

Activités spatiales de l'Observatoire de Genève

Autor(en): **Chmielewski, Yves**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **14 (1969)**

Heft 110

PDF erstellt am: **23.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-899788>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Activités spatiales de l'Observatoire de Genève

par YVES CHMIELEWSKI,

Assistant de l'Observatoire de Genève

1. Introduction

L'essentiel de l'activité du Groupe de Recherche Spatiale de l'Observatoire de Genève réside dans la réalisation d'expériences tendant à étudier le rayonnement des étoiles dans le proche Ultra-Violet.

On sait que jusqu'à l'avènement de l'ère aérospatiale, les astronomes ont dû se contenter d'observer le rayonnement des corps célestes au travers des deux seules «fenêtres» existant dans l'écran opaque au rayonnement électromagnétique constitué par l'atmosphère terrestre. La première de ces fenêtres, celle du «visible», c'est-à-dire du rayonnement de longueurs d'onde comprises entre 3000 et 7000 Å, correspond au domaine de sensibilité de l'œil et de la plaque photographique et est exploitée depuis l'invention de la lunette astronomique et du télescope. La seconde se situe dans le domaine radio, dans la bande de fréquences allant de 10 à 30 000 MHz; c'est le domaine d'observation des radiotélescopes. Toutes les autres radiations du spectre électromagnétique sont absorbées par les différents constituants chimiques de l'atmosphère terrestre et sont par conséquent inobservables depuis le sol (Fig. 1).

Le but initial des recherches du Groupe de Recherche Spatiale est de prolonger dans le domaine du proche Ultra-Violet (longueurs d'ondes comprises entre 2000 et 3000 Å) la photométrie en sept couleurs développée à l'Observatoire de Genève. On constate que le responsable essentiel de l'absorption atmosphérique dans ce domaine de longueurs d'onde est l'Ozone, O₃, dont le maximum de densité dans l'atmosphère se trouve autour de 30 à 35 km d'altitude. On peut voir sur la figure 2 un diagramme représentant le profil théorique de distribution d'énergie d'une étoile de type spectral B2 affectée de l'extinction par l'oxygène et l'Ozone atmosphérique tel qu'on l'observerait à différentes altitudes et sous différentes élévations (c'est-à-dire à travers différentes masses

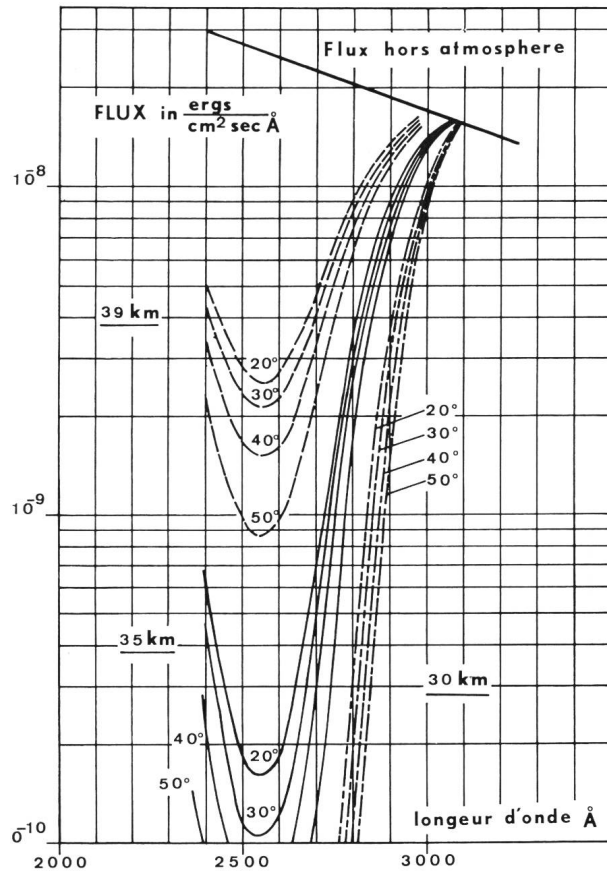


Figure 2: Distribution spectrale d'énergie d'une étoile B2, affectée de l'extinction atmosphérique, à différentes altitudes et différentes élévations.

d'air). Ce diagramme montre qu'à des altitudes supérieures à 39 km il devient possible d'observer de manière satisfaisante ce domaine du rayonnement stellaire, l'extinction n'y étant plus que de deux à trois

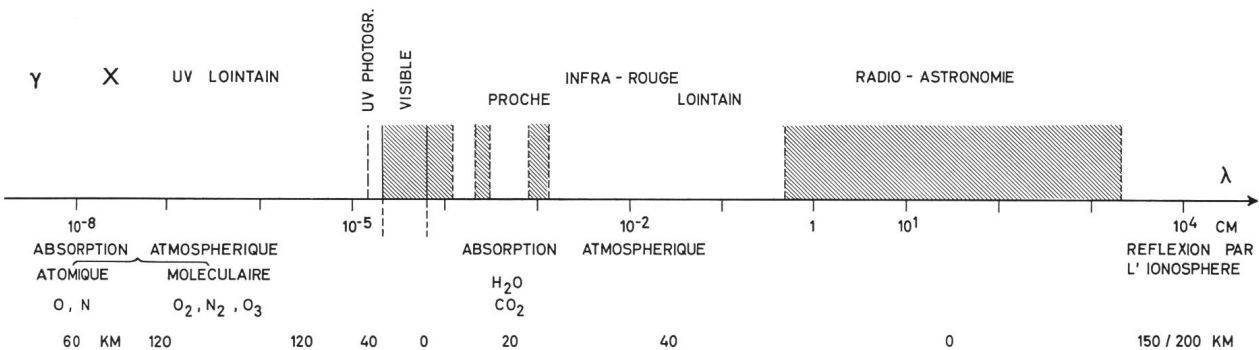


Figure 1: L'absorption du rayonnement électromagnétique par l'atmosphère terrestre. Les zones hachurées correspondent aux longueurs d'onde qui parviennent au sol. On a indiqué les causes principales de l'absorption aux différentes longueurs d'onde et, en dessous, l'altitude (en km) à laquelle l'atmosphère est transparente à 50%.

