

PHOTOGRAPHIE ET SPECTROGRAPHIE ÉLÉMENTAIRES  
A L'AIDE D'APPAREILS SIMPLES.

INTRODUCTION:

Le ciel offre à l'observateur une foule de sources lumineuses; la réalisation de clichés photographiques des champs stellaires peut être abordée avec des instruments simples. Le succès de ce genre d'entreprise dépend de nombreux facteurs; néanmoins, une approche raisonnée du problème donne vite des résultats encourageants.

En classe de physique, le programme d'astronomie contient des éléments d'analyse spectrale de la lumière; là encore, du matériel élémentaire utilisé avec discernement procure, sans difficulté, des spectres exploitables.

Tous ces travaux ont été abordés et traités par des élèves du niveau de la classe de 4ème, en club d'astronomie.

POURSUITE DU MOUVEMENT DIURNE:

La rotation de la Terre a pour conséquence le déplacement apparent de la voûte céleste dans le sens inverse; notre planète tournant autour de son axe polaire, les astres semblent donc animés d'une rotation autour du même axe, mais d'Est en Ouest (mouvement dit rétrograde). Si l'on veut suivre fidèlement ce mouvement pour obtenir des images du ciel, on doit utiliser une monture équatoriale, d'autant plus que la collecte de l'énergie lumineuse nécessite toujours un certain temps de pose.

PRINCIPE DE LA MONTURE ÉQUATORIALE:

Les formules de construction sont très nombreuses, mais le principe reste toujours le même:

-on place un axe mécanique parallèlement à l'axe de rotation de la Terre (mise en station);

-on anime cet axe mécanique de la même vitesse angulaire que celle de la Terre, mais de sens inverse (entraînement et poursuite);

-si un appareil photo (orientable vers tout point du ciel) est rendu solidaire de l'axe polaire, on a réalisé une monture équatoriale; si tout va bien, la pellicule de l'appareil enregistrera durant la pose un cliché de champ stellaire où chaque image d'étoile restera fixe.

## CHOIX D'UN TYPE DE MONTURE:

Pour débiter, l'utilisation d'appareils photographiques ordinaires (donc répandus) s'impose. Dans ce cas, les paramètres en jeu sont les suivants:

- précision de la mise en station;
- douceur et précision de l'entraînement;
- contrôle de la poursuite;
- distance focale (photo) la plus longue que l'on désire utiliser.

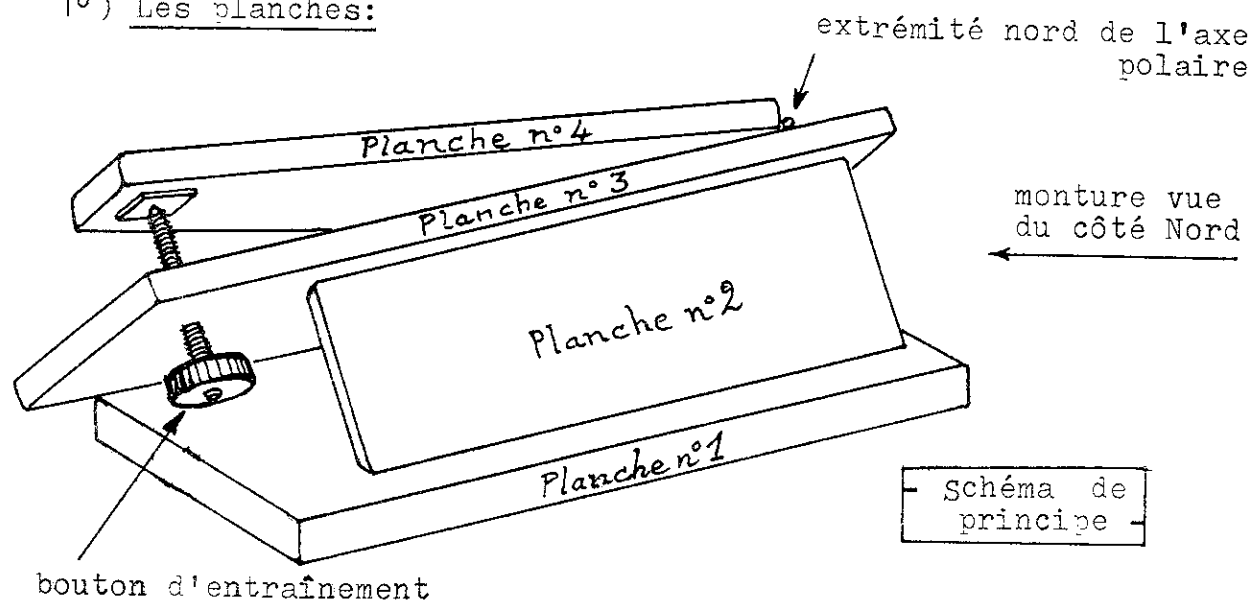
Le quatrième de ces points conditionne directement la conception entière de la monture.

Tant qu'on ne dépasse pas trop le décimètre pour les focales, (ce qui, en 24x36, permet l'usage de tous les objectifs courants, du grand-angulaire au petit télé-objectif) la monture en bois dite "à 3 planches" constitue une solution intéressante:

