

EMILIE : Un nouveau spectrographe au 1m52 dédié aux vitesses radiales de précision

François BOUCHY

Observatoire de Haute-Provence

Jérôme SCHMITT, Pierre CONNES,
Jean-Loup BERTAUX

Service d'Aéronomie (Verrières-le-Buisson)

La mesure de vitesse radiale (VR) stellaire de précision s'inscrit dans deux thématiques astrophysiques en émergence : la recherche de planètes extra-solaires et la détection d'oscillations stellaires de type solaire. Ces deux programmes ne sont a priori pas scientifiquement connectés mais requièrent la même technologie basée sur la découverte de Christian Doppler et Hippolyte Fizeau. Quelques spectrographes, spécialisés dans les mesures vélocimétriques, permettent actuellement d'atteindre une précision comprise entre 3 et 20 m/s. C'est le cas du spectrographe ELODIE au télescope de 1.93 m de l'OHP rendu célèbre par la découverte de 51 Peg B (Mayor & Queloz, 1995). Ces instruments ont conduit à la découverte de plusieurs dizaines d'exo-planètes de masse supérieure à celle de Saturne (Fig. 1) et à des détections proposées d'oscillations acoustiques dans quelques rares

étoiles brillantes de type solaire. Nous présentons ici un nouveau spectrographe dédié aux mesures de VR stellaires de précision visant à atteindre 1 m/s. Cet instrument peut être utilisé en mode de calibration "standard" mais est optimisé pour le mode Accélérométrie Astronomique Absolue (AAA).

Techniques de mesure vélocimétrique

Deux techniques ont été développées et sont couramment utilisées pour les mesures vélocimétriques de précision. Toutes deux consistent à réaliser une mesure des instabilités instrumentales en imposant sur le détecteur un spectre d'une source stable de référence afin de les corriger a posteriori dans l'analyse des données. La première méthode, dite de la cellule à Iode, consiste à introduire dans le faisceau stellaire convergeant sur l'entrée du spectrographe une cellule à absorption moléculaire afin de superposer au spectre stellaire des raies stables. La cellule à iode est le dispositif le plus couramment utilisé. Cette technique est fiable, facile à mettre en œuvre et assure la meilleure stabilité à long terme. Elle implique cependant une baisse considérable du rapport signal sur bruit et nécessite l'utilisation de très grands télescopes. La seconde méthode, dite double fibre, consiste à acheminer dans le spectrographe le faisceau stellaire via une fibre optique et le faisceau d'une source spectrale stable via une seconde fibre optique. Le détecteur CCD enregistre *simultanément* deux spectres distincts : celui de l'étoile et celui de la source de référence. Dans cette technique, le faisceau stellaire et le faisceau de référence ne suivent pas strictement le même chemin optique et l'on peut craindre un déplacement relatif des deux sorties de fibre.

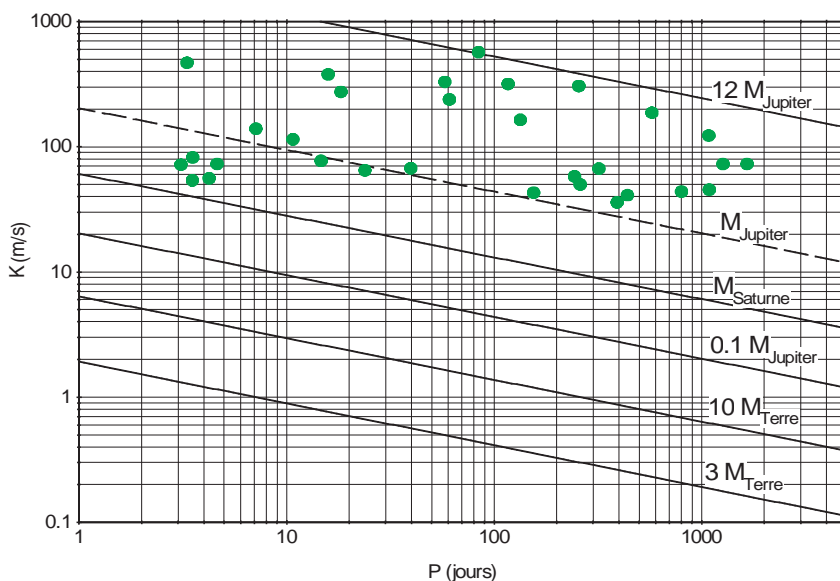


Figure 1. – Masses des planètes extra-solaires en fonction de K , la demi-amplitude de variation de vitesse radiale induite sur l'étoile, et de P , la période orbitale. Les lignes représentent les iso-masses de planètes en orbite autour d'étoiles de 1 masse solaire. Les 31 exo-planètes détectées à ce jour sont représentées en cercle plein. La précision de 1 m/s laisse présager de la découverte d'une nouvelle gamme d'exo-planètes.

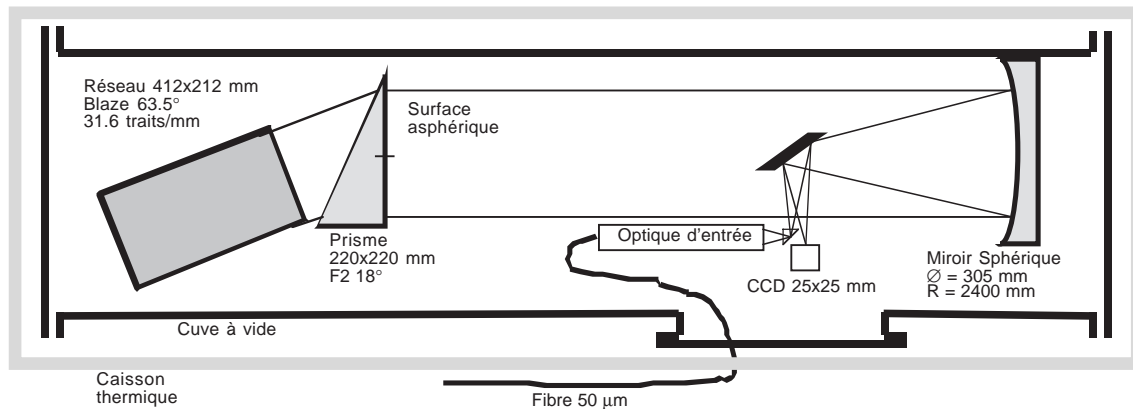


Figure 2. - Configuration optique du spectrographe EMILIE

Une variante remédiant à ce problème consiste à utiliser une unique fibre associée à un commutateur optique afin d'envoyer *alternativement* les deux faisceaux dans le spectrographe. Cette technique, dite simple fibre, fut développée et testée sur le spectrographe EMILIE. Elle impose une excellente stabilité de l'instrument à court terme, c'est à dire entre les deux poses d'un cycle de mesure (10 à 1000 s).

Le mode AAA, proposé par Connes (1985) et développé par Schmitt (1997), peut être perçu comme une méthode particulière de contrôle adaptable à tout spectrographe astronomique. Son but est à la fois d'éliminer toute calibration du spectrographe et d'éliminer le déplacement des spectres sur les pixels du CCD dû au mouvement de la Terre (± 30 km/s). Le spectre de référence est un spectre cannelé réalisé par un Fabry-Perot accordable en épaisseur éclairé en lumière blanche et contrôlé par lasers. Ce spectre constitue une référence glissante asservie à suivre les déplacements des raies stellaires, lesquelles restent fixes sur les pixels du CCD grâce à un système optique à l'intérieur du spectrographe. Le spectre stellaire et le spectre de référence sont ainsi asservis sur les mêmes pixels à toute époque d'observation. Le spectrographe est alors utilisé en détecteur de zéro et ne mesure que d'infinitésimaux déplacements des spectres sur le CCD relatifs à une époque de référence.

