonde de pression absolue.

Cette cuve se compose d'une bride dans laquelle une plate-forme, parallèle à la surface du granit, vient se loger. Cette table sert de support au montage du prisme et du réseau échelle. D'un coté de cette bride, la fermeture de la cuve étanche est assurée par le support de la lame de Schmidt, de l'autre par une virole et un fond bombé.

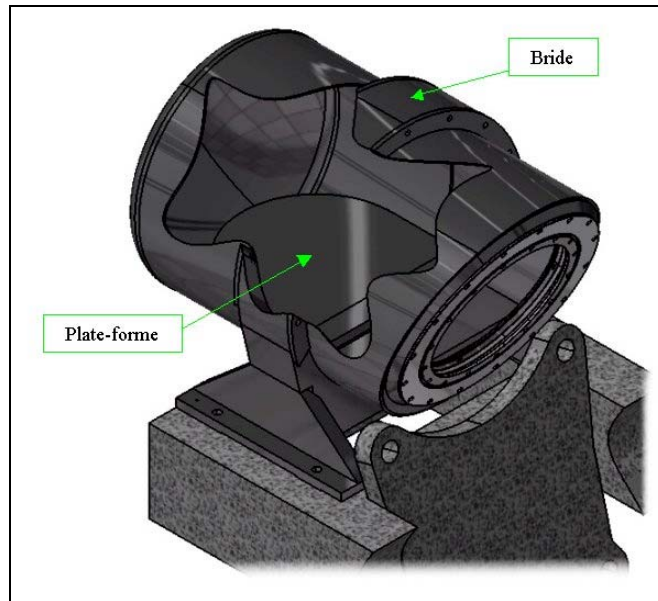


Figure 14. Dessin de la cuve

La commande de la cuve est prévue dans la première quinzaine du mois de décembre 2004.

#### 2.2.4.2 Montage lame de Schmidt

La lame de Schmidt est montée dans un barillet avec un joint d'étanchéité. Une bride en positionne et bride la lame dans sa monture. Le barillet, quant à lui est monté sur la cuve étanche également avec un joint d'étanchéité, il se positionne sur deux vis radiales à 90° qui permettent le réglage de la lame dans son plan.

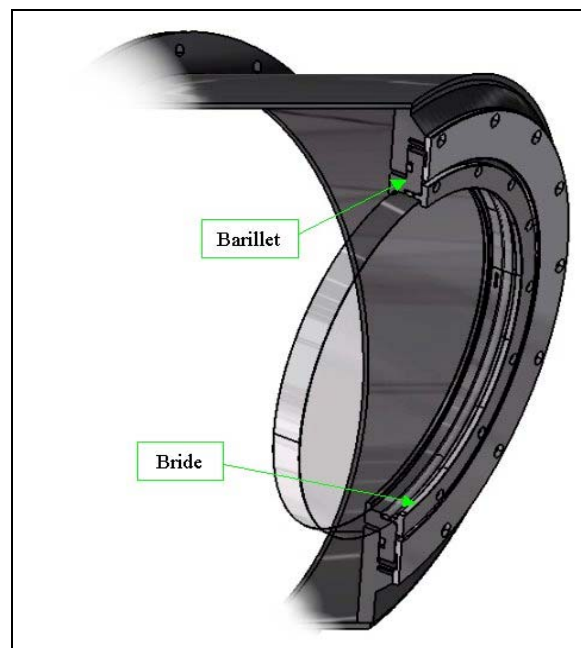


Figure 15. Dessin du montage de la lame de Schmidt

### 2.2.4.3 Montage prisme

Un simpleau en invar, collé sur la partie inférieure du prisme permet à un système de traction, de brider celui-ci sur deux traverses fixées sur la table de la cuve.

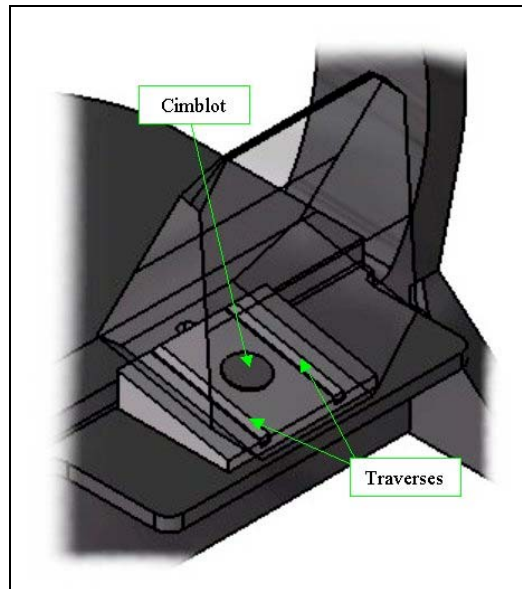


Figure 16. Dessin du montage du prisme

### 2.2.4.4 Montage réseau échelle

Le montage préliminaire de Sophie se fera avec un réseau de prêt. Dans ces circonstances, aucune opération du type collage ou usinage sur celui-ci n'est envisageable. Pour pallier à cela, un "cadre" est mis en place autour du réseau, des simpleaux en Delrin et des lames élastiques permettent le maintien de ce dernier dans son logement. Deux patins sont fixés sur la partie inférieure du cadre et un sur la partie supérieure. Un système de traction, ancré sur ces trois patins permet de tracter l'ensemble réseau + cadre sur une potence de référence fixée sur la table de la cuve.

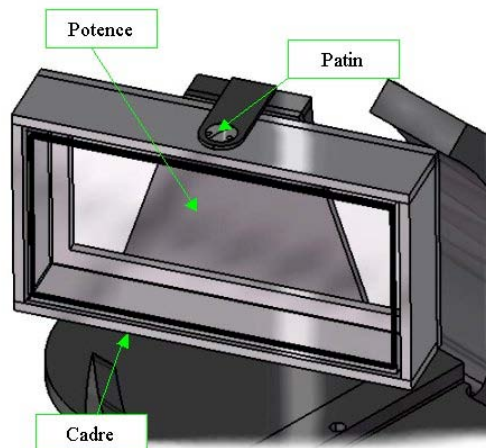


Figure 17. Dessin du montage réseau



### 2.2.5 Montage de l'ensemble de détection

Le diamètre de la tête initialement prévu a été réduit. Ceci a permis la suppression d'une poche dans le miroir plan percé, donc diminution des contraintes liées à la réalisation mais aussi à sa tenue mécanique.

L'ensemble de détection est constitué de 3 parties :

- ✓ la tête qui reçoit le CCD et la lentille de courbure,
- ✓ le cryostat,
- ✓ le corps qui relie la tête au cryostat par l'intermédiaire du pied froid.

Le supportage de l'ensemble de détection se fait à l'aplomb du cryostat, ceci permet de s'affranchir des variations de charges dues aux remplissages et donc de ne pas impacter sur la stabilité géométrique du CCD.

Le cryostat est en position verticale pour un remplissage maximal.

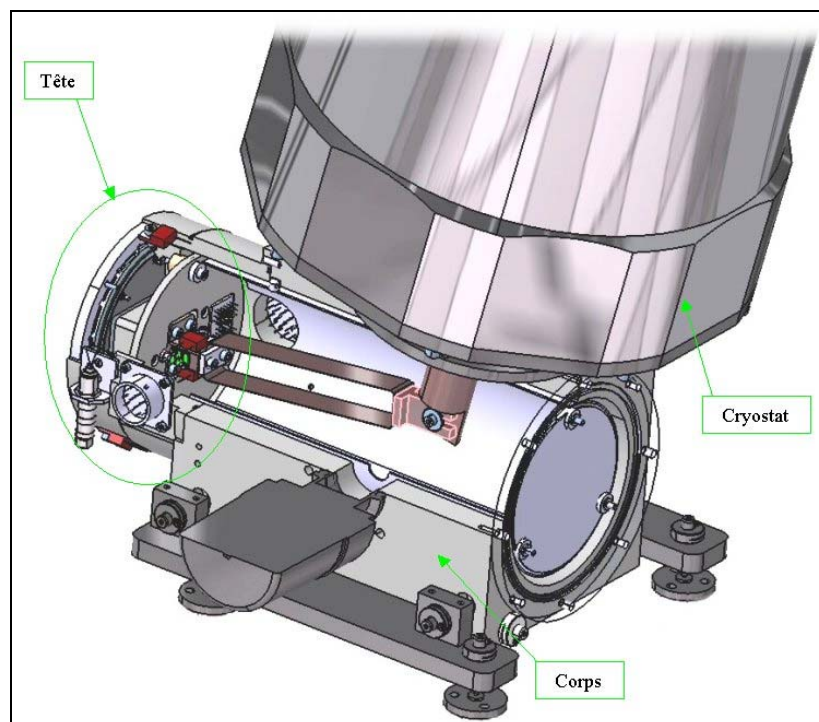


Figure 18. Dessin de l'ensemble de détection

### 2.2.6 Posemètre

Les deux miroirs plans allongés qui prélèvent la lumière en bord de pupille sont collés sur des supports fixés directement sur la structure en granit. Les deux doublets qui ré-imagent la pupille, et le boîtier du photomultiplicateur forment un ensemble fixé sous la structure granit au niveau de l'ensemble de détection.

## 2.2.7 Entrée de fibres et obturateur

La réduction de la tête précédemment citée a permis l'emploi d'une entrée de fibres droite et non plus coudée donc suppression d'une surface de réflexion.

Le réglage de l'entrée de fibres se fait par rotulage autour du foyer sur un simbleau en Invar collé dans le miroir en Zerodur. Le réglage de la focale se fait par cale usinable.

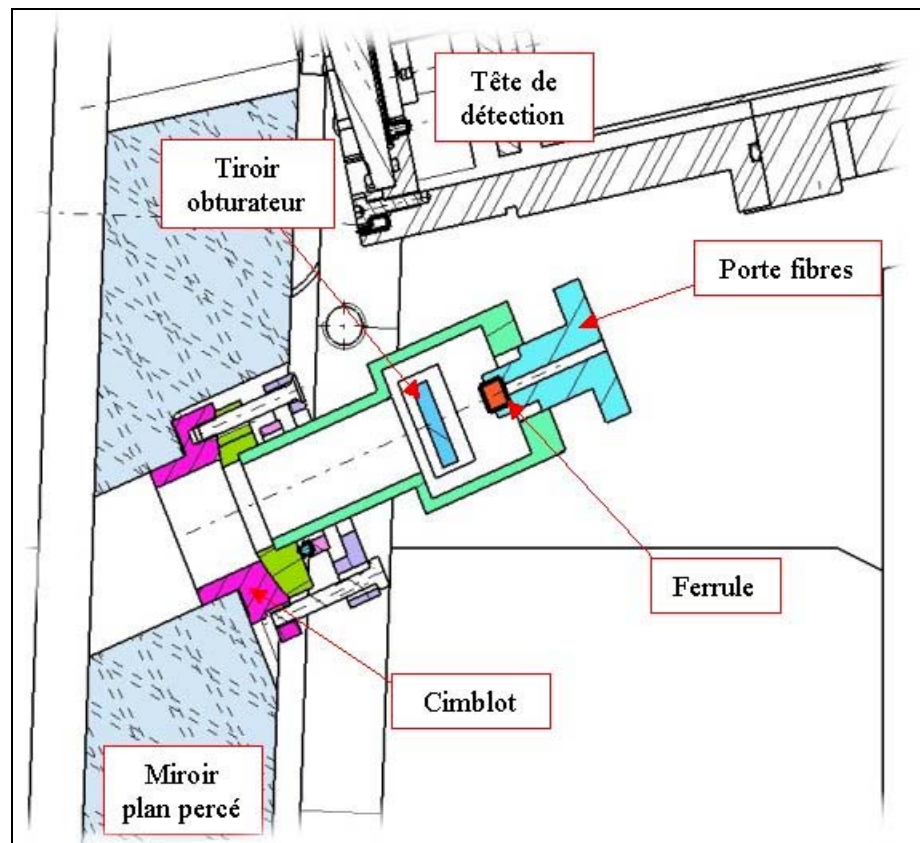


Figure 19. Dessin de l'implantation de l'entrée de fibres

L'obturateur est du type "tiroir", sans contact avec l'entrée de fibres ( aucune transmission de vibration ). Le déplacement de l'obturateur est assuré par un électro-aimant bi-stable à deux bobines via des lames souples.

## 2.3 Ensemble de détection

### 2.3.1 CCD

Trois CCD E2V 4482 ont été commandés chez E2V et reçus.

- E2V 4482 – 6 ( Echantillon mécanique)
- E2V 4482 – 5 (grade 5)
- E2V 4482 – 0 (grade 0)

Les CCD E2V 44 – 82 – 6 et E2V 44 – 82 – 5 ont été testés (voir Annexe CCD) à l'aide d'un contrôleur réalisé à l'OHP.

Le CCD E2V 44 – 82 – 0 sera monté dans la tête définitive après tests de celle-ci avec le CCD de grade 5 pour limiter au maximum les manipulations. L'opération sera effectuée dans une salle blanche pour éviter les dépôts de poussière sur la surface du CCD. Les tests avec le CCD de grade 5 ont montré d'une façon évidente la nécessité de cette précaution.

### 2.3.2 Refroidissement du CCD

Le refroidissement du CCD sera assuré par un cryostat à azote liquide d'Infra Red. Une objection avait été faite concernant la variation du poids d'azote au cours d'une nuit d'observation et son incidence sur les déformations mécaniques induites et la position du CCD. Aussi des solutions alternatives ont été étudiées.

- Cryotiger : C'est un système de refroidissement continu à l'aide de la détente d'un fluide cryogénique comprimé par un compresseur. Le fluide est amené sous une pression de l'ordre de 18 bars au Cryotiger ce qui peut induire des contraintes sur le dispositif par les canalisations d'arrivée sans compter les vibrations transmises depuis le compresseur. De plus le dispositif fonctionnera 24 h sur 24 pendant des années avec des risques de panne. Son seul avantage est de pouvoir se passer d'azote.

- Flux continu d'azote: On retrouve les mêmes objections avec des canalisations d'arrivée de fluide cryogénique assez lourdes. De plus, ce système utilise des électrovannes qui fonctionnent en permanence pour réguler le flux d'azote. Or l'expérience montre qu'elles peuvent avoir des défaillances.

Des tests ont été effectués avec Elodie par F.Bouchy et n'ont pas montré d'influence notable du poids d'azote dans le cryostat sur les mesures de vitesses radiales.

Le cryostat reste donc une solution simple et fiable pour le refroidissement du CCD. Si l'ensemble tête CCD + cryostat est fixé d'une façon suffisamment rigide, la déformation devrait être insignifiante pour une variation de poids d'azote estimée à 800 g. L'approvisionnement en azote liquide restant de toutes façons une nécessité pour les autres instruments de l'observatoire il sera assuré en même temps pour Sophie.

### 2.3.3 Contrôleur

Le contrôleur provenant de l'Université de San Diego a été reçu. Il sera placé à l'extérieur de l'enceinte climatisée du spectromètre pour ne pas dissiper de chaleur dans l'enceinte. Pour cette raison, un préampli à sorties différentielles a été réalisé et sera placé à proximité de la tête de CCD. Le signal vidéo sera transmis au contrôleur en mode différentiel par une liaison bifilaire blindée ce qui assurera une grande immunité aux bruits parasites. Un convertisseur différentiel unipolaire de précision a été réalisé et monté à l'entrée du contrôleur.

Le logiciel réalisé à Tarbes pour la mise en œuvre du contrôleur s'est révélé être difficile à adapter aux besoins de Sophie étant donnée de nombreuses fonctionnalités propres à l'instrument pour lequel il avait été réalisé. C'est pourquoi un logiciel est en cours de développement à l'OHP. Il fonctionnera en mode serveur, transmettant les commandes du client au contrôleur et renvoyant au client les images obtenues avec le contrôleur. Un logiciel client est développé conjointement pour tester le serveur dans un premier temps. Il servira ensuite à tester les CCD de grade 5 et de grade 0.

L'ensemble des commandes échangées par le client et le serveur a été répertorié et la syntaxe a été fixée. Un certain nombre de commandes ont déjà été testées sur le contrôleur.



### 3. INFORMATIQUE

#### 3.1 Introduction

##### 3.1.1 Généralités

Ce chapitre vise à décrire l'architecture logicielle du spectrographe SOPHIE au télescope de 193 cm de l'OHP. Les différentes fonctions constituant l'ensemble du logiciel de SOPHIE sont présentées et les interfaces entre ces fonctions sont définies. Les spécifications requises du logiciel sont exposées. Les principales personnes impliquées dans le développement du logiciel SOPHIE sont J.P. Meunier, C. Carol, X. Regal, G. Knispel, S. Ilovaisky, F. Bouchy (OAMP) avec la participation de D. Mégevand et D. Sosnowska (Genève) et la participation de C. Soubiran (Bordeaux) et P. Prugnel (CRAL).

##### 3.1.2 Contexte

Le développement du logiciel SOPHIE s'appuie sur l'expérience acquise sur le spectrographe ELODIE (193cm OHP) et le spectrographe HARPS (3.60m ESO). Le logiciel d'ELODIE, développé au début des années 90, est un logiciel complètement intégré et l'imbrication étroite de ses modules rend très difficile la modification du code. Le logiciel LIDO inclut à lui seul l'interface utilisateur, le contrôle de l'instrument, l'interface CCD et le contrôle des observations. Le module de réduction des données TACOS est directement et étroitement relié à LIDO. Le logiciel HARPS a été développé dans le contexte ESO avec une séparation très nette des différents modules. Le module de réduction des données est entièrement découplé du module d'observation. Le logiciel SOPHIE n'est pas développé dans le contexte informatique ESO mais s'inspire de l'architecture HARPS et intègre certains modules développés dans HARPS. De surcroît, les performances du matériel informatique n'ont rien de comparable à celles des équipements informatiques utilisées sur ELODIE. La vitesse des processeurs, la capacité de mémoire vive, la capacité de stockage et la communication entre machines et modules d'électronique intelligente rend désormais possible une nouvelle architecture du logiciel SOPHIE.

