

## La distribution des poussières à l'échelle de l'unité astronomique dans les nuages interstellaires

*Patrick Boissé et Sophie Thoraval*

*Radioastronomie (ENS) - DEMIRM (Observatoire de Paris)*

### Introduction

On a l'habitude de considérer que l'extinction due aux poussières situées sur la ligne de visée d'une étoile est une grandeur constante dans le temps. Une expérience menée ces dernières années par A. Marscher et ses collaborateurs de l'Université de Boston, conduit à remettre en question cette hypothèse considérée jusqu'à maintenant comme tout à fait naturelle. Marscher et al. (1993) ont observé la source radio 3C111, située derrière le nuage moléculaire du Taureau, dans le but d'étudier les raies de H<sub>2</sub>CO en absorption ( $\lambda \approx 6$  cm environ). 3C111 est associée à un groupe de galaxies lointaines ( $cz = 14500$  km/s) et de ce fait, la ligne de visée traverse entièrement le nuage moléculaire et la matière plus diffuse qui l'entoure. Dans cette direction, les raies d'absorption de H<sub>2</sub>CO sont fortes ce qui permet de mesurer leur profil et leur intensité avec une excellente précision. En observant à plusieurs reprises cette absorption (avec un intervalle de temps typique d'un an), Marscher et al. constatent qu'elle varie, ce qui implique que la quantité de molécules H<sub>2</sub>CO présentes sur la ligne de visée a elle-même varié. Ces conclusions ont été accueillies avec un certain scepticisme (la reproductibilité de résultats obtenus à plusieurs mois d'intervalle n'est souvent pas parfaite ...) mais une seconde série d'observations a mis en évidence des variations en bonne continuité avec celles observées aux époques antérieures (Moore et Marscher 1995).

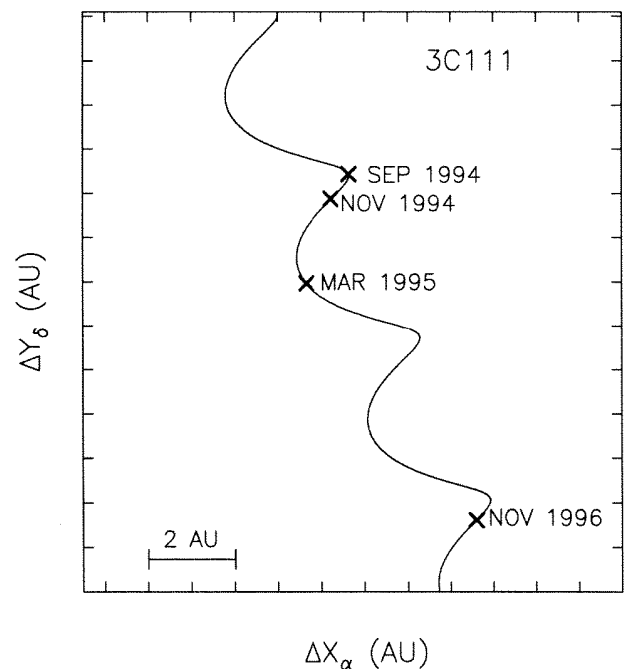
L'interprétation la plus simple de ce phénomène remarquable est la suivante: du fait du mouvement de la terre autour du soleil ( $V \approx 30$  km/s soit 6.3 UA/an; UA: unité astronomique soit  $1.5 \times 10^8$  km) et du mouvement particulier du soleil dans la galaxie ( $V \approx 20$  km/s dans la direction définie par  $\alpha \approx 18$ h et  $\delta \approx 30^\circ$ ) la ligne de visée vers une source située au delà du nuage dérive lentement et balaye successivement des régions adjacentes du nuage. De plus, la composante transverse des mouvements turbulents de la matière interstellaire provoque un lent renouvellement de celle-ci sur la ligne de visée; la vitesse associée est de l'ordre du km/s et cette seconde cause de variations (d'ailleurs non quantifiable puisque seuls les mouvements radiaux peuvent être mesurés) est probablement négligeable. Dans ce contexte, la détection de variations temporelles suggère naturellement qu'il existe des structures spatiales à des échelles  $l \approx V\Delta t \approx$  quelques UA.

Par ailleurs, dans le milieu moléculaire dense, de nombreux autres arguments plaident en faveur d'une structure fragmentée de la matière. Ainsi, plusieurs astronomes avaient remarqué que si les nuages sont uniformes, les mouvements observés y sont

supersoniques; ces derniers devraient alors entraîner un taux de dissipation de l'énergie très élevé et par suite une durée de vie des nuages très courte, incompatible avec les observations. De plus, l'interprétation des raies de rotation de la molécule CO et de ses dérivés isotopiques observées dans le domaine millimétrique implique l'existence de fragments denses, de très petite taille et très nombreux (Falgarone et Phillips 1996).

### A la recherche des variations d'extinction avec le 1m20

Les résultats ci-dessus concernent principalement des "traceurs" de H<sub>2</sub> (qui n'est malheureusement pas aisément observable), comme H<sub>2</sub>CO ou CO. Si les variations spatiales observées sont dues à des fluctuations de la densité de l'ensemble de la matière (ce que supposent Marscher et al.), alors d'autres traceurs devraient présenter les mêmes fluctuations. Ainsi, la présence de structure à petite échelle dans la distribution des poussières devrait induire des fluctuations spatiales de l'extinction à des échelles voisines de 1 UA, et par suite des variations temporelles de magnitude à l'échelle de l'année pour une source située en arrière-plan d'un nuage. Quantitativement, les variations relatives de la densité de colonne de H<sub>2</sub>CO observées par Moore et Marscher (1995) sont de l'ordre de 5 à 10%; si l'on suppose que les divers traceurs sont liés par une simple relation de proportionnalité (c'est à dire que leurs proportions relatives sont uniformes), on attend des variations comparables de l'extinction  $A_V$ .



**Figure 1.** Déplacement du point d'impact de la ligne de visée sur le nuage du Taureau en fonction du temps. La source observée est supposée placée loin derrière le nuage. Les dates auxquelles ont été effectuées les observations au 1m20 sont indiquées (sauf février 1995).

Pour une extinction moyenne  $A_V \approx 2$  mag, cela correspond à des fluctuations de 0.1 à 0.2 mag, qui devraient être aisément détectables.

