

Etude à haute résolution temporelle de l'étoile pulsante BW Vulpeculae

Les performances du nouveau détecteur CCD d'Aurélié

D. Garnier, N. Nardetto, P. Mathias

Observatoire de la Côte d'Azur, Nice
Département Fresnel - UMR 6528

D. Gillet

Observatoire de Haute-Provence

Les étoiles variables de fortes amplitudes sont très souvent le siège d'ondes de choc: W Virginis, RR Lyrae, RV Tauri. Ces ondes sont mises en évidence par la présence, entre autres, d'un phénomène de dédoublement des raies spectrales suivant le mécanisme de Schwarzschild (1952).

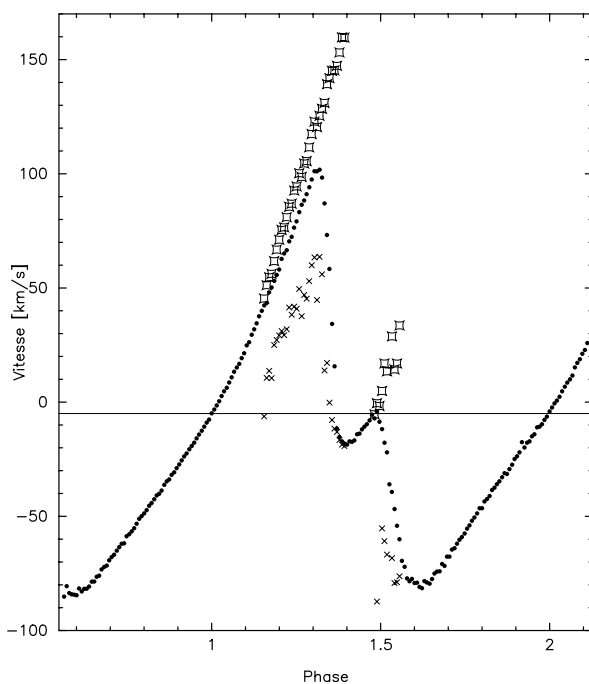


Figure 1 Vitesses radiales héliocentriques associées aux composantes rouges (carrés) et bleues (croix) du dédoublement, et à un ajustement gaussien global (ronds pleins) des profils. Ces vitesses sont représentées en fonction de la phase de pulsation, comptée à partir de l'instant de rayon maximum. Le trait horizontal correspond à la position de la vitesse héliocentrique de l'étoile.

Ce dernier met en jeu une onde de choc, provenant des couches profondes de l'étoile, qui va, au fur et à mesure de sa progression vers l'extérieur, inverser le mouvement balistique des couches rencontrées.

Les étoiles β Céphéides ont en général des mouvements de faible amplitude, qui ne permettent pas de mettre en évidence de telles ondes de choc. Cependant, les objets les plus évolués de cette classe, tel BW Vul, présentent eux aussi ce phénomène de dédoublement des raies, et ce deux fois par période de pulsation. L'origine de ces deux dédoublements est maintenant assez bien établie (Mathias et al. 1998):

- le choc correspondant au plus faible dédoublement (appelé par la suite "out-shock") se déroule durant la phase d'accélération photosphérique et est induit par un κ -mécanisme (basé sur l'opacité des raies du Fer, vers 250 000K, soit bien en dessous de la photosphère).
- le choc le plus fort (appelé par la suite "in-shock") se produit durant la contraction de l'étoile, et est dû à la collision entre les couches les plus externes et celles de la basse atmosphère. En particulier, la composante rouge du profil double devient linéairement de plus en plus rouge, signe d'une accélération gravitationnelle constante.

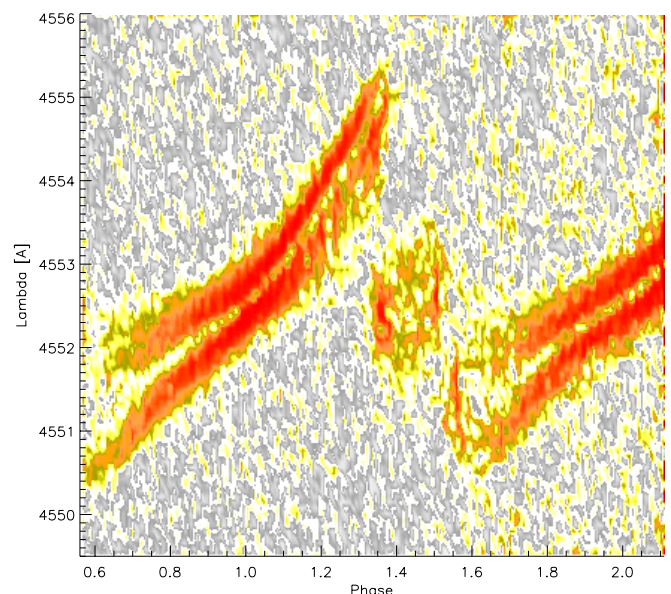


Figure 2 Evolution temporelle de la région spectrale correspondant à la raie du Si III (455.3 nm). On reconnaît l'allure de la figure 1. On note la grande extension du "stillstand" (phase ~ 1.4).

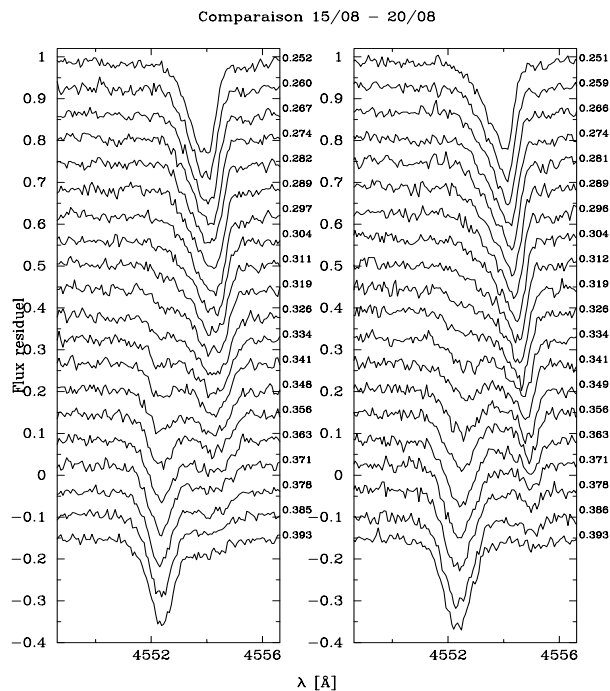


Figure 3 Comparaison des profils concernant la 1^{ère} discontinuité aux mêmes phases de pulsation (indiquées sur la droite de la figure) pour deux nuits différentes. A gauche la nuit du 15 Août 2000, à droite la nuit du 20 Août 2000. Les spectres sont dans le repère héliocentrique.

L'étoile pulsante de type β Céphéide, BW Vul, possède ainsi 2 ondes de choc par période de pulsation. Entre ces 2 chocs se trouve un palier, dénommé "stillstand," souvent interprété comme état de repos de l'atmosphère.

