

# Chapitre 3 : Lentilles minces

## Prérequis

- chapitre OG1
- chapitre OG2

## Mots-clés

- ❖ *lentille mince, centre optique, foyers objet et image, plan focal, grandissement transversal, relations de conjugaison de Descartes et de Newton*
- ❖ *œil, punctum remotum, punctum proximum, plage d'accommodation, limite de résolution angulaire*
- ❖ *appareil photographique, zoom, champ angulaire, profondeur de champ*

Sir Isaac Newton's little Reflector.



## LES SAVOIRS ET LES SAVOIR-FAIRE

### A Qu'est-ce qu'une lentille?



#### CAPACITÉS EXIGIBLES

- ★ Définir les propriétés du centre optique

#### A.1 Présentation des lentilles sphériques

1. Qu'est-ce qu'une lentille sphérique ?
2. Savoir reconnaître une lentille à bord épais et une lentille à bords minces.
3. En exploitant qualitativement les lois de la réfraction sur un schéma d'une lentille à bord mince ou épais, décrire la marche d'un rayon lumineux.  
Conséquence : une lentille à bord mince a-t-elle tendance à augmenter ou diminuer l'inclinaison du rayon par rapport à l'axe optique ? Même question pour une lentille à bord épais.  
En déduire la nature convergente ou divergente d'une lentille suivant le type de bord de cette lentille.
4. Définir le centre optique d'une lentille.

#### A.2 Modèle de la lentille mince

5. Qu'est-ce qu'une lentille mince ?
6. Attention aux confusions : une lentille à bord mince est-elle nécessairement une lentille mince ? Une lentille à bord épais ne peut-elle jamais être une lentille mince ?
7. Comment schématise-t-on une lentille mince convergente ou divergente ?
8. Que dire du rayon émergent issu d'un rayon incident passant par le centre optique ?

## B Notions de foyer et plan focal



### CAPACITÉS EXIGIBLES

- ★ Définir les propriétés, des foyers principaux et secondaires, de la distance focale, de la vergence

### B.1 Foyers principaux d'une lentille

- Définir le foyer image  $F'$  et le foyer objet  $F$  d'une lentille. Préciser quel est le point conjugué dans chaque cas. Illustrer avec un schéma (cas d'une lentille convergente ou divergente).
- Justifier que  $F$  et  $F'$  soient symétriques l'un de l'autre par rapport au centre optique de la lentille.  $F'$  est-il le point conjugué de  $F$  ?
- Définir la distance focale  $f'$  d'une lentille, ainsi que sa vergence.
- Quel est le signe de  $f'$  suivant la nature de la lentille ?

### B.2 Plans focaux et foyers secondaires

- Qu'est-ce que le plan focal objet/image d'une lentille ?
- Qu'est-ce qu'un foyer objet/image secondaire ?

## C Construction géométrique des images



### CAPACITÉS EXIGIBLES

- ★ Construire l'image d'un objet situé à distance finie ou infinie à l'aide de rayons lumineux
- ★ Identifier sa nature réelle ou virtuelle.
- ★ Exploiter les formules de grandissement transversal de Descartes et de Newton

### C.1 Règles de construction

- Rappeler quelles sont les règles de construction des rayons traversant une lentille.

### C.2 Grandissement transversal

- Définir le grandissement transversal  $\gamma$ .
- Dans quel cas parlera-t-on d'image agrandie/rétrécie ? droite/renversée ?
- Établir l'expression du grandissement de Descartes. Établir les expressions du grandissement de Newton.

## D Relations de conjugaison



### CAPACITÉS EXIGIBLES

- ★ Exploiter les formules de conjugaison de Descartes et de Newton

### D.1 Relation de conjugaison de Descartes

- À partir de la relation de conjugaison de Newton, établir la relation de conjugaison de Descartes.
- Dans le cas d'un objet réel et de l'utilisation d'une lentille convergente, montrer que si l'on souhaite former une image réelle sur un écran à une distance  $D$  par rapport à l'objet, alors il faut  $D \geq 4f'$ .

### D.2 Relation de conjugaison de Newton

- Démontrer la relation de conjugaison de Newton. On pourra illustrer la démonstration dans le cas d'une image  $A'B'$  réelle formée à partir d'un objet  $AB$  réel grâce à une lentille convergente.