Aussi, nous avons entrepris une série d'observations au télescope de 1.20m de l'OHP pour rechercher d'éventuelles variations d'extinction à l'échelle de l'année en direction d'étoiles éteintes par le nuage du Taureau. Nous avons choisi la même région que Marscher et al.; il n'est cependant pas possible d'étudier la même ligne de visée car la source optique associée à 3C111 est un noyau actif de type Seyfert 1 et les objets de cette catégorie présentent de fortes variations intrinsèques. Par contre, les étoiles du champ sont directement utilisables pour notre étude: le complexe du Taureau est situé à une distance d'environ 350 pc et il est aisé de vérifier (par ex. à l'aide du modèle de populations stellaires galactiques de Robin et Crézé 1987) que la grande majorité des étoiles de  $m_V \approx 16-18$  qui nous intéressent sont situées bien au delà de ce nuage (leur distance typique est de 1 à 2 kpc). Nos observations permettent ainsi de sonder de nombreuses lignes de visée simultanément.

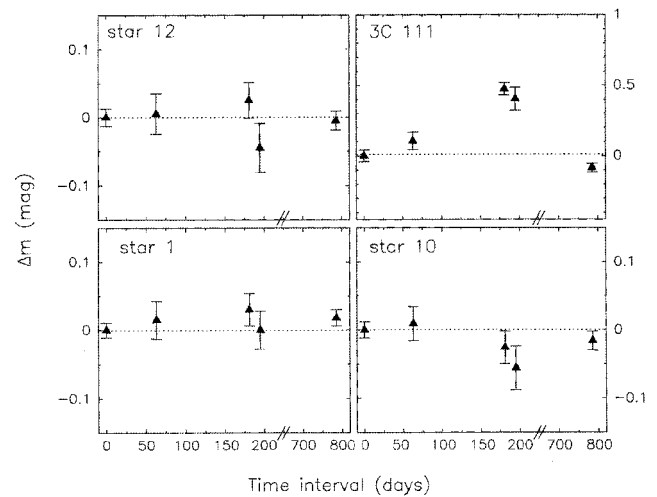
Des images CCD TK512 ont été obtenues à quatre époques différentes entre septembre 1994 et mars 1995 avant la mise en service de la nouvelle caméra. Par ailleurs, nous avons pu exploiter des données concernant un autre nuage, MBM 28 (situé à haute latitude galactique) pour lequel nous disposons d'images prises entre janvier 1993 et janvier 1995. Plusieurs filtres larges allant de B à I ont été utilisés. Cela nous fournit une méthode simple pour distinguer des variations intrinsèques éventuelles des étoiles et des fluctuations réellement dues à l'extinction: dans ce dernier cas, on s'attend à ce que l'amplitude des variations à diverses longueurs d'ondes suive la loi d'extinction ( $A_\lambda \propto 1/\lambda$  dans le domaine visible). Quelques images ont également été obtenues pour un champ de référence situé dans une région non éteinte, à proximité du nuage; nous pensions en effet que pour attribuer de manière convaincante des variations de magnitude à des fluctuations d'extinction, il fallait être capable de montrer que des étoiles non obscurcies, observées avec le même instrument, présentent une magnitude stable à la précision des mesures. Ces champs de références permettent en outre d'évaluer l'extinction moyenne induite par le nuage:  $A_V \approx 2$  devant 3C111 et  $A_V \approx 0.8$  pour MBM 28.

Ce type d'observation est très bien adapté au site de l'OHP car il s'agit de mesures photométriques relatives, insensibles à la présence d'une faible absorption atmosphérique (une étoile brillante du champ est utilisée pour recalibrer entre elles les images prises à diverses époques). De même, la qualité d'image n'est pas critique. Pour optimiser l'exploitation de telles données, il est tout de même souhaitable d'obtenir une précision assez homogène sur l'ensemble des mesures (en augmentant le temps de pose si le seeing est moins bon).

Aucune variation significative n'a été détectée (excepté pour 3C111, qui, comme on l'a signalé précédemment, présente très certainement des variations intrinsèques). La limite supérieure ( $1\sigma$ ) obtenue sur les variations relatives de l'extinction est  $\delta A_V/A_V < 1.5\%$  (pour 11 étoiles situées derrière le nuage du Taureau) et 0.8% (pour 6 étoiles derrière MBM 28) (Thoraval et al. 1996). Bien que l'extinction (et par conséquent ses éventuelles fluctuations) soit plus forte dans la bande B, les données V et I s'avèrent les plus contraignantes. Cela est dû à deux facteurs: d'une part la sensibilité du détecteur CCD est moins bonne en B et d'autre part, la plupart des étoiles ont une couleur rouge, d'autant plus qu'elles sont vues au travers d'un nuage.

En novembre 1996, nous avons eu à nouveau l'occasion de prendre quelques images du champ entourant 3C111, cette fois à l'aide de la nouvelle caméra CCD TK1024 installée au télescope de 1.20m. Ces données supplémentaires portent à plus de 2 ans l'intervalle de temps durant lequel le suivi photométrique a été effectué pour le champ entourant 3C111; en termes d'échelles spatiales sondées, on atteint ainsi 8.5 UA entre les 2 époques extrêmes comme l'illustre la Figure 1 (pour calculer le déplacement du point d'impact de la ligne de visée sur le nuage, on a supposé la source placée à l'infini; dans notre cas, le déplacement serait réduit de 25% seulement si l'étoile considérée était située à 1.4 kpc). Ces observations confirment sans ambiguïté l'absence de fluctuations de l'extinction déjà notée dans les observations antérieures.

La Figure 2 montre les écarts de magnitude observés par rapport à la première époque, dans la bande V, pour 3 étoiles situées dans le champ du Taureau ainsi que pour 3C111: c'est seulement dans ce dernier cas que des variations (de nature intrinsèque !) sont présentes.



**Figure 2.** Variation avec le temps de la magnitude V de 3C111 et de 3 étoiles situées dans le même champ par rapport à la première observation (effectuée en septembre 94; noter la discontinuité dans l'échelle des temps entre mars 1995 et novembre 1996). Une étoile brillante du champ a été utilisée pour effectuer la calibration relative entre les diverses époques. Les barres d'erreur à  $1\sigma$  sont indiquées.

