8. GROSSISSEMENT.

Il est en général assez faible pour les jumelles (4 à 12) et atteint 25 pour les lunettes non jumelées.

9. CLARTÉ.

Les prismes du véhicule sont taillés dans un verre très transparent. Le coefficient de transmission τ est de l'ordre de 0,5, mais peut atteindre 0,8 si les surfaces dioptriques sont traitées.

Par temps clair, le rayon de la pupille de l'œil est petit ($\rho \simeq 2$ mm) et le grossissement est inférieur au grossissement équipupillaire, $G < \dfrac{R}{\rho}$, et la clarté est bonne, $C = \tau$.

Par temps sombre, le rayon de la pupille de l'œil augmente et peut devenir supérieur à celui du cercle oculaire qui reste constant. La clarté est alors donnée par la formule $C = \tau \left(\dfrac{R'}{\rho}\right)^2$ et devient moins satisfaisante. Ceci peut se produire surtout si le grossissement est un peu élevé.

C. LUNETTE DE GALILÉE

10. GÉNÉRALITÉS.

On obtient une image droite en remplaçant l'oculaire convergent de la lunette astronomique par une lentille **divergente** (fig. 3).

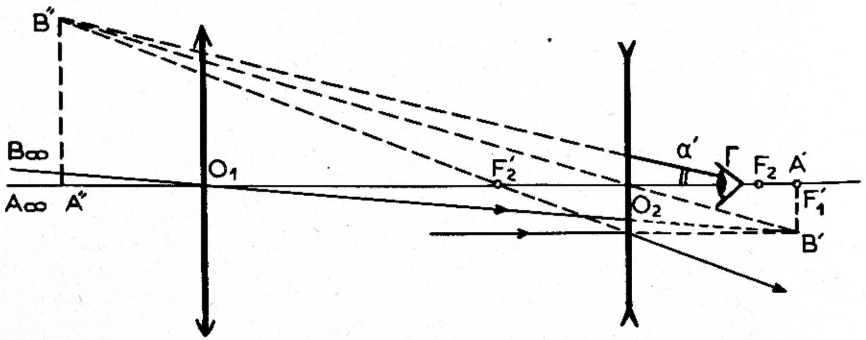

FIG. XXIV. 3.

L'objectif convergent peut avoir une distance focale F de 10 à 15 cm. L'oculaire divergent, une distance focale de 3 à 5 cm.

La lunette sera afocale (image définitive à l'infini) si les foyers F'_1 et F_2 coïncident. Pour obtenir une image virtuelle, il faut que le foyer F'_1 de l'objectif soit à droite, sur la figure, du foyer objet F_2 de l'oculaire (nous rappelons que dans un système dioptrique, objet et image se déplacent dans le même sens).

11. CERCLE OCULAIRE. POSITION DE L'ŒIL.

Par définition, le cercle oculaire est le conjugué $m'n'$ image de la monture de l'objectif mn.

Dans la lunette de Galilée, ce conjugué est **virtuel** (fig. 4). Donc, **on ne peut pas y placer la pupille de l'œil. C'est la différence fondamentale entre la lunette de Galilée et la lunette astronomique.**

On place l'œil le plus près possible de l'oculaire, soit à 15 mm environ.

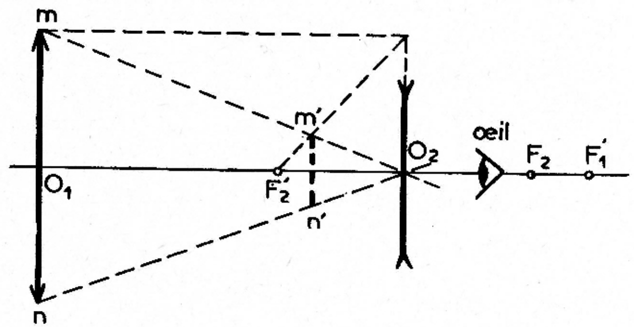

FIG. XXIV. 4.

12. RAYON DU CERCLE OCULAIRE.

Appliquons la formule de Lagrange au couple de points conjugués constitués par le centre de l'objectif et le centre du cercle oculaire.

$$n\,y\,u = n'\,y'\,u' \qquad \text{or} \qquad n = n' = 1$$

$y = R$, rayon de l'objectif,
$y' = R'$, rayon du cercle oculaire.

Prenons pour u l'angle α, diamètre apparent d'un objet éloigné. L'angle u' est celui sous lequel serait vue l'image définitive A″B″ à partir du centre du cercle oculaire. Mais l'œil, n'étant pas, cette fois, au cercle oculaire, voit cette image sous un angle α' (fig. 5).