Le problème était donc d'élever un instrument astronomique jusqu'à ces altitudes. Parmi les véhicules susceptibles d'y parvenir, la fusée sonde se révélait un moyen onéreux et peu pratique en raison de la faible durée d'observation permise. En revanche, il est possible à l'heure actuelle de disposer de ballons stratosphériques de très grande capacité (300 000 m³) qui sont capables d'emporter des charges de 200 kg à 43 km d'altitude. Cette solution présente le quadruple avantage d'être relativement bon marché, de permettre l'utilisation d'un équipement nettement plus massif et plus volumineux que celui que pourrait emporter une fusée, équipement soumis à des contraintes technologiques (vibrations – accélérations – stabilisation) beaucoup moins importantes, et enfin d'autoriser des observations d'une durée de plusieurs heures permettant de mesurer les mêmes étoiles à différentes hauteurs et d'éliminer ainsi par extrapolation les effets résiduels d'extinction atmosphérique rencontrés à ces altitudes. C'est cette solution qui a été retenue.

2. La nacelle astronomique

Dans cette optique, le Groupe de Recherche Spatiale, sous la direction du Docteur A. GAIDE et grâce au financement du Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique, a entrepris la réalisation d'une nacelle d'observation astronomique. Cette nacelle devait constituer une sorte d'Observatoire Automatique appelé à fonctionner sans intervention depuis le sol dans les conditions bien particulières qui règnent aux altitudes d'observation (pression de l'ordre de 2 à 3 millibars; température d'environ -60°C); elle devait également assurer la protection de l'équipement dans la phase de récupération. Il y a donc lieu de distinguer dans l'équipement emporté par la nacelle:

- l'instrument d'observation proprement dit
- un dispositif de stabilisation grossier permettant de pointer et de suivre les étoiles dans leur mouvement diurne
- un module de commande électronique assurant l'automatisme et la synchronisation des opérations de la nacelle
- un système d'alimentation électrique assurant la fourniture de l'énergie nécessaire au déroulement d'une expérience devant durer environ 7 heures.

La figure 3 montre la disposition de ces différents composants sur la nacelle.

a) La Nacelle

La Nacelle proprement dite est constituée d'une armature tubulaire en aluminium, hautement triangulée, de 210 cm de hauteur et 100 cm de diamètre maximum, dotée d'un carénage simple en panneaux de jute. Sa triangulation poussée lui confère une grande robustesse; sa forme, de symétrie quasi-cylindrique, n'offre que peu de prise aux perturbations aérodynamiques; enfin son poids n'est que de 20 kg.

b) Le système de stabilisation et de balayage

Le choix du système de stabilisation devait être déterminant pour celui de l'instrument et de la méthode d'observation.

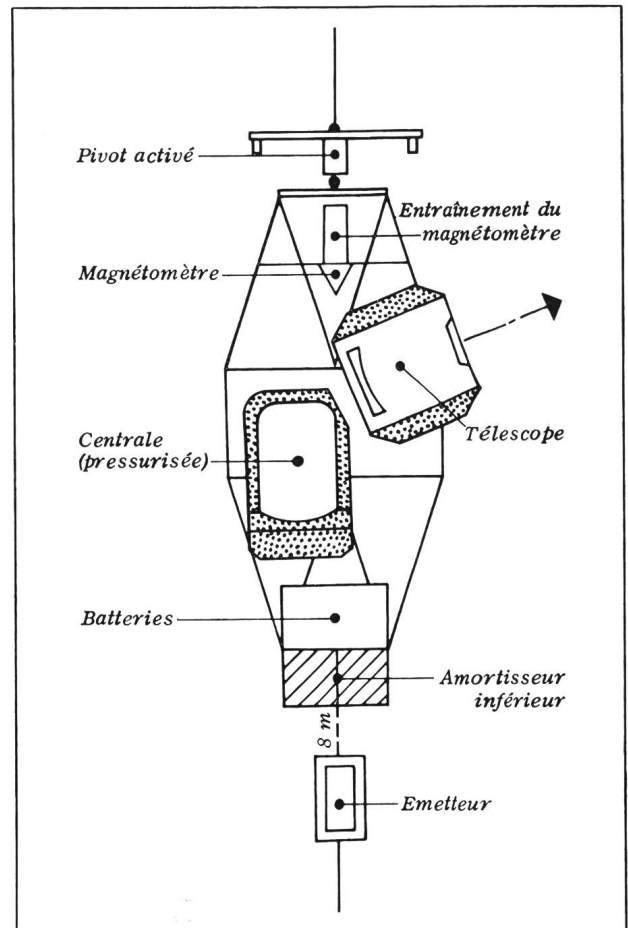


Figure 3: Disposition des composants sur la nacelle opérationnelle, équipée d'un télescope de SCHMIDT.

L'adoption d'un système de stabilisation précis permettant le pointage fin d'une étoile donnée devait s'avérer beaucoup trop complexe et trop onéreux en regard des moyens à disposition; sa mise au point aurait de plus demandé des délais prohibitifs. Il a donc fallu choisir un moyen de stabilisation plus simple et plus grossier prenant pour horizon de référence le plan perpendiculaire à l'axe de suspension de la nacelle (verticale) et pour vertical de référence le plan défini par la verticale et la direction du Nord magnétique (azimut de référence). Le dispositif d'acquisition en azimut de la Compagnie des Compteurs dont la nacelle est équipée est basé sur les indications d'un magnétomètre mesurant l'écart d'une de ses branches par rapport à la composante horizontale du champ magnétique terrestre; le signal d'écart ainsi fourni est envoyé sur une chaîne d'asservissement agissant sur le mouvement du pivot activé qui sert à suspendre la nacelle de manière à annuler cet écart. Ce dispositif assure une stabilité de pointage de l'ordre de ± 15 minutes d'arc. Par ailleurs le mouvement pendulaire de la nacelle au bout de sa corde de suspension au ballon (corde qui définit la verticale) n'excède pas 2 à 3 minutes d'arc.

