

SPECTROSCOPIE AU T.60 DU PIC.

Observer depuis un lieu privilégié, en altitude, constitue pour un amoureux du ciel une entreprise réjouissante; lorsque ce lieu est le Pic du Midi et que le télescope de 60cm de l'observatoire peut être utilisé par des amateurs (suffisamment avertis), l'aventure devient passionnante.

L'idée de faire des tests de spectroscopie au T.60 nous vint de la nature même de cette technique (par la nécessité de disperser l'énergie lumineuse, donc de se situer derrière un gros collecteur), mais aussi du sentiment que l'analyse spectrale ne paraît pas un moyen d'investigation très répandu chez les amateurs.

Une exploration des articles sur la spectroscopie pratique, éparpillés dans les différentes revues disponibles en France, montre que des essais concluants ont été réalisés; cependant, l'adaptation des appareils aux collecteurs et aux objets étudiés, le choix parfois arbitraire des composants (réseaux, chambres, et surfaces sensibles) posent autant de questions incomplètement résolues.

Nous avons donc suggéré de tester des réseaux et des configurations d'analyseurs dans un double but:

1°) comparer des composants utilisables derrière tous les télescopes (réseaux, pellicules);

2°) définir expérimentalement une configuration optimum de spectrographe adapté au T.60 pour aboutir, enfin, à la construction d'un appareil qui restera au sommet, à la disposition des amateurs.

Première mission:

Des projets furent dessinés en 1983 et les pièces détachées réunies ( la maison Clavé ayant gracieusement fourni des pièces mécaniques et deux petits miroirs). Deux spectrographes étaient prêts (février 84) et furent apportés au sommet en octobre 1984.

L'une des deux versions comportait un appareillage sans fente qui fut peu utilisé, sa mise au point s'avérant imparfaite; le spectro avec fente fonctionnait bien, malgré quelques points de détail restant à améliorer, mais la mission fut avant tout dominée par une météo épouvantable, la fin du cyclone Hortense ayant même bloqué l'auteur de cet article quatre jours supplémentaires au sommet.

Principe de l'appareil.