Rôle capital du détecteur CCD EEV

Nous avons observé cet objet pendant 7 nuits consécutives au télescope de 1m52 OHP avec le spectrographe *Aurélie* afin de déterminer la variation générale de la forme du "stillstand" et celle de l'intensité des chocs. Il s'agit des nuits du 14 au 20 Août 2000 durant lesquelles nous avons utilisé le détecteur en mode de fonctionnement "binning," avec le réseau numéro 7 (1800 tr/mm) ayant un pouvoir de résolution de 38000, et couvrant un domaine d'environ 12 nm comprenant le triplet du Si III. De plus, afin d'obtenir une bonne résolution des discontinuités (représentant chacune environ 10 % de la période de pulsation de l'étoile $P = 4\text{h } 49\text{min}$), il était indispensable d'avoir une excellente résolution temporelle ce qui a été possible grâce au nouveau détecteur d'*Aurélie*: les temps de pose effectués étaient de l'ordre de deux minutes (ce qui correspond à 200 fichiers par nuit!) pour un rapport signal sur bruit de 100 à 150.

Les précédentes observations avec *Elodie* (Mathias et al. 1998, A&A **339**, 525) nécessitaient un échantillonnage de l'ordre de 10 minutes pour un signal sur bruit équivalent, ce qui ne correspondait pas à plus de 2 ou 3 points sur la première discontinuité. *Grâce au nouveau CCD mis en place sur Aurélie, on améliore donc par 5 la précédente résolution temporelle!*

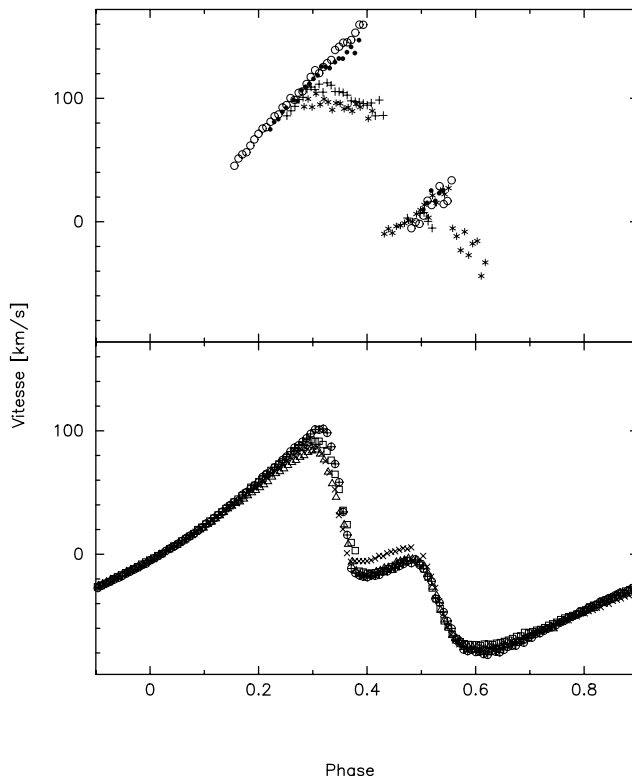


Figure 4 Superposition de courbes de vitesses radiales pour différentes nuits caractérisées chacune par un symbole différent. En haut: vitesse associée à la composante rouge. En bas: vitesse associée à l'ajustement gaussien global des profils. Les symboles en croix correspondent à la nuit du 14 Août 2000.

Incidence des ondes de choc sur la dynamique atmosphérique de l'étoile pulsante BW Vulpeculae

Les observations effectuées avec le nouveau CCD ont permis de mettre en évidence 2 faits majeurs:

- D'une part, le "stillstand" ne peut être considéré rigoureusement comme une phase de repos, mais une phase durant laquelle l'atmosphère relaxe. En effet, il existe un rebond de l'atmosphère sur la photosphère, et ceci sans amortissement autour d'une position d'équilibre comme on aurait pu l'évoquer à partir d'observations à plus faible résolution temporelle.
- D'autre part, on note que l'allure du dédoublement des raies change d'une nuit à l'autre (Fig.3). En particulier, la pente de la droite associée à la composante rouge du "in-shock" varie, signe que la gravité effective à une phase donnée n'est pas constante (Fig 4). Toujours sur cette figure on note le fait remarquable suivant: le stillstand, pour la nuit du 14 Août 2000, est situé environ 10km/s au-dessus de celui correspondant aux autres nuits. Toutes ces irrégularités dans la dynamique atmosphérique de l'étoile impliquent que les paramètres physiques de l'atmosphère changent de cycle à cycle. Dès lors, les conditions physiques pour la propagation du "out-shock" changent aussi, et la boucle est bouclée. Un tel comportement, typique des mouvements non-linéaires, a déjà été observé dans plusieurs étoiles pulsantes à atmosphère étendue, telles les RV Tauri (Gillet 1994) ou les post-AGB (Jeannin

et al. 1997). C'est ce que l'on note autour de la phase 1.4 sur les Figures 1 et 2.

Grâce aux résultats obtenus il est donc possible de connaître l'amplitude des irrégularités de la dynamique atmosphérique induite par les ondes de choc. Ces informations sont fondamentales pour l'établissement des futurs modèles.

Références

- Jeannin L., Fokin A.B., Gillet D., Baraffe I., 1997, A&A 326, 203
 Gillet D., 1992, A&A 259, 215
 Mathias P., Gillet D., Fokin A.B., Cambon T., 1998, A&A 339, 525
 Schwarzschild M., 1952, Transactions of the IAU VIII, Oosterhoff P. Th., (ed.), Cambridge Univ. Press, Cambridge, p.811

Le projet SOPHIE

Un nouveau Spectrographe pour l'Observation des PHénomènes sismologiques et Exoplanétaires à l'OHP

D. Gillet, S. Ilovaisky, D. Kohler, J. Schmitt et J.-P. Sivan

Observatoire de Haute-Provence

D'Elodie à SOPHIE

Le spectrographe *Elodie*, au foyer du télescope de 1m93 de l'OHP, connaît depuis sa mise en service en 1994 un succès qui ne faiblit pas. Il s'avère être un des rares instruments au monde capable de détecter la présence de planètes autour des étoiles, mais il est aussi un instrument dont les performances exceptionnelles permettent des études d'astérosismologie et une large gamme d'études originales d'astrophysique stellaire.

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'*Elodie* pour reculer les limites de ce spectrographe et l'action récente de prospective instrumentale menée par le PNPS 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 1m93 l'après-*Elodie*. De là est né le projet SOPHIE. Ce spectrographe peut être considéré comme un "super-*Elodie*," de même qu'*Elodie* avait été initialement baptisé "super-CORAVEL" en référence au spectromètre CORAVEL dont il reprenait le principe.

Les objectifs scientifiques

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

- les planètes extrasolaires
- l'astérosismologie
- l'astrophysique stellaire

a) Les planètes extrasolaires

En 1995, M. Mayor et D. Queloz découvrent la première planète extrasolaire (51 Peg) avec *Elodie*. Six ans après cette fabuleuse découverte, plus de 75 exoplanètes 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 1m93 de l'OHP, à raison de 7 nuits par mois, dans le cadre d'une collaboration franco-suisse.

C'est à ce jour 12 planètes qui ont été découvertes avec *Elodie*. Ce programme a son pendant dans l'hémisphère Sud avec *Coralie* (copie d'*Elodie*) au foyer du télescope genevois de 1m20 de La Silla. Bientôt, au 3.6 m de l'ESO, HARPS permettra de donner à ce programme des performances accrues. A la suite d'*Elodie*, SOPHIE sera dans l'hémisphère Nord le seul instrument français dédié aux exoplanètes.

b) 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 indispensable pour sonder l'intérieur des étoiles. Elle apporte ainsi des contraintes à la structure interne. Cette méthode, "l'héliosismologie," est utilisée sur le Soleil et apporte des contraintes à la structure interne (rotation interne, taille de la zone convective...). La sismologie stellaire est actuellement en plein essor. Des détections des oscillations stellaires ont été effectuées par mesure de vitesse radiale avec *Elodie* et plusieurs satellites dont COROT sont en préparation. COROT sera vraisemblablement opérationnel fin 2004. La possibilité pour les français de disposer d'un spectrographe d'accès facile, de haute stabilité et de haute précision, permettant l'étude de profil de raies stellaires avec un pouvoir de résolution de l'ordre de 70000, permettra de compléter judicieusement les futures expériences spatiales.

c) L'astrophysique stellaire

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 grandes finesses et des modèles permettant une comparaison de l'ordre du "1%." Ainsi dans 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 sera déterminante pour la compréhension des phénomènes physiques survenant dans l'ensemble de ces objets.

