

CHAPITRE OS3

Systèmes optiques : cas des lentilles

➤ Problématique 1



FIGURE 1 : Projection sur un écran

Questions : Comment faire pour projeter une image sur un écran ? Pour que l'image soit nette ? La + grande possible ?

➤ Problématique 2



FIGURE 2 : Les aventures de Tintin – L'étoile mystérieuse (Hergé)

Questions : Comment concevoir une lunette ?
Comment la régler sachant que l'observation est
réalisée avec l'œil, qui constitue le dernier S.O. ?

1 Lentilles minces dans les conditions de Gauss

☞ Pour approfondir... Idées de physique...

[1] J.M. Courty, E. Kierlik, Du liquide pour faire des lentilles, *Pour la Science*, n°382, p 88-90, Août 2009

1.1 Constitution

- Définition : Lentille sphérique
- Définition : Lentille sphérique mince
- Conséquence : Centre optique O

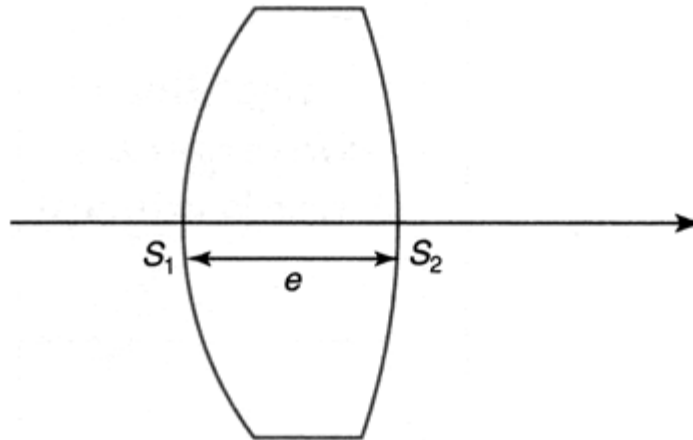


FIGURE 3 : Constitution d'une lentille

➤ Types de lentilles




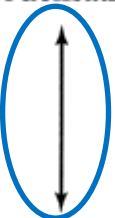



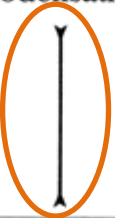
Lentilles convergentes (à bords minces)	bi-convexe 	plan convexe 	ménisque convergent 	modélisation 
	bi-concave 	plan concave 	ménisque divergent 	modélisation 

FIGURE 4 : Lentilles convergentes et divergentes

6 types et 2 catégories

Convergentes (CV)

Divergentes (DV)

➤ Modélisation

1.2 Espaces objets et espaces images

S.O. de transmission

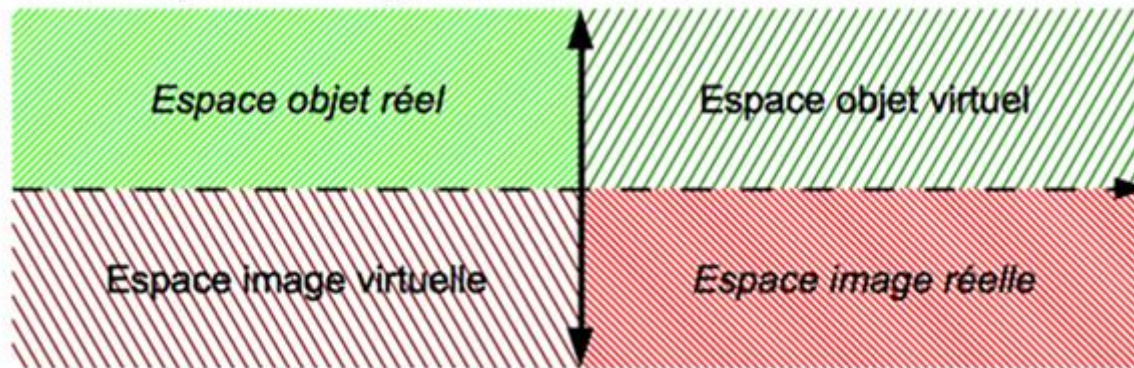


FIGURE 5 : Espaces objets et images d'une lentille

1.3 Foyers et distances focales

1.3.1 Foyer principal image et distance focale image

➤ Définitions

- Foyer image F'
- Distance focale image f'
- Plan focal image Π'