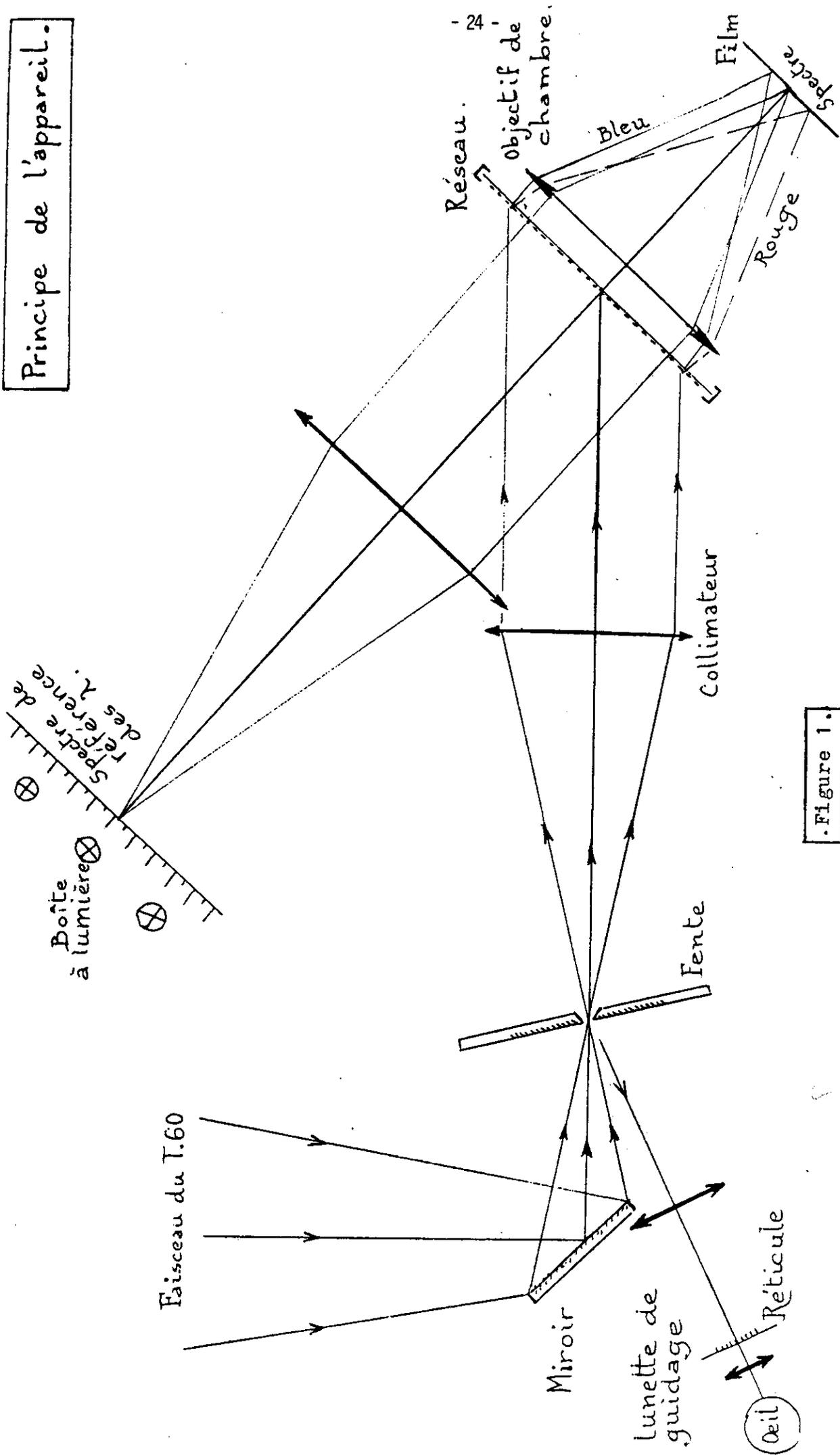


Figure 1.

On peut voir, figure 1, le principe de l'appareil et, figure 2, le croquis du spectrographe tel qu'il fut utilisé.

Quelques précisions techniques s'imposent:

a) la lumière, issue du miroir du télescope, traverse la grande planche qui supporte le spectro par la trappe d'entrée; le faisceau est rabattu vers le collimateur (via la fente) par le petit miroir plan. Ce miroir et le faisceau incident ont été rapportés dans le plan de l'image sur le schéma de principe.

b) le collimateur (Prestinox) a 200mm de focale et 58mm de diamètre ( $F/D = 3,5$ ). Il reçoit l'intégralité de la lumière provenant du miroir du T.60 puisque son rapport  $F/D$  est le même et que l'alignement est correct; le petit miroir plan qui précède la fente est surdimensionné de 20% pour ne rien diaphragmer (sans trop gêner, pour autant, la visée de la lunette de guidage).

c) la fente, réglable, en acier doux, réfléchissait suffisamment la lumière pour que la poursuite des images d'étoiles soit possible; cependant, la qualité optiquement médiocre de sa surface et la difficulté pour atteindre la bonne obliquité de son plan exigeait une révision de ce point précis (ce qui fut fait à la mission suivante).