Les apports de SOPHIE

Une des principales faiblesses du spectrographe *Elodie* est sa très faible efficacité: inférieure au 1 %. Avec une transmission totale qui devrait se situer entre 10 et 15 %, 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 3 magnitudes la magnitude limite d'*Elodie*! 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 *Elodie* sur la précision en mesure de vitesse radiale (On atteint actuellement 8 m/s avec *Elodie* sur le long terme).

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
- de poursuivre la recherche des planètes de "longue période" commencée en 1994 à l'OHP (Il y a à ce jour une dizaine de candidats sur le point d'être confirmés avec *Elodie*) de détecter des planètes de masses plus faibles (Saturne)
- de détecter des systèmes multiples dans les systèmes à une planète connus
- d'effectuer un suivi rigoureux de la stabilité des orbites des Jupiters chauds
- d'observer les transits planétaires spectroscopiquement (comme *Elodie* l'a pu faire le 25 novembre 1999 dans le cas de HD 209458) afin de comparer le sens de la rotation de l'étoile avec celui de la révolution de la planète et de déterminer la masse et la densité
- d'apporter un soutien au programme HARPS pour les étoiles communes aux deux hémisphères.

L'astérosismologie stellaire, qui a pour vocation l'étude de la structure interne des étoiles, a permis avec *Elodie* de détecter les modes acoustiques p sur Procyon (Martic et al. 1999). Avec *Coralie* (copie d'*Elodie*) utilisé par l'Observatoire de Genève, il a été également possible d'effectuer une détection des modes acoustiques p sur Alpha Cen (Bouchy et al. 2001). Malheureusement, avec une magnitude limite relativement faible, d'autres observations de ce type avec *Elodie* sont restreintes à seulement 4 ou 5 objets. Par contre, SOPHIE devrait permettre d'entreprendre une étude sur un échantillon significatif d'étoiles brillantes (jusqu'à la magnitude 6): au moins une cinquantaine d'étoiles accessibles. Le fonctionnement en multi-site est un atout important pour réduire les effets néfastes des fenêtres d'observation. SOPHIE sera donc un allié particulièrement important du spectrographe HARPS à la Silla pour effectuer des observations multi-sites ($-10^\circ < \delta < 20^\circ$). Une

collaboration internationale pourra être effectuée avec d'autres spectrographes optimisés pour la mesure de vitesse radiale afin de créer un futur réseau comparable au réseau WET (Whole Earth Telescope). SOPHIE permettra aussi d'être tout à fait complémentaire à COROT puisque ses étoiles cibles seront plus faibles que la magnitude 4.5 et devront se situer dans deux champs ayant la forme de disque de rayon limité à 10° . Ainsi SOPHIE pourra être un complément essentiel pour répondre en partie aux divers besoins et missions de l'astérosismologie.

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'*Elodie* sur un télescope aussi "accessible" que le 1m93. 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'a bien démontré le dernier colloque international de l'IAU en Belgique (Juillet 2001) où plus de 200 spécialistes de la dynamique des atmosphères stellaires étaient présents, les études basées sur la spectroscopie à haute résolution spectrale ($R > 40000$) et disposant d'un nombre de nuits important étalées sur quelques semaines ou sur quelques mois, seront déterminantes pour comprendre les mécanismes de pertes de masses des étoiles. 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 nombreuses objets variables comme les sources X par exemple. Ainsi, SOPHIE avec un gain en magnitude limite d'environ 3 par rapport à *Elodie*, permettra de mettre en place un très grand nombre de nouveaux programmes stellaires qui étaient impossible avec *Elodie* ou sur d'autres instruments de grande efficacité comme FEROS au Chili à cause de leur facteur de pression énorme.

Les caractéristiques de SOPHIE

Le principe optique de SOPHIE est un système Schmidt en double passage avec disperser croisé à prismes et foyers collimateur et chambre sortis (voir la figure). Des fibres optiques alimentent directement le foyer du collimateur. Le collimateur et la chambre sont réalisés avec un même miroir sphérique de focale 750 mm. Leurs axes font un angle de 8° afin d'obtenir une distance suffisante entre la fibre d'entrée et le CCD et éviter l'éclairage direct du CCD par le collimateur. La dispersion croisée est assurée par un prisme en flint léger en double passage. Le réseau échelle est un R2 ($52.65 \text{ t/mm} - \text{blaze } 63^\circ$) attaqué sans anamorphose. Les pertes par obturation peuvent être jugées tolérables surtout avec l'utilisation d'un scrambler où l'éclairement de la pupille ($\varnothing 200 \text{ mm}$) devient uniforme. Le CCD est un 2K x 4K de $15 \mu\text{m}$ de pixel. Le domaine spectral est compris entre 387-696 nm pour un nombre total de 39 ordres. L'espace "noir" interordre étoile-calibration est de 10 pixels afin d'éviter les risques de pollution entre calibration et spectre stellaire. La transmission du spectrographe seul (le télescope, le CCD et le train de fibres optiques ne sont pas pris en compte) est de 0.34 à 390 nm, 0.38 à 400 nm, 0.41 à 500 nm et 0.42 à 690 nm.

Il existe deux modes de résolution :

- Mode haute résolution (R=72000)

Le trou d'entrée sur le ciel est de 3" d'arc et un scrambler avec une fibre diaphragmée à l'entrée du spectromètre par une fente de largeur 50 μ (rendement 0.61) est nécessaire pour obtenir un pouvoir de résolution réel de 72000. L'échantillonnage sur le CCD est de 3.3 pixels.

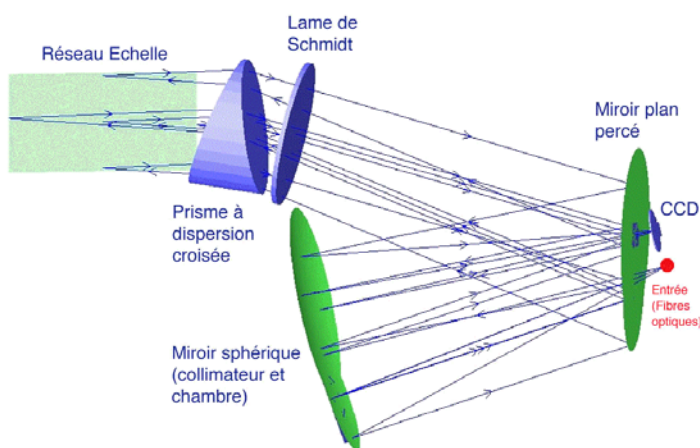
- Mode haut rendement lumineux (R=37500)

Le trou d'entrée sur le ciel est également de 3" d'arc mais l'utilisation d'un scrambler n'est pas nécessaire. La fibre est par contre non diaphragmée à l'entrée du spectro et un "binning" est effectué sur le CCD dans le sens de la dispersion principale. L'échantillonnage sur le CCD est aussi de 3.3 pixels. Le pouvoir de résolution réel attendu est de 37500.