Description du spectrographe EMILIE

La Figure 2 présente la configuration optique d'EMILIE vue de dessus. Le montage du spectrographe est réalisé suivant une configuration quasi-Littrow à chambre de Schmidt ouverte à F/5.5. Il comporte 3 pièces optiques principales. Un miroir sphérique est utilisé à la fois pour collimater le faisceau et pour focaliser sur le CCD. Un prisme en flint F2 assurant la dispersion croisée est lui aussi utilisé en double passage. Sa face d'entrée, placée au centre de courbure, est polie de manière asphérique et présente un profil de Schmidt corrigeant l'aberration sphérique du primaire.

Le réseau échelle est un Milton-Roy de dimension 212x412 mm, à 31.6 traits par mm et d'angle de blaze 64.9°. Les faisceaux d'entrée et de sortie sont repliés à l'aide d'un miroir plan de contour elliptique introduisant une obstruction centrale dans le faisceau. La fente d'entrée du spectrographe est placée aussi près que possible du CCD et le faisceau est replié à l'aide d'un prisme à réflexion totale. Le spectrographe est alimenté par une seule et unique fibre optique de 50 µm. Une

platine optique d'entrée assure l'adaptation du faisceau dans le spectrographe, et intègre un découpeur d'image et une lame inclinable à faces parallèles pour l'asservissement des raies sur les pixels en mode AAA. Le capteur CCD possède 1024x1024 pixels de 24 µm et est refroidi par un triple étage Peltier associé à une circulation d'eau.

L'ensemble du spectrographe est suspendu dans une cuve à vide (10^{-2} mbar) régulée en température (10^{-3} °C). Le CCD actuel permet de couvrir environ 50% du domaine spectral 430-700 nm avec un pouvoir de résolution proche de 150 000 et une efficacité globale calculée et attendue d'environ 2%. Les premiers tests de stabilité en laboratoire ont montré une dispersion RMS des mesures Doppler inférieure à 30 cm/s au cours de cycles de 10 minutes validant ainsi la technique simple fibre.

Un système de guidage et mise au point automatique fut réalisé afin de réduire les fluctuations géométriques du faisceau sur l'entrée de fibre alimentant le spectrographe (Bouchy & Connes 1999). Ces fluctuations liées aux erreurs de guidage du télescope et à la turbulence atmosphérique s'avèrent être un facteur limitant la précision des mesures vélocimétriques.

Premiers tests sur le ciel

EMILIE a été installé au printemps 1999 au télescope de 152cm de l'OHP. Les premières mesures sur étoile, réalisées dans des conditions encore non optimales, ont montré une précision vélocimétrique à court terme d'environ 2 m/s.

Un test complet de l'instrument en mode AAA réalisé sur le Soleil a permis d'observer au cours d'une seule journée les oscillations acoustiques à 5 minutes, d'amplitude de quelques dizaines de cm/s, et de déterminer l'espacement large en fréquence des modes (Figs. 3 et 4).

Nos observations sur Procyon (HR2943) confirment la présence de modes d'oscillations acoustiques autour de 1 mHz et d'amplitude proche de 1 m/s mis en évidence par Martić et al. (1999) avec le spectrographe ELODIE (voir Fig. 5).

Enfin, nous confirmons la présence d'une planète extra-solaire de période 4.6 jours autour de l'étoile Ups And (HR458) découverte par Butler et al. (1997) (voir Fig. 6).

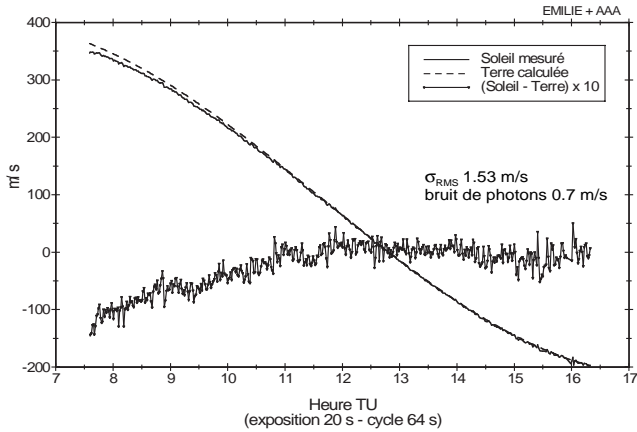


Figure 3. – Variations de vitesses radiales mesurées sur le Soleil.

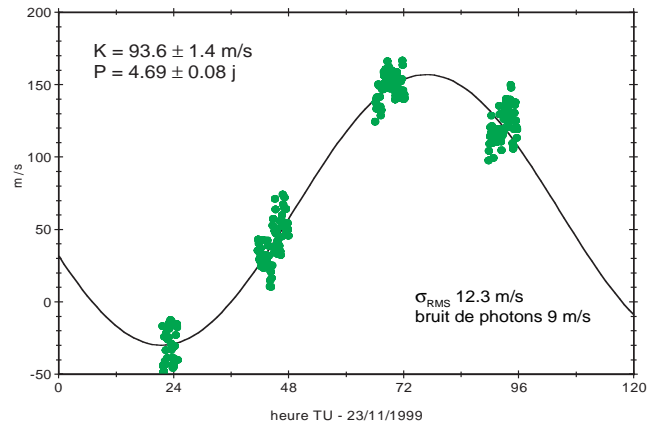


Figure 6. – Variation de vitesse radiale mesurées sur Upsilon And (F8V – mv 4.09).

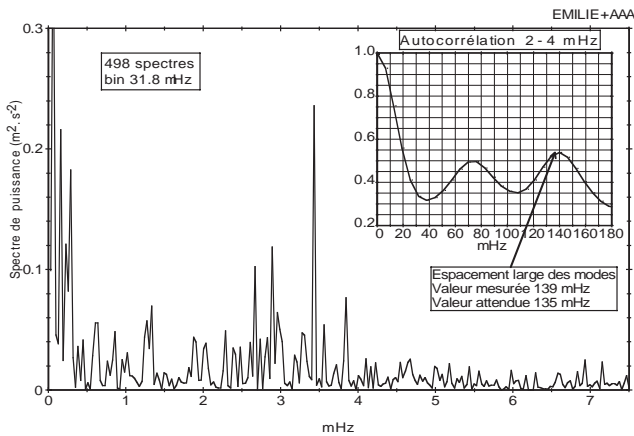


Figure 4. – Spectre de puissance des variations de vitesse radiale solaire

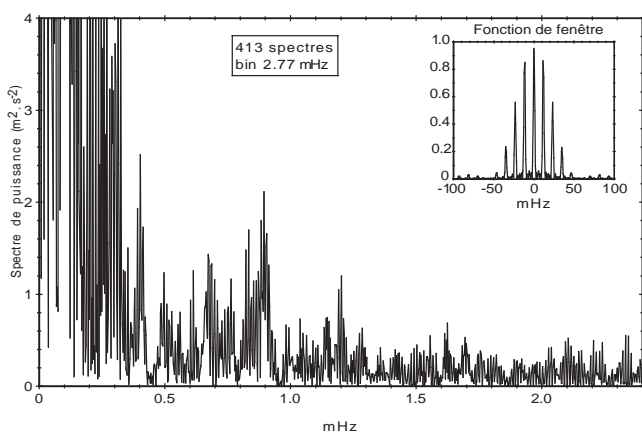


Figure 5. – Spectre de puissance des variations de vitesse radiale mesurée sur Procyon (F5IV-V – mv 0.38).

Conclusion & Perspectives

Avec un gain en précision d'un facteur 3 à 20 en précision par rapport aux spectrographes couramment utilisés pour la mesure des vitesses radiales, cet instrument devrait permettre de découvrir une nouvelle gamme de planètes extra-solaires (thématique clef de l'OSU Marseille-Provence) et de détecter et caractériser les modes d'oscillations de plusieurs dizaines d'étoiles de type solaire.

