

## Les oculaires apprivoisés

Jean-Luc Dighaye

### 1. Introduction

Un objectif astronomique forme, à son foyer, l'image d'un objet à l'infini. Cette image est soit utilisée directement si l'on y place une surface sensible, soit renvoyée à l'infini par un oculaire pour l'observation visuelle (ou la photographie avec un appareil dont l'objectif ne se démonte pas, ou des séquences vidéo).

L'oculaire forme aussi l'image de l'objectif (plus précisément, de la pupille d'entrée du système optique) : c'est la pupille de sortie du système. Si cette pupille coïncide avec la pupille de l'œil (ou avec la pupille d'entrée de l'appareil photo ou de la caméra vidéo que l'on place derrière l'oculaire), le champ couvert est maximum.

Dans la lunette de Galilée (ou les jumelles de théâtre), l'oculaire est constitué d'une lentille divergente placée avant le foyer de l'objectif. La pupille de sortie est « dans le tube », entre objectif et oculaire, et par conséquent il est impossible d'y placer l'œil. Le champ est donc réduit et mal terminé : il y a du vignettage aux bords.

Kepler a proposé de remplacer la lentille divergente par une lentille convergente placée après le foyer. Ainsi, la pupille de sortie est « hors du tube », et le champ apparent un peu plus grand –

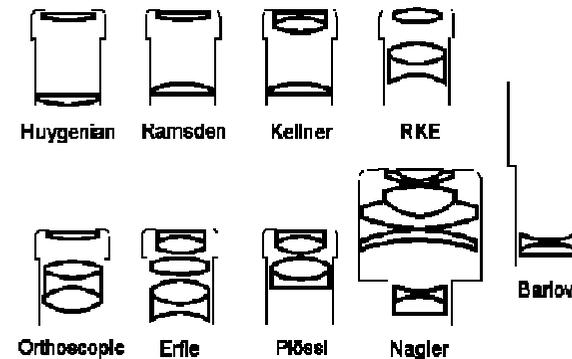
mais pas tellement, faites-en l'expérience avec une loupe ordinaire, tenue à la main, en guise d'oculaire. On peut aussi placer un réticule au foyer, pour mesurer les astres, et un diaphragme de champ. Sans ce diaphragme de champ, le champ oculaire est légèrement supérieur, mais de nouveau mal terminé.

Pour agrandir le champ, Ramsden a préconisé un oculaire à deux lentilles, de surcroît assez bien corrigé des aberrations. L'oculaire de Huygens a un champ légèrement plus large, mais le foyer de l'objectif est « dans » l'oculaire, entre les deux lentilles : il faut démonter l'oculaire pour y introduire un réticule éventuel. En outre, le Huygens engendre davantage d'aberration sphérique, le réservant aux grands rapports focale / diamètre des « longues lunettes à faire peur aux gens » d'autrefois. En règle générale, tous les oculaires sont bons pour les grands f/d, mais il faut des conceptions spéciales, détaillées au chapitre 2, pour pouvoir donner de bonnes images avec les instruments « courts » à petit f/d.

Une lentille en plus dans le Huygens, et l'on obtient le Kellner, oculaire des jumelles à prisme bon marché. Des doublets au lieu de lentilles simples dans le Ramsden, et l'on obtient le Plössl. Un triplet plus une lentille simple ? L'orthoscopique ! Encore quelques lentilles bien tassées ? L'Erfle à grand champ pour les militaires ! On en était là au milieu du siècle dernier. Les oculaires des télescopes d'amateurs étaient bien corrigés mais petits (au coulant de 0.96 pouces soit 24.4 mm ; au maximum,

1.25 pouce soit 31.8 mm). Aux courtes focales, la pupille de sortie était tout contre l'oculaire, le rendant impropre au grand champ et malcommode pour les porteurs de lunettes.

Ce genre d'oculaire existe toujours. Il convient bien à l'observation planétaire : les planètes ne sont pas si grandes, et puis un oculaire fait de lentilles peu nombreuses et minces transmet bien la lumière, ne fausse pas les teintes et produit peu de reflets. Mais un marché lucratif s'est créé autour des oculaires à grand champ apparent, utilisables par les porteurs de lunettes (ceux qui ont les moyens de se les payer ne sont en général pas jeunes...), qui nécessitent le plus souvent un coulant de 2 pouces soit 50.8 mm. C'est d'oculaires de la gamme Tele Vue, fabricant considéré comme l'un des meilleurs si pas le meilleur, que nous allons surtout parler.