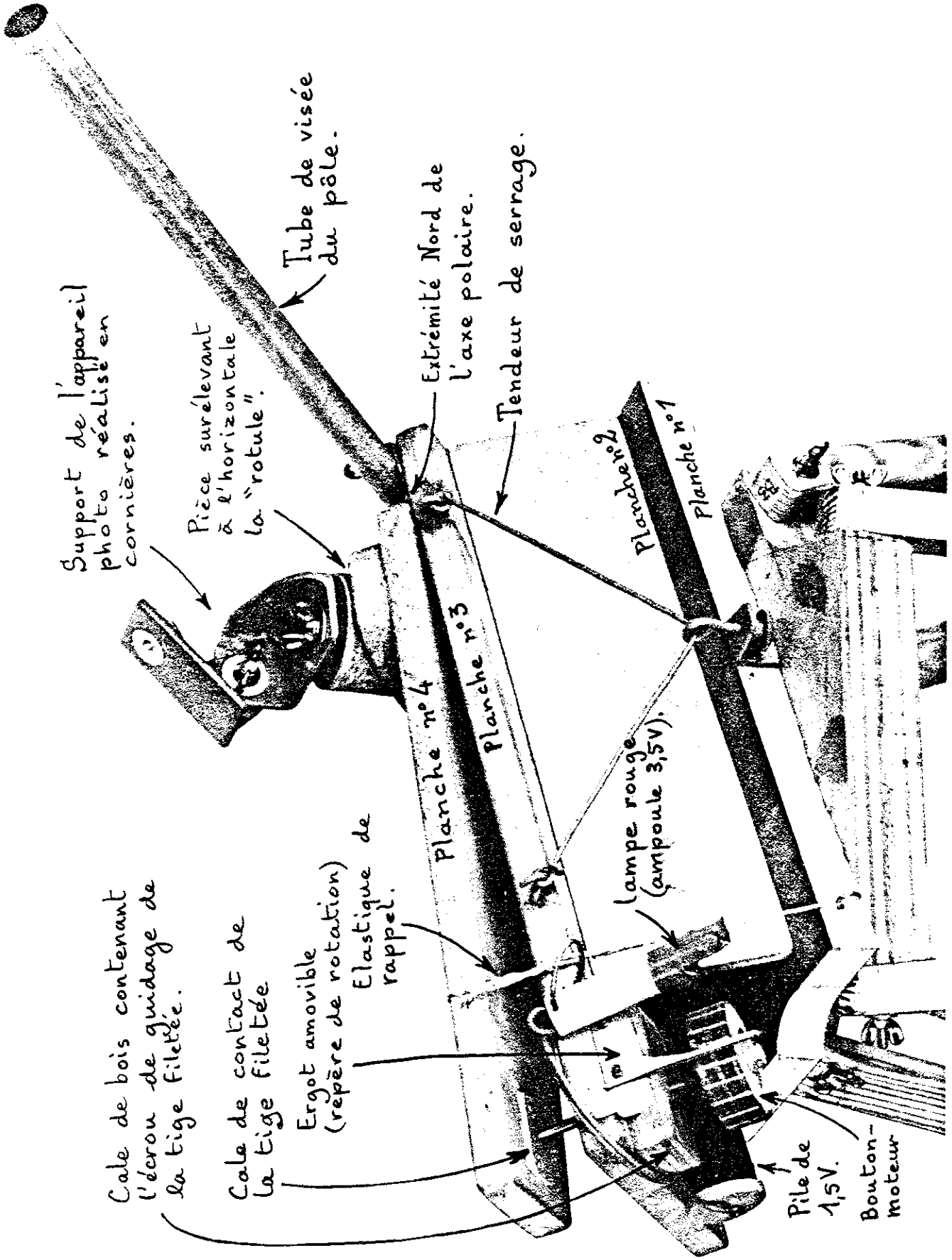
- construction ne faisant appel qu'à des matériaux et des outils usuels;
- monture pliable, transportable, utilisable en tout lieu;
- mise en station simple, ne nécessitant pas une précision extrême;
- guidage et poursuite s'effectuant durant des poses courtes, de l'ordre du quart-d'heure, et permettant, à la limite, de se passer d'une lunette guide; ce type de monture fut proposé, à l'origine, par Pierre Bourge.

## CONSTRUCTION:

### 1°) Les planches:



Cette monture "à 3 planches" en possède ici 4 ( la planche 2, amovible, est parfois remplacée par des coulisseaux de quincaillerie).



Support de l'appareil photo réalisé en cornières.

Pièce surélevant à l'horizontale la "rotule".

Tube de visée du pôle.

Extrémité Nord de l'axe polaire.

Tendeur de serrage.

Planche n°1

Planche n°2

Planche n°3

Planche n°4

lampe rouge (ampoule 3,5V).

Cale de bois contenant l'écrou de guidage de la tige fileté.

Cale de contact de la tige fileté

Ergot amovible (repère de rotation)

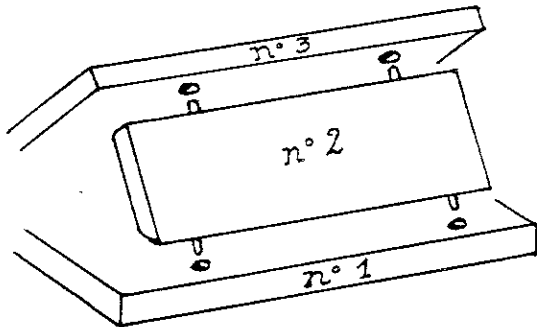
Elastique de rappel.

Pile de 1,5V.

Bouton-moteur

La planche n°3 est repliable contre la n°1 grâce à une charnière à piano placée du côté Sud; la hauteur de la planche n°2 est coupée en fonction de la zone de latitude où se trouve l'observateur ; tout voyage "lointain" ne nécessite qu'une planche différente pour une zone de 10° de latitude, environ.

Une seconde charnière à piano constitue l'axe polaire dont le croquis ci-dessus montre l'extrémité supérieure.



Quatre ergots (vis à bois étêtées) sur les champs de la planche n°2 servent de fixation en entrant dans 4 trous borgnes (2 dans la planche n°1 et 2 dans la planche n°3).

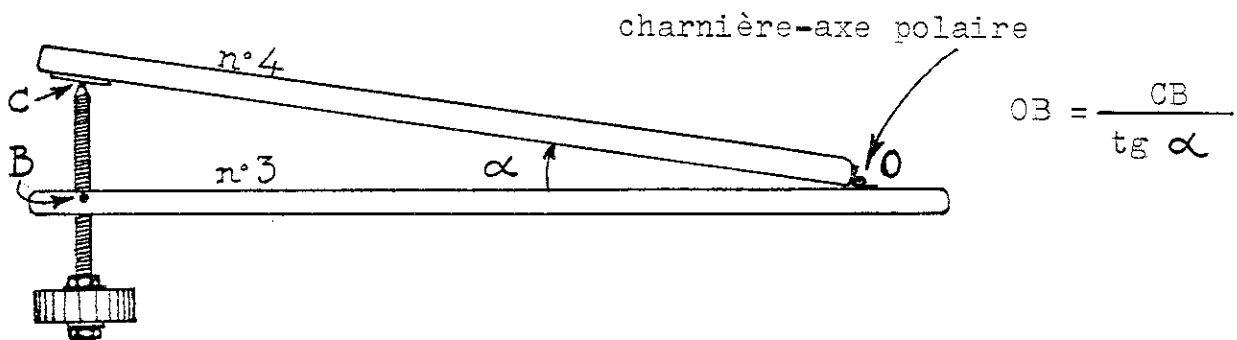
Un tendeur de serrage (voir photos) garantit la rigidité finale.

2°) la rotation de la planche n°4:

Le bouton gradué fixé à la base de la tige filetée sert de moteur d'entraînement; la rotation (en douceur, à la main), dans le bon sens, fait avancer la tige au travers de la planche n°3 et pousse la planche n°4 qui tourne donc autour de la charnière polaire.

A la conception, le choix se fait sur les points suivants:

- pas du filetage;
- nombre de secondes pour un tour de bouton;



La formule ci-dessus devient:  $OB = \frac{\text{pas}}{\text{tg } \alpha}$  lorsque CB représente l'avance de la tige filetée pendant un tour de bouton; le temps de ce tour de bouton devant être choisi, autant faciliter le traçage de la graduation en prenant un nombre de secondes qui divise les 360° en valeurs simples: 30s, 40s, 45s, ou 60s, ce qui donne une rotation du bouton de 12°, 9°, 8°, ou 6° par seconde de temps.