#### 3.2 Architecture logicielle générale

Les différentes fonctions sont implantées sur des machines différentes, avec des OS différents (Windows XP et Linux). La séparation des différentes fonctions du logiciel rend ainsi possible la mise à jour et l'évolution aussi bien du matériel que du logiciel. Pour un fonctionnement correcte de l'ensemble, il faut que la transmission entre les différentes machines soit le plus rapide possible. Différents type de liaison ont été testés au cours de l'année 2003. Les liaisons par sockets Ethernet 100Mbit/s et FireWire 400Mbit/s permettent de transférer l'image en moins de 10 secondes. La liaison Ethernet 1 Gbit/s a été testée récemment et permet de transfert d'une image en 2 secondes environ. Toutes les interfaces utilisateurs, messages, menus, aides en ligne seront en anglais. Les manuels d'utilisation auront une version anglaise et française. La figure 20 représente l'architecture générale du logiciel SOPHIE.

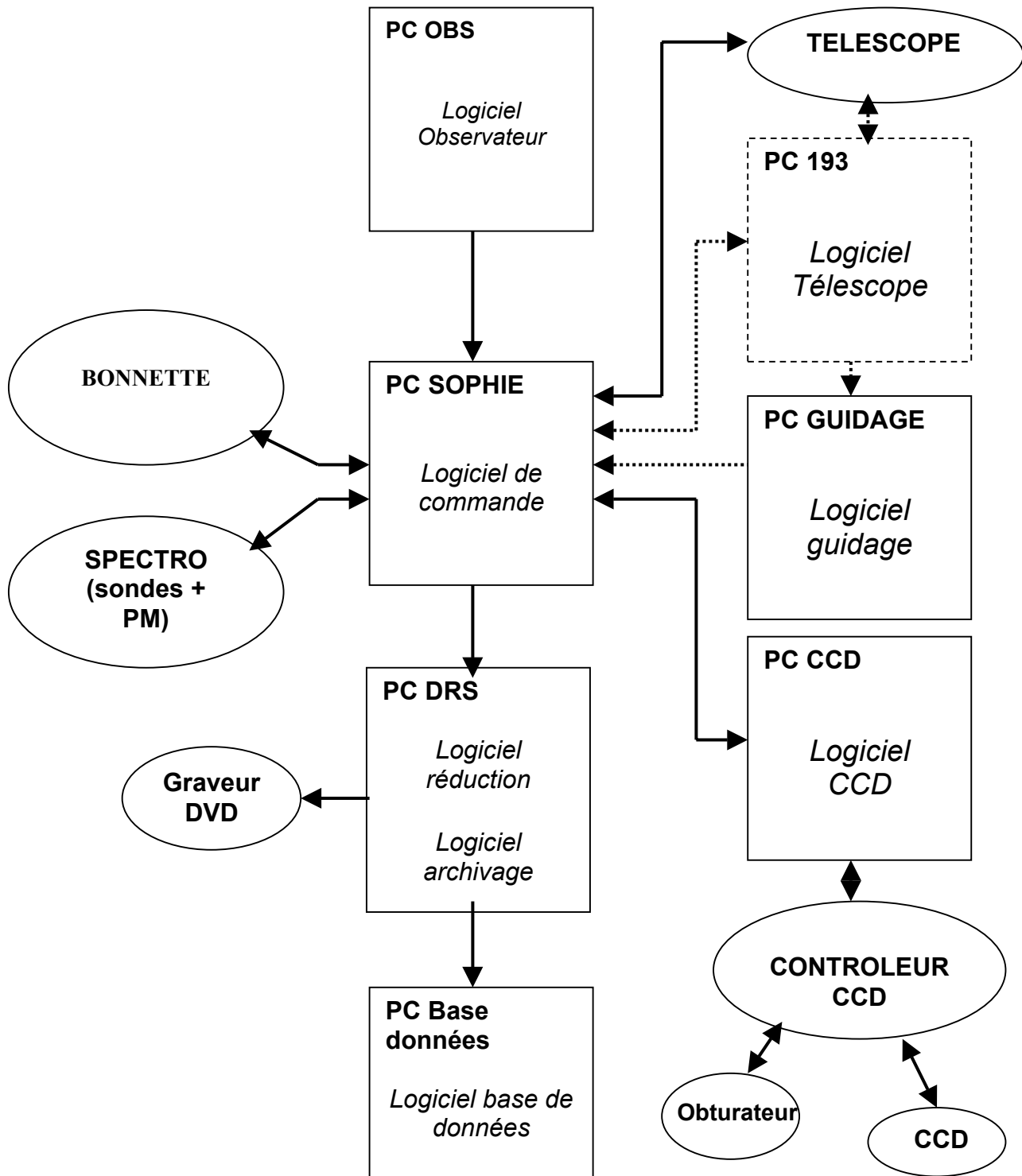




Figure 20. Architecture informatique SOPHIE

	 <b>OBSERVATOIRE DE HAUTE-PROVENCE</b>	<b>REF : OHP.PJT.SOP.RAP.041012_01</b> <b>Version : 01 Révision 00</b> <b>DATE : 12/10/04 Page 35/78</b>
--	---	--

### 3.3 Description des différents logiciels

#### 3.3.1 Logiciel de commande

Les fonctions principales du logiciel de commande sont les suivantes :

- Récupération automatique ou manuelle du dernier bloc d'observation généré par l'observateur (via le logiciel observateur).
- Configuration de l'instrument (moteurs de la bonnette et ouverture du posemètre).
- Lecture des paramètres du télescope (coordonnées)
- Lecture des informations horaires (précision absolue < 0.1 s.).
- Synchronisation horaire avec le PC CCD.
- Récupération et affichage des statuts de l'instrument et des actions en cours.
- Lecture des sondes de température et de pression du spectrographe et de la bonnette.
- Lecture du posemètre, affichage temps réel et calcul des paramètres moyens.
- Lancement de l'acquisition dès que tous les sous systèmes sont prêts.
- Affichage du décompte de la pose.
- Récupération de l'image CCD et construction de l'image FITS avec tous ses descripteurs.
- Sauvegarde provisoire de l'image FITS sur le PC SOPHIE et copie sur le PC DRS.
- Affichage de l'image FITS (avec Skycat).

Le logiciel de commande communique aux sous ensembles opto-mécaniques les commandes de positionnement des moteurs à travers un boîtier semi-intelligents d'électronique déportée (Field Point de National Instrument). Ce type de boîtier n'est supportés que sous Windows. Un boîtier a été réalisé par X. Regal permet d'assurer l'interface entre le PC de commande et le boîtier électronique d'Adrianzyk qui pilote les moteurs de la bonnette.

La liaison avec le PC CCD est assurée par sockets IP sur réseau Ethernet 1 Gbit/s.

Le PC de commande doit veiller à minimiser les temps morts entre deux observations. Le logiciel de commande doit assurer le lancement de la pose suivante dès qu'il reçoit l'information que le CCD est lu. Le temps mort total entre deux poses ne doit pas excéder 30 à 40 s. (contrainte du mode astérosismologie) compte tenu du fait que la lecture rapide s'effectue en 22 s. Le temps de configuration de la bonnette semble être l'opération la plus longue. Néanmoins en cas de séquence sur la même cible la configuration reste la même, seuls les statuts de la bonnette sont à contrôler et la position du correcteur de réfraction. Il faut pouvoir actionner automatiquement le correcteur de réfraction au cours d'une pose longue.

Le logiciel de commande doit contrôler l'adéquation entre les coordonnées catalogues et les coordonnées télescope retournées par le logiciel télescope.

Un protocole de communication par socket a été défini entre le PC de commande (Window XP) et le PC observateur (Linux) afin que le logiciel observateur puisse fournir les paramètres du bloc d'observation défini par l'observateur. Le PC de commande sera considéré comme un serveur pour le PC observateur jouant le rôle de client.

L'interface avec le logiciel de réduction consistera a copier les images brutes sur un disque et sous un répertoire défini du PC DRS (par ftp).

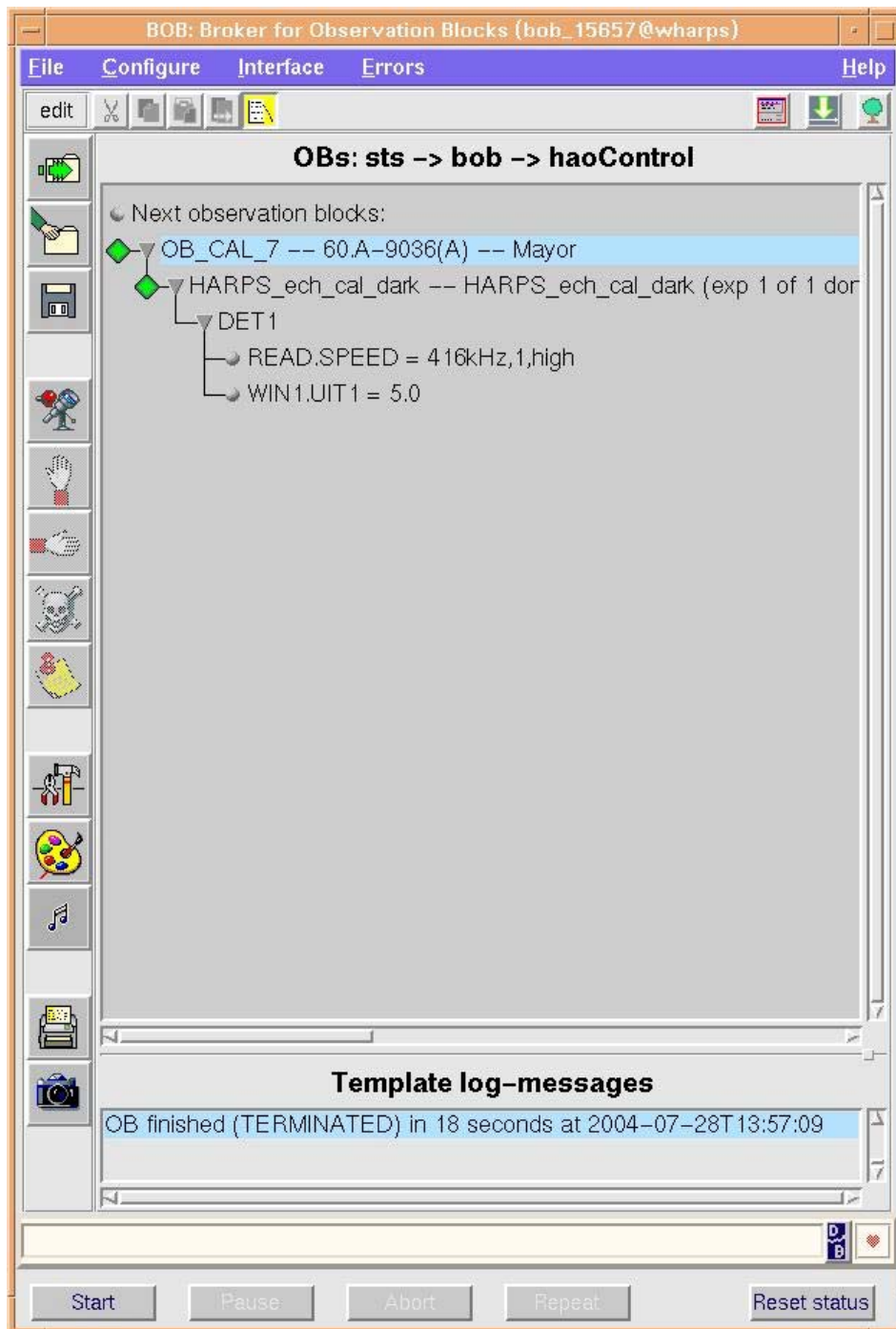
Le logiciel de commande doit permettre l'arrêt d'une pose, l'abandon d'une pose, la suspension et reprise d'une pose ainsi que la modification du temps de pose en cours de pose.

La taille du disque de sauvegarde provisoire (250 Go) correspond à trois semaines d'astérosismologie.

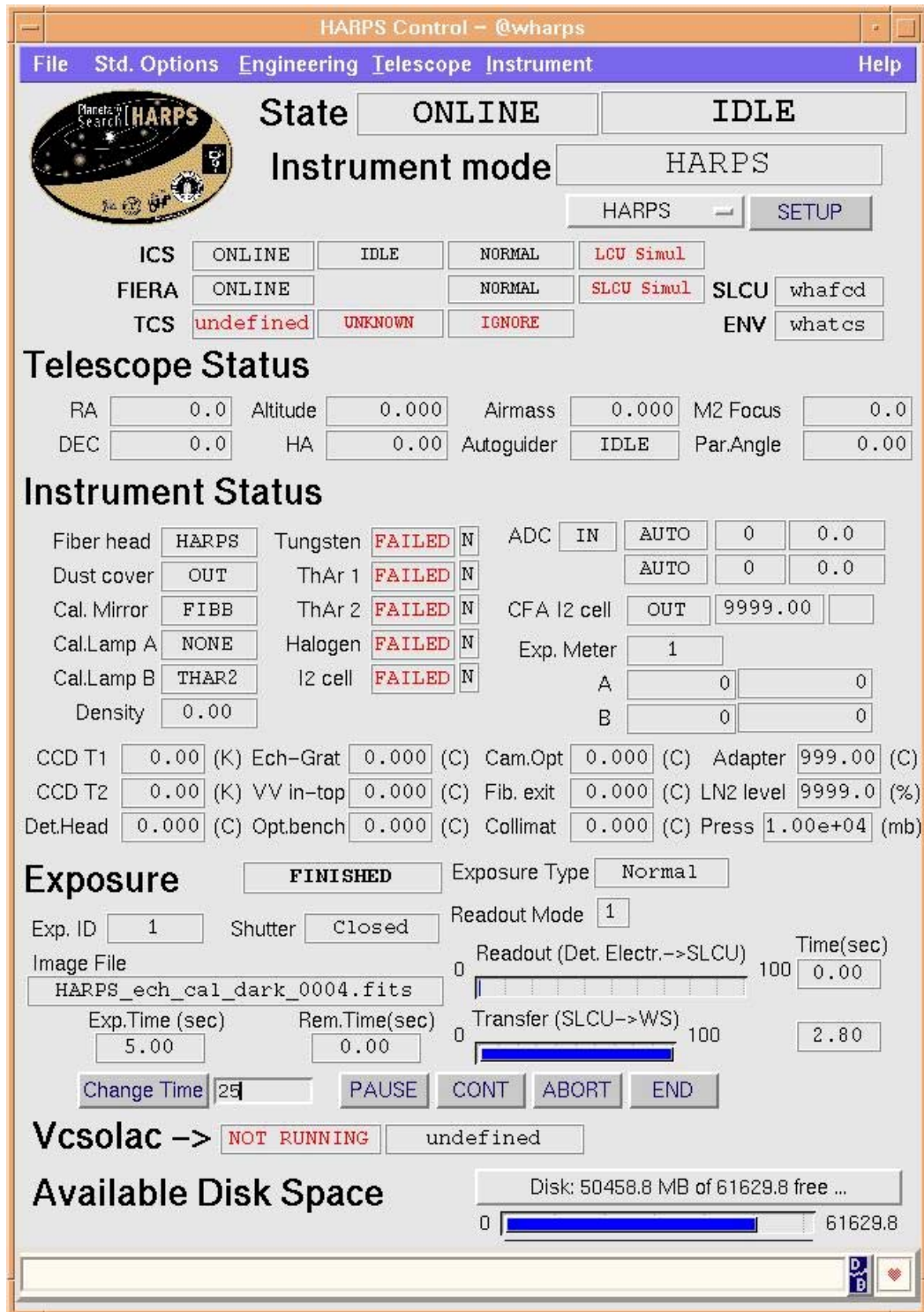
L'interface utilisateur comportera trois principaux panneaux d'affichage :

- Contrôle Observation
- Contrôle Instrument
- Configuration Instrument

Le panneau **``Contrôle Observation``** sera très comparable au panneau du BOB (Broker for Observation Blocks) de l'ESO. Il permet de charger un bloc d'observation défini par le logiciel observateur ou d'en configurer un directement. Il permet de modifier les paramètres d'un bloc d'observation et de le lancer.



Le panneau "Contrôle instrument" sera très comparable au panneau HARPS Control de l'ESO. Il permet d'afficher le statut de l'instrument et de ses sous systèmes (Bonnette, CCD, télescope, posemètre, sondes de pression et de températures). Il présente le décompte d'une pose et permet interruption/reprise/abandon d'une pose ainsi que le changement du temps de pose.



