

SOPHIE, le nouveau spectrographe de l'OHP Spectrographe pour l'Observation des Phénomènes des Intérieurs stellaires et des Exoplanètes



Dossier de presse pour l'inauguration du 30 novembre 2006

Contacts presse :

- CNRS : Claire Le Poulennec
T : 01 44 96 49 88, claire.le-poulennec@cnrs-dir.fr
- INSU :
 - Philippe Chauvin
T : 01 44 96 43 36, philippe.chauvin@cnrs-dir.fr
 - Guillaume Duveau
T : 01 44 96 43 13, guillaume.duveau@cnrs-dir.fr
- OAMP, OHP, LAM : Thierry Botti
T : 04 95 04 41 06, thierry.botti@oamp.fr

Sommaire

1. Réaliser le digne successeur du spectrographe ELODIE	p3
2. Le projet SOPHIE	p4
3. Objectifs scientifiques	p5
4. Conception de SOPHIE	p7
5. Performances	p8
6. Contacts	p9
7. Pour en savoir plus	p10
8. Images	p11

Programme de l'inauguration

- 11H-12H : Cérémonie d'inauguration de SOPHIE
 - **Michel Boër**, directeur de l'Observatoire de Haute-Provence
 - **Yvan Massiani**, vice-président de l'Université de Provence Aix-Marseille 1
 - **Dominique Le Quéau**, directeur de l'Institut national des sciences de l'Univers du CNRS
 - **André Peta**, maire de Saint Michel l'Observatoire
 - **Jacques Echalon**, vice-président du Conseil Général des Alpes de Haute-Provence
 - **Christophe Castaner**, vice-président de la région PACA
 - **Claude Domeizel**, sénateur des Alpes de Haute-Provence
 - **Anne Laubiès**, sous-préfet des Alpes de Haute-Provence
- 12H-12H30 : Présentation du spectrographe SOPHIE
 - **François Bouchy**, astronome à l'Observatoire astronomique Marseille Provence et à l'Institut d'astrophysique de Paris
 - **Stéphane Udry**, astronome à l'Observatoire de Genève
 - **Denis Gillet**, directeur de recherche CNRS à l'Observatoire de Haute-Provence
- 12H30 : Déjeuner (buffet) en présence des chercheurs et ingénieurs impliqués dans SOPHIE

1. Réaliser le digne successeur du spectrographe ELODIE

a. Succès d'ELODIE

En 1995, le spectrographe ELODIE de l'Observatoire de Haute-Provence (OHP) permettait la découverte, par M. Mayor et D. Queloz de l'Observatoire de Genève, de la première planète en orbite autour d'une autre étoile que notre Soleil : 51Pegb. Après une douzaine d'années de fonctionnement, ELODIE a su prouver son efficacité dans la recherche de ces exoplanètes, avec une vingtaine de découvertes, mais aussi en physique stellaire.

- 22 planètes extrasolaires détectées dont 1 exoplanète à transit
- autres recherches effectuées avec ELODIE :
 - mesure des vitesses de rotation
 - détection d'étoiles de très faibles masses
 - astérosismologie
 - dynamique du plan galactique
 - détermination des paramètres atmosphériques

Limitations d'ELODIE

L'amélioration des techniques instrumentales ainsi que la demande répétée des utilisateurs ont conduit l'OHP à concevoir et construire un nouvel instrument encore plus performant, ELODIE montrant progressivement un certain nombre de limitations :

- faible efficacité lumineuse
- précision limitée
- lumière parasite
- résolution spectrale limitée

2. Le projet SOPHIE

Le spectrographe de nouvelle génération SOPHIE, installé au foyer du télescope de 1,93 m de l'**Observatoire de Haute Provence**, a nécessité trois années de développement par une équipe d'une vingtaine de chercheurs, ingénieurs et techniciens de l'OHP, en collaboration avec :

- le **Laboratoire d'astrophysique de Marseille (LAM)**, pour les contrôles et collages optiques ; Le LAM s'est aussi fortement impliqué, aux côtés de l'OHP, dans la réalisation et les contrôles du train de fibre
- l'**Observatoire de Genève**, pour les logiciels de réduction des données, les études et réalisations de certains éléments mécaniques.