L'imprécision relative de ce pointage impliquait un certain nombre de choix concernant la méthode et l'instrument d'observation. Elle excluait a priori l'emploi d'un instrument à faible champ, excluant du même coup l'emploi d'un détecteur photoélectrique. L'emploi d'un récepteur photographique en conjonction avec un instrument à grand champ s'imposant de ce fait, il restait cependant exclu d'effectuer des poses photographiques. Il fallut donc avoir recours à une méthode de balayage lent du ciel semblable à celles qui sont adoptées dans les expériences par fusée: les mouvements de dépointage de la nacelle

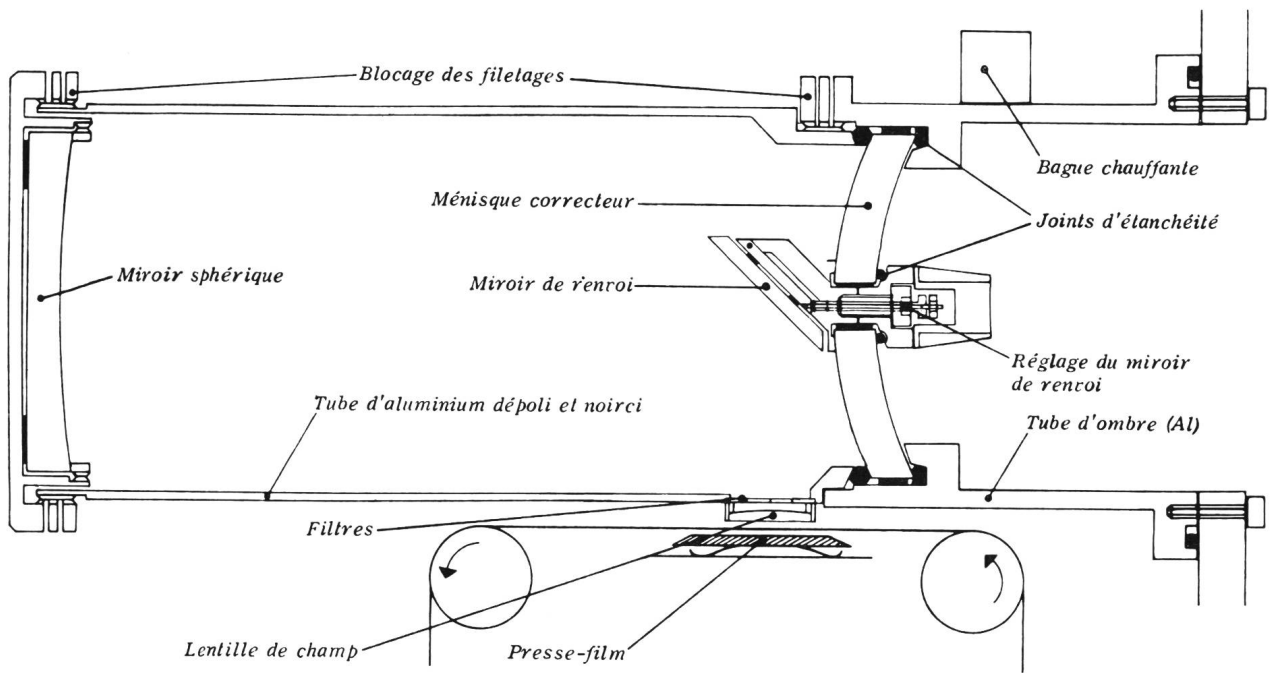


Figure 4: Coupe schématique du télescope de MAKSUTOV.

sont alors étalés par le mouvement de balayage et ne se traduisent plus sur la pellicule photographique que par des fluctuations du temps d'exposition. Outre celui de pallier à l'insuffisance de la stabilisation, la méthode de balayage possède de nombreux autres avantages en particulier celui de fournir des traces stellaires très larges sur lesquelles il est possible d'effectuer de nombreuses coupes microphotométriques, ce qui permet de compenser par voie statistique certains défauts dus au grain et aux irrégularités de la couche sensible du film, ainsi que les fluctuations du temps de pose. Ce mouvement de balayage se réalise en imprimant au magnétomètre un mouvement de rotation autour de l'axe vertical de la nacelle: le magnétomètre étant toujours ramené au Nord par le dispositif d'acquisition en azimut, il s'ensuit un mouvement de rotation en sens inverse de l'ensemble de la nacelle.

c) Les instruments d'observation

Dans une première série de vols (à caractère plus technologique que scientifique) la méthode d'observation adoptée était une méthode de photométrie photographique à large bande. Cette méthode a été menée au moyen d'un petit télescope du type MAKSUTOV dont la description se trouve résumée dans le tableau 1 et dont le schéma correspond à la figure 4. Le mouvement de balayage faisant déplacer l'image de l'étoile dans le plan focal du télescope, il suffit d'y placer les filtres l'un à côté de l'autre avec leur bord perpendiculaire au sens de défilement de l'image stellaire; celle-ci passe donc successivement dans les filtres et, pour autant que la vitesse de balayage soit constante, la durée d'exposition est la même pour chaque filtre. Les images stellaires impressionnent un film de 35 mm dont seulement la moitié de la largeur est impressionnée, l'autre moitié étant réservée aux traces d'étalonnage en laboratoire.

