

Présentation des concepts de base pour la compréhension du fonctionnement et des réglages des instruments optiques.



LES INSTRUMENTS OPTIQUES

*FONCTIONNEMENTS &
REGLAGES*

éduscol



MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE

Sciences et Techniques Industrielles
Portail national de ressources

<http://eduscol.education.fr/sti/>



LES INSTRUMENTS OPTIQUES

PREAMBULE

Ce document s'adresse à des étudiants en Brevet de Technicien Supérieur Opticien Lunetier.

L'objectif de la formation en ETSO n'est pas de faire, de nos étudiants, des spécialistes de l'optique géométrique, mais des utilisateurs avertis des instruments qu'ils vont devoir utiliser et parfois vendre.

Ce document est donc conçu pour présenter de manière vulgarisée les concepts utiles au fonctionnement et aux réglages dans les instruments optiques.

Les puristes pourront trouver des raccourcis ou des approximations qui se justifient par les difficultés que rencontrent nos étudiants.

En effet l'apprentissage des concepts optiques est long et complexe, le niveau d'abstraction à atteindre pour la compréhension de phénomènes optiques (comme les conjugués virtuels, les champs transversaux, les faisceaux astigmatiques...) devient vite insurmontable pour certains d'entre eux.

Nous avons donc conçu ce document afin qu'ils puissent trouver une synthèse « simplifiée » des concepts qu'ils devront avoir acquis pour l'épreuve d'ETSO du BTS.

REFLEXION SUR LA RESTRUCTURATION DE LA FILIERE VISUELLE

Le [référentiel actuel](#) fait mention du secteur technologique, dans lequel l'opticien peut travailler ainsi que des tâches (E7) « Proposer et vendre des instruments d'optique » et (H1) « Maintenir ou faire maintenir en état de fonctionnement et d'hygiène le matériel et les locaux ».

Ces tâches sont en lien direct avec la formation suivie en ETSO qui propose de former les étudiants aux instruments d'optique et d'atelier.

Un [rapport établi par l'Inspection Générale des Affaires Sociales](#) préconise de nombreuses pistes pour la restructuration de la filière visuelle.

Parmi celles-ci, la recommandation N°19 paraît importante : « *Et la demande d'une refonte des études, qui fasse la part moins belle aux questions de marketing et de gestion, et dote les étudiants d'une formation solide en physiologie de l'œil, **en optique**, en réfraction, en contactologie, en basse vision... est unanime.* »

La formation en optique peut se concevoir de manière purement théorique mais il semble pertinent de dire qu'un technicien se doit d'avoir, aussi, des compétences et des connaissances dans les domaines de la technologie.

L'évolution des appareils d'amélioration de la vision, l'innovation dans le domaine de la réalité virtuelle et de la vision augmentée sont autant de pistes à creuser.

Les produits dans ce domaine commencent à se multiplier avec les risques de troubles liés à leur utilisation.

Les spécialistes de correction des troubles de la vue que sont les opticiens peuvent apporter des conseils éclairés pour une utilisation raisonnée.

L'ETSO pourra alors être un « support » privilégié pour former les futurs opticiens à ces connaissances.



LES INSTRUMENTS OPTIQUES

PREREQUIS POUR LA LECTURE DE CE LIVRET

La compréhension des fonctionnements et des réglages des instruments optiques nécessite de nombreuses connaissances dans le domaine de la technologie, de l'optique et de l'analyse de la vision.

Les premières étapes de la conception d'un instrument optique passent nécessairement par une **modélisation d'optique paraxiale** définie dans les **conditions d'approximation de GAUSS**.

En ETSO, sauf cas particulier, nous resterons donc dans ces conditions, tous les schémas d'optique géométrique sont représentés dans ces conditions.

Pour une bonne compréhension de ce livret il est conseillé de maîtriser le vocabulaire et les notions associés aux concepts suivants :

- Concepts de base de l'optique géométrique : Objet, image, rayons, espaces optiques, réel, virtuel, conjugués, approximations de GAUSS...
- Les composants optiques de base et leurs tracés optiques associés : Miroirs (plans, dièdres droits, sphériques, paraboliques), prismes, lentilles minces, convergence, divergence, foyers, focales, doublets, systèmes centrés, aberrations (chromatiques, géométriques) ...
- Les principes de tracés dans les systèmes centrés – faisceaux, champs transversaux, diaphragmes, pupilles d'entrée et de sortie...
- Le fonctionnement de l'œil humain - Anatomie, accommodation, champ visuel, performances...
- Le modèle optique de l'œil humain - Plans principaux, rétine, foyers, indices, pupille...
- Les défauts de l'œil et ses corrections – fatigue visuelle, emmétropie, amétropie (myopie, hypermétropie, astigmatisme) ...
- La modélisation des mécanismes (Liaisons mécaniques élémentaires) qui est définie dans la norme « liaisons élémentaires parfaites » NF EN ISO 3952-1 (mai 1995).

L'accès à tous ces concepts est aujourd'hui grandement facilité grâce à internet qui regorge de sites très bien réalisés et très pédagogiques sur l'optique, la vision etc.

Vous pouvez par exemple retrouver de nombreuses ressources numériques sur le site [EDUSCOL Physique chimie](#) et [EDUSCOL STI](#).

Il ne sera fait que certains rappels lorsqu'ils sont utiles pour une meilleure compréhension.



SOMMAIRE

1. QU'EST-CE QUE L'ETSO ?	4
POURQUOI L'ETSO EN BTS OPTICIEN LUNETIER ?	4
2. QU'EST-CE QU'UN INSTRUMENT OPTIQUE ?	5
L'OBJET OBSERVABLE A TRAVERS UN INSTRUMENT	5
LE ROLE D'UN INSTRUMENT OPTIQUE	6
VOCABULAIRE OPTIQUE UTILE.....	6
LA CLASSIFICATION DES INSTRUMENTS.....	7
3. LES CARACTERISTIQUES D'UN INSTRUMENT	9
LE GROSSISSEMENT.....	9
LE CHAMP	10
CLARTE ET POUVOIR SEPARATEUR.....	11
4. LES INSTRUMENTS ETUDIES EN ETSO.....	12
5. LES COMPOSANTS OPTIQUES.....	13
LES MIROIRS	13
LES PRISMES A REFLEXIONS	14
LES LENTILLES.....	15
6. LES REGLAGES : POURQUOI ?.....	16
NECESSITE DU CENTRAGE ET DE L'ORIENTATION	16
NECESSITE DU DEPLACEMENT EN ROTATION	17
NECESSITE DU DEPLACEMENT AXIAL	18
7. LES REGLAGES : COMMENT ?	23
LES MOUVEMENTS D'ENTRAINEMENT.....	23
NECESSITE DE TRANSFORMER LES MOUVEMENTS.....	24
L'ENGRENAGE	25
LE SYSTEME PIGNON - CREMAILLERE.....	26
LE SYSTEME POULIES – COURROIE.....	27
LE SYSTEME VIS - ECROU	28
LES AUTRES SYSTEMES DE TRANSFORMATION DE MOUVEMENTS.....	29
8. LES SUJETS D'ETSO	30
9. BIBLIOGRAPHIE & SITOGRAPHIE	31



1. QU'EST-CE QUE L'ETSO ?

C'est l'ETUDE TECHNIQUE des SYSTEMES OPTIQUES.

Une épreuve de 2h au BTS OPTICIEN LUNETIER, coefficient 3 mais surtout une formation technique spécifique au fonctionnement des instruments optiques.



POURQUOI L'ETSO EN BTS OPTICIEN LUNETIER ?

Un OPTICIEN LUNETIER n'est pas qu'un simple « vendeur / monteur » de lunettes.

En plus de toutes les notions liées à la santé, au commerce et à l'administration, un opticien utilise en permanence des instruments techniques et optiques de plus en plus sophistiqués. Il est tout autant utilisateur (donc client) d'instruments optiques que conseiller mais aussi prescripteur de matériel de santé.

En tant que spécialiste de l'optique, il est le représentant privilégié des fournisseurs de matériels grossissants (loupes, microscopes...) ou d'instruments d'observation à distance (jumelles, lunettes, télescopes...).



De ce fait il est important qu'il soit initié aux différents instruments qu'il est amené à utiliser dans son magasin ou à l'atelier mais aussi à ceux qu'il sera susceptible de vendre dans certaines enseignes.

Un opticien peut aussi se spécialiser dans la lunetterie et devenir, de ce fait, créateur mais la tendance actuelle, avec la démocratisation des outils de prototypage rapide (imprimantes 3D), lui permet de « jouer les designers » de montures « sur mesure » qu'il pourra faire fabriquer par des artisans lunetiers ou par des sociétés spécialisées.



Exemples : [Optimaker](#) (de Charles Dagneaux) permettant de concevoir des montures sur mesure totalement personnalisables ou [Virtualtryon.fr](#) (de Sacha Zacaropoulos) qui permet de personnaliser en dimension des montures standards.

A ce propos l'ETSO peut proposer une formation à la découverte de ces outils et en particulier les imprimantes 3D permettant d'obtenir rapidement un prototype, à un coût très faible, afin de valider la forme avec le client, avant la fabrication finale en « vraie matière ».



2. QU'EST-CE QU'UN INSTRUMENT OPTIQUE ?

Notes personnelles :

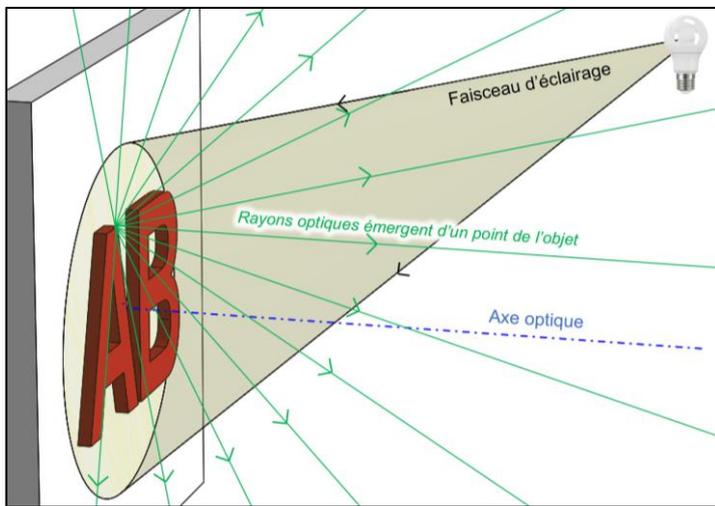
Mots clés du chapitre :

Rayon optique, objet, image, conjugué, axe optique, focales, faisceau, instruments objectif ou subjectif.

L'OBJET OBSERVABLE A TRAVERS UN INSTRUMENT

En optique géométrique simple, certaines approximations conduisent à considérer la lumière comme un ensemble de rayons optiques provenant d'un objet.

Les objets observables sont en réalité des éléments qui réfléchissent la lumière venant d'une source de lumière naturelle (Soleil, étoiles) ou artificielle (Lampe).



Chaque point de l'objet éclairé va donc réfléchir une partie de l'énergie lumineuse et sera considéré en optique géométrique comme une source ponctuelle.

En fonction du matériau l'énergie lumineuse pourra être en partie **dissipée** par l'objet voire **réfractée** à l'intérieur de l'objet si celui-ci est translucide.

L'instrument optique utilise donc une partie du **faisceau** (ensemble de rayons) provenant de l'objet et de l'ensemble de son milieu environnant autour d'un « axe optique ».

En optique on distingue les objets à observer en 2 catégories en fonction de leur éloignement par rapport à l'instrument :

- Les objets à l'infini : à partir d'une distance relativement importante par rapport aux dimensions de l'instrument (quelques dizaines de mètre pour un appareil photo), on peut considérer que les rayons venant d'un point sont parallèles entre eux. Cette approximation est d'autant plus justifiée quand on se place dans les conditions d'approximation de GAUSS.
- Les objets proches : pour un œil « normal » par exemple le punctum proximum d'accommodation est d'environ 250 mm.

POUR ALLER PLUS LOIN :

En photométrie et colorimétrie, on parle plutôt d'onde électromagnétique et d'énergie lumineuse issues d'une source ponctuelle ou étendue.

Le rayon optique correspond alors au vecteur normal du front de l'onde, cette dernière étant portée par des photons.

La caractéristique principale de l'onde lumineuse est sa longueur d'onde (ou sa fréquence) qui permet de différencier la lumière visible et les couleurs...

Les approximations des conditions paraxiales (GAUSS) sont des simplifications qui peuvent se justifier dans le cas de la conception de fonctionnement d'instruments, même complexes. Des études plus détaillées permettent par la suite de vérifier les performances pour limiter les aberrations.



LE RÔLE D'UN INSTRUMENT OPTIQUE



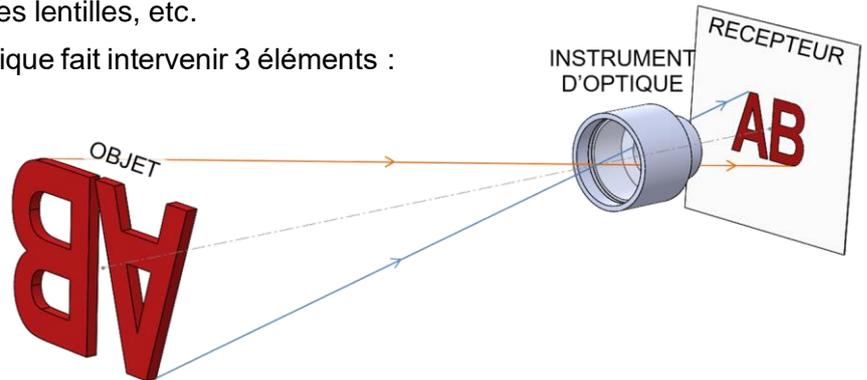
La fonction d'usage des instruments d'optique, consiste à améliorer la perception des détails d'un objet. *Il existe aussi des instruments qui ne transportent que la lumière mais ils ne seront pas décrits ici.*

Sa fonction technique consiste à créer l'image d'un objet, sur un récepteur (l'œil, un écran, un capteur, un dépoli...), d'un diamètre apparent plus grand que celui observé à l'œil nu.

En ETSO on parlera aussi des instruments permettant d'effectuer des mesures techniques sur des objets comme les verres de lunettes, les lentilles, etc.

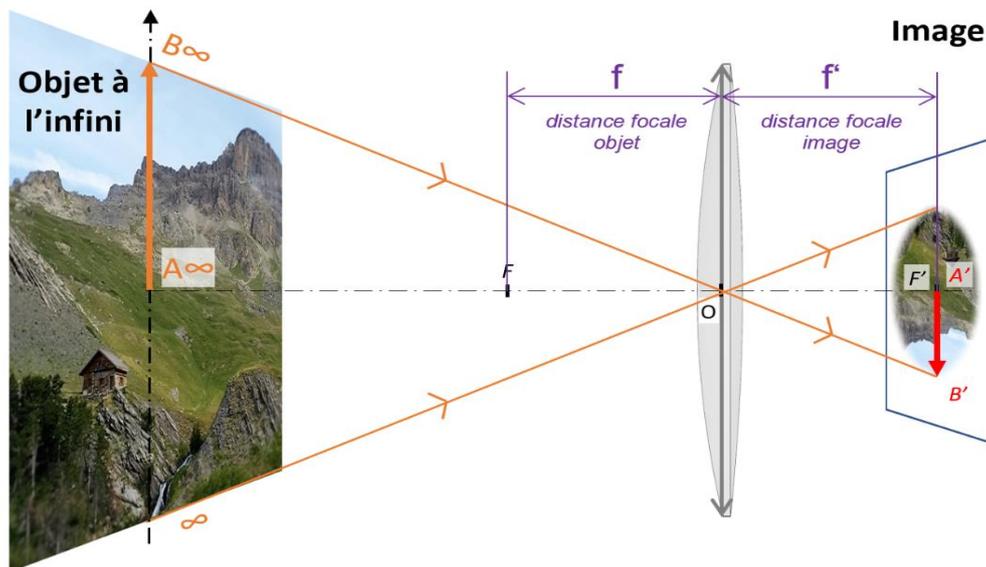
L'utilisation d'un instrument d'optique fait intervenir 3 éléments :

- L'objet à observer
- L'instrument d'optique donnant une image de l'objet
- Le récepteur sur lequel se forme l'image de l'objet.