**HARPS Control - @wharps**

File Std. Options Engineering Telescope Instrument Help

**State**

**Instrument mode**

ICS

FIERA

TCS

**Telescope Status**

RA  Altitude  Airmass  M2 Focus

DEC  HA  Autoguider  Par.Angle

**Instrument Status**

Fiber head  Tungsten   ADC

Dust cover  ThAr 1

Cal. Mirror  ThAr 2   CFA I2 cell

Cal.Lamp A  Halogen   Exp. Meter

Cal.Lamp B  I2 cell   A

Density  B

CCD T1  (K) Ech-Grat  (C) Cam.Opt  (C) Adapter  (C)

CCD T2  (K) VV in-top  (C) Fib. exit  (C) LN2 level  (%)

Det.Head  (C) Opt.bench  (C) Collimat  (C) Press  (mb)

**Exposure**  Exposure Type

Exp. ID  Shutter  Readout Mode

Image File  Readout (Det. Electr.->SLCU)    Time(sec)

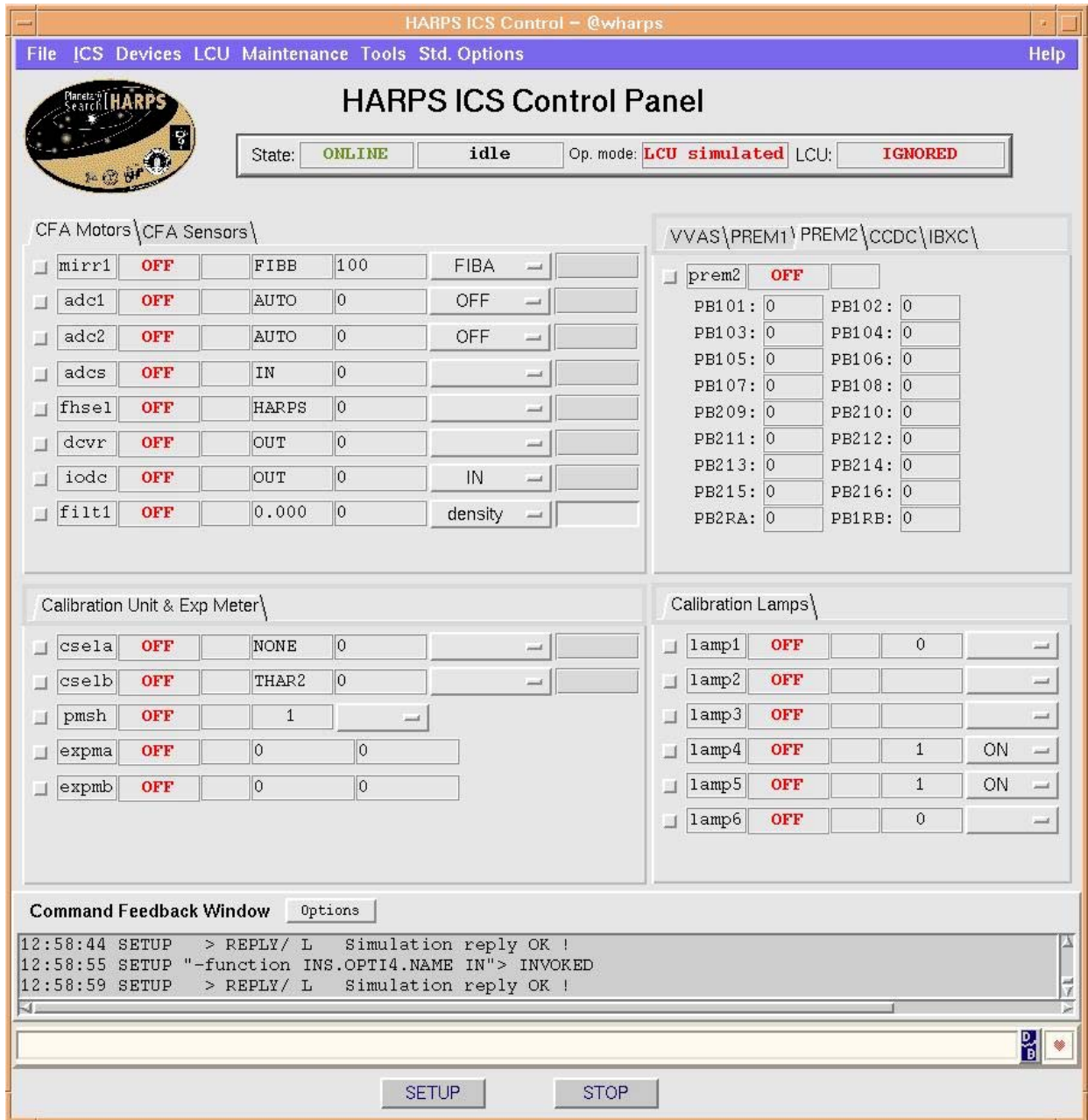
Exp.Time (sec)  Rem.Time(sec)  Transfer (SLCU->WS)

**Vcsolac** ->

**Available Disk Space**





Le panneau "Configuration instrument" sera très comparable au panneau Instrument Control Software de l'ESO. Il permet de configurer la bonnette (moteurs et lampes de calibrations) et le posemètre.



Responsable : J.P. Meunier

Moyens : PC SOPHIE - Windows XP – langage C

	 <b>OBSERVATOIRE DE HAUTE-PROVENCE</b>	<b>REF : OHP.PJT.SOP.RAP.041012_01</b> <b>Version : 01 Révision 00</b> <b>DATE : 12/10/04 Page 39/78</b>
--	---	--

### 3.3.2 Logiciel Télescope

Des nouveaux codeurs du télescope ont été installés et les coordonnées sont lues par le nouveau PC télescope (voué à remplacer la station HP1000). Actuellement les deux systèmes fonctionnent en parallèle mais la station HP1000 n'est plus maintenue. Il reste à réaliser un nouveau modèle de pointage à partir des nouveaux codeurs.

Dans le cadre de la jouvence du 193-cm, nous envisageons de développer un outil d'aide aux opérations du technicien de nuit. Le logiciel télescope, qui se limite actuellement à fournir les coordonnées du télescope, devra être en mesure de fournir toute l'aide nécessaire à l'opérateur télescope. Il devra en premier lieu avertir l'opérateur du pointage suivant et lui afficher les coordonnées ainsi que certains paramètres de pointage (secZ, direction de pointage, distance au pilier, ...). In fine le but est de fournir une interface graphique offrant des outils à l'opérateur télescope (pointage, mise au point, coupole, météo, ...) ainsi que l'image vidéo d'une webcam située dans la coupole permettant un contrôle de la position du télescope et du cimier de la coupole depuis la salle de contrôle.

**Responsables :** C. Carol, J.P. Meunier

Moyens : PC 193 - Windows XP – langage C

### 3.3.3 Logiciel Guidage

Le logiciel de guidage existe déjà pour ELODIE et a été spécifiquement testé sur le ciel. Le système est très performant et offre de nombreuses possibilités. Les paramètres ne semblent néanmoins pas forcément tous optimisés et il faudra de toute manière les adapter à SOPHIE compte tenu de la haute précision Doppler souhaitée et du fait que la dimension du trou de la fibre sur le ciel sera différente.

Des simulations et des tests réalisés sur le ciel montrent que pour que l'erreur de centrage soit inférieure à 1 m/s, même en cas de très bon seeing, cela signifie que le centrage lui-même doit être précis à mieux que 0.3 arcsec (soit 1.1 pixel sur la camera de guidage). Il en va de même pour la précision RMS du guidage.



Un trou numérique de 3 arcsec a été inclus dans le logiciel de guidage par G. Knispel afin de vérifier le bon fonctionnement du guidage avec la future fibre de SOPHIE. Le guidage a parfaitement fonctionné en mode 3 arcsec. Il faut néanmoins préciser que le seeing était alors compris entre 2.5 et 3 arcsec. On peut toujours craindre une dégradation du système lors d'un seeing extrêmement bon (1 – 1.5 arcsec).

Sur la caméra de guidage 1 arcsec correspond à 3.72 pixel. Le champ total de 2'20" (correspondant à la fenêtre d'acquisition 5) est lu en 5.4 s (sans atténuateur). Le champ restreint (correspondant à la fenêtre d'acquisition 2) est lu en 1.8 s. Ce temps de cycle est suffisant car il sera toujours plus court que le temps d'exposition et permettra de moyenniser les effets de guidage au cours de la pose.

Les amplitudes de corrections de guidage envoyées au télescope peuvent être amorties par un certain facteur par rapport à l'écart mesuré sur la caméra de guidage. Ce facteur vaut 50% actuellement. Il conviendrait de pouvoir ajuster de manière indépendante les facteurs d'amortissement en alpha et delta. Actuellement, les corrections en alpha montrent clairement des oscillations d'amplitude  $\pm 5$  pixels ( $\pm 1.34$  arcsec). Il faudrait essayer de réduire le facteur d'amortissement en alpha afin de réduire ces oscillations.

La saturation des images de la caméra de guidage peut conduire à des erreurs de guidage. Il conviendrait de pouvoir contrôler ce niveau de saturation en affichant la valeur du pixel max.

La mesure du seeing est possible sur la caméra de guidage mais lorsque l'étoile n'est pas centrée sur le trou. Cette mesure permet d'assurer le réglage de la mise au point du télescope. Cette mise au point dérive fortement au cours de la nuit (surtout en début de nuit). La mesure du seeing se faisant hors du trou, elle introduit une perte de temps d'observation non négligeable. Il conviendra d'utiliser une autre méthode pour ajuster la mise au point du télescope au cours de la pose (contrôle thermique, mesure du flux sur le posemètre, ...).

	 <b>OBSERVATOIRE DE HAUTE-PROVENCE</b>	<b>REF : OHP.PJT.SOP.RAP.041012_01</b> <b>Version : 01 Révision 00</b> <b>DATE : 12/10/04 Page 40/78</b>
--	---	--

La position du centre du trou (consigne) est calculée en temps réel. Il conviendrait d'ajuster automatiquement cette valeur de la consigne (qui dérive au cours de la nuit) et non manuellement comme c'est le cas actuellement. S'il s'avère qu'une précision du centrage meilleur que 0.3 arcsec est nécessaire, il conviendra de définir la valeur de consigne au ½ pixel prêt et non au pixel prêt comme c'est le cas actuellement.

Afin que l'utilisateur puisse apprécier la qualité du centrage/guidage/seeing sur une pose, il serait utile d'afficher sur le logiciel de guidage l'image de la caméra de guidage moyenne au cours de la pose.

La sauvegarde des paramètres et signaux d'erreurs envoyés au télescope pour analyse est souhaitable. On peut envisager la possibilité de communiquer des informations au PC de commande (seeing, RMS des corrections de guidage) et éventuellement de recevoir du PC de commande des informations sur la cible afin d'automatiser les paramètres optimum de guidage. Cette option n'est néanmoins pas retenue dans un premier temps.

**Responsable :** G. Knispel

**Moyens :** PC GUIDAGE - Linux – langage C++ - interface graphique QT

### 3.3.4 Logiciel CCD

#### ***Le contrôleur***

Le contrôleur OHP a été utilisé pour les premiers tests du CCD mais le contrôleur définitif est le contrôleur San Diego. Le logiciel du contrôleur San Diego est en cours de développement. Le contrôleur se comportera comme un serveur en attente du PC de commande agissant comme un client. Le contrôleur assure le pilotage de l'obturateur du spectrographe. Le contrôle de température du CCD est assuré par un contrôleur Eurotherm. Le contrôleur San Diego est fabriqué par ARC sous licence. Il a été développé par B. Leach du Département d'Astronomie de l'Université de San Diego. Les sources du logiciel sont fournies et peuvent être adaptées à nos besoins. Le contrôleur se présente sous la forme d'un coffret destiné à être placé à proximité du cryostat contenant le CCD. Un soin particulier a été apporté aux bruits parasites de lecture et à la sécurité du CCD. Le bloc d'alimentation est externe pour réduire les bruits parasites et la liaison avec le PC CCD se fait à travers des fibres optiques. Les tensions destinées aux polarisations et horloges sont appliquées d'une façon progressive pour éviter les surtensions dangereuses pour le CCD et l'alimentation est coupée si une des tensions n'est pas dans les limites requises. Le contrôleur comporte un "driver" d'horloge à 24 sorties ce qui est largement suffisant pour la mise en œuvre du CCD 44-82. Une carte supplémentaire permet le contrôle de l'obturateur et possède un certain nombre d'entrées/sorties configurables par l'utilisateur pour des besoins divers. Les tests du CCD ont été effectués dans un premier temps avec le contrôleur OHP. Les logiciels existent et peuvent être adaptés très facilement au CCD 44-82. Ce contrôleur pourra servir de secours par la suite en cas de défaillance du contrôleur San Diego. Un contrôleur San Diego de remplacement doit néanmoins être commandé.

#### ***Le CCD***

Le CCD est le 44-82 de chez EEV (aminé et illuminé par l'arrière avec couche anti-reflet). Le CCD possède 2048x4096 pixels de 15 microns auxquels s'ajoutent deux zones de prescan et d'overscan de 50 x 4096 pixels pour la détermination du bias et bruit de lecture. Le CCD fourni est un CCD de grade 0 avec une seule colonne défectueuse (à identifier). Cette colonne défectueuse contraint l'orientation du CCD dans la caméra (2 positions possibles) afin qu'elle puisse tomber entre deux ordres. Un CCD de grade 5 (engineering) a également été fourni et servira à valider le fonctionnement du contrôleur. Un échantillon mécanique servira à tester la mise en place et la régulation en température. Les tests de l'échantillon mécanique et du grade 5 réalisés avec le contrôleur OHP sont présentés dans le document annexe 6.

#### ***Les modes***

La carte vidéo permet une lecture en mode rapide à la cadence de 2.5 micro-seconde par pixel, soit une cadence de 400 kpixels/s. La lecture du CCD se fait donc en 22 secondes. Le bruit de lecture minimum est cependant obtenu en lecture lente à la cadence de 22 micro-seconde par pixel (45 kpixels/s). Avec une seule sortie, la lecture du CCD entier se fait alors en 193 s. L'utilisation de deux sorties va introduire une



difficulté non négligeable dans la réduction des images et risque d'introduire une perturbation sur les ordres spectraux coupant le centre du CCD. Le faible inter-ordre et la courbure des ordres empêchent d'ajuster la position des ordres sur le CCD pour éviter cette coupure ce qui permettrait l'utilisation des deux ports. La programmation des modes du CCD est réalisée sur une PROM ce qui restreint à un nombre de modes limités. Les deux modes de lecture souhaités par le groupe scientifique sont le mode de lecture rapide et le mode de lecture lente. Le fenêtrage ne sera pas proposé aux utilisateurs mais seulement pour des tests spécifiques si nécessaires. Il faudra vérifier l'intérêt du binning 1x2 en mode haute efficacité (le seul avantage serait une diminution du bruit de lecture). Lors des tests du CCD et lors des développements techniques, tous les modes du CCD doivent être testés et caractérisés (notamment les 2 ports de lecture).

Mode	Vitesse (kpixels/s)	Nb port	Gain (e-/ADU)	Binning	Bruit (e-)	Temps de lecture (s)
`45kHz,1,low,1`	45	1	1.27	1x1	2.4	194
`400kHz,1,high,1`	400	1	2.54	1x1	5.0	22

L'utilisation du mode "binning" divise le temps de lecture par deux et le rapport signal/bruit par  $\sqrt{2}$ .

### **L'image**

L'image brute est codée en entier sur 16 bits (2 octets). Une image brute de 4096 x 2148 fait donc 17.6 Mo. La conversion d'entier en flottant prend moins de 2 secondes sur un PC courant et ne justifie donc pas le stockage en flottant sur 32 bits. L'image est transmise au PC CCD par une fibre optique qui possède une capacité de transmission de 2.5 Mpixels/s (soit un temps de transfert de 3.4 s). L'image n'est pas stockée sur le PC CCD (sauf durant la phase de tests) mais directement envoyée au PC de commande par liaison Ethernet 1 Gbit/s (2 s.). Le transfert se fera parallèlement à la lecture du CCD.

### **Le logiciel serveur**

Le logiciel du contrôleur est un logiciel serveur qui permet de :

- Initialiser le balayage du CCD
- Attendre une commande du client (Logiciel de commande sur PC SOPHIE)
- Répondre aux commandes du client

Les commandes peuvent être les suivantes :

- Changement des modes de balayage (vitesse, binning, fenêtrage)
- Commandes du CCD (lecture, pose, effacement)
- Test de l'état du balayage du CCD (lecture, pose, effacement)
- Transfert de l'image en mémoire
- Saisie de la température, de la consigne et de la puissance de régulation
- Saisie des paramètres du contrôleur
- Commande de l'obturateur

Pour tester ce logiciel serveur et pour les phases de maintenance du CCD, un logiciel client sera développé sur le PC CCD. Les fonctions de base du logiciel CCD sont décrites dans le document annexe 7.

### **Interface avec le PC de commande**

Le PC de commande se comporte comme un client vis à vis du logiciel CCD et doit lui fournir les commandes liées à l'exposition ainsi que d'attendre et recevoir l'image. Les trois paramètres d'une pose standard sont le mode de lecture [low/high], le type de pose [dark/normal] et le temps de pose [0.1-9999]. Le logiciel de commande doit aussi être en mesure de transmettre au logiciel CCD les ordres de reset du contrôleur, prise d'une mire (test), suspension/reprise d'une pose, arrêt/abandon, modification du temps de pose. Les horloges du PC de commande et du PC CCD devront être synchronisées.

Deux stratégies sont possibles, ou bien le PC de commande envoie les commandes de bas niveau directement ou bien il envoie une commande de haut niveau ou un fichier de configuration qui est traité par le PC CCD et converti en commandes de bas niveau.

Il faut en tout cas s'assurer de ne pas avoir à modifier les commandes envoyées par le PC de commande en cas de changement de contrôleur. Le PC CCD doit faire parvenir au PC de commande les valeurs des descripteurs de l'image FITS lie au CCD (vitesse de lecture, gain, bruit de lecture, durée réel temps de pose, date début de pose, durée ouverture obturateur, température CCD, consigne de température, puissance de régulation, ...). La durée totale de la pose sera déterminée à mieux que 0.1 s. La date de début de pose devrait être connue à mieux que 1s.