Quelques combinaisons optiques d'oculaires sont présentées ci-dessus. Les illustrations proviennent du site suivant : <http://www.geocities.com/blobrana/features/eyepiece.htm>

### 2. Tele Vue

<http://www.televue.com/engine/page.asp?ID=144>

...donne un tableau, plutôt touffu et rébarbatif, des caractéristiques complètes et actualisées de l'ensemble de ses oculaires.

De tous ces oculaires, c'est le Panoptic 41 qui a le plus grand diaphragme de champ : 46 mm. Les oculaires de la série Panoptic ont peu de distorsion, et ils sont bien corrigés hors axe – les images stellaires sont nettes jusqu'au bord du champ, qui couvre en apparence 68°. Une telle correction a été rendue possible par l'emploi d'un premier élément optique divergent et très creusé ; cela signifie que les rayons lumineux entrant dans l'oculaire s'évasent, et donc que l'oculaire est plus large en son milieu.

Avec moins de lentilles et des courbures moindres, on peut obtenir des oculaires de focale 40 à 42 mm et de champ apparent de l'ordre de 70° qui sont un peu moins bons, mais beaucoup moins chers que le Panoptic 41. Ils proviennent souvent de Chine et des pays avoisinants. Défaut fréquent : il y a des poussières à l'intérieur (ils ne sont pas assemblés en salle propre). Un démontage, souvent aisé, et un dépoussiérage sommaire en viennent à bout. Le Panoptic 41 est réputé facile d'emploi : la pupille de sortie se trouve à 27 mm derrière sa dernière lentille. C'est ce qu'on appelle le dégagement

arrière (eye relief en anglais, parfois improprement traduit « relief d'œil »). Le dégagement est ici amplement suffisant pour les porteurs de lunettes. Pour les autres, l'oculaire est muni d'un œillette repliable, monté sur un filetage réglable en longueur : de quoi convenir à toutes les morphologies.

C'est pourtant la série des oculaires conçus par Al Nagler qui a fait la renommée de Tele Vue. L'angle de champ apparent atteint au moins 82°. C'est trop, disaient au début les détracteurs de ce concept révolutionnaire. A présent, beaucoup tentent de l'imiter : Tele Vue a donc voulu reprendre une grande longueur d'avance avec les oculaires Ethos, au champ extrême de 100°, voir ci-dessous. Il n'en reste pas moins que certains individus n'arrivent jamais à voir correctement dans un Nagler, et a fortiori dans les oculaires concurrents.

- Le roi des Nagler (et aussi le plus cher), c'est le 31 mm, surnommé « la grenade » suite à sa forme – cet embonpoint s'explique par un premier groupe optique qui éparpille encore plus les rayons lumineux que dans le Panoptic. A force de gros éléments convergents, tous ces rayons se retrouvent dans un cône de 82° illuminant la pupille de sortie, 19 mm derrière l'oculaire. C'est encore assez pour un porteur de lunettes. Cette pupille, cependant, n'est pas parfaitement définie : dans tous les Nagler, un léger désalignement fait apparaître des zones sombres dans le champ, en forme de haricot (« kidney bean effect »). Le champ réel du Nagler 31 couvre 42

mm ; comme dans les oculaires de Huygens, le diaphragme de champ se trouve à l'intérieur du Nagler. Les étoiles sont nettes sur tout le champ, mais on note une légère distorsion en coussinet. De ce fait, certains observateurs croient voir la Lune concave et non pas comme une boule, parce que les cratères des bords du champ sont davantage grossis que ceux du centre.

- Le Nagler 12 mm est un des « petits frères » du Nagler 31. Il a également 82° de champ apparent, correspondant à 17.1 mm de champ réel. Il est « bi-standard » en ce qu'il s'adapte aux coulants 2 pouces et 1.25 pouce. C'est le seul Nagler de courte focale encore utilisable par les porteurs de lunettes, avec 17 mm de dégagement arrière ; mais même avec l'œillette rabattu, il faut coller le verre des lunettes contre le caoutchouc, et ne pas regarder de travers. Sans lunettes, il faut veiller à centrer exactement l'œil en s'aidant de l'œillette et d'une gaine coulissante dont l'oculaire est pourvu. Un diaphragme auxiliaire amovible est même prévu pour parfaire le réglage, lequel est en vérité critique.

Les autres Nagler courts et les oculaires concurrents s'utilisent sans lunettes. Élégantes aux longs cils s'abstenir, surtout s'il y a du mascara dessus !

Signalons encore un accessoire inappréciable pour les astigmatés, surtout s'ils sont presbytes et qu'ils ne regardent jamais que d'un œil : les bonnettes Dioptrix, petites lentilles cylindriques à insérer derrière la dernière lentille de l'oculaire.