VOCABULAIRE OPTIQUE UTILE

L'optique géométrique se limite généralement à une étude modélisée par des éléments simplifiés, dans un plan.



Exemple de tracé d'un objet à l'infini dont l'image se forme sur le plan focal image de l'instrument (ici une lentille mince).

L'objet est considéré dans un plan **normal** à l'axe optique ; ce dernier étant dirigé vers le centre de l'objet à observer.

L'objet est noté [AB] avec A point **sur l'axe optique** et B point **hors axe** (haut ou bas) de l'objet. De ce fait la dimension AB correspond, la plupart du temps, à la demi hauteur.

On appelle [A'B'] l'image **conjugée** de l'objet [AB] par l'instrument optique.

Les caractéristiques intrinsèques d'un instrument seront nécessairement liées aux distances focales f (objet) et f' (image) de ce dernier.



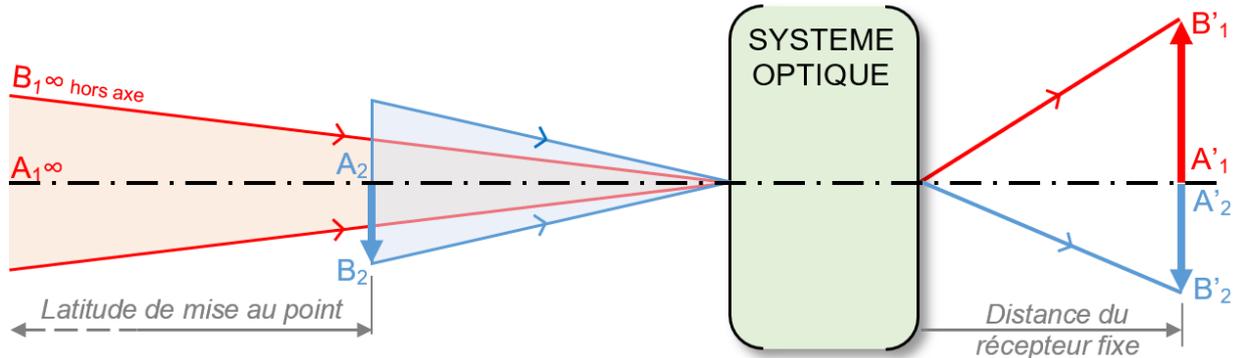
LA CLASSIFICATION DES INSTRUMENTS

On peut classer les instruments optiques en 2 catégories :

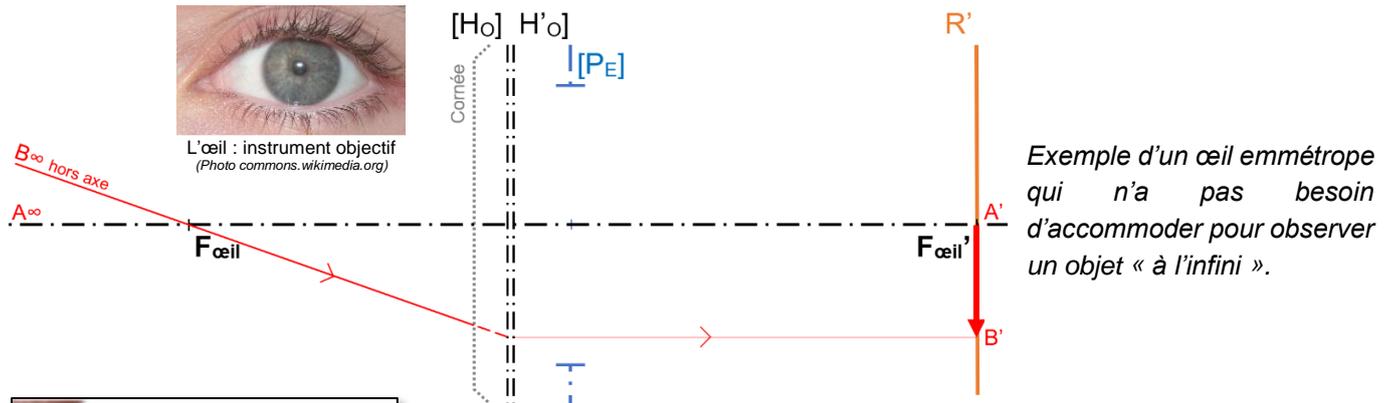
✓ L'instrument OBJECTIF (ou de projection)

Il permet de créer l'image d'un objet situé à une distance plus ou moins importante, sur un récepteur situé à distance fixe, à l'intérieur ou à l'extérieur de l'instrument.

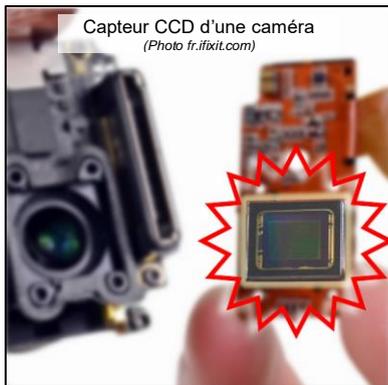
On parle de « **mise au point** » pour régler précisément la position de l'image finale en fonction de la distance de l'objet.



L'œil n'intervient pas dans son fonctionnement mais il peut être considéré, à lui seul, comme un système subjectif puisque la cornée et le cristallin servent à conjuguer l'objet observé avec la rétine.

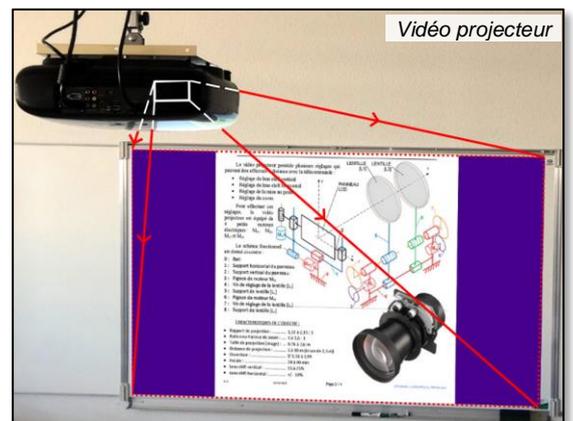


Exemple d'un œil emmétrope qui n'a pas besoin d'accommoder pour observer un objet « à l'infini ».



Les récepteurs d'un instrument objectif peuvent être :

- Un élément photosensible comme un capteur électronique (CMOS ou CCD) ou la rétine de l'œil ; il récupère le rayonnement lumineux pour le transformer en information.



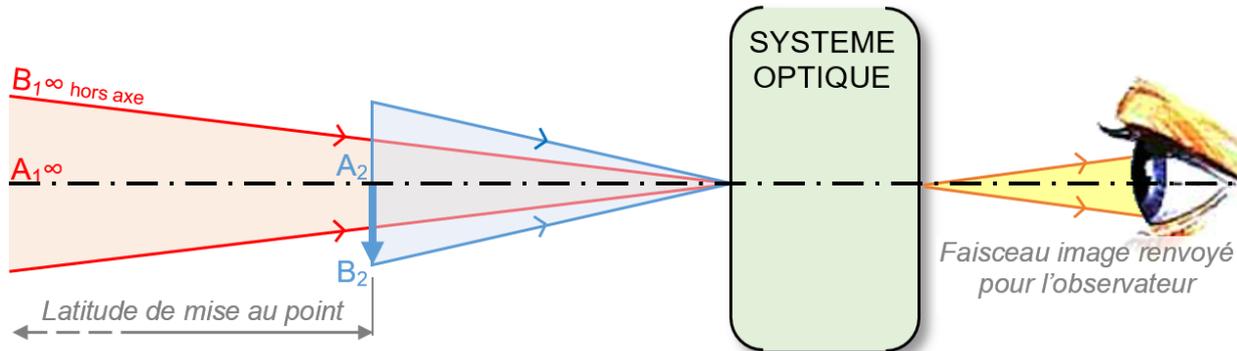
- Un écran ou toute surface réfléchissante. L'image projetée devient donc alors un « objet optique » observable par un œil.



LES INSTRUMENTS OPTIQUES

✓ Les instruments **SUBJECTIFS** (ou **oculaire**)

Ce sont des instruments d'observation, permettant d'améliorer la perception des détails de l'objet, qui sont nécessairement associés à l'œil.



On parle de système « **Afocal** » pour un instrument qui renvoie une image à l'infini d'un objet situé à l'infini. (Cf chapitre réglage d'un oculaire)

En dehors des loupes « simples », la plupart des instruments subjectifs sont composés d'un **objectif** (qui forme une image intermédiaire réelle de l'objet) associé à un **oculaire** (qui forme l'image finale pour l'œil).

Ces systèmes peuvent être de type microscope (observation d'un objet proche) ou télescope (observation d'un objet lointain).





3. LES CARACTERISTIQUES D'UN INSTRUMENT

Notes personnelles :

Mots clés du chapitre :

Taille, dimension angulaire, grandissement, grossissement, puissance, champ, diaphragmes, pleine lumière...

LE GROSSISSEMENT

Unité :

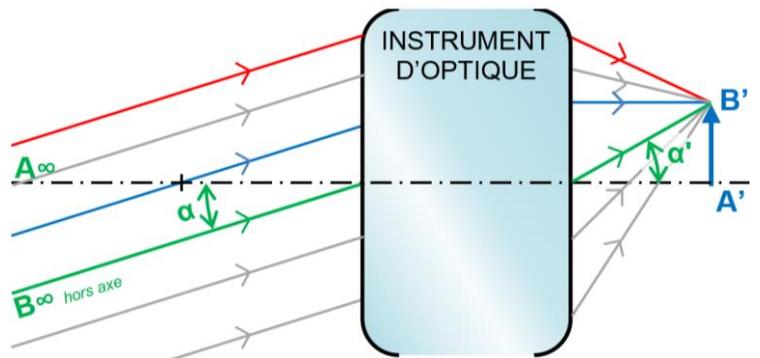
Sans dimension pour les instruments objectifs / puissance en dioptrie pour les systèmes subjectifs.

Le grossissement est le ratio entre les dimensions réelles de l'objet observé et les dimensions de son image.

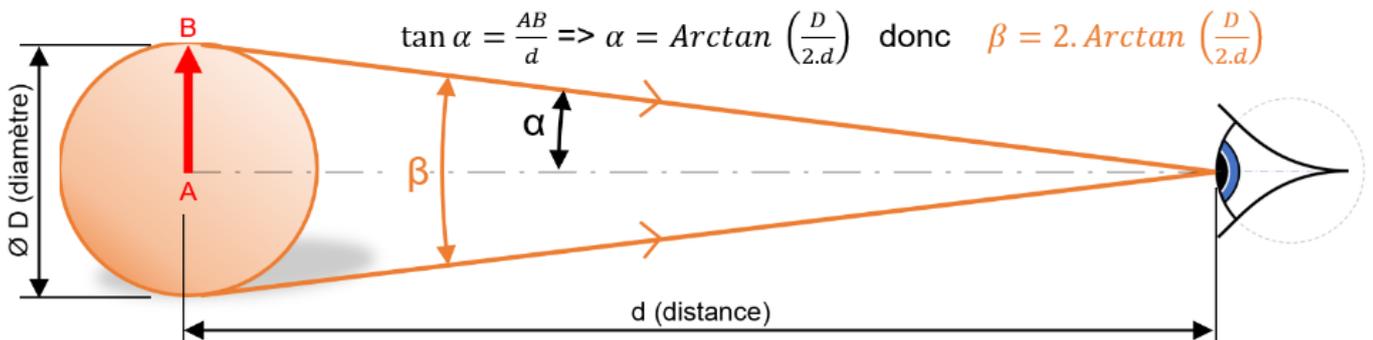
Différents concepts lui sont liés : puissance, grandissement, grossissement commercial, qui seront vus en ETSO sous forme graphique et calculatoire...

En optique la dimension d'un objet peut être définie :

- Soit par une grandeur de « hauteur transversale » perpendiculaire à l'axe optique.
- Soit par un angle formé entre le rayon incident issu du bord de l'objet et l'axe optique. On parle alors de grandeur angulaire.

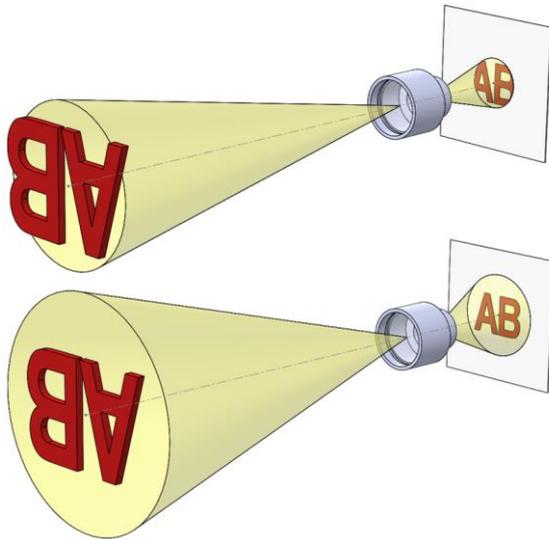


Exemple : un astre peut être défini par son diamètre réel D (grandeur très grande) mais observé à une distance très éloignée. Il sera donc vu comme un objet relativement petit.



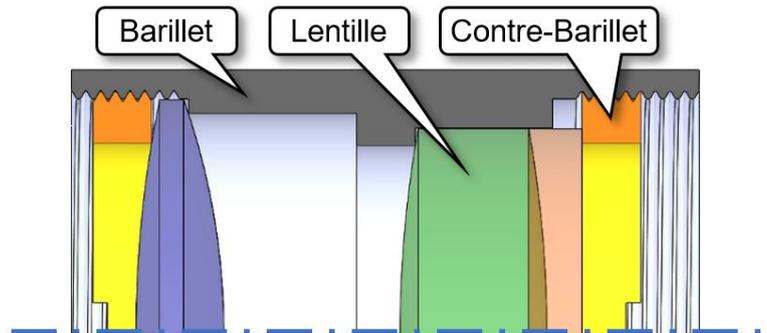
Il est donc souvent plus intéressant de quantifier sa taille par sa dimension angulaire β (angle entre les rayons limites de l'objet). Par simplification, on utilise souvent la $\frac{1}{2}$ dimension angulaire α

En marche paraxiale (cas d'angles très petits), l'écart entre la valeur de l'angle en radian et la valeur de sa tangente étant réduit, on simplifie parfois les 2 : $\tan \alpha \approx \alpha$



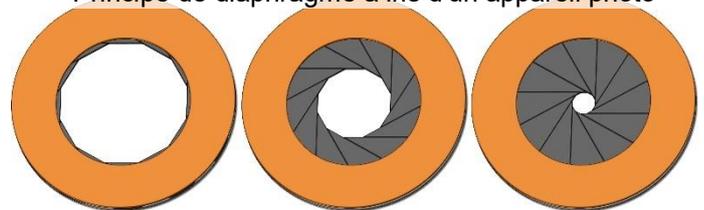
Le champ représente la zone réellement observable d'un objet à travers un instrument.

Unité :
Diamètre ou auteur (dans un plan intermédiaire) ou angle (champ angulaire).