Nous avons :

$$\alpha R = R' u' \qquad \text{et} \qquad G = \frac{\alpha'}{\alpha}$$

soit

$$R' = \frac{R}{G} \cdot \frac{\alpha'}{u'}$$

Si la mise au point est faite à l'infini (A'' à l'infini), la lunette est alors afocale et $\alpha' = u'$, le grossissement est alors intrinsèque. Donc :

$$R' = \frac{R}{G_i} \text{ (pour lunette afocale)}$$

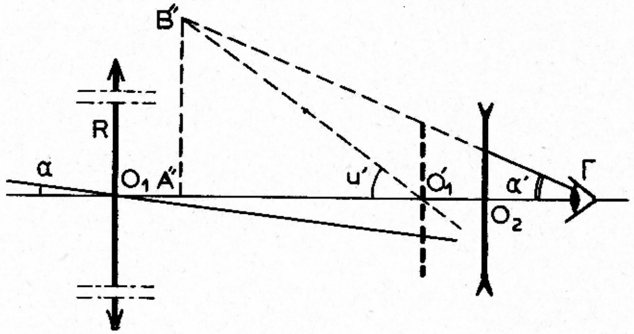

Fig. XXIV. 5.

Mais, si la mise au point est faite à faible distance δ, R' peut être très différent de $\frac{R}{G}$ et sera plus faible, car α' est inférieur à u'.

Remarque. — Ceci ne se produisait pas pour la lunette astronomique, car avec celle-ci, l'œil est toujours placé au cercle oculaire.

13. MISE AU POINT.

Elle s'effectue en déplaçant l'oculaire par rapport à l'objectif. La latitude de mise au point est donnée par la même formule que pour une loupe, dont la distance focale serait f, et a le même ordre de grandeur.

Si la mise au point est faite à l'infini (δ infini), la longueur de la lunette est $l = F - |f|$.

Nous voyons que cette lunette a un **encombrement très réduit.**

14. GROSSISSEMENT.

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{\alpha'}{A'B'} \cdot \frac{A'B'}{\alpha}$$

$$G = p_{oculaire} \times F_{objectif}$$

La puissance de l'oculaire est donnée par la formule habituelle :

$$p = \frac{1}{|f'|}\left(1 - \frac{a}{\delta}\right)$$

dans laquelle δ est la distance de mise au point (positive si l'image est virtuelle) et a le segment $\overline{F'_2 \Gamma} = a$

Ici le foyer image F'_2 de l'oculaire est toujours virtuel ; ainsi la quantité a est essentiellement positive et son ordre de grandeur est $a \simeq |f'| + 15$ mm.

Le grossissement de la lunette de Galilée est donc :

$$\boxed{G = \frac{F}{|f'|}\left(1 - \frac{a}{\delta}\right)}$$

Son grossissement intrinsèque sera :

$$G_i = \frac{F}{|f'|}$$

Remarque. — Ici la quantité $\frac{a}{\delta}$ n'est pas négligeable si δ est petit, c'est-à-dire si c'est un myope qui utilise la lunette. **Le grossissement d'une lunette de Galilée peut être très différent suivant l'observateur qui utilise cette lunette.**

Par exemple, $F = 15$ cm, $|f'| = 5$ cm, la distance a sera de l'ordre de 6,5 cm. Le grossissement sera :

$G = 3$ pour un œil normal qui n'accommode pas,
$G = 1{,}7$ pour un myope pour lequel δ vaudrait 15 cm.

15. MESURE DU GROSSISSEMENT.

1) On peut mesurer F et $|f'|$ séparément par focométrie.

2) On peut employer la méthode de la **chambre claire** décrite pour la lunette astronomique. Elle oblige à reculer l'œil pour placer la chambre claire, ce qui augmente a et diminue G. L'erreur est faible si δ est grand (mise au point éloignée).

3) Si la lunette est afocale, on peut calculer G par $G = \frac{R}{R'}$, en mesurant R'. Comme le cercle oculaire est virtuel, il faut utiliser une chambre claire (fig. 6).

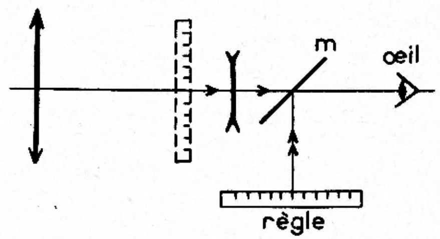

Fig. XXIV. 6.

Le miroir semi-transparent m sert de chambre claire.

16. CHAMP TRANSVERSAL.

Par construction, l'oculaire a un diamètre assez grand pour ne pas limiter les faisceaux et le rayon de l'objectif est suffisamment grand pour que le rayon du cercle oculaire soit toujours supérieur à celui de la pupille d'entrée de l'œil.