➤ Propriétés

- L CV : F' réel

$$f' = \overline{OF'} > 0$$

- L DV : F' virtuel

$$f' = \overline{OF'} < 0$$



1.3.2 Foyer principal objet et distance focale objet

➤ Définitions

- Foyer objet F
- Distance focale objet f
- Plan focal objet Π

➤ Propriétés

- L CV : F réel $f = \overline{OF} < 0$
- L DV : F virtuel $f = \overline{OF} > 0$

➤ Propriété

F et F' symétriques p/r à O $f' = -f$



1.3.3 Vergence

➤ Définition

$$V = \frac{1}{f'} \quad (\text{dioptrie } \delta)$$

➤ Conséquence

- L CV : $f' > 0$ et $V > 0$
- L DV : $f' < 0$ et $V < 0$



2 Objets et images - tracé de rayons

2.1 Règles de construction

➤ Règle 1

➤ Règle 2

➤ Règle 3

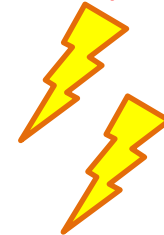


2.2 Image d'un objet à distance finie

➤ Exemple avec une lentille CV

➤ Exemple avec une lentille DV

➤ Nature des objets et images



🌀 Animation : Figures animées pour la physique : Optique géométrique /
Lentilles / Lentille sphérique mince dans les conditions de Gauss

2.3 Image d'un objet à l'infini

➤ Objet étendu à l'infini

Définition :