## Conclusions

Les résultats présentés ci-dessus indiquent clairement que les structures détectées par Marscher et al. dans les raies de  $H_2CO$  ne correspondent pas à des maxima prononcés de la densité totale de matière. En effet, s'il en était ainsi, tous les traceurs — et en particulier les poussières — présenteraient des variations spatiales d'amplitude et d'échelle caractéristique similaires. Pour expliquer les variations des raies de  $H_2CO$ , on doit donc imaginer un autre scénario, par exemple que ce sont les proportions relatives des différentes espèces qui varient d'un point à un autre du milieu sur des échelles de l'ordre de l'unité astronomique; les structures de Marscher ne seraient alors pas des fragments bien individualisés mais simplement des régions enrichies localement en molécules  $H_2CO$ .

Plusieurs mécanismes peuvent être envisagés pour expliquer ce type de ségrégation. Les modèles décrivant la chimie des nuages moléculaires supposent en général qu'un équilibre stationnaire est atteint; en réalité, les nuages constituent un milieu turbulent et les conditions physiques auxquelles est soumise une parcelle de gaz

donnée (le champ rayonnement UV qui dissocie les molécules en particulier) changent en permanence. De plus, Le Bourlot et al. (1993) ont pu montrer que, dans certaines circonstances, on observe un phénomène de bistabilité chimique: deux phases présentant des états d'ionisation et des abondances relatives différentes coexistent. Des processus de ce type peuvent conduire naturellement à des structures spatiales très complexes. Plus simplement encore, si l'on considère que les mouvements turbulents assurent un brassage entre des régions plus ou moins enrichies en molécules, on conçoit aisément que le mélange obtenu à un instant donné ne soit pas homogène (comme de l'eau en mouvement dans laquelle on injecterait en permanence un colorant). A l'inverse des molécules, les poussières sont des constituants assez robustes; les mécanismes de formation/destruction des grains sont tout à fait différents et les temps caractéristiques associés bien plus longs, ce qui apparaît cohérent avec une distribution spatiale plus lisse. Pour mieux comprendre l'importance du caractère "dynamique" des processus évoqués ci-dessus dans l'apparition des petites structures détectées par Marscher et al., il faudrait pouvoir décrire celles-ci plus en détail et corrélérer les variations de  $\text{H}_2\text{CO}$  avec celles d'autres espèces. Un tel programme est actuellement en cours à l'interféromètre de l'IRAM (Lucas 1995).

Le suivi temporel des magnitudes d'étoiles obscurcies effectué à l'OHP nous a fourni des contraintes au niveau de  $\approx 10^{-2}$  sur les variations de la densité de colonne des poussières qui dominent l'extinction dans le visible, et ce, à l'échelle de quelques UA. D'autres méthodes, également mises en oeuvre à l'OHP, permettent d'accéder à des contraintes moins strictes mais portant sur un domaine plus étendu d'échelles spatiales. Par exemple, l'étude statistique des couleurs d'étoiles vues au travers de nuages translucides montre que la distribution des poussières est relativement uniforme pour toutes les échelles inférieures à  $\approx 0.05$  pc (Thoraval et al. 1997). De même, la brillance de surface de galaxies SO ou elliptiques vues au travers de nuages moyennement opaques ne présente pas de granularité sensible à des échelles angulaires de l'ordre de la seconde d'arc (soit 0.001 pc pour un nuage situé à 200 pc). Il apparaît donc finalement que dans ce type de nuage, les poussières sont distribuées de manière relativement uniforme et qu'il n'existe pas de fortes fluctuations de l'extinction "cachées" aux petites échelles. Pour ce qui concerne la modélisation de la chimie du milieu interstellaire, ce résultat montre qu'on peut traiter localement le transfert du rayonnement continu UV comme dans un milieu homogène.

### Perspectives

Plusieurs questions restent néanmoins ouvertes. D'une part, dans les nuages plus opaques ( $A_V \geq 5$ ) où l'essentiel de la formation stellaire a lieu, les observations effectuées par Lada et al. (1994) dans le proche infrarouge suggèrent que la distribution spatiale des poussières est bien plus fragmentée que dans les nuages translucides que nous avons étudiés. Il est important de confirmer ce résultat et de mieux caractériser les propriétés statistiques de la distribution de matière au sein des nuages opaques car la présence de fragments joue certainement un rôle important 1) dans le processus de formation d'étoiles et 2) dans la propagation du rayonnement UV vers les régions les plus internes (Boissé 1990).

D'autre part, dans les régions diffuses, de nombreux indices montrent qu'il existe de très petites structures au sein du gaz atomique (H I, Na I) ou faiblement ionisé (Ca II) (Heiles 1997). Les résultats que nous avons obtenus pour des échelles de quelques UA concernent également ce type de milieu car pour

$A_V \approx 1$  à 2, une fraction non négligeable de l'extinction provient du milieu diffus. Au vu des limites atteintes dans notre étude ( $\Delta A_V/A_V \leq \approx 10^{-2}$ ), on ne peut exclure que des fluctuations de l'extinction existent au sein des nuages atomiques au niveau  $\Delta A_V/A_V \approx 10^{-3}$  ou moins. Il est important de garder à l'esprit cette éventualité car des expériences de suivi photométrique très précises telles que COROT (détection d'oscillations stellaires et de planètes extrasolaires) pourraient être affectées par les propriétés du milieu interstellaire interposé entre l'étoile visée et l'observateur.

### Références

- Boissé, P. 1990, A&A 228, 483  
 Falgarone, E. et Phillips 1996, ApJ 472, 191  
 Heiles, C. 1997, ApJ 481, 193  
 Lada et al. 1994, ApJ 429, 694  
 Le Bourlot et al. 1993, ApJ 416, L87  
 Lucas 1995, in "Science with Large Millimetre Arrays",  
 Ed P. Shaver, Springer  
 Marscher et al. 1993, ApJ 419, L101  
 Moore et Marscher 1995, ApJ 452, 671  
 Robin, A. et Crézé, M. 1987, A&A 157, 71  
 Thoraval, S. et al. 1996, A&A 312, 973  
 Thoraval, S. et al. 1997, A&A 319, 948

## 53 Psc : Une nouvelle variable B "hybride" découverte avec Aurélie

*E. Chapellier, A. Endignoux, D. Le Contel, J.-M. Le Contel, P. Mathias, J.-P. Sareyan, J.-C. Valtier*

*UMR 6528, Observatoire de la Côte d'Azur*

### Introduction et observations

Les nouvelles tables d'opacité (Rogers & Iglesias 1992) ont permis d'identifier le mécanisme de pulsation des variables B par l'intermédiaire d'un  $\kappa$ -mécanisme lié aux raies du Fer. Cependant, l'ensemble des variables B peut être subdivisé en 2 classes:

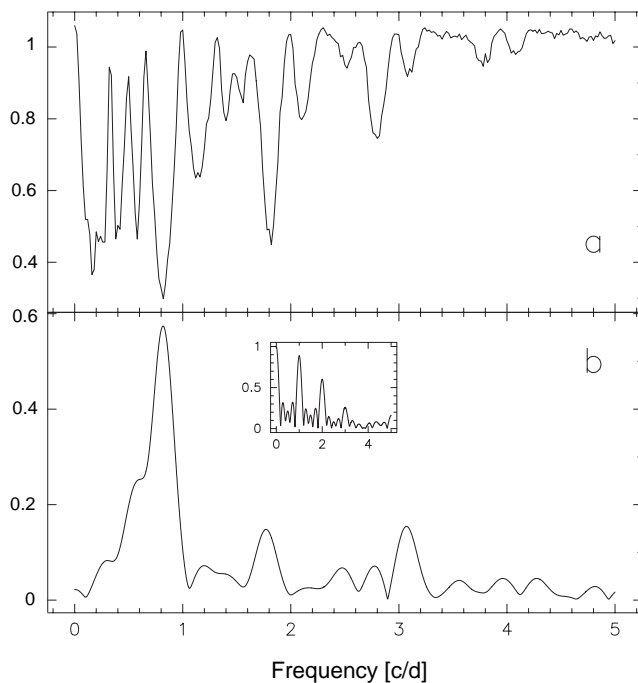
- les étoiles  $\beta$  Céphéides (B1-B3), caractérisées par des périodes détectées de quelques heures, typiques des modes de pression ( $p$ ) se développant plutôt dans les couches externes.
- les étoiles SPB (B3-B8), caractérisées par des périodes plus longues (quelques dizaines d'heures) représentatives de modes de gravité  $g$  et qui se développent beaucoup plus profondément dans l'étoile.

Les modèles prévoient une zone de recouvrement entre les régions d'excitation des modes  $g$  (Dziembowski et al. 1993) et celles des modes  $p$  (Dziembowski & Pamyatnickh 1993). De par son type spectral (B2.5 IV), l'étoile 53 Psc est une bonne candidate pour espérer la détection simultanée de ces modes. Une campagne de 10 nuits a été menée en Septembre 1996, à l'aide du spectrographe *Aurélie*. La magnitude relativement élevée de 53 Psc ( $V = 5.9$ ) ne nous a pas permis d'observer à une résolution supérieure à 15 000 pour pouvoir détecter différentes échelles temporelles de variabilité, de l'heure au jour. Ainsi, avec des temps de pose typiques de 23 min, nous avons un signal sur bruit de l'ordre de 150.

## Résultats

Une moyenne des vitesses radiales correspondant à 7 raies différentes montre une amplitude de variation de 5 km/s. Par l'intermédiaire de 2 algorithmes (PDM et CLEAN), nous avons recherché les périodes de variation (Fig.1) sur les 5 meilleures nuits de notre mission.

Le pic le plus important correspond à une fréquence  $\nu_1 = 0.82 \pm 0.08$  c/j, soit environ 1.25 j, tout à fait représentative de modes  $g$ . Un ajustement sinusoïdal correspondant à cette fréquence rend compte de 70% de la variance, avec une amplitude en vitesse radiale de l'ordre de 2.8 km/s. Si l'on soustrait cet ajustement aux données pour rechercher les périodes résiduelles, une autre fréquence est détectée autour de  $\nu_2 = 1.55 \pm 0.10$  c/j, soit une période d'environ 15 h, elle aussi représentative des modes  $g$ . Ainsi,  $\nu_1$  et  $\nu_2$  rendent compte de 82% de la variance dans l'hypothèse d'une variation sinusoïdale.



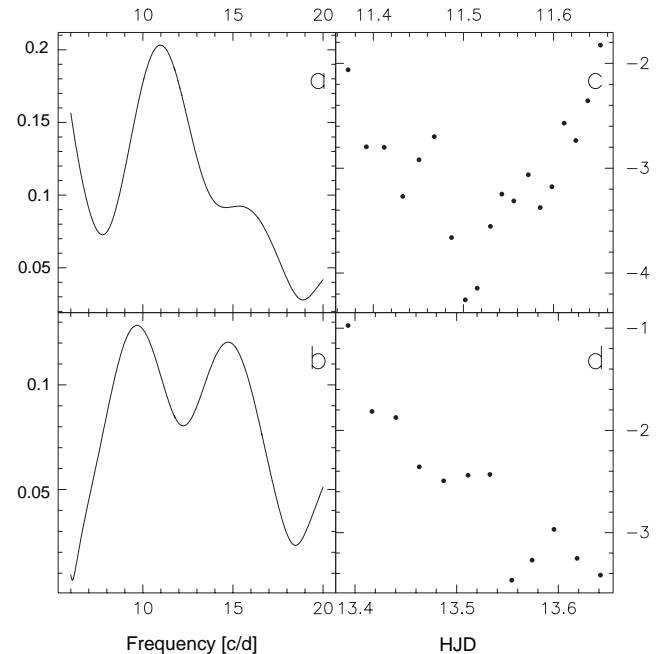
**Figure 1.** a : statistique PDM représentée en fonction de la fréquence. b : spectre de puissance issu de CLEAN. La fenêtre incluse représente le spectre d'échantillonnage de nos données.

Si l'on recherche maintenant sur les données précédentes une périodicité à plus court terme (modes  $p$ ), rien de vraiment significatif (amplitude supérieure à 0.4 km/s) n'est détecté sur un intervalle [4-30] c/j. Les algorithmes de recherche de périodes ont été appliqués sur les nuits individuelles, dont les 2 meilleures sont représentées sur la Fig.2. Pour la nuit du 4 Septembre, les fréquences candidates sont  $\nu_{3a} = 11.0 \pm 1.9$  c/j et  $\nu_{4a} = 15.4 \pm 1.7$  c/j, correspondant respectivement à des périodes de 2.2 h et 1.6 h et, pour la nuit du 6 Septembre, les fréquences  $\nu_{3b} = 9.7 \pm 1.9$  c/j et  $\nu_{4b} = 14.7 \pm 1.9$  c/j (respectivement 2.5 h et 1.6 h). On a  $\nu_{3a} \neq \nu_{3b}$  et  $\nu_{4a} \neq \nu_{4b}$  mais les incertitudes sont importantes. A noter que dans les deux cas, les amplitudes de variation sont de l'ordre de 0.6 km/s.