Ainsi, dans l'espace image, c'est la pupille de l'œil qui est vue du centre A'' de l'image sous le plus petit angle. Donc **la pupille de l'œil est toujours diaphragme d'ouverture et pupille de sortie de l'ensemble lunette-œil.**

Par suite, **la monture de l'objectif est diaphragme de champ et le cercle oculaire est lucarne de sortie.** C'est une **différence importante avec la lunette astronomique.**

En conséquence, ainsi que le montre la figure 7, le pinceau utile qui correspond à un point de l'objet, **ne couvre qu'une faible partie de l'objectif** qui est lucarne d'entrée.

La figure 7 représente la marche du pinceau qui provient d'un point situé au bord du champ de pleine lumière.

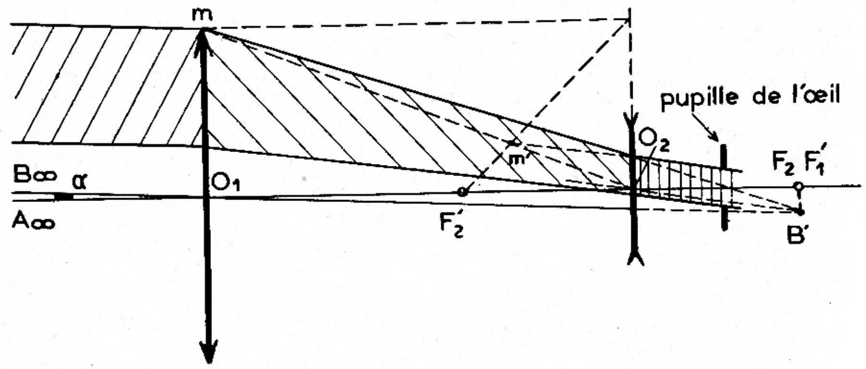

FIG. XXIV. 7.

Il y a un champ de contour que l'on ne peut pas supprimer car il ne se forme pas d'image réelle entre les deux lentilles de la lunette de Galilée.

17. ORDRE DE GRANDEUR DU CHAMP MOYEN.

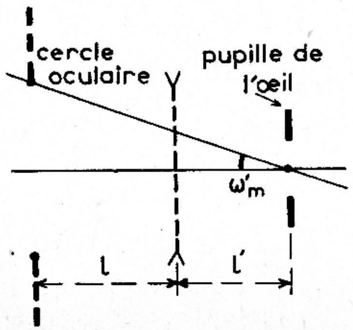

FIG. XXIV. 8.

La calcul est facile dans l'espace image de l'oculaire. Nous supposerons la lunette afocale et l'objet à l'infini. Alors les faisceaux émergents seront cylindriques.

Dans cet espace image nous trouvons alors : l'image à l'infini, le cercle oculaire qui est lucarne de sortie et la pupille de l'œil qui est pupille de sortie de l'ensemble.

Si $(l + l')$ (voir fig. 8) est la distance entre le cercle oculaire et la pupille de l'œil, le champ moyen apparent est :

$$2 \operatorname{tg} \omega' = \frac{2 R'}{l + l'}$$

Le champ réel moyen est :

$$2 \operatorname{tg} \omega = \frac{2 \operatorname{tg} \omega'}{G} \qquad \text{or} \qquad G = \frac{R}{R'} \text{ (lunette afocale)}$$

soit

$$\boxed{2\,\omega \simeq \frac{2 R'}{G\,(l + l')} = \frac{2 R}{G^2\,(l + l')}}$$

Nous voyons que, pour augmenter le champ, il faut :

1) augmenter R (F étant constant), donc utiliser un objectif très ouvert. N'oublions pas qu'il est diaphragme de champ et non d'ouverture ; donc l'augmentation de R n'accroîtra pas l'aberration de sphéricité pour le point objet sur l'axe ;

2) utiliser un grossissement peu élevé ;

3) rapprocher le plus possible l'œil de l'oculaire pour diminuer l'.

Malgré cela le champ réel d'une lunette de Galilée est très petit.

Remarques. — 1° La distance l du cercle oculaire à l'oculaire est fonction du grossissement G.

2° Rappelons que dans la lunette astronomique le champ apparent est à peu près indépendant du grossissement G, et le champ réel est inversement proportionnel à G.

18. POUVOIR SÉPARATEUR.

C'est la pupille de l'œil qui est diaphragme d'ouverture et provoque la diffraction. Donc, l'œil seul limite le pouvoir séparateur.

Si nous admettons une limite angulaire de résolution de $\frac{4}{3}$ minute d'arc pour l'œil, celle de l'ensemble lunette-œil sera :

$$\boxed{\alpha > \left(\frac{4}{3\,G}\right)'}$$

19. CLARTÉ.

La pupille de l'œil est toujours pupille de sortie et on observe seulement des objets étendus, donc :

$$C = \frac{E'}{E} = \tau \simeq 0{,}8$$

20. COMPARAISON AVEC LES AUTRES LUNETTES TERRESTRES :

a) **Défauts** : la lunette de Galilée :

1) a un **champ faible,**

2) a un **faible grossissement,** donc un faible pouvoir séparateur,
3) ne peut pas avoir d'oculaire micrométrique, puisqu'il n'y a pas d'image réelle.

b) **Avantages :**

1) elle est **peu coûteuse,**
2) elle est **peu encombrante et légère,**
3) elle a une **grande clarté** même par temps sombre, car la pupille de l'œil reste toujours pupille de sortie.