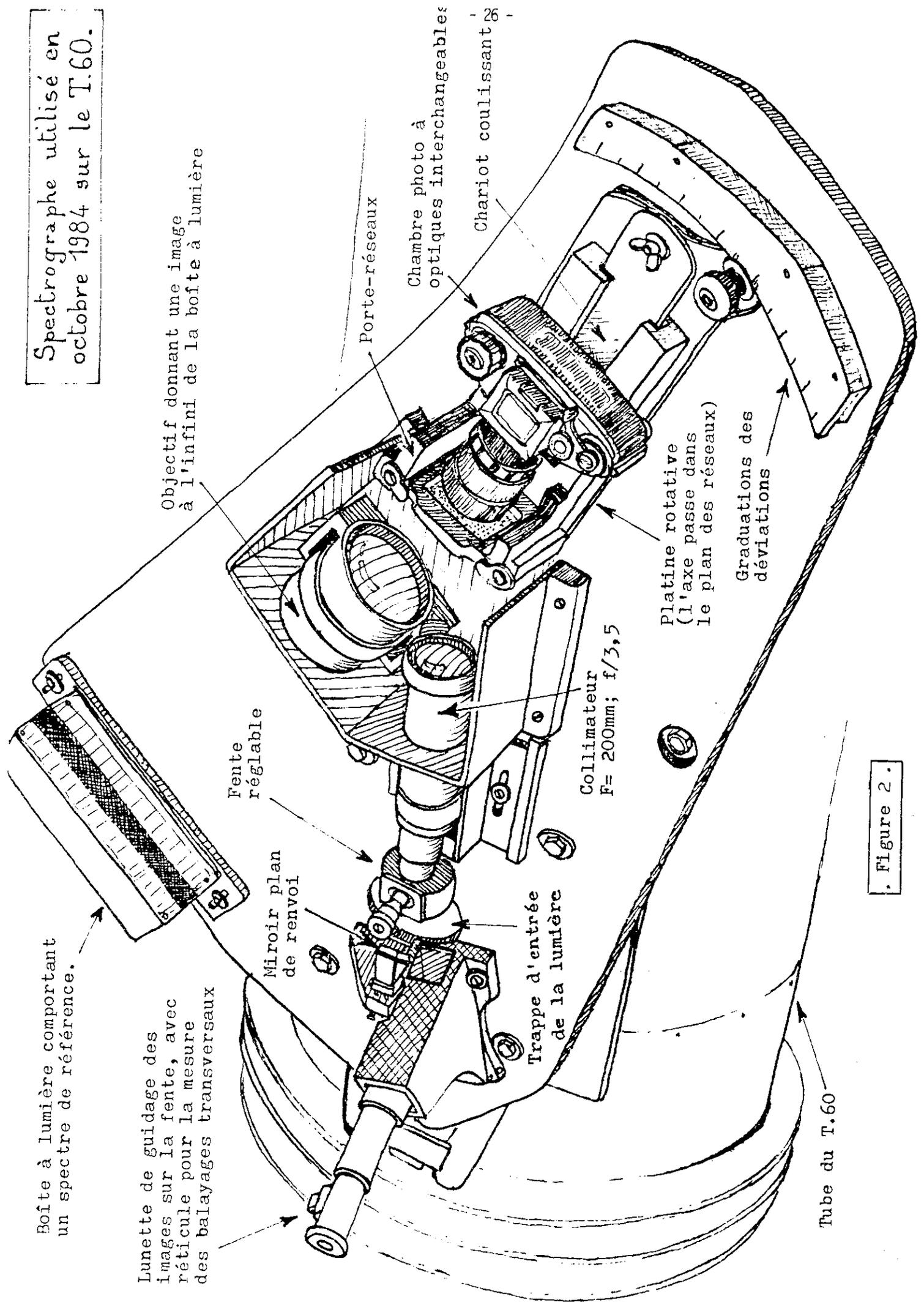
d) la petite lunette guide diaphragmait un petit peu le faisceau réfléchi par les faces latérales de la fente (objectif de diamètre un peu faible).

e) la boîte à lumière éclairait, par transparence, un spectre solaire plaqué contre sa face avant; ce spectre était rejeté à l'infini par le gros objectif voisin du collimateur et son image aboutissait sur le film; la bande noire et médiane préservait la zone où se formait le spectre de l'étoile: ce dispositif était destiné à encadrer les spectres stellaires d'un spectre de référence afin de mesurer les longueurs d'ondes sur les clichés.

Le réglage initial se faisait de jour en braquant le T.60 vers le bleu du ciel et en visant avec la chambre photo la boîte à lumière: la coïncidence une fois obtenue assurait un repérage des longueurs d'ondes pour les clichés nocturnes.

L'emploi de réseaux par transmission autorisait cette procédure (qui fonctionnait) malgré un petit défaut de conception: la forte épaisseur de l'objectif provoquait un petit décalage transversal du spectre de référence lorsque la chambre photo pivotait (pour explorer les différentes zones de longueurs d'ondes). Une correction était prévue pour trois déviations types (avec le bon

Spectrographe utilisé en  
octobre 1984 sur le T.60.



Boîte à lumière comportant un spectre de référence.

Lunette de guidage des images sur la fente, avec réticule pour la mesure des balayages transversaux

Objectif donnant une image à l'infini de la boîte à lumière

Fente réglable

Miroir plan de renvoi

Porte-réseaux

Chambre photo à optiques interchangeables

Chariot coulissant

Trappe d'entrée de la lumière

Collimateur  $F = 200\text{mm}$ ;  $f/3,5$

Platine rotative (l'axe passe dans le plan des réseaux)

Gratuations des déviations

Tube du T.60

Figure 2.

réseau) mais ce dispositif ne put être employé puisque les nuages et la tempête furent les plus forts !