L'angle  $\hat{\alpha}$ , lorsque le bouton fait un tour, vaut donc:

$$\frac{360^\circ \times T_r}{86164} \quad \left( \begin{array}{l} T_r : \text{nombre de secondes pour un tour de bouton,} \\ 86164 : \text{nombre de secondes en un jour sidéral;} \end{array} \right)$$

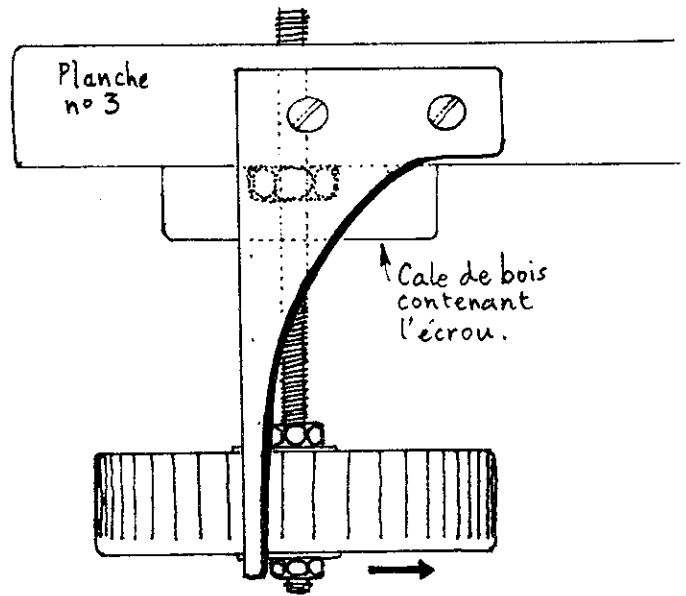
La valeur de OB peut être calculée à partir de la formule complète; voici quelques résultats utilisant les pas de 0,75mm, 1mm, et 1,25mm et les quatre valeurs de  $T_r$  :

pas:	0,75mm	1mm	1,25mm
$T_r$ :			
30s:	342,8mm	457,1mm	571,4mm
40s	257,1mm	342,8mm *	428,5mm
45s	228,6mm	304,7mm	380,9mm
60s	171,4mm	228,6mm	285,7mm

Les montures visibles sur les photos ont été construites à partir de la formule marquée d'un astérisque, solution acceptable pour ce genre d'appareil à vocation mobile, grâce au compromis entre encombrement et sensibilité.

La pointe en ogive de la tige filetée sera finie à la lime douce et contrôlée à la loupe afin que OC ne varie pas irrégulièrement durant une rotation. Comme OC s'allonge peu à peu lorsque la planche n°4 se soulève, il faut donner au bord de l'ergot une forme qui corrige la différence entre un angle et sa tangente; le calcul indique que le rattrapage vaut: 3/10 de s. après 8mm de pose, 1 seconde après 12mm, 2,3s après 16mm et 4,6s au bout de 20 mm. Ces valeurs permettent de tracer le bord de l'ergot où défilent les graduations; cet ergot peut être monté sur un aimant pour faciliter son démontage rapide lors du repliage de la monture.

(voir aussi les photos.)



La dimension très précise de OB sera aisément respectée à la construction si l'on perce la planche n°3 et l'on met en place la tige filetée AVANT de fixer la charnière polaire en O. On a tout intérêt à renforcer la traversée de la planche 3 en immobilisant un écrou en sandwich entre une cale de bois (évidée) et la planche 3.

### 3°) le support de l'appareil photo:

Une rotule du commerce peut convenir, bien que le rétrécissement qu'elle présente soit générateur de flexions non négligeables

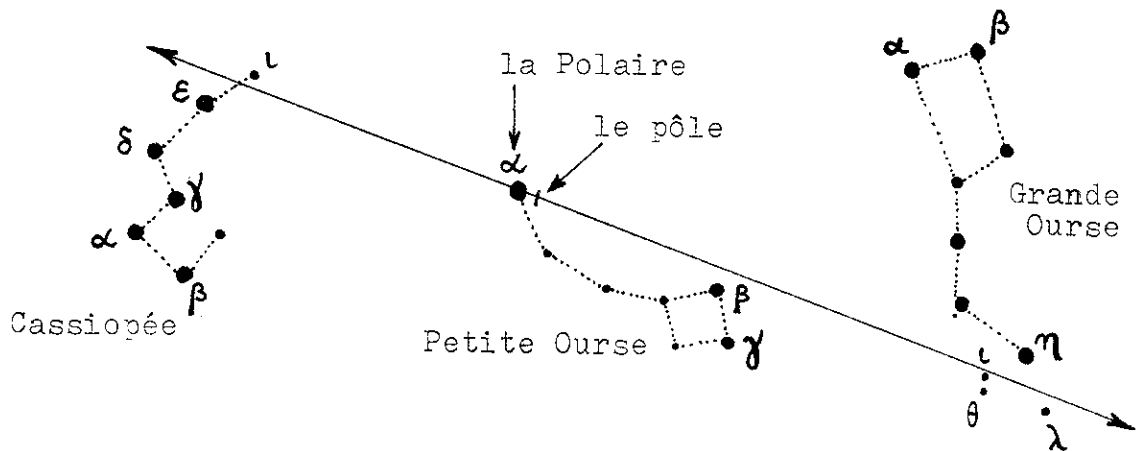
en utilisation astronomique. Une pièce double, réalisée en cornières épaisses, fera en général bien mieux l'affaire. Comme sous nos latitudes les planches 3 et 4 sont inclinées, une pièce de bois soulève et dégage ces cornières et leur donne un plan de rotation horizontal.

### LA MISE EN STATION:

Elle constitue le noeud du problème pour les montures mobiles; le principe consiste à aligner soigneusement la charnière polaire vers le pôle céleste.

#### 1°) où se trouve le pôle?

On utilise l'alignement ci-dessous (actuellement):



Du fait de la précession des équinoxes, cet alignement tourne très lentement et la distance pôle-Polaire varie (elle passera par un minimum de 28' vers l'an 2110). La distance actuelle vaut 49' environ.

#### 2°) la visée:

Une méthode pratique consiste à placer un tube parallèlement à la charnière polaire; comme la précision de la mise en station conditionne le temps de pose maximum et la focale photo la plus longue que l'on veuille embarquer, l'expérience a montré qu'un simple tube, bien calculé et réglé, donne satisfaction jusqu'à des poses de 15minutes avec des focales de 150mm environ ( ou des poses un peu plus longues ( 20minutes) avec des focales plus courtes). Au delà des 20minutes, c'est le bouton gradué qui pose des problèmes!

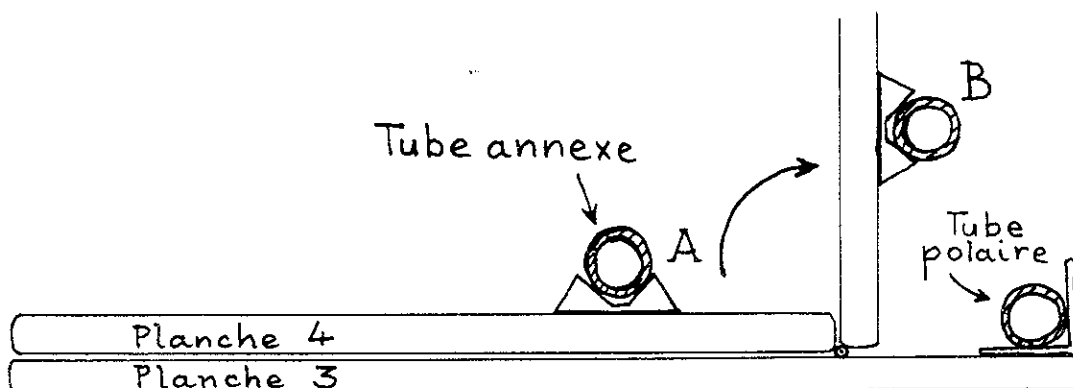
#### 3°) la longueur du tube:

Elle est en rapport avec son diamètre, pour que l'oeil, placé derrière une ouverture de 6mm de  $\varnothing$  (pupille), au Sud du tube, voie le  $\varnothing$  interne du tube découper sur le ciel un cercle de 100 minutes d'arc, soit une distance double de celle qui sépare le pôle de la Polaire.