## E L'œil et l'appareil photographique



### CAPACITÉS EXIGIBLES

- ★ Modéliser l'œil comme l'association d'une lentille de vergence variable et d'un capteur plan fixe
- ★ Citer les ordres de grandeur de la limite de résolution angulaire et de la plage d'accommodation
- ★ Étudier l'influence de la focale, de la durée d'exposition, du diaphragme sur la formation de l'image

### E.1 L'œil

#### ► Description et modélisation

22. Décrire sommairement l'œil.
23. Quelle modélisation adopte-t-on pour l'œil ?
24. Dans certaines situations, l'œil doit accommoder. Préciser ce que cela signifie.

#### ► Lien entre angle d'observation et taille de l'image

25. Pour un même objet dans un plan transverse observé directement l'œil nu, expliquer à l'aide de schémas que la taille de l'image finale (formée sur la rétine) est d'autant plus grande que l'angle sous lequel l'objet observé est grand.

#### ► Plage d'accommodation

26. Définir : punctum remotum (PR), punctum proximum (PP), plage d'accommodation.
27. Pour un œil emmétrope (terme à définir) nu, préciser où se situe le PR et le PP.
28. Que vaut en moyenne la distance minimale de vision distincte  $d_m$  et que représente-t-elle ?

#### ► Limite de résolution angulaire

29. Expliquer ce qu'est la limite de résolution angulaire de l'œil et établir sa valeur approximative.
30. À quelle condition l'œil peut-il distinguer deux points ?

### E.2 L'appareil photographique

#### ► Description et modélisation

31. Décrire sommairement ce qui constitue un appareil photographique.
32. Quelle modélisation adopte-t-on ?

#### ► Mise au point, zoom et champ angulaire

33. Pour une distance focale donnée, comment la mise au point peut-elle être effectuée ?
34. L'augmentation de la distance focale permet-elle de zoomer ou dézoomer ? Expliquer à l'aide d'un schéma.
35. L'augmentation de la distance focale diminue-t-elle ou augmente-t-elle le champ angulaire ? Expliquer à l'aide d'un schéma dans le cas simple d'une mise au point à l'infini (photographie de paysage par exemple).

#### ► Influence de la durée d'exposition

36. Expliquer quel est l'effet de la durée d'exposition sur la prise de photographie d'un objet en mouvement.

#### ► Influence du diaphragme

37. Construire géométriquement la profondeur de champ pour une ouverture et une focale données. Quel est l'effet de la diminution ou de l'augmentation de l'ouverture du diaphragme sur la profondeur de champ ? Expliquer avec le tracé.
38. Que dire de l'effet sur l'exposition de la photographie ?



## ACTIVITÉS DE COURS

**1 Déviation d'un rayon quelconque : méthode du foyer secondaire**

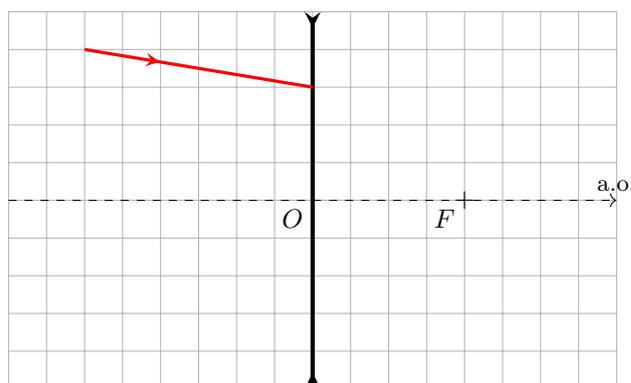
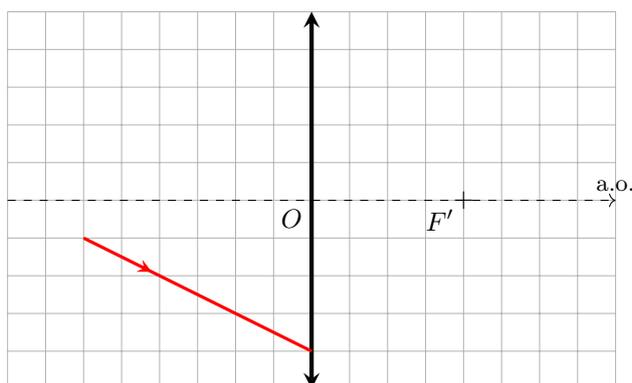
Voici une méthode efficace pour déterminer la manière dont un rayon quelconque par une lentille convergente ou divergente :

- 1) Tracer en pointillé un rayon hypothétique parallèle à celui déjà représenté et passant par le centre optique, donc non dévié par la lentille.
- 2) Imaginer ainsi que les deux rayons font partie d'un hypothétique faisceau parallèle :
  - si il s'agit d'un faisceau parallèle incident, tout se passe comme si le faisceau émergent convergeait au foyer image secondaire correspondant ;
  - si il s'agit d'un faisceau parallèle émergent, tout se passe comme si la lumière provenait du foyer objet secondaire correspondant.