Elle est utilisée presque uniquement avec un faible grossissement (2 à 4) dans les jumelles de théâtre.

D. VISEURS

21. DESCRIPTION.

Le viseur est un instrument intermédiaire entre le microscope qui sert à examiner les objets très rapprochés et la lunette qui sert à observer des objets très éloignés.

Il est formé de trois tubes qui peuvent coulisser les uns dans les autres (voir fig. 9) :

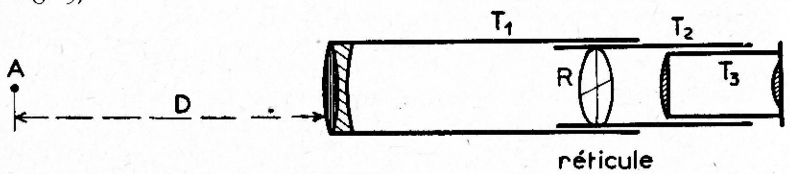

FIG. XXIV. 9.

Le tube T_1 porte un objectif convergent.
Le tube T_2 porte un réticule R.
Le tube T_3 porte un oculaire convergent.

22. RÉGLAGE.

Le viseur sert en général à viser des points qui sont **à une distance finie D devant un objectif.** D est égal à quelques fois la distance focale de l'objectif.

On déplace le tube T_3 par rapport au tube T_2 afin de voir nettement le réticule R (fig. 9).

Puis on fait coulisser T_2 dans T_1 de façon à voir nettement en même temps l'image du réticule et celle du point A que l'on veut viser.

En général, la distance de visée D est inconnue, mais il est important qu'elle soit **constante.** Elle est fonction de la distance du réticule à l'objectif, donc du tirage du tube T_2 dans le tube T_1.

23. USAGES.

1) Le viseur peut servir pour repérer la direction d'un faisceau de lumière parallèle. Il est alors associé à un cercle gradué pour mesurer les angles (goniomètre). Le viseur est alors « réglé pour l'infini », c'est-à-dire que l'on a rendu la distance D infinie. Le viseur se ramène à une lunette astronomique.

2) Le viseur sert surtout **à mesurer des distances :**

a) **transversales :** on déplace le viseur le long d'une règle graduée qui est perpendiculaire à l'axe du viseur **(cathétomètre).** Ceci sert, par exemple, à mesurer une dénivellation de mercure dans un manomètre ;

b) **longitudinales :** le viseur est placé sur un banc d'optique. On ne change pas sa distance de visée et on le déplace le long du banc, parallèlement à son axe optique. On vise successivement deux points A_1 et A_2 sans toucher au tirage T_1T_2. La distance A_1A_2 est égale au déplacement du support du viseur entre les deux pointés.

Viser un plan A signifie, alors, déplacer le viseur jusqu'à ce que l'on voie nettement, à la fois, l'image du plan A et celle du réticule.

On réalise cette opération avec une certaine erreur sur la position du viseur. Il est très important de diminuer cette erreur.

24. ERREUR DE POINTÉ.

L'erreur de pointé est liée à la profondeur de champ du viseur.

En effet, l'accommodation de l'œil est fixée par la position du réticule par rapport à l'oculaire. Mais l'œil verra cependant nettement le point A si la tache, intersection du faisceau utile issu de A par le plan du réticule, est assez petite (fig. 10).

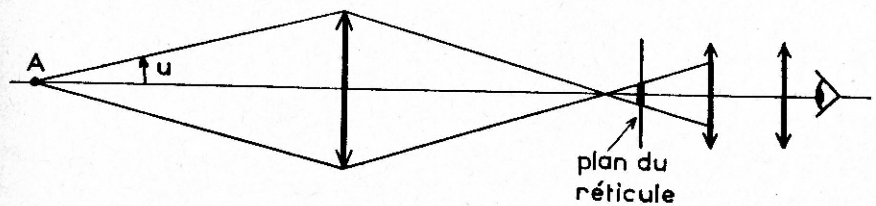

FIG. XXIV. 10.

Nous avons montré que la profondeur de champ est donnée par la formule (voir chap. XX, § 13) :

$$p = \frac{2\,a'\,D^2}{O.F}$$

si a' est le diamètre de la tache tolérée dans le plan du réticule, O le diamètre de l'objectif de distance focale F, en supposant que ce dernier soit pupille d'entrée.