

# LE TÉLESCOPE CANADA-FRANCE-HAWAII

par Roger CAYREL

*Astronome titulaire de l'Observatoire de Paris*

Le télescope Canada-France-Hawaii (1) est, avec le télescope de 3,60 m de l'ESO, le plus grand télescope optique auquel les astronomes français ont régulièrement accès. Il n'est donc pas inutile de le décrire ici avec les réserves qu'impose le fait que cet instrument est encore dans sa phase de rodage, et que seulement deux foyers sur quatre ont été mis en service à ce jour (1982).

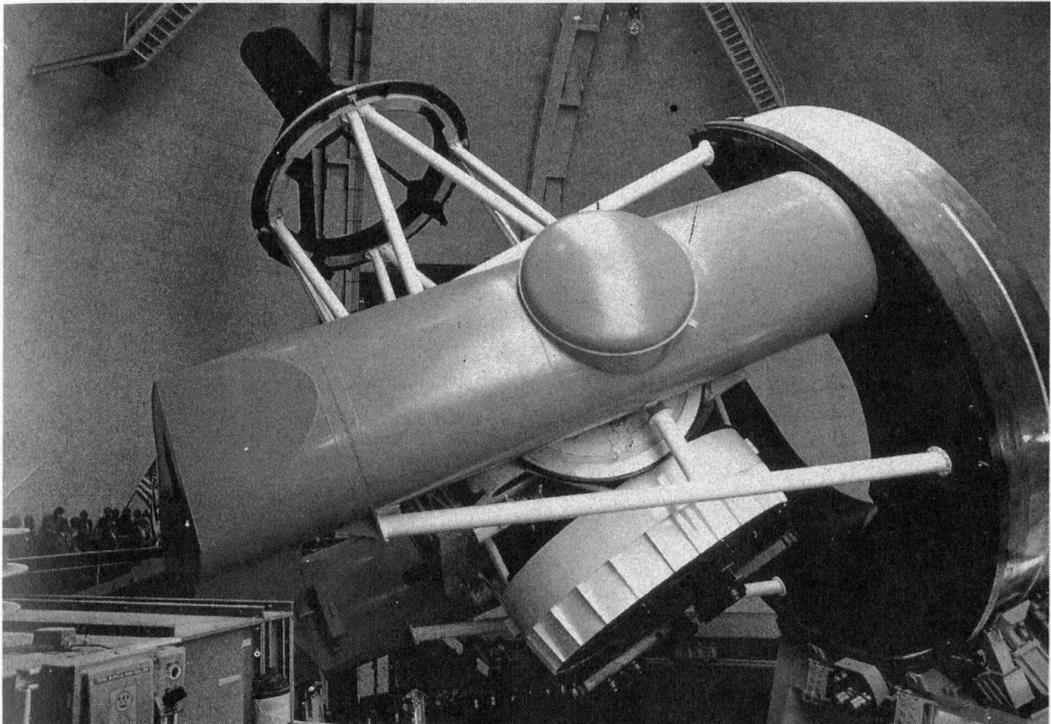


Fig. 88. — Le télescope Canada-France-Hawaii, le jour où il a été inauguré.

*(Photographie CFHT)*

Tout d'abord essayons de replacer ce télescope (fig. 88) dans l'évolution générale des grands instruments optiques de l'après guerre. De 1918 à 1948 le télescope de 2,50 m du Mont Wilson était le plus grand télescope du monde. En 1949 le télescope de 5 m du Mont Palomar (5,08 m) a pris le relais du titre et l'a gardé 27 ans. Une moisson exemplaire de résultats a été obtenue par cet instrument, tant due à l'extraordinaire réussite technologique de ce télescope, pour l'époque où il a été réalisé, qu'à la créativité et l'efficacité des hommes qui ont eu le privilège de l'employer.

(1) Voir couverture II : Le télescope Canada-France-Hawaii, schéma « coudé ». (Photographie CFHT).

L'accroissement considérable du nombre des astronomes entre 1945 et 1965 a fait qu'une pression importante s'est développée pour que d'autres grands télescopes optiques soient mis en chantier, le télescope du Mont Palomar restant principalement utilisé par un petit nombre d'astronomes du *California Institute of Technology* et du *Mount Wilson Observatory*, à Pasadena.