Dans la version maintenant opérationnelle de la nacelle, on a préféré adopter une méthode d'observation par spectrophotométrie photographique à faible résolution qui est réalisée au moyen d'une chambre de SCHMIDT. Ce nouveau télescope dont le schéma se trouve à la figure 5, est ouvert à F 1:1 et est dix fois plus lumineux que le MAKSUTOV. Il est équipé d'un prisme objectif en quartz Suprasil - I (tout comme le reste de l'optique) de 9 degrés d'angle au sommet qui disperse le rayonnement incident dans la direction perpendiculaire au sens de balayage. Le spectre obtenu occupe une longueur de 2,5 mm pour l'intervalle de l'ongueur d'onde de 2000 à 5000 Å. La dispersion résultante est de l'ordre de 3000 Å/mm à 3700 Å, de 1000

Å/mm à 2700 Å et de 300 Å/mm à 2100 Å. Pour un pouvoir de résolution photographique de 50 μ , la résolution spectrale du film serait inférieure à 50 Å. Les spectres sont enregistrés photographiquement sur un film de 35 mm, qui passe par un canal central étanche à la lumière et est plaqué mécaniquement dans le plan focal de l'instrument. Le changement de cliché qui a lieu toutes les 20 secondes est actionné par une horloge de programmation à cames; un dispositif permet d'éloigner le serre-film lors de chaque changement de cliché de manière à ne pas détériorer l'émulsion. Là encore une portion de la largeur du film (3 mm) est laissée inexplorée et réservée aux étalonnages. Le télescope est monté sur un berceau amovible qui comporte un dispositif d'entraînement en élévation (hauteur

Tableau 1

Caractéristique de télescope de MAKSUTOV

a) Ménisque correcteur eu quartz (Suprasil - I de Heraeus):	
- Rayon de courbure de la face concave	83.6 mm
- Rayon de courbure de la face convexe	87.5 mm
- Epaisseur au centre	9 mm
- Diamètre extérieur	74.95 mm
- Diamètre optique	60 mm
b) Miroir sphérique en verre pyrex:	
- Rayon de courbure	375 mm
- Diamètre extérieur	74.80 mm
- Diamètre optique	72.20 mm
- Epaisseur au centre	9.8 mm
- Revêtement: Alflex-A (BALZERS)	
c) Miroir de renvoi en verre pyrex:	
- Miroir rectangulaire	40x28 mm
- Epaisseur	4 mm
- Revêtement: Alflex-A (BALZERS)	
d) Correcteur de courbure en quartz (Suprasil-I de Heraeus):	
- Lentille plan-convexe	
- Rayon de courbure de la face convexe	65 mm
- Epaisseur approximative	3 mm
e) Caractéristiques globales au télescope:	
- Distance focale	187.5 mm
- Pupille d'entrée	∅ 60 mm
- Champ circulaire	5.5°
(soit 18 mm ∅ dans le plan focal)	
- Distance miroir-ménisque	153.5 mm

Note: La taille des composants optiques a été réalisée par *Télé-Optik*, E. POPP, Birmensdorferstrasse 511, 8055 Zurich.

d'observation); ce dispositif est commandé par une chaîne d'asservissement située dans la centrale électronique. Le tout pèse environ 40 kg. Durant l'ascension et la descente en parachute de la nacelle, le télescope est replié en position verticale; un couvercle, muni d'un corps de chauffage destiné à empêcher le givrage lors de l'ascension protège le prisme. Lors de l'arrivée à l'altitude d'observation le télescope est automatiquement mis en batterie et le couvercle s'ouvre. Une bague chauffante est placée autour du prisme et un chauffage est prévu au niveau du film afin de pouvoir éviter qu'il ne devienne cassant aux températures qui règnent à cette altitude (-60°C) et ne cause un bourrage de la caméra. Tous ces éléments de chauffage sont actionnés par des thermostats.

d) La Centrale électronique et l'alimentation électrique

La nacelle est alimentée par deux batteries d'accumulateurs au plomb situées dans une boîte pressurisée et préchauffée à la base de la nacelle. Dans la centrale électronique, qui est également pressurisée, un convertisseur à 2,6 kHz assure la stabilisation de la tension; une base de temps pilotée par un oscillateur à quartz fournit un courant 24 Volts, 50 Hz qui assure l'alimentation des moteurs électriques synchrones permettant de synchroniser toutes les opérations de la nacelle. La programmation de l'expérience est assurée par un système d'horloges à cames pour la commande des opérations cycliques et par un lecteur-décodeur de bandes perforées pour les autres opérations. Toute la partie proprement astronomique du vol est donc programmée sur une bande perforée standard IBM à 8 canaux qui est lue à la vitesse d'un ordre toutes les 6 secondes: le simple changement au sol de la bande perforée permet ainsi en quelques minutes de changer complètement le programme d'observation.

Un bloc d'asservissements permet de sélectionner un azimut et une hauteur d'observation choisis à l'avance. Il est basé sur le

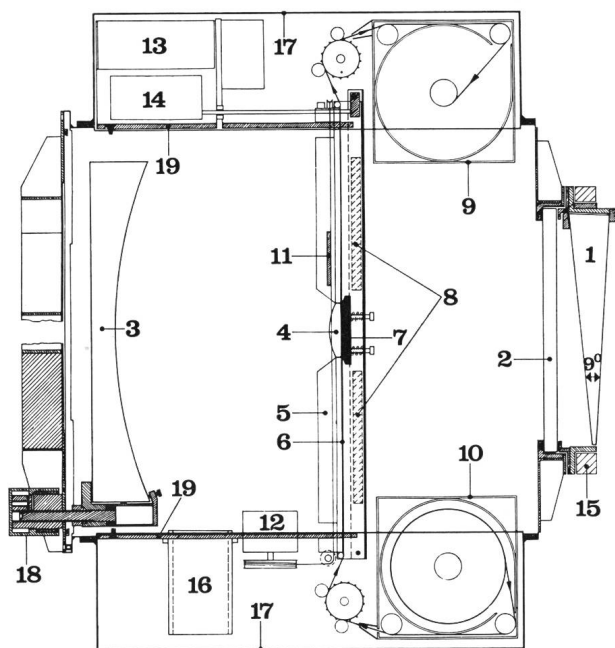


Figure 5: Coupe schématique du télescope de SCHMIDT: (1) prisme: \varnothing 170 mm, angle au sommet 9° ; (2) lentille correctrice de SCHMIDT: \varnothing 180 mm; (3) miroir sphérique: \varnothing 250 mm, rayon de courbure 327 mm; (4) lentille de champ: hauteur 40 mm, largeur 30 mm, rayon de courbure 43.5 mm; (5) canal étanche à la lumière; (6) film 35 mm; (7) presse-film; (8) chauffage du canal; (9) chargeur récepteur; (10) chargeur débiteur chauffé; (11) obturateur; (12) commande de l'obturateur; (13) entraînement du film; (14) commande du presse-film; (15) bague chauffante; (16) desséchant; (17) couvercles étanches; (18) réglage du miroir; (19) entretoises en Invar. - Champ du télescope: $14^{\circ} \times 8^{\circ}$.