L'ensemble de l'instrument nécessite désormais une phase d'amélioration et une fiabilisation et simplification des sous-systèmes électroniques et informatiques. Plusieurs missions d'observation sont planifiées pour l'année 2000. Elles seront vouées dans un premier temps à l'observation d'une vingtaine de candidats astérosimologiques et à la validation de la stabilité à long terme de l'instrument en mode AAA. Environ cinquante étoiles seront alors observées de manière systématique pour la recherche d'exo-planètes.

Remerciements

L'instrumentation a été développée grâce à un financement de l'INSU. Nous remercions A. Mantz du Connecticut College Dept. of Physics and Astronomy pour le prêt du réseau échelle. Nous remercions le personnel de l'OHP pour son accueil et son aide.

Références

Bouchy F. & Connes P., 1999, A&ASS, 136, 193.
 Butler R.P. et al., 1997, ApJ, 474, L115.
 Connes P., 1985, Astrophys. & Space Science, 110, 211.
 Martic M. et al., 1999, A&A, 351, 993.
 Mayor M. & Queloz D., 1995, Nature, 378, 355.
 Schmitt J., 1997, thèse de l'Université Paris VI.

ELODIE: Archive of reduced spectra and stellar library

Philippe PRUGNIEL

Observatoire de Lyon

Caroline SOUBIRAN

Observatoire de Bordeaux

The project

This note presents a new archive of spectra obtained with the ELODIE spectrograph attached to the 1.93 m telescope, and the stellar library built on the archive. A preliminary release of the archive, calibrated in flux, is available on the WEB through the Hypercat database.

The library used for the TGMET program (Katz et al. 1998 A&A 338, 151) has been presented in Soubiran et al. (1998 A&AS 133, 221) and the corresponding spectra are available on the web site of Observatoire de Haute-Provence. The spectra of the 211 stars are presented in the form of 2D spectra, with one order per line.

The fact that the spectra are neither order-connected nor calibrated in physical flux limits the potential applications, and in practice they are mostly used in the frame of the TGMET program to evaluate the atmospheric parameters of stars observed with ELODIE. TGMET is available at the telescope and the determination of (Teff, log g, [Fe/H]) can be done during the observations.

The goals of the present project are to provide a stellar library suitable for the synthesis of stellar populations and for determining the atmospheric parameters of stars. Thus it extends TGMET and its associated library, in particular the future version of TGMET will allow to analyze spectra originating from any spectrograph. We remind that TGMET directly compares observations from ELODIE to the library of stars with precise (Teff, log g, [Fe/H]) : it allies the simplicity with the advantage over classical methods (based on the comparison with synthetic spectra) of avoiding empirical corrections of the synthetic spectra (Cuisinier et al. 1994 A&A 285, 943).

Synthesis of stellar populations is aimed at constraining the history and physics of galaxies or star clusters. The principle is to match colors, spectrophotometric indices or possibly spectra with real data for galaxies. Several different approaches were experienced since the invention of multi-color photometry almost 70 years ago. Trial-and-error methods were aimed at determining the relative contribution of each class of stars (Spinrad & Taylor 1971 ApJS 22, 445), and later, models including the stellar evolution, rate of star formation, initial mass function, ... (Tinsley 1978 ApJ 222, 14) were proposed to describe the physics and evolution of galaxies.

The major difficulty, yet not satisfactory solved, is to disentangle age and metallicity effects : either a younger population or a lower metallicity both result in a "bluer" spectrum. It is now clear that broad band colors cannot solve this question, but spectrophotometric indices do not either offer ideal solution for disentangling age and metallicity (Worthey 1994 ApJS 95, 107). For example, the immediate

idea to compare Balmer lines with metallic features is not of a straightforward use because these lines are partly filled by emission from the interstellar ionised gas.

Hence our idea is to use information at a higher spectral resolution. But of course this suppose to solve different problems: (1) we need a stellar library at a high enough resolution (the present libraries are both limited in their coverage of the parameter space and in resolution), (2) we need to feed a synthesis tool with this library and (3) we need to deconvolve the effects of the internal kinematics of galaxies before matching the spectra.

The expertise for deconvolving the kinematics is provided by the methods developed by F. Simien for analyzing CARELEC spectra (see the relevant series of papers, the most recent being 1998 A&AS 131, 287). The evolutive synthesis is the PEGASE code developed by M. Fioc and B. Rocca (1997, A&A 326, 950).

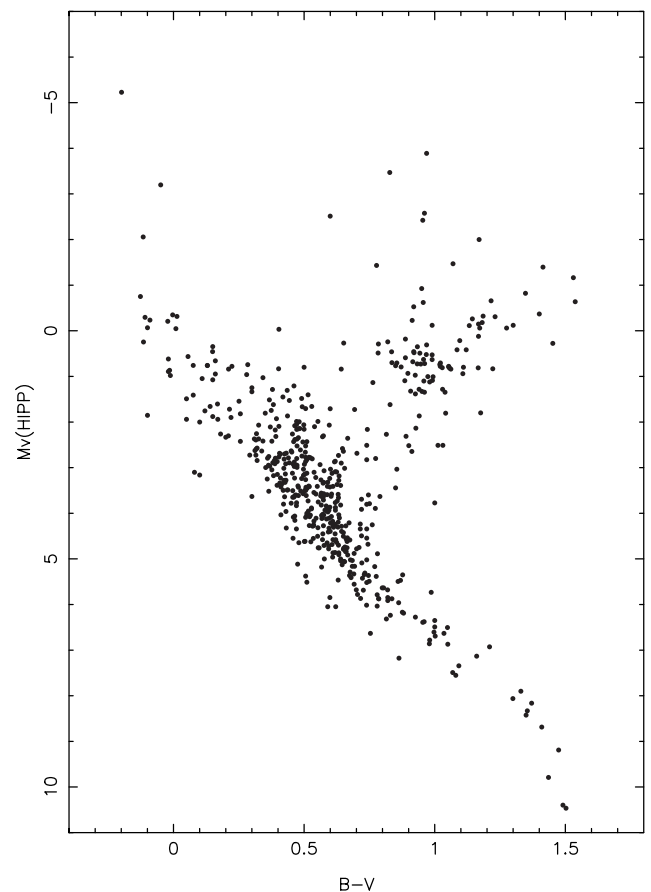


Figure 1 : HR diagram for the 557 stars with a parallax more precise than 20%.

Present status

The first step toward assembling a stellar library is to gather stellar spectra. Then this archive will be "processed" to produce an homogeneous library of stellar spectra with a uniform sampling of the parameters (Teff, log g, [Fe/H]), a uniform S/N ... This processing may consist in a selection of the most relevant objects, in an interpolation or averaging within a grid of (Teff, log g, [Fe/H]) parameters, or in a modeling of the spectra as function of (Teff, log g, [Fe/H]). We have adopted the latter solution.

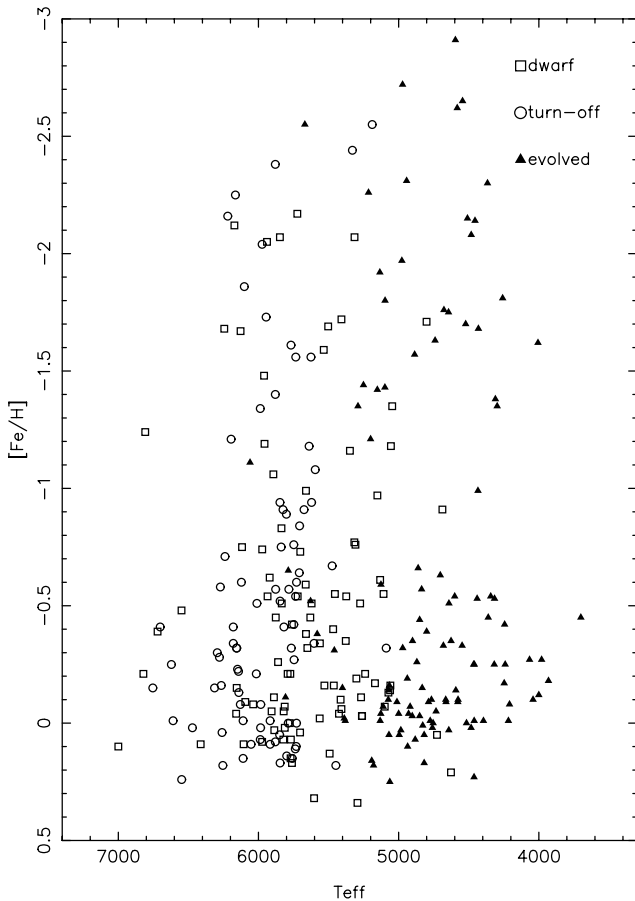


Figure 2 : $[Fe/H]$ vs. T_{eff} for the 288 stars in the archive with accurate T_{eff} and $[Fe/H]$ measurement (ie. several according determinations from either photometric or high resolution spectroscopic observations).