## Le télescope

Une véritable floraison de télescopes optiques d'environ 4 mètres de diamètre s'est alors produite. Les premiers furent les deux télescopes jumeaux de Kitt-Peak (1973) et de Cerro Tololo (1974), suivis par le télescope Anglo-Australien (1976), le télescope de 3,60 m de l'ESO (1976), le télescope de 3 m de Lick (1959), le télescope Canada-France-Hawaii (1979) et, dernier de la série, le télescope allemand de Calar Alto en Espagne qui n'est pas encore achevé. Un seul télescope d'un diamètre supérieur à 4 mètres a été construit après Palomar : le télescope soviétique de 6 m de Zelentchouk, mis en service en 1976.

Il est difficile d'expliquer ce qui justifie la construction, à budget donné, d'un demi-télescope de 4 m plutôt que de 3/10<sup>e</sup> d'un télescope de 5 m (à supposer que l'on trouve des partenaires pour les 5/10 ou 7/10 restants).

L'explication de la concentration des diamètres autour de 4 m tient, d'une part, sans doute largement aux contraintes financières qui pesaient sur les organismes ayant financé la construction de ces télescopes, mais aussi à ce que, en conservant la technologie du miroir primaire monolithique épais, les difficultés mécaniques croissent rapidement avec le diamètre du miroir primaire; des difficultés sérieuses apparaissent aussi dans l'optique des spectrographes associés à un télescope à très grand miroir primaire.

Le télescope Canada-France-Hawaii fait donc partie de cette famille nombreuse des « près de 4 mètres » et il faut dire un mot des quelques avancées technologiques dont il bénéficie, comme d'ailleurs ses « frères de lait ».

Le premier point est sans nul doute le matériau et la qualité du miroir primaire. Un des gros problèmes de jeunesse du Mont Palomar avait été les déformations thermiques importantes du miroir de Pyrex avec une face (celle regardant le ciel) qui se refroidissait pendant la nuit alors que l'autre restait plus chaude. Le développement de la silice fondue puis du Cervit (encore supérieur) ont virtuellement permis de se débarrasser du problème des déformations thermiques du miroir primaire.

Le télescope Canada-France-Hawaii bénéficie du meilleur de ces matériaux, le Cervit, avec un coefficient de dilatation voisin de  $10^{-7}$ .

Parallèlement, les opticiens devenaient de plus en plus adroits pour réaliser des miroirs primaires avec une méridienne presque parfaite et une

## LE TÉLESCOPE CANADA-FRANCE-HAWAII

concentration de lumière dans l'image, abstraction faite des perturbations aériennes, se rapprochant des limites de la diffraction. Le miroir primaire du télescope Canada-France-Hawaii concentre 50 % de l'énergie lumineuse dans un diamètre de  $0''.2$ , diamètre qui est celui du deuxième anneau brillant de la figure de diffraction théorique.



Fig. 89. — Coupole du Télescope Canada-France-Hawaii.

*(Photographie CFHT)*

Au point de vue mécanique le télescope du Mont Palomar étant déjà presque parfait il était difficile d'innover beaucoup. Le télescope Canada-France-Hawaii (CFH) est mécaniquement plus proche du Palomar que les autres télescopes de 4 m de sa génération. Alors que les autres télescopes

ont l'axe de déclinaison placé dans le fer à cheval (Kitt Peak, Cerro Tololo, Anglo-Australien) ou en avant du berceau (ESO), le télescope CFH a son axe de déclinaison au 1/3 du berceau, ce qui facilite considérablement l'accès au foyer Cassegrain et les manœuvres au moment des réaluminiures du miroir primaire de 3,60 m de diamètre.

L'innovation mécanique principale du télescope CFH est son entraînement au nord, par une roue dentée géante de 10 m de diamètre, montée à la périphérie du fer à cheval. Cette innovation donne une grande rigidité à l'asservissement du mouvement horaire, la structure étant entraînée là où l'inertie est la plus élevée.