N.B.: les éléments décrits aux paragraphes c), d) et e) ont fait l'objet de révisions ou de transformations notables en vue de la deuxième mission.

f) le porte-réseaux, la platine des chambres photographiques: le croquis de la figure 2 montre bien la structure des éléments; les réseaux sont interchangeable dans un logement de 80x70mm et le chariot permet de placer les objectifs de focales variées au plus près des réseaux. L'ensemble tourne (de 0°, dans l'axe du collimateur, jusqu'à 60°) autour d'un axe qui se trouve dans le plan des réseaux, au milieu et sous la platine. Les déviations sont précisément repérées grâce à la graduation arrière.

#### Deuxième mission:

Fin juillet 1985. Le programme prévoit les tests entre les réseaux et les tests de surfaces sensibles, donc une reprise (légèrement modifiée) du programme de 1984.

De substantielles améliorations ont été apportées à l'appareil: confort dans les opérations de guidage et de balayage (automatisé) sur la fente; longueurs d'ondes de référence fiables et plus précises. Pour ce qui suit, se référer à la figure 3.

Pièces inchangées: le petit miroir plan devant la fente, le collimateur, les réseaux et leur support, les chambres photo et leur platine tournante.

Modifications: nouvel objectif de la lunette de guidage: un 50mm ouvert à f:2, mais travaillant à f:3,3 puisque la fente se trouve à 83mm environ de la lentille frontale. Toute la lumière issue du miroir principal et qui ne passe pas par la fente est reçue par le système de visée.

La fente: faite de deux petits miroirs plans à  $\lambda/10$  (Astam), biseautés vers l'arrière pour laisser intact le faisceau émergent; une platine mobile à chariot coulissant autorise le réglage fin de la largeur de fente (le bouton commande une tige filetée au pas de 0,5); cette platine peut être inclinée afin de mettre au point l'image de l'étoile tout en respectant l'angle de réflexion vers la lunette de guidage. Une petite lentille de champ, derrière la fente, éclaire de manière homogène le collimateur.

Balayage de la fente: afin de rendre lisibles les spectres sur les films, on leur donne une certaine largeur; pour cela, on déplace l'étoile dans la fente en un zigzag de 1mm d'amplitude en moyenne.