principe d'un montage en pont de Wheatstone dont la résistance de la branche variable est choisie sur un ordre provenant du décodeur. On peut ainsi atteindre, par un choix convenable de ces résistances à partir de la bande perforée, toutes les élévations de 0 à 90° et tous les azimuts de 0 à 360° par pas de un quart de degré.

Enfin la centrale comporte un système complet de restitution des données technologiques (températures, pression, humidité, hauteur, azimut, témoin d'acquisition du magnétomètre, fonctionnement des chauffages et signaux de synchronisation). Ces données sont enregistrées à l'intérieur du bloc d'électronique sur un film au moyen d'un système de modulation de durée d'impulsion. Un système de multiplexage adéquat permet de transmettre également ces données par télémesure de manière à assurer un contrôle constant du bon déroulement de l'expérience depuis le sol.

3. Exploitation des documents photographiques

Le premier problème qui se pose, aussi bien dans le cas d'observations photométriques que spectrophotométriques, est celui de l'identification des étoiles photographiées. Etant donné que l'on peut toujours savoir en chaque instant l'azimut et la hauteur d'observation à partir des données de l'enregistreur de bord, qui doivent, sauf incident, suivre la chronologie imposée par la bande de programmation du vol, il est facile de ramener ces coordonnées en coordonnées équatoriales et à partir de là de procéder à l'identification sur l'Atlas céleste, ce qui est aisé étant donné le champ important couvert par chaque cliché. Une méthode alternative, applicable surtout dans le cas du SCHMIDT où le champ est particulièrement grand, consiste à reconnaître directement sur quelques photos caractéristiques une étoile de référence puis de calculer l'écart angulaire en hauteur et en élévation des étoiles du champ par rapport à cette étoile de référence et de traduire ces écarts en distances en x et y sur la photo: l'identification est ainsi immédiate. Il suffit alors de reconnaître le prolongement d'une des traces de la photo ainsi analysée sur la photo suivante pour avoir de nouveau une étoile de référence et procéder ainsi de suite. Toutes ces opérations ont été programmées au maximum de façon à se faire automatiquement sur ordinateur.

Le dépouillement des traces photométriques obtenues au moyen du MAKSUTOV s'effectue selon un principe très simple: le noircissement total de la trace est mesuré au moyen d'un instrument adéquat (photomètre à iris ou microphotomètre), puis transformé en énergie en utilisant la caractéristique de sensibilité globale du film obtenue à partir des traces d'étalonnage. Ces énergies sont relatives et obtenues à une constante de proportionnalité près, constante qui reste en principe la même pour les différents filtres si le temps d'exposition est le même. E_i et E_j étant les énergies recueillies pour la même trace respectivement dans les couleurs i et j , on obtient alors un indice de couleur grâce à la formule:

$$IC = m_i - m_j = -2,5 \log \frac{E_i}{E_j}$$

Dans le cas du vol dont le dépouillement est en cours d'achèvement, le film employé était un film

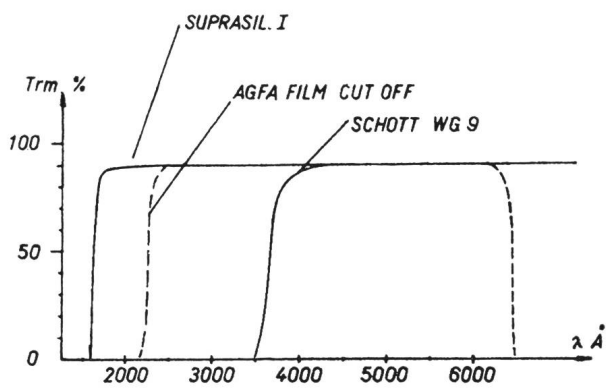


Figure 6: Transmission des filtres (lignes continues) et courbe de réponse schématique du film (ligne pointillée).

Agfa Isopan Record; on avait utilisé un système de deux filtres dont la transmission est donnée par la figure 6: on voit qu'on peut ainsi obtenir un indice de couleur [(Visible + UV) - (visible)]. Ce vol remontant à juin 1965 a été mené avec les ballons aux performances plus limitées disponibles à l'époque (volume d'environ 35 000 m³) et n'a permis d'atteindre que l'altitude de 32 km où l'on peut voir sur la figure 2 que l'absorption par l'ozone reste encore prohibitive. Un net gain sur les observations en haute montagne (Jungfrauoch) a cependant été constaté et l'on pense pouvoir fournir des indices de couleur avec une incertitude de l'ordre de 20%. Cette faible précision provient de nombreuses difficultés de réduction dues aux fluctuations très nettes de la vitesse de balayage, aux défauts inhérents aux plaques photographiques (gain, variation de la courbe de gradation globale en fonction de la distribution spectrale de la source, donc du filtre) ainsi qu'à la difficulté de mener une extrapolation permettant l'obtention d'un indice hors atmosphère.