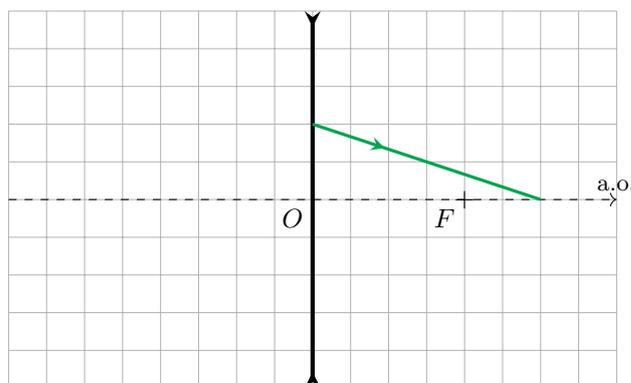
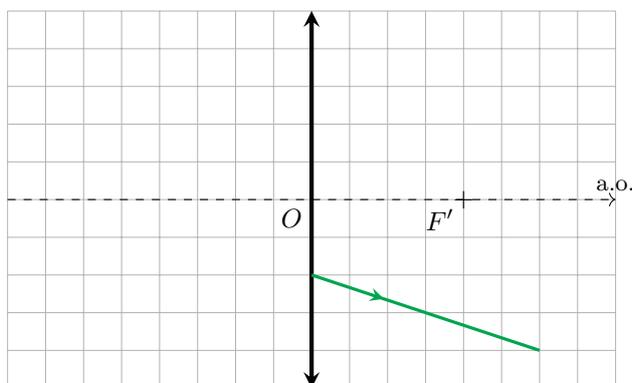
Dans chaque cas, repérer la position du foyer secondaire.

- 3) Par stigmatisme, en déduire la déviation du rayon occasionnée par la lentille.