$$D \gg L$$

diamètre angulaire apparent α

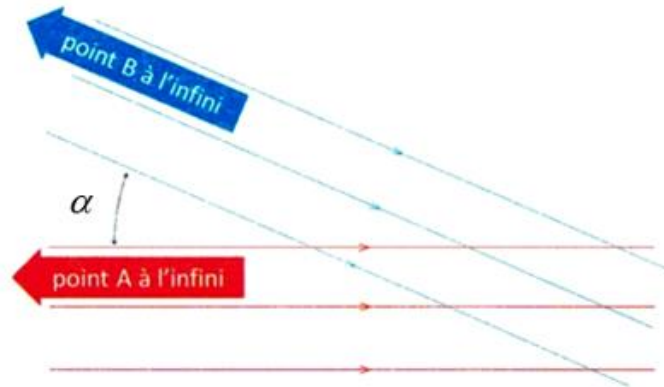


FIGURE 6 : Diamètre angulaire apparent α

Exemple

➤ Construction pour une lentille convergente

Méthode **M**

➤ Foyer secondaire image

Définition : **Foyer secondaire image Φ'**

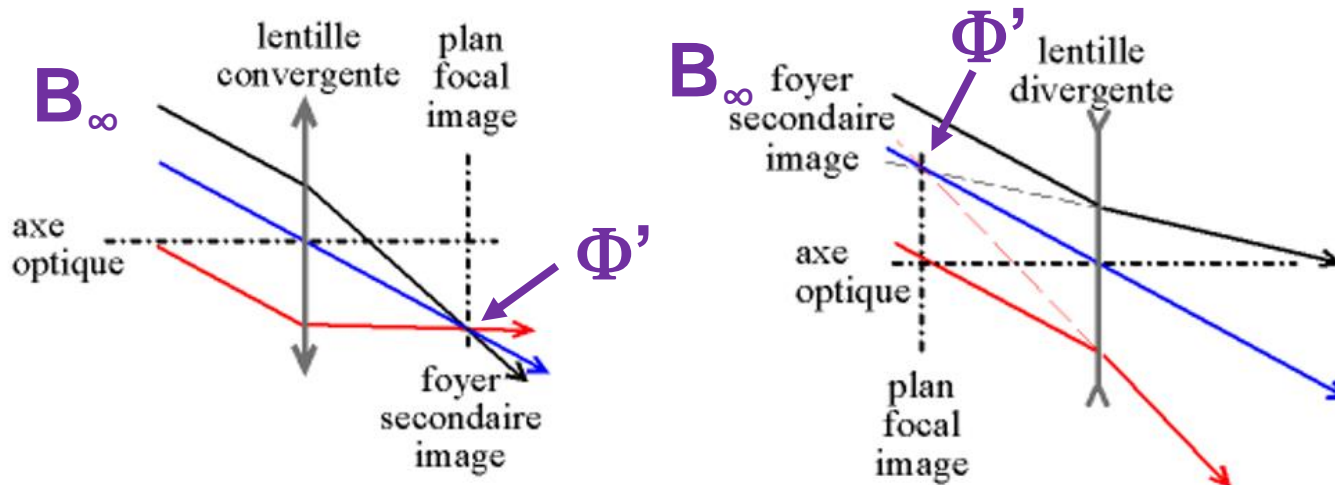


FIGURE 7 : Foyers secondaires images

$$A_\infty B_\infty \xrightarrow{L} A' B' = F' \Phi'$$



➤ Diamètre angulaire apparent de l'objet

$$\alpha \simeq \tan(\alpha) = \frac{\overline{A'B'}}{f'}$$

2.4 Image d'un objet dans le plan focal objet

➤ Foyer secondaire objet

Définition : Foyer secondaire objet Φ

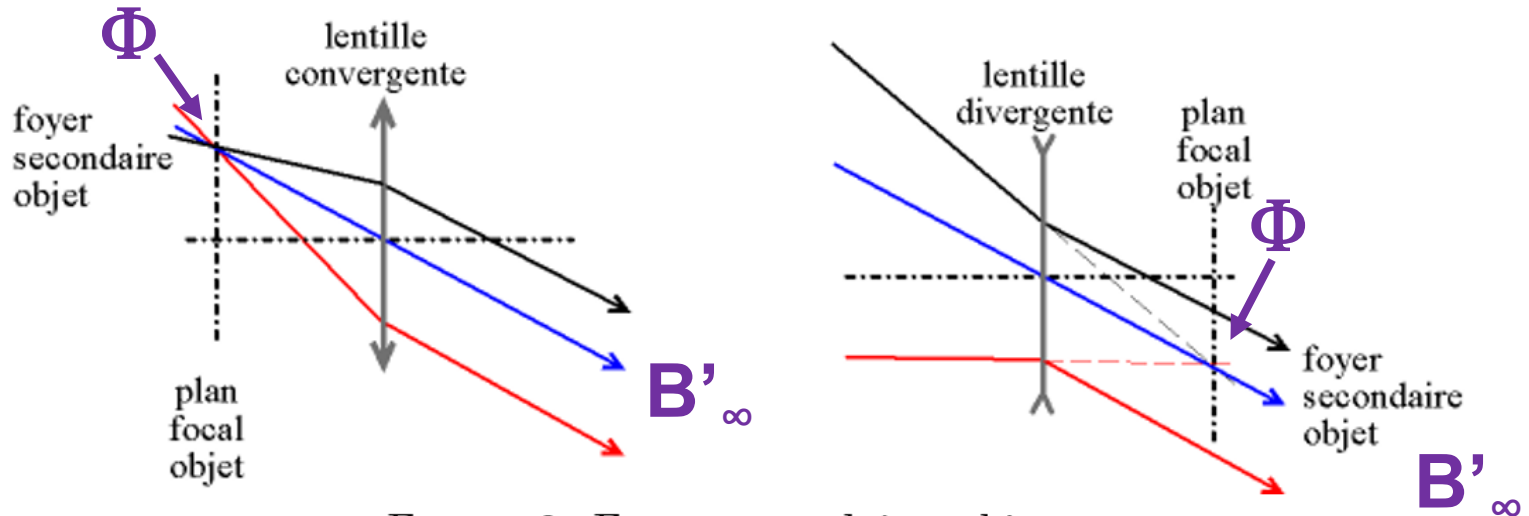


FIGURE 8 : Foyers secondaires objets

➤ Conjugaison

$$AB = F\Phi \xrightarrow{L} A'_\infty B'_\infty$$



3 Relations de conjugaison et grandissement

3.1 Formules avec origine aux foyers (de Newton)

➤ Relation de conjugaison

$$\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = ff' = -f'^2$$



➤ Grandissement

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{FO}}{\overline{FA}} = -\frac{f}{\overline{FA}} = \frac{\overline{F'A'}}{\overline{F'O}} = -\frac{\overline{F'A'}}{f'}$$

➤ Quand les utiliser ?

3.2 Formules avec origine au centre (de Descartes)

➤ Relation de conjugaison

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{f'} = V = -\frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f'} \text{ avec } \overline{OA} = p \text{ et } \overline{OA'} = p'$$



➤ Remarque

➤ Grandissement

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{p'}{p}$$



➤ Quand les utiliser ?

3.3 Application : projection d'un objet réel sur un écran