Ce sont ces difficultés qui ont conduit à préférer une méthode de spectrophotométrie à faible résolution et à la construction du Schmidt. Un vol couronné de succès du point de vue technologique a été mené en Octobre 1966 au moyen d'un ballon de 50 000 m³ qui a également permis d'obtenir une altitude de plafonnement de l'ordre de 32 km. Ce vol, comme les précédents, a été effectué depuis la base du C.N.E.S. français à Air sur l'Adour (Landes). L'altitude atteinte étant nettement insuffisante, les spectres obtenus ne s'étendent que jusqu'à environ 2800 Å dans l'U.V: le faible gain obtenu grâce à l'altitude se trouve en effet noyé par la relativement grande dispersion du prisme dans l'ultra-violet. L'aspect de ces spectres, qui n'en sont encore qu'au stade de pré-dépouillement est cependant très encourageant et laisse présager l'obtention de bonnes mesures une fois qu'une altitude suffisante aura été atteinte. En particulier, malgré la très faible dispersion dans le visible, et malgré la faiblesse du rapport signal/bruit («bruit» dû essentiellement à la granulation), la discontinuité de Balmer est très bien visible pour les étoiles des types spectraux B,

A et F (Fig. 7). Le dépouillement de ces spectres pose deux problèmes distincts:

- L'étalonnage en longueur d'onde
- La restitution du profil spectral stellaire

Le repérage de l'échelle de longueurs d'onde semble pouvoir se faire très aisément en utilisant la coupure dans le vert de la courbe de sensibilité spectrale du film employé (Kodak 103 AO-UV) qui se trouve autour de 5300 Å. La précision est bonne en raison de la très faible dispersion du prisme dans cette région du spectre.

L'analyse densitométrique du spectre enregistré sur le film s'effectue au moyen d'un microphotomètre en utilisant un très fort grandissement (de l'ordre de 200×). Un profil densitométrique typique est reproduit sur la figure 7. Il reste à éliminer les fluctuations dues à la granulation par des procédés de lissage ou des procédés statistiques. Ce profil peut alors être transformé en un profil spectral d'énergie en utilisant pour cette transformation une famille de caractéristiques monochromatiques. L'avantage fondamental de la méthode spectrophotométrique provient de ce que, le long d'une coupe donnée, toutes les longueurs d'onde ont subi les mêmes fluctuations; d'autre part,

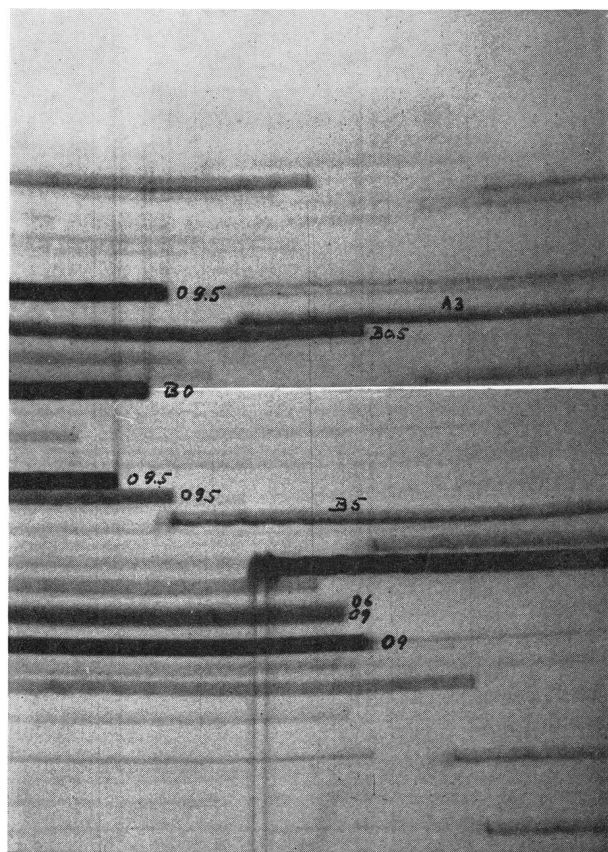


Fig. 7: Photographie caractéristique d'un champ stellaire prise avec le télescope de SCHMIDT (Bandrier d'Orion). Le balayage s'effectue dans la largeur du cliché, tandis que la dispersion du prisme lui est perpendiculaire. On notera la discontinuité de BALMER, inexistante pour les types spectraux O, et qui va en croissant pour les types B jusqu'à A 3.

l'utilisation de caractéristiques monochromatiques rend la conversion en énergie indépendante du choix de la source d'étalonnage. Enfin, l'extrapolation pour le calcul des grandeurs hors atmosphère peut se mener de façon simple, séparément pour chaque longueur d'onde.

La faible résolution spectrale ne permet pas de tirer des détails fins de ces spectres (raies d'absorption ou éventuellement d'émission). Mais elle fournit des gradients spectrophotométriques (ou des températures de couleur). Elle permet aussi l'obtention d'indices de couleur par simple intégration du profil sur un intervalle spectral choisi.

La limitation essentielle de ces observations reste cependant une limite en magnitude. Le principe même de la méthode de balayage limite fondamentalement la durée d'exposition du film photographique; à cela s'ajoutent la dispersion de l'énergie lumineuse par le prisme et la sensibilité assez basse des films utilisables. La conjugaison de ces effets amène finalement la limite en magnitude à environ 5 pour les étoiles des types précoces O, B et A. On peut ainsi estimer que le nombre d'étoiles mesurables au cours d'un vol peut varier entre 20 et 50 suivant les constellations et le programme d'observation choisis.

4. Conclusion

Maintenant qu'il est possible de disposer de ballons de très grande capacité, on peut atteindre des altitudes de l'ordre de 40 km où le gain dans l'UV est très substantiel (plus de 5 magnitudes). Cette performance a été pratiquement atteinte lors de l'expérience du 18 septembre, réalisée par le groupe de l'Observatoire de Genève, avec l'aide de la NASA à la base de Palestine (Texas). Les spectres obtenus devraient alors permettre l'obtention de bonnes mesures relatives et de jeter un peu de lumière sur une région mal connue des spectres stellaires, et ceci pour un échantillonnage d'étoiles assez appréciable.