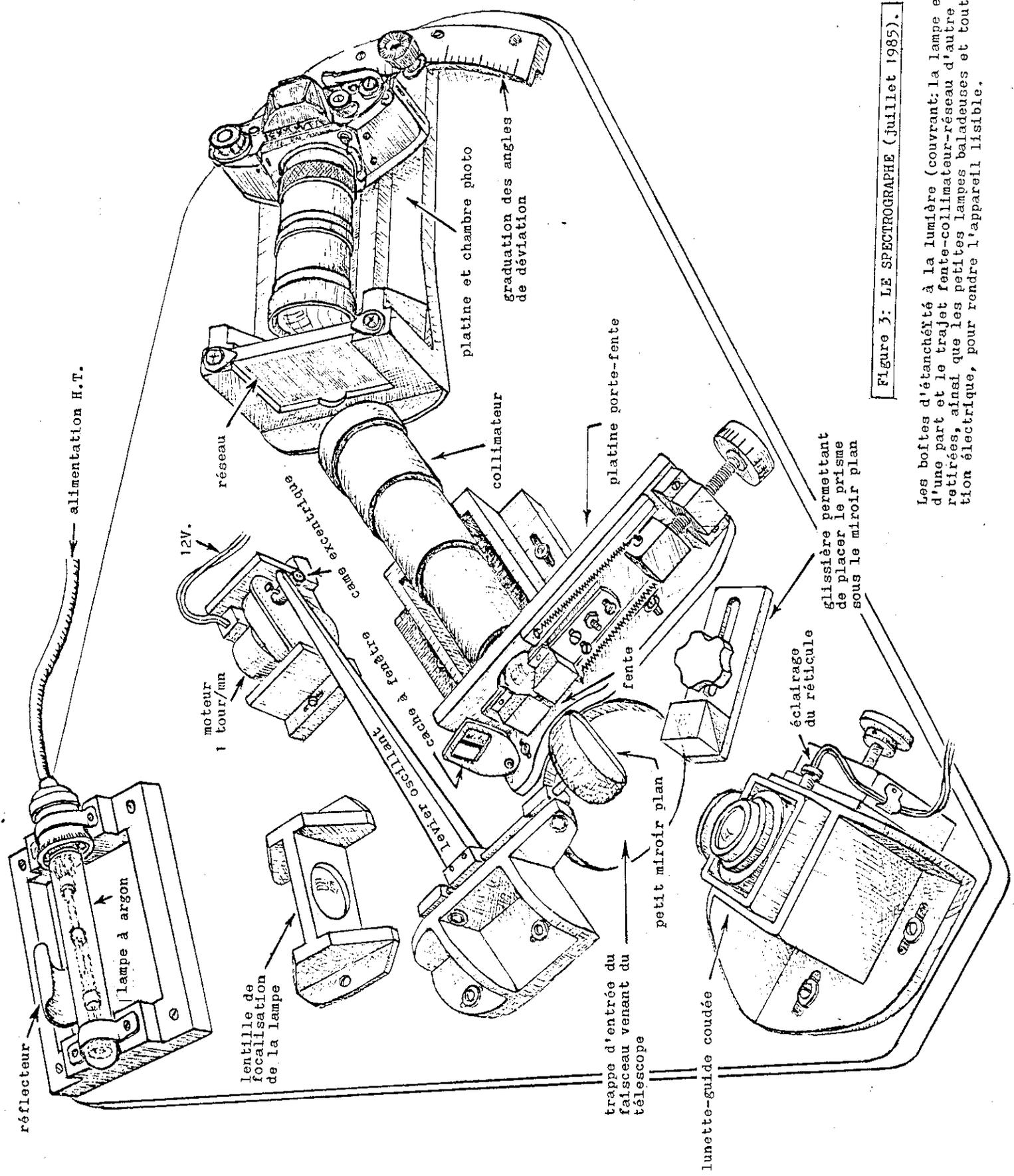


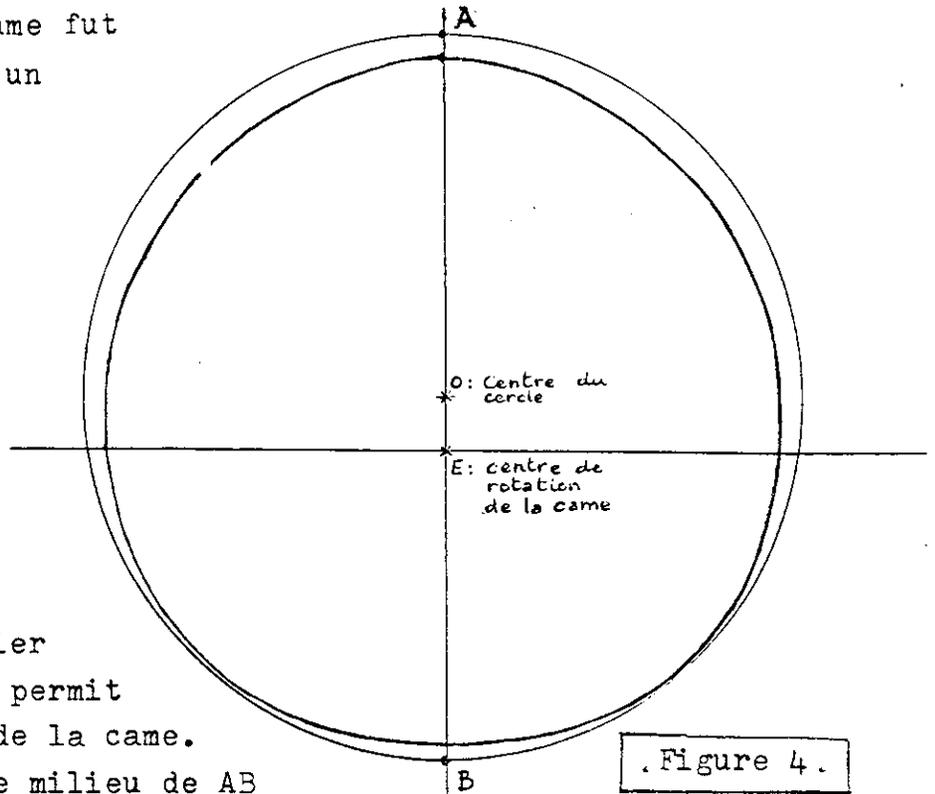
Figure 3: LE SPECTROGRAPHE (juillet 1985).