Exercice d'application 1 : retour à la problématique 1

Avec un projecteur, on souhaite obtenir une image réelle sur l'écran d'un objet réel (diapositive ou matrice).

1. Quelle doit-être la nature de la lentille ?
2. Déterminer la condition sur la distance D (fixée) entre objet et écran pour que l'image soit nette.
3. Déterminer la condition sur la position x de la lentille par rapport à l'objet pour que l'image soit la plus grande possible.



FIGURE 1 : Projection sur un écran

1. Nature de la lentille

L CV : OR → IR

2. Condition de netteté

$$D \geq 4f'$$



FIGURE 1 : Projection sur un écran

3. Condition pour avoir une image agrandie

- ✓ **lentille plus près de l'objet que de l'écran**
- ✓ **pour D fixée, distance focale la plus petite possible**

4 Modèle optique de l'œil

4.1 Description sommaire de l'œil - modèle optique

➤ Constitution

S.O. centré

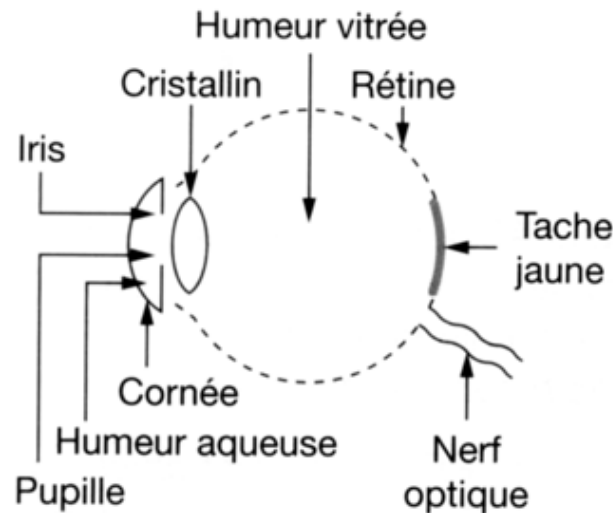


FIGURE 9 : Coupe de l'œil humain

➤ Modèle optique

Élément optique	Fonction	Caractéristiques
Objectif : dioptre sphérique : cornée + lentille biconvexe : cristallin	Formation de l'image	Système convergent déformable de vergence environ $+20 \delta$ ($f' \simeq 50 \text{ mm}$) donnant une image renversée. Le cristallin sépare l'humeur aqueuse de l'humeur vitrée ($n = 1,336$)
Diaphragme : pupille + iris	Réglage de la quantité de lumière entrant dans l'œil	L'iris agit sur la pupille par des muscles circulaires et longitudinaux (par réflexes inconscients).
Obturbateur : paupière	Réglage de la durée d'admission de la lumière	L'ouverture et la fermeture de la paupière sont déclenchées par un réflexe.