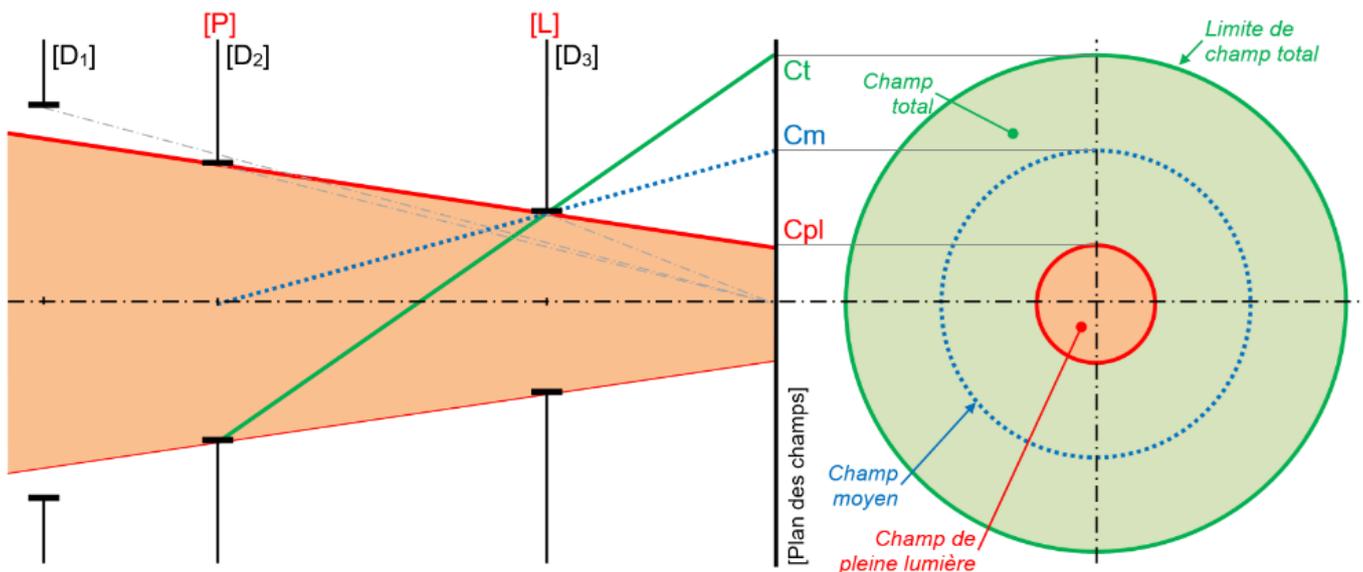
Cette zone est liée au faisceau de lumière qui peut traverser l'instrument. Ce faisceau est limité par la géométrie de certaines pièces : bord des lentilles, barillet, contre-barillet, entretoise... ou par un composant volontairement ajouté afin de limiter le faisceau et certaines aberrations.

Principe de diaphragme à iris d'un appareil photo



Ces composants sont appelés des « **diaphragmes** ».

L'étude des champs permet de valider, par exemple, l'éclairement d'un capteur électronique afin de vérifier l'absence de **vignelage** de l'image finale.



L'étude des champs consiste à déterminer, dans un plan appelé « plan des champs », les dimensions du **champ de pleine lumière**, de la limite de champ total et de la position du champ moyen.



✓ LIMITE DU CHAMP DE PLEINE LUMIÈRE

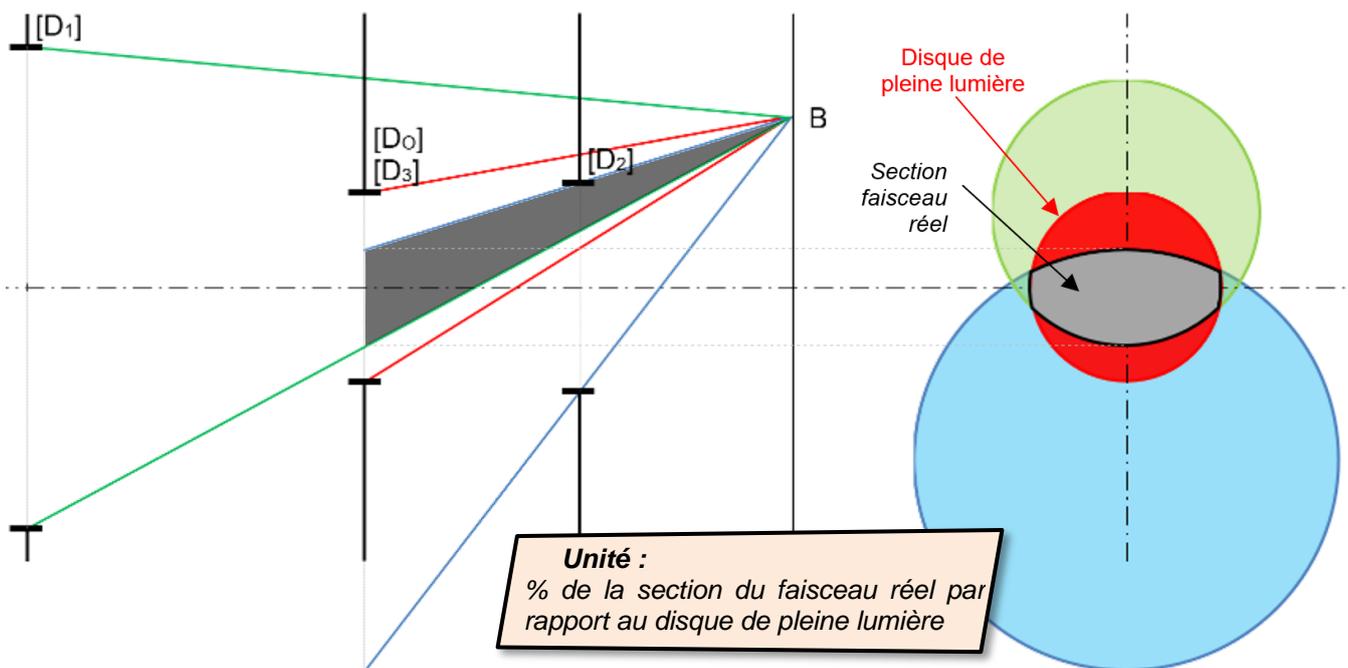
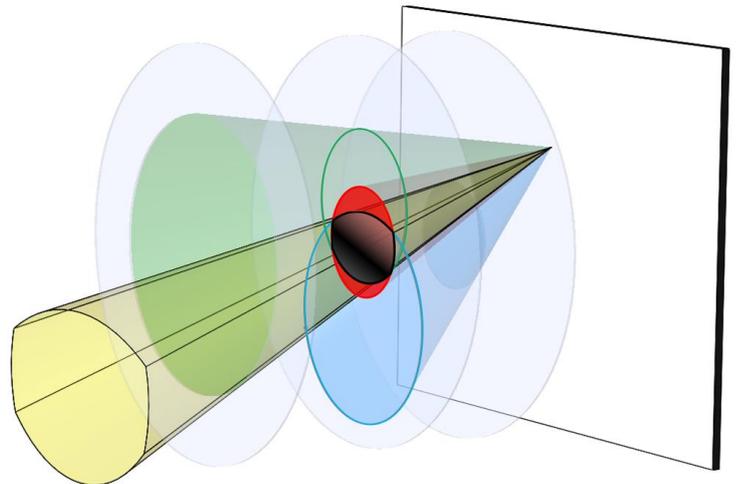
L'étude des champs dans un instrument peut aussi facilement mettre en évidence un problème important en optique : la réduction de la luminosité au-delà du champ de pleine lumière.

En effet, plus un point est éloigné de l'axe optique moins il sera éclairé.

Dans une moindre mesure, jusqu'à la limite du champ de pleine lumière on considère qu'elle n'est pas atténuée (100%). Au-delà elle commence à diminuer progressivement jusqu'à s'annuler totalement 0% (limite de champ total).

Chaque diaphragme jouant un rôle, le faisceau qui arrive en un point n'est pas conique mais possède une section en forme « D'œil de chat ».

Par une méthode graphique, il est alors possible de quantifier l'ordre de grandeur de la quantité de lumière reçue par rapport à la section du disque de pleine lumière.



CLARTE ET POUVOIR SEPARATEUR

La clarté caractérise le bénéfice visuel résultant de l'utilisation d'un instrument par rapport à la vision à l'œil nu. Elle dépend de la qualité des composants, du flux lumineux que reçoit l'instrument et peut se rapprocher de la luminance en photométrie.

Le pouvoir séparateur, appelé aussi limite de résolution, est l'aptitude de l'instrument à percevoir les petits détails de l'objet, séparément.

Ces deux caractéristiques, qualités fondamentales d'un instrument d'optique, nécessitent d'étudier la DIFFRACTION de la lumière, traversant celui-ci.

De ce fait ces caractéristiques ne sont pas étudiées en ETSO.



4. LES INSTRUMENTS ETUDIÉS EN ETSO

Un opticien utilise constamment des instruments optiques qu'il se doit de maîtriser parfaitement. Il doit être capable de détecter une anomalie fonctionnelle, d'argumenter avec un technicien de maintenance voire d'effectuer les réglages de vérification de base ou l'étalonnage.

La liste qui suit présente les principaux instruments qu'un opticien lunetier se doit de connaître ou qu'il peut rencontrer lors de l'épreuve écrite du BTS :

<p>LOUPE</p>  <p>AGRANDIR</p>	<p>MICROSCOPE</p>  <p>AGRANDIR</p>	<p>JUMELLES</p>  <p>OBSERVER à distance</p>	<p>TELESCOPE</p>  <p>OBSERVER à distance</p>
<p>TELELOUPE</p> 	<p>LUNETTE d'OBSERVATION</p> 	<p>LUNETTE ASTRONOMIQUE</p> 	
<p>MONTURE D'ESSAI</p> 	<p>PROJECTEUR</p>  <p>EXAMINER / MESURER</p>	<p>PUPILLOMETRE</p> 	<p>OPHTALMOSCOPE</p> 
<p>FRONTOFOCOMETRE manuel</p> 	<p>FRONTOFOCOMETRE Automatique</p> 	<p>REFRACTOMETRE manuel</p> 	<p>REFRACTOMETRE automatique</p> 
<p>CENTREUR</p>  <p>FABRIQUER</p>	<p>MEULEUSE</p> 	<p>SCANNER 3D</p>  <p>Pour la personnalisation de monture</p>	<p>IMPIMANTE 3D</p> 



5. LES COMPOSANTS OPTIQUES

Notes personnelles :

Mots clés du chapitre :

Miroir, prisme, lentille, axe optique.

L'utilisation « d'instruments » optiques remonte à l'antiquité. A l'époque on utilisait des cristaux polis, des récipients en verre remplis d'eau et les premiers écrits « scientifiques » remontent à Euclide et Archimède au III^{ème} siècle avant JC.

Depuis, l'évolution des sciences et techniques permet, de nos jours, d'utiliser des instruments toujours plus performants.

Pour autant, les composants optiques utilisés dans les instruments rencontrés en ETSO, se limitent à des modèles optiques simplifiés :

LES MIROIRS

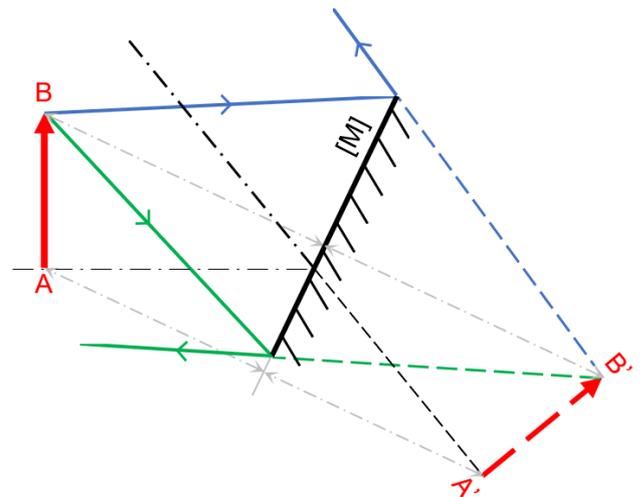
✓ Les miroirs plans :



Miroir secondaire de télescope
Photo skyvision.fr

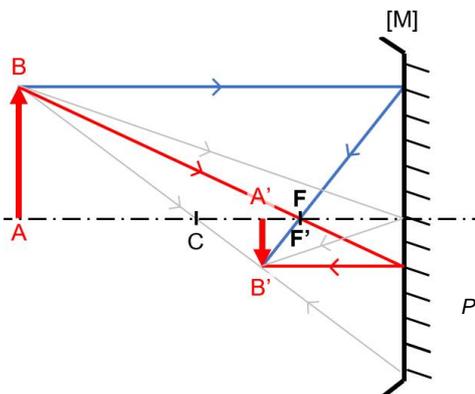
Ils sont rigoureusement stigmatiques et renvoient une image virtuelle d'un objet réel.

Il existe aussi des miroirs transparents qui ne dévient qu'une partie des rayons lumineux : Les lames semi-réfléchissantes.

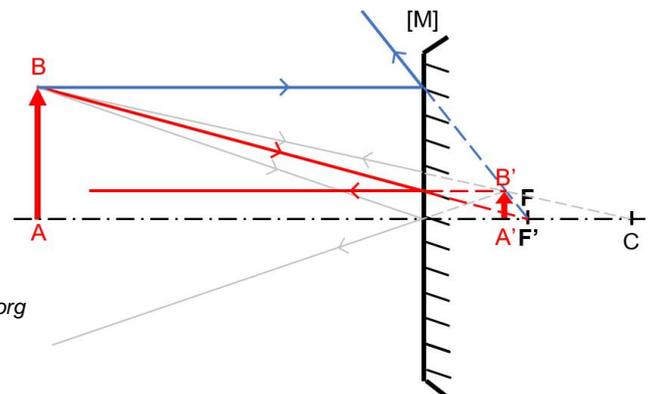


✓ Les miroirs sphériques :

Convexes ou concaves, ils ne sont pas rigoureusement stigmatiques. Dans les instruments optiques, on leur préfère les formes elliptiques, paraboliques ou hyperboliques afin de s'en rapprocher.



Miroir de sortie
Photo commons.wikimedia.org



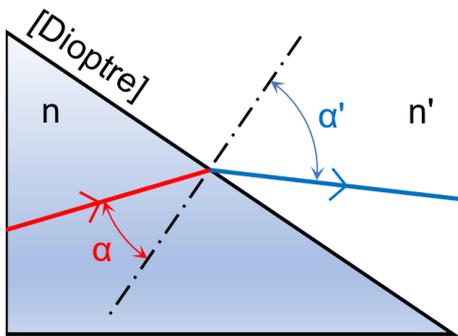
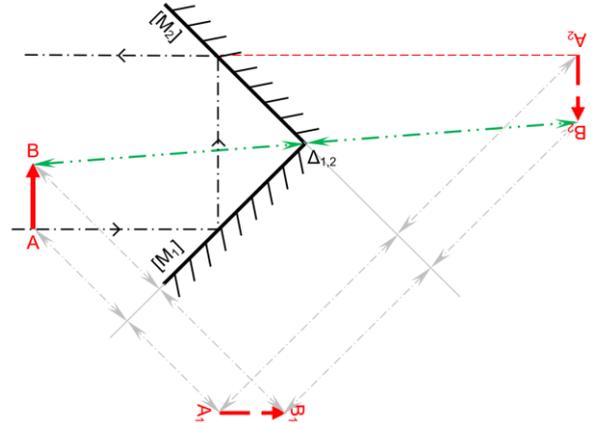
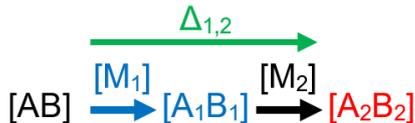


LES PRISMES A REFLEXIONS

Les prismes à réflexions sont très courants dans les instruments subjectifs afocaux. En effet ce type d'instrument renvoie une image réelle à l'infini d'un objet lointain, totalement inversée.

Pour retourner une image, il suffit de réaliser une double réflexion avec 2 miroirs à 90° (aussi appelé dièdre droit ou miroir TOIT).

L'image de sortie sera retournée HAUT / BAS.