Les boîtes d'étanchéité à la lumière (couvrant la lampe et sa lentille d'une part et le trajet fente-collimateur-réseau d'autre part) ont été retirées, ainsi que les petites lampes baladeuses et toute l'installation électrique, pour rendre l'appareil lisible.

Ce balayage est obtenu par une rotation alternative du petit miroir plan de  $1/2^\circ$  de part et d'autre d'une position moyenne; le mouvement de l'axe qui supporte le miroir provient d'un levier qui s'appuie sur une came; celle-ci est animée d'une rotation de 1 tour/minute grâce à un moteur Crouzet (12 volts).

La forme de la came fut réalisée à la lime sur un petit cylindre enfiché sur l'axe de sortie du moteur.

Le dessin de principe (ci-contre) montre la courbe obtenue ( les amplitudes sont volontairement exagérées); l'un d'entre nous, C. Mossler, réalisa un petit montage avec levier amplificateur qui nous permit d'affiner le pourtour de la came.



Un cercle centré sur le milieu de AB montre bien les secteurs où le métal devait être enlevé.

Le résultat pratique, quoiqu'imparfait, donne un étalement à peu près homogène de la lumière sur la hauteur des spectres. Une came de meilleure finition est prévue pour une troisième mission.

Le spectre de référence: grâce à la grande gentillesse de Michèle Gerbaldi (I.A.P.), une lampe spectrale à argon put être montée sur la planche du spectro. Alimentée en haute tension, cette lampe donne une douce lumière rose violacée que l'analyseur décompose en de très nombreuses raies en émission.

La lumière de l'ampoule est focalisée par une lentille afin d'éclairer le collimateur de manière homogène; un prisme à  $45^\circ$ , sur une glissière, est amené au centre de la trappe d'entrée, sous le petit miroir plan et récupère le faisceau qui vient de la lampe. La lumière de celle-ci emprunte, dès lors, le même trajet que celui de la lumière des étoiles. Une petite bande de papier noir au milieu d'un cache à fenêtre pivote et masque le milieu de la fente.

La procédure: a) une 1ère pose enregistre le spectre de l'étoile sur le film; b) on obture temporairement la chambre

photo (sur nos boîtiers Exakta: fin de la pose "T" et ré-armement de l'obturateur sans avancer la pellicule); c) mise en position du prisme sous le miroir plan et rotation du cache à fenêtre qui place, ainsi, la bande de papier noir devant le milieu de la fente; d) pose (moins de 1 minute) pour obtenir le spectre de l'argon au dessus et au dessous du spectre de l'astre, en n'ayant pas oublié de libérer le passage de la lumière dans la chambre.

Éléments techniques de l'appareillage:

- Six boîtiers 24x36 Exakta;
- Objectifs: de focales variées (35, 50, 135, 180, 240mm)
- Films prévus: N. et B. 400 ASA Kodak et Ilford, 103 a0 et aF, 2415 (Hypersensibilisé Ag NO<sub>3</sub> à la 2ème mission), et Infra-rouge de Kodak; en couleurs: Kodak et Fuji diapos de 100 à 1600 ASA.

Tous les films n'ont pu être testés en raison du manque de temps; les diapos sont essayées un peu par curiosité et le 2415 domine le lot (tout ceci étant un peu su à l'avance grâce aux travaux de photo astronomique classique).

- Réseaux: en plastique (Jeulin, Matelco et Edmund);  
sous verre (Griffin & George, Rank Hilger);  
en verre ( 2 Bausch & Lomb), prêtés par l'observatoire de Marseille.

Pas des réseaux: de 580 à 1200 traits/mm.

Premiers résultats:

Il convient de noter, tout d'abord, que le principal problème que nous avons eu concerne le traitement au nitrate d'argent. Une bande entière de 17 clichés a été voilée pour des raisons multiples: hypersensibilisation d'un morceau trop grand de film, délai trop long entre le traitement et la prise de vue (3 heures) et, surtout dosage probablement un peu excessif du nitrate; le voile de fond ne masque pas irrémédiablement les spectres, mais il faudra pratiquer une série de contretypes pour extraire le signal du bruit.

Ces clichés concernaient les essais comparatifs de réseaux sur des étoiles "brillantes" ; une première lecture des négatifs a montré la supériorité des bons réseaux et la perte très visible de transmission par les réseaux "bon marché" .

Il conviendra de refaire ces tests au cours de la prochaine mission.