## Conclusion

Deux échelles de variabilité sont simultanément présentes. La première, de longue période, est typique des modes  $g$ . Dans ces dernières, la multipériodicité est de mise (Waelkens 1991) et, au

regard de la Fig.1, il est probable que plus de 2 fréquences soient présentes. L'échelle de variabilité à courte période est quant à elle confirmée. Notre résolution temporelle ne nous permet toutefois pas de préciser la valeur des périodes.



**Figure 2.** Similaire à la Fig.1b, mais pour des nuits individuelles. a : 4 Septembre 1996. b : 6 Septembre 1996. A côté sont représentées les courbes de vitesses radiales héliocentriques [km/s] (non déconvoluées des longues périodes) pour les nuits de c : 4 Septembre 1996 et d : 6 Septembre 1996.

Les résultats obtenus sur 53 Psc confirment ceux concernant  $\iota$  Her (Mathias & Waelkens 1995), à savoir l'existence d'une zone du diagramme HR où les étoiles, à la frontière des régions d'excitation respectives des modes  $p$  et  $g$ , peuvent présenter simultanément ces 2 modes (étoiles "hybrides"). L'étude de telles étoiles permettrait de mieux cerner les effets de l'évolution stellaire (53 Psc et  $\iota$  Her ont toutes deux quitté la séquence principale) par sondage des couches superficielles (par les modes  $p$ ) et des couches profondes (par les modes  $g$ ). Des informations pourraient aussi être obtenues sur la métallicité et les phénomènes liés à la zone "moteur" de la pulsation, telle la zone de mélange, non prise en compte dans les modèles.

Enfin, pour conclure, il semble indispensable de mener à bien une autre campagne d'observation de 53 Psc afin de mieux préciser le spectre de variabilité de cette étoile. Toutefois, sa faible magnitude ainsi que les faibles variations en vitesse radiale en font une cible davantage pour *Elodie* que pour *Auréli*, notamment pour mieux étudier les variations de profil de raie.

## Bibliographie

- Dziembowski W.A., Pamyatnykh A.A. 1993, MNRAS 262, 204  
 Dziembowski W.A., Moskalik P., Pamyatnykh A.A. 1993, MNRAS 265, 588  
 Mathias P., Waelkens C. 1995, A&A 300, 200  
 Waelkens C. 1991, A&A 246, 453

## Comité des utilisateurs de l'OHP (Réunion du 12 Mars 1997)

*Présents: C. Boisson, P. Ehrenfreund, Ph. Mathias, E. Oblak, J.-P. Sivan, F. Sèvre, W. Thuillot*

### Présentation de la situation globale et des perspectives par J.-P. Sivan

#### Généralités

J-P Sivan fait part au Comité des utilisateurs de l'effort fourni par l'OHP en vue d'améliorer l'accueil des missionnaires: documentation présentant les lieux et l'organisation de l'observatoire aux nouveaux observateurs, procédure d'accueil et d'initiation à l'instrumentation, liste de noms des personnes à contacter suivant les instruments et télescopes...

La documentation est aussi mise à jour régulièrement sur le Web où l'OHP possède des pages très riches en renseignements divers.

Coté pratique : Un portier automatique a été mis en place à l'entrée et devrait faciliter l'arrivée des missionnaires en voiture. Une cabine téléphonique à carte a été installée près du bâtiment principal.

J-P Sivan fait part aussi de problèmes liés au départ en retraite de Mr Brunel. Ce dernier est remplacé par Mr Moulet qui abandonne donc le service électronique. De plus Mr Cautain est parti pour le LAS et son poste d'informaticien, bien qu'ouvert en AFIP, n'a pas encore donné lieu à un recrutement.

J-P Sivan fait également part des difficultés croissantes de la Maison Jean Perrin à recouvrer le montant des frais de séjour des missionnaires. Il est recommandé à ceux-ci de régler leur note avant de partir.

#### Instruments

**T193** - Un nouveau mode optionnel a été mis en service sur *Elodie*, fin février, le mode "brouilleur". Les premiers essais attestent d'une perte de lumière inférieure à 20%, mais la précision est passée de 6 m/s à 4 m/s (sur le court terme). Une dérive de la calibration a été constatée quelque soit le mode utilisé qui, pour l'instant, est attribuée au logiciel de traitement de données, mais le phénomène n'est pas encore bien compris. La résolution spectrale est légèrement améliorée. Un nouveau cryostat est prévu d'ici un mois, le remplissage ne devrait plus être fait qu'une fois par jour.

Le Conseil Regional a versé 450kF pour *Elodie*, une partie de cette somme a servi au mode "brouilleur", l'intention est d'acheter un CCD 2000 × 2000 de faible bruit par la suite.

Le système de pilotage du spectro *Carelec* a été revu: IHAP a été abandonné et un nouveau logiciel d'acquisition LIDO (type *Elodie*) mis en service. Un nouveau CCD 1000 × 2000, grade engineering, est en test.

**T152** - Le câblage du pupitre a été refait. L'ONERA a testé un banc optique adaptative et des résultats frappants sont présentés dans la Lettre de l'OHP No. 16.

**T120** - Un nouveau cryostat a été mis en service. Un problème d'allongement des images dû à du jeu mécanique a été résolu. Un nouveau système de guidage automatique a été mis en service.

Après des débuts difficiles dus principalement à la nouveauté du système, tout semble rentré dans l'ordre.

Des variateurs de vitesse ont été installés sur les ventilateurs, l'amélioration n'est pas probante.

**T80** - La mise au point est stable maintenant et le foyer linéaire sur le CCD. Le système de guidage automatique a été revu par O. Lardière. La bonnette du BdL a été mise en service. Le local a été agrandi mais la connexion au réseau est retardée.

Une réflexion sur l'archivage des observations et leur diffusion est en cours.

### Suivi des actions demandées précédemment

Le rapport de J.-P. Sivan montre que beaucoup de choses ont été accomplies dans l'année écoulée et le Comité l'en remercie. Néanmoins trois points n'ont pas encore trouvé de solution.