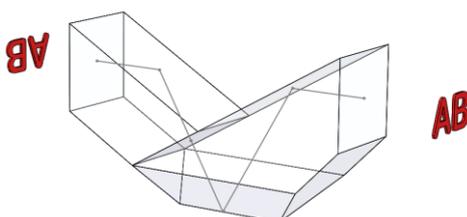
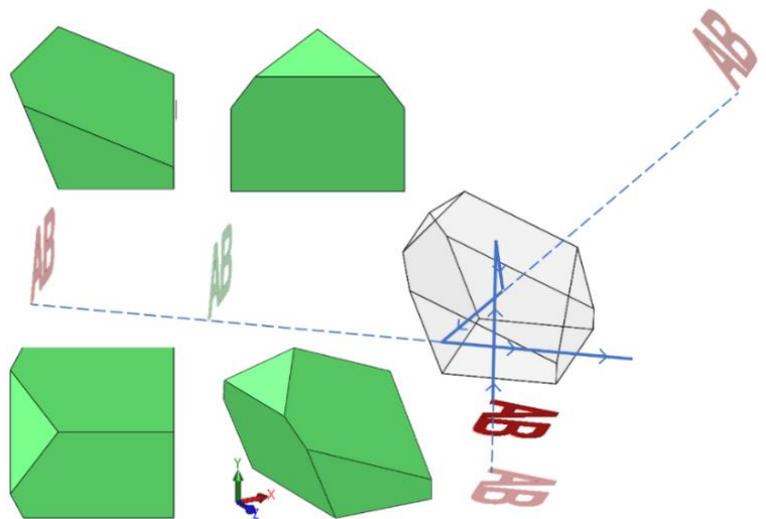
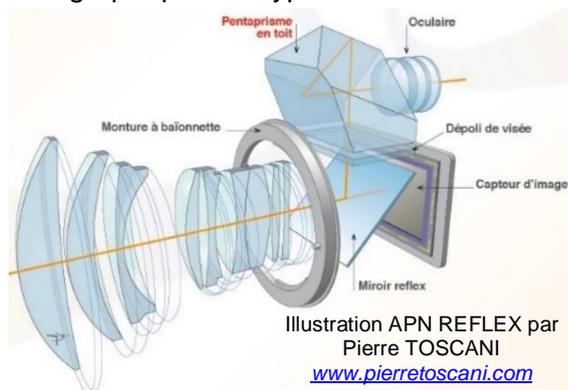
Les prismes à réflexion utilisent le principe de l'angle limite de réfraction. Les rayons incidents au dioptré de sortie d'un prisme dont l'angle d'incidence est supérieur à une certaine valeur, se voient réfléchis plutôt que réfractés. Dans certains cas, il est aussi possible « d'aluminiser » un dioptré afin d'être sûr qu'il joue le rôle d'un miroir.

$$n > n' \text{ et } \alpha' \Rightarrow 90^\circ \text{ (} n' \cdot \sin \alpha = n' \cdot \sin \alpha' \text{)}$$

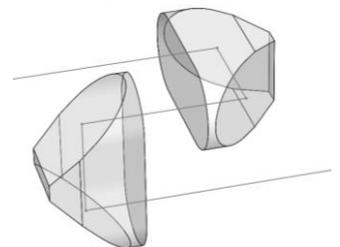
$$\alpha_{\text{lim}} = \text{Arcsin} \left(\frac{n'}{n} \cdot \sin \alpha' \right) \text{ pour } n = 1,5 \text{ et } n' = 1 : \alpha_{\text{lim}} = 41,8^\circ$$

Pour renverser totalement une image dans 2 directions (DROITE / GAUCHE & HAUT /BAS), il est donc nécessaire de la conjuguer à travers plusieurs réflexions.

C'est le cas dans les PENTAPRISMES qui ont été inventés pour les appareils photographiques de type réflex.

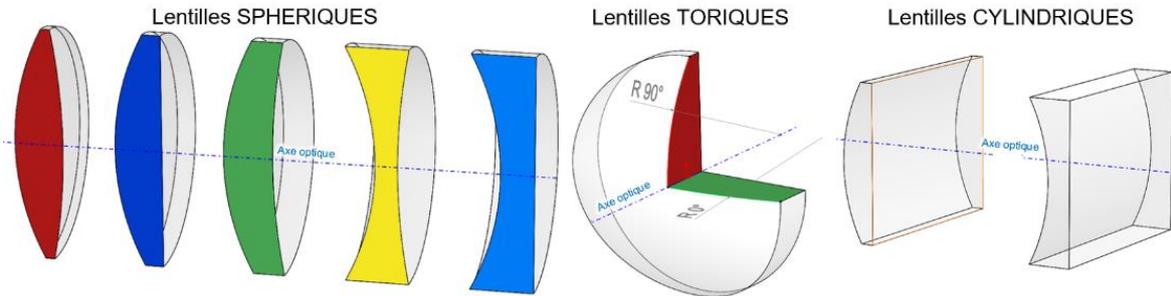


Il existe de nombreux modèles de prismes à réflexion qui permettent de renverser les images en respectant des encombrements plus réduits comme les prismes d'ABBE-KOENIG ou de PORRO très utilisés dans les jumelles.





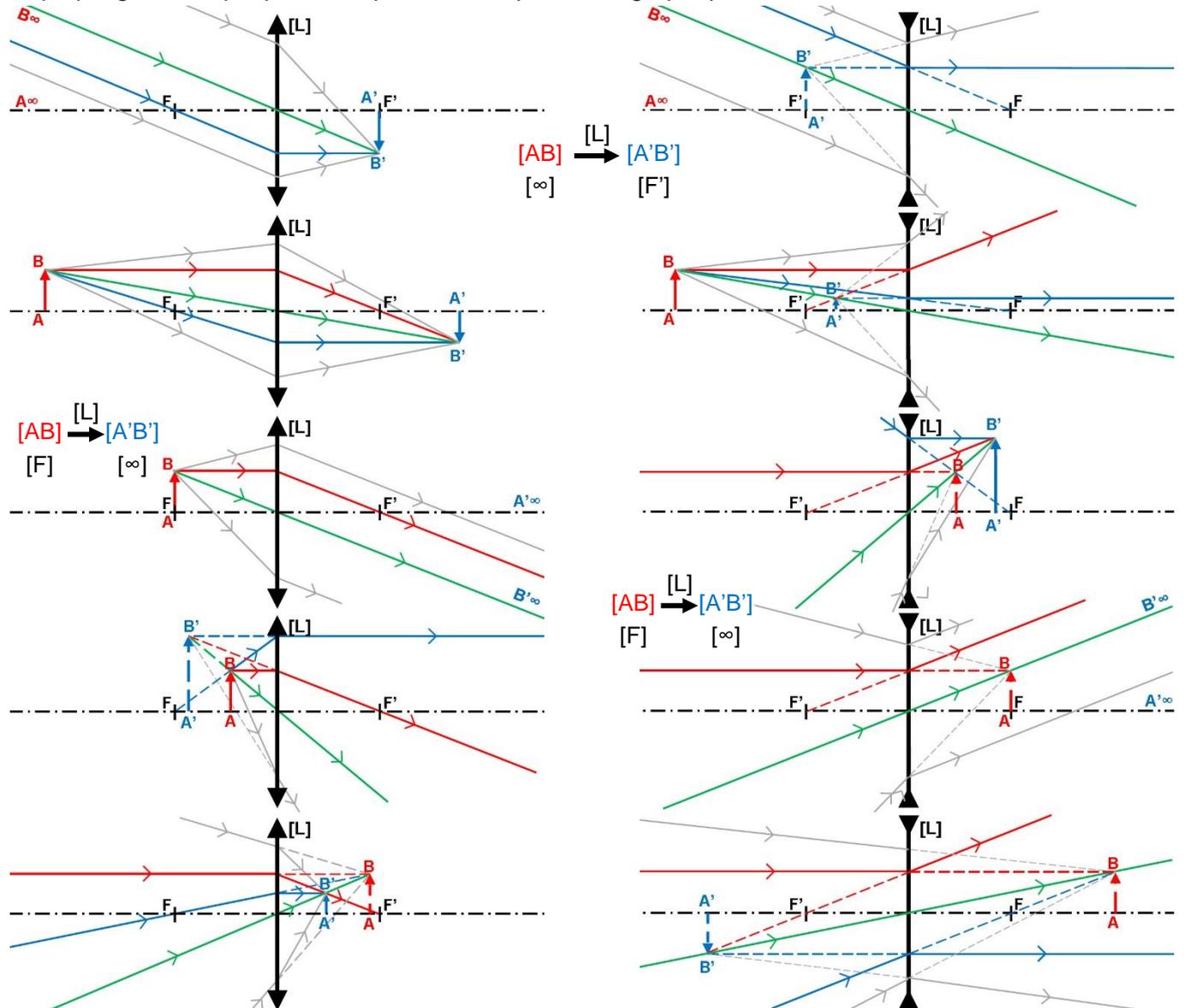
On retrouve de nombreux types de lentilles différents composés de dioptries d'entrée et de sortie plans, convexes ou concaves (sphériques, cylindriques ou toriques).



Ces lentilles seront donc convergentes ou divergentes et chacune d'elle possède un **axe optique**.

Les lentilles peuvent aussi être associées sous forme de doublets ou de triplets qui permettent de réduire certaines aberrations optiques (chromatiques ou géométriques).

En première approximation, les lentilles sont modélisées par un modèle simplifié « mince ». L'optique géométrique paraxiale permet de représenter graphiquement leurs fonctionnements.





6. LES REGLAGES : POURQUOI ?

Notes personnelles :

Mots clés du chapitre :

Défauts, centrage, orientation, axage, mise au point, réglage dioptrique

Necessite du centrage et de l'orientation

Les instruments optiques sont constitués d'associations plus ou moins complexes de lentilles, de miroirs et de prismes.

Les défauts optiques et les aberrations des images créées par ces instruments sont inhérents à la qualité de leurs composants optiques mais aussi à la précision de leur positionnement par rapport à l'instrument lui-même et / ou par rapport aux autres composants.

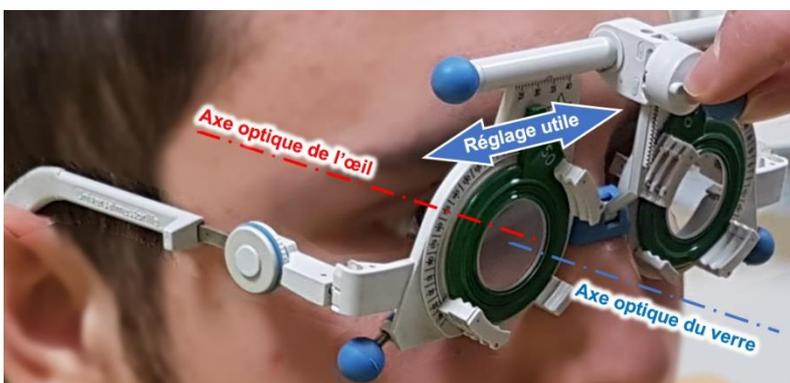
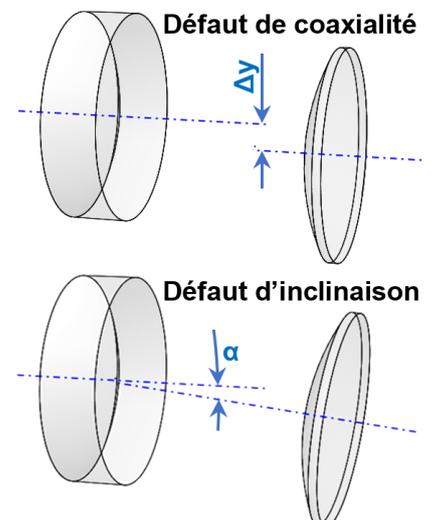
Les défauts de positionnement sont majoritairement dus aux écarts qui peuvent exister entre les axes optiques des différents composants.

On peut rencontrer les défauts de décalage transversal (défaut de concentricité) ou des défauts de parallélisme (décalage angulaire).

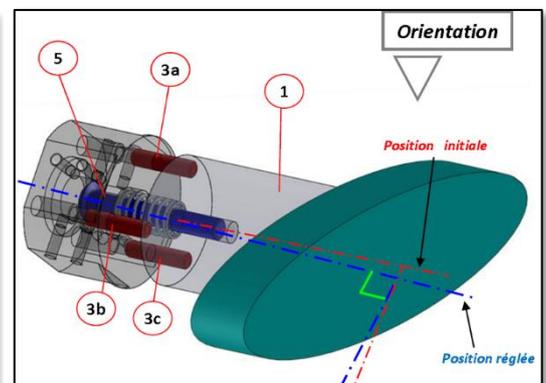
Suivant la forme et les dimensions de la structure mécanique du « châssis » de l'instrument, il sera nécessaire de prévoir des réglages pour minimiser ces écarts.

Ils peuvent être limités géométriquement dans les tubes des instruments par des alésages cylindriques associés à des épaulements, afin de centrer et orienter les différentes lentilles.

Dans des cas plus complexes, il sera nécessaire de prévoir des réglages plus fins pour centrer voire orienter les composants comme les miroirs d'un télescope de type Newton ou Cassegrain...



Exemple du réglage de l'écart pupillaire et de la hauteur des plaquettes dans une lunettes d'essai pour le centrage de l'axe optique du verre par rapport aux yeux du patient.



Exemple de réglage de l'orientation du miroir secondaire d'un télescope - Sujet ETSO 2013 -

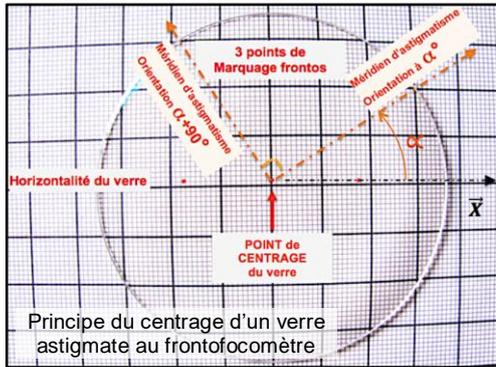


NECESSITE DU DEPLACEMENT EN ROTATION

L'autre point essentiel des réglages d'un instrument est le positionnement précis des composants les uns par rapport aux autres, autant en distance qu'en angle.

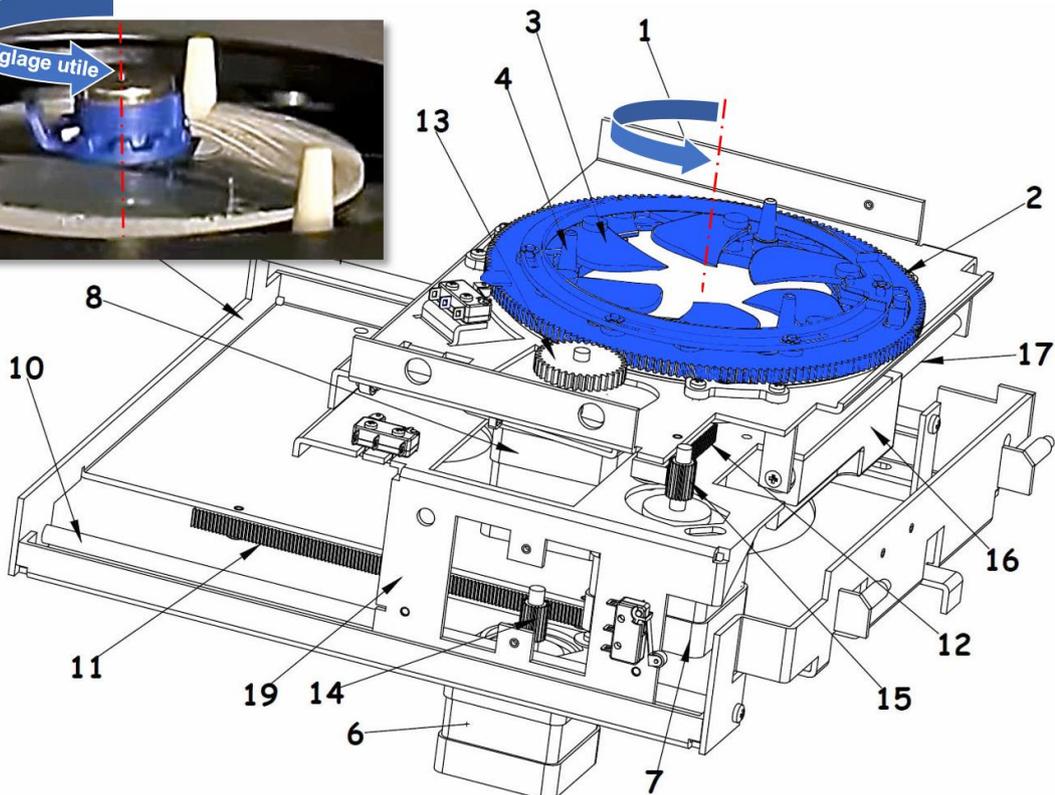
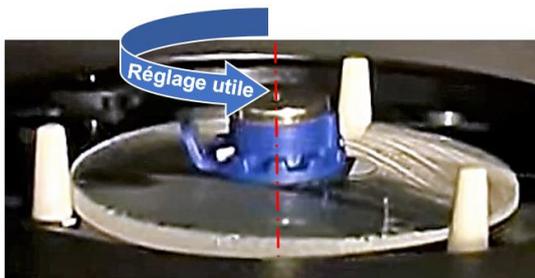
✓ L'AXAGE D'UNE LENTILLE

Il est parfois nécessaire de pouvoir orienter en rotation une lentille, un miroir ou un prisme autour de son axe optique.