Récepteur de lumière : rétine	Impression de l'image	Au niveau de la tache jaune, la rétine est constituée de nombreuses cellules sensibles à la lumière, de l'ordre du μm (cônes sensibles à la couleur : vision diurne ; bâtonnets : vision nocturne)
Nerf optique	Perception de l'image	Il transmet l'information (liée à l'image) à la zone du cerveau qui traite l'image (en l'inversant).

➤ Propriété

Lentille CV
de vergence variable
+ capteur fixe

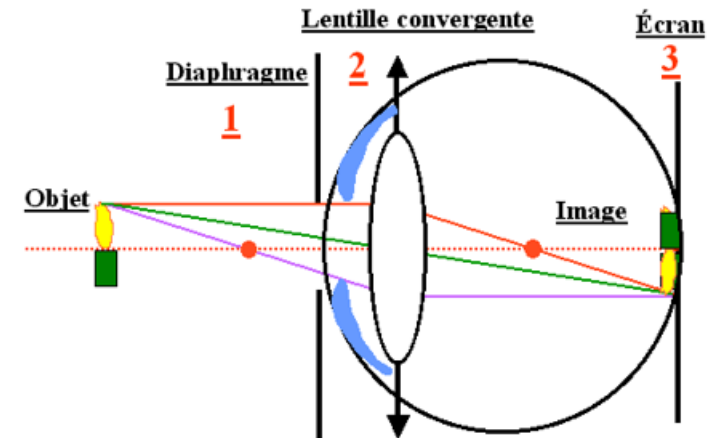


FIGURE 11 : Modèle optique de l'œil

4.2 Phénomène d'accommodation

➤ Œil au repos

➤ Accommodation

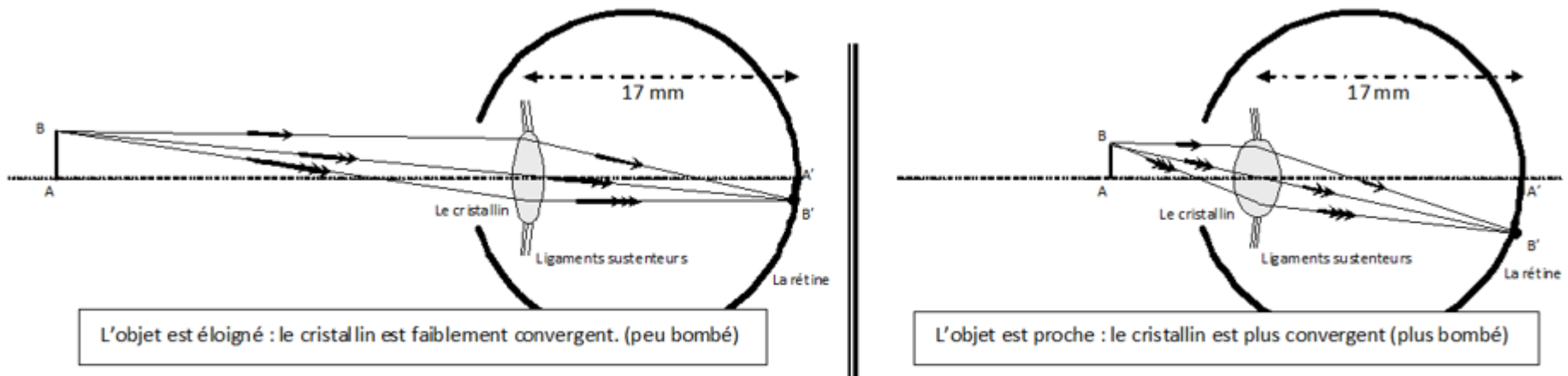


FIGURE 12 : Phénomène d'accommodation

➤ Plage d'accommodation

	<i>Punctum Proximum</i> (PP)	<i>Punctum Remotum</i> (PR)
Définition	Point objet le plus proche de l'œil, vu nettement.	Point objet le plus éloigné de l'œil, vu nettement.
Ordre de grandeur	$d_m \approx 25 \text{ cm}$	$D_m \simeq \infty$
Accommodation ou pas ?	Accommodation maximale : fatigue visuelle	Pas d'accommodation : œil au repos