The present release of the archive counts 683 spectra for the same number of different stars. The sample can be summarized as follows: The archive contains 683 spectra with a mean S/N of 130. 579 stars have a measurement of T_{eff} , 327 of them from high resolution spectroscopy or by the InfraRed Flux Method. 475 stars have a measurement of $[Fe/H]$, 295 of them from high resolution spectroscopy. 332 stars have a measurement of $\log g$. 613 have a measurement of M_v from Hipparcos parallaxes, for 435 the parallax is determined to better than 10%.

Figures 1 and 2 present the distributions of the sample in the HR diagram and T_{eff} vs $[Fe/H]$ planes.

At variance with the initial TGMET library limited to stars colder than $T_{eff} = 6500$ K, the new sample covers the whole range of parameters. Spectral types from O to M, luminosity classes V to I and $-3 < [Fe/H] < 0.8$. We note in particular that we included some super metal rich stars extremely needed for synthesizing high metallicity elliptical galaxies.

The spectra were processed starting from the "extracted" ELODIE spectra in the form stored in the TGMET library. They were first normalized to their pseudo-continuum and corrected for the inaccurate subtraction of the diffuse light by the standard reduction procedure done at the telescope. The spectra are cleaned from cosmic-rays hits and telluric lines, velocity-corrected to the rest-frame of the stars and resampled into wavelength.

The procedure loosely follows that of Katz et al. 1998, it will be described in detail elsewhere.

After the spectra were calibrated into physical flux by correcting for the instrumental response, the absorption by the standard clear atmosphere and by additional haze. These three slowly varying functions of the wavelength were determined by fitting the ratio between ELODIE spectra and flux calibrated spectra available in Hypercat to a function of the airmass and color excess. The color excess, here, is the difference between the B-V color (from Hipparcos Input catalogue) and the one measured on our spectra after correction for the absorption by the standard atmosphere.

A detailed description of the procedure will be given in a future paper. The (T_{eff} , $\log g$, $[Fe/H]$) parameters, apparent and absolute magnitudes and colors are stored in the FITS keywords of the archived spectra. In the current version (v 0.7), the final resolution has been set to: $R=10000$, the sampling step in wavelength to 0.02 nm and the spectral interval to 440 -- 680 nm.

The data are accessible in the Hypercat FITS archive were they can be processed with the online pipeline in order, for example, to deliver a spectrum with customized spectral interval, resolution and sampling. Hypercat is available on the WEB at several different locations, for example:

<http://www-obs.univ-lyon1.fr/hypercat>.

The present archive can be entered from:

<http://www-obs.univ-lyon1.fr/hypercat/11/elodie.html>.

Prospects

A detailed description of the archive will be given in a paper that we will submit to A&AS in a near future. At this time a frozen release of the archive (version 1.0) will be distributed. Several minor improvements over the current version are scheduled, in particular regarding the description of the stellar characteristics. In version 1.0, the spectra will be distributed at two resolutions: $R=42000$ (the nominal resolution of the spectrograph) useful for the determination of atmospheric parameters, and $R=10000$ (as the current version) useful for population synthesis. The subsample of stars with known atmospheric parameters constitutes the library.

Together with version 1.0, we expect to provide "fitted" spectra. They extend the "fitting functions" generally used to calibrate colors or spectrophotometric indices into atmospheric parameters (eg. Worthey et al. 1994 ApJS 94, 687). Each wavelength element in the whole library will be fitted with a function of (T_{eff} , $\log g$, $[Fe/H]$), in other words we compute a fitting function at each wavelength. This allows, giving (T_{eff} , $\log g$, $[Fe/H]$) to compute a modelled spectrum (the fitted spectrum). The fitted spectra will be computed for a grid of parameters and feed the population synthesizer (PEGASE). This has the advantage of smoothing the effects of the parameters absent from the description used by PEGASE (stellar rotation, macro-turbulence and individual element abundance as $[Mg/Fe]$).

Un nouveau CCD pour Aurélie

Depuis février 2000, les performances du spectrographe Aurélie, au foyer du télescope de 1m52, ont été considérablement améliorées. Un nouveau détecteur CCD EEV a remplacé la double-barrette Thomson TH7832 (en service depuis Mars 1989) et permet de gagner environ deux magnitudes sur la magnitude limite pour un rapport signal-sur-bruit $S/B = 50$. Le gain sera d'une magnitude pour un $S/B = 200$. En outre un mode de lecture "binning" autorise un gain supplémentaire d'environ 0.5 magnitude pour des $S/B < 50$.

Les caractéristiques du CCD sont 2048x1024 pixels de 13.5 microns pour un bruit de lecture de 5 électrons par pixel. Le spectre se formant sur 80 colonnes son bruit de lecture équivalent est de 49 électrons. Le courant d'obscurité est de 1.5 électron/heure/pixel (voir l'article suivant de Goillandeau et Guillaume).

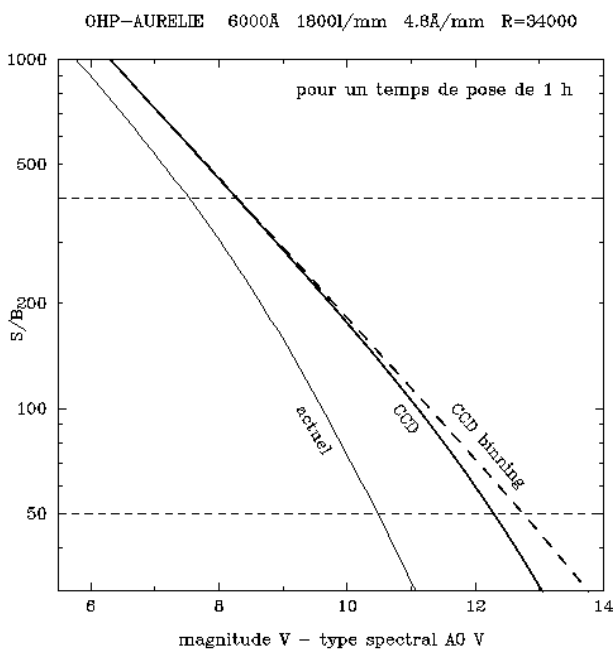


Figure 1. Exemple de rapport Signal/Bruit en fonction de la magnitude de l'étoile (d'après D.Gillet)

Un nouveau mode haute résolution sur Aurélie

En plus du nouveau détecteur, un nouveau réseau Echelle de 300 tr/mm est disponible sur Aurélie. Il donne un pouvoir de résolution de 120000 avec un faible taux de lumière parasite et un rendement lumineux avantageux. Comparativement au réseau Echelle actuel de 79 tr/mm ($R=110000$), le domaine spectral total est beaucoup plus étendu.