1. Dans chacun des deux cas ci-dessous, déterminer le rayon émergent.



2. Dans chacun des deux cas ci-dessous, déterminer le rayon incident.



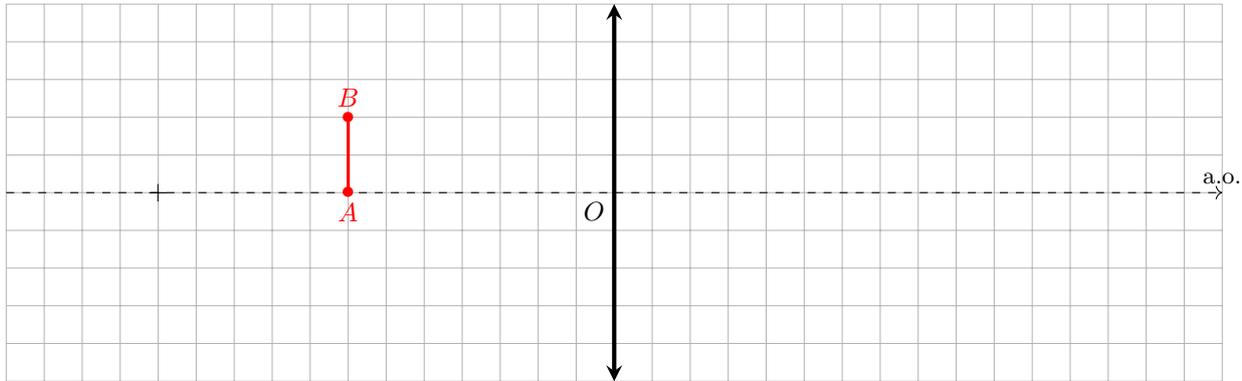


## 2 Déterminer l'image d'un segment transverse par construction géométrique

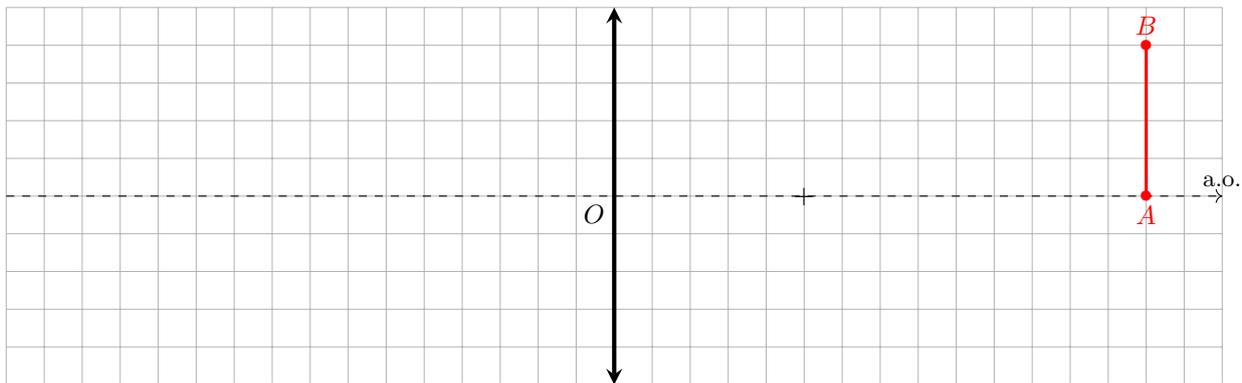
Connaître par cœur et exploiter les règles énoncées au paragraphe C.1 du cours.

Pour chacun des exemples ci-dessous, déterminer l'image  $A'B'$ . Préciser également si l'image est droite ou renversée, agrandie ou rétrécie, réelle ou virtuelle.

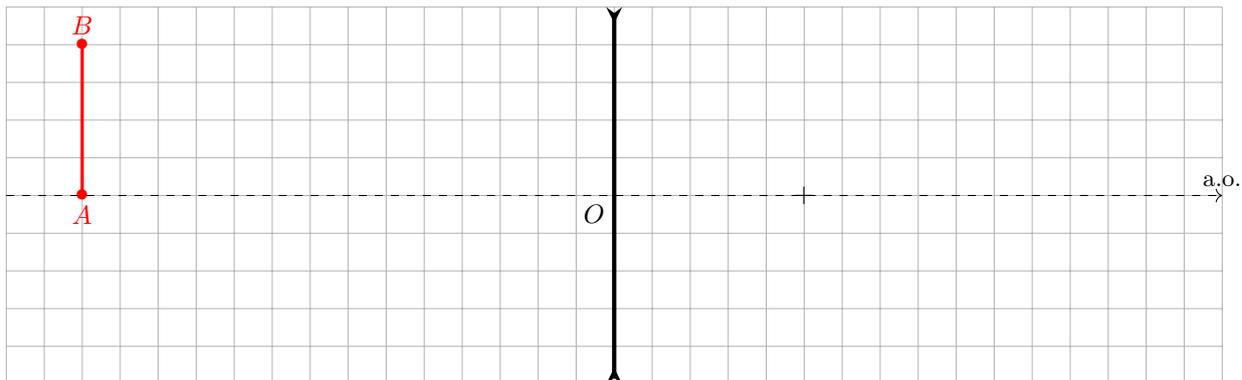
### ► 1er exemple



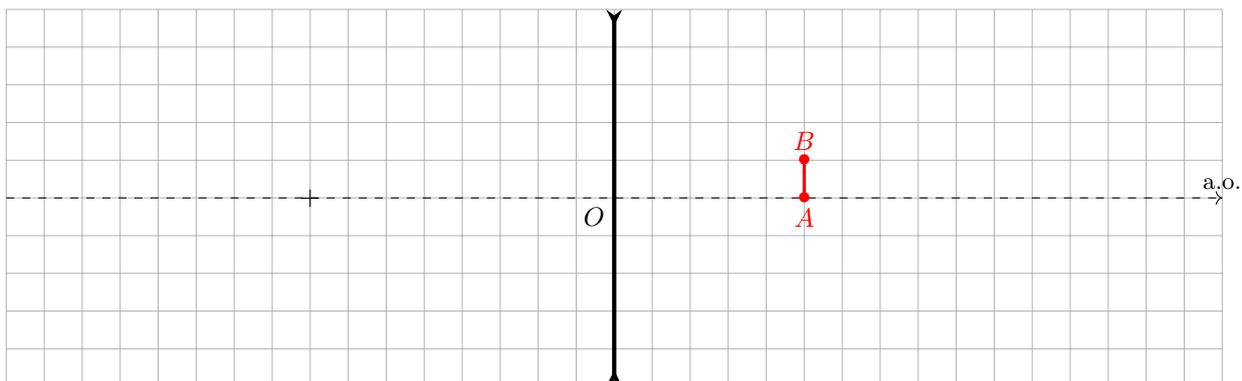
### ► 2ème exemple



### ► 3ème exemple



### ► 4ème exemple







## EXERCICES

DIFFICULTÉ DE L'EXERCICE (ANALYSE, «TECHNICITÉ», ...)