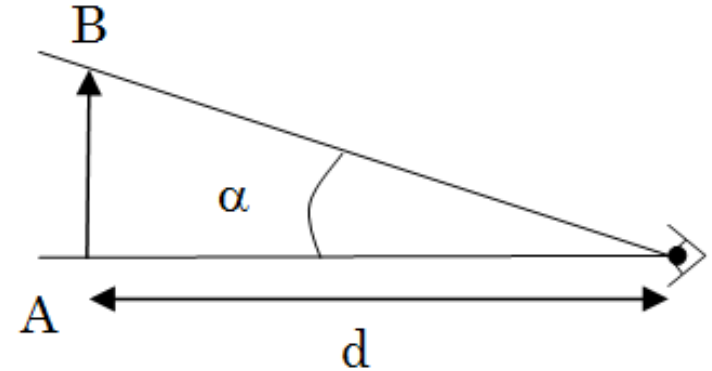
FIGURE 13 : Plage d'accommodation

4.3 Résolution angulaire

➤ Diamètre angulaire

Définition

$$\tan(\alpha) = \frac{AB}{d}$$



➤ Résolution angulaire

Définition

$$\alpha_{\min} = 1' = \frac{1}{60} \text{ deg} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$$

Exercice d'application 2

1. Jusqu'à quelle distance peut-on distinguer deux points A et B séparés de la distance $AB = 1 \text{ mm}$?
2. Quel est la taille du plus petit objet perceptible à l'œil nu ?

4.4 Les défauts de l'œil

➤ Œil normal ou emmétrope

- Champ de vision : $d_m \approx 25 \text{ cm} \rightarrow D_m \infty$
- Propriété

➤ Myopie

- Défaut
- Champ de vision
- Correction

➤ Hypermétropie

- Défaut
- Champ de vision
- Correction

- | | | | |
|-----------------------|--------|-----------------|------------|
| ➤ <u>Presbytie</u> | Défaut | Champ de vision | Correction |
| ➤ <u>Astigmatisme</u> | Défaut | Correction | |