En 2007, TeleVue a réussi une gageure : réaliser un oculaire qui surclasse la série

Nagler, tant en champ apparent qu'en correction de la distorsion et d'autres aberrations hors axe, tout en présentant un contraste élevé et un bon confort d'utilisation : l'Ethos 13 mm, bi-standard comme le Nagler 12 mm. Le champ apparent atteint juste 100°. C'est énorme, mais bon nombre d'utilisateurs arrivent encore à en embrasser toute l'étendue d'un seul coup d'œil.

Certains ont alors tenté d'utiliser un Ethos dans chacun des canaux d'une tête binoculaire – las, son diamètre extérieur (63.5 mm sur les premières séries, réduit à 62 mm par la suite) en limite l'emploi à des utilisateurs de distance interpupillaire suffisante, et assez agiles pour pouvoir placer et maintenir chaque œil exactement dans la pupille de sortie de l'Ethos respectif.

L'Ethos 8 mm, arrivé en 2008, est plus mince que l'Ethos 13 mm : en usage binoculaire, il convient à toutes les distances interpupillaires.

On pourrait, dans l'autre sens, imaginer un Ethos géant qui passerait tout juste dans un coulant 2 pouces : il pourrait avoir 21 ou 22 mm de focale.

De tels oculaires émoussent l'intérêt pour les Nagler, dont le prix a baissé.

Les oculaires à courte focale et grand dégagement sont tous conçus avec un système optique divergent placé loin en amont d'éléments convergents : ils comportent donc une espèce de lentille de Barlow incorporée. Rien n'empêche pourtant, en vue d'obtenir les grossissements les plus forts, d'utiliser ces oculaires derrière une lentille de Barlow indépendante. Cette dernière, d'habitude fortement divergente, change radicalement

la position de la pupille d'entrée du télescope vue depuis l'oculaire, et donc aussi la pupille de sortie, c'est-à-dire le dégagement arrière. En cas de fort désaccord entre la position nominale de la pupille de sortie et celle résultant de l'emploi de la Barlow, du vignettage réduisant le champ de l'oculaire peut apparaître. Ce risque est éliminé avec la Powermate, variante de Barlow développée elle aussi par Tele Vue, quasi dépourvue de puissance optique (son schéma ressemble à celui d'une lunette de Galilée inversée). Avantage supplémentaire : le gain de grossissement apporté par la Powermate est sensiblement indépendant de la distance entre Powermate et oculaire, alors qu'une Barlow ordinaire est d'autant plus forte que cette distance augmente – il est donc difficile de connaître exactement son effet grossissant.

Avec les télescopes de Newton très ouverts, par exemples sur monture à la Dobson, l'aberration de coma au bord de champ peut être supprimée avec un correcteur de coma tel que le Paracorr de Tele Vue. Ce dernier augmente le grossissement de 15%.

Nous avons de la sorte « apprivoisé » quelques oculaires, en tentant d'expliquer le pourquoi et le comment de leurs qualités comme de leurs caprices, plutôt qu'en nous basant sur les rapports anecdotiques d'utilisateurs plus ou moins enthousiastes. Qu'en est-il de ces oculaires, une fois montés sur des instruments typiques que possèdent des membres du Groupe Astronomie de Spa?

### 3. Tableau des couples oculaire – lunette ou télescope

Le tableau suivant donne, respectivement, le type d'oculaire (P pour Panoptic, N pour Nagler, C pour correcteur de coma, B pour Barlow, E pour Ethos), la pupille de sortie en millimètres, le grossissement, le champ de vue sur le ciel en degrés ou minutes de degré, et la magnitude limite (voir détails au chapitre 4), ceci pour :

- une lunette Sky-Watcher ED 80 Pro, de 80 mm d'ouverture et 600 mm de focale, donc  $f/d = 7.5$  ;

- un télescope Schmidt-Cassegrain de 8 pouces, genre Celestron 8 ou équivalent, de 203 mm d'ouverture et 2060 mm de focale (valeur mesurée sur un C8 muni d'un redresseur), donc  $f/d = 10.1$ ;

- un télescope Dobson genre Meade LightBridge 16, de 406 mm d'ouverture et 1829 mm de focale, donc  $f/d = 4.5$ .