Ordre No.	Domaine accessible	Rendement absolu	(Echelle + filtre)
15	3900 - 4000 Å	0.15	
14	4200 - 4300 Å	0.20	
13	4500 - 4650 Å	0.23	
12	4900 - 5100 Å	0.30	
11	5400 - 5600 Å	0.33	
10	5800 - 6150 Å	0.33	*
9	6450 - 6750 Å	0.33	*
8	7300 - 7660 Å	0.33	*
7	8400 - 8700 Å	0.30	*

*filtre déjà disponible au 1/9/99

IRAF disponible au 1m93

Les observateurs utilisant le spectrographe CARELEC au 1m93 de l'OHP et qui effectuent le pré-traitement de leurs spectres avec le logiciel MIDAS peuvent, s'ils le désirent, utiliser le logiciel IRAF qui est implanté sur la station Alix. Il est prévu de mettre IRAF à la disposition des utilisateurs de la caméra CCD au télescope de 1m20 dès que la nouvelle station de travail sera installée.

Caméra HORIZON 2000

*Michel GOILLANDEAU,
Christian GUILLAUME*

Observatoire de Haute-Provence

Ce texte a pour but de décrire la structure de la caméra à transputer réalisée à l'Observatoire de Haute Provence. Une première version a été développée pour le banc de test des CCD du satellite COROT, la suivante très similaire comme caméra scientifique pour les télescopes de l'OHP (Aurélie au T152) ; elle est en service depuis mi-février, équipée avec un CCD EEV42-20. Une dernière doit suivre pour Carelec au T193. Pour la R&D sur le CCD zéro bruit, une adaptation a été faite.

Description

Les caméras scientifiques désignées Caméra Horizon 2000 sont constituées de cinq éléments distincts.

- Le cryostat et la tête contenant le CCD.
- Le CCD et son électronique de proximité. c'est à dire les pré-amplis très faible bruit et le « driver » (dispositif électronique générant les tensions de polarisation du CCD et les niveaux haut et bas des différentes phases).
- Le coffret caméra contenant l'électronique analogique de traitement vidéo, le séquenceur réalisé à l'aide d'un circuit logique programmable XILINX et une carte CPU à transputer INMOS T805 avec 16 Mo de RAM. Le transputer exécute un programme comportant des processus parallèles qui est écrit en langage de haut niveau C.
- Un PC contenant une interface avec le coffret caméra.
- L'interface utilisateur.

Le coffret est connecté au PC via une fibre optique (40m maximum). On utilise un des quatre liens haut débit du transputer (20Mbits/s). Cependant, le taux de transfert sera limité par la carte interface du PC 250KB/s pour une ISA ou 750 KB/s pour une PCI.

La liaison entre l'interface utilisateur et le PC se fait à l'aide de 2 sockets TCPIP. La carte interface du PC est pilotée par un programme qui comporte le serveur TCPIP. L'interface utilisateur étant le client, 2 ports sont utilisés l'un pour l'envoi des ordres à la caméra, l'autre en retour pour le transfert de l'image.

La souplesse apportée par l'utilisation des sockets TCPIP permet de déporter si besoin est, l'interface utilisateur sur une autre machine fonctionnant sous un autre « Operating System » (le serveur TCPIP fonctionnera sous LINUX). Les échanges se font alors sur le réseau ethernet et à distance.

Le séquenceur (dispositif générant des signaux pour le fonctionnement du CCD et de la carte de traitement vidéo) a fait l'objet d'un marché suivant un cahier des charges que nous avons défini. Il est réalisé à l'aide d'un circuit logique programmable XILINX et écrit en VHDL. Le fonctionnement du séquenceur se résume à un enchaînement de commandes que génère le logiciel exécuté par le transputer. La résolution temporelle des 32 signaux est de 100ns. Un éditeur graphique de chronogramme a été développé pour faciliter le positionnement de ces signaux.

Un nouveau driver a été étudié pour utilisation des CCD à transfert de trame, en outre les tensions de polarisation et les niveaux des phases peuvent être programmables. La vitesse de lecture du CCD peut atteindre 2µs par pixel et deux voies peuvent être utilisées pour lire deux sorties simultanément.

Le multi-fenêtrage, le binning (sommation physique des lignes dans le CCD), le "dump-drain" (effacement rapide d'une ligne) sont disponibles.

Caméra CCD d'Aurélie au 1m52

Un CCD EEV 42-20 a été installé dans une tête de nouvelle génération, il est refroidi à 163K (-110° C) à l'aide d'azote liquide contenue dans un cryostat dont l'autonomie atteint 24 heures selon l'état du vide. C'est un CCD à transfert de lignes, aminci, éclairé par l'arrière, traité anti-reflet pour améliorer sa réponse vers le bleu. Il est organisé en 1024 lignes de 2048 pixels, faisant chacun 13.5µm².

Les spectres d'Aurélie mesurent environ 1mm de haut (80 lignes). La lentille cylindre utilisée pour le détecteur antérieur (barrette Thomson Th7832) n'est donc plus nécessaire. Pour garantir une marge suffisante dans le positionnement du spectre, la caméra lit 100 lignes du CCD. Le fenêtrage et le "dump-drain" sont alors utilisés pour réduire la taille des images et accélérer la vitesse de lecture. Celle-ci a été fixée à 50kpixels/s ; une seule sortie est utilisée. La création d'une image dure une dizaine de secondes, écriture sur le disque comprise. Le "gain" de la chaîne est de 2.26 e⁻/adu et le courant d'obscurité est inférieur à 1 e⁻/h/pixels.

Pour des raisons de rapidité de mise en service, l'interface utilisateur de la caméra est celle utilisée lors des étalonnages en laboratoire. Elle est d'ailleurs identique à celle utilisée au T80 depuis de nombreuses années. En conséquence, il n'existe plus d'interaction logicielle entre la commande du spectromètre et celle de la caméra CCD. Cette situation est provisoire : un nouvel environnement est en cours de développement. Cette interface utilisateur fonctionnant sous Linux, le logiciel de dépouillement des données est MIDAS version 97NOV.

Deux modes de fonctionnement sont utilisables

- Le "mode normal":

Sur le spectre lu en deux dimensions apparaissent les cinq bandes du découpeur d'image du type Bowen-Walraven. La saturation des pixels est atteinte à plus de 137000e⁻ et le bruit de lecture est de 6e⁻. Dans ce mode, l'impact d'un « rayon cosmique » n'affecte qu'un seul ou un petit groupe de pixels qui peuvent être facilement retirés. La sommation des 80 lignes doit être effectuée a posteriori lors du dépouillement.

Dans chaque colonne, on peut intégrer jusqu'à 6.5 Me⁻ avant d'atteindre la saturation et un rapport Signal/Bruit de 2550 peut être obtenu. Le bruit de lecture en mode normal (spectre sur 80 lignes) est de 80^{1/2} x 6e⁻ = 53e⁻ à comparer à celui de la barrette Thomson TH7832 qui était de 250e⁻

- Le "mode binning":