Moyens

- Financiers : 531 k€ dont :
 - 53 % financés par l'**Institut national des sciences de l'Univers du Centre national de la recherche scientifique (INSU-CNRS)**
 - 47 % financés par le **Conseil Régional Provence-Alpes-Côte-d'Azur**
- Humains : 23 personnes-an sur 3 ans
- Coût consolidé : environ 1.8 M€

Principales entreprises impliquées

- Optique principale : **Optical Surfaces** (GB) représenté en France par **Trio Optics France** (38160 Saint Romans)
- Réseau échelle : **Richardson Gratings** (groupe **Spectra Physics**, USA)
- Détecteur CCD : **E2V Technologies** (GB)
- Structure mécanique en granit : **Microplan France** (23360 La Forêt du Temple)
- Cuve des éléments dispersifs : **SDMS S.A.** (38160 Saint Romans)

Calendrier

- 2003 : début du projet SOPHIE
- juin 2006 : première lumière en laboratoire
- juillet 2006 : installation au foyer du 1,93m de l'OHP
- août 2006 : première lumière
- septembre-octobre 2006 : validation scientifique par des experts de la communauté astronomique franco-suisse
- septembre 2006 : détection de 2 nouvelles exoplanètes en collaboration avec le programme photométrique britannique SuperWasp
- novembre 2006 : ouverture à la communauté scientifique

3. Objectifs scientifiques

Détection par mesure de vitesses radiales et caractérisation des planètes extrasolaires

SOPHIE sera mobilisé pour cette thématique 200 nuits par an, sur laquelle travailleront 22 chercheurs franco-suisse.

On connaît aujourd'hui plus de 200 planètes autour d'étoiles autres que le Soleil. Parmi ces exoplanètes, la recherche et la caractérisation des planètes dites à transit font partie des études de pointe en exoplanétologie. Elles associent deux techniques de détection. La première technique sur la faible diminution périodique de la luminosité d'une étoile lorsqu'une planète passe devant son disque ; on parle alors de « transit photométrique ». La seconde technique est fondée sur l'infime perturbation du mouvement de l'étoile due à la présence d'une planète en orbite autour de celle-ci ; c'est la méthode des vitesses radiales. Alors que la première technique donne une information sur la taille du compagnon, la seconde permet de caractériser la masse et donc de valider la nature même de l'objet en orbite. Ces deux paramètres, rayon et masse, permettent de déterminer la densité de ces exoplanètes et ainsi d'apporter de précieuses informations sur leurs propriétés internes, ce qui permet de les comparer aux planètes de notre système solaire. Avec les moyens d'observation actuels, seule la combinaison de ces deux méthodes permet de caractériser ainsi les exoplanètes mais la détection des transits n'a été jusqu'à présent que très rarement possible. Parmi les 200 exoplanètes recensées à ce jour, seulement 12 planètes à transit ont été détectées et caractérisées.

Un des objectifs de SOPHIE est la mesure des vitesses radiales et sera le complément Nord du spectrographe HARPS, conçu et réalisé par la même équipe franco-suisse de SOPHIE et installé au foyer du télescope de 3.6 m de l'Observatoire Européen Austral (ESO). SOPHIE sera également un allié indispensable au satellite Corot du CNES qui sera lancé fin décembre et dont le double objectif est la détection d'exoplanètes par transit photométrique et l'étude des intérieurs stellaires.