Notons pour terminer que la conception de la nacelle, en particulier de son électronique et de son système de programmation, en font un instrument largement polyvalent, l'instrument actuellement utilisé pouvant être très facilement et très rapidement remplacé par un instrument d'un autre type. Elle constituerait donc un véhicule permettant d'effectuer toutes sortes d'études, astronomiques ou autres, pour lesquelles il suffirait d'atteindre les altitudes couramment obtenues en ballon et qui se contenteraient d'un système de pointage grossier. Signalons en particulier le domaine Infra-Rouge stellaire qu'il devient intéressant d'étudier aux altitudes supérieures à 20 km. De nombreux groupes, suisses et étrangers, ont déjà manifesté leur intérêt dans ce sens. Parmi les futures utilisations de la nacelle, citons l'expérience préparée en commun par le professeur ELISABETH A. MÜLLER de l'Observatoire de Genève et le professeur KNEUBÜHL du Laboratoire de Physique des solides de l'École Polytechnique Fédérale sur le rayonnement

Infra-rouge solaire lointain, à la limite des ondes millimétriques.

Ces expériences alors qu'elles en étaient encore au stade de la conception et du pré-développement technologique, ont déjà fait l'objet d'un article paru dans les numéros 90 et 91 (1965) de ORION. Cet article, écrit par les deux responsables de cette recherche, MM. A. GAIDE et D. HUGUENIN, était intitulé «*Mesures Astronomiques par Ballons Stratosphériques*».

Adresse de l'auteur: YVES CHMIELEWSKI, Observatoire de Genève, 1290 Sauverny.

Raumforschung des Observatoriums Genf

Das Schwergewicht der Tätigkeit der Raumforschungsgruppe des Observatoriums Genf liegt in der Verwirklichung von Experimenten, welche in einer ersten Phase die Erforschung der Strahlung der Sterne im Ultraviolett zum Ziel haben.

Den Astronomen stehen bei erdgebundenen Beobachtungen vom gesamten elektromagnetischen Wellenspektrum infolge der absorbierenden Wirkung der irdischen Atmosphäre nur zwei «Fenster» zur Verfügung, durch die sie Strahlung aus dem Weltall erhalten können: einerseits das schmale «visuelle» Fenster, hier vor allem das dem Auge sichtbare Licht von 390 bis 780 nm, andererseits das wesentlich breitere «Fenster» im radiofrequenten Gebiet, bei Wellenlängen von etwa 1 cm bis bestenfalls 100 m, was Frequenzen von 3 GHz bis 3 MHz entspricht. Im «visuellen Fenster» erhalten wir Strahlung bis zu etwa 290 nm, d. h. vom UV-Bereich wird nur das sog. «nahe UV» von der irdischen Atmosphäre durchgelassen, das «ferne UV», welches im Anschluss an das nahe UV bis etwa 100 nm hinuntergeht, wird vor allem vom Ozon, der dreiatomigen Sauerstoffmodifikation O₃, völlig absorbiert. Das Maximum des Ozongehaltes in der Atmosphäre befindet sich in einer Höhe von 30 bis 35 km, aber auch dort beträgt sein Anteil nicht mehr als etwa 10⁻⁶ Volum%!

Das erste Ziel der Raumforschungsgruppe der Universität Genf besteht darin, Beobachtungen von Sternspektren auch im fernen UV durchzuführen. Dies kann aus oben erwähnten Gründen nicht von der Erde aus geschehen, sondern es muss ein Beobachtungsstandort gewählt werden, der so hoch wie möglich liegt (vgl. Figur 2). Von den in Frage kommenden Transportmitteln für ein Instrument in grosse Höhen ist der grosse Stratosphärenballon mit einem Fassungsvermögen von bis zu 3 · 10⁵ m³ das wirtschaftlichste. Das ballongetragene Instrument kann dann gross und massereich sein, viel grösser jedenfalls als das raketentragene. Weiter sind die mechanischen Anforderungen, welche an ein raketentragenes Instrument gestellt werden müssen (Vibrationen, Beschleunigungen, Stabilisation), bei einem ballongetragenen viel leichter zu erfüllen. Zudem kann bei einem solchen Instrument eine fast beliebig lange Beobachtungsdauer erreicht werden. Aus all diesen Gründen hat man sich in Genf für die Lösung: ballongetragenes Instrument entschieden.

Im einzelnen werden die Teile der astronomischen Instrumentengondel beschrieben: das eigentliche Instrument, der Stabilisationsmechanismus, der elektrische Steuerteil und die elektrische Energieversorgung. Die Stabilisierung musste aus finanziellen Gründen einfach gehalten werden: als Bezugsrichtung für den Horizont wurde die Senkrechte zur Aufhängungsachse der Gondel gewählt, als Bezugsrichtung für das Azimut magnetisch Nord. Die dadurch erreichbare Genauigkeit der Stabilisierung beträgt ±15'. Die Pendelbewegung der Gondel am Ballon überschreitet nicht 2 bis 3°. Die relativ kleine Nachführungsgenauigkeit erlaubte nur den Gebrauch von Instrumenten mit grossem Gesichtsfeld: die gewählte Beobachtungsmethode sah in einer ersten Etappe den Einsatz einer photographischen Breitbandphotometrie vor: als Instrument diente ein kleines MAKSTOV-Teleskop (vgl. Tafel 1 und Figur 4). Durch eine langsame Bewegung, einem «Wischen» der Beobachtungszelle, erreichte man eine Bewegung des Sternpunktes im Fokus des Instrumentes; es genügte dann, dort Filter verschiedenen Ty-

pus' nebeneinanderzustellen, um Aufnahmen ein und desselben Objektes in verschiedenen Farbbereichen zu erhalten. In der zuletzt bevorzugten Lösung wurde eine MAKUTOV-Kamera mit einem Öffnungsverhältnis 1:1 gewählt (vgl. *Figur 5*), die mit einem Objektivprisma Suprasil I aus Quarz versehen war, welches Spektren von befriedigender Auflösung lieferte; diese wurde auf 35 mm Film registriert.