La relation : longueur =  $\frac{\varnothing}{\text{tg } 100'}$  permet de couper le tube à la bonne longueur.

4°) le parallélisme:

Ce réglage s'effectue une fois pour toutes; comme il est pratique de tout replier pour les voyages, le tube sera amovible; des cales ou des butées finement ajustables (nous avons utilisé des cornières en L) serviront à toujours poser le tube au bon endroit.



- un tube identique au tube polaire est placé sur un petit berceau sur la planche n°4; la position de ce berceau (ajustable) est réglée à peu près parallèle à la charnière polaire;

- la monture, bien stable, a été repliée ( planche n°3 horizontale, planche n°2 retirée);

- on vise d'abord un détail précis du paysage ( il est plus facile de réaliser cette opération le jour) dans le tube annexe, la planche n°4 en position A. Une rotation de cette planche en position B et une deuxième visée: si le tube annexe se trouve parallèle à la charnière, la visée B découpe le même morceau de paysage; sinon, en reprenant la manoeuvre, on obtient vite le bon réglage;

- sans rien faire bouger de la monture, on aligne le tube polaire sur ses supports afin qu'il vise exactement le même secteur;

- cette procédure est évidemment calquée sur celle du réglage d'un chercheur de lunette, à la différence près que le tube annexe disparaît ensuite.

5°) la mise en station :

De nuit, le tube polaire étant à sa place, on vise la Polaire; si la nuit est très noire, il peut sembler difficile de distinguer la sortie Nord du tube devant le ciel; une petite lampe rouge, sous-voltée, peut éclairer l'intérieur du tube au travers d'un trou.

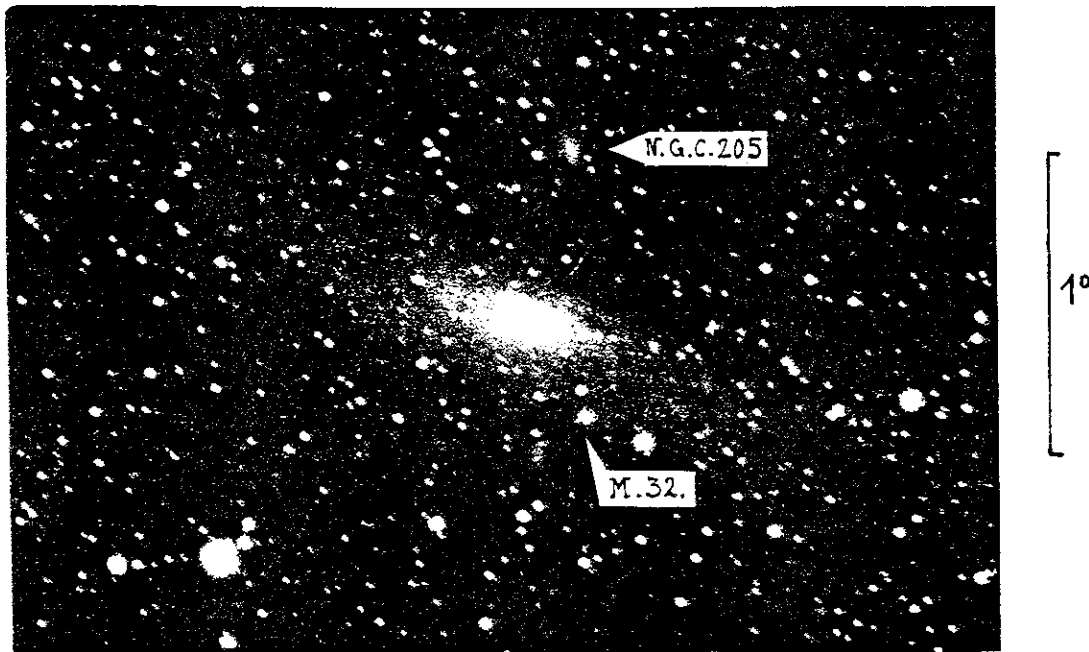




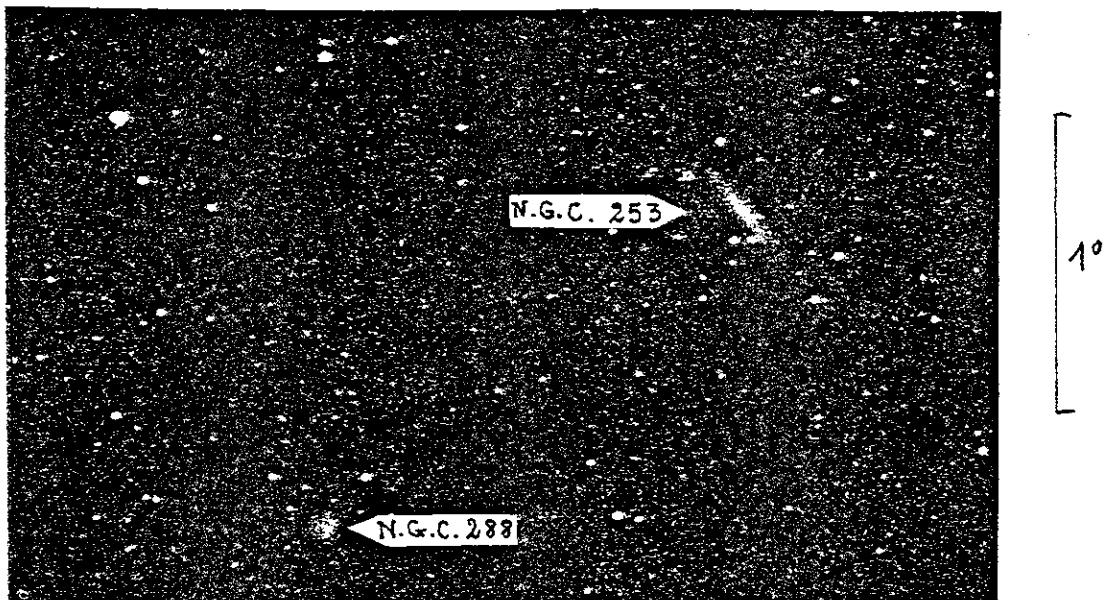
RÉSULTATS :

Des montures plus sophistiquées existent, avec lunette-guide, correction en déclinaison, moteur avec variateur de fréquence, et, pourquoi pas ... réveille-matin et grille-pain!

Les perfectionnements techniques (raisonnables) dans le domaine des instruments d'amateurs présentent beaucoup d'avantages, mais je pense qu'il reste passionnant de chercher à pousser vers ses limites un procédé aussi élémentaire. Les clichés contiennent toujours beaucoup d'informations, leur exploitation offrant de nombreuses voies, et le ciel est si beau!