	<i>Elodie</i>	SOPHIE
Fente sur le ciel	2"	3"
Pouvoir de résolution	37000	37500 et 72000
Domaine spectral (nm)	385 - 680	387 - 696 (550 - 1000 option)
Transmission totale	< 1%	10 à 15 %
Précision	8 m/s	< 4 m/s
Espace interordre: *-Th	1 à 2 pix	10 pix
Exoplanètes: étoiles observables	350	~3000
Sismologie: étoiles observables	5	50

Enfin, nous proposons d'enfermer SOPHIE dans une cuve contenant de l'hélium gazeux en équilibre de pression avec l'extérieur. L'ensemble cuve et spectrographe seront thermostatés de manière à obtenir des fluctuations de température $\leq 0.05^\circ\text{C}$ au niveau des éléments sensibles de l'instrument ce qui devrait nous permettre d'atteindre une précision en vitesse radiale inférieure à 4 m/s.

Afin de couvrir le domaine [550 - 1000 nm] une configuration "rouge" est concevable par échange des deux dispersers : Echelle + prisme (31.6 traits/mm et prisme en flint lourd d'angle de 30°). La résolution serait identique à celle de la configuration visible et l'interspectre sera également confortable.



Spectromètre SOPHIE - Schéma de principe

Les ailes des PSF et le "red halo" des CCD amincis

R. Michard

Observatoire de Paris, DEMIRM

Résumé

Pour les besoins d'une étude des distributions de couleurs UVRI dans les galaxies elliptiques, nous avons été amenés à mesurer les ailes externes des fonctions d'appareil (PSF's) du 1m20 OHP, équipé de la camera CCD TK1024. Les PSF's ont été obtenues en UVRI, au cours de 3 missions en 2000-1, jusqu'à un rayon de 3' et une brillance de 0.5×10^{-6} du pic central. Le "red halo" dans le proche IR, susceptible d'affecter les CCD amincis, est un "gros phénomène," capable de perturber gravement les mesures des indices V-I de tout objet étendu comportant un pic brillant. Les ailes lointaines des PSF's dans d'autres bandes passantes ne devraient pas être traitées par le mépris, même si leurs effets sont beaucoup moindres. Un fort renforcement des ailes a été constaté entre avril 2000 et janvier 2001, un effet croissant aux courtes longueurs d'ondes et attribuable au vieillissement de l'aluminium et à l'accumulation des poussières.

Remarque: Ce document reprend en partie les données d'un article soumis à Astronomy and Astrophysics.

Introduction

En 1998-9, analysant des images de galaxies obtenues au 1m20 par P. Prugniel avec les TK512 et TK1024, je remarquais que les ailes des étoiles surexposées semblaient beaucoup plus étendues en I qu'en V ou B! J'appris bientôt de Sergio Ilovaisky qu'il s'agissait du "red halo," une propriété connue des CCD amincis: il semble que la lumière du proche IR traverse en partie la couche de silicium, d'où réflexions multiples et diffusion dans le substrat, ce qui renforce grandement le halo circumstellaire... et diminue le rendement du récepteur. Heureusement, on a pu réduire fortement le phénomène dans les CCD spécialement réalisés pour l'espace (cf. par exemple Sirianni et al., 1998).

Pour l'année 2000, un programme de mesures des distributions de couleurs des galaxies elliptiques fut proposé pour le 1m20 par T. Idiart, J. de Freitas Pacheco, P. Prugniel et moi. Les "surveys" précédentes datant d'une dizaine d'années, nous espérions faire mieux grâce au grand champ de la caméra du 1m20, des performances en U des CCD amincis, et, "last but not least" de la publication de vastes séries de mesures photométriques nécessaires aux calibrations (Poulain, 1988; Nieto & Poulain, 1994). Pour couper court au "suspense," disons qu'effectivement nous avons fait mieux, servis par les atouts ci-dessus rappelés, et malgré le "red halo" ou autres problèmes liés aux ailes des PSF's.

Le halo autour des objets astronomiques dû à la lumière "diffusée" par l'atmosphère et les miroirs des télescopes est un sujet peu étudié dans la littérature astronomique actuelle, et la plus récente référence connue de moi date de 1983 (cf. ci-dessous). Pour l'anecdote, je note que cette lumière parasite était autrefois un sujet de souci pour les

"solaires." Dans ma Thèse consacrée en partie à la photométrie des taches, j'avais déjà mesuré la lumière "diffusée" au voisinage du bord du soleil, en fonction de λ et du vieillissement des miroirs (Michard, 1953).

Mesures des PSF's

Généralités

Pour mesurer les ailes des PSF's nous avons sélectionné des champs favorables, contenant une étoile brillante largement saturée, une ou plusieurs étoiles non saturées (mais isolées), et une ou deux étoiles d'éclats intermédiaires. Chacune fournit une portion de la PSF cherchée; elles sont fusionnées grâce à la linéarité du CCD et la fonction résultante normée.

La Figure 1 donne les profils des PSF's en V mesurées pour 5 nuits de janvier 2001. On notera une zone, pour $r < 10$ à $15''$, où les profils diffèrent en fonction du "seeing," puis une zone où les profils sont pratiquement confondus (environ $10'' < r < 100''$); au delà de $r = 100''$, les profils sont plus erratiques, les erreurs devenant de plus en plus importantes. En moyenne nos mesures s'étendent jusqu'à un rayon de $r = 3'$ et un niveau de brillance de 0.5×10^{-6} du pic central. Des profils similaires, s'étendant même jusqu'à des rayons beaucoup plus grands, ont déjà été publiés par King, 1971, et par de Vaucouleurs et Cappacioli, 1983. Les techniques étaient astucieuses: le premier mesurait les halos au micromètre sur les copies de l'Atlas de Palomar et

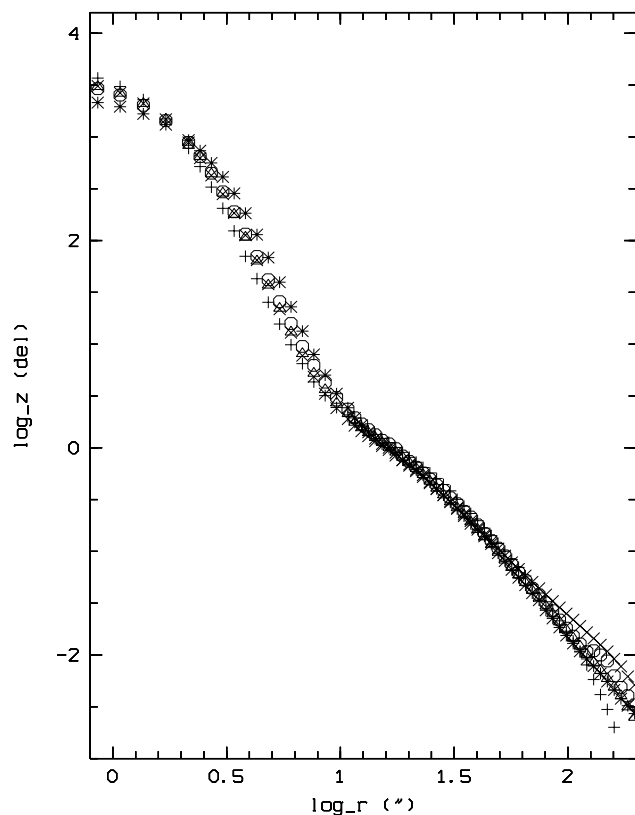


Figure 1 Série de 5 PSF en V mesurée au cours de la mission de janvier 2001. On notera la zone interne $r < 10''$ où les PSF diffèrent par suite du seeing, la zone moyenne $10 < r < 100''$ où elles se superposent. Dans la plus externe, les différences deviennent importantes: elles sont dues aux erreurs sur le fond de ciel.