Un autre point qui n'est pas spécial au télescope CFH mais commun à cette génération de télescopes des années 60-80 est le rôle de l'électronique et de l'informatique dans l'asservissement et le pointage du télescope. L'attitude du télescope, repérée par des codeurs numériques, est comparée à chaque instant aux coordonnées théoriques de l'objet visé, corrigées par des ordinateurs de la réfraction, des défauts de l'entraînement et des flexions reproductibles de la structure. Ceci donne à cet instrument la capacité d'atteindre une précision de pointage qui sera de quelques secondes de degré, lorsque les flexions de l'instrument auront été calibrées.

Un troisième point commun au télescope CFH et aux autres télescopes de sa génération est la facilité d'échanger la partie supérieure du télescope avec une autre, ce qui permet, d'une part de disposer de plusieurs configurations du télescope adaptées à différents besoins (anneau de tête spécial pour le foyer infrarouge par exemple) et, d'autre part, de laisser la porte ouverte à des configurations nouvelles qui ne sont pas encore prévisibles.

Les anneaux de tête actuellement construits sont au nombre de 3 : celui comportant la cage primaire et les miroirs de renvoi vers le foyer coudé, celui du miroir Cassegrain secondaire  $f/8$ , et celui du miroir Cassegrain oscillant pour l'infrarouge à  $f/35$ .

Le bâtiment et la coupole (fig. 89) d'un télescope sont un élément auxiliaire d'une grande importance. Le problème numéro un est le micro-climat dans la coupole, dans la partie traversée par le faisceau de lumière formant l'image. Il est fréquent que des hétérogénéités dans l'air de la coupole contribuent à l'élargissement des images données par le télescope. Pour éviter ce phénomène, un plancher refroidi a été installé dans la coupole. Un gradient thermique stabilisateur (air dense en bas, légèrement plus froid que l'air à la température extérieure au niveau de la trappe) empêche alors des mouvements de convection dans le faisceau. Ce procédé a été employé avec succès pour la première fois au télescope astrométrique du *Naval U.S. Observatory* à Flagstaff.

Bien sûr, il reste d'autres causes de détérioration, comme des points chauds (moteurs, armoires contenant de l'électronique), et des points froids qui se produisent lorsque certaines parties de la structure, exposées au

## LE TÉLESCOPE CANADA-FRANCE-HAWAII

refroidissement radiatif externe vers le ciel, particulièrement transparent en infrarouge à Hawaii, prennent une température d'équilibre inférieure à celle de l'air ambiant.

Dans l'état actuel des choses, il est manifeste que l'existence du plancher refroidi joue un rôle déterminant dans la préservation de la qualité des images, laquelle se dégrade immédiatement lorsque le plancher refroidi n'est pas activé.

### Le site

Le sommet appelé le Mauna Kea (la montagne blanche en hawaïen) culmine à 4 200 m sur une île de quelque 10 000 km<sup>2</sup> en plein océan Pacifique, à 3 000 km à l'ouest du continent américain, à + 19°45' de



Fig. 90. — Vue du Mauna Kea.

On remarquera les cônes de cendres volcaniques et la couche de cumulus beaucoup plus basse que le sommet.

(Photographie CFHT)

latitude et à  $-10^{\text{h}} 21^{\text{m}} 53^{\text{s}}$  de longitude (fig. 90). C'est le plus haut sommet du Pacifique. Les qualités astronomiques de ce site ont été découvertes par Kuiper dans les années 60, et exploitées en premier lieu par l'Université de Hawaii avec le support financier de la *NASA* et de l'*US Air Force*, pour des observations planétaires. La qualité et le nombre des clichés pris par le télescope de 61 cm de la « *planetary patrol* » situé à Hawaii a

rapidement donné à ce site la réputation du meilleur site astronomique de la planète.

Sur le plan quantitatif on peut dire qu'environ 75 à 80 % des nuits sont astronomiquement exploitables, grâce au fait que le Mauna Kea est constamment au-dessus des cumulus qui plafonnent généralement la nuit à 2 000 m sur une large partie de l'île. Sur le plan qualitatif, la transparence et la stabilité photométrique de l'atmosphère au-dessus du Mauna Kea est de très haute qualité, plus de 50 % des nuits, grâce à l'altitude et à l'absence de source de pollution dans le voisinage. Également importante est l'absence de pollution par les lumières urbaines. L'Observatoire est en effet à plus de 40 km de toute agglomération et ces agglomérations ont une population globale de quelque 60 000 habitants, représentant la majeure part de la population totale de l'île. Le fond de ciel, de magnitude 23 dans la couleur B du système U, B, V, n'est pas affecté par la lumière artificielle. Une ordonnance publique contrôle depuis 1974 toutes les installations futures d'éclairages extérieurs dans l'île.