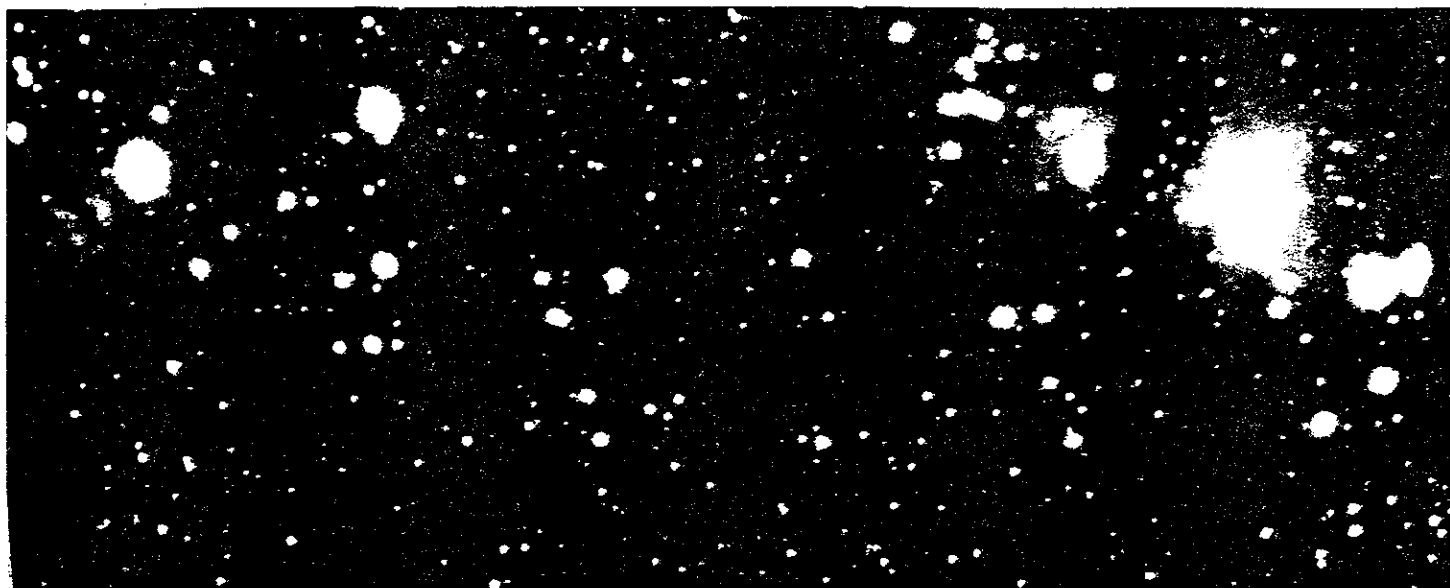


Andromède (M.31) et ses deux satellites (M.32 et N.G.C.205).  
18minutes de pose sur 103aE; focale: 180mm; ouverture f/4,5.



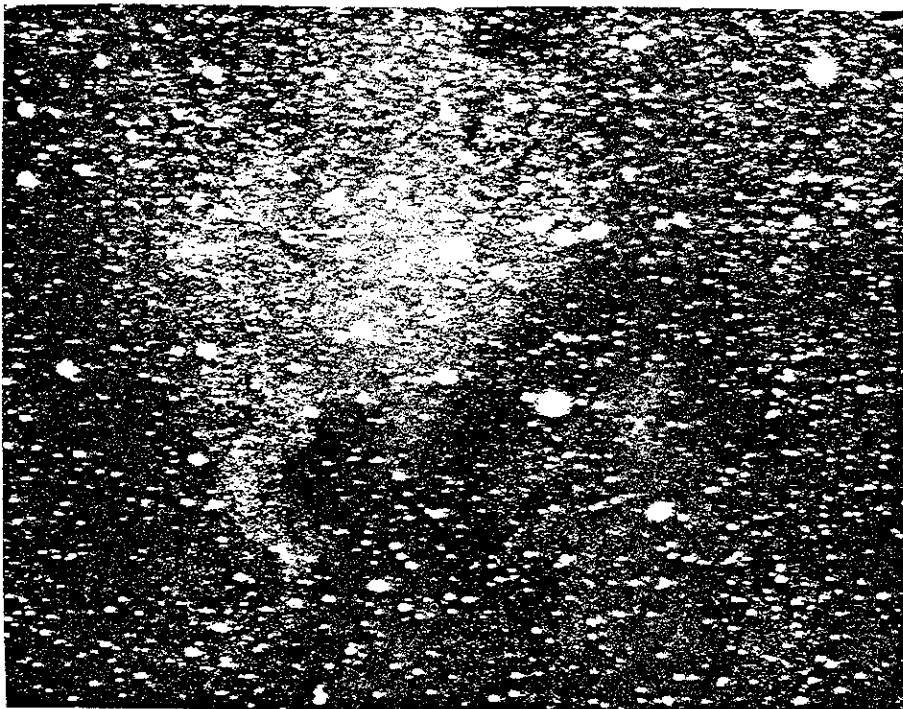
N.G.C.253 (galaxie) et N.G.C.288 (amas globulaire) dans le Sculpteur;  
15minutes sur 103aF; 180mm ouvert à f/4,5.

Dans le domaine des objets diffus, l'emploi de pellicules adaptées aux objets photographiés donne des images intéressantes à plus d'un titre: entre autres, la visibilité d'une nébuleuse enregistrée avec un appareil photo ordinaire surprend toujours les débutants, tout surpris de ne pas voir autant de choses dans un "gros" télescope!



Sur ce cliché du centre d'Orion, posé 16minutes avec un 180mm ouvert à  $f/4,5$  sur une pellicule 103aF, le Nord se trouve à gauche. On y distingue les nébulosités proches de  $\zeta$ , N.G.C.2024 à gauche et I.C.434 à droite avec la Tête de Cheval (Barnard 33), ainsi que N.G.C. 1977 entourant les étoiles 42 et 45 Ori, et surtout M.42.43, au Sud.

Cette région photographiée en couleurs, sur Fujichrome 400 par exemple, donne des informations astrophysiques incomparables, la suivante aussi.