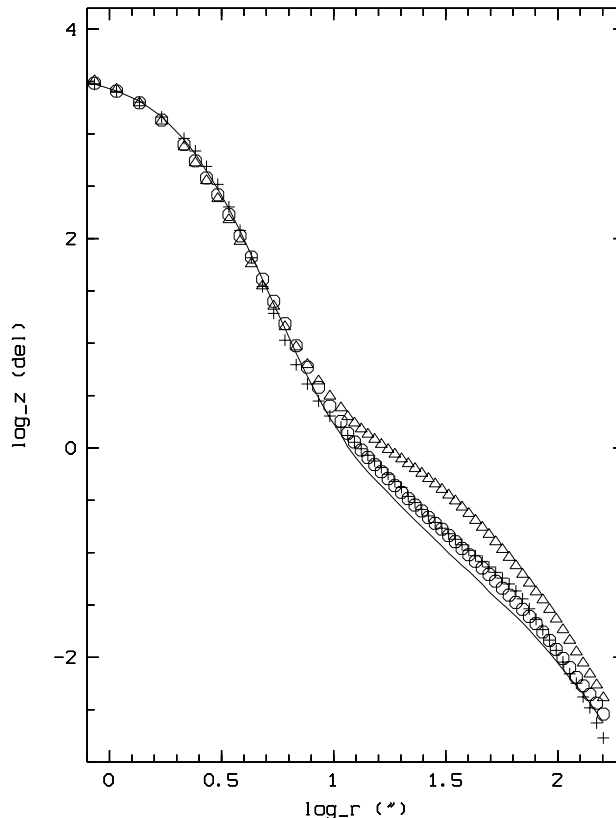


Figure 2 Variations des PSF avec la couleur selon mesures d'avril 2001. U: croix; V: trait continu; R: hexagones; I: triangles. Par suite du "red halo," les ailes en I sont beaucoup plus brillantes que les ailes en V. Les ailes en U et R sont aussi un peu au dessus des ailes en V ce qui pourrait être une propriété du miroir primaire

calibrat ses résultats par la photométrie de galaxies. Les seconds ont exploré le halo d'étoiles très brillantes à l'aide d'un photomètre photoélectrique. Les résultats du 3ème millénaire ici résumés sont en accord (médiocre) avec ceux de ces grands devanciers. On a toutefois progressé en 20 ans, car nous mesurons les PSF's en 5 couleurs UVBRI, et nous avons aussi étudié leurs variations dans le temps.

Variations des PSF's

Variations avec la bande passante

La Figure 2 donne les PSF's moyennes mesurées en 4 couleurs UVRI lors de notre mission d'avril 2000. Les différences entre les profils B et V ne sont généralement pas significatives. *Les ailes des PSF en I sont bien plus brillantes, 3 fois plus environ, à partir de $r = 15''$: c'est le phénomène du "red halo."* Aux plus grands rayons atteints, le profil I se rapproche cependant des autres. Le profil R est constamment un peu au dessus du profil V. Quand au profil U il est très significativement au-dessus dans une zone limitée, puis rejoint le profil V aux plus grands rayons atteints.

Variations avec l'âge de l'alumine

La Figure 3 présente les variations du profil moyen en V mesuré lors de nos 3 missions: avril et juin 2000, puis janvier 2001. Les deux premiers sont très voisins, mais pour la dernière mission les ailes sont très renforcées. Il en

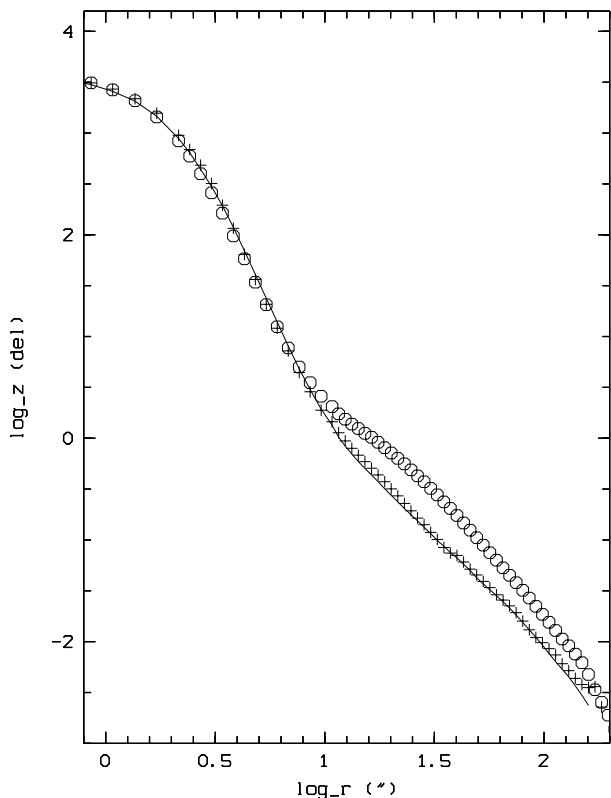


Figure 3 Variations des PSF en V avec le vieillissement de l'aluminium. Trait continu: âge 5 mois. Croix: âge 7 mois. Hexagones: âge 15 mois. Le renforcement des ailes de la PSF est aussi grand en U et B, mais il est sensiblement plus faible en R et plus encore en I.

est de même pour les autres couleurs, mais cela à des degrés divers! Les ailes en I sont peu augmentées, de sorte que le "red halo," défini comme l'excès des ailes I sur les ailes V, a diminué en 8 mois. De même les profils en R coïncident maintenant avec les profils en V. Enfin le renforcement des ailes en B et U est voisin de ce qu'il est en V (aux erreurs de mesure près) ou peut être un peu supérieur..

Les miroirs du 1m20 ont été réaluminés fin octobre 1999. Le traitement avait donc 5 mois lors de notre première mission, et 10 de plus pour la troisième. Il est probable que l'atmosphère et l'optique contribuent toutes deux à la formation du halo entourant les sources célestes, *mais il semble probable que ce sont les miroirs du télescope qui sont responsables de la variation observée au 1m20 en moins d'un an.* C'est une chose curieuse que ce renforcement des ailes des PSF's s'accompagne d'un *bleuissement*, les ailes des profils I et R étant nettement moins renforcées, et celles des profils B et U un peu plus, que celles du profil V.

Hasan & Burrows (1995) décrivent le calcul de modèles pour les PSF du Hubble Space Telescope, incluant tous effets instrumentaux, notamment les défauts de poli du miroir et la poussière déposée à sa surface. Ces deux effets produisent des ailes renforcées aux courtes λ , proportionnelles à λ^{-2} pour la poussière (dont la distribution des dimensions a serait en $a^{-4.5}$). On peut admettre que le miroir du HST "vieillit" moins vite que celui du 1m20! Sur notre respectable instrument, la poussière s'accumule semaine après semaine, notamment

en été je suppose. De même l'état de surface de l'aluminium se dégrade sous l'effet des agents atmosphériques. La théorie du HST fournit donc quelques éléments d'explication des résultats obtenus à l'OHP.

Effets des ailes des PSF's et corrections

Je me bornerai ici à énumérer les effets calculés et observés sur les distributions de couleur des galaxies. Je renvoie le lecteur intéressé aux articles de A&A par Michard (2001) et Idiart et al. (2001).