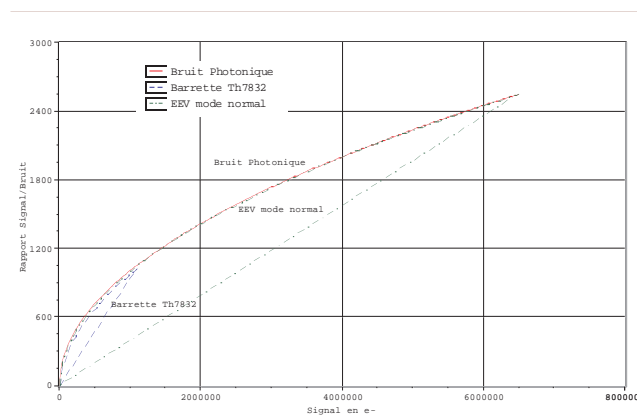
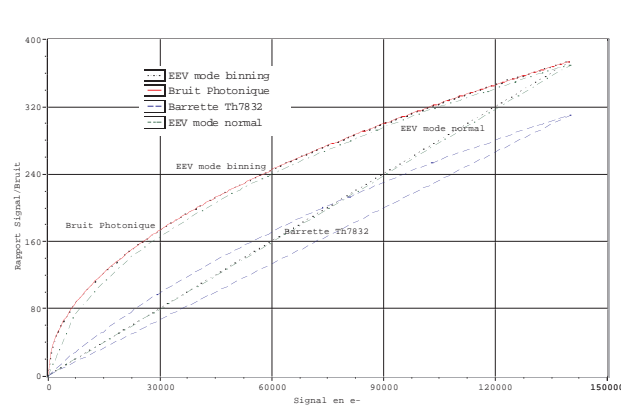
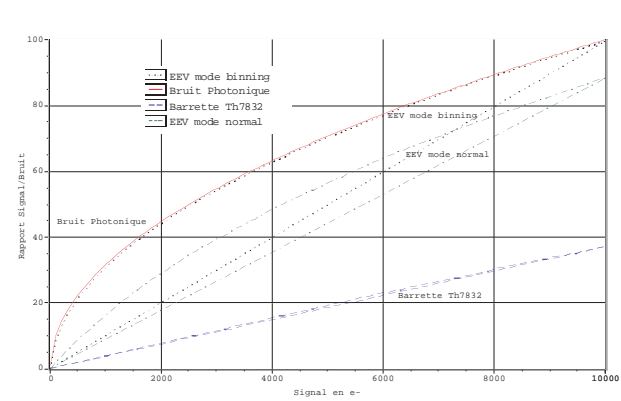
La sommation des lignes est réalisée à l'intérieur du CCD : le spectre n'est plus qu'à une dimension. Chaque "pixel-somme" sature aussi à 137000 e⁻, mais il est l'intégration de 100 pixels (1 colonne). Un rapport Signal/Bruit de 370 seulement peut être atteint. Un "rayon cosmique" affecte une ou plusieurs

colonnes, il est beaucoup plus gênant. Le bruit de lecture en revanche est très bas puisqu'il n'y a qu'une lecture par colonne.

Dans ce mode, l'équivalent de $25e^-$ de charges fantômes apparaît lors de la lecture et génère $5e^-$ de bruit. Ces charges n'étant pas réparties uniformément l'offset n'est pas plat.

Le bruit de lecture en mode binning est alors de $(6^2 + 5^2)^{1/2} = 8e^-$ et le gain sur le rapport Signal/Bruit est très important comme le montrent les courbes ci-dessous.

Comme nous l'avions écrit dans la conclusion du rapport sur la rénovation de la camera double barrette (31 mars 1996), ce nouveau détecteur améliore grandement le rendement scientifique du spectromètre Aurélie. Par exemple un rapport Signal/Bruit de 40 sur la pose brute était atteint avec un flux de $11000e^-$ à l'aide de la barrette TH7832. Avec cette nouvelle caméra CCD, $3000e^-$ en mode normal ou $1600e^-$ en mode binning sont maintenant suffisants.



HARPS: Un spectrographe dédié à la recherche d'exo-planètes pour le 3m60 de l'ESO

*Dominique KOHLER, Daniel LACROIX,
Pierre RICHAUD, François BOUCHY,
Jean-Pierre SIVAN*

Observatoire de Haute-Provence

En 1995, Michel Mayor et Didier Queloz découvrent la présence d'une planète autour de l'étoile 51 Peg. Cette découverte résulte de la surveillance scrupuleuse de la vitesse radiale de cette étoile. Elle a été possible grâce à l'extrême précision des mesures de vitesse que permet le spectrographe Elodie au foyer du télescope de 1,93 m.

La découverte de la première planète extra-solaire a eu un retentissement extraordinaire ; elle a ouvert un champ de recherche entièrement nouveau. Cinq ans après, c'est plus de trente planètes extra-solaires qui sont connues. Les différences observées de masse, de période, d'excentricité orbitale laissent entrevoir une extrême diversité des systèmes planétaires. Un résultat important apparaît : les planètes sont présentes autour d'étoiles riches en métaux. Tout récemment, on a observé le transit d'une planète extra-solaire devant son étoile, parfaitement corrélé à la variation de vitesse radiale, preuve éclatante que les exo-planètes sont bien réelles !

Conscient de l'intérêt stratégique que représente pour la communauté astronomique européenne la recherche des planètes extra-solaires, l'ESO a publié le 20 mai 1998 un appel d'offre pour la conception, la construction et la mise en service au foyer du télescope de 3,60 m de la Silla, d'un instrument permettant de mesurer des vitesses radiales stellaires avec une précision de 1 m/s. Ce projet s'intitule HARPS (High Accuracy Radial velocity Planetary Search).

Un consortium franco-suisse s'est formé pour répondre à cet appel d'offre. Il est composé de l'Observatoire de Genève, de l'Observatoire de Haute-Provence, du Service d'Aéronomie de Verrières-le-Buisson et de l'Institut de Physique de Berne.

Les 14 et 15 février 2000, à Genève, s'est tenue la réunion de lancement du projet ("kick-off meeting"). Fin 2002, le spectrographe HARPS devrait être opérationnel au Chili.

L'idée de base a été de concevoir un spectrographe échelle à dispersion croisée utilisant la méthode dite "double fibre" qui a fait ses preuves sur les instruments Elodie et Coralie (sœur jumelle d'Elodie en service au télescope suisse de 1,20 m à la Silla). Cette méthode permet l'observation simultanée de l'étoile à travers une fibre et d'une lampe d'étalonnage à travers une deuxième fibre. Une troisième fibre est prévue pour l'utilisation éventuelle d'une cellule à iode pour les étalonnages ou du système de l'accéléromètre absolu de P. Connes.

Par rapport à Elodie, HARPS est doté d'une résolution spectrale deux fois plus grande, d'une stabilité thermique et mécanique accrue et d'un meilleur échantillonnage sur le CCD. Fonctionnant dans le vide, l'instrument devient insensible aux variations de l'indice de l'air. Le concept optique retenu par le consortium s'inspire des spectrographes UVES et

FEROS récemment installés à l'ESO. Il est dû à B. Delabre (ESO). D. Kohler l'a affiné et adapté. Les caractéristiques du spectrographe sont présentées tableau 1 et son schéma optique est représenté figure 1. Le faisceau d'entrée à F/7,5 est collimaté par un miroir parabolique de focale 1,5 m puis envoyé sur le réseau échelle de 200 X 830 mm et d'angle de blaze 75°. Celui-ci est utilisé en mode quasi Littrow (0.75°). Le faisceau dispersé est collecté par le même miroir parabolique qui forme un spectre intermédiaire sur un miroir plan situé en son foyer. Le miroir parabolique re-collimate le faisceau pour l'envoyer sur le « grism » de dispersion croisée. L'objectif de caméra image le spectre à dispersion croisée sur un CCD 4kX4k ayant des pixels de 15 µm.

La réalisation de l'ensemble du spectrographe, y compris l'enceinte à vide qui le contiendra, est estimée à 6 MF, soit 3 MF pour la part française, représentant les contributions de l'INSU, de la Région Provence-Alpes-Côte-d'Azur, de l'IGRAP/OSU Marseille-Provence, et du Service d'Aéronomie.

Le détecteur et la bonnette du télescope de 3,6 m ne sont pas inclus dans ce coût : ils seront pris en charge par l'ESO.

La participation technique de l'OHP concerne essentiellement l'étude optique et mécanique du spectrographe, la définition complète et l'étude générale de la bonnette, la réalisation mécanique du spectrographe et la participation aux intégrations et aux réglages.