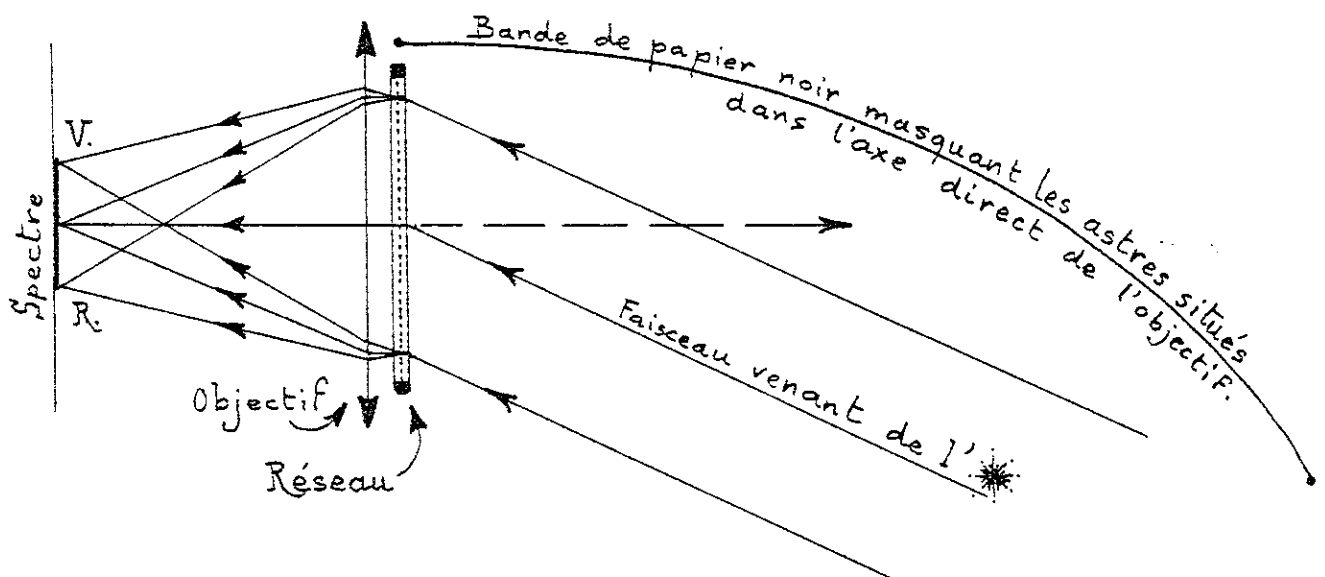
"Amérique" (N.G.C. 7000) et le "Pélican" (I.C.5070) en 16min. sur 103aE; même optique et même ouverture.

## LA SPECTROGRAPHIE :

Ce domaine est entouré d'une auréole mystérieuse supplémentaire: un spectre (bande plus ou moins striée en travers) et une étoile (point), quoi de plus dissemblable ? Le débutant verra vite cependant que cette image étrange renferme bien des informations et qu'il n'est pas sorcier de pratiquer, toujours d'une manière élémentaire, la prise de vue de ces "fantômes".

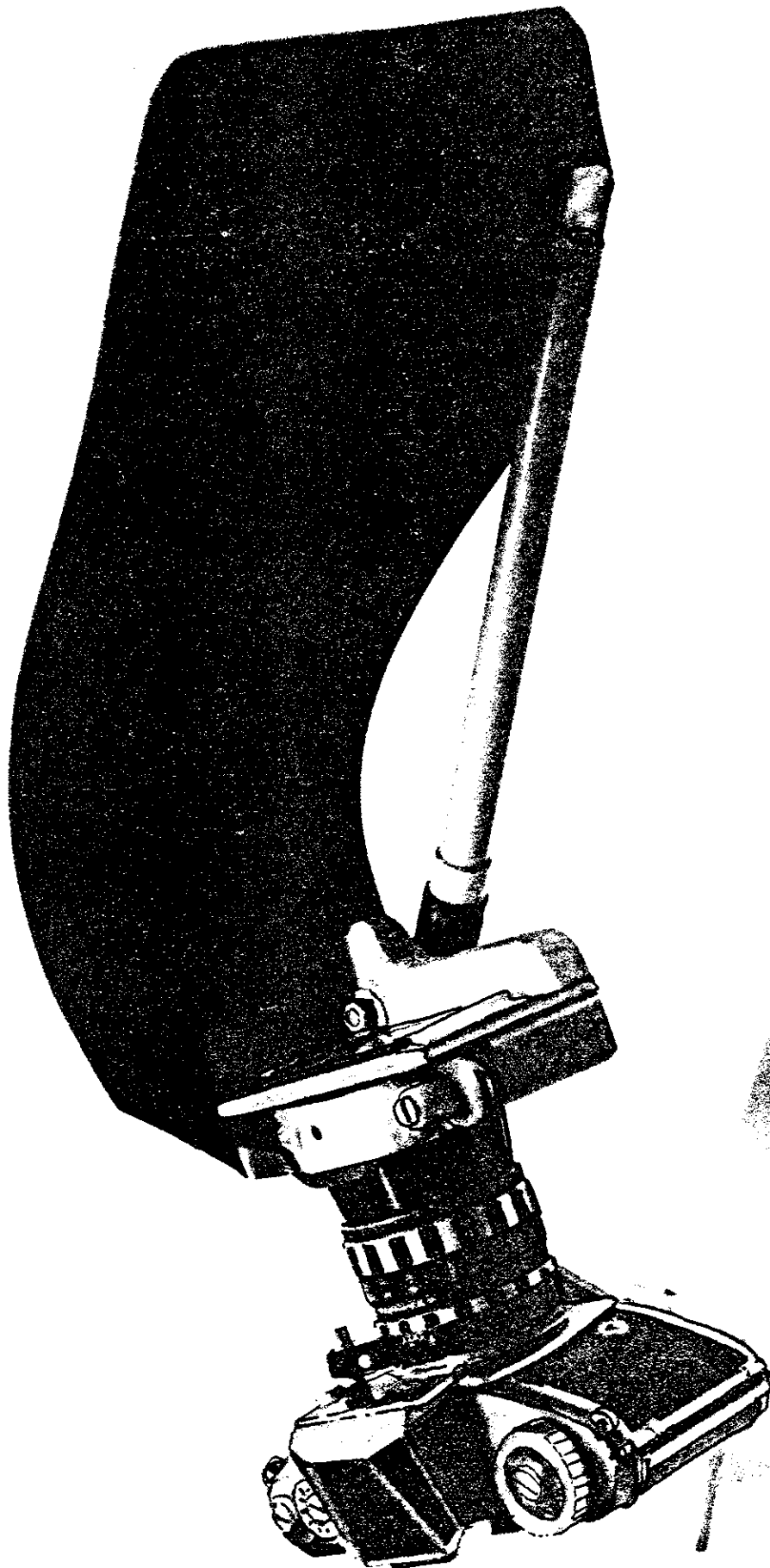
### 1°) L'appareil:

Sa conception est basée sur la technique du réseau placé devant l'objectif; les faisceaux qui nous proviennent des astres sont, individuellement, considérés comme parallèles. À la sortie du réseau, chaque longueur d'onde est déviée différemment; un objectif donnera donc une image étalée (pratiquement une fine ligne droite) de la source.