- On sait que le gradient radial de couleur dans les elliptiques est négatif, la population stellaire bleuisant vers l'extérieur, probablement un effet de métallicité puisque il en est de même des intensités des raies. Par suite du "red halo," les gradients de l'indice V-I mesurés avec la TK1024 deviennent *fortement positifs*. Il a fallu mettre en œuvre une méthode de correction pour retrouver des résultats acceptables.
- Une technique rigoureuse pour corriger la distribution de l'indice V-I des effets du "red halo" consiste à convoluer l'image V par la PSF en I et inversement: les deux images ainsi (mal)traitées fourniront une distribution de couleur correcte, mais au prix d'une regrettable perte de résolution.

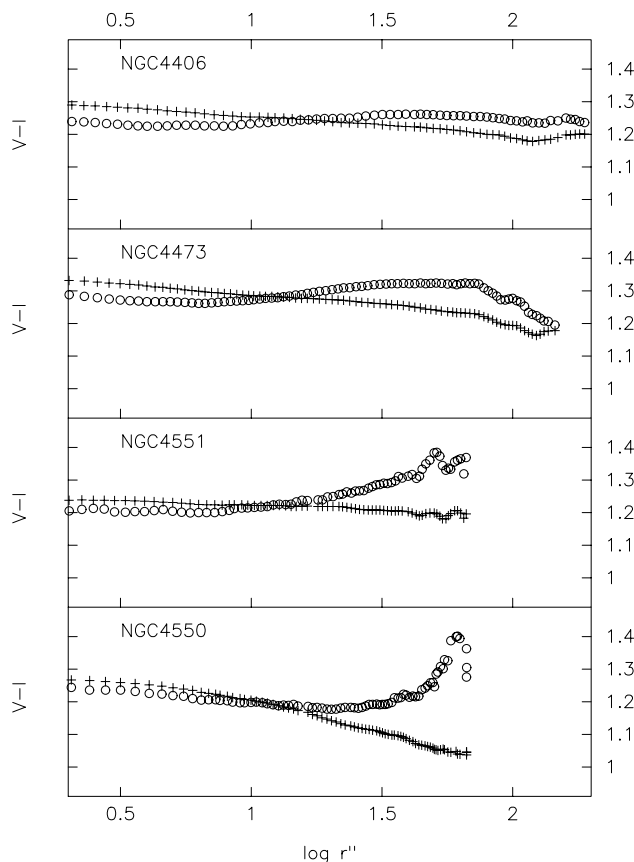


Figure 4 Variations radiales de l'indice V-I de 4 elliptiques. Hexagones: Mesures sur les images brutes affectées par le "red halo." Croix: Mesures sur les images "corrigées" par convolutions croisées. Le gradient bien connu, avec bleuissement vers l'extérieur, est rétabli. La discussion dans Idiart et al. (2001) montre que les corrections sont assez précises pour que les résultats soient valides.

La Figure 4 donne des exemples des variations radiales de V-I avant et après correction par les PSF mesurées en avril 2000. On ne peut qu'être effrayé de l'énormité des corrections, notamment pour des galaxies aplaties comme NGC4473 (E6) ou 4550 (E7/SA0). Cependant l'analyse des résultats de Idiart et al. (2001), notamment les comparaisons avec les données obtenues avec des CCD classiques, montre le plein succès de cette technique.

- Les gradients d'autres indices peuvent être un peu affectés par les différences des ailes des PSF en différentes couleurs. Un effet en V-R a été détecté et a dû être corrigé par la méthode ci-dessus. L'effet en B-V a été jugé négligeable. L'effet en U-B (ou U-V) pourrait être significatif; nous avons cependant renoncé à appliquer des corrections trop incertaines, et d'ailleurs sans implications astrophysiques notables.

- Le "red halo" peut conduire à des erreurs importantes dans les mesures de l'indice V-I pour des galaxies de géométrie plus compliquée que la majorité des E's. Par exemple, il affecte plus les couleurs sur le petit axe que sur le grand axe d'une galaxie aplatie. Pour une galaxie contenant un disque mince vu par la tranche, par exemple NGC3115, le disque est fortement bleui par rapport au "bulge." Ce peut être l'inverse en U-V, i.e. un disque rougi, si la PSF U est plus brillante que la V, comme nous l'avons trouvé. J'ai renoncé à regret à (re)mesurer les couleurs du disque de NGC3115 avec le 1m20.

Conclusion

Le "red halo" des CCD amincis, et entre autres le TK1024 du 1m20 et de bien d'autres télescopes, est un phénomène important, dont il vaut mieux être averti, afin d'analyser les erreurs qu'il peut entraîner dans le programme à entreprendre: bien sûr il affectera surtout la mesure des indices V-I. La possibilité d'erreurs liées aux différences entre les ailes des PSF pour d'autres λ , doit aussi être évaluée si l'on veut mesurer les couleurs d'objets étendus ou de systèmes complexes.

Références

- Capaccioli M., de Vaucouleurs G., 1983, ApJS **52**, 465 (CdV83)
 Hasan, H., Burrows, C.J., 1995, PASP **107**, 289
 Idiart, T., Michard, R., de Freitas Pacheco, J., A&A, in press
 King., I.R., 1979, PASP **83**, 199
 Michard, R. 2001, A&A, submitted
 Sirianni, M., Clampin, M., Hartig, G.F., 1998, Proc. SPIE **335**, 608 in Optical Astronomical Instrumentation, d'Odorico, S. Ed.

The 2nd NEON school at Haute-Provence Observatory

M. Dennefeld

Institut d'Astrophysique, Paris

The second NEON observing school took place at Haute-Provence Observatory from July 9 to 21, 2001. Sixteen students from 11 different nationalities used the 4 largest telescopes of the observatory during 5 nights to conduct scientific programs under the guidance of experienced tutors. The 1m93 and 1m52 telescopes were used for spectroscopy, in low- and high-dispersion spectroscopy respectively, while the 1m20 and 0m80 were used for CCD imaging. The later telescope, pointed manually, with copper engraved circles for declination and hour angle (not right ascension...) readings, was used also for visual observations of nice objects: Mars at the beginning of the night, the Ring Nebula in Lyra, globular clusters, Comet Linear, M31, Venus, etc... This was for many the first (and probably the last...) opportunity to use such a large telescope for visual observations. The reaction is not the same, when you see your telescope dangerously approaching the horizontal platform, or when you simply get a computer message saying "software pointing limit"...



2nd NEON Euro Observing Summer School, OHP 9-21 July 2001

The observations were preceded by several introductory lectures giving the necessary basis. Cesare Barbieri (Padova) presented the various optical combinations used in telescopes, with active and adaptive optics, and gave an opening on future giant (100m ?) telescopes. Michel Dennefeld (Paris), after recalling the basic properties of CCD detectors, focused on the various steps necessary to perform low-dispersion spectroscopy. Sergio Ilovaisky (Haute-Provence) described the delicate photometric observations and their limitations. And Denis Gillet (Haute-Provence) tried to convince us that the only valid technique to get physical parameters of astronomical objects was to use high-dispersion spectroscopy...if the objects were bright enough (fortunately the VLT opens new perspectives in this respect!). Later, Richard Hook (ESO-ST/ECF) described the steps and algorithms used for image analysis, while Emmanuel Bertin (Paris) focused on the reduction of wide-field images, with the requirements in computing power and storage space, producing at the end catalogues of billions of objects with his favoured extraction algorithm, *SExtractor*. The



simultaneous presence of teachers, tutors and students for a large fraction of the school, together with nice weather, provided ample opportunities for relaxed, but fruitful discussions.