Caractéristiques du spectrographe HARPS

Nombre de fibres	3 (dont 1 pour cellule à iode)
Diamètre de la fibre et acceptation sur le ciel	100 µm / 1 sec d'arc
Domaine spectral couvert (sans coupure)	380 à 690 nm
Résolution spectrale	95 000
Nombre d'ordres	71
Distance inter-ordre	Min 0.5 mm ; max 1.4 mm
Efficacité maximum de l'optique du spectrographe (hors fibres optiques et CCD)	34 % à 480 nm

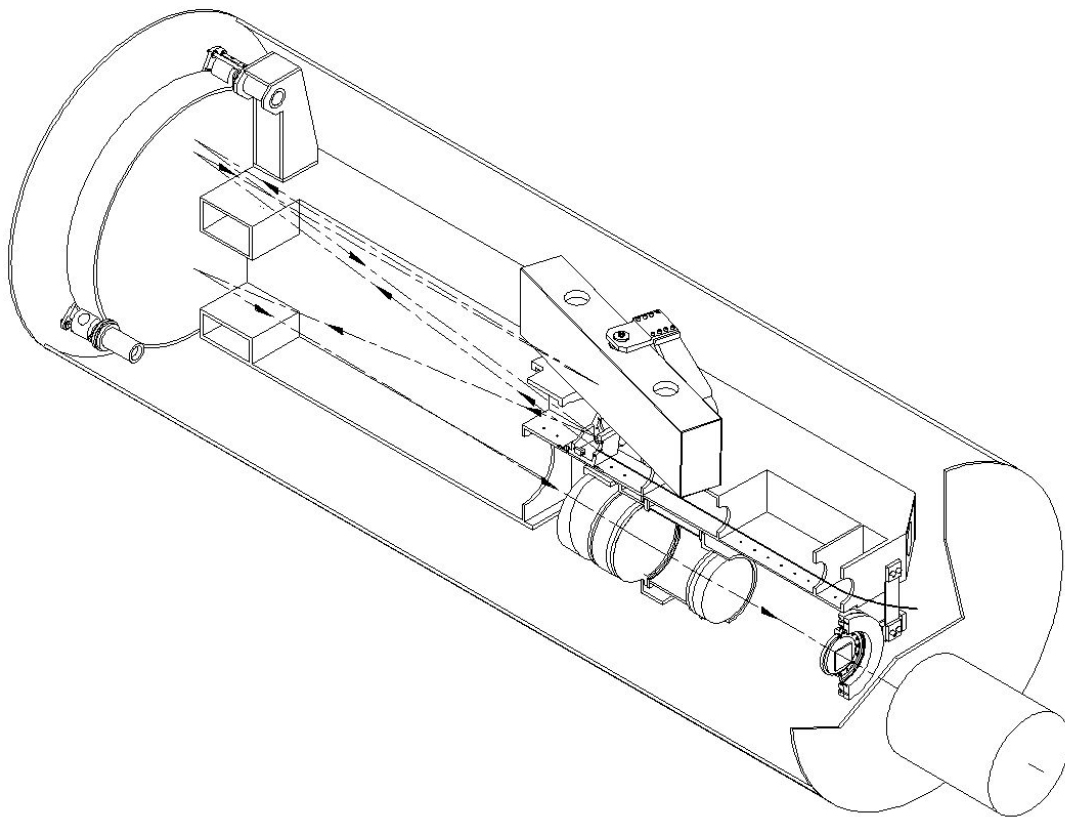


Figure 1 . Schéma optique du spectrographe HARPS

L'OHP après Arcachon

Jean-Pierre SIVAN

Observatoire de Haute-Provence

(Ce texte est paru dans le Journal des Astronomes Français No. 60, pages 17-19)

On a beaucoup parlé ces dernières années des petits télescopes. Michel Dennefeld a écrit à leur sujet un rapport très complet et ils ont fait l'objet de discussions approfondies au cours du colloque de prospective d'Arcachon de mars 1998. Les conclusions de ce colloque (Lettre de l'INSU n° 36) soulignent l'utilité des télescopes de la classe de 2 mètres notamment pour des programmes de physique stellaire et galactique et de planétologie, qui ne nécessitent pas de grands collecteurs mais ont besoin de beaucoup de temps d'observation.

Ces conclusions, prenant en compte des contraintes essentiellement budgétaires, énoncent pour les télescopes nationaux les quatre recommandations suivantes:

- spécialiser les télescopes - élaborer des "programmes-clés"
- développer les "observations de service" (service observing)
- mettre en place un "ticket modérateur"

Où en sont les télescopes de l'Observatoire de Haute Provence près de deux ans après le colloque d'Arcachon ? Comment se situent-ils par rapport à ces recommandations ? Quelles sont les perspectives d'avenir ?

La spécialisation des télescopes de l'OHP

Bien avant la réunion d'Arcachon, la spécialisation des télescopes de l'OHP était effective (elle date d'au moins dix ans): un seul foyer en service sur tous les télescopes et un seul instrument focal, à l'exception du 193 pour lequel deux spectrographes (ELODIE et CARELEC) permettent de satisfaire en alternance les besoins des étoiles et des galaxies.

Cette spécialisation, toutefois, n'exclut pas la possibilité d'installer au foyer des télescopes de l'OHP des instruments d'équipe (GHASP, Photomètre "Chevreton", Accéléromètre Absolu) ou d'y essayer des instruments destinés à d'autres observatoires (comme ce fut récemment le cas de PYTHEAS et d'OASIS). Cette souplesse doit être conservée.

Les programmes-clés à l'OHP

Nous entendons par "programme-clé" un programme demandant plusieurs années d'observations et plusieurs périodes d'observation par an. On peut constater qu'à l'OHP de tels programmes s'étaient mis en place, avec le soutien du Conseil Français des Grands Télescopes (CFGTT), bien avant le colloque de prospective de 1998. Le principal "programme-clé" est celui, franco-suisse, de la recherche de planètes extra-solaires, qui se situe dans le prolongement

de la découverte en 1995 à l'OHP de la première d'entre elles (51 Peg B) par M. Mayor et D. Queloz.

D'autres programmes de ce type sont à citer, comme celui de l'étude statistique de la binarité des naines M du voisinage solaire qui commence à donner de remarquables résultats ou celui de la préparation des observations du satellite COROT.

À ces programmes, il faut rattacher des programmes d'un type nouveau destinés à la surveillance d'une même étoile à raison, par exemple, d'un spectre par nuit pendant plusieurs semaines ou d'un spectre tous les deux ou trois mois pendant plusieurs semestres.

Malgré les difficultés de programmation induites, nous nous efforçons de répondre aussi à ce type de demande.

Les observations de service à l'OHP

Par "observations de service", il faut entendre des observations faites, en l'absence de l'astronome qui les a suscitées, par les techniciens de nuit. Comme dans les deux cas précédents, on peut dire que l'OHP avait anticipé les conclusions du colloque d'Arcachon. Sans qu'elles fussent explicitement tenues pour telles, des observations de service se pratiquaient déjà avec le spectrographe AURELIE du 152 et la caméra CCD du 120. À l'issue du colloque d'Arcachon, notre volonté a été de les développer davantage, en priorité sur ces deux instruments.

Actuellement, les observations de service concernent environ la moitié des observations faites avec AURELIE au 152 et avec la caméra CCD du 120. Elles sont réalisées par les techniciens de nuit, éventuellement en liaison (via le téléphone et/ou Internet) avec l'astronome concerné. Le bilan est très satisfaisant, conséquence de la qualité et de l'expérience des personnels de nuit, et de l'excellente préparation des programmes par les demandeurs.

Cette pratique a évidemment des limites: elle s'accommode mal de programmes délicats nécessitant d'être redéfinis par l'astronome lui-même en temps réel en fonction des résultats obtenus. Elle n'est pas très bien adaptée non plus à des instruments complexes comme ELODIE ou CARELEC. Toutefois, avec ELODIE, nous commençons à répondre à la demande, notamment en ce qui concerne les surveillances d'étoiles à des fréquences régulières sur de longues périodes décrites précédemment.

Enfin, nous souhaiterions pouvoir répondre à des demandes d'observations ponctuelles et urgentes (hors programmation), suscitées par exemple par des résultats spatiaux, ou destinées à tester rapidement la faisabilité d'un programme, etc.