DURÉE DE L'EXERCICE

## COMPÉTENCES TRAVAILLÉES

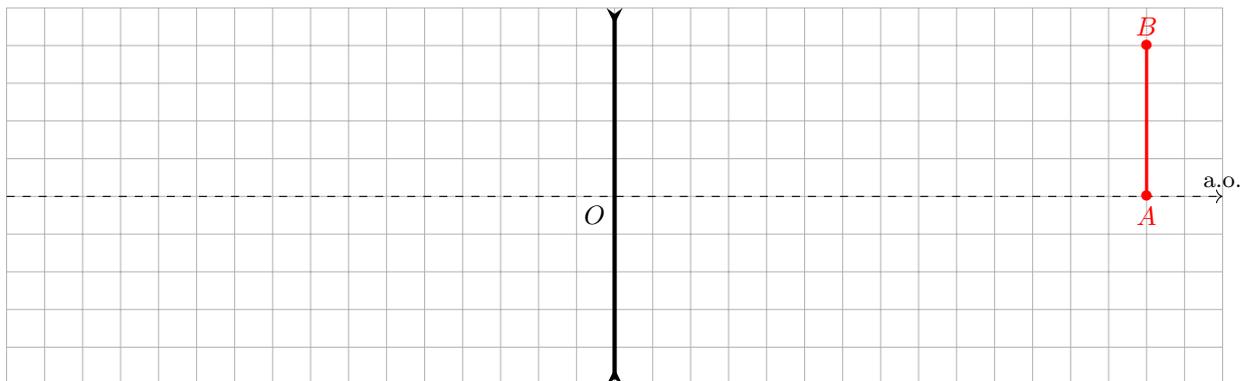
	Exercices					
	1	2	3	4	5	6
Tracé géométrique de la marche des rayons lumineux	•	•				•
Exploiter la relation de conjugaison de Descartes	•	•			•	
Exploiter la relation de conjugaison de Newton						•
Modéliser un instrument d'optique par une association de lentilles		•	•			•
Déterminer ou exploiter une plage d'accommodation					•	•
Déterminer le grossissement d'un instrument d'optique			•			•
Exploiter la limite de résolution angulaire de l'œil				•		•

## Exercice 1

## Construction d'une image



1. Pour la lentille ci-dessous, la distance focale en valeur absolue est de 2,5 cm (5 carreaux). Déterminer l'image  $A'B'$  par construction géométrique. **Attention**, puisque l'axe optique est orienté vers la droite, la lumière incidente se propage de la gauche vers la droite.



2. Retrouver par le calcul la taille de l'image et sa position par rapport au centre optique  $O$ .

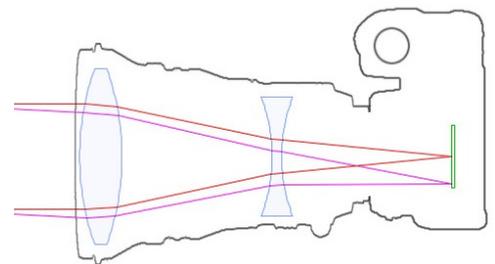
## Exercice 2

## Téléobjectif d'appareil photographique



Un appareil photographique est équipé d'un téléobjectif, assimilable à un ensemble de deux lentilles minces : une lentille convergente  $\mathcal{L}_1$  de centre optique  $O_1$  et de distance focale  $f'_1 = 10$  cm, et une lentille divergente  $\mathcal{L}_2$  de centre optique  $O_2$  et de distance focale  $f'_2 = -4,0$  cm, séparées de  $d = \overline{O_1O_2} = 6,5$  cm.

On désire former l'image d'un monument de hauteur  $h = 24$  m se trouvant avant  $\mathcal{L}_1$ , à une distance  $D = 1200$  m.