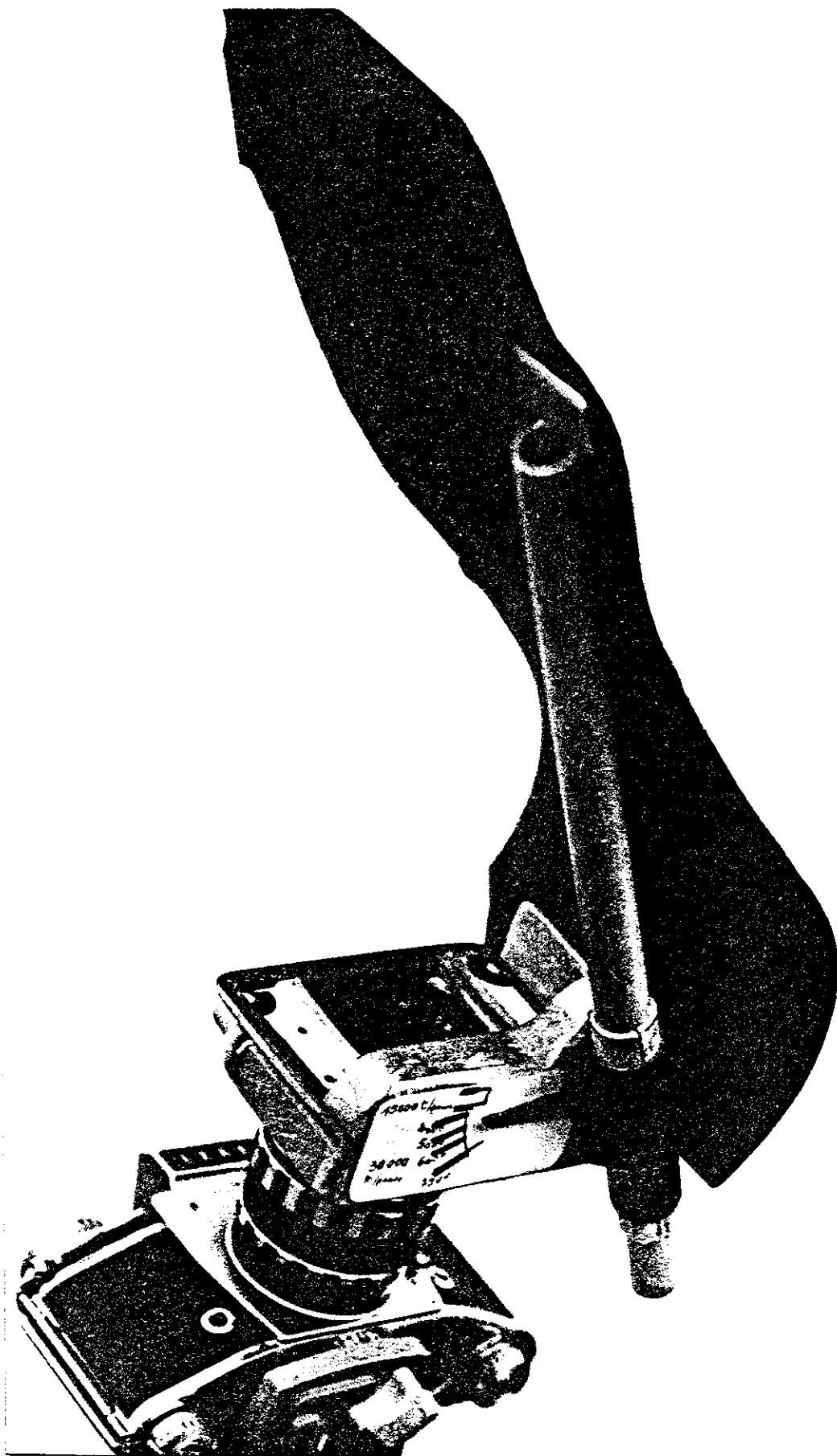
Deux réseaux Rank (distribués par Damelec, 240 av. Roger Salengro, 69100 Villeurbanne) donnent des résultats intéressants: le 15000 traits par pouce (590 traits/mm) et le 30 000 traits par pouce (1180 traits/mm).

Comme le montre le croquis ci-dessus, la lentille frontale de l'objectif doit être choisie assez grande pour ne pas diaphragmer la largeur du réseau, donc pour utiliser tous ses traits. Notons qu'un objectif de trop longue focale n'enregistrerait qu'une partie du spectre à la fois, étalerait l'énergie lumineuse sur une plus grande surface et poserait les mêmes problèmes de guidage sur les montures simplifiées que nous venons d'étudier.



LE MONTAGE VU DE DESSUS :

Un collier fixe le cadre sur l'objectif, le réseau se trouve dans ses glissières; le tube de visée (voir texte), décalé par rapport à l'axe optique, supporte le papier noir et sert à viser l'astre dont on désire le spectre.



LE MONTAGE VU DE DESSOUS:

L'aiguille fixée au tube de visée, là où celui-ci pivote, indique, sous le montage, les déviations du faisceau lumineux en fonction des longueurs d'onde et cela pour les deux réseaux utilisés; le réseau a, ici, été enlevé.

Dans les expériences réalisées avec ce matériel, un objectif de 135mm de focale, ouvert à  $f/2,8$ , associé à chacun des deux réseaux, a donné de bons résultats.

En se reportant aux photos, on peut voir que la légèreté du montage s'ajoute à un certain confort d'utilisation:

- la présence du tube de visée résout le problème posé par la déviation des rayons dans cet appareil diabolique. La vue de dessous montre qu'une petite lame de tôle (l'aiguille) a été soudée au tube; soudé au même endroit, perpendiculairement au tube, un boulon traverse le petit bâti de bois et constitue l'axe de rotation du tube.

- le calcul, grâce à la formule des réseaux:

$$n.k.\lambda. = \sin. \hat{i} + \sin. \hat{r} \quad (\text{où l'on peut annuler } \hat{r}),$$

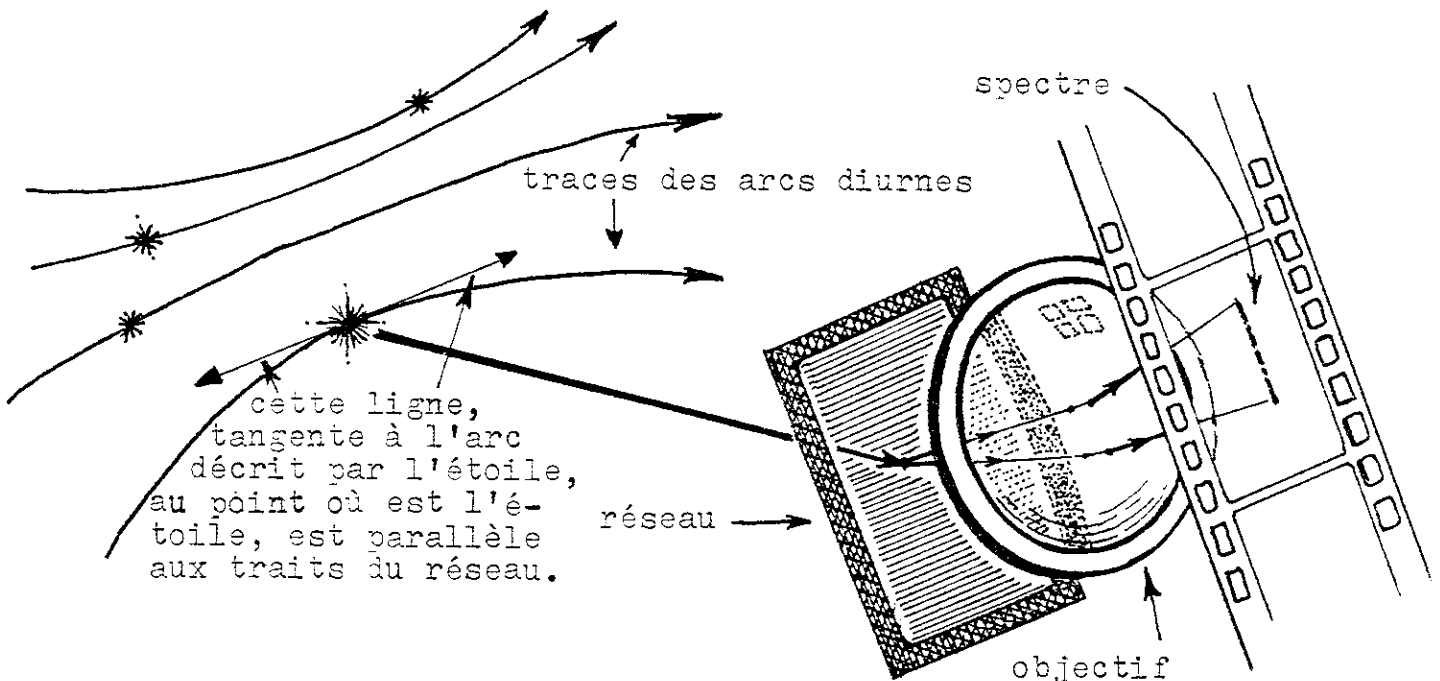
donne les angles de déviation en fonction des longueurs d'ondes  $\lambda$  et du nombre de traits au mm ( $n$ ); on choisit 1 pour l'ordre  $k$ .