La qualité sans doute la plus précieuse de l'atmosphère pour l'astronome est la faiblesse de la turbulence atmosphérique, cette dernière étant la principale cause de dégradation des images dans les grands télescopes. Au Mauna Kea, la turbulence est faible une fraction du temps que les statistiques ne permettent peut-être pas encore de déterminer avec certitude, mais qui est bien de l'ordre de 20 à 30 % du temps d'observation, pour un élargissement inférieur ou égal à une seconde de degré, la qualité moyenne des images s'établissant sans doute autour de 1,5 seconde de degré. Des expériences de traces stellaires, faites au premier foyer du télescope par le personnel de la Société du Télescope, semblent indiquer qu'un élargissement d'une demi-seconde de degré n'est pas rare, et qu'une politique d'exploitation prioritaire de ce pouvoir de résolution exceptionnel devrait être mise en place, en préparation aux observations à venir du télescope spatial.

Enfin, des mesures systématiques faites pendant 11 mois en 1971-72 ont montré que le bruit atmosphérique en IR était, dans la fenêtre 9-14  $\mu\text{m}$ , fréquemment inférieur à  $10^{-7} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{ster}^{-1}$ , ce qui est considéré comme une excellente performance.

Ces qualités astronomiques de premier plan du site ont une contrepartie inévitable. C'est l'éloignement de tout centre urbain important avec les fournitures nécessaires à la maintenance d'une installation de technologie avancée, les services de toutes sortes, les centres universitaires et de recherches propres à l'épanouissement intellectuel du personnel et des familles, etc.

Les personnes en charge de la maintenance et des améliorations à l'installation, et leur famille, ne pouvant pas habiter plus près qu'à une heure et demie de trajet en voiture du sommet (dont une bonne part sur une piste inconfortable), beaucoup de temps de personnel est perdu en transport. Par

ailleurs l'altitude ralentit le rythme du travail et interdit tout effort physique violent. Le déneigement de la route après les chutes de neige importantes fait quelquefois perdre une ou plusieurs nuits d'observation.

Mais, tout compte fait, ces inconvénients de nature quantitative, ne neutralisent pas les avantages qualitatifs irremplaçables du site.

### L'instrumentation

Le télescope Canada-France-Hawaii a été doté d'une première instrumentation plus généreuse que beaucoup de ses « frères de lait ». Environ 4 millions de dollars ont été affectés à sa première instrumentation. Pour l'instant, seule la caméra photographique du foyer primaire, et un « *grism* » permettant de faire des spectres à très basse résolution des objets faibles dans un champ de 46' de diamètre, sont en service au foyer primaire. À cela s'ajoute un spectrographe à haute résolution au foyer coudé, muni d'un excellent détecteur de type *rélicon*.

Deux autres instruments vont être mis prochainement en service au foyer Cassegrain infrarouge : un photomètre pour les fenêtres atmosphériques de 1 à 30  $\mu\text{m}$  et un spectromètre sous vide à transformée de Fourier, pour les résolutions élevées dans l'intervalle 1 à 5  $\mu\text{m}$ .

Le foyer f/8 n'est pas encore en service, le miroir secondaire n'ayant pas encore été réceptionné. De nombreux instruments sont prévus et certains achevés pour ce foyer : une caméra à comptage de photons sur télévision, un photomètre à comptage de photons pour le domaine visible et ultraviolet, un polarimètre à très haute précision, deux spectrographes, un pour objets très faibles ponctuels et un pour objets étendus à résolution plus élevée. Le spectrographe pour objet faible sera utilisé avec des détecteurs modernes permettant de faire la soustraction du fond de ciel, indispensable lorsque l'on atteint les magnitudes 18 ou 19.