Il est a nouveau recommandé qu'IRAF soit installé en plus de MIDAS sur les stations de travail, qu'une uniformisation des claviers en QWERTY soit effectuée et de même qu'une feuille décrivant les instructions élémentaires soit disponible pour chaque instrument. Par ailleurs un récapitulatif des procédures de dépannage en cas d'erreur système est toujours attendu.

### Examen des rapports de mission

Il est demandé à J-P Sivan de détailler les suites données aux problèmes ou désirs mentionnés dans les rapports des missionnaires. Une partie de ces remarques est déjà satisfaite par les actions récentes.

**T193** - Une coupure d'alimentation électrique un dimanche et un délai trop long de rétablissement a entraîné un défaut de refroidissement d'*Elodie* qui a nécessité quatre nuits de retour au fonctionnement normal. La personne chargée de cette opération doit s'assurer que l'ensemble du système est alimenté.

Temperature d'*Elodie*: amélioration de l'isolation du spectro par Mr Kohler. Il est envisagé d'améliorer l'isolation de la cellule elle-même. La sous estimation du problème des variations de temperature vient de ce qu'initialement les prétentions sur la précision n'étaient pas aussi grandes. Le problème principal vient du changement de régime été-hiver.

Saut en mouvement horaire du télescope: le problème a été vu à la fois pour *Elodie* et *Carelec* mais pour l'instant les raisons n'ont pas été clairement établies.

**T152** - Une imprimante est réclamée avec insistance. Il n'y aurait pas de crédits. Le Comité insiste pour qu'une solution soit trouvée.

**T120** - Les problèmes d'informatique ont été en diminuant. Une demande de possibilité de création de sous-répertoires a été faite pour satisfaire le cas ou plusieurs utilisateurs se partagent la nuit. Une solution semble avoir été adoptée mais apparemment elle est loin d'être parfaite. L'étude est toujours en cours. La préselection des filtres n'est plus systématiquement demandée, une fois qu'elle est faite, dans la nouvelle version de LIDO.

**T80** - Un mauvais réglage du primaire a été soupçonné. Tout a été revu mais la figure en "trèfle" demeure. Il est suggéré que cela provienne du réglage des leviers astatiques.

### Général

L'installation de la version de MIDAS la plus récente, autorisant notamment le travail directement sur des fichier FITS, est demandée.

Coordination des tirs laser: des problèmes soit d'interruption imprévisibles du faisceau par les télescopes, soit de présence du faisceau laser dans le champ, se sont posés. Le logiciel sera entièrement révisé, il sera testé coupole par coupole. Il est réaffirmé que l'astronomie est prioritaire.

### Enquête/Forum électronique:

Suite à l'enquête lancée par le Comité, un compte rendu des réponses a été diffusé via la SFSA. Un forum électronique a ensuite été ouvert sur le serveur de l'OHP. Le Comité invite les utilisateurs de l'OHP à consulter cette page WEB et à participer à ce forum.

Le comité rappelle aux utilisateurs de l'OHP qu'il existe une adresse internet pour l'OHP et un serveur WEB sur lequel on peut trouver une mine d'informations sur les instruments et détecteurs entre autres. Le comité des utilisateurs apprécie l'évolution de ce serveur.

### adresses électroniques des membres du Comité:

boisson@DAEC.ObsPM.Fr (Presidente)  
 pascale@strwchem.strw.leidenuniv.nl  
 mathias@obs-nice.fr  
 oblak@obs-besancon.fr  
 sevre@iap.fr  
 thuillot@bdl.fr

## Les caméras CCD1000 en service à l'OHP

*Gérard Knispel*

*Service CCD, Observatoire de Haute Provence*

Les caméras utilisées avec les CCD de 1K x 1K TK1024 de Tektronix ont été réalisées à partir d'un modèle mis au point à l'ESO par R. Reiss avec la contribution de J.P. Dupin de l'Observatoire de Toulouse. Il y en a trois actuellement en fonctionnement à l'OHP. La première a été mise en service en 1993 avec le spectromètre *Elodie*, la deuxième est utilisée au télescope de 120 depuis début 1996 et la troisième sert pour la maintenance et les tests en laboratoire.

Un certain nombre de modifications ont été apportées au modèle initial afin de l'adapter aux utilisations faites à l'OHP :

- Commande et transmission des données par une liaison Ethernet.
- Affichage des images à l'aide d'une carte graphique MIG d'Eltec
- Réalisation d'une nouvelle carte de séquençement utilisant un DSP 56001 de Motorola.
- Modification de la carte d'interface pour permettre la lecture simultanée de plusieurs sorties du CCD.
- Déport des cartes analogiques dans un coffret séparé pour éliminer le bruit parasite induit par les alimentations à découpage.

### Caractéristiques générales

Les caméras CCD1000 réalisées à l'OHP permettent la mise en oeuvre de CCD ayant jusqu'à 1.5 millions de pixels environ. La lecture peut être effectuée avec une ou plusieurs sorties. Le

logiciel de balayage (ou séquençement) du CCD donne la possibilité, lors de la lecture, d'un groupement (binning) horizontal et vertical des pixels et permet de limiter la lecture à une ou plusieurs fenêtres. Toutes ces possibilités peuvent être mises en oeuvre simultanément. Les vitesses de lecture peuvent être modifiées et le gain peut être choisi dans les rapports 1, 2, 5 ou 10 pour une vitesse de lecture donnée.

Tous ces paramètres sont définis dans des modes de balayages. Il y en a plusieurs et on peut aisément en créer de nouveaux pour répondre aux besoins des utilisateurs.

Le contrôleur est piloté par une carte CPU au standard VME associée à une unité de disque et de disquette, le tout sous OS9 de Microware. Il comporte un terminal permettant la mise en oeuvre d'acquisitions d'images et une carte graphique permettant leur visualisation sur un moniteur multistandard. Il peut aussi être télécommandé par une station de travail (ou tout autre système informatique) via une liaison Ethernet avec le protocole TCP/IP et les données sont alors transmises à la station de travail.

Les logiciels de lecture du CCD et de visualisation et traitement d'image ont été créés et mis au point en mode natif et en langage C à partir du terminal local. Ils permettent:

- Le lancement d'une pose, d'une lecture ou d'un effacement du CCD
- L'affichage de l'image avec choix des seuils inférieurs et supérieurs
- Le déplacement d'un curseur avec affichage de X, Y et Z
- Le calcul du bruit dans une fenêtre au choix
- La soustraction d'un niveau d'offset
- La correction d'uniformité
- L'affichage d'un profil d'intensité dans une bande verticale ou horizontale de dimensions choisies.
- La sortie du profil sur imprimante Epson LX800.
- L'approximation d'un pic dans un profil, par une gaussienne.
- La sauvegarde d'images sur disque
- L'affichage de l'histogramme du bruit et le comptage d'impacts de rayons cosmiques, avec sortie sur imprimante.