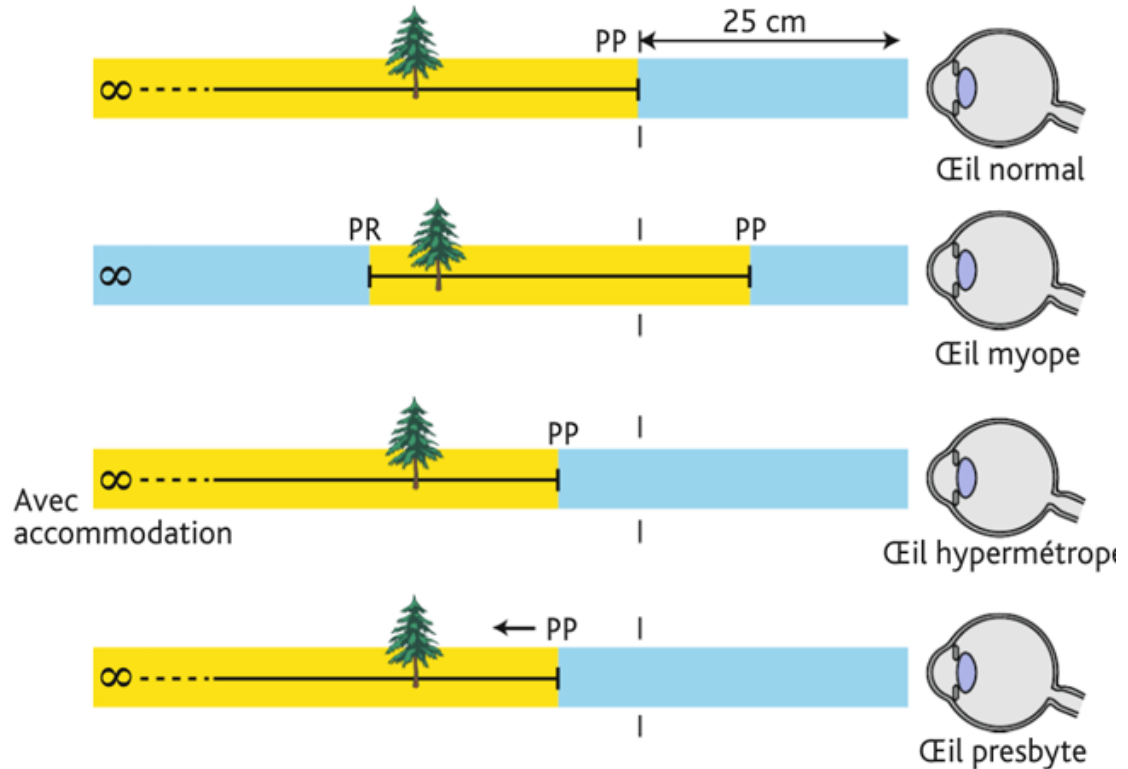


FIGURE 13 : Champs de vision selon les défauts de l'œil

5 Instruments d'optique

5.1 Associations de lentilles

5.1.1 Constitution d'un instrument d'optique

➤ Utilisation de plusieurs lentilles

➤ Définitions :

- Lentille du côté de l'objet = **objectif**
- Lentille du côté de l'œil = **oculaire**

➤ Conjugaison

$$AB \xrightarrow{L_1} A_1 B_1 \xrightarrow{L_2} A' B'$$

➤ Grandissement global

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A_1B_1}} \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}} = \gamma_1 \gamma_2$$

5.1.2 Lentilles accolées

➤ Définition : **Lentilles accolées**

$$O_1 O_2 \ll |f'_1|, |f'_2|$$

➤ Propriété

$$V = V_1 + V_2$$



5.1.3 Lentilles non accolées

➤ Système focal

[2] J.M. Courty, E. Kierlik, Faire d'un smartphone un microscope performant,
Pour la Science, n°491, p 90-92, Septembre 2018

➤ Système afocal

- Définition : **Système afocal**
- Propriété :

$$F'_1 = F_2$$



5.2 Grossissement

➤ Définition : **grossissement (angulaire)**

pour un objet étendu :

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha}$$



α : diamètre angulaire de l'objet AB vu à l'œil nu

α' : diam. ang. de l'image $A'B'$ de l'objet AB vu à travers l'instrument

- instruments d'observation à l'infini : α = diam. ang. de l'objet à l'infini
- instruments d'observation proche : α = diam. ang. de l'objet placé au PP de l'œil

5.3 Lunette astronomique

➤ Retour à la problématique 2



FIGURE 2 : Les aventures de Tintin – L'étoile mystérieuse (Hergé)

Lunette astronomique = lunette afocale



Exercice d'application 3

On considère une lunette astronomique, comportant un objectif constitué d'une lentille mince convergente L_1 de centre O_1 et de focale $f'_1 = \overline{O_1 F'_1} > 0$ et un oculaire constitué d'une lentille mince convergente L_2 de centre O_2 et de focale $f'_2 = \overline{O_2 F'_2} > 0$. Ces deux lentilles ont même axe.

On souhaite observer la planète Mars à travers la lunette, en formant un système afocal.

1. Quelle est la conséquence sur la position relative des lentilles ?
2. Faire un schéma sur papier millimétré en prenant $f'_1 = 5f'_2$ et représenter l'image intermédiaire notée $A'B'$.
3. On veut photographier la planète. Où faut-il placer le capteur CCD ?

On note α' le diamètre angulaire de la planète vue à travers la lunette et α le diamètre angulaire de la planète vue à l'œil nu.

4. L'image finale est-elle droite ou renversée ?
5. Exprimer le grossissement G de la lunette.



Exercice d'application 4 : Lunette commerciale

La lunette astronomique Mizar 70/900 est une lunette avec un objectif de 70 mm de diamètre et de focale 900 mm. Deux oculaires sont fournis : 25 mm et 9 mm. Calculer les grossissements de cette lunette.