Le ticket modérateur et l'OHP

L'instauration d'un "ticket modérateur" pour l'accès aux télescopes nationaux, a été effective au 2e semestre 1999. C'est là, certainement, le plus grand changement intervenu à l'issue du colloque d'Arcachon. La première conséquence a été, à l'OHP, de priver le 120 de reconnaissance nationale. Malgré cela, et parce qu'il demeure un des rares moyens

d'imagerie disponible dans l'hémisphère nord, la demande sur le 120 ne s'est pas tarie, mais la programmation, en l'absence d'évaluation par des comités d'experts, demande à être améliorée.

À l'inverse, pour le 193 et le 152, pas moins de cinq structures (PNP, PNC, PCMI, ASPS, GdR Galaxies) procèdent désormais, de façon indépendante, à l'évaluation des demandes. Cela engendre —autre conséquence du nouveau système— une grande lourdeur du processus de sélection et de programmation des télescopes. C'est le prix à payer pour la transparence et la "vérité des coûts"!

Autant que l'on en puisse déjà juger, le ticket modérateur ne dissuade pas les demandeurs français ni étrangers et les différentes structures citées plus haut accomplissent un remarquable travail d'évaluation.

La formation et l'initiation à l'observation à l'OHP

Egalement chaque année, les télescopes de l'OHP (80, 120 et 152) sont mis à la disposition des étudiants des principaux DEA d'astrophysique de notre pays pour des stages d'initiation à l'observation astronomique. Les responsables de ces DEA accordent une grande importance à ces stages. Aux étudiants français s'ajoutent chaque année ceux de l'école européenne de géophysique ERCA, ceux de University College (Londres) et bientôt ceux de l'Institut d'Astrophysique de Tübingen.

Nous entendons continuer à jouer ce rôle irremplaçable dans la formation des étudiants français et européens.

Les atouts de l'OHP

Une enquête réalisée fin 1997 par le Comité des Utilisateurs de l'OHP avait mis en relief les atouts de cet observatoire:

- un nombre élevé de nuits claires
- des instruments performants, fiables et disponibles
- la possibilité d'études à long terme
- la possibilité de très haute résolution spectrale
- la possibilité d'essais d'instruments nouveaux
- une bonne adaptation aux activités pédagogiques
- un accès facile et un hébergement de qualité.

Nous nous efforcerons de faire en sorte que ces atouts demeurent (encore que nous n'ayons que peu d'emprise sur le premier !).

Nous pensons qu'à cette liste doit s'ajouter:

- la facilité d'observations de service dont nous avons parlé plus haut
- la possibilité de participer à des observations multisites, qu'apprécient notamment les spécialistes d'astérosismologie, rendue possible par la
- souplesse de la programmation et une probabilité raisonnable de beau temps
- la mise à disposition des données archivées (un effort particulier a porté sur celles d'ELODIE).

L'observation à l'OHP en l'an 2000 et après ...

Sur le plan technique, ces dernières années, les télescopes ont vu leur entraînement se moderniser et nous souhaitons aller vers plus d'automatisme des télescopes et des coupoles. Les instruments focaux n'ont cessé d'être améliorés. C'est le cas du spectrographe ELODIE, pour lequel les progrès de régulation thermique (la température du spectrographe est stable aujourd'hui à $+0\sim 01$ °C) ont fait gagner un facteur 3 à 4 en précision de mesure de vitesses radiales stellaires (par rapport à la précision initiale). C'est le cas du spectrographe CARELEC, équipé maintenant d'un CCD EEV 1K x 2K de remarquable qualité qui a permis un gain en domaine spectral utile, en résolution spectrale et en rapport signal/bruit.

C'est enfin le cas du spectrographe AURELIE au 152 qui depuis février 2000 offre aux utilisateurs un nouveau détecteur, un CCD EEV 1 K x 2K identique à celui de CARELEC, qui permet de reculer d'au moins 2 magnitudes les limites de cet instrument et de lui ouvrir ainsi un champ nouveau d'applications. Le renouvellement de l'instrumentation focale est un de nos soucis majeurs. Le Comité des Utilisateurs de l'OHP et les structures d'évaluation citées plus haut ont un rôle à jouer dans ce domaine. C'est le souci de l'ASPS qui a organisé le forum de réflexion sur l'instrumentation.

Un deuxième souci est celui du renouvellement du personnel. Depuis une dizaine d'années, le personnel ITA de l'OHP est en régulière diminution. Celle-ci a été particulièrement marquée (30 à 40%) pour les effectifs affectés aux coupoles. On aboutit à la situation paradoxale suivante: c'est au moment où l'on demande plus aux techniciens de nuit (observations de service) que leur nombre diminue d'un tiers !

En attendant, on se réjouira que le nombre de publications basées sur des observations faites à l'OHP ne cesse de croître (65 publications en 1998 dans des revues à comité de lecture, soit deux fois plus qu'il y a cinq ans) pour un coût consolidé qui diminue (en 1997 il était trois fois plus faible que celui du CFHT).

L'OHP n'est plus uniquement l'observatoire de mission qu'il fut naguère. Ses activités ne cessent de se diversifier et sa participation à de grands projets astronomiques internationaux ira en s'accroissant. Cette évolution très importante n'occultera pas cependant la volonté de répondre à la demande des observateurs en essayant de leur offrir une même qualité de services, pour un coût notablement réduit en fonctionnement et en personnel.

L'OHP dans l'OSU

Depuis le 1er Janvier 2000, la fédération de recherche IGRAP, à laquelle appartenait l'OHP, n'existe plus. A sa place a été créé un Observatoire des Sciences de l'Univers (nommé "Observatoire Astronomique Marseille-Provence" et issu de l'ancien OSU Observatoire de Marseille) qui regroupe, sous la tutelle de l'INSU/CNRS et de l'Université de Provence, les éléments suivants :

- une future Unité Mixte de Recherches (actuellement FRE 2243), intitulée "Laboratoire d'Astrophysique de Marseille", résultant de la fusion de l'Observatoire de Marseille et du Laboratoire d'Astronomie Spatiale de Marseille
- l'Unité de Service et de Recherche (USR 2207) "Observatoire de Haute-Provence". Le site de l'OHP héberge également l'équipe LISE (FRE 2215 -A. Labeyrie/Collège de France)
- une Unité Mixte de Service (UMS 2244)

La FRE/UMR "LAM" est placée sous la direction de Roger Malina. L'USR "OHP" est placée sous la direction de Jean-Pierre Sivan. L'UMS est placée actuellement sous la responsabilité de Paul Cruvellier. Michel Blanc a été élu Directeur de l'OSU par le Conseil d'Administration.

The NEON Observing School

The Network of European Observatories in the North organizes a yearly observational Euro Summer School sponsored by the European Community. The coordinator of the NEON School is Michel Dennefeld (Institute d'Astrophysique, Paris), aided by an international steering committee. Participating observatories are: Asiago, Calar Alto and Haute-Provence, with assistance from ESO.

The next school will be held at Calar Alto Observatory in Spain, from July 10-22, 2000

The 2001 NEON summer school will be held at Observatoire de Haute-Provence.

For application forms and more information about NEON schools, check the main web page at IAP (Paris):

<http://www.iap.fr/eas/schools.html>

The NEON school is an extension of and a welcome replacement for the now terminated ESO/OHP summer school series.

La Lettre de l'OHP est disponible sur le serveur Web de l'OHP

<http://www.obs-hp.fr/www/lettre-ohp/no-19/no-19.pdf>

Editeur : S.A.Ilovaisky

ilovaisky@obs-hp.fr

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
OBSERVATOIRE DE HAUTE- PROVENCE
 F-04870 SAINT MICHEL L'OBSERVATOIRE, France
 Tel. +33 (0)492 70 64 00 - Télécopie +33 (0)492 76 62 95

<http://www.obs-hp.fr>