Enfin les tensions des signaux de phase et de polarisation du CCD peuvent être contrôlés d'une façon interne et affichés. C'est une commodité appréciable.

### Le contrôleur

Le contrôleur se présente sous la forme d'un coffret regroupant des cartes au format VME et des cartes reliées par un bus spécifique (Bus CCD). Les deux bus communiquent au moyen d'une carte d'interface.

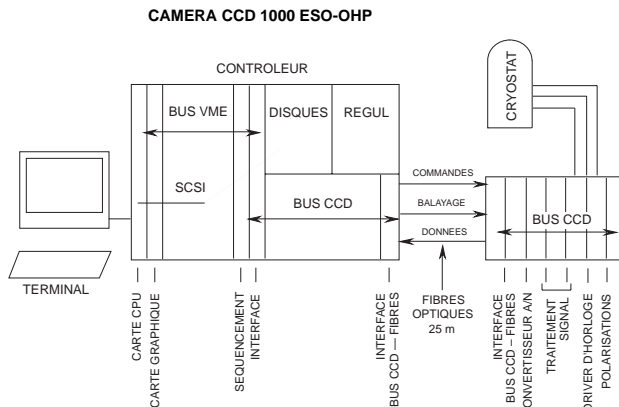
Les signaux de balayage et de polarisation sont appliqués au CCD par l'intermédiaire de liaisons blindées entre le contrôleur et le cryostat. Le signal de sortie du CCD est amplifié sur la carte support du CCD et la sortie des amplificateurs est transmise en mode différentiel au contrôleur où s'effectue le traitement et la numérisation.

Cette architecture présente deux inconvénients majeurs qui ont été éliminés dans une deuxième version.

a) Si le CCD est monté sur un télescope, le contrôleur ne peut pas être fixé à proximité car il comporte un disque dur qui doit être maintenu dans une position fixe. Cet inconvénient disparaît cependant si le CCD se trouve sur un montage fixe (Cas du spectromètre *Elodie*).

b) Les alimentations à découpage sont à proximité des cartes de traitement du signal et des "drivers" d'horloge et induisent un bruit parasite important.

C'est ainsi qu'est apparue une dégradation du bruit du CCD utilisé avec *Elodie*, qui est passé progressivement de  $8.5 e^-$  à  $13 e^-$ , sans doute à cause d'une évolution des caractéristiques de l'alimentation et aussi de son remplacement à la suite d'une panne.



**Figure 1.** L'état du bus CCD est transmis dans les deux sens à l'aide de 3 fibres optiques reliées à une carte d'interface à chaque extrémité. Cette disposition supprime les bruits parasites. (Le bruit du CCD *Elodie* a été ramené à  $8 e^-$ ). Par contre, elle limite la rapidité du balayage ( $1 \mu s$  au minimum pour un état des signaux de phase) car les états du balayage sont transmis en série au coffret annexe. Ceci n'est pas gênant pour notre application mais cette limitation disparaîtra dans une version ultérieure comportant également la carte de séquençage dans le coffret annexe.

Dans une deuxième version mise en œuvre au télescope de 120 puis avec le CCD *Elodie*, le bus CCD et ses circuits ont été déportés dans un coffret annexe placé près du cryostat et alimenté en continu à partir du coffret principal du contrôleur (Fig. 1).

Le bus VME relie les cartes suivantes: la carte CPU Eurocom 5 d'Eltec, la carte graphique MIG d'Eltec, la carte de séquençage (ESO ou OHP) et la carte contrôleur DMA et interface bus CCD. Le bus CCD relie les cartes suivantes : le driver d'horloges, les polarisations du CCD, l'amplification et traitement du signal vidéo et le convertisseur A/N

### Carte CPU

C'est une Eurocom 5 d'Eltec avec un processeur 68020 de Motorola à 16 Mhz, une mémoire de 4 Moctets, Elle est connectée au réseau à l'aide d'une interface Cheapernet (Carte IPIN-1300). Les données numérisées de l'image sont écrites dans la mémoire de la carte CPU en mode DMA. Une carte mémoire supplémentaire peut être ajoutée pour la mise en œuvre de CCD plus grands. La carte E5 qui n'est plus réalisée peut être remplacée par des cartes plus récentes et plus performantes.

### Carte graphique

C'est une carte MIG d'Eltec avec une définition de  $1024 \times 768$  à 60 Hz non entrelacé. L'affichage se fait avec 256 couleurs parmi 16 million selon la table de couleurs. La mémoire image a une dimension de  $1K \times 1K$ . Les valeurs des pixels sont transmises à la carte graphique par la carte CPU après recalibrage entre un seuil inférieur et un seuil supérieur.

### Carte de séquençement

Une première version développée à l'ESO et basée sur un circuit ADSP 1401 d'Analog Devices a été abandonnée à la suite de l'arrêt de fabrication de ce circuit.

### Version développée à l'OHP

Elle est basée sur un circuit DSP56001 de Motorola. Ce circuit comporte une petite mémoire interne de programme limitée à 512 mots de 24 bits, mais largement suffisante pour gérer toutes les phases du balayage d'un CCD. Deux autres mémoires internes X et Y de  $256 \times 24$  bits chacune sont chargées, l'une avec des suites d'états correspondant à des phases du balayage (par ex : décalage ligne, décalage pixel etc.), l'autre avec les valeurs du binning H et V et les paramètres des fenêtres successives. Le circuit DSP comporte un port permettant de charger les mémoires de programme et de données lors de l'initialisation. Des vecteurs d'interruptions envoyés sur ce port permettent ensuite de lancer le balayage d'effacement, puis de passer à la pose, ou à la lecture du CCD.

Il n'existe pas sous OS9 d'assembleur permettant de produire les codes instruction du DSP 56001 à partir d'un code assembleur. C'est pourquoi il a été créé en langage C. La mise au point d'un assembleur est une tâche redoutable sauf si on se limite comme c'est le cas ici à quelques instructions (18 en tout) de mouvement des données, de boucle, de répétition, de test et de saut .