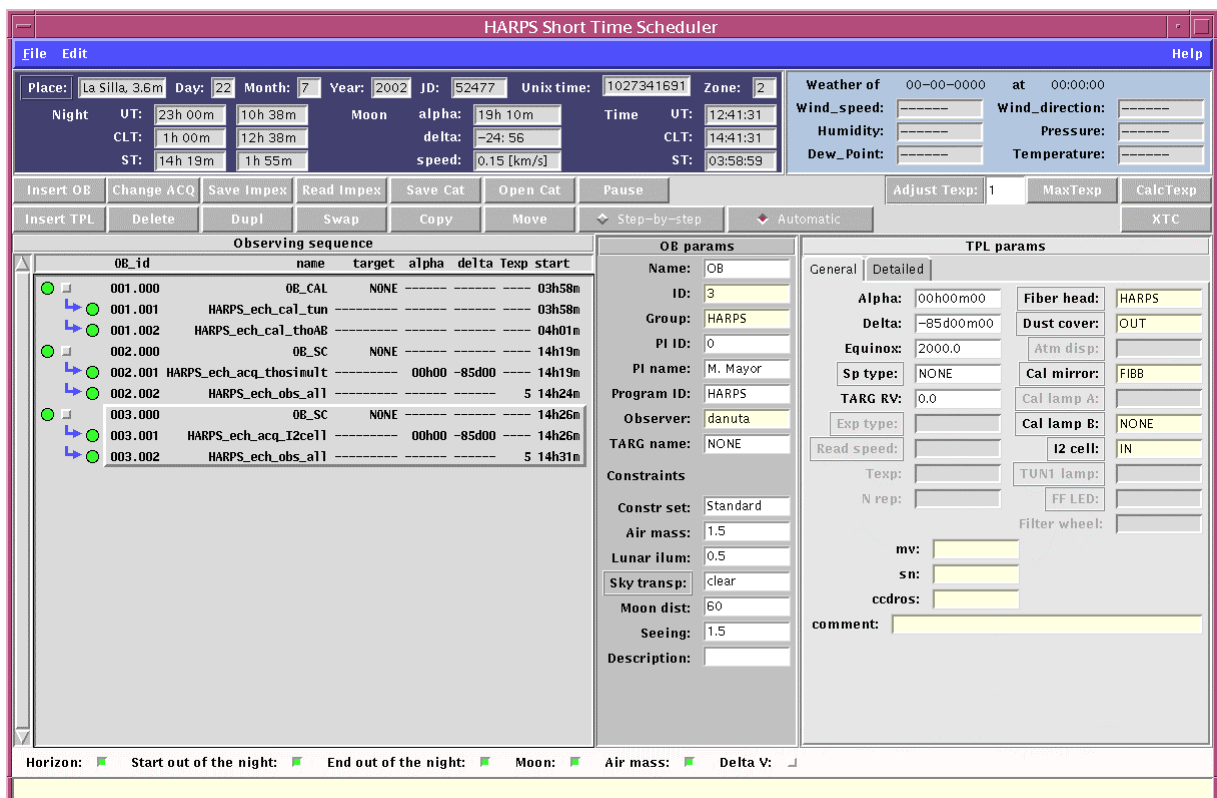
**Responsables** : G. Knispel, X. Regal, C. Carol

**Moyens** : PC CCD – Linux – langage C++ - Interface TclTk

### 3.3.5 Logiciel observateur

Le logiciel observateur constitue un module ou un ensemble de modules voués à aider l'observateur à préparer une nuit d'observation, à modifier, corriger, échanger ses observations, à interagir avec son catalogue, à insérer des poses de calibrations, etc ... . Ce logiciel a pour but final de construire des fichiers d'observation, chaque fichier définissant une et une seule observation. Ce fichier est ajouté à une liste de fichier d'observations appelée et rapatriée par le PC de commande. Ce logiciel est une adaptation du logiciel STS (Short Time Scheduler) développé à Genève pour le projet HARPS. Le logiciel observateur communique au PC de commande par liaison socket et transmet les paramètres et leurs valeurs associées du template d'observation préparé par l'observateur.

Le logiciel Observateur charge un catalogue fournit par l'utilisateur et comportant toute les informations nécessaires au pointage de l'objet ainsi qu'à la réduction des données et au calcul de la vitesse radiale.



**Responsables** : D. Sosnowska (Genève)

**Moyens** : PC OBS - Linux– langage Perl

### 3.3.6 Logiciel réduction

Le logiciel de réduction des données de SOPHIE est basé et adapté sur le logiciel de réduction des données de HARPS (voir documents HARPS : 3M6-TRE-HAR-33110-0006, 3M6-VER-HAR-33110-0019, 3M6-VER-HAR-33110-0016).

La réduction "on-line" est envoyée automatiquement et sans intervention de l'utilisateur par un déclenchement logiciel (Trigger) dès qu'une image brute arrive sur le disque du PC DRS. Le Trigger associe automatiquement la recette de réduction appropriée à l'image brute reçue grâce à la lecture de ses descripteurs FITS. Les seuls paramètres transmis à la recette de réduction sont le nom du répertoire de la nuit et le ou les noms des images brutes :

> *REDUCTION\_PROGRAM* 2005-02-15 SOPHIE.2005-02-15T02:15:45.621.fits

Il y a autant de recettes de réduction on-line que de modes d'observation. La liste des recettes de réduction figure section 6.1.4. Le logiciel de réduction on-line fournit directement les spectres S2D (spectres extraits 2-dimension calibrés en longueur d'onde), les spectres S1D (spectre extraits 1-dimension re-échantillonnés à pas constant et calibrés en longueur d'onde) ainsi que la fonction de corrélation CCF.

Le module off-line (ou plus exactement module de second niveau) permet via une interface graphique de visualiser, analyser et traiter des données réduites. Le logiciel de second niveau de HARPS permet actuellement de visualiser des spectres réduits et de refaire une corrélation.

Le logiciel de réduction de HARPS a récemment été adapté sur FLAMES (VLT) et est en cours d'adaptation sur CORALIE et ELODIE. Le format spectral de SOPHIE étant très comparable à celui de HARPS (sinon plus simple compte tenu du fait qu'il n'y a ici qu'un seul CCD), l'adaptation ne posera pas de difficulté particulière. La première phase d'adaptation du logiciel utilisera des images synthétiques du spectrographe SOPHIE basées sur des simulations du modèle optique tel que la figure 21 :

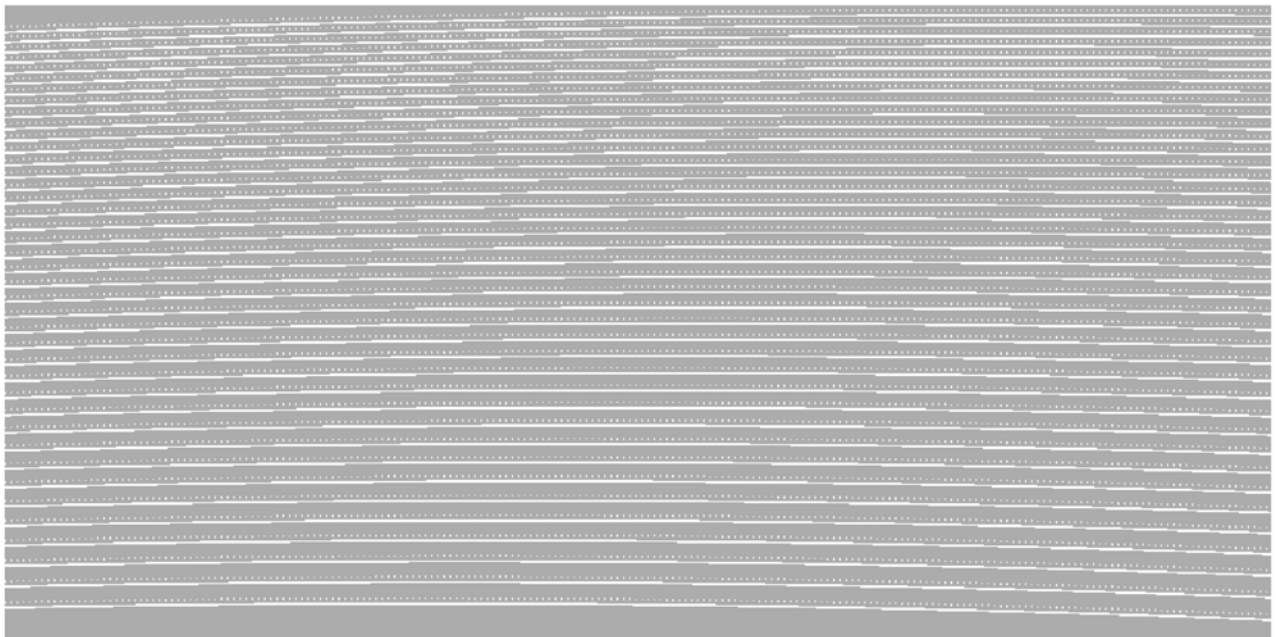


Figure 21. Simulation du modèle optique

**Responsables :** F. Bouchy, D. Mégevand (Genève)

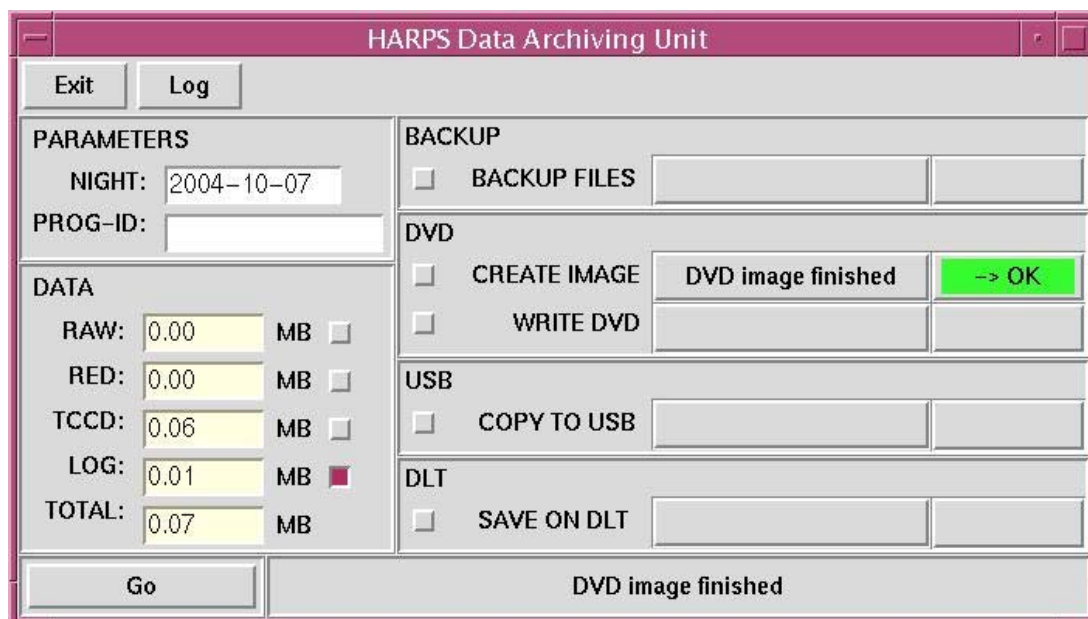
**Moyens :** PC DRS - Linux – langage Python

### 3.3.7 Sauvegarde des données

La taille d'une image brute est 17.6 Mo. Une image réduite correspond à 1.25 Mo (2 fibres x 38 ordres x 4096 pixels x 4 octets). On doit donc compter sur environ 20 Mo de données par pose. Une nuit exoplanètes moyenne (60 poses) génère 1.2 Go. Une nuit d'astérosismologie (600 poses) génère 12 Go. Il est

préférable d'éviter la compression des données si non justifiée car les données compressées ne peuvent être re-réduite par le logiciel de réduction et la décompression prend un temps non négligeable. L'espace disque du PC DRS (250 Go) pourra conserver 3 semaines de données d'asterosismologie (soit 360 Go). Le logiciel d'archivage est une adaptation du logiciel DAU (Data Archiving Unit) développé par Genève (D. Sosnowska). Il permet à l'utilisateur de sélectionner les données brutes, réduites, ainsi que les fichiers logs d'une nuit donnée pour la copier (graver) sur un DVD (4.7 Go) ou un disque USB.

**Responsable** : D. Sosnowska (Genève)



**Moyens** : PC DRS – Linux – langage Perl TK

### 3.3.8 Archivage



#### Archivage automatique

Chaque fichier CCD en provenance de SOPHIE sera écrit en format FITS sur deux volumes différents: le PC DRS pour les besoins de la réduction et de la sauvegarde par l'utilisateur, et le PC Archivage/Base de données (PC BdD) pour l'archivage à long terme et son indexation dans une base de données. Les résultats de la réduction seront également écrits et indexés sur le PC BdD afin de les rendre accessibles via un navigateur Web. Le stockage en-ligne de **toutes** les données produites par le spectrographe, données brutes et données réduites, se justifie par le besoin d'accéder directement aux données originales pour un retraitement complet lors d'une amélioration du logiciel d'extraction/réduction ou lors de l'approfondissement de notre connaissance de l'instrument. Un tel retraitement est courant pour les données issues du spectrographe HARPS.

Pour une utilisation de l'instrument sur 200 nuits/an en moyenne, le volume des données brutes se situe en moyenne aux environs de 5 Go/nuit, soit donc de 1 To/an. Le stockage fiabilisé d'un tel volume de données nécessite un système de disques de haute capacité montés en RAID-5. Des tels systèmes très abordables existent à l'heure actuelle (par exemple une baie composée de 14 disques Serial-ATA de 250 Go avec deux contrôleurs RAID pour un volume utile de 3 To en RAID-5 coute 9 k€ HT). Il suffira d'ajouter ultérieurement d'autres baies pour étendre l'espace de stockage après la troisième année d'exploitation. De plus, les moyens de stockage sur disque vont continuer à évoluer en capacité.

**Responsables** : S. Ilovaisky, P. Prugniel (CRAL - Lyon), J. Moutaka (Univ. Cologne), C. Soubiran (Obs. Bordeaux)

**Moyens** : PC BdD– Linux – PostgreSQL, Pleinpot, JavaScript, Fortran, C, Perl, Apache

	 OBSERVATOIRE DE HAUTE-PROVENCE	REF : OHP.PJT.SOP.RAP.041012_01 Version : 01 Révision 00 DATE : 12/10/04 Page 46/78
--	--	---

## **4. IMPLANTATION ET ENVIRONNEMENT**

### **4.1 Aménagements (YR)**

#### **4.1.1 Lieu d'implantation**

Parmi les différents critères avancés pour déterminer l'emplacement de Sophie dans le T193, l'élément prépondérant a été la longueur de fibre entre la bonnette du télescope et Sophie. En conséquent, la salle d'observation ( salle du coudé ) a été retenu pour cette implantation (Cf. annexe 8).

#### **4.1.2 Disposition de la salle**



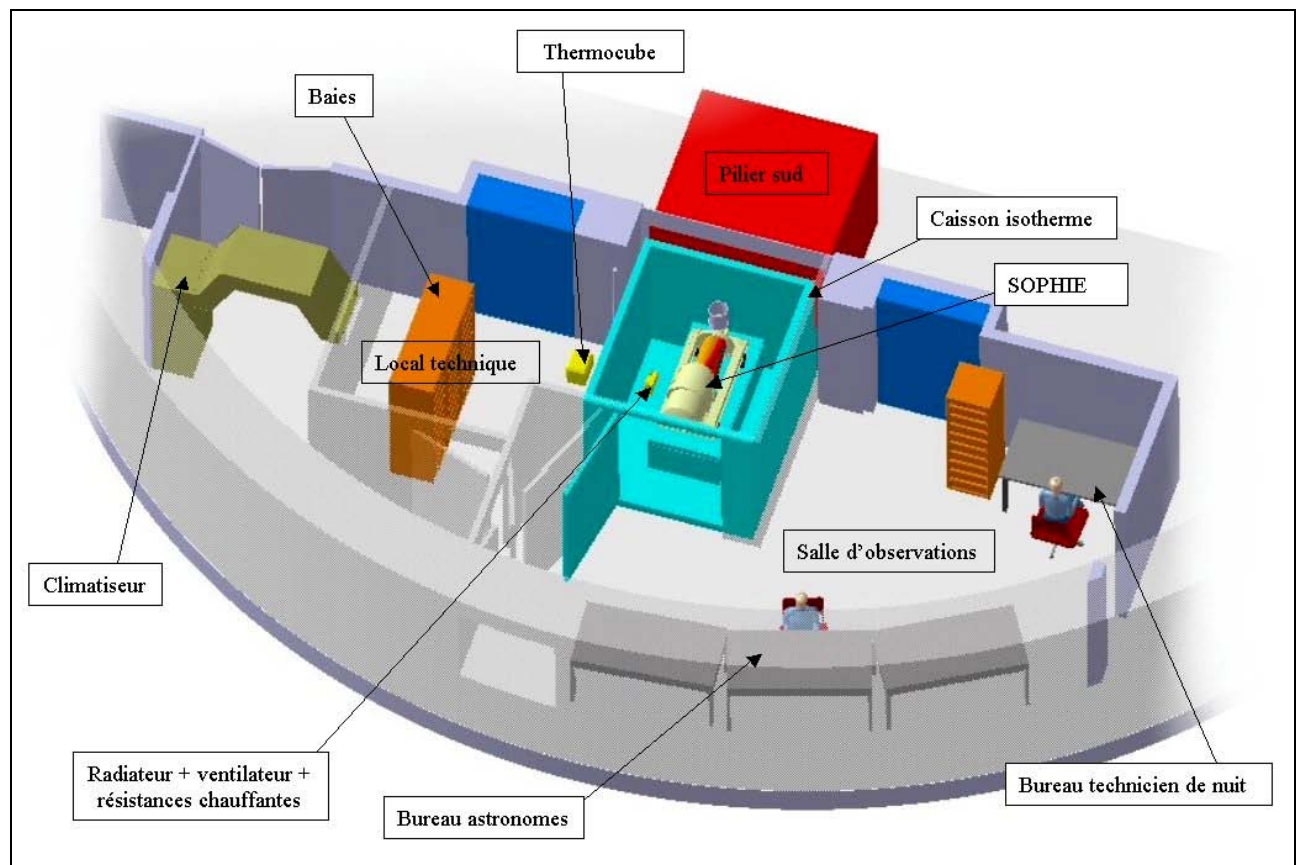


Figure 22. Dessin d'ensemble de la salle d'observations





REF : OHP.PJT.SOP.RAP.041012\_01

Version : 01 Révision 00

DATE : 12/10/04 Page 48/78

L'instrument est "accroché" sur le pilier sud du T193 (structure antisismique), par l'intermédiaire d'un châssis, lequel est enveloppé de parois isolantes. Un caisson isotherme prend place autour de Sophie. La salle d'observations et le spectrographe sont séparés par une cloison.

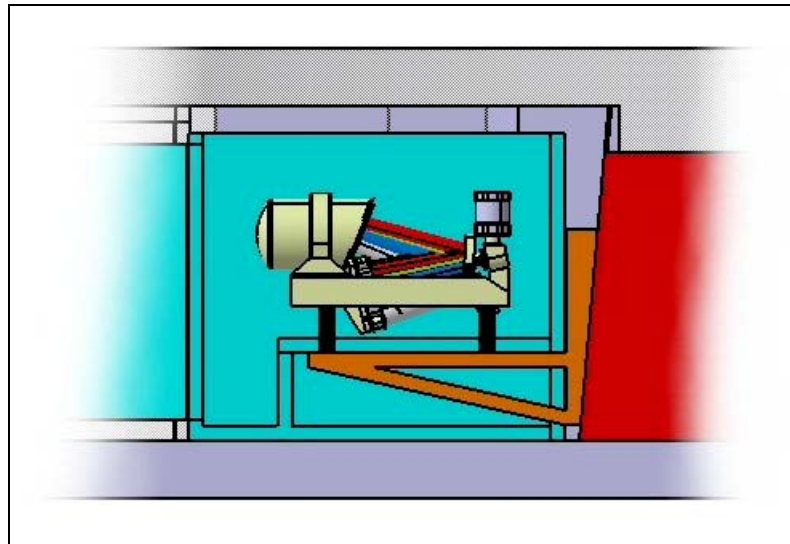


Figure 23. Coupe du support du spectrographe

## 4.2 Régulation thermique

On a vu qu'un paramètre essentiel pour la précision des mesures de Sophie était la stabilité en température de tout l'ensemble du spectromètre et on espère obtenir mieux que  $1/100$  °C. Pour y parvenir, le spectromètre sera placé dans un petit local ou caisson thermostaté et présentant une bonne isolation thermique avec l'extérieur. Dans la salle d'observation du T193, le local technique climatisé sera étendu de façon à englober le caisson thermostaté du spectromètre. Voir 4.1. Naturellement, il faudra assurer une bonne étanchéité de façon à éviter les infiltrations d'air.