But the main aspect of the school was of course the *observations*. Preparation of the program, the observations themselves, data reduction and analysis were performed in small groups of 3 students, each under the dedicated supervision of an experienced observer. Philippe Mathias (Nice) proposed to his group to follow spectroscopically the variations of a β Cephei star, BW Vulpeculae, during a full cycle of 5 hours (see page 1). Line doubling was observed, a variation of the stellar radius derived and all this interpreted in the frame of a shock wave propagating from the deeper layers into the upper atmosphere of the star.

Santos Pedraz (Calar Alto) derived with his group the dynamical structure of 3 dwarf elliptical galaxies, M32, N185 and N6020, and determined their stellar populations by comparison with models. A comparison with a giant elliptical, N6411, was also proposed. Thomas Rivinius (ESO) and his group observed three different Be stars at high spectral resolution (38000): π Aquarii (highly variable), 31 Pegasi (pulsating) and 66 Ophiuchi (composite), and demonstrated in the latter case, by identifying two new spectral components, that this was in fact a triple system! They also showed, after imaging with interference filters, that the galactic cluster N7419 contained in fact a very large fraction of emission line (Be?) stars. Alessandro Pizzella (Padova) measured with his group the rotation curve of 3 galaxies: IC1210 (Sab), N7177 (SBb) and N6764 (SBbc), deriving their mass profile. For the same objects, CCD photometry gave their light profile, hence the derivation of the M/L ratio. It was demonstrated, for N7177, by adjustment of a bulge and a disk component, that this galaxy had indeed a bar.

And finally, Anna Pasquali (ESO-ST/ECF) and her group, the only four-leaved clove, studied the bipolar Planetary Nebula He2-437, dubbed the "moustache," and derived its excitation and abundance profile. But the occurrence of targets of opportunities, and the enthusiasm of that group which happened to be at the telescope at that time led it to do additional work (but I know other groups would have been keen to do the same...): asteroid 5587 (1990SB) was



followed photometrically during more than a rotation period, to derive a light curve, and SN 2001da, discovered by the Berkeley group just two days before, was identified as a type Ia Supernova caught just before the maximum (IAUC 7664). And then started the long (painful? It does not look like that...) work of data reductions....

All this ended by an *oral presentation* of the results, the last day of the school. For many participants, this was a "premiere"... and presenting data in a precise, yet concise form is also something one has to learn, specially if one has to use a strange language, which is not your mother tongue...you may even seem lost sometimes! but all were successful! For B. Aracil (Paris), A. Bik (Amsterdam), A. Castillo (Liverpool), J.M. Desert (Paris), D. Faria (Lund), Y. Goranova (Sofia), F. McGroarty (Dublin), M. Maintz (Heidelberg), S. Marchi (Padova), Th. Nakos (Brussels), J. Nirski (Torun), M. Paolillo (Palermo), S. Potanin (Moscow), D. Rizzo (Milano), M. Stuhlinger (Tuebingen) and M. Vanko (Proprad) the school was an interesting and rich experience of joint work in a european atmosphere. Many collaborations have started here, and some of the results will be published in the near future.



But, true, the school was not only about observations! *High-technology* was also on the program. Antoine Labeyrie gave an enlightening presentation on hypertelescopes, densified pupils, large interferometers on the moon.... followed by a detailed look at the only

existing "futuristic" telescope, a 1.5-m with a mirror in ordinary glass, housed at OHP in a spherical mount which was seen up to now only in science fiction novels!

And next door, a visit to the assembly hall where VIMOS in its final testing showed the complexity of modern VLT instrumentation. The geophysical station, located in the same observatory, with its many lasers sounding the atmosphere, showed us that basic science is some times not far from real life considerations: ozone measurements are done routinely without even disturbing the astronomical observations. And last but not least, daily approach of *french cuisine*, the flavour of thym and lavender, the taste of pastis... convinced everybody that hard work is not incompatible with enjoying life. This was a real summer school!

Remarque : Ce texte est extrait du site web de la European Astronomical Society, hébergé par l'IAP.

3^{ème} Ecole Interdisciplinaire à l'OHP

Comprendre l'Hydrodynamique et la Pulsation Stellaire

J.-M. Le Contel

Observatoire de la Côte d'Azur, Nice
Département Fresnel - UMR 6528

La troisième Ecole Interdisciplinaire de l'OHP s'est tenue du 15 au 18 octobre 2001 sur le thème: *Comprendre l'Hydrodynamique et la Pulsation Stellaire*. Elle a réuni près d'une trentaine de participants venant de divers laboratoires français (Nice, Paris, Montpellier, Marseille, Lyon, Grenoble, Toulouse, Strasbourg) et étrangers (Espagne, Pologne, Russie, Belgique, Suisse).

Je voudrais rappeler qu'il s'agissait d'une école et non d'un colloque. Cela veut dire qu'il appartient à chacun d'entre nous de s'interroger sur les réponses que l'école a pu apporter à ses préoccupations. Je livrerai donc ici mes impressions personnelles.



Une photo de groupe d'une partie des participants devant les marches conduisant à la coupole du 1m93 de l'OHP

Je soulignerai tout d'abord la qualité de l'animation des séances par le responsable scientifique (D. Gillet), s'appuyant sur un programme très cohérent. Cet exercice était d'autant plus difficile que des contraintes professionnelles fortes avaient conduit certains intervenants à changer leurs horaires d'intervention et à être moins présents que prévu.

Si vous le permettez, je ferai une rapide comparaison avec des écoles ou ateliers auxquels j'ai assisté bien auparavant et qui avaient parmi leurs objectifs le même souci de faire interagir des théoriciens et des observateurs : il m'a semblé que le dialogue entre ces deux communautés était plus facile et que notamment tous parlaient un même langage. Peut être que cela était en partie lié par une absence quasi totale "d'instrumentalistes" à la fois dans les participants et les intervenants (je reviendrai sur ce point plus loin). Cela peut aussi être la conséquence des progrès faits par les détecteurs (ceux ci sont linéaires à la différence des plaques photographiques et permettent des rapports signal sur bruit beaucoup plus élevés) et l'informatique associée qui permettent aujourd'hui des traitements beaucoup plus rapides des données et donc de dégager du temps pour la réflexion et l'interprétation immédiate.

Ces faits ont certainement aidé à la tenue de séances animées et très interactives. J'ai également été frappé par les progrès de la théorie et des simulations numériques qui facilitent la confrontation entre observations et théorie.

J'en reviens au contenu proprement dit des interventions. J'ai apprécié qu'en introduction, l'exposé de I. Pacha nous montre que l'hydrodynamique et plus particulièrement les chocs sont aussi présents dans les galaxies que ce soit au niveau de la compréhension de leur structure spirale et de son maintien ou encore de la condensation des nuages moléculaires.

L'exposé de A. Fokin consacré à la présentation d'un modèle auto-cohérent de pulsateur radial et au développement des ondes de chocs a constitué une préparation lumineuse aux autres exposés qui ont parfaitement illustré ce qui m'a semblé être sa conclusion : rien n'est possible sans une connaissance approfondie des processus physiques agissant dans une atmosphère stellaire et de leur modélisation :

- d'où l'importance des modèles statiques d'atmosphère et du traitement complet du transfert radiatif
- la nécessité de bien connaître les abondances
- et le rôle de la turbulence
- et enfin un traitement détaillé des chocs rendu nécessaire par des observations "plus pointues ."