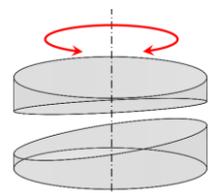
On parle donc de **mouvement de ROTATION** autour de l'axe optique.

C'est particulièrement vrai pour l'axage des verres toriques lors de la correction d'un astigmatisme pour lequel les « méridiens » du verre devront correspondre précisément avec ceux de l'œil du patient.



Exemple du réglage de l'orientation du palet avant le « glantage » dans un centreur bloqueur automatique (sujet ETSO 2004).

Ce mouvement permet aussi de créer des effets sphéro-prismatiques avec des prismes pentés.





NECESSITE DU DEPLACEMENT AXIAL

La majorité des réglages dans les instruments consiste à régler précisément la position des plans conjugués images sur l'axe optique.

Pour ce faire, il convient de positionner précisément les composants optiques à distance les uns des autres, ce qui nécessite obligatoirement le déplacement de certains d'entre eux. Les principaux réglages sont décrits ci-dessous :

✓ MISE AU POINT DANS LES OBJECTIFS

L'objectif d'un instrument a pour fonction de conjuguer un objet REEL avec un plan image généralement REEL. L'image finale pourra être projetée sur un écran, enregistrée par un capteur numérique ou servir d'objet pour un oculaire.

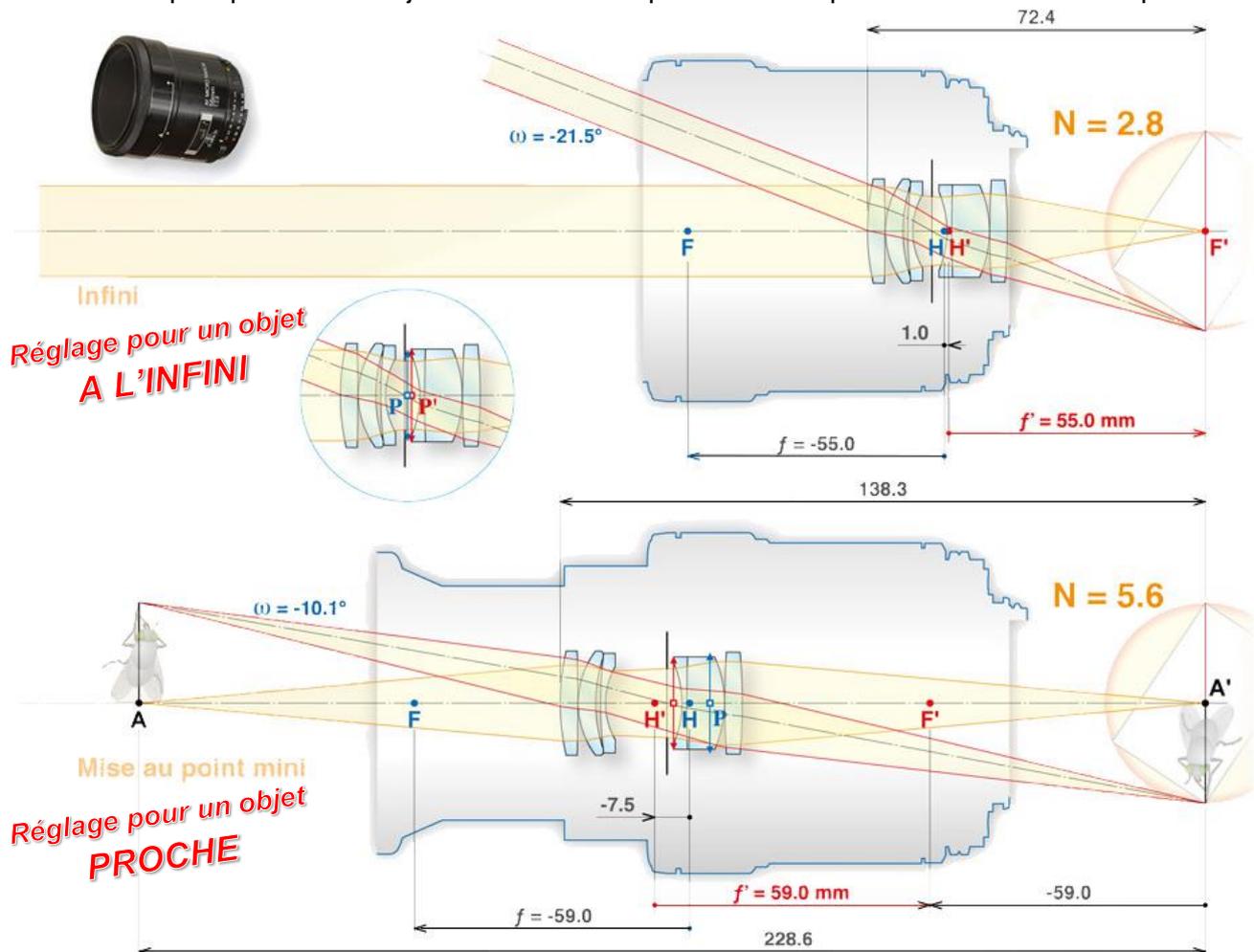
L'objectif le plus simple est une lentille convergente mais dans la majorité des cas, il s'agit d'associations de plusieurs lentilles et doublets qui permettent de minimiser les aberrations.

En théorie, l'image d'un objet à l'infini se forme dans le plan focal image de l'objectif.

Mais un objectif ne sert pas seulement à conjuguer des images d'objets à l'infini (exemple d'une lunette de visée). Dans de nombreux cas, il conviendra de pouvoir régler l'objectif afin qu'il forme l'image finale dans un plan précis d'un objet situé à distance plus ou moins proche. C'est la mise au point.



Coupe d'un objectif d'appareil photo LEICA.



Exemple du principe optique d'un objectif d'appareil photo Nikon 55mm, images issues du site internet de Pierre TOSCANI www.pierretoscanni.com



LES INSTRUMENTS OPTIQUES

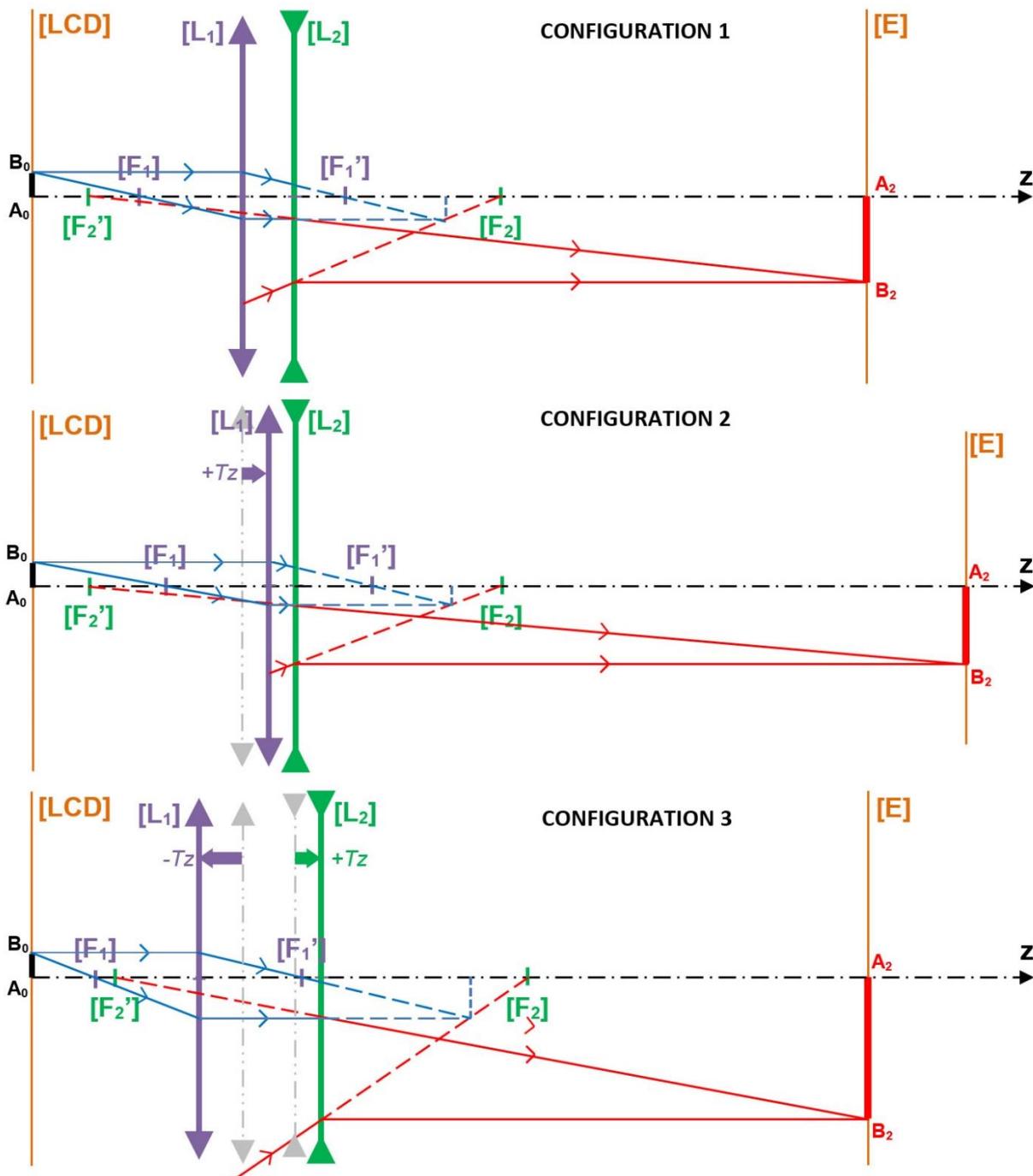
Les objectifs sont aussi utilisés pour projeter une image sur un écran. Il s'agira alors de pouvoir régler la position finale de l'image à partir d'un objet fixe comme un écran LCD de vidéoprojecteur.

Le schéma ci-dessous représente le fonctionnement simplifié d'un objectif de vidéoprojecteur. Pour faciliter la compréhension les échelles axiales ne sont pas respectées. Normalement la projection sur l'écran [E] se fait à plusieurs mètres.



Objectif de vidéoprojecteur
SONY VPL-FH500L

- La configuration 2, représente l'image finale projetée sur un écran plus éloigné de l'objectif mais la taille de l'image reste inchangée. Pour ce faire seule la lentille [L1] a été déplacée.
- En configuration 3, la distance à l'écran est inchangée mais la taille d'image est agrandie. Les 2 lentilles ont été déplacées pour satisfaire les 2 conditions. On parlera de ce fait de réglage de « zoom » (voir chapitre sur le ZOOM).



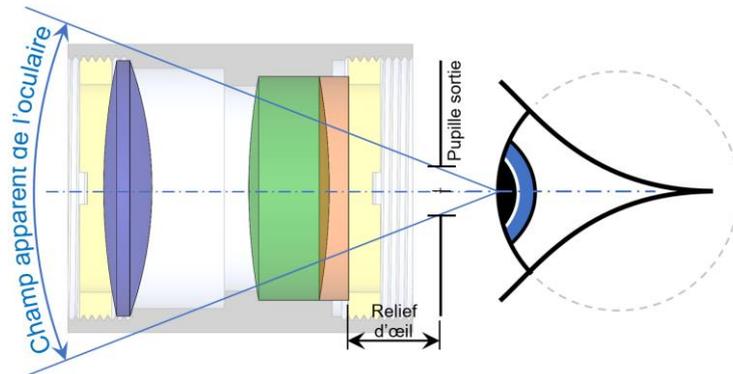


LES INSTRUMENTS OPTIQUES

✓ MISE AU POINT DANS LES OCULAIRES

Un oculaire est, comme une loupe, un instrument permettant de conjuguer un objet réel relativement proche afin de former une image agrandie destinée à l'observation par un œil.

Pour optimiser la restitution d'images et limiter les aberrations, les oculaires « simples » sont constitués de plusieurs lentilles ou de doublets (pour les rendre achromatiques).



La majorité des oculaires simples sont conçus avec un *relief d'œil* ou *dégagement oculaire* (distance entre le dioptré de sortie et la cornée de l'œil) incompatible avec le port de lunettes de correction.

Seuls les oculaires à grand champ (plus récents mais aussi plus chers) permettent une observation possible avec des lunettes de correction.

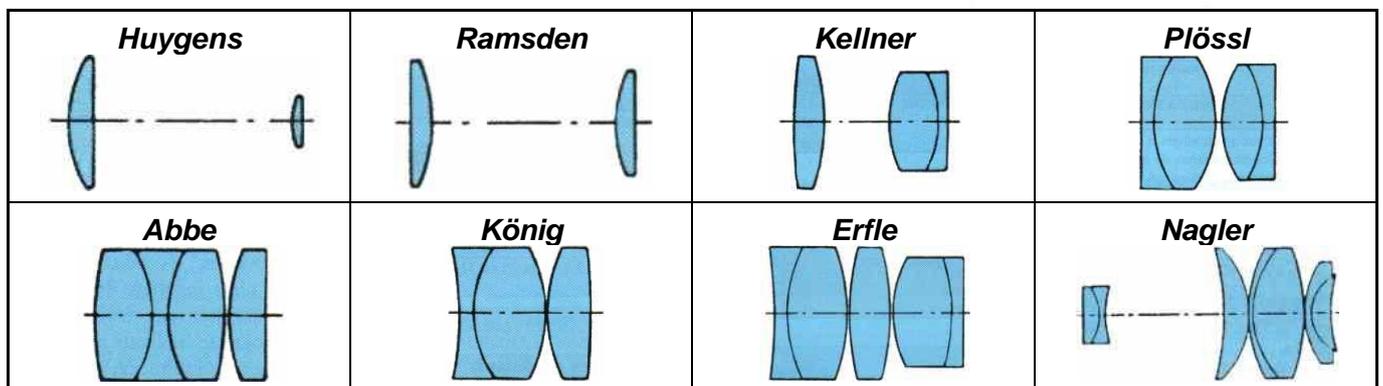
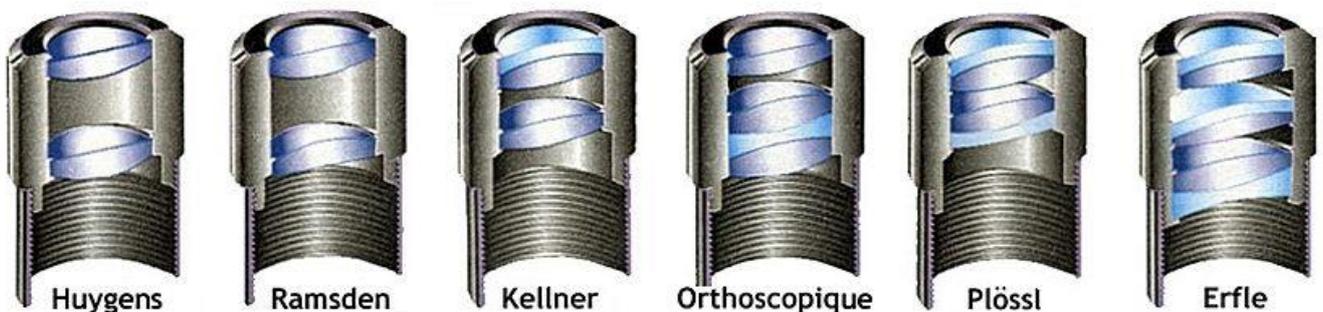
Si le champ apparent de l'oculaire est inférieur au champ visuel, l'image perçue par l'utilisateur sera « tronquée » ou **vignettée** ce qui engendrera un inconfort visuel.