La température du caisson sera de 20 °C environ comme celle du local technique climatisé.

A l'intérieur du caisson, l'air sera brassé par un ventilateur placé devant des résistances chauffantes pour asservir la température, mesurée par une sonde Pt100, à la consigne. L'asservissement sera assuré par un contrôleur 2704 de la Sté Eurotherm.

La circulation de l'air sera canalisée par une gaine d'un bout à l'autre du caisson de façon à avoir une température uniforme.

Il faudra en plus une source froide de façon à ce que la puissance de régulation puisse varier de part et d'autre de zéro et en fait, il faudra plutôt absorber de la puissance pour compenser les déperditions internes au caisson. Néanmoins la régulation sera uniquement en mode chauffage qui est plus facile à mettre en œuvre.

La source froide sera constituée d'un radiateur ventilé placé dans le caisson, avec circulation d'un liquide refroidi à température constante par un refroidisseur à effet Peltier de la Sté Solid State Cooling. L'intérêt de ce refroidisseur est la régulation en mode PID du liquide de refroidissement ce qui assure une bonne stabilité de sa température contrairement aux climatiseurs classiques avec lesquels la température varie en dent de scie selon un cycle de plusieurs mn.

Ce dispositif a été testé dans le local d'Elodie et a donné les résultats escomptés. (Voir annexe 14).

#### 4.2.1 Dimensions du caisson et déperdition

Le caisson sera constitué de panneaux isolants de 10 cm d'épaisseur y compris au sol.

Largeur 2,03m  
 Longueur 2,40 m  
 Hauteur 2,03 m

Surface totale:  $(2,03 \times 2,40 + 2,40 \times 2,03 + 2,03 \times 2,03) \times 2 = 27,73 \text{ m}^2$   
 Volume:  $2,03 \times 2,4 \times 2,03 = 9,89 \text{ m}^3$

Coefficient des panneaux :  $K = 0,212 \text{ W. m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$   
 Soit pour  $27,73 \text{ m}^2$  Déperdition = 5,82 W/°C

#### 4.2.2 Constante de temps de refroidissement ou de réchauffement de l'air intérieur. Réponse aux perturbations.

Une modélisation précise de la régulation thermique est difficile et superflue. On donne ici des ordres de grandeur.

Le plaquage en aluminium de 0,5 mm des panneaux isolants intervient dans l'inertie thermique de l'intérieur de l'enceinte. Etant donnée la surface d'échange et l'épaisseur on supposera que ce plaquage est en équilibre thermique avec l'air interne à l'enceinte.

Capacité calorifique de l'air :  $1306 \text{ J. m}^{-3} \cdot \text{°C}^{-1}$  (Pression constante)  
 Capacité calorifique de l'air du caisson:  $1306 \times 27,73 = 12916 \text{ joules/°C}$

Capacité calorifique de l'aluminium :  $2430 \text{ J.l}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$   
 Volume en litres :  $2773 \times 0,005 = 13,86 \text{ l}$   
 Capacité calorifique  $13,86 \times 2430 = 33680 \text{ joules/°C}$ .

Capacité calorifique totale  $33680 + 12916 = 46596 \text{ J/°C}$ .

Compte tenu de la déperdition on a une constante de temps de  $46596/5,82 = 8006 \text{ s}$  soit 133 mn.  
 Cette constante de temps est liée à l'évolution de la température interne (si elle n'était pas stabilisée) après variation de la température externe.

Avec un débit estimé à 500 m<sup>3</sup>/h pour le ventilateur, le brassage de l'air du caisson sera effectué en 1,2 mn environ ce qui fixe l'ordre de grandeur de la constante de temps de la régulation. Il y a un facteur 100 environ avec la constante de temps de l'air du caisson.

Ceci veut dire qu'une variation rapide de 1 °C de l'air extérieur au caisson provoquera une perturbation de 0,01 °C à l'intérieur du caisson rattrapée ensuite par la régulation.

Ceci justifie le placement du caisson dans une enceinte elle-même climatisée pour assurer une stabilité en température meilleure que 1°C de l'air externe au caisson.



Ce qui est important en fait, c'est la stabilité à moyen terme de l'air à l'intérieur du caisson, les fluctuations résiduelles rapides seront lissées par l'inertie thermique des matériaux constituant le spectromètre qui sera lui-même entouré d'une isolation thermique.

#### 4.2.3 Puissances de régulation

La puissance à évacuer à l'intérieur du caisson est essentiellement celle du ventilateur de brassage de l'air soit 42 W. A cela peuvent s'ajouter les pertes dues aux cloisons si la température externe est plus élevée, soit 5,82 W/°C.

La puissance évacuée par le radiateur de refroidissement en fonction de la différence de température du liquide avec l'air est de 22W/°C. Pour une température de liquide de 15 °C et de 20°C pour l'air, on évacue donc 110 W ce qui semble largement suffisant.

Le système de refroidissement "Thermocube" est capable d'absorber une puissance de 225 W pour  $\Delta T = 5^\circ\text{C}$ . Il sera placé dans le local technique climatisé. Il rejette lui-même une puissance thermique qui

	 <p>OBSERVATOIRE DE HAUTE-PROVENCE</p>	<p>REF : OHP.PJT.SOP.RAP.041012_01</p> <p>Version : 01 Révision 00</p> <p>DATE : 12/10/04 Page 51/78</p>
--	--	--

augmente avec la puissance absorbée et avec un rendement qui diminue avec  $\Delta T$ . Néanmoins le climatiseur du local technique devrait pouvoir absorber le surcroît de puissance délivrée par le "Thermocube". Les résistances chauffantes de la régulation pourront fournir une puissance allant jusqu'à 500 W.

#### 4.2.4 Cryostat

Le cryostat ne participera pas au bilan thermique car sa paroi externe qui est normalement plus froide que la température ambiante sera régulée de façon à avoir une température égale à la température ambiante. De la sorte, il ne perturbera pas l'environnement.

La régulation se fera autour du hublot qui est devant le CCD et au niveau du couvercle arrière du cryostat.

La régulation autour du hublot évite la condensation sur le hublot et maintient une température égale à la température ambiante sur la tête de CCD qui est très proche du miroir percé du spectromètre.

La régulation du couvercle arrière a pour effet de maintenir stable sa température qui aurait tendance à chuter fortement et avec elle celle de tout le cryostat, lors des remplissages en azote liquide au contact du tube de remplissage. Ce système a montré son efficacité avec le cryostat d'Elodie. De plus, étant donnée l'autonomie, les remplissages pourront avoir lieu le matin ce qui laissera aux perturbations le temps de se résorber.

L'azote évaporé sera rejeté par une canalisation à l'extérieur du caisson.

#### 4.2.5 Contrôle des températures et de la pression atmosphérique

Une centrale de mesure des températures à 16 entrées permettra le contrôle et l'enregistrement des températures en différents points du spectromètre et de l'air du local avec une résolution égale au  $1/100$  °C.

La pression atmosphérique sera également enregistrée.

Le matériel de plusieurs fournisseurs est à l'étude.

- Datascan 7321 de msl chez Sm2i

- Multimeter 2700 chez Keithley (possibilité dialogue sur liaison TCP/IP).

- Switch Unit 34970A ou 34980A (plus récent) chez Agilent Technologies.

Quelque soit le matériel utilisé, il ne faut pas espérer une stabilité garantie meilleure que quelques centièmes de °C par an qui est liée aux dérives des sondes. D'après le document 3M6-TRE-HAR-33102-0005 du projet HARPS, le système de régulation Lakeshore avec une diode DT470 serait le meilleur avec une stabilité à long terme de un centième de °C. Le serveur web de Lakeshore indique une stabilité de 2,5 centième cependant. Pour les capteurs Pt100 on trouve des indications allant de 1 à 6 centièmes. Ils ont l'avantage d'être d'un emploi plus courant.

#### Pression à l'intérieur de la cuve hermétique

L'indice de réfraction du gaz à l'intérieur de la cuve contenant le réseau est lié à sa masse spécifique. Si la cuve est bien hermétique elle ne doit pas varier, assurant la stabilité optique du système. Le contrôle de l'étanchéité sera fait par un capteur de pression "Paro Scientific" offrant une résolution de 0,001 mbar. La stabilité garantie sur un an est de 0,1 mbar. Ce capteur a été commandé, reçu et testé.

### 4.3 Télescope

#### 4.3.1 Bonnette

Comme décidé au début du projet, la bonnette d'ELODIE sera conservée pour SOPHIE. Une interface électronique a été réalisée afin de pouvoir piloter les sous systèmes opto-mécaniques à partir du PC de commande de SOPHIE. La fibre Fabry-Perot alimentant la bonnette laisse la possibilité de déporter les sources de calibration au cas où cela s'avérerait nécessaire. La bonnette a été démontée et présentée à l'ensemble du groupe projet le 19/12/2003 sous la direction de D. Kholer afin d'identifier l'ensemble des composants et leur réglage en cas de changement et/ou de panne (voir photographies sur la page web SOPHIE). La bonnette permettra d'accueillir soit le jeu de fibres ELODIE soit le jeu de fibres SOPHIE. La commutation entre les deux jeux de fibres ne s'avérant pas être une opération trop délicate. On pourra ainsi relativement facilement et rapidement commuter de SOPHIE à ELODIE lors des périodes de tests de l'instrument. Ainsi la période de transition ELODIE/SOPHIE ne pénalisera pas les programmes scientifiques menés sur ELODIE en imposant de trop longues coupures.

Divers tests ont été menés en mai 2004 (voir rapport OHP.SCT.SOP.NOT.040818\_01). Des mouvements répétés dans la bonnette ont été réalisés afin de contrôler la reproductibilité de positionnement des miroirs d'étalonnage. Aucun effet visible supérieur au bruit de photon (70 cm/s) n'a été remarqué.

Différents tests sont prévus sur la bonnette avec SOPHIE afin de vérifier que celle-ci ne limite pas la précision des mesures Doppler (Cf. annexe 9).

#### 4.3.1.1 Interface train de fibre

Cf. § 2.1.3.1.

#### 4.3.1.2 Interface électronique

##### 4.3.1.2.1 Introduction

La bonnette (environnement des fibres), implantée au foyer du télescope de 1m93 pour le spectromètre ELODIE sera conservée pour le projet SOPHIE.

Les mouvements des différents éléments électromécaniques de la bonnette sont actuellement gérés par un ensemble, situé dans la salle d'observations, constitué d'un ordinateur PC et d'un coffret de commande contenant toute l'électronique nécessaire (cf. figure 24).

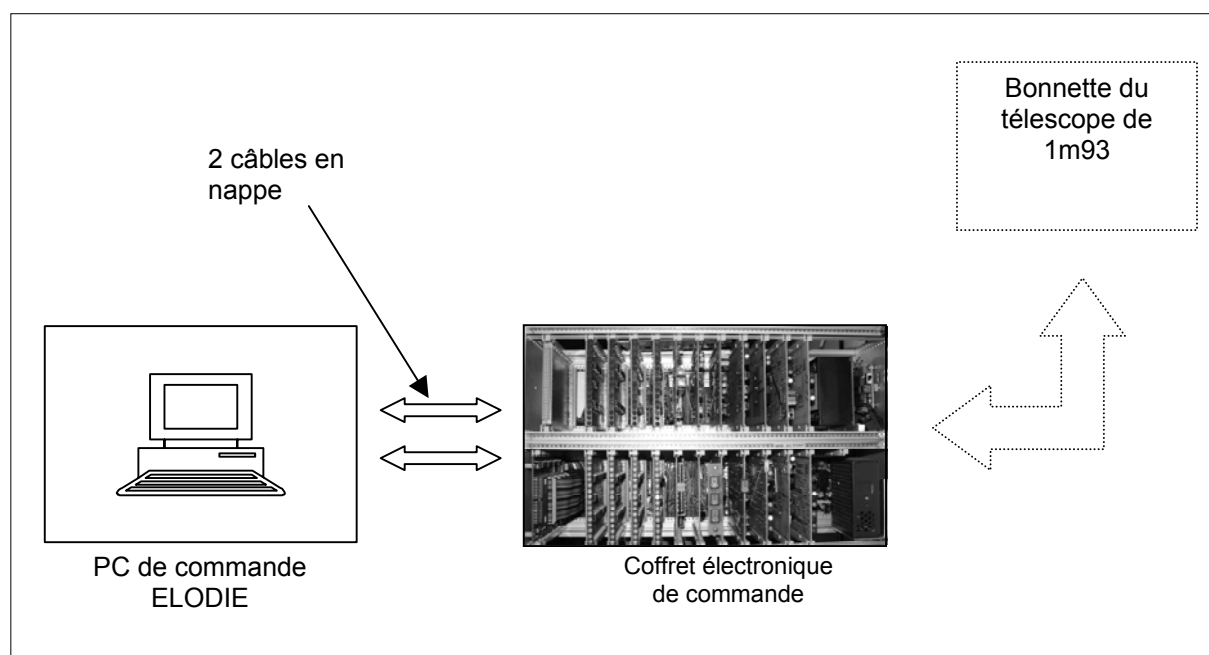


Figure 24. Synoptique de fonctionnement de la commande de bonnette

Pour le projet SOPHIE, l'électronique de commande de la bonnette sera également conservée mais une adaptation est nécessaire afin de pouvoir remplacer par un PC moderne, l'ordinateur existant, un PC 386 sous DOS cadencé à 20 MHz, qui pilote cette électronique.

Durant la phase de mise au point de SOPHIE la bonnette doit pouvoir rester pilotable avec ELODIE. L'adaptation doit donc permettre un basculement facile entre les deux instruments.

#### 4.3.1.2.2 Adaptation de l'électronique de commande

L'échange de données entre le PC de commande et le coffret électronique est assuré par une interface, de marque Microstar, constituée de 2 éléments : une carte (**DAP1200**) enfichée dans le bus ISA du PC ELODIE, et une carte d'extension (MSXB 004-02) située dans le coffret électronique de commande. La carte DAP1200 est reliée au coffret électronique par deux nappes de 40 conducteurs. Une nappe sert aux échanges des signaux analogiques, l'autre nappe sert aux échanges des signaux numériques.

Le remplacement du PC d'ELODIE par un PC moderne implique le remplacement de la carte d'interface (DAP1200) par une carte au format PCI qui équipe tous les PC actuels. La carte interface retenue est le modèle PCI6025E de National Instrument. Elle dispose du nombre d'entrées/sorties nécessaires pour piloter l'électronique de commande de la bonnette. Un connecteur de 100 broches permet d'accéder à l'ensemble des signaux d'entrée/sortie de la carte.

Un module d'adaptation, permet d'assurer la compatibilité entre le connecteur 100 broches de la carte PCI, et entre les 2 connecteurs de 40 broches situés sur le coffret électronique de commande.

Actuellement, un module réalisé en « Wrapping » et un programme de test ont permis de valider le fonctionnement du système pour l'envoi et la lecture de données entre la carte National Instrument la carte d'extension située dans le coffret électronique de commande. Une partie des mouvements dans la bonnette a également pu être testée.

Le module d'adaptation définitif, en cours de développement, permettra de piloter l'ensemble de la bonnette.

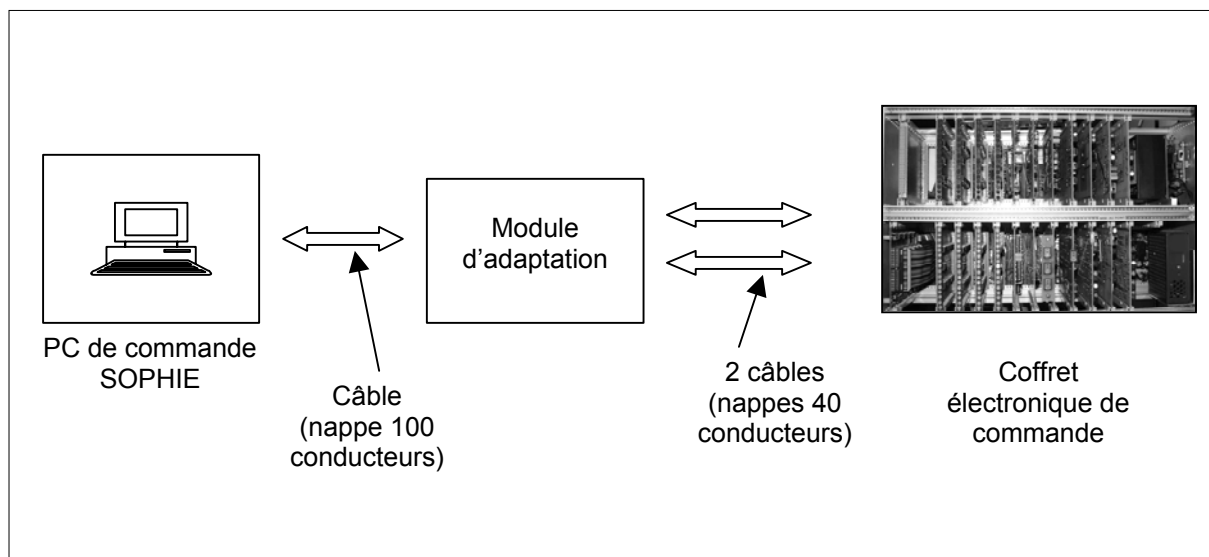


Figure 25. Raccordement du PC à l'électronique de commande

Le basculement entre ELODIE et SOPHIE se fera simplement par le changement de 2 câbles. Le coffret de commande sera relié au module d'adaptation dans le cas d'une utilisation de la bonnette avec SOPHIE (Figure 25), ou il sera directement relié au PC de commande dans le cas d'une utilisation avec ELODIE.