### Les premiers résultats scientifiques obtenus

Le télescope Canada-France-Hawaii a permis d'obtenir rapidement des résultats scientifiques remarquables. Dès les premières semaines de fonctionnement du télescope, Sydney van der Bergh (*Dominion Astrophysical Observatory*) a résolu pour la première fois la structure spirale de la galaxie compacte Markarian 190 classée antérieurement comme So, ou même comme elliptique. Cette galaxie apparaît ainsi comme la plus petite spirale connue à ce jour. Au mois de juin de la même année Bonneau et Foy (*Cerga et Observatoire de Paris*) observaient au premier foyer le couple Charon-Pluton et résolvaient complètement pour la première fois la planète de son satellite. Les composantes sont si proches l'une de l'autre que l'on croit qu'il s'agit d'un objet qui s'est fracturé en deux morceaux. Toujours dans le domaine de la haute résolution spatiale Nieto et Lelièvre (de

l'*Observatoire du Pic-du-Midi* et du « *staff* » du télescope CFH) résolvaient au premier foyer un nombre record de composantes dans le jet de la radio-galaxie M87 (fig. 91) (résolution de 0,8 environ). Felenbok (*Observatoire de Paris*) obtenait des clichés avec sa caméra électronique à vanne permettant d'atteindre la magnitude 26,5 et enregistrait des variations photométriques dans les composantes du mirage gravitationnel du quasar double. Un nouveau mirage gravitationnel était découvert par D. Weedman, en août 1981 au foyer primaire, le troisième connu.

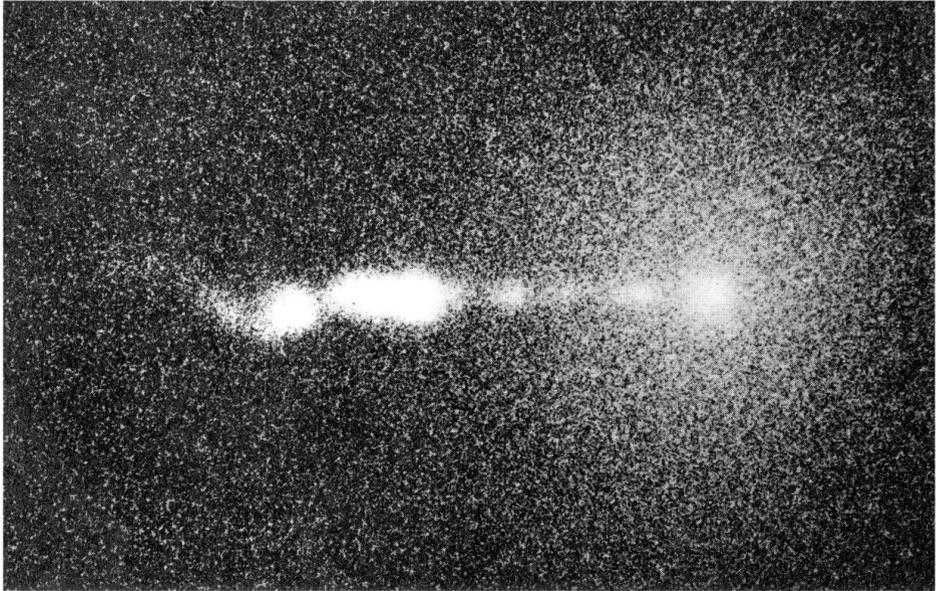


Fig. 91. — Messier 87.

Photographie du jet de la Galaxie active Messier 87 prise au foyer primaire par J.-L. Nieto (de l'*Observatoire du Pic-du-Midi*). Pose 30 m avec le correcteur U.V. Qualité des images  $\approx 0,8$ .

Au foyer coudé des résultats nouveaux ont également été obtenus. Nous ne citerons que le plus spectaculaire : la découverte, par M. et F. Spite (*Observatoire de Paris*), du lithium dans les étoiles de Population II. Alors que le lithium est détruit thermonucléairement à la base de la zone convective en quelques milliards d'années dans les étoiles de la Population I (composition chimique solaire) il subsiste dans les étoiles très déficientes en métaux formées sans doute antérieurement à la Galaxie, ou tout au moins avant la contraction gravitationnelle du disque de la Galaxie. Cette abondance en lithium, très constante, bien que la déficience en fer de ces étoiles aille d'un facteur 10 à un facteur 200, laisse penser qu'il s'agit de l'abondance primordiale du lithium prédite dans la théorie du « *big bang* ». On peut déduire de cette abondance la densité baryonique de l'Univers à l'époque présente si l'on admet que l'expansion est connue par la Relativité Générale.