Les différents états du balayage sont présentés sur le port de sortie à 24 bits du DSP. Une instruction REP  $n$  (répétition  $n$  fois) associée à NOP (instruction qui ne fait rien) permet de régler très simplement les durées des états du balayage.

### Carte contrôleur DMA et carte d'interface

Le contrôleur DMA (64450 de Motorola) fonctionne en mode DMA chaîné. La mémoire image dans la carte CPU est organisée sous forme de lignes mises bout à bout correspondant aux lignes complètes du CCD. A chaque portion de ligne du CCD incluse dans une fenêtre de lecture, correspond dans un tableau de chaînage situé en mémoire de la carte CPU, l'adresse de départ en mémoire et le nombre de pixels ou mots mémoire. Ces données sont lues par le contrôleur DMA au début de l'acquisition puis avant chaque portion de ligne mise en mémoire.

Le contrôleur DMA comporte 4 canaux associés chacun à une sortie du CCD. Les données produites par le convertisseur A/N transitent par une mémoire FIFO de  $1K \times 18$  située sur la carte d'interface reliée à la carte DMA. Ceci permet de ne pas perdre des pixels si la carte CPU est occupée à traiter des protocoles réseau Ethernet qui sont prioritaires sur les accès DMA.

### Driver d'horloges

Il reçoit les signaux de balayage aux niveaux TTL transmis par le bus CCD et les adapte aux niveaux hauts et bas déterminés par des potentiomètres en face avant.

### Polarisations du CCD (CCD bias)

La carte fournit 4 tensions ajustables entre 0 et 25 V et 4 tensions ajustables entre  $-10$  et  $+10$  V. Le réglage des tensions est effectué par des potentiomètres en face avant.

### Carte de traitement du signal (DCDS)

Cette carte effectue une double intégration du signal vidéo avec soustraction du bruit de remise à zéro. Le gain des amplificateurs peut être choisi dans un rapport 1, 2, 5 ou 10. Il y a deux voies par carte, reliées chacune à une sortie du CCD. Deux cartes sont nécessaires pour utiliser les quatre sorties du CCD.

### Convertisseur A/N

Le convertisseur est un ADAM 826-1 d'Analogic vendu par la Sté Micro Puissance. C'est encore un des meilleurs convertisseurs 16 bits existant sur le marché. Pour une durée de conversion de  $2.5 \mu s$ , il possède une non linéarité différentielle de  $\pm 1/4$  LSB typique et un bruit de  $60 \mu V$  pour une entrée de 0 à 10 V.

## Le cryostat

Les CCD TK1024 du télescope de 120 et du spectromètre *Elodie* ont été montés dans des cryostats de la Sté Infra Red qui ont une autonomie de 24 h environ. Pour assurer un bon contact thermique, une feuille de graphite malléable (fournisseur Radiospare Composants) est interposée entre le boîtier du CCD et le bloc de refroidissement. La régulation en température est effectuée avec une précision meilleure que 0.1°C par un régulateur Eurotherm A900.

Un réservoir de charbon actif assure l'adsorption des gaz résiduels entre les pompes du cryostat. Il est mis en contact de la plaque froide (-196 °C) du cryostat par l'intermédiaire de colonnettes en alumine. A la température de l'azote liquide, ce matériau possède une conductivité thermique 50 fois supérieure à celle mesurée à la température ambiante. Grâce à cette propriété, pour un dimensionnement calculé de ces colonnettes, on peut réchauffer le charbon actif pour le dégazer au pompage sans perdre trop de calories dans le cryostat et sans risque d'échauffement excessif du CCD. Par contre, à la mise en froid, la température du charbon actif est voisine de celle de l'azote liquide.

## Conclusion

Après un certain nombre de modifications, le contrôleur développé il y a plus de 10 ans à l'ESO est resté tout à fait adapté à la mise en oeuvre de CCD modernes. De nombreux modes de balayage avec lecture à une ou plusieurs sorties, limitée à des fenêtres et avec regroupement des pixels, peuvent être créés simplement par logiciel à partir du terminal du contrôleur. Le problème crucial du bruit engendré par la proximité des alimentations a été résolu en déportant les circuits analogiques dans un coffret séparé qui a l'avantage d'être peu encombrant. Une variante existe avec la carte de séquençage dans le coffret séparé. Avec cette configuration, la partie VME du système pourrait être remplacée par un PC qui bénéficie d'un environnement beaucoup plus riche en matériels et logiciels et ceci à des prix moins élevés.

## Rosalie

Un projet de spectro-imageur pour le foyer Cassegrain du télescope de 1m93, appelé *Rosalie*, a fait l'objet d'une demande de moyens à INSU pour 1998. Il s'agit d'un instrument, inspiré d'EFOSC (en service à l'ESO), pour la spectrographie d'objets allant jusqu'à la magnitude 19, avec ou sans fente. Il sera doté d'un module de type TIGRE, appelé *Magali*, pour la spectrographie intégrale de champ. L'ensemble est un projet IGRAP (Observatoire de Haute-Provence et Observatoire de Marseille) en collaboration avec le CRAL (Observatoire de Lyon). Le responsable scientifique est P.Véron, le co-responsable est H.Wozniak et le chef de projet est D. Lacroix. Pour avoir plus d'informations sur l'instrument proposé, consultez la page qui lui est consacrée sur le serveur de l'OHP:

<http://www.obs-hp.fr/www/forum/rosalie.html>

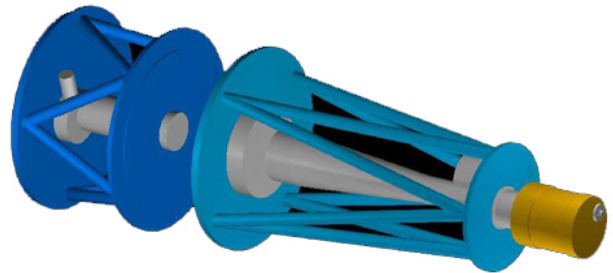


Image 3D de synthèse obtenue avec *AutoCad* par Daniel Lacroix. Le spectro-imageur est la structure longue au centre. Le module TIGRE est à gauche. Le cryostat avec le CCD est le cylindre à droite

La Lettre de l'OHP est disponible en format HTML, PostScript et PDF sur le serveur Web de l'OHP

<http://www.obs-hp.fr/www/lettre-ohp/no-17/tdm.html>

Editeur : S.A.Ilovaisky

[ilovaisky@obs-hp.fr](mailto: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>