### 4.3.2 Coordonnées télescope

#### 4.3.2.1 Introduction.

Au début des années 80, le télescope de 193 cm a été équipé sur ses deux axes de règles optiques (de marque Heidenhain). Leur résolution de base est de 1 seconde d'arc. Ces règles sont portées par deux disques massifs de deux mètres de diamètre environ, rectifiés sur place pour les amener à leur cote théorique et pour minimiser l'erreur d'excentrement.

L'acquisition du signal de ces codeurs passe par une chaîne électronique Heidenhain légèrement modifiée par l'OHP, des modules à la norme Camac, et un mini ordinateur HP1000. Dans ce dernier tourne le modèle de pointage. Ce dispositif donne depuis lors de bons résultats. Dans les zones situées à  $\pm 3$  heures du méridien, l'écart au pointage est de l'ordre de 15 secondes d'arc.

Cependant, depuis le codeur lui-même jusqu'au calculateur, toute la chaîne est maintenant obsolète. Le matériel de rechange dont nous disposons ne permet pas de garantir le fonctionnement de l'ensemble pour les 10 années qui viennent, situation aggravée par les départs à la retraite des personnes ayant construit l'ensemble.

Pour pallier une éventuelle défaillance catastrophique du système, nous avons lancé la construction d'un nouveau système de codage fonctionnant indépendamment de l'ancien et en parallèle sur celui-ci.

#### 4.3.2.2 Le nouveau système.

Il est basé sur des codeurs absolus de petite taille (diamètre 58 mm. Marque Baumer), de 18 bits de résolution, ce qui correspond à un peu mieux que 5 secondes d'arc. Si l'acquisition de la position se fait très facilement à partir d'un PC, la difficulté technique réside dans le montage mécanique des codeurs (voir Annexe 13). Les essais de l'été et l'automne 2004 montrent un fonctionnement correct. La comparaison des valeurs brutes entre les codeurs Heidenhain et Baumer montre que le nouveau système est fidèle et fiable (voir courbes en annexe). Il reste à étalonner finement les valeurs des nouveaux codeurs par rapport aux anciens (que l'on suppose parfaits), et ultérieurement à contruire un modèle de pointage.

Les premiers essais sont suffisamment encourageants pour penser que ce système de coordonnées pourra remplacer à terme le modèle actuel (Voir courbes d'essai en annexe 15).

### 4.3.3 Plan de mise à niveau

Le groupe scientifique de SOPHIE a exprimé le réel intérêt d'optimiser et de fiabiliser les opérations télescopes afin d'augmenter le rendement et les cadences des observations et d'assurer le bon fonctionnement de l'instrument sur plusieurs années. La semi-automatisation du contrôle du télescope serait vivement souhaitée.

Outre ces deux opérations indispensables à la fiabilisation de la coupole, le groupe scientifique a recommandé les actions suivantes :

- Pilotage électronique de la mise du point du télescope
- Couplage télescope / coupole
- Web cam sur télescope
- Mesure et stockage des paramètres du seeing et du guidage
- Déporter le pupitre de commande télescope dans la salle d'observation
- Corréler température télescope et mise au point télescope
- Développer un logiciel télescope d'aide au pointage

Ces opérations ne sont malheureusement pas planifiables avant l'achèvement du projet SOPHIE et sont donc reportées pour le plan de jouvence du 193-cm en 2006.

Par ailleurs, des investigations ont été menées par l'OHP sur la jouvence du T193, notamment en ce qui concerne l'étanchéité de la coupole et le remplacement des ressorts de suspension coupole. Des devis ont été réalisés et une étude sur les ressorts a été établie.

Cf annexe 10.



## 5. PLAN DE VALIDATION ET D'INTEGRATION

### 5.1 Validation de l'obturateur

Ce sera le seul sous ensemble actif dans le spectrographe. Il est en cours d'étude. En dehors de ses mouvements d'ouverture et de fermeture il ne dissipera pas d'énergie. On s'oriente actuellement vers une lame métallique tirée et poussée. Sa commande est assurée par le contrôleur San Diego. Les exigences de rapidité ne sont pas très contraignantes (il doit s'ouvrir et se fermer en 1/20<sup>ème</sup> de seconde). La datation de ses mouvements sera meilleure que la seconde. La répétitivité sur le chronométrage des poses précis au 1/10<sup>ème</sup> de sec.

Il est prévu d'en réaliser plusieurs exemplaires. Un de ceux-ci devra être testé pour son endurance. Pour la commodité des tests il est envisagé de tester ensemble l'obturateur et le posemètre.

### 5.2 Validation de la bonnette

#### 5.2.1 Historique et remarques générales

Pour des raisons de délai de réalisation, il a été décidé dès le début du projet SOPHIE de réutiliser, au moins dans une première phase, la bonnette d'ÉLODIE.

Celle-ci fonctionne depuis 1993. Il faut noter que seuls deux mouvements ont posé problèmes dans les onze ans de vie d'Élodie. Le premier concerne la mise en place des correcteurs de réfraction, qui de temps en temps ne se positionnent pas correctement à la première tentative. Le second concerne le miroir d'étalonnage qui depuis six mois ne regagne plus tout à fait sa position escamotée. Ces défauts n'ont jamais menacé l'observation et vu les difficultés pratiques on a choisi de ne pas faire d'intervention lourde.

#### 5.2.2 Validation

Pour les tests et la revalidation, l'ensemble constitué du PC de commande, interface électronique, câbles et bonnette sera transféré, soit dans le hall de montage de VIMOS soit dans la salle de montage de l'OHP.



- Doigt de masquage des fibres et correcteur de réfraction (3 mouvements) :  
commandés par un multiplexage ( 5 bits) et retour de position avec 3 codeurs Gray 8 bits, eux aussi multiplexés.
- Volet de fermeture: 2 positions, 2 bits de commande, 2 bits d'état.
- Chariot de fibres: 2 positions, 2 bits de commande, 2 bits d'état.
- Miroir Fabry-Perot : 3 positions, 3 bits de commande, 3 bits d'état.
- Miroir d'étalonnage : 3 positions, 3 bits de commande, 3 bits d'état.
- Atténuateur d'étalonnage : 2 bits de commande, capteur potentiométrique continu.
- Lampe Tungstène : 2 bits de commande, 2 bits d'état.
- Lampe Thorium-Argon : 2 bits de commande, 2 bits d'état.
- Obturateur de visée : 2 positions, 2 bits de commande, 2 bits d'état.
- Atténuateur de visée : commande manuelle, pas de retour de position.

Les différents sous ensembles seront démontés, testés et recalibrés. Evidemment les deux défauts signalés plus haut seront corrigés.

### 5.3 Validation de la régulation thermique)

La régulation thermique de l'enceinte du spectromètre pourra être contrôlée dans une première étape dès que cette enceinte sera en place.

Les tests de régulation nécessiteront le refroidisseur à effet Peltier "Thermocube" avec son radiateur ventilé et des résistances chauffantes placées dans le flux de ventilation.

		<p>REF : OHP.PJT.SOP.RAP.041012_01</p> <p>Version : 01 Révision 00</p> <p>DATE : 12/10/04 Page 56/78</p>
--	--	--

La régulation sera assurée par les résistances chauffantes alimentées par un coffret de régulation en cours de montage actuellement. Ce coffret comporte le régulateur Eurotherm 2704 à 3 voies qui a été commandé et reçu.

Dans un premier temps on contrôlera la température de l'air.

Une dissipation équivalente à celle du spectromètre sera simulée.

## Tests

Des tests ont déjà été effectués avec le système de refroidissement "Thermocube" en utilisant le local d'Elodie lors d'une mission Carelec (Voir Annexe ). Ils ont permis de relever les paramètres et notamment la puissance absorbée en fonction de la température du liquide de refroidissement.

La réponse aux perturbations externes au caisson de Sophie sera relevée

On déterminera les limites, si possible, de la température externe au caisson pour laquelle la régulation est effective. Le bilan des puissances en jeu permettra de contrôler le coefficient thermique du caisson.

La stabilité à court et moyen terme sera enregistrée.

## 5.4 Validation des sous systèmes

### 5.4.1 Le contrôleur

Des tests de communication avec le contrôleur de l'Université de San Diego ont déjà été effectués avec succès à l'aide d'un petit logiciel de test. (Etablissement des polarisations, commande d'un niveau logique pour actionner un obturateur, etc).

Un logiciel serveur a été réalisé et les fonctions élémentaires sont en cours de validation à l'aide d'un logiciel client réalisé également.

Des tests d'acquisition avec la chaîne complète mais sans le CCD, seront réalisés prochainement.

Ils seront effectués ensuite avec les CCD en place (Grade 6 et 5).

### 5.4.2 Recette des CCD

Les CCD de grade 6 (échantillon mécanique ) et 5 ont été testés avec un contrôleur provisoire disponible au labo et avec une tête de CCD réalisée pour les tests. (Voir Annexe )

Ils seront de nouveau testés dans la tête définitive et avec le contrôleur de l'Université de San Diego. La position du cryostat par rapport à la tête nécessitera alors un support pour incliner le banc de test optique. Ce support a été réalisé.

Des précautions devront prises pour éviter tout éclairage parasite pouvant perturber les tests du CCD de grade 0. Cela sera évalué avec le CCD de grade 5.

Les étapes suivantes seront effectuées:

- Test de montage de l'échantillon mécanique dans la nouvelle tête.  
Refroidissement, autonomie du cryostat.  
Vérification de l'obtention d'une image pour valider toute la chaîne d'acquisition.
- Montage et test du CCD de grade 5.  
Relevé précis des caractéristiques.
- Montage du CCD de grade 0.  
Le montage du CCD de grade 0 sera effectué en salle blanche et sera définitif pour limiter au maximum les manipulations.  
Un relevé précis et détaillé des caractéristiques sera effectué. Notamment la position de la colonne défectueuse mentionnée par E2V.

## **5.5 Recette des composants optiques**

### **5.5.1 Optique principale**

Les spécifications de recette des composants ont été décrites dans le cahier des charge du marché (Cf. Annexe 03).

### **5.5.2 Réseau échelle**

Les spécifications sont décrites dans l'annexe 4.

### **5.5.3 Trains de fibres**

Validations à définir. (Voir § 2.1.3.)

## **5.6 Intégration de l'instrument**

Voir Annexe 11.

## **5.7 Validation de l'instrument complet**

Les tests de validation seront réalisés de Septembre 2005 à Février 2006. Ils seront imbriqués dans des phases de vérification scientifique dans divers domaines (astérosismologie, exoplanètes, profil de raies, abondances stellaires,...), dont les données seront immédiatement disponibles pour la communauté scientifique.

Ci-dessous la liste des tests de validation envisagés :

- Efficacité lumineuse sur des standards photométriques
- Contamination inter-ordre
- Précision et reproductibilité de la solution en longueur d'onde
- Contrôle de stabilité du Flat-Field
- Contrôle de stabilité de la géométrie des ordres (position et FWHM)
- Dérive instrumentale court et moyen terme (quelques heures à quelques semaines)
- Influence des chocs thermiques et variation de pression
- Précision Doppler sur court et moyen terme (quelques heures à quelques semaines)
- Ajustement des paramètres optimales des poses de calibration
- Système de guidage (test + paramétrage)
- Influence des décentrages et défocalisation
- Suivi de systèmes exoplanétaires connus
- Suivi de standards VR
- Suivi d'objet faible

## **6. EXPLOITATION SCIENTIFIQUE**

### **6.1 Description des modes d'observations**

### 6.1.1 Les types d'observations

On distinguera 3 types d'observations, les poses de calibration, les poses de maintenance et les poses scientifiques. Les poses de calibration correspondent à des poses réalisées avec les lampes de calibration de l'instrument. Elles sont généralement faites en journée mais peuvent également être réalisées par l'astronome en cours de nuit ou en fin de nuit si nécessaire. Elles sont indispensables aux poses scientifiques. Les poses de maintenance sont réservées aux personnes responsables de la maintenance et des tests de l'instrument. Elles permettent un contrôle détaillé de l'état de l'instrument et de ses performances.

### 6.1.2 Les modes d'observations

Les modes d'observations du spectrographe SOPHIE sont reliés au type de science envisagé. Deux jeux de fibres alimentent SOPHIE, un jeu dit « Haute Résolution » permettant d'atteindre une résolution spectrale de 70000 (via une fente en sortie de fibre) et comportant un double-brouilleur afin de stabiliser au mieux la PSF de l'instrument, et un jeu dit « Haute Efficacité » de résolution spectrale 35000 et sans double-brouilleur. Pour chacun des 2 jeux de fibre, une seconde fibre est présente et peut être utilisée pour une mesure simultanée du fond de ciel ou de la lampe Thorium-Argon. Les différents modes d'observations scientifiques sont :



- 1) Haute résolution
- 2) Haute résolution + Ciel
- 3) Haute résolution + Thorium simultané
- 4) Haute efficacité
- 5) Haute efficacité + Ciel
- 6) Haute efficacité + Thorium simultané

Le mode [3] « Haute résolution + Thorium simultané » correspond au mode « Haute précision Doppler ». Les modes [1,2,3] et [4,5,6] correspondent à des modes utilisant deux jeux différents de fibres optiques. Chacun de ces modes pourra être réalisé avec l'un des 2 modes de lecture du CCD. Il conviendra pour chaque pose scientifique d'avoir réalisé au préalable les poses de calibration dans le mode correspondant.

### 6.1.3 Configuration de l'instrument

Aucune pièce n'est mobile au sein du spectrographe SOPHIE. Les mouvements opto-mécaniques permettant de changer de configuration instrumentale sont situés au niveau de la bonnette. Les paramètres du contrôleur CCD peuvent aussi être modifiés. Le tableau suivant décrit tous les paramètres configurables de l'instrument et leurs valeurs possibles.

Descripteur FITS	Valeurs	Description
INS COVER	OPEN/CLOSE	Volet tête de fibre
INS FP	IN/OUT/INTER	Miroir Fabry Péro
INS CALIB	BOTH/OUT/FIBB	Miroir d'étalonnage
INS ADC NUM	1/2/3/4/5	Numéro du correcteur de dispersion atmo.
INS ADC ANG	0-360	Angle du correcteur de dispersion atmo. [deg]
INS LAMP	OFF/TUN/THAR	Lampe de calibration
INS FIBER	HE/HR	Jeu de fibres (Haute Effi. / Haute Res.)
INS FIBMASK	OUT/FIBA/FIBB	Position du masque de fibre
INS DENSITY	0-1.9	Atténuateur d'étalonnage
DET EXPTIME	0.1-9999	Temps de pose [s]
DET NEXPO	1-999	Nbre de poses répétées
DET MODE	Low/High	Mode de lecture du CCD
DET EXPTYPE	Normal/Dark	Type d'exposition du CCD

	 <b>OBSERVATOIRE DE HAUTE-PROVENCE</b>	<b>REF : OHP.PJT.SOP.RAP.041012_01</b> <b>Version : 01 Révision 00</b> <b>DATE : 12/10/04 Page 59/78</b>
--	---	--

Le volet de tête de fibre [INS COVER] protège les fibres de la poussière en cas de non-utilisation. Le miroir de Fabry Pérot [INS FP] n'est pas utilisé et devra être systématiquement en position OUT. Néanmoins on peut imaginer qu'à plus long terme il soit utilisé pour acheminer le faisceau du Fabry Pérot ou pour acheminer le faisceau de n'importe quelle lampe de calibration délocalisée de la bonnette. Le miroir d'étalonnage [INS CALIB] permet d'injecter le faisceau de calibration dans les deux fibres A et B, dans aucunes des deux fibres ou seulement la fibre B. Le correcteur de dispersion atmosphérique [INS ADC NUM] est constitué de 1 lame à face parallèle (1) et de 4 prismes (2,3,4,5) permettant une correction discrétisée. L'angle du correcteur [INS ADC ANG] est fonction de l'élévation de la cible et de son l'angle parallactique. La lampe de calibration sélectionnée [INS LAMP] peut être soit la lampe Tungstène, soit la lampe ThAr, soit aucune des deux lampes. Le jeu de fibres sélectionne [INS FIBER] peut être soit le jeu Haute Efficacité soit le jeu Haute Résolution. Le masque de fibres [INS FIBMASK] peut soit être enlevé, soit masquer la fibre A, soit masquer la fibre B. L'atténuateur d'étalonnage [INS DENSITY] permet d'atténuer le flux des lampes de calibration et surtout le flux de la lampe Thorium afin de l'adapter au temps de pose dans le mode Thorium simultanée [3 et 6]. L'obturateur de visée [INS OBTGUID] permet de protéger la camera de guidage. Les paramètres de configuration du CCD sont le temps de pose [DET EXPTIME], le mode de lecture [DET MODE] décrit dans le document « CCD et Contrôleur CCD SOPHIE », le nombre de poses multiples [DET NEXPO] et le type d'exposition du CCD [DET EXPTYPE] permettant de bloquer l'ouverture de l'obturateur en cas de pose DARK. Le tableau suivant liste toutes les combinaisons possibles d'injection de lumière dans les deux fibres A et B du spectrographe.

Fibre A	Fibre B	INS CALIB	INS LAMP	INS FIBMASK	INS FP	Template
<i>Poses de calibration</i>						
Dark	Dark	BOTH	OFF	OUT	OUT	cal_dark/cal_bias
Dark	Tung	BOTH	TUN	FIBA	OUT	cal_tun
Tung	Dark	BOTH	TUN	FIBB	OUT	cal_tun
Tung	Tung	BOTH	TUN	OUT	OUT	cal_tunAB
ThAr	ThAr	BOTH	THAR	OUT	OUT	cal_thoAB
<i>Poses de maintenance</i>						
Dark	ThAr	BOTH	THAR	FIBA	OUT	N.A.
ThAr	Dark	BOTH	THAR	FIBB	OUT	N.A.
Dark	FP	BOTH	OFF	FIBA	IN	N.A.
FP	Dark	BOTH	OFF	FIBB	IN	N.A.
FP	FP	BOTH	OFF	OUT	IN	N.A.
ThAr	FP	BOTH	THAR	OUT	INTER	N.A.
<i>Poses scientifiques</i>						
Etoile	Dark	OUT	OFF	FIBB	OUT	obs_objA
Etoile	Ciel	OUT	OFF	OUT	OUT	obs_objAB
Etoile	ThAr	FIBB	THAR	OUT	OUT	obs_thosimult
Etoile	FP	FIBB	OFF	OUT	IN	N.A.