Les enjeux de SOPHIE en exoplanétologie seront :

- d'élargir l'échantillon d'étoiles actuellement observé (~3000 étoiles en plus)
- de poursuivre la recherche des planètes « longues période » commencée sur ELODIE
- de détecter des planètes de masses plus faibles (Neptunes chauds et super-Terres)
- de détecter des systèmes planétaires multiples
- d'étendre la recherche d'exoplanètes autour d'étoiles très variées
- de caractériser la masse des objets détectés par transit photométriques
- de préparer les futurs programmes d'interférométrie sols (VLTi) ou spatiaux (DARWIN)

Etude de l'intérieur des étoiles (astérosismologie) et activité stellaire

La physique de l'intérieur des étoiles est assez mal connue. Ceci se traduit par une incertitude sur les modèles de structure interne et sur les modèles d'évolution stellaire, par conséquent sur tous les domaines de l'astrophysique qui utilisent ces résultats. La sismologie est un outil très performant pour sonder l'intérieur des étoiles. Elle apporte ainsi des contraintes indispensables sur la structure interne. Cette méthode « l'héliosismologie » est utilisée sur le Soleil et fournit des informations pertinentes sur la structure interne (rotation interne, taille de la zone convective...). La sismologie stellaire est actuellement en plein essor. La possibilité pour la communauté française de disposer d'un spectrographe d'accès facile, de haute stabilité et de haute précision, sera un atout majeur fondamental pour l'astérosismologie. Alors qu'ELODIE ne permettait que de mener ce type d'étude sur une poignée d'objets, SOPHIE pourra sonder les intérieurs stellaires sur un échantillon significatif d'étoiles brillantes de type solaire. SOPHIE permettra ici aussi de compléter judicieusement le satellite COROT dédié pour moitié à l'astérosismologie.

Spectrophotométrie et mesures d'abondances dans les atmosphères stellaires

L'étude des atmosphères stellaires permet aujourd'hui grâce d'une part au développement considérable de la qualité et de la sensibilité des spectrographes à haute résolution spectrale et au surcroît de puissance énorme des calculateurs d'autre part, de réaliser des observations de très grande finesse et des modèles permettant une comparaison de l'ordre du "1%". Ainsi le domaine de la dynamique des atmosphères stellaires, et le problème fondamental de l'origine de leur perte de masse, est depuis quelques années en plein développement. En particulier, l'observation précise de l'évolution temporelle des profils de raie à haute résolution spectrale lors du développement des chocs est déterminante pour la compréhension des phénomènes physiques survenant dans les étoiles. Les études d'abondances et l'étude fine des raies à partir d'une bonne « photométrie d'extraction de l'information CCD » connaîtront également un gain très appréciable dans ce domaine de recherche.

Etude dynamique de notre Galaxie

La mesure des vitesses d'une grande population d'étoiles dans notre Galaxie est un atout essentiel permettant de contraindre les paramètres des différents composants de la Galaxie (disque mince, disque épais, halo stellaire, bulbe), chacun possédant des caractéristiques dynamiques propres. Les vitesses des étoiles du disque sont ainsi, par exemple, directement liées à l'échelle de hauteur de celui-ci. Des études de distributions de vitesses et de composition chimique des populations stellaires de la Galaxie ont pu être menées sur ELODIE et ont conduit la détermination de la densité de masse et l'épaisseur du disque Galactique jusqu'à 800 pc. Le module haute efficacité de SOPHIE permettra d'étendre cette analyse à une population encore plus nombreuse (temps de pose SOPHIE beaucoup plus court pour disposer du même S/N qu'avec ELODIE) et surtout beaucoup plus profonde grâce à la sensibilité accrue de SOPHIE. Une telle analyse rentre dans le cadre de la préparation puis de l'accompagnement à la mission spatiale GAIA de l'ESA, en donnant la troisième composante de la vitesse sur un large échantillon d'objets.

4. Conception de SOPHIE

Principe

SOPHIE est un spectrographe astronomique alimenté par fibres optiques. Il couvre tout le domaine visible du bleu (380 nm) au rouge (680 nm) avec un pouvoir de résolution de 68 000 permettant une analyse fine des raies d'absorption stellaires. Ses particularités sont que : 1) l'instrument a été conçu pour être le plus lumineux possible ; 2) sa mécanique de précision lui assure une très grande stabilité ; 3) les éléments optiques qui dispersent la lumière sont enfermés dans une cuve étanche remplie d'azote pur ; 4) l'asservissement thermique de l'instrument est réalisé au centième de degré ; 5) il est alimenté par 4 fibres optiques permettant d'observer dans 6 configurations différentes.