Les figures 5a et 5b représentent un spectre d'Altaïr; le premier fut posé 1 minute, le second 2 minutes; réseau B.&L. à 600 traits/mm. Objectif de 135mm à f.:2,8.

L'étoile, de magnitude 0,8 et de type A7, est très brillante, ce qui autoriserait une plus forte dispersion finale en utilisant une chambre de plus longue focale. Le spectre de référence n'a pas été enregistré, mais la présence des raies de la série de Balmer permet de calculer les longueurs d'ondes des nombreuses raies fines qui apparaissent.

Sur la pose la plus "longue", la limite enregistrée se situe vers 3820 Å dans l'U.V. proche; la limite dans le rouge se trouve hors du cliché.

Les raies suivantes sont repérables, avec des intensités variables mais sans aucun doute, sur la pose de 1 minute: 3890, (H $\zeta$ ), 3933, 3971<sup>(e)</sup>, 4033, 4103 (H $\delta$ ), 4342 (H $\gamma$ ), 4398, 4400, 4417, 4434, 4444, 4479, 4533, 4549, 4580, 4595, 4728, 4760, 4818, 4863 (H $\beta$ ), 4885, 4917, 4950, 4978, 5010, 5031, 5044, 5073, 5088, 5159, 5219, 5257, 5318, 5357, 5396, 5466, 5515, 5588, 5646, 5672, 5843, 5880, 6015, 6271, 6491, 6564 (H $\alpha$ ).

Une saturation de l'intensité du cliché ne permet pas de déceler les raies qui se trouvent entre H $\delta$  et H $\gamma$ ; un phénomène semblable se manifeste vers 5400 et vers 6500 Å, zones où le film paraît plus sensible. Les pellicules couleurs réagissent d'une façon encore plus sélective puisqu'elles montrent de véritables "trous" entre les plages où elles sont sensibilisées, c'est à dire le bleu-violet, le vert et le rouge.

La figure 6 présente un spectre de 31 Peg, de magnitude 5 et de classe B2Ve (elle est cataloguée au n° 8520 du Bright star catalogue de Yale). Toutes les longueurs d'ondes indiquées pour l'argon proviennent d'un texte de Crosswhite et Dieke (The Johns Hopkins University); les longueurs d'ondes calculées sur le spectre de l'étoile ont été obtenues par proportionnalité: la concordance pour les raies de l'hydrogène est remarquable, et permet de dire que l'erreur moyenne doit se situer vers 3Å en plus ou en moins. H $\alpha$  et H $\beta$  sont en émission.

#### Question:

Comment identifier la provenance chimique de ces nombreuses raies?