- les angles ainsi trouvés sont alors reportés sous le bâti, en bout d'aiguille, et servent de graduation.

## 2°) orientation :

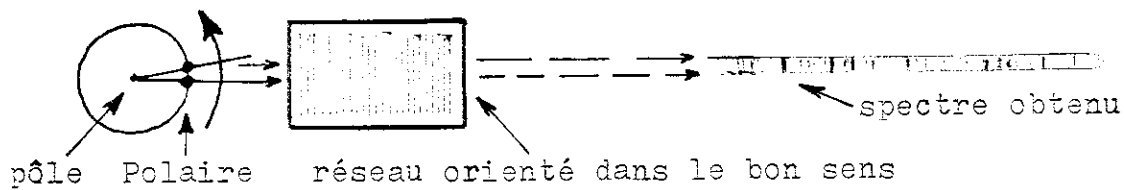
En plaçant le réseau (ici rectangulaire) dans le même sens que le rectangle du format 24x36, les spectres s'alignent parallèlement à la longueur du format, puisque les traits du réseau sont parallèles à la largeur de celui-ci.

En orientant, ensuite, ce montage de telle sorte que les traits du réseau soient parallèles au sens de défilement des astres, (ou, plus précisément, aux tangentes géométriques aux arcs diurnes)

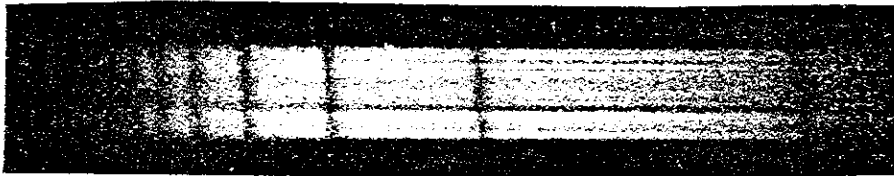


on constate que les spectres s'orientent, sur les clichés, parallèlement aux arcs de déclinaison; le mouvement diurne étale dans ce cas les spectres en largeur, ce qui les rend lisibles.

Autrement dit, une monture immobile (ou bien le spectrographe posé sur un support stable) doit déjà enregistrer des spectres. Cela se vérifie pour les étoiles brillantes et même pour un cas particulier d'étoile moins brillante mais exceptionnellement bien placée, à savoir la Polaire. En effet, l'arc décrit par cette étoile reste très court par unité de temps, et le spectre s'étale



très peu et "prend son temps" pour impressionner la pellicule. Une pose de 15 minutes a donné une image lisible. Le spectre de Sirius



ci-dessus fut réalisé un soir de mistral, en pose fixe; les inévitables vibrations de l'appareil (quelle idée d'embarquer une voile de papier noir sur ce navire étrange !) ont provoqué de petites irrégularités d'étalement visibles sur le cliché.

### 3°) les astres moins brillants:

Leurs spectres peuvent être obtenus en utilisant la monture équatoriale; la prolongation de la pose devient efficace grâce à une poursuite par à-coups dont la description suivante doit vous donner un aperçu:

a) pointage de l'aiguille des longueurs d'ondes sur la graduation indiquant la longueur d'onde centrale du cliché; on peut, en effet, désirer un spectre plus ou moins décalé dans le format afin de centrer la partie bleue ou la partie rouge; cela reste surtout valable dans le cas du réseau à 30 000 traits et d'une focale de 135mm, car le spectre, assez long, sort un peu du format en cas de pointage hâtif; mais surtout, une étoile rouge rayonne peu dans le violet alors qu'une étoile bleue sera plus intéressante du côté des courtes longueurs d'ondes.

L'appareil est muni de son papier noir qui masque les astres situés dans l'axe de l'optique.

b) sans toucher au tube de visée, puisque l'aiguille en est solidaire, pointage de l'astre dont on veut le spectre en déplaçant en bloc le groupe " appareil-réseau-tube "; lorsque l'étoile apparaît dans le petit tube, le spectre doit se trouver dans le champ du 24x36.

c) la pose débute, monture immobile; on laisse défiler le ciel, le spectre s'étale tout seul en largeur.

d) au bout de quelques secondes (temps variable, de 10 à 30 s. environ, déterminé expérimentalement en fonction du réseau, de la focale, de la magnitude de l'objet mais aussi de la surface sensible réceptrice), on "rattrape" l'astre par une rotation du bouton qui replace ainsi le spectre dans sa position première sur le film. On tient compte, dans le temps total de balayage, du temps mis pour le rattrapage.

Le spectre s'étale et se superpose à lui même grâce à cette poursuite en zig-zag; les images obtenues offrent à l'amateur des éléments suffisamment variés ( étoiles de températures différentes, de masses différentes aux raies plus ou moins larges, analyse, même sommaire, des compositions chimiques des étoiles, etc...) pour que cette technique perde un peu de son mystère et qu'elle soit largement utilisée.



Sirius, étoile de type A, chaude et naine: raies larges.



Rigel, supergéante A, aux raies très fines (zone bleue du spectre).



La Nébuleuse d'Orion : le fond continu est dû aux étoiles proches, les raies en émission, et non plus en absorption, proviennent de la nébuleuse elle-même.

Daniel BARDIN; Marseille.

Note de la rédaction: C'est avec ce travail que Daniel Bardin a obtenu le premier prix du concours du futur Musée des Sciences et Techniques de la Villette (voir les Cahiers Clairaut n°17).



PRECISION

Notre collègue D.Fortier (Club Astro de Saint Leu-la Forêt), fidèle lecteur des Cahiers Clairaut, nous signale, à juste titre, une source possible d'erreur dans l'article de D.Bardin: "Photo et spectro élémentaires" publié dans le numéro 19.

A la page 7, en haut: la tige filetée au pas de 0,75 n'existant plus dans le commerce depuis longtemps, il convient d'utiliser les tiges normalisées M5 au pas de 0,80. La première colonne du tableau de la page 7 devient donc:

	pas	0,80mm
$T_r$ :	30s	365,7mm
	40s	274,3mm
	45s	243,8mm
	60s	182,3mm

Les deux autres colonnes ne subissent pas de modification.  
De plus, dans le paragraphe central de cette même page 7, il est plus approprié d'utiliser le mot "index" à la place du mot "ergot".