Pour une observation optimale, il convient de positionner son œil de manière à ce que le plan de la pupille d'entrée de l'œil soit confondu avec le plan de la pupille de sortie de l'instrument.

Pour une vision optimale le diamètre de la pupille de sortie devra être au minimum égal au diamètre de la pupille d'entrée.

RAPPEL D'OPTIQUE :
 Les pupilles d'entrée et de sortie d'un instrument sont les conjugués respectivement objet et image du diaphragme d'OUVERTURE de l'instrument complet.

Les schémas ci-dessous présentent l'architecture des principaux oculaires existant aujourd'hui dont les principes de base remontent au 18^{ème} siècle (Huygens).





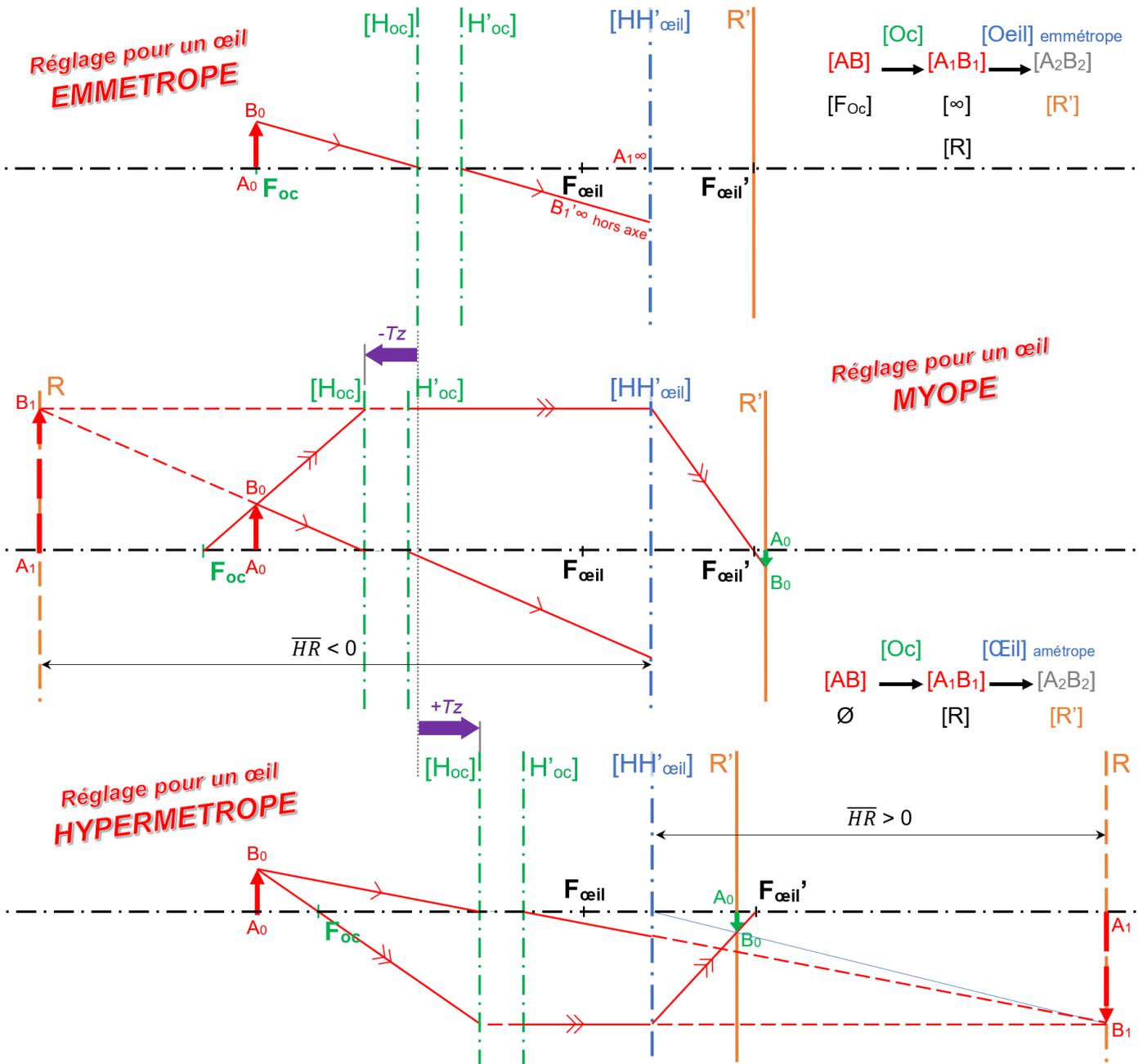
LES INSTRUMENTS OPTIQUES

Le principe optique d'un oculaire est conçu pour qu'un observateur puisse regarder longuement à travers lui, sans fatigue visuelle. Cela nécessite donc que l'œil évite d'**accommoder**.

Le réglage par défaut d'un oculaire consiste donc à renvoyer l'image finale à l'infini pour un observateur emmétrope.

Un « dérèglement » de la position axiale de l'oculaire, dans un sens ou dans l'autre permet de compenser certaines amétropies de myopies ou d'hypermétropies.

On parle de **réglage dioptrique** ou de compensation dioptrique pour des réglages différents entre les yeux gauches et droits comme dans le cas des jumelles.



Ce type de réglage permet donc à certains amétropes de pouvoir observer sans leurs lunettes.

Certains oculaires haut de gamme permettent aussi d'ajouter ou de modifier la lentille d'œil pour compenser aussi un astigmatisme. Il sera nécessaire d'axer correctement cette dernière.



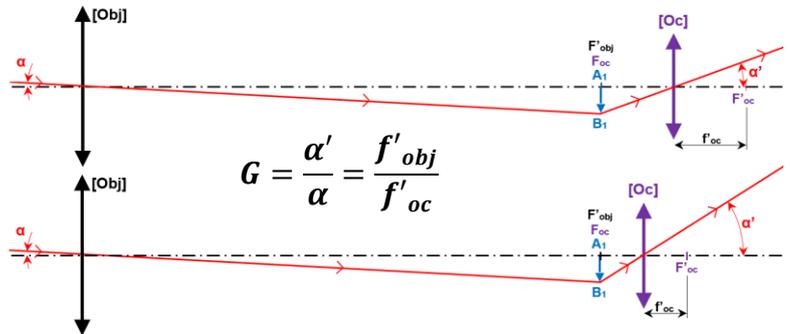
LES INSTRUMENTS OPTIQUES

✓ LE ZOOM

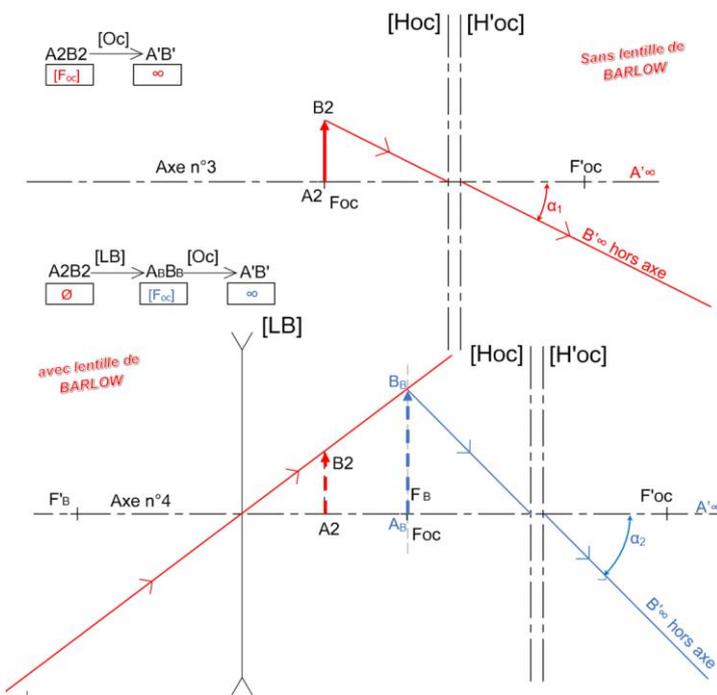
Le réglage du « zoom » dans un instrument consiste à modifier son grossissement sans toucher au réglage de la mise au point. On peut lister 3 grandes méthodes pour cela :

• Changer d'oculaire

Pour augmenter le grossissement le plus simplement possible, il suffit d'utiliser un oculaire de plus forte puissance, le grossissement de l'instrument étant lié au ratio des focales objectif / oculaire.



• Ajouter une lentille spéciale

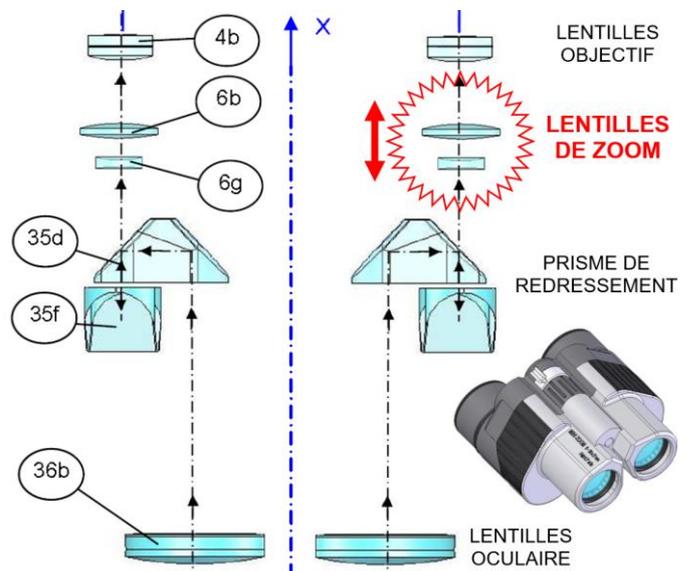


La seconde solution consiste à intercaler, entre l'objectif et l'oculaire, un composant optique supplémentaire qui augmente le grossissement.

Les astronomes utilisent souvent des lentilles ou plus exactement des doublets de « Barlow » qui permettent d'allonger la distance focale de l'objectif en limitant l'augmentation de l'encombrement.

• Associer des mobilités de lentilles.

Enfin pour des instruments objectifs, le grossissement (ou le grandissement) ne peut passer que par des déplacements internes de lentilles. Comme dans le cas de jumelles, d'objectifs d'appareils photos ou même d'objectifs de vidéoprojecteur (voir la configuration 3 du schéma de principe au chapitre « mise au point des objectifs »).



Principe de jumelles à zoom x8 à x20 – Sujet ETSO 2009



7. LES REGLAGES : COMMENT ?

Notes personnelles :

Mots clés du chapitre :

Réglages, bouton, molette, moteur, rotation, translation, systèmes de transformation de mouvement...

Les réglages dans les instruments optiques consistent donc à positionner, orienter, déplacer en translation ou parfois en rotation des composants optiques.

Ces réglages pourront être commandés soit manuellement par l'utilisateur soit automatiquement par l'instrument lui-même.

Pour la commande manuelle, c'est l'utilisateur qui va agir sur l'instrument, par l'intermédiaire de boutons, molettes, joysticks...

Lorsque c'est l'instrument lui-même qui procède à ses propres réglages, il possède nécessairement une carte électronique associée à des capteurs et des actionneurs électriques.

LES MOUVEMENTS D'ENTRAÎNEMENT

Qu'il s'agisse de réglages manuels ou électriques, les mouvements d'entraînement peuvent être de 2 sortes :

✓ LA ROTATION

C'est le principal mouvement d'entraînement. En effet, le positionnement manuel, par un opérateur lambda, est beaucoup plus précis lorsque l'on tourne une molette que lorsque l'on déplace un « bouton » en translation.

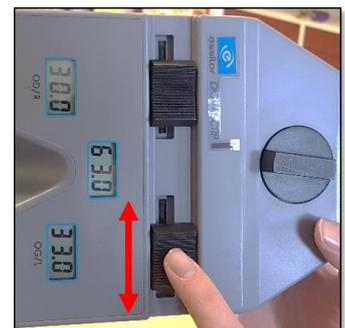
Il en va de même, pour les actionneurs électriques qui sont peu performants en translation. On leur préfère grandement les moteurs électriques en particulier les moteurs pas à pas que l'on peut piloter très précisément (angles très faibles, inférieurs au $\frac{1}{4}$ de degré).



✓ LA TRANSLATION

Certains systèmes, qui réclament moins de précision, peuvent être mis en position par un mouvement de translation d'un « curseur » mais ils sont assez rares dans les instruments optiques et les consignes utilisateurs en général.

Il existe aussi des actionneurs de translation mais ils sont peu pratiques, souvent plus chers et plus volumineux que les moteurs électriques.





NECESSITE DE TRANSFORMER LES MOUVEMENTS

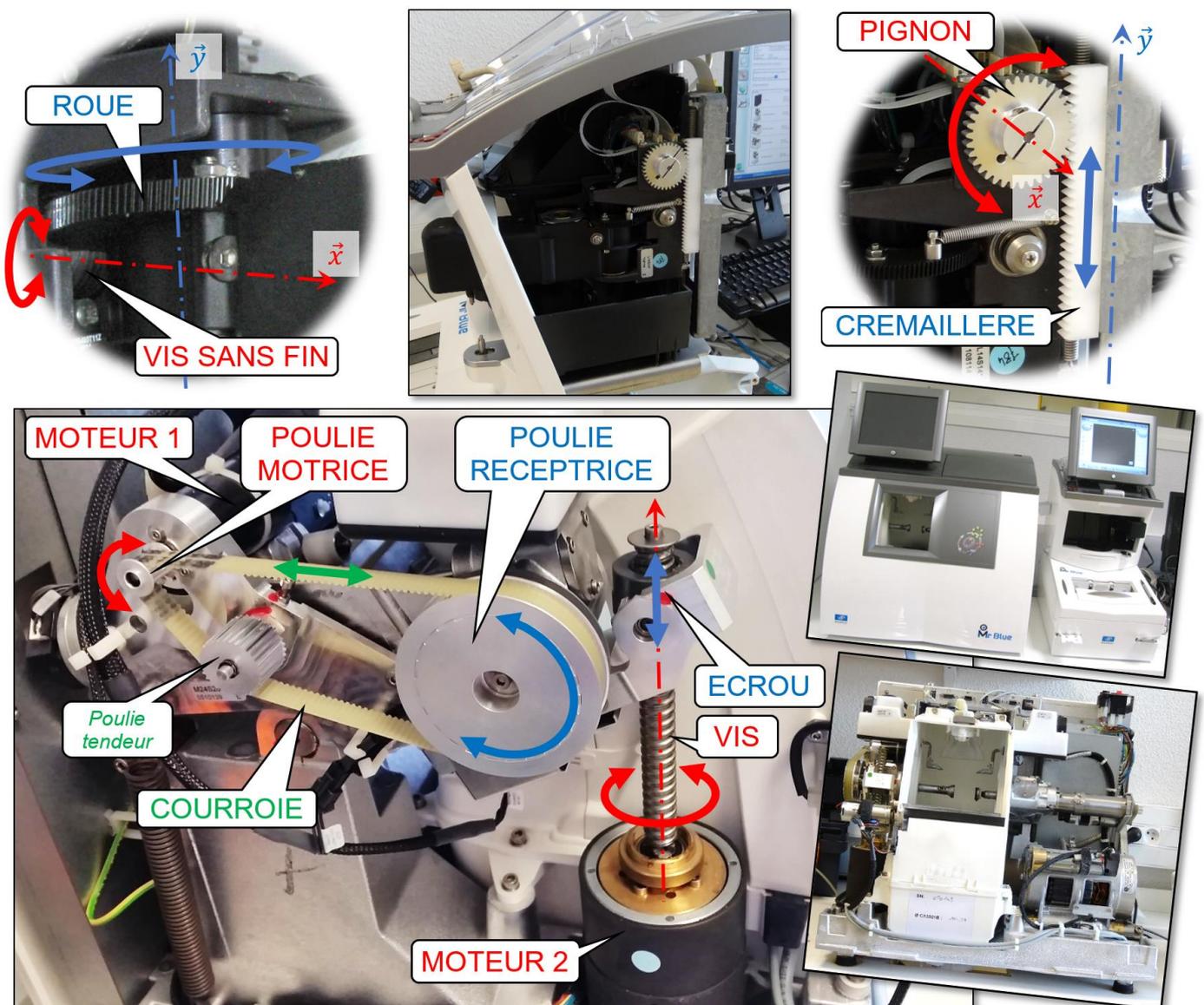
La grande majorité des réglages consistent donc en un mouvement « **UTILE DE TRANSLATION** » d'un composant obtenu à partir d'un mouvement de « **COMMANDE EN ROTATION** ».