Système optique

Il s'agit d'un système Schmidt en double passage avec disperseur croisé à prismes et foyers collimateur et chambre sortis. Les caractéristiques des principaux éléments sont :

- miroir sphérique : 500 mm x 460 mm
- miroir plan : Ø 440 mm
- lame asphérique : Ø 320 mm, épaisseur 25 mm
- prisme : 220 mm x 270 mm x 155 mm
- réseau échelle : 220 mm x 420 mm x 74 mm, 52.67 traits/mm, angle de blaze 65° (obtenu par réplique d'un master gravé spécifiquement pour SOPHIE)
- détecteur aminci : 2k x 4 k pixels de 15 µm, 30,72 mm x 61,44 mm
- liaison fibrée du télescope au spectrographe : 4 fibres optiques Ø 100 µm, longueur 17m, comprenant les optiques d'adaptation d'ouverture numérique et de stabilisation de flux lumineux

Environnement

- stabilité de la structure mécanique: fixée à une masse sismique permettant de s'affranchir des vibrations générées par les mouvements du télescope et de sa coupole
- stabilité thermique du local : ± 0.01 °C
- stabilité de la pression de la cuve des éléments dispersifs : ±1 µbar

5. Performances

Les qualités du spectrographe SOPHIE vont permettre de mener ces 10 prochaines années des programmes extrêmement ambitieux malgré la taille modeste du télescope. En effet alors que les programmes sur le long terme demandant un grand nombre de nuits de télescopes sont impossibles à mener sur les très grands télescopes, ils le sont par contre sur des télescopes de tailles moyennes comme le 1,93 m de l'OHP.

- résolution spectrale : 68 000 (1.6 fois plus qu'ELODIE)
- efficacité lumineuse : (par rapport à ELODIE : 3 magnitudes de gain, ce qui permet d'observer des étoiles 20 fois moins lumineuses)
- stabilité Vitesse Radiale : 3 m/s en mode non encore optimal (soit déjà 4 fois plus précis qu'ELODIE) mais 1 m/s attendu après optimisation
- 10 fois moins de lumière parasite qu'ELODIE

6. Contacts

Michel Boër, directeur de recherches au CNRS et directeur de l'Observatoire de Haute-Provence. Michel Boër travaille plus particulièrement sur les sources de hautes énergies et les sursauts gamma cosmiques qui sont de gigantesques explosions d'étoiles massives à des distances cosmologiques. Spécialiste des télescopes robotiques, grâce aux expériences qu'il dirige ou auxquelles il participe il a pu détecter les sources les plus lointaines connues. Il effectue aussi des travaux en instrumentation et en traitement du signal et des images, et développe une activité d'observation et de comparaison des données multi-longueur d'onde. Il a été ou est membre de diverses collaborations pour des expériences au sol ou spatiales. Plusieurs de ses travaux ont fait l'objet de valorisations techniques ou économiques. Il a des activités d'enseignement et de vulgarisation et est, ou a été, membre de plusieurs instances au sein ou en dehors du CNRS.

T : 04 92 70 64 00, michel.boer@oamp.fr

Francois Bouchy, instrumentation scientifique. François Bouchy est astronome à l'Observatoire astronomique Marseille Provence et à l'Institut d'astrophysique de Paris. Il a participé aux développements de spectrographes astronomiques tels que HARPS (3,6m, ESO) et SOPHIE (1,93m, OHP) pour la recherche des planètes extrasolaires. Chercheur principal du consortium exoplanètes SOPHIE et co-chercheur du projet CoRoT, ses sujets de recherche portent sur la détection et caractérisation des planètes extrasolaires ainsi que sur l'astérosismologie.