Les poses N.A. (Not Available) ne seront pas proposées aux utilisateurs mais pourront néanmoins être réalisées lors des phases de tests et de maintenance a partir des templates techniques.

#### 6.1.4 Classification des Templates

Un template d'observation est défini pour chaque pose de SOPHIE. On distingue les modes « Haute Résolution » et « Haute Efficacité » par l'extension ``HR`` et ``HE``. Les templates d'observations ont par conséquent la racine suivante :

SOPHIE\_HR\_  
SOPHIE\_HE\_

Suivi de l'extension ``cal\_``, ``tec\_`` ou ``obs\_`` suivant qu'il s'agit d'une pose de calibration, technique ou scientifique. Seules les poses DARK et BIAS sont indépendantes du mode HR et HE.

Template d'observation	Description	Réduction associée
<b>Calibration</b>		
SOPHIE_cal_bias	Pose d'offset	cal_BIAS
SOPHIE_cal_dark	Pose de courant d'obscurité	cal_DARK
SOPHIE_HR_cal_tun	Localisation mode HR	cal_LOC_HR
SOPHIE_HE_cal_tun	Localisation mode HE	cal_LOC_HE
SOPHIE_HR_cal_tunAB	Flat-field mode HR	cal_FF_HR
SOPHIE_HE_cal_tunAB	Flat-field mode HE	cal_FF_HE
SOPHIE_HR_cal_thoAB	Calibration $\lambda$ mode HR	cal_TH_HR
SOPHIE_HE_cal_thoAB	Calibration $\lambda$ mode HE	cal_TH_HE
<b>Scientifique</b>		
SOPHIE_HR_obs_objA	Spectroscopie objet seul mode HR	obj_ONE_HR
SOPHIE_HE_obs_objA	Spectroscopie objet seul mode HE	obj_ONE_HE
SOPHIE_HR_obs_objA	Spectroscopie objet+ciel mode HR	obj_TWO_HR
SOPHIE_HR_obs_objA	Spectroscopie objet+ciel mode HE	obj_TWO_HE
SOPHIE_HR_obs_thosimult	Spectroscopie objet+thoB mode HR	obj_TH_HR
SOPHIE_HE_obs_thosimult	Spectroscopie objet+thoB mode HE	obj_TH_HE
<b>Technique</b>		
SOPHIE_HR_tec	Pose technique en mode HR	N.A.
SOPHIE_HE_tec	Pose technique en mode HE	N.A.

### 6.1.5 Descripteurs des images FITS

Les images brutes et réduites seront au format FITS et contiendront dans leurs descripteurs toutes les informations liées à l'acquisition, au mode d'observation, à l'objet mesuré ainsi qu'aux paramètres de réduction. La liste complète des descripteurs, qui se base sur celle des images HARPS, est en cours de réalisation. Par exemple :

HIERARCH OHP DET READ SPEED	Mode de lecture CCD
HIERARCH OHP DET WIN1 DIT1	Temps de pose
HIERARCH OHP DPR TYPE	Type de pose (FibA,FibB,Sp_type)
HIERARCH OHP TEL TARG RADVEL	Vitesse radiale de la source
.....	
HIERARCH OHP DRS CAL LOC NBO	Nb ordres localises
HIERARCH OHP DRS CAL LOC CTR##	Coeff ## du centre des ordres
HIERARCH OHP DRS CAL EXT COSM	Seuil detection cosmiques
HIERARCH OHP DRS CAL FLAT WIN	Dimension fenetre blaze
HIERARCH OHP DRS BERV	Barycentrique Earth RV
HIERARCH OHP DRS CAL TH COEFF LL##	Coeff## solution en l

### 6.2 Mode opératoire

L'utilisateur devra faire en début de nuit (ou au cours de l'après midi) les poses de calibration standard indispensable pour la réduction optimale de ses données. Ces poses de calibration standard consistent à effectuer :

- une pose bias (\_cal\_bias)
- une pose de localisation fibre A (\_cal\_tun)
- une pose de localisation fibre B (\_cal\_tun)
- une pose multiples de flat-field fibres A et B (\_cal\_tunAB)
- une pose de calibration de longueur d'onde fibres A et B (\_cal\_thoAB)

Il conviendra de faire cette série de calibration standard dans chacun des deux modes "Haute Résolution" et "Haute efficacité" ainsi que dans chacun des modes de lecture du CCD.

La réduction en temps réel permet à l'utilisateur de visualiser immédiatement ses données et de pouvoir réagir en temps réel sur les paramètres de ses observations (temps de pose) en fonction des résultats obtenus.

### 6.3 Performances



Voir le compte rendu du groupe scientifique du 18 fevrier 2004 (Annexe 01).

### 6.4 Archivage

Les données sont stockées sur le PC DRS (station de réduction) et le PC Base de données sous l'architecture suivante :

/data/raw/2005-07-20/	données brutes
/data/reduced/2005-07-20/	données réduites
/data/msg	fichiers log des processus
/data/calibDB/	données réduites de calibration



	 <b>OBSERVATOIRE DE HAUTE-PROVENCE</b>	<b>REF : OHP.PJT.SOP.RAP.041012_01</b> <b>Version : 01 Révision 00</b> <b>DATE : 12/10/04 Page 62/78</b>
--	---	--

Les données brutes auront le nom suivant :

SOPHIE.YYYY-MM-DDTHH:MM:SS.SSS.fits (17.6 Mo)

Avec YYYY l'année, MM le mois, DD, le jour, HH l'heure, MM les minutes et SS.SSS les secondes.

Les images réduites auront le nom suivant :

SOPHIE.YYYY-MM-DDTHH:MM:SS.SSS\_type\_F.fits (0.6 Mo)

Avec

*type* = loco, fwhm, flat, blaz, wave, thref [Calibration]

*type* = e2ds, s1d, ccf [Science]


*F* = A, B

L'utilisateur gèrera lui même le gravage de ses données sur DVD ou disque USB grâce au logiciel d'archivage (voir section 3.3.7). Les données brutes et réduites seront automatiquement copiées du PC DRS sur le PC base de données.

### **Base de données**


#### **Base de données**

Nous voulons (1) offrir un accès convivial aux données SOPHIE via le Web et (2) assurer l'intégration de l'archive dans le cadre de l'Observatoire Virtuel. Pour cela nous allons prendre comme exemple le serveur de données ELODIE (<http://atlas.obs-hp.fr/elodie>) qui fonctionne actuellement.



## The ELODIE archive

An on-line database  
of high-resolution stellar spectra



[Introduction](#) | [Help](#)

---

**Enter a designation or coordinates**

Examples: NEW  
[HIP117998](#), [J04 14 57 15 32 10](#), [simbad:procvon](#), [HD190007](#), [HD190073](#), [GJ%](#)

**a. For identifiers**  
you can choose to query :

**b. For coordinate and around object queries**, define a radius :

**c. Choose a sample in the list:**

---

**Query a sample of objects in a region of the sky**

**a. Define a region of the sky (B1950 or J2000):**

Right ascension from  to   
examples: [14 00 00](#) to [18 00 00](#) (B1950)  
[J14 00 00](#) to [J18 00 00](#) (J2000)

Declination from  to   
example: [-02 00 00](#) to [02 00 00](#)

**b. Choose a sample in the list:**

---

**Advanced search NEW**

**a. Set multiple constraints:** Select observations in a range of S/N, exposure time, date of observation...

**b. List of objects:** Upload a list of objects and find the corresponding observations.  
The file must contain one designation per line (example)

---

Bibliographic reference for the ELODIE Archive: [Moultaka et al. \(2004\) PASP, 116, 693-698](#)  
External links: [Pollux database project](#) · [Spectrophotometry in Hyperleda](#) · [UVES Paranal Observatory Project](#)



The ELODIE archive © OHP/INSU-CNRS/OAMP  
Contact: [Jihane Moultaka](#)  
Last revised: Wed Oct 6 18:21:04 2004

*Les principales fonctionnalités de cet archive seront:*

(1) l'interrogation de la base avec des critères multiples : nom de l'objet (avec résolution d'alias), date d'observation, position dans le ciel, rapport signal-sur-bruit, plus d'autres informations telles que la vitesse radiale (si elle existe), le nom de l'observateur, le programme scientifique, etc. Il sera également possible d'interroger la base avec des critères basés sur de paramètres fondamentaux (Teff, log g, [Fe/H], Mv, distance, Vrot, etc.) qui seront accessibles via le futur serveur de Bordeaux.

(2) un accès aux données elles-mêmes sous une forme standard complètement réduite et, une fois passé le délai d'exclusivité (qui sera normalement d'un an), la mise à la disposition à la communauté via le Web. Ceci comprendra une visualisation du spectre et des informations associées ainsi que le téléchargement du spectre lui-même sous format FITS ou ASCII.

(3) éventuellement un accès sécurisé aux données brutes via le logiciel de réduction permettant une re-analyse complète avec la dernière version du code.

	 <p><b>SOPHIE</b> OBSERVATOIRE DE HAUTE-PROVENCE</p>	<p>REF : OHP.PJT.SOP.RAP.041012_01</p> <p>Version : 01 Révision 00</p> <p>DATE : 12/10/04 Page 64/78</p>
--	--	--

## 7. ORGANISATION

### 7.1 Phase de réalisation

#### 7.1.1 Généralités

Sur le plan organisationnel, suivant les recommandations du comité de revue du 8 Juillet 2003, un groupe scientifique a été constitué (Cf. Organigramme) et François Bouchy a été désigné comme Instrument Scientist du projet.

Dans ce cadre, il assume aussi la coordination de l'architecture logicielle et l'adaptation des logiciels de l'Observatoire de Genève.

Son récent détachement à l'OHP, pour une durée de un an, va permettre de renforcer encore l'efficacité de sa collaboration.

#### 7.1.2 Ressources Humaines

Des solutions ont été recherchées pour pallier la faiblesse des ressources humaines, en particulier dans le domaine de l'optique, suite au départ de Dominique Kohler.

Sur ce point, la mise à disposition par le LAM, à hauteur de 15 % de son temps, de Sandrine Perruchot, architecte optique du projet COROT, a permis d'aider à mettre en œuvre la réalisation de l'optique principale.

Sur le plan des logiciels observateur et de réduction de données, la mise à disposition de deux informaticiens par l'Observatoire de Genève a permis d'améliorer grandement la visibilité des perspectives d'avancement du projet.

Dans les tous prochains mois, l'arrivée effective sur le site de l'observatoire, de Sandrine Perruchot, qui a été recrutée au mois de Juillet, devrait permettre d'assurer les phases de recette de l'optique principale d'intégration de l'instrument; compte tenu des charges résiduelles sur COROT, sa disponibilité pour SOPHIE sera alors de 65 %.

En ce qui concerne, la réalisation du train de fibre, les montages, réglages et contrôles ont commencé à être pris en charge par Gabriel Moreaux au LAM, en collaboration avec Sandrine Perruchot, à hauteur de 20 % de son temps.

Notons encore l'arrivée, au 1<sup>er</sup> Janvier 2005 d'Andrée Laloge, en provenance du LAM, qui assurera les responsabilités d'assistante de projet.

Ci-après est évaluée la charge de travail qui reste à produire du 21 Octobre jusqu'à la 1<sup>re</sup> lumière de l'instrument. On pourra noter une nette amélioration de la situation par rapport à l'évaluation de la dernière revue, même si celle-ci reste forte, en particulier pour Jean-Pierre Meunier ( 0.45 h.an).



REF : OHP.PJT.SOP.RAP.041012\_01

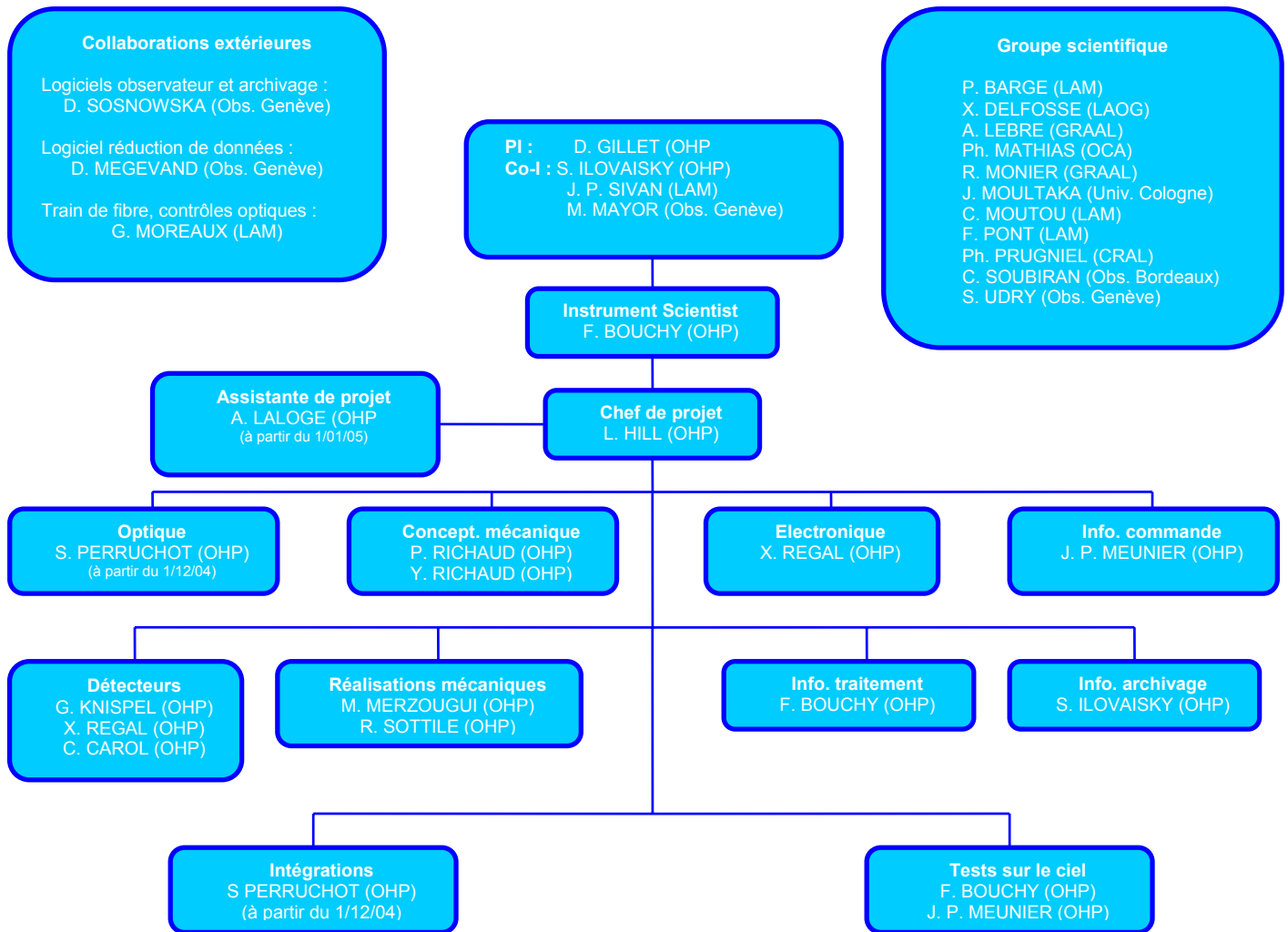
Version : 01 Révision 00

DATE : 12/10/04 Page 65/78

	Institut	Type d'activités	Tâche	Taux	Durée (an)	Détail FTE (h.an)	FTE/pers. (h.an)
<b>F. Bouchy</b>	OHP	Management, informatique	0	0.3	1.36	0.41	
			48	0.2	0.54	0.11	0.52
<b>C. Carol</b>	OHP	Informatique	48-02	0.3	0.79	0.24	0.24
<b>G. Fontanini</b>	OHP	Logistique	47-04	0.2	0.08	0.02	0.02
<b>L. Hill</b>	OHP	Management, Optique	0	0.5	0.93	0.47	0.47
<b>G. Knispel</b>	OHP	Electronique détecteur	16-03	0.5	0.02	0.01	
			24-02	0.5	0.88	0.44	0.45
<b>A. Laloge</b>	OHP (à partir du 1/01/05)	Assistante de projet	0	0.3	1.16	0.35	0.35
<b>D. Mégevand</b>	Obs. Genève	Informatique	48	0.2	1.00	0.20	0.20
<b>M. Merzougui</b>	OHP	Réalisations mécaniques	8-03	0.6	0.16	0.10	
			10-05	0.3	0.44	0.13	
			16-02	0.1	0.02	0.00	
			30	0.1	0.29	0.03	0.26
<b>J. P. Meunier</b>	OHP	Informatique	18-02	0.3	0.94	0.28	
			18-04	0.5	0.05	0.03	
			46-02	0.1	0.86	0.09	
			29	0.2	0.17	0.03	
			31	0.5	0.04	0.02	0.45
<b>G. Moreaux</b>	LAM	Montages, contrôles optiques		0.2	0.50	0.10	0.10
<b>S. Perruchot</b>	OHP (à partir du 1/12/04)	Optique	6-03	0.2	0.11	0.02	
			8-02	0.3	0.67	0.20	
			30	0.6	0.29	0.17	0.40
<b>X. Regal</b>	OHP	Electronique	6-02	0.5	0.30	0.15	
			18-04	0.2	0.06	0.01	
			24-02	0.1	0.60	0.06	
			29	0.3	0.16	0.05	0.27
<b>P. Richaud</b>	OHP	Conception mécanique	8-01	0.7	0.17	0.12	
			10-01	0.6	0.04	0.02	
			18-04	0.2	0.06	0.01	
			30	0.3	0.29	0.09	0.24
<b>Y. Richaud</b>	OHP	Conception mécanique	10-02	0.7	0.25	0.18	
			47-04	0.5	0.08	0.04	
			30	0.3	0.04	0.01	0.23
<b>D. Sosnowski</b>	Obs. Genève	Informatique		0.2	1.00	0.20	0.20
<b>R. Sottile</b>	OHP	Réalisations mécaniques	8-03	0.6	0.16	0.10	
			10-05	0.3	0.44	0.13	
			16-02	0.3	0.02	0.01	
			30	0.1	0.29	0.03	0.26
<b>P. Vors</b>	OHP	Cablage électronique	6-02	0.1	0.30	0.03	
			18-04	0.1	0.06	0.01	0.04
<b>Total FTE</b>							<b>4.67</b>

Evaluation de la charge de travail à produire du 21/10/2004 au 21/07/05

### 7.1.3 Organigramme fonctionnel



## 8. BUDGET

### 8.1 Bilan du financement

#### 8.1.1 Année 2002

- Plan de financement initial

	2002	2003	2004	2005	TOTAL
INSU/SDU	75	75	35		<b>185</b>
CREDITS LABO	20	20	15		<b>55</b>
REGIONS	95	95	50		<b>240</b>
<b>TOTAL</b>	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>100</b>		<b>480 k€</b>

- Sommes reçues en 2002

INSU/SDU	75
OAMP	15
REGIONS (1)	60
<b>TOTAL</b>	<b>150 k€</b>

(1) Suite à une mauvaise interprétation de la demande, la région PACA n'a accordé que 60 k€; ce déficit a été compensé en 2003.