Il faut noter que le modèle développé par A. Fokin concerne les pulsateurs radiaux dans lesquels la pulsation ne présente pas d'amplitude vers le centre, ce qui permet de ne traiter que l'atmosphère et la partie "haute" de l'enveloppe interne et, par conséquent, de ne pas traiter de la totalité de la structure interne ni des problèmes de raccordement qui pourraient se poser.

De plus l'application n'a porté que sur les étoiles froides (*miras* essentiellement) et à titre personnel je regrette que les étoiles chaudes ne bénéficient pas encore des progrès de la théorie, mais sans doute cela ne saurait tarder vu la

collaboration entreprise entre A. Fokin et le groupe de Nice.

Les pulsateurs non radiaux n'ont été abordés que par le biais de la technique des moments, il y a là un nouveau champ appelé à se développer (et pourquoi pas bientôt une nouvelle école OHP sur le sujet).

Je remarque aussi que dans le domaine des technologies utilisées, seule la spectrophotométrie à moyenne et haute résolution a été largement évoquée à la différence de ce qui se passait il y a une vingtaine d'années lorsque les détecteurs linéaires n'étaient que peu ou pas utilisés.

Pour conclure, je voudrais terminer sur une note optimiste quant à l'avenir de la physique stellaire à partir de ces études grâce en particulier à l'exploitation qu'elle permettra des données fournies par les grands interféromètres actuels et futurs, notamment GI2T et le VLTI. De ce point de vue, je regrette qu'aucun membre de la communauté "Haute Résolution Angulaire" n'ait pu participer à cette école. En effet, ces instruments et leurs instruments focaux associés permettront non seulement de "voir" la surface des étoiles mais aussi d'étudier en détail leurs atmosphères grâce à l'association de la haute résolution spectrale. Les approches présentées ici trouveront alors la possibilité de s'exprimer complètement. On en a par exemple déjà un aperçu avec le résultat obtenu sur Altair par l'interféromètre du Mt Wilson qui met en évidence un renflement équatorial confortant l'approche théorique présentée par R. Freire-Ferrero.

POPSud: Un partenariat recherche-industrie dans le domaine de l'optique

Jacques Boulesteix

Laboratoire d'Astrophysique de Marseille

Une forte interaction chercheurs-industriels

Chercheurs et industriels ont pris ensemble l'initiative de mettre en lumière le pôle optique et photonique de la région PACA en créant **POPSud**. Les structures statutaires de l'association ont été adoptées en assemblée générale en mai 2000.

Son conseil d'administration a élu Jacques Boulesteix (Laboratoire d'Astrophysique de Marseille) premier président de l'association. Au bureau, il est entouré de Gilbert Dahan (Seso), vice-président, François Flory (ENSPM), trésorier et Serge Ungar (Optis), secrétaire.

POPSud regroupe 40 entreprises régionales ainsi que l'ensemble des laboratoires de recherche impliqués dans ce domaine. Elle fait de l'interaction entre industriels et chercheurs, un moteur de son action.

Avec le soutien des collectivités locales, **POPSud** s'est mis aussitôt au travail. Une étude de positionnement

stratégique au niveau européen va dégager les pistes de développement et les spécialisations opportunes du pôle.

Déjà plusieurs actions sont entreprises: montage de projets R&D communs, création de plates-formes technologiques, organisation de conférences et rencontres, préparation d'un colloque international, de partenariats européens, système d'informations et serveur internet, coopération avec Midi-Pyrénées...

Soutenu par les Universités de Marseille-Aix, Toulon, Nice-Côte d'Azur, l'École nationale supérieure de physique de Marseille et le CNRS, les Collectivités Locales (parmi les premières, la Région PACA, le Conseil Général 13, la Communauté de Communes Marseille-Provence-Métropole) ainsi que de la Société Française d'Optique et de la Société Européenne d'Optique, le rayonnement de **POPSud** est reconnu par les instances nationales de la recherche et de l'innovation.



Un grand potentiel de développement

Les premiers travaux de **POPSud** ont permis de mettre en lumière des perspectives de développement autour de l'axe "*instrumentation optique*."

Un recensement des champs de compétences établit les pistes suivantes:

- les systèmes optiques,
- les calculs optiques,
- les optiques plastiques,
- les couches minces,
- les X-UV,
- l'interaction laser-matière,
- les télécommunications optiques,
- l'observation optique,
- les micro optiques,
- les composants,
- la télédétection,
- le traitement de l'image

Des laboratoires de dimension internationale, des compétences technologiques et industrielles de pointe:

Institut Fresnel - Marseille

Laboratoire d'Astrophysique de Marseille

Observatoire de Haute Provence - St Michel l'Observatoire

Observatoire de la Côte d'Azur

Laboratoire de Physique Interactions Photons Matière - Marseille

DUOPO - Marseille

Groupe de Physique des Etats Condensés - Marseille

Laboratoire de Matériaux et Microélectronique de Provence - Marseille/ Toulon

Laboratoire de Physique de la Matière Condensée - Nice

Laboratoire d'Astrophysique - Nice

Laboratoire d'Optoélectronique - Toulon

IFREMER - La Seyne
 Laboratoire de Physique des Particules de Marseille
 Institut des Phénomènes Hors Equilibre - Marseille
 ONERA - Salon
 CEA - Cadarache
 SESO - Aix Les Milles
 Savimex - Grasse
 Optis - Toulon
 SEOP - Lorgues
 Alcatel Space - Cannes- la Bocca
 Bertin Technologies - Aix-en-Provence
 Biophy Research - Marseille
 Dassault Aviation - Istres
 Cedia Innovation - Venelles
 CEM DCE - Toulon
 Cybernétix - Marseille
 Efop - Ollioules
 Europtic - Manosque
 IBS - Peynier
 Light Technologies - Marseille
 MXM - Sophia Antipolis
 Orsay Physics - Fuveau
 Savcor Optique - Marseille
 Seres - Aix-en-Provence
 Shakti - Marseille
 Stil - Aix-en-Provence
 Spec - Avignon
 SVM Optique - Grasse
 Technoptic - Grasse
 Teuchos - Mandelieu
 Valmecca - Puimichel
 Wilco - La Seyne/Mer

L'optique, une discipline d'avenir

L'optique est-elle la technologie d'avenir du XXIème siècle, ou tout simplement une valeur ajoutée considérable dans les nouvelles technologies (télécommunications, spatial, microélectronique, médecine, etc..) ?

La région PACA, qui dispose d'une exceptionnelle richesse de laboratoires de recherche publique dans ces disciplines et d'un tissu de PME innovantes et performantes dans le domaine de l'optique, peut-elle développer un pôle d'envergure européenne et internationale?

Telles sont les questions auxquelles l'initiative **POPsud** entend répondre.

<http://www.popsud.org>

Mouvements de personnel

Au cours des deux dernières années il y a eu à l'OHP six départs (5 retraites, 1 AFIP):

Année 2000	Année 2001
Jean-Claude Delclite	Gérard Guillermin
Claude Figuière	Daniel Lacroix
Michel Goillandeau	Gilbert Rau

Dans le même intervalle de temps nous avons eu le plaisir d'accueillir cinq nouveaux membres du personnel:

Mourad Merzougi et **Ricco Sottile** (Mécaniciens)
Jean-Pierre Troncin (Technicien de nuit)
Josiane Payen (Secrétaire de direction)
Jérôme Schmitt (Ingénieur)

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

<http://www.obs-hp.fr/www/lettre-ohp/no-20/no-20.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>