Die erste Schwierigkeit bei der Auswertung des photographischen Materials besteht in der Identifizierung der einzelnen Objekte. Die Ausmessung der Schwärzung der Sternbildspuren erfolgte mit Hilfe eines Photometers. Auf diese Weise gelang es, einen Farbenindex [(Sichtbar + UV) - (Sichtbar)] zu bestimmen. Als Filmmaterial wurde Agfa Isopan Record, für spätere Untersuchungen Kodak 103 AO-UV verwendet. Vgl. auch *Figur 6* und 2, Auswertung eines Fluges vom Juni 1965

mit einem Ballon von $3.5 \cdot 10^4$ m³ Volumen, Höhe 32 km. Wie man sieht, ist in dieser Höhe die absorbierende Wirkung vom Ozon noch zu gross, um genaue Resultate zu erhalten. Auch ein vom technologischen Standpunkt völlig gelungener Flug vom Oktober 1966 mit einem $5 \cdot 10^4$ m³ fassenden Ballon in 32 km Höhe bestätigte, dass die Absorption noch zu gross ist: der Gewinn an UV-Licht wird überkompensiert durch die relativ schlechte Auflösung des Prismas im UV.

Weitere Versuche in grossen Höhen mit verbesserten Methoden und neuen Instrumenten sind geplant und z. T. auch schon realisiert worden (18. 9. 1968 40 km über Texas!). Die Aussichten sind sehr vielversprechend, und man hofft durch diese Unternehmen Auskünfte über Spektralgebiete zu erhalten, welche vom Erdboden aus nie beobachtbar und deshalb nur mangelhaft bekannt sind. P. JAKOBER

Ein einfaches Wechselstromphotometer

VON MARTIN FRICK, Bern

Der Wunsch nach einem empfindlichen Photometer, welches an einem einfachen Messinstrument oder an einem Schreiber geringer Eingangsimpedanz verwendet werden kann, hat uns zu einem Photometerkonzept geführt, das sicher auch für den einen oder anderen elektronisch interessierten Amateurastronomen interessant ist.

Von der Gleichstrommethode haben wir von allem Anfang an abgesehen, da die Konstanz des Nullpunkts bei Gleichstromverstärkern in praxi stets ärgerliche Probleme stellt. Der Weg, der zuerst eingeschlagen wurde, sei interessehalber kurz erwähnt, wenn er auch schliesslich nicht weiter besprochen wurde, da das Photometer dann für die helleren Sterne nicht brauchbar gewesen wäre.

Was man am Ausgang eines Multipliers erhält, das ist ja kein Gleichstrom, sondern es sind vielmehr kurze Impulse in statistisch verteilter Folge und verschiedener Höhe, der Tatsache entsprechend, dass das Licht in einzelnen Portionen, den Photonen, geliefert wird, welche mit einer bestimmten Ergiebigkeit in der Röhre Elektronenlawinen veranlassen. Misst man einen Gleichstrom, so ist dies auf eine elektrische (Kondensator) oder mechanische (Trägheit des Messinstrumentes) Integration zurückzuführen. Der Gedanke lag nun nahe, am Multipliaerausgang überhaupt nicht zu integrieren, sondern die einzelnen Impulse zu verstärken und erst nach dem Verstärker zu integrieren. Dieses Verfahren funktioniert zwar, doch da man für einen Stern sechster Grösse je nach Teleskopquerschnitt bereits bis zu 1 000 000 Impulse pro Sekunde (oder mehr) erhält, andererseits aber ein Impuls praktisch vollständig abgeklungen sein sollte, bevor der nächste ansteigt, kommt man im Bemühen um eine möglichst kleine Zeitkonstante zu sehr kleinen Multiplierarbeitswiderständen, was wiederum zu hohe Anforderungen an den nachfolgenden Verstärker stellen würde.

Nun zur schliesslich gewählten Wechselstrommethode. Die Signalfrequenz beträgt 300 Hz, dies

einerseits im Hinblick auf die Immunität gegen Störungen aus dem Lichtnetz, andererseits lässt sich der Modulator so herstellen, dass man ihn mechanisch nicht auswuchten muss, wenn die Frequenz, die er erzeugt, ein Vielfaches der Motorfrequenz beträgt. Die Eingangszeitkonstante des Verstärkers darf so ca. 0.2 ms betragen und man kann bei kapazitätsarmem Aufbau noch etliche Megohm Arbeitswider-

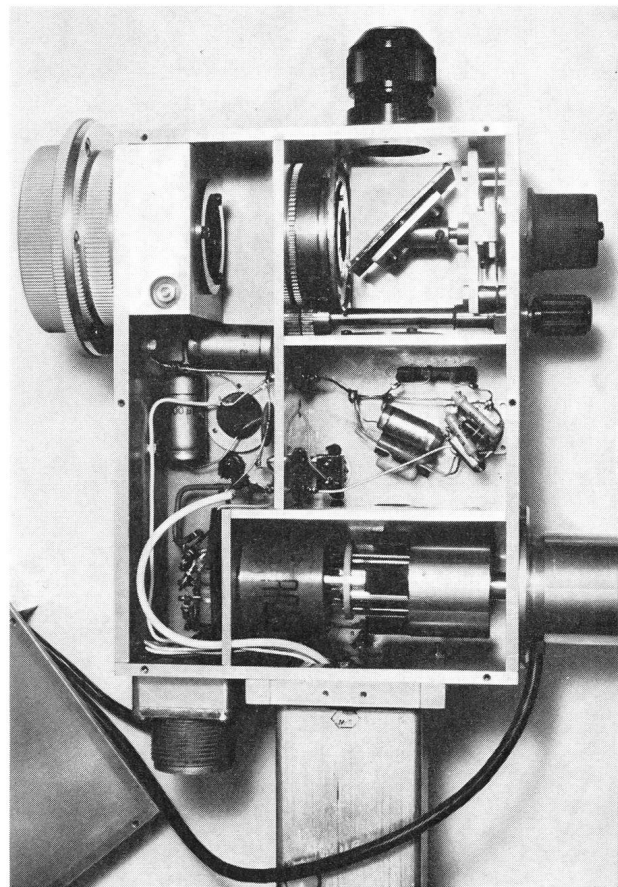


Abb. 1: Der mechanische Aufbau des Photometers.