Il est donc nécessaire de **TRANSFORMER** un mouvement de rotation en translation.

Il existe quelques cas où il est nécessaire de transformer des mouvements de rotation entre 2 éléments. On parle alors plutôt d'ADAPTER le mouvement.

Dans quelques rares cas il est aussi possible de transformer un mouvement de translation en rotation.

Pour ce faire, il existe de nombreux « **SYSTEMES DE TRANSFORMATION DE MOUVEMENTS** » plus ou moins complexes dont la liste, non exhaustive, est dressée dans les pages suivantes avec les éléments de calculs vulgarisés qui peuvent être utiles pour l'épreuve d'ETSO.



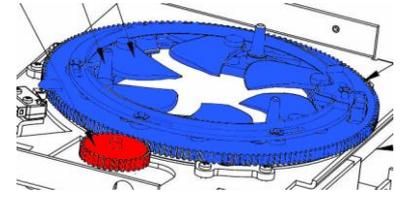
Exemple de systèmes de transformation du bras d'un centreur bloqueur semi-automatique et d'une meuleuse automatique pour détourer les verres...



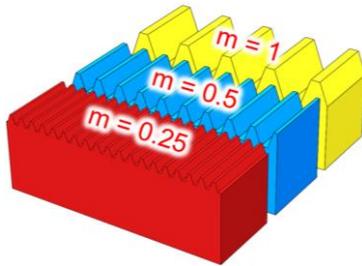
Un engrenage est l'association de 2 **roues dentées**, qui s'engrènent l'une sur l'autre. Souvent la roue menante est plus petite que la roue menée on parle alors de pignon (moteur).

Ce système permet d'**ADAPTER** un mouvement de rotation, en réduisant généralement le nombre de tour (ou l'angle de rotation) de la sortie par rapport à l'entrée.

En effet, qu'il s'agisse d'un moteur ou d'une molette manuelle, il convient parfois d'augmenter la précision ou le couple (effort nécessaire à la rotation).



Engrenage du centre bloquer
- Sujet ETSO 2004 -



La caractéristique principale d'une roue dentée est son **diamètre primitif** (D_p) qui dépend du **nombre de dents** (Z) et du **module** (m) de l'engrenage.

En vulgarisant les choses, le module correspond à la hauteur de dent. Plus le module d'une roue dentée et / ou le nombre de dents sont grands, plus le diamètre est important.

$$D_p = m \cdot Z$$

D_p : diamètre primitif
 m : module
 Z : nombre de dents

La relation liant l'entrée et la sortie de l'engrenage est le « rapport de transmission » (i) qui permet de calculer le nombre de tours de la sortie (n_s) en fonction du nombre de tours de l'entrée (n_E) et des nombres de dents (Z_E et Z_S).

DEFINITION DU RAPPORT DE TRANSMISSION

$$i = \frac{\text{Rotation de la sortie}}{\text{Rotation de l'entrée}} \Rightarrow i = \frac{n_S}{n_E} = \frac{Z_E}{Z_S}$$

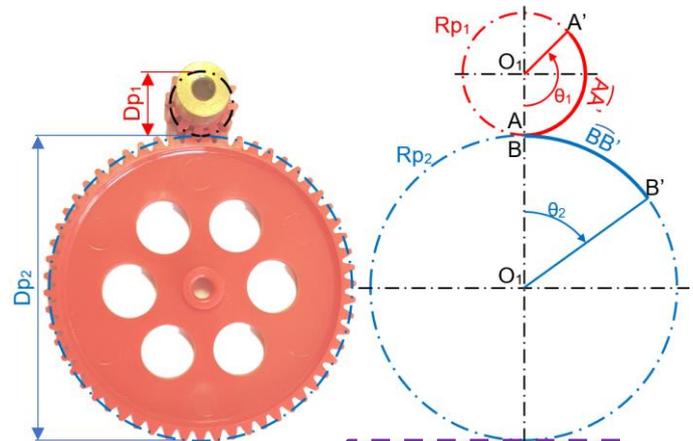
si $i < 1$: Réduction
si $i > 1$: Multiplication



Inversion

n_S / n_E : nombres de tours de la sortie / entrée
 Z_E / Z_S : nombres de dents de l'entrée / sortie

En ETSO on utilise normalement le nombre de tours mais la rotation peut aussi être définie en radian ou en degré.



Relation utile :

$$n_S = n_E \times \frac{Z_E}{Z_S}$$

Il existe différentes formes d'engrenage et différentes formes de profil de dents :

Engrenages PARALLELES



à dentures droites



à dentures hélicoïdales

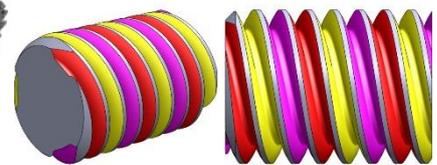
CONIQUES



Axes perpendiculaires

GAUCHES

Cas particulier du système
Roue et VIS SANS FIN :
L'entrée de cet engrenage n'est pas un pignon mais une roue qui ne possède pas des dents mais un ou plusieurs filets.



Exemple : vis à 3 filets
Axes perpendiculaires

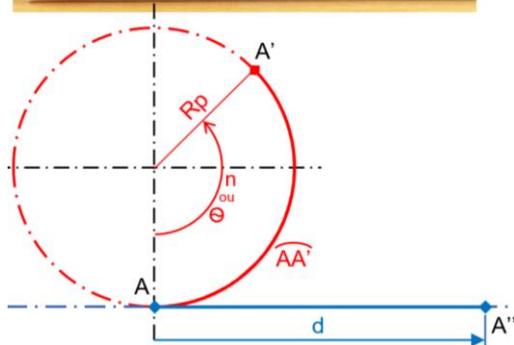
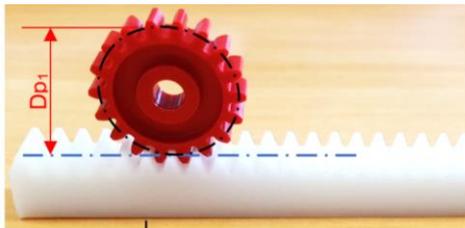
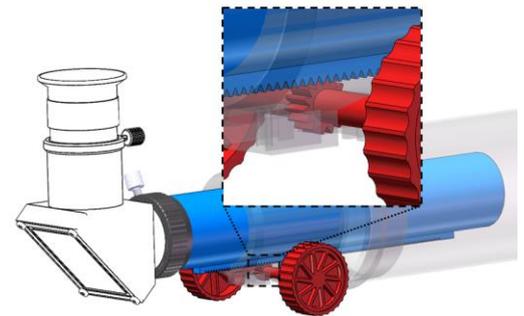


LE SYSTEME PIGNON - CREMAILLERE

Le système pignon crémaillère est un engrenage particulier qui permet de transformer un mouvement de rotation en mouvement de translation.

Très utilisé dans les instruments optiques, on le rencontre dans la majorité des montures de télescope ou de lunettes astronomiques pour régler la mise au point par déplacement de l'oculaire par rapport à l'objectif fixe.

L'utilisateur tourne une molette, associée à un axe muni d'un pignon, ce dernier entraîne une crémaillère fixée sur le tube oculaire.



Dans ce système, pour un tour du pignon, la crémaillère se déplace d'une valeur égale au périmètre du cercle **primitif**.

Rappel : Calcul du périmètre d'un cercle

$$P = 2 \times \pi \times R_p$$

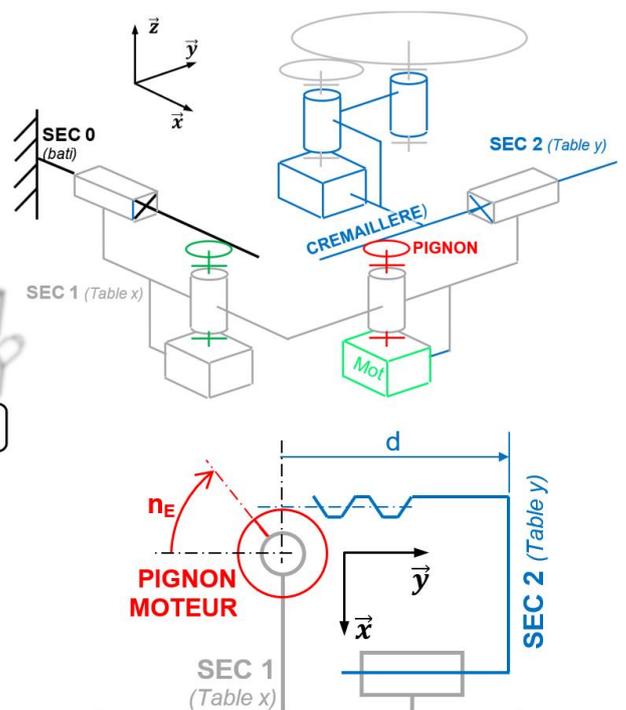
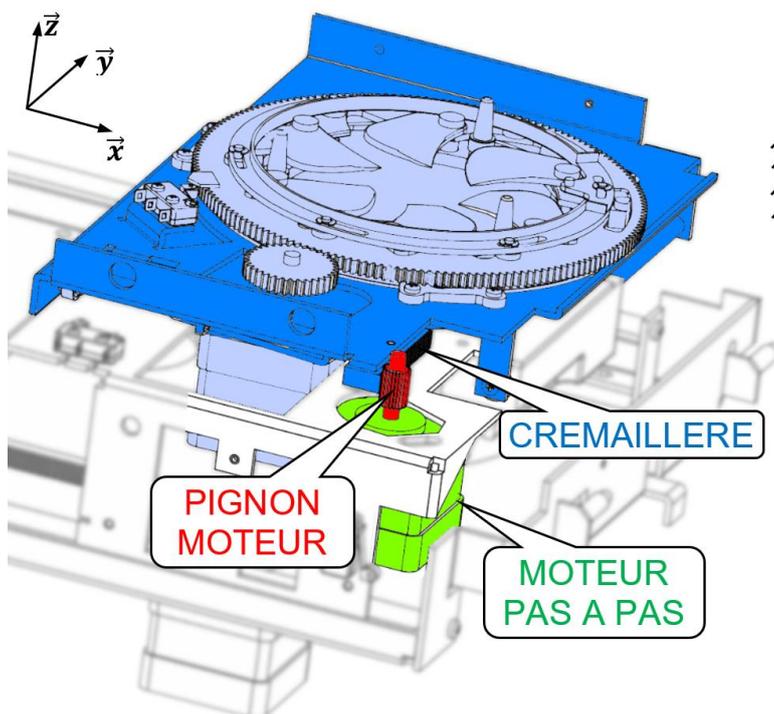
P : en mm

R_p : Rayon primitif du pignon (mm)

Les relations utilisées en ETSO sont généralement utiles au calcul d'un nombre de tours...

Relation utile :

$$d = \frac{R_p \times n}{2. \pi}$$



Exemple : système pignon crémaillère d'entraînement automatique de la table y du centreur bloqueur.
- Sujet ETSO 2004 -

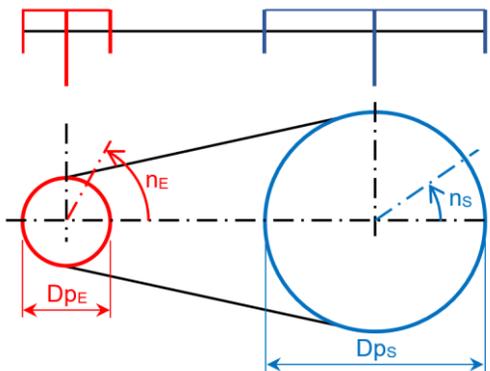
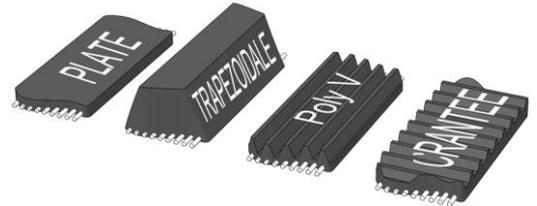


LE SYSTEME POULIES – COURROIE

Un système poulies - courroie permet, comme un engrenage parallèle, d'adapter une rotation. Les distinctions à faire par rapport à un engrenage sont les suivantes :

- L'entraxe (distance entre les 2 axes de rotation) peut être beaucoup plus grand.
- La rotation de sortie est dans le même sens que l'entrée.
- Un « lien flexible » est nécessaire entre les 2 poulies que l'on appelle la courroie.

Il existe plusieurs types de courroies différents qui sont, bien entendu, accordées avec leurs poulies réceptrices.



Comme pour l'engrenage, un système poulies-courroie peut se définir par son rapport de réduction et donc son rapport des rotations entre la sortie et l'entrée.

DEFINITION DU RAPPORT DE TRANSMISSION

$$i = \frac{\text{Rotation de la sortie}}{\text{Rotation de l'entrée}} \Rightarrow i = \frac{n_S}{n_E} = \frac{D_{pE}}{D_{pS}}$$

si $i < 1$: Réduction
 si $i > 1$: Multiplication

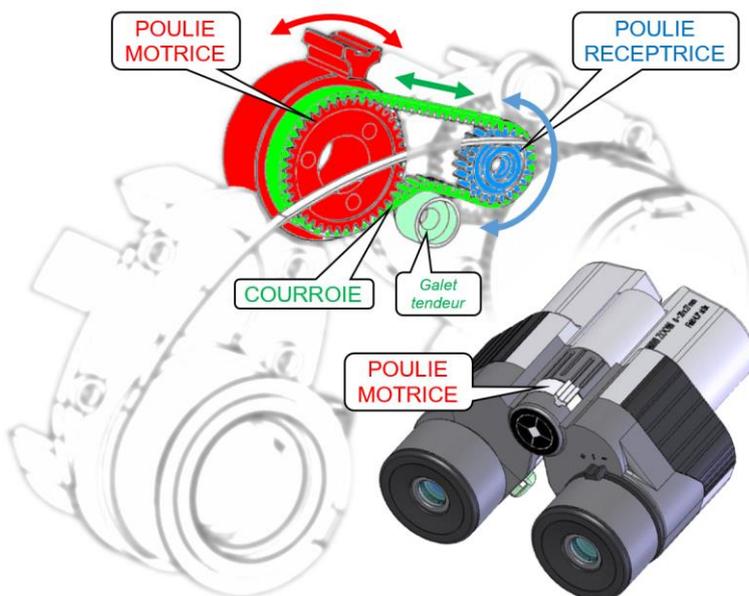


n_S / n_E : nombres de tours de la sortie / entrée
 D_{pE} / D_{pS} : diamètres primitifs des poulies d'entrée / sortie

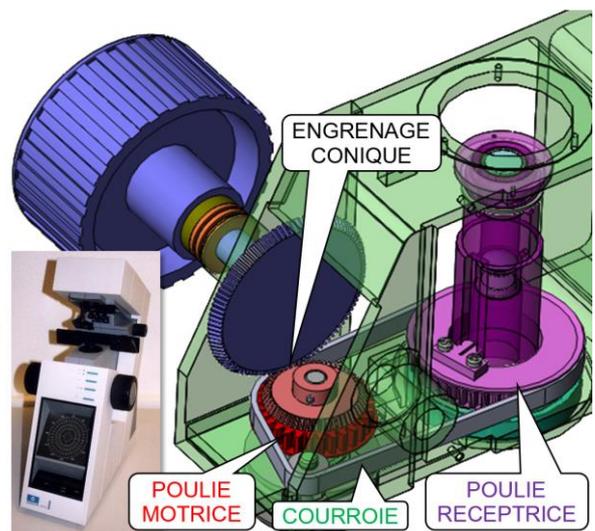
Relation utile :

$$n_S = n_E \times \frac{D_{pE}}{D_{pS}}$$

Pour les courroies crantées, les poulies posséderont nécessairement des dents. Il sera possible de remplacer le ratio des diamètres par le ratio des nombres de dents.