#### 8.1.2 Année 2003

- Plan de financement actualisé

	Années précédentes	2003	2004	2005	TOTAL
INSU/SDU	75	75	45		<b>195</b>
CREDITS LABO	15	30	25		<b>70</b>
REGIONS	60	95	60		<b>215</b>
<b>TOTAL</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>130</b>		<b>480 k€</b>

- Sommes reçues en 2003

INSU/SDU	75
OAMP	30 (dont 10 BQR université)
REGIONS (1)	130
INSU (complément)	10
<b>TOTAL</b>	<b>245 k€</b>



### 8.1.3 Année 2004

- **Plan de financement actualisé**

Le coût total du projet a été porté à 537 k€, pour compenser partiellement les surcoûts suivants:

- Réalisation d'un nouveau master pour le réseau de diffraction (efficacité du master disponible chez RGL inférieure de 11 % à celle attendue (surcoût ~ 57 k€)
- Financement des déplacements du groupe scientifique dont la mise en place avait été recommandé par le comité de la revue de projet du 8 Juillet 2003).

	Années précédentes	2004	2005	TOTAL
INSU/SDU	160	49	4	<b>213</b>
CREDITS LABO	45	27	2	<b>74</b>
REGIONS	190	60		<b>250</b>
<b>TOTAL</b>	<b>395</b>	<b>136</b>	<b>6</b>	<b>537 k€</b>

- **Sommes reçues en 2004 (k€)**

INSU/SDU	49
OAMP	(2)
REGIONS	60
<b>TOTAL</b>	<b>109 k€</b>

(2) Voir § suivants

### 8.1.4 Total des crédits au 11 octobre 2004

Le total des crédits reçus s'élève à **504 k€**.

En 2004, le cofinancement OAMP n'a pas pu être à la hauteur de ce qui avait été demandé 27 k€, eu égard à la faiblesse du montant reçu au titre de la politique scientifique (Cf. § 8.5

## 8.2 Bilan des engagements au 11 octobre 2004

Affectation	Montant
Electronique	117190.45
Informatique	16907.60
Mécanique	8497.73
Optique	253367,33
Régulation thermique	12825.42
Missions	3764.30
Divers	947.78
<b>Total</b>	<b>413500.61 €</b>

### 8.3 Budget prévisionnel des dépenses

Affectation	Montant
Informatique	14
Optique de fibre	25
Outillage d'alignement	10
Optique posemètre	5
Structure granit	10
Mécanique (supports optiques, enceinte,...)	25
Régulation thermique	2
Aménagements 193	20
Missions	6
<b>Total</b>	<b>117 k€</b>

### 8.4 Bilan au 11 octobre 2004

Total des crédits à ce jour	504
Total des engagements	414
Reste à engager	117
<b>Déficit</b>	<b>27 k€</b>

### 8.5 Complément de financement

Pour compenser le déficit de financement de 27 k€, l'OHP a proposé de prendre à sa charge 15€ et le directoire de l'OAMP du 9 Septembre 2004 a proposé d'y affecter 12 k€ sur le budget de sa politique scientifique.

Cette proposition devrait être avalisée par le Conseil Scientifique de l'OAMP lors de sa prochaine réunion.

### 8.6 Maintenance

Concernant la maintenance en phase opérationnelle, deux postes ont été identifiés comme critiques et donc nécessitant l'approvisionnement de matériel de rechange : le contrôleur CCD et la source froide du système de régulation thermique.

Le budget à prévoir pour ces systèmes critiques est le suivant :

Module cryogénique	5
Contrôleur CCD	20
<b>Total</b>	<b>25 k€</b>

		<p>REF : OHP.PJT.SOP.RAP.041012_01</p> <p>Version : 01 Révision 00</p> <p>DATE : 12/10/04 Page 70/78</p>
--	--	--

## 9. PLANNING

### 9.1 Criticité des approvisionnements

Le tableau ci-dessous analyse la criticité des divers sous-systèmes.

Sous-système	Etat	Criticité
Codage coordonnées télescope	Système validé	Nulle car le système actuel fonctionne
Optique principale	Réalisation en cours	Faible
Réseau Echelle	Réseau provisoire livré	Nulle
Optique de fibre	Etude débute en octobre; s'appuie sur étude HARPS	Approvisionnement des lentilles moyennement critique
Détecteur	Livré	Nulle
Structure granit	Etude en phase finale	Moyenne : un seul fournisseur identifié
Support des optiques	Etude en phase finale	Quasi-nulle : fabrication à l'atelier de l'OHP
Cuve étanche	Etude en phase finale	Faible : plusieurs fournisseurs identifiés
Aménagement télescope	Cahier des charges à finaliser	Faible
Régulation thermique	Système validé	Nulle, matériel approvisionné

### 9.2 Criticité en terme de ressources humaines

Le problème des ressources humaines a déjà à été analysé au § 7.1.2; malgré une nette amélioration de la situation, les fortes charges de Jean-Pierre Meunier et du Bureau d'étude demeurent un élément préoccupant.

### 9.3 Mise à jour du planning

Le planning ci-après ne comporte que les tâches encore actives au 21 Octobre 2004.



REF : OHP.PJT.SOP.RAP.041012\_01

Version : 01 Révision 00

DATE : 12/10/04 Page 71/78

No tâche	Nom	Début	Fin	2001		2002		2003		2004		2005		2006		2007		2008	
				S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
	<b>Réalisation optique principale (Collimateur, chambre)</b>	<b>Ven 20/06/03</b>	<b>Ven 28/01/05</b>																
5	Réalisation optique collimateur et chambr	Lun 21/06/04	Ven 28/01/05																
<b>6</b>	<b>Posemètre</b>	<b>Lun 09/02/04</b>	<b>Ven 25/03/05</b>																
6-02	Définition et réalisation électronique posemètre	Lun 09/02/04	Ven 17/12/04																
6-03	Approvisionnement optique posemètre	Lun 06/12/04	Ven 25/03/05																
<b>7</b>	<b>Réseau Echelle</b>	<b>Lun 01/09/03</b>	<b>Ven 01/07/05</b>																
7-02	Approvisionnement du réseau définitif	Lun 01/09/03	Ven 01/07/05																
<b>8</b>	<b>Optique de fibre, obturateur, scrambler</b>	<b>Lun 04/10/04</b>	<b>Ven 27/05/05</b>																
8-01	Etude mécanique	Lun 04/10/04	Ven 24/12/04																
8-02	Réalisation optique, approvisionnement fibre	Lun 06/12/04	Ven 01/04/05																
8-03	Réalisation mécanique	Lun 15/11/04	Ven 21/01/05																
8-04	Assemblage, réglages	Lun 04/04/05	Ven 27/05/05																
<b>10</b>	<b>Structure mécanique</b>	<b>Lun 15/03/04</b>	<b>Ven 01/04/05</b>																
10-01	Etude baffle	Lun 20/12/04	Ven 14/01/05																
10-02	Etudes structure granit, supports optique principale, cuve étanche	Lun 15/03/04	Ven 21/01/05																
10-03	Réalisation structure granit	Lun 29/11/04	Ven 11/02/05																
10-04	Réalisation enceinte disperseurs	Lun 15/11/04	Ven 17/12/04																
10-05	Réalisation mécanique (OHP)	Lun 04/10/04	Ven 01/04/05																
<b>16</b>	<b>Tests caméra</b>	<b>Lun 31/03/03</b>	<b>Ven 26/11/04</b>																
16-02	Réalisation nouvelle tête de cryostat + adaptateur banc de tes	Lun 04/10/04	Ven 29/10/04																
16-03	Recette CCD grade (	Lun 22/11/04	Ven 26/11/04																



REF : OHP.PJT.SOP.RAP.041012\_01

Version : 01      Révision 00

DATE : 12/10/04 Page 72/78



REF : OHP.PJT.SOP.RAP.041012\_01

Version : 01      Révision 00

DATE : 12/10/04 Page 73/78



REF : OHP.PJT.SOP.RAP.041012\_01

Version : 01 Révision 00

DATE : 12/10/04 Page 74/78

No tâche	Nom	Début	Fin	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
				S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
<b>18</b>	<b>Informatique de commande</b>	<b>Lun 01/09/03</b>	<b>Ven 30/09/05</b>	■		■					
18-02	Logiciels de commandes et d'acquisition : écriture	Lun 15/09/03	Ven 30/09/05	■		■		J. P. Meunier			
18-04	Vérification des fonctions et remise en état de la bonnette	Mar 01/03/05	Lun 21/03/05					J.P. Meunier + X. Regal+ P. Vors + BE			
48	Logiciel de réduction de données	Lun 10/05/04	Ven 06/05/05			■		F. Bouchy + D. Mégevand (Obs. Genève)			
49	Logiciel d'archivage	Lun 10/05/04	Ven 06/05/05			■		D.Sosnowska (Obs. Genève)			
<b>24</b>	<b>Contrôleur CCD</b>	<b>Lun 16/06/03</b>	<b>Ven 02/09/05</b>	■		■					
24-02	Développement logiciel	Lun 24/11/03	Ven 27/05/05			■		G. Knispel + X. Regal + C. Carol			
<b>46</b>	<b>Système de codage des coordonnées du télescope</b>	<b>Lun 01/09/03</b>	<b>Ven 02/09/05</b>	■		■					
46-02	Modélisation des corrections des coordonnées	Lun 06/09/04	Ven 02/09/05			■		J. P. Meunier + Extérieur (TBD)			
29	Tests fonctionnels : obturateur, bonnette	Lun 16/05/05	Ven 17/06/05					J. P. Meunier + X. Regal			
<b>47</b>	<b>Aménagements pour l'implantation de l'instrument au 193</b>	<b>Lun 07/02/05</b>	<b>Ven 25/03/05</b>			■					
47-04	Réalisation des aménagement	Lun 07/02/05	Ven 04/03/05					Y. Richaud + G. Fontanini			
	Validation des systèmes de contrôle d'environnement : température, pression..	Lun 07/03/05	Ven 25/03/05					S. Perruchot +BE + Atelier			
30	Intégration opto-mécanique et réglage	Lun 04/04/05	Ven 15/07/05					S. Perruchot +BE + Atelier			
	<b>Arrêt de l'exploitation du télescope</b>	<b>Lun 18/07/05</b>	<b>Lun 18/07/05</b>					■			
	<b>1re lumière</b>	<b>Jeu 21/07/05</b>	<b>Jeu 21/07/05</b>					■			
31	Tests fonctionnels sur le ciel	Ven 22/07/05	Ven 05/08/05					J. P. Meunier + F. Bouchy			
	<b>Reprise de l'exploitation du télescope</b>	<b>Lun 08/08/05</b>	<b>Lun 08/08/05</b>					■			
32	Tests scientifiques / Observations réservées au groupe scientifique (1 semaine/mois)	Jeu 01/09/05	Mar 28/02/06					■			
	<b>Ouverture de l'instrument à la communauté astronomique</b>	<b>Mer 01/03/06</b>	<b>Mer 01/03/06</b>					■			





		<p>REF : OHP.PJT.SOP.RAP.041012_01</p> <p>Version : 01      Révision 00</p> <p>DATE : 12/10/04 Page 76/78</p>
--	--	---

## 10. GESTION DE LA DOCUMENTATION

Lors de la précédente revue, la gestion de la documentation avait été identifiée comme l'un des points sur lequel porterait l'effort du groupe projet.

Dans ce domaine deux points sont à signaler :

- La documentation du projet est stockée sur un serveur informatique accessible à tous les membres du groupe projet et une liste de documents est tenue à jour sur fichier Excel; ce fichier Excel possède un lien avec la version applicable du document.
- Dans le cadre de l'action qualité entreprise au sein des unités de l'OAMP (Département Gassendi, LAM et OHP), celles-ci appliquent la même procédure de codification des documents. Plus spécifiquement, cela permettra d'intégrer plus aisément dans la documentation SOPHIE, les documents émis par le LAM, dans le cadre de la réalisation du train de fibre qui sera assemblé, réglé et contrôlé au LAM.



REF : OHP.PJT.SOP.RAP.041012\_01

Version : 01 Révision 00

DATE : 12/10/04 Page 77/78

Activité	Auteur	Titre	Référence	Vers.	Date
Management	L. Hill	Compte rendu de réunion d'avancement	<a href="#">OHP.PRJ.SOPHIE.CRR.000005</a>	A	23/07/03
Management	L. Hill	Compte rendu de réunion d'avancement	<a href="#">OHP.PRJ.SOPHIE.CRR.000006</a>	A	08/09/03
Management	L. Hill	Compte rendu de réunion d'avancement	<a href="#">OHP.PRJ.SOPHIE.CRR.000007</a>	A	25/09/03
Management	L. Hill	Compte rendu de réunion d'avancement	<a href="#">OHP.PRJ.SOPHIE.CRR.000008</a>	A	09/10/03
Management	L. Hill	Compte rendu de réunion d'avancement	<a href="#">OHP.PRJ.SOPHIE.CRR.000009</a>	A	30/10/03
Management	L. Hill	Compte rendu de réunion d'avancement	<a href="#">OHP.PRJ.SOPHIE.CRR.000010</a>	A	20/11/03
Management	L. Hill	Compte rendu de réunion d'avancement	<a href="#">OHP.PRJ.SOPHIE.CRR.000011</a>	A	18/12/03
Management	L. Hill	Compte rendu de réunion d'avancement	<a href="#">OHP.PRJ.SOPHIE.CRR.000012</a>	A	22/01/04
Management	L. Hill	Compte rendu de réunion d'avancement	<a href="#">OHP.PRJ.SOPHIE.CRR.000013</a>	A	12/02/04
Management	L. Hill	Compte rendu de réunion d'avancement	<a href="#">OHP.PRJ.SOPHIE.CRR.000014</a>	A	18/03/04
Management	L. Hill	Compte rendu de réunion d'avancement	<a href="#">OHP.PRT.SOP.MIN.040415</a>	1	14/04/04
Management	L. Hill	Compte rendu de réunion d'avancement	<a href="#">OHP.PRT.SOP.MIN.040519</a>	1	19/05/04
Management	L. Hill	Compte rendu de réunion d'avancement	<a href="#">OHP.PRT.SOP.MIN.040618</a>	1	18/06/04
Management	L. Hill	Compte rendu de réunion d'avancement	<a href="#">OHP.PRT.SOP.MIN.040708</a>	1	08/07/04
Management	L. Hill	Compte rendu de réunion d'avancement	<a href="#">OHP.PRT.SOP.MIN.040902</a>	1	07/09/04
Science	F. Bouchy	Compte rendu de réunion du groupe scientifique	<a href="#">OHP.GSC.SOPHIE.CRR.000001</a>	A	19/11/03
Science	F. Bouchy	Compte rendu de réunion du groupe scientifique	<a href="#">OHP.GSC.SOPHIE.CRR.000002</a>	A	18/02/04
Informatique	F. Bouchy	Logiciel informatique, spécification et définition	<a href="#">OHP.INF.SOPHIE.SPT.000001</a>	A	24/11/03
Informatique	F. Bouchy	Compte rendu de réunion logiciel SOPHIE du 05-07 Mai 2004	<a href="#">OHP.INF.SOPHIE.SPT.040512</a>	1	12/05/04
Optique	L. Hill, S. Perruchot, Y. Richaud	OPTIQUE PRINCIPALE : Spécifications techniques	<a href="#">OHP.OPT.SOPHIE.SPT.000005</a>	A	19/03/04
Optique	L. Hill	OPTIQUE PRINCIPALE :Rapport d'analyse des réponses à l'appel d'offre du 23/03/04	<a href="#">OHP.OPT.SOPHIE.SPT.040505</a>	1	05/05/04
Science	F. Bouchy	Compte rendu mission tests ELODIE du 03-07 Mai 2004	<a href="#">OHP.SCT.SOPHIE.NOT.040518</a>	1	18/06/04
Optique	L. Hill	Réseau Echelle provisoire : Contrôle d'aspect visuel	<a href="#">OHP.OPT.SOPHIE.PRIV.040623</a>	1	24/06/04
Mécanique	Y. RICHAUD	Note technique sur le miroir plan percé	<a href="#">OHP.SOPHIE.BEM.SPT.000201</a>	A	

Exemple de liste de documents avec lien vers le serveur SOPHIE



REF : OHP.PJT.SOP.RAP.041012\_01

Version : 01 Révision 00

DATE : 12/10/04 Page 78/78

## LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1: Compte rendu réunion du groupe scientifique du 18 Février 2004
- Annexe 2: Note technique sur le miroir plan percé
- Annexe 3: Optique principale. Spécifications techniques
- Annexe 4 : Spécifications Réseau Echelle
- Annexe 5 : Posemètre : définition optique
- Annexe 6 : Test des CCD E2V4482
- Annexe 7 : Contrôleur San Diego
- Annexe 8 : Implantation de Sophie dans le T193
- Annexe 9 : Compte rendu mission tests ELODIE du 03-07 Mai 2004
- Annexe 10 : Jouvence T 193 : Expertise des ressorts de la coupole
- Annexe 11 : Plan d'intégration de l'instrument
- Annexe 12 : Réglages optiques
- Annexe 13 : Note sur le codage des coordonnées
- Annexe 14 : Régulation thermique