On sait que, suivant que cette densité est plus petite ou plus grande qu'une certaine densité critique de l'ordre de  $10^{-29} \text{ g cm}^{-3}$ , l'Univers est

## LE TÉLESCOPE CANADA-FRANCE-HAWAII

respectivement à géométrie hyperbolique et infini, ou à géométrie sphérique et fini. La densité correspondant à l'abondance du lithium trouvée par les Spite dans la Population II est notablement inférieure à la densité critique et milite en faveur d'un Univers hyperbolique... à moins que les neutrinos aient une masse supérieure à plusieurs dizaines d'électrons-volts, ce que l'on saura d'ici quelques années.



Fig. 92. — Messier 81.

Photographie de la galaxie spirale Messier 81 prise par l'auteur avec le correcteur grand champ. Temps de pose 45 m sur émulsion II-a-0. Qualité des images  $\leq 1''$ .

## Conclusion

Le télescope Canada-France-Hawaii est installé dans un site jouissant de l'excellence à la fois sur le plan du nombre de nuits claires, de la transparence de l'atmosphère depuis l'UV jusqu'à l'IR, de la stabilité photométrique du ciel et de la qualité des images (fig. 92).

La conception de l'instrument et celle de la coupole semblent bien permettre de tirer parti de ces qualités remarquables du site.

Des résultats scientifiques substantiels ont déjà été obtenus dans les premiers 18 mois de fonctionnement de l'instrument, malgré les limitations initiales (absence des foyers Cassegrain, instrumentation très partielle).

L'exploitation régulière de l'instrument, isolé de tout grand centre technique, pose des difficultés qui ne doivent pas être sous-estimées, mais qui sont la contrepartie inévitable du choix d'un grand site en altitude, à l'abri de toute pollution urbaine et industrielle.

*La couverture reproduit la Nébuleuse du Crabe. Il s'agit d'une photographie en couleur prise par Laird A. Thompson, de l'Université de Hawaï, au foyer primaire du télescope Canada-France-Hawaï sur film Ektachrome 400. Temps de pose 1 heure. Qualité des images  $\leq 1''$ .*



## A PROPOS DE

### Trois petites planètes dans le ciel de la S.A.F.

La liste des petites planètes découvertes de par le monde s'allonge toujours. Parmi celles-ci trois portent le nom d'anciens présidents et/ou vice-président de notre Société. La plus anciennement découverte 1629 (dénomination provisoire 1952 DB) avait été appelée Pecker; elle avait été découverte, à Alger le 28 février 1952, par Louis Boyer qui en était à sa 34<sup>e</sup> petite planète... En 1980 et 1981, les petites planètes Dollfus et Lyot sont venues s'y ajouter; toutes les deux ont été découvertes par Edward Bowell à l'*Anderson Mesa Station* de l'Observatoire Lowell, la première 2451 (désignation provisoire 1980 RQ) le 2 septembre 1980, et la seconde 2452 (désignation provisoire 1981 FE) le 30 mars 1981.

### L'Observatoire du Pic-du-Midi

*L'Observatoire du Pic-du-Midi présenté par la Société Astronomique de France et les Observatoires du Pic-du-Midi et de Toulouse. Brochure éditée à la suite de la célébration du Centenaire de l'Observatoire du Pic-du-Midi (OPM) et dont le texte n'a jamais été imprimé dans l'Astronomie.*

Cette brochure contient, outre de beaux clichés photographiques, inédits pour la plupart, un texte très détaillé, rédigé par Jean Rösch, qui dirigea l'OPM pendant trente quatre ans, et qui fut Président de notre Société.

Ce texte, à la fois historique et scientifique, est le tableau exemplaire de l'évolution et de la vie d'un grand observatoire moderne... Cent ans, trois mille mètres, neuf coupoles (sauf erreur), et des quantités d'instruments, une première pierre, et des milliards d'autres pierres, des milliers de francs, des millions de francs, de Nansouty à Lyot, de Vaussenat à Grégory, de Dauzère à Focas — pour ne citer que les disparus — tout cela en 44 pages pleines de toute l'histoire du Pic, souvent difficile, parfois tragi-comique, toujours passionnante.

*Voir cahier publicitaire page XI.*