Système d'entraînement du ZOOM d'une jumelle - Sujet ETSO 2009 -



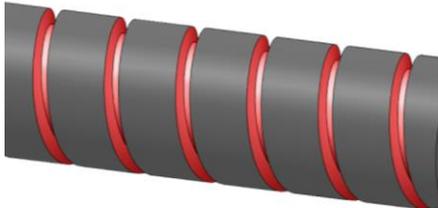
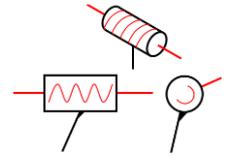
Système de réglage de la mise au point d'un frontofocomètre manuel



Le système vis - écrou

L'un des systèmes de transformation les plus utilisés dans les instruments optiques. Il permet très simplement de transformer un mouvement de rotation en translation **de même axe**.

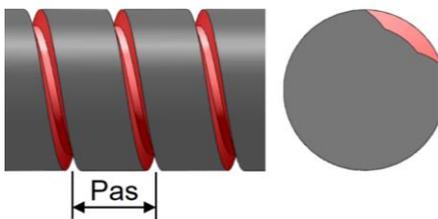
C'est aussi un système classique en mécanique qui utilise des formes hélicoïdales que l'on appelle filet, filetage, taraudage auquel est associé la liaison normalisée « hélicoïdale »...



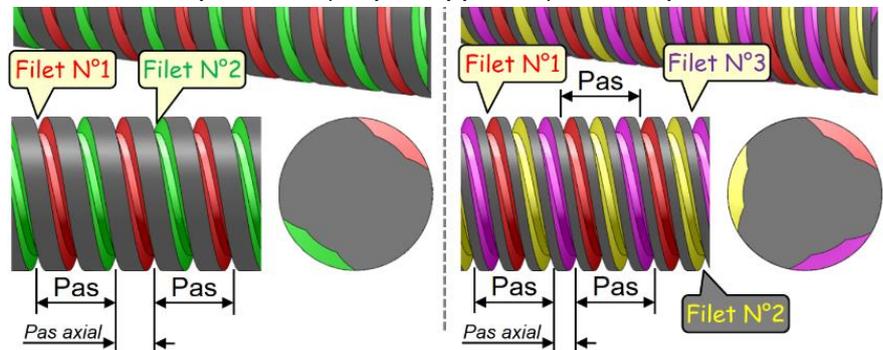
La forme hélicoïdale permet de lier la rotation et la translation qui seront alors **conjugées**.

Pour une rotation d'un tour, le système avance d'un **pas**.

Le pas est la distance **en mm** entre 2 sommets (ou creux) consécutifs d'un même filet.



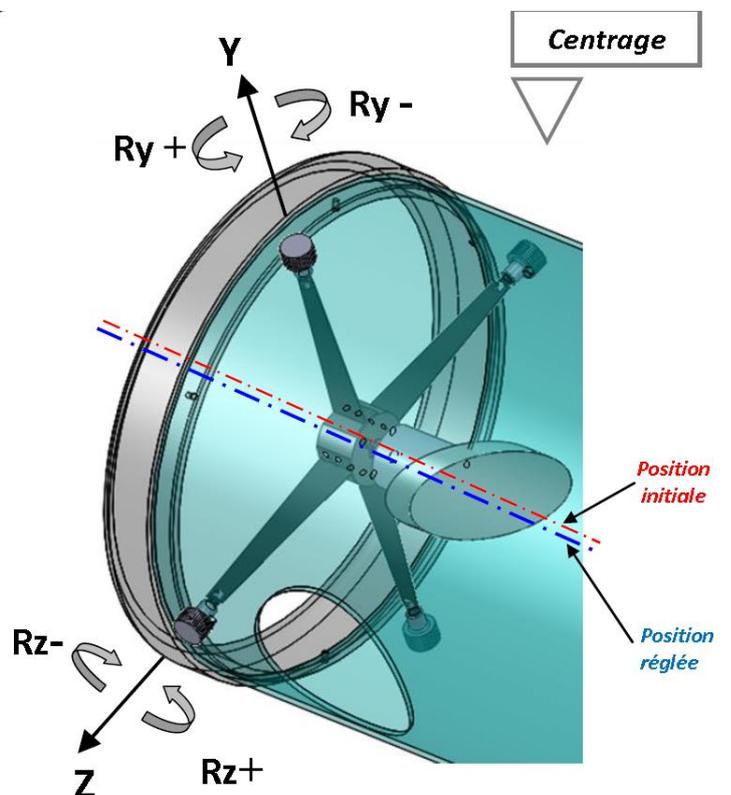
Mais il existe des vis à plusieurs filets pour lesquels il est possible de confondre le pas axial (ou pas apparent) avec le pas réel.



Relation utile :
 $d = n \times \text{pas}$
d : avance (mm)
n : nombre de tours



Système Twist-up du déploiement de la bonnette d'un oculaire de jumelle.
- Sujet ETSO 2009 -



Vis de centrage de l'araignée du support de miroir secondaire d'un télescope
- Sujet ETSO 2013 -

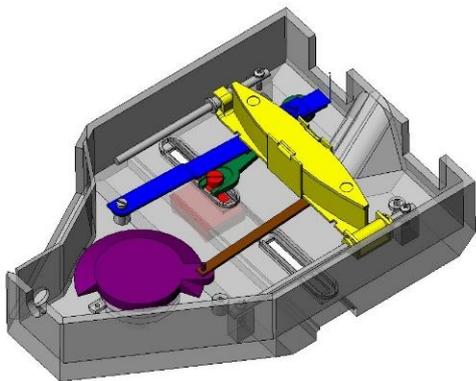


LES AUTRES SYSTEMES DE TRANSFORMATION DE MOUVEMENTS

Il existe un grand nombre d'autres systèmes de transformations moins utilisés, dont certains pourront être découverts dans les études détaillées mais les calculs étant beaucoup plus complexes que pour les précédents, on se contentera de les nommer.

On pourra se limiter aux principaux :

✓ Les systèmes bielle manivelle :



Ils permettent de transformer une rotation en translation ALTERNATIVE.

On le rencontre dans les pupillomètres pour le réglage de la mesure des écarts pupillaires en vision de près ou de loin.

L'utilisateur manœuvre la molette de réglage VL / VP. Cette molette, liée à la manivelle, entraîne alors le déplacement en translation d'un prisme

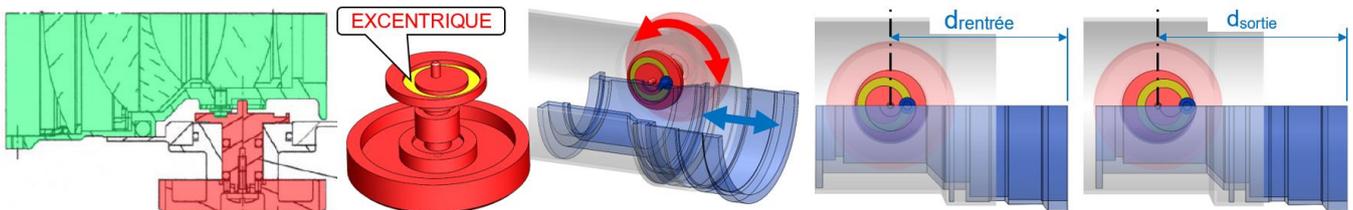


par l'intermédiaire d'une bielle.

✓ Les systèmes à cames ou excentriques

Moins utilisés, ils permettent, à partir d'un mouvement de rotation, d'obtenir des mouvements soit de translation soit de rotation avec des « lois de commandes » particulières.

On en trouve parfois dans les réglages de mise au point de certaines lunettes de visée. Comme dans le sujet ETSO de 2006.

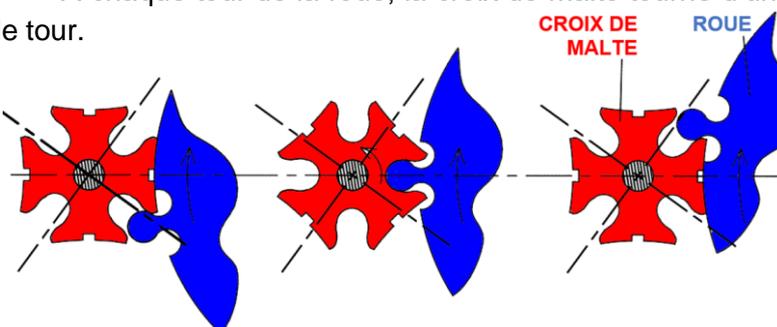


✓ Les systèmes à croix de malte, etc.

Utilisés dans la tête de réfracteur, ces systèmes permettent d'entraîner la rotation séquentielle de la croix lorsque la roue fait un tour.

Il sert à la synchronisation d'affichage des valeurs de réglages des sphères.

A chaque tour de la roue, la croix de malte tourne d'un $\frac{1}{4}$ de tour.





8. LES SUJETS D'ETSO

L'étude des instruments optiques en ETSO permet de vérifier les connaissances acquises au cours des 2 années de formations. Autant pour les parties technologiques que pour l'optique géométrique.

Le support est un instrument, dont le fonctionnement optique est expliqué et la structure mécanique est présentée par des photos, des mises en plans, des perspectives et une nomenclature.

L'étude consiste à vérifier le fonctionnement d'un point de vue optique et d'expliquer comment sont réalisés techniquement les réglages.

ETSO OPTIQUES LINÉAIRES
ETUDE TECHNIQUE DES SYSTEMES OPTIQUES
ETSO - U 43
Durée : 2 heures - Coefficient : 3
LAMPE A FENTE

Le sujet est composé de quatre feuilles A3H :

- Feuille L14 : Description de la lampe à fente et nomenclature
- Feuille L14 : Travail demandé
- Feuille L14 : Dessin d'ensemble
- Feuille A14 : Feuille A3H RECTO - VERSO : document réponse à rendre

1. Description de la lampe à fente. Voir Figure A, Figure n°1 et Figure n°2 sur la feuille L14.
La lampe à fente est un appareil spécialement conçu pour l'étude des structures optiques afin d'examiner les détails des structures de l'œil.

Elle se compose :

- D'une mécanique, partie de l'appareil servant à bloquer le menton et le front du patient pour éviter tout mouvement ne nuisant pas à la prise de vue de l'œil.
- D'un système optique composé :
- D'un joystick MP 8, permettant de commander deux mouvements :
- - Avancer ou reculer pour focaliser sur la structure oculaire à observer.
- - Déplacer latéralement pour balayer l'œil au chargement d'œil.
- D'un bouton de commande MP 37 permettant de monter ou baisser l'unité d'éclairage et l'unité d'observation.

Observation :

- D'une unité d'observation (microscope) permettant d'observer les structures oculaires.
- D'une unité d'éclairage :
- - Formant un faisceau de lumière et de faire des coupes des structures transparentes de l'œil (cornée, chambre antérieure, cristallin, ...).
- - Voir sur la Figure n°1 et Figure n°2.
- D'une fente d'éclairage pour éliminer les rayons parasites et pour focaliser une lumière ou un faisceau pour observer une rétine, voir sur la Figure n°1 et Figure n°2.

Unité d'observation : observation directe, observation latérale.

Unité d'éclairage : Lampe à fente.

Figure n°1, Figure n°2, Figure n°3, Figure n°4, Figure n°5, Figure n°6, Figure n°7.

Nomenclature

01	Vis M3 x 10
02	Vis M3 x 10
03	Vis M3 x 10
04	Vis M3 x 10
05	Vis M3 x 10
06	Vis M3 x 10
07	Vis M3 x 10
08	Vis M3 x 10
09	Vis M3 x 10
10	Vis M3 x 10
11	Vis M3 x 10
12	Vis M3 x 10
13	Vis M3 x 10
14	Vis M3 x 10
15	Vis M3 x 10
16	Vis M3 x 10
17	Vis M3 x 10
18	Vis M3 x 10
19	Vis M3 x 10
20	Vis M3 x 10
21	Vis M3 x 10
22	Vis M3 x 10
23	Vis M3 x 10
24	Vis M3 x 10
25	Vis M3 x 10
26	Vis M3 x 10
27	Vis M3 x 10
28	Vis M3 x 10
29	Vis M3 x 10
30	Vis M3 x 10
31	Vis M3 x 10
32	Vis M3 x 10
33	Vis M3 x 10
34	Vis M3 x 10
35	Vis M3 x 10
36	Vis M3 x 10
37	Vis M3 x 10
38	Vis M3 x 10
39	Vis M3 x 10
40	Vis M3 x 10
41	Vis M3 x 10
42	Vis M3 x 10
43	Vis M3 x 10
44	Vis M3 x 10
45	Vis M3 x 10
46	Vis M3 x 10
47	Vis M3 x 10
48	Vis M3 x 10
49	Vis M3 x 10
50	Vis M3 x 10
51	Vis M3 x 10
52	Vis M3 x 10
53	Vis M3 x 10
54	Vis M3 x 10
55	Vis M3 x 10
56	Vis M3 x 10
57	Vis M3 x 10
58	Vis M3 x 10
59	Vis M3 x 10
60	Vis M3 x 10
61	Vis M3 x 10
62	Vis M3 x 10
63	Vis M3 x 10
64	Vis M3 x 10
65	Vis M3 x 10
66	Vis M3 x 10
67	Vis M3 x 10
68	Vis M3 x 10
69	Vis M3 x 10
70	Vis M3 x 10
71	Vis M3 x 10
72	Vis M3 x 10
73	Vis M3 x 10
74	Vis M3 x 10
75	Vis M3 x 10
76	Vis M3 x 10
77	Vis M3 x 10
78	Vis M3 x 10
79	Vis M3 x 10
80	Vis M3 x 10
81	Vis M3 x 10
82	Vis M3 x 10
83	Vis M3 x 10
84	Vis M3 x 10
85	Vis M3 x 10
86	Vis M3 x 10
87	Vis M3 x 10
88	Vis M3 x 10
89	Vis M3 x 10
90	Vis M3 x 10
91	Vis M3 x 10
92	Vis M3 x 10
93	Vis M3 x 10
94	Vis M3 x 10
95	Vis M3 x 10
96	Vis M3 x 10
97	Vis M3 x 10
98	Vis M3 x 10
99	Vis M3 x 10
100	Vis M3 x 10

RECTO

QA11 Nom de la fente entre les plans P1 et P2

QA12 Nom de la fente entre (S1) et (S2)

QA13 Rôle de la fente

QA14 Rôle de la fente

VERS

QB11 Vue de droite

QB12 Vue de droite

QB13 Rôle de la fente

QB14 Rôle de la fente

QB15 Rôle de la fente

QB16 Rôle de la fente

QB21 Rôle de la fente

QB22 Rôle de la fente

QB23 Rôle de la fente

QB24 Rôle de la fente

QB25 Rôle de la fente

BAREME Partie A

QA11	QA12	QA13	QA14	QA15	QA16	QA17	QA18	QA19	QA20

BAREME Partie B + C

QB11	QB12	QB13	QB14	QB15	QB16	QB21	QB22	QB23	QB24	QB25	TOTAL A-B-C



9. SITOGRAPHIE

Une partie des images et illustrations sont issues des sites suivants :

- www.optimaker.eu (Fabriquez des montures sur mesure pour vos clients)
- Virtualtryon.fr (Outil web de personnalisation de lunettes)
- www.pierretoscani.com (Photographe présentant les fonctionnements optiques détaillés de nombreux objectifs d'appareil photo).
- fr.ifixit.com
- Skyvision.fr
- www.astrosurf.com/quasar95
- clubastronomie.free.fr
- commons.wikimedia.org/wiki (documents en utilisation sous licence [CREATIVE COMMONS](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/))

Certaines illustrations sont aussi issues de divers sujets d'ETSO.

Je tiens aussi à remercier M. Olivier MARTINEL qui partage volontiers, ses ressources et son temps pour aider à l'auto-formation de ses collègues.