La comparaison avec des documents spectraux de catalogues

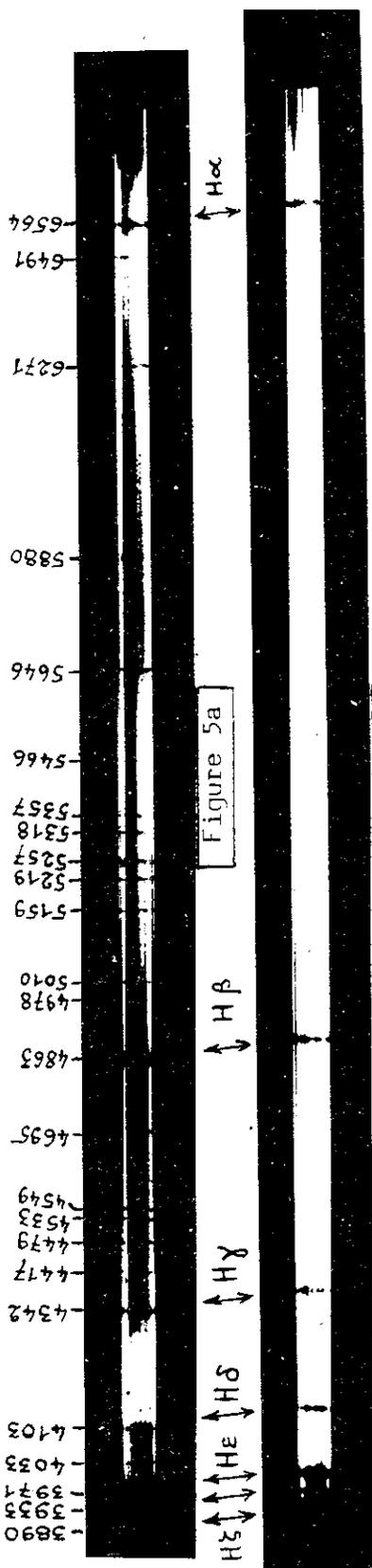


Figure 5a

Figure 5b

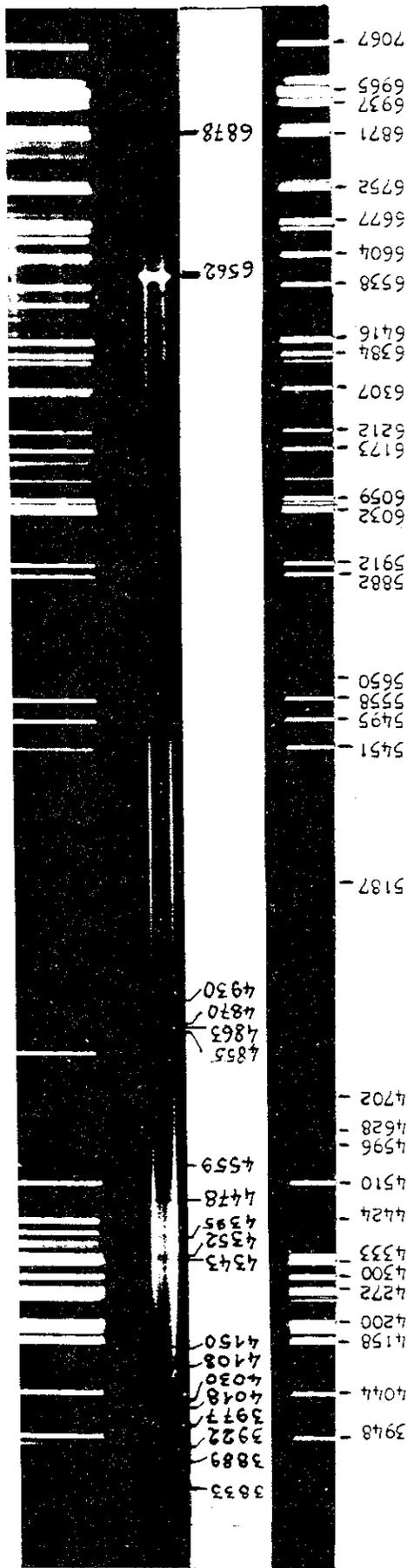


Figure 6



Figure 7

len A:

nous paraît une méthode abordable par les amateurs, à condition, évidemment, de pouvoir se procurer lesdits catalogues.

Prospective:

L'appareil ayant fait la preuve de son fonctionnement correct, il reste à peaufiner certains détails:

a) En attendant de remplacer la came de balayage par une petite tige filetée verticale commandée par un moteur à deux sens de rotation (ce qui assurera un étalement rigoureux des spectres), une came plus large est prévue pour la mission suivante. Cela doit permettre d'éviter des résultats aussi irréguliers que celui de la figure 7: le spectre de  $\gamma$  Aql ( magnitude 2,6; classe K3) a été posé 6 minutes (contre 20 minutes pour 31 Peg), mais la surexposition du bas de l'image est bien lourde...

b) La procédure d'enregistrement du spectre de référence se fera en deux temps: la moitié avant la pose sur l'étoile, et le reste après. Cela doit permettre de vérifier que rien n'a bougé et que les mesures seront fiables; de plus, nous avons prévu deux bandes noires différentes sur deux caches à fenêtre: le spectre



de référence aura l'allure ci-dessus; ainsi, tout décalage entre le début et la fin du cliché sera éventuellement décelable, et certaines raies plus énergétiques seront affinées par la demi-pose.

Daniel BARDIN.

Il m'est très agréable de remercier ici les collègues et amis qui ont participé à cette aventure et ceux qui ont permis sa réalisation: Claude Pieters, Didier Buty, Christian Mossler, Jean Ripert, Jean-Pierre Sémerjian; Michèle Gerbaldi; Marie-France Duval, Annie Laval et l'observatoire de Marseille; Jean-Pierre Brunet et le Comité du T.60; l'observatoire du Pic du Midi et ses techniciens et responsables au sommet; Lucienne Gouguenheim, Jacques Dupré et tous les amis du C.L.E.A. ; Christian Canard; M. Clavé; Kodak, Ilford, Fuji.