### 4. Magnitude limite et emploi de filtres

$$V = 5 * \log D + 2.5 * \log T - K * \sqrt{P * \sqrt{T}} + C$$

où

V est la magnitude visuelle limite,

D le diamètre de la pupille d'entrée en mm,

T la transmission totale (objectif + oculaire + accessoires),

K une constante de site (comprise entre 0.7 et 1.3 en Belgique),

P le diamètre de la pupille de sortie en mm ( $P = D * \text{Foc} / \text{Fobj}$ ), et

C une constante d'utilisateur pour un ciel donné (ex. : 4.4)

Il est difficile d'évaluer exactement T. On l'approxime avec la connaissance, pour un télescope, du nombre de miroirs, de leur réflectance individuelle et de l'obstruction causée par le secondaire et les baffles. Pour un objectif ou un oculaire, le nombre de lentilles, la présence

de collages, de verre absorbant, et la qualité du traitement antireflet influent sur la transmittance.

Un Schmidt-Cassegrain avec une aluminure protégée, suivi d'un oculaire à grand champ, peut avoir une transmission de 0.6 à 0.65. Un Dobson a une transmission légèrement supérieure (0.65 à 0.7) parce qu'il n'y a pas de lame de fermeture et que l'obstruction du secondaire est moindre. Une bonne lunette avec un oculaire bien traité peut arriver à mieux que 0.8.

C'est la présence du terme en « racine de pupille » qui fait différer la formule ci-dessus de celles généralement publiées. Cette fonction résulte d'expérimentations personnelles avec des pupilles de sortie et des niveaux de pollution lumineuse très variables. Elle n'est donc pas valable pour tous les individus ; mais elle exprime une loi générale assez méconnue : *la magnitude limite augmente avec le grossissement*.

Sous un ciel urbain, Bortle 7 (environ 15 millilux) pour qui emploie cette échelle, correspondant au centre d'une petite agglomération ou à la banlieue d'une grande, ou encore par pleine Lune, j'ai trouvé une constante K de 1.3. Un oculaire de longue focale, donnant une grande pupille, montre un ciel délavé dans lequel les étoiles se perdent. On gagne presque 2 magnitudes en passant à un oculaire fort, donnant une pupille d'environ 1 mm. Encore faut-il que l'objet recherché soit dans le champ, et de préférence entouré d'autres étoiles, sinon l'œil s'y perd : les oculaires à grand champ sont très avantageux à cet

égard. Il faut aussi que la turbulence atmosphérique permette un tel grossissement – si les étoiles deviennent de grosses taches bouillonnantes, l'œil les assimile à des nébuleuses, et la formule n'est plus valable.

Un ciel de transition entre village et campagne, Bortle 5 (environ 4 millilux), est plus sombre, et la constante K trouvée plus faible : 0.9. La magnitude limite à fort grossissement n'est que peu améliorée par l'assombrissement du ciel ; mais elle est la même, sous un grossissement modéré, qu'en ville sous fort grossissement. Il y a donc beaucoup plus d'étoiles dans le champ de l'oculaire.

En Belgique, sous une belle nuit et le plus loin possible de villes (et éclairage autoroutier éteint), le mieux qu'on puisse espérer est Bortle 3 (moins de 2 millilux), qui devrait correspondre à  $K = 0.7$ . C'est la valeur utilisée dans le tableau ci-dessus. Les magnitudes indiquées sont donc très optimistes, mais pas irréalistes, pour autant qu'il soit tenu compte de ce qui suit. Je rappelle qu'il s'agit d'une *limite* : les astres qui apparaissent d'emblée à l'oculaire sont plus brillants d'environ 2 magnitudes que la limite donnée, et l'on perd encore, comme dit plus haut, au moins 1 magnitude sous faible grossissement et forte pollution lumineuse.

« Belle nuit » ne veut pas seulement dire nuit sans trop de pollution lumineuse : il faut aussi que le ciel soit bien transparent, sans voiles nuageux. Et la sensibilité visuelle varie d'un observateur à l'autre. Ces effets sont repris dans la constante d'utilisateur C.

Oculaire	P41	N31	CN31	E13	N12	E8	BN12	BE8
ED80								
Pupille	5.5	4.1		1.7	1.6	1.1	0.8	0.53
Gross.	15	19		46	50	75	100	150
Champ	4.4°	4.0°		2.1°	1.6°	1.3°	49'	40'
Mag.	12.1	12.3		12.9	12.9	13.0	13.1	13.2
C8								
Pupille	4.0	3.1		1.3	1.2	0.79	0.59	
Gross.	50	66		158	172	258	343	
Champ	1.3°	1.2°		37'	29'	23'	14'	
Mag.	14.2	14.3		14.7	14.7	14.9	14.9	
LB16								
Pupille			6.0	2.9	2.7	1.8	1.3	0.89
Gross.			68	141	152	229	305	457
Champ			1.1°	42'	32'	26'	16'	13'
Mag.			15.4	15.9	16.0	16.1	16.2	16.4