T : 01 44 32 80 79, bouchy@iap.fr

Denis Gillet, chercheur principal. Denis Gillet est directeur de recherche au CNRS et travaille à l'Observatoire de Haute-Provence depuis 1984. C'est un spécialiste de l'hydrodynamique supersonique des atmosphères stellaires et en particulier des étoiles pulsantes. Comme pour SOPHIE, il a été également à l'initiative du spectrographe AURELIE du télescope de 1,52 m de l'OHP. Il a largement basé ces études théoriques sur les données spectroscopiques à haute résolution spectrale obtenues notamment avec les spectrographes de l'OHP.

T : 04 92 70 64 58, denis.gillet@oamp.fr

Lucien Hill, chef de projet. Lucien Hill est ingénieur de recherche CNRS au Laboratoire d'astrophysique de Marseille. Il a collaboré au développement de plusieurs instruments pour l'astronomie au sol et dans l'espace, à la fois au LAM et à l'OHP. Parmi les instruments encore en opération, on peut citer le coronographe LASCO de la mission SOHO de l'ESA, destinée à l'étude du soleil, et le spectrographe VIMOS pour le VLT de l'ESO, dédié aux grands sondages cosmologiques. En 2002, il a été chargé de la réorganisation des services techniques de l'OHP, afin de l'adapter aux évolutions structurelles, générationnelles et méthodologiques auxquelles l'observatoire était confronté.

T : 04 91 05 59 14, lucien.hill@oamp.fr

7. Pour en savoir plus

- Site du spectrographe SOPHIE : <http://xserve.obs-hp.fr/sophie.html>
- Communiqué de presse INSU-CNRS sur la découverte par SOPHIE de deux exoplanètes à transit : <http://www.insu.cnrs.fr/web/article/art.php?art=1916>
- Site du spectrographe HARPS :
<http://www.ls.eso.org/lasilla/sciops/3p6/harps/index.html>
- Site du télescope spatial COROT : <http://smc.cnes.fr/COROT/Fr/>
- Site d'information grand public de Gaia :
http://www.esa.int/esaSC/120377_index_0_m.html et implication française :
<http://wwwhip.obspm.fr/gaia/presentation.html>

8. Images



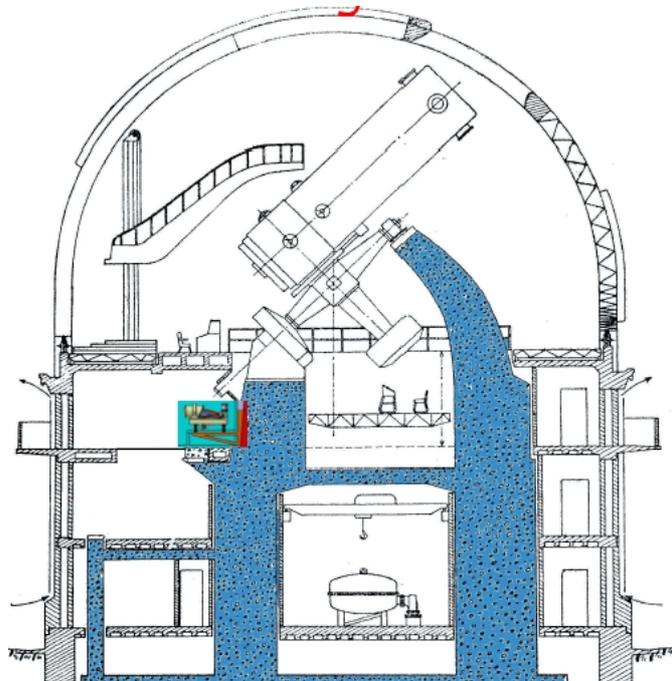
Le télescope de 1,93m de l'Observatoire de Haute-Provence.
Crédit : OHP, CNRS.



Intégration du spectrographe SOPHIE au télescope de 1,93m de l'Observatoire de Haute-Provence.
Crédit : OHP, INSU, CNRS.



Le spectrographe SOPHIE.
Crédit : OHP, INSU, CNRS.



Vue en coupe de l'intégration du spectrographe SOPHIE au télescope de 1,93m de l'Observatoire de Haute-Provence.
Crédit : OHP, INSU, CNRS.