Il y a quelques années, j'avais encore une constante C de 4.4 – cette valeur ne peut malheureusement guère que diminuer avec l'âge. Ce qui augmente en revanche, c'est l'expérience, à savoir la manière de regarder correctement pour percevoir les astres les plus faibles. Quelques conseils pour les néophytes, en plus de ceux-ci :

<http://www.instructables.com/id/ECKE-SWUF1A4Y1Y8/?ALLSTEPS>

- la fatigue nuit à la perception des objets faibles. Si vous arrivez à dormir avant l'observation, tant mieux ;
  - un gros repas, surtout s'il est copieusement arrosé, nuit encore plus. Mais il ne faut pas non plus être déshydraté. Certains consomment des myrtilles ou des carottes, espérant stimuler la production de rhodopsine. Vous pouvez essayer : ça ne peut pas faire de tort...
  - respirez bien ! Les débutants retiennent leur souffle à l'oculaire. S'il fait froid ou humide, n'expirez cependant pas en direction de l'oculaire, qui pourrait s'embuer ;
  - ne vous contorsionnez pas pour mettre l'œil à l'oculaire, et ne vous comprimez pas la nuque : si l'astre est proche du zénith, utilisez plutôt un renvoi coudé ;
  - patience ! Regardez attentivement, explorez minutieusement (sans fixer, en utilisant la vision latérale) le champ où l'objet devrait se trouver. Si vous croyez le voir par instants, et que cette impression se confirme à la longue, toujours au même endroit, vous l'avez vu !
- Des explications plus poussées sur certains de ces effets peuvent être consultées ici :

<http://stjarnhimlen.se/comp/radfaq.html>

En observant des deux yeux, on y voit mieux que d'un œil. Avec des jumelles, j'arrivais à 4.8 au lieu de 4.4. Une tête binoculaire, en revanche, est d'effet mitigé : d'une part, on peut tabler sur un gain de 0.4 magnitude suite à la vision binoculaire, mais d'autre part, la lumière est divisée en deux canaux, et il y a encore des pertes dans l'optique qui assure la division, si bien que la transmission par canal n'est plus que d'environ 45% de celle qu'on aurait sans tête binoculaire :  $T' = 0.45 * T$ . La magnitude limite décroît souvent avec l'emploi d'une telle tête.

D'un individu à l'autre, la sensibilité et la résolution en vision nocturne varient énormément – encore plus si l'on emploie des filtres colorés ou interférentiels. Ce qui suit est donc donné à titre indicatif.

Le filtre dit Skyglow ou Néodyme absorbe surtout une bande étroite correspondant à l'éclairage au sodium, premier responsable de la pollution lumineuse en Belgique. Le contraste des galaxies à forte luminosité surfacique devrait être maximisé pour une pupille de sortie d'environ 3 mm (4 mm si le ciel est vraiment sombre), par exemple avec l'Ethos 13 sur le LightBridge 16.

Le filtre OIII absorbe, lui, une grande partie du visible, sauf une bande étroite dans le bleu-vert, qui correspond à la raie d'émission des nébuleuses que l'œil voit d'habitude le mieux. Le fond de ciel disparaît presque entièrement. Ce filtre

devrait bien s'accommoder d'une pupille de sortie d'environ 4 à 6 mm, convenant par exemple au Nagler 31 (avec Paracorr) sur le LightBridge 16, au même Nagler (sans Paracorr) sur la Sky-Watcher 80, ou au Panoptic 41 sur le Celestron 8.

Sans vouloir entreprendre un recensement exhaustif des filtres à contraste, voici mes impressions personnelles sur quelques autres choix possibles :

- le Kontrast-Booster atténue davantage que le Skyglow : il convient moins bien au ciel profond ;
- le H-bêta ne laisse passer que cette longueur d'onde bleu turquoise, correspondant à une raie d'émission assez faible des nébuleuses, à quelques exceptions près : Tête de Cheval, California – à essayer avec une pupille de sortie aussi grande que celle de l'œil ;
- le Swan Band laisse passer OIII et un peu de vert émeraude, moins poétiquement le cyanogène des comètes. Un concurrent sérieux au filtre OIII, mais cher et difficile à trouver ;
- les filtres UHC et apparentés ont deux pics de transmission : un bleu-vert pour laisser passer H-bêta et OIII, et un rouge pour laisser passer H-alpha, raie d'émission intense des nébuleuses, très photogénique mais peu frappante à l'œil standard. En visuel, ils laissent un fond de ciel gênant.