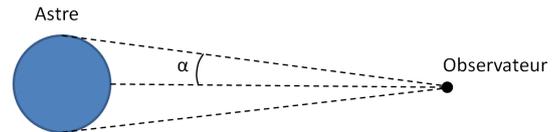
- Où se trouve l'image du monument par  $\mathcal{L}_1$  ? Justifier qu'on puisse considérer que le monument est situé à l'infini.
- Quelle est la taille de cette image intermédiaire ?
- Où se trouve l'image du monument par le système optique  $\{\mathcal{L}_1 + \mathcal{L}_2\}$  ? Quelle est la taille de la nouvelle image ?
- Déterminer l'encombrement  $e$  du dispositif (distance entre l'extrémité du téléobjectif et le plan dans lequel l'image se forme).
- Si l'objectif était constitué d'une unique lentille  $\mathcal{L}$ , quelle serait l'encombrement  $e'$  de l'objectif et la distance focale  $f'$  utilisée pour obtenir le même grossissement que  $\{\mathcal{L}_1 + \mathcal{L}_2\}$  ? Conclure.

## Exercice 3

## Lunettes afocales



On veut observer la Lune de rayon 1740 km et située à 384 400 km de la Terre. Elle est vue à l'œil nu sous un angle  $\alpha$  petit.



Afin de mieux l'observer, on utilise une **lunette astronomique** constituée de deux lentilles convergentes. L'objectif ( $f'_1 = +100$  cm) donne une petite image intermédiaire réelle. Celle-ci est observée à travers l'oculaire ( $f'_2 = +2$  cm). L'image intermédiaire est à une position de l'axe optique telle que l'image finale est virtuelle et vue à l'infini sous un angle  $\alpha'$ .

1. Quelle est la valeur de  $\alpha$ ? Pourquoi peut-on considérer que la Lune est à l'infini?
2. Pourquoi parle-t-on de lunette **afocale**?  
Expliquer le principe à l'aide d'un schéma décrivant la marche des rayons lumineux.
3. Exprimer le grossissement  $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$  en fonction de  $f'_1$  et  $f'_2$ . En déduire  $\alpha'$ .
4. Pourquoi s'arrange-t-on pour que l'image finale soit rejetée à l'infini?  
Pourquoi faut-il que  $|G| > 1$ ?
5. La **lunette de Galilée** repose sur le même principe que la lunette astronomique, mais elle utilise une lentille divergente pour l'oculaire. Prenons alors  $f'_2 = -2$  cm.  
Réaliser un tracé de rayons lumineux à travers cette lunette. Quel est le grossissement? Comparer à la lunette astronomique précédente.

## Exercice 4

## Où placer le canapé?



TV LED Hisense 65E77HQ 65" 4K UHD (2160p)

Où faut-il placer le canapé?

★★★★★ (29)



Taille: 65"

Plat · 4K · 3D active · HDTV · QLED ·  
3840 x 2160 · Noir · Bluetooth ·  
Wi-Fi · USB



## Exercice 5

## Correction de vision



Deux lentilles minces quelconques  $L_1$  et  $L_2$  sont dites **accollées** lorsque  $O_1O_2 \ll |f'_1|$  et  $O_1O_2 \ll |f'_2|$  simultanément. Ainsi,  $O_1$  et  $O_2$  sont quasiment confondu. Dans ce cas, on notera  $O$  le centre optique commun des deux lentilles.

1. En prenant l'origine en  $O$ , quelle est la relation de conjugaison du système ainsi obtenu?  
En déduire la lentille  $L$  équivalente à l'association des deux lentilles  $\{L_1 + L_2\}$ ?
2. **Application : correction de vision**
  - (a) Un œil hypermétrope possède un cristallin insuffisamment convergent. L'œil doit donc accommoder pour voir à l'infini sinon l'image se forme derrière la rétine et l'observateur observe une tache floue. Et le PP est plus éloigné que pour l'œil normal.  
La vergence des verres correcteurs doit être positive ou négative?
  - (b) Un œil myope possède un cristallin trop convergent. Par conséquent, le PP est plus proche que pour l'œil normal et le PR n'est plus à l'infini.  
L'image d'un objet ponctuel à l'infini se forme avant la rétine et l'observateur ne voit qu'une tache floue (un myope sans ses lunettes voit flou de loin).  
La distance maximale de vision distincte pour l'œil myope considéré est de 1,25 m. Quelle est la vergence des verres qu'il faut porter afin qu'il puisse voir un objet à l'infini sans accommoder (càd, sans se contracter)?

## Exercice 6

## Microscope



Soit un microscope modélisable par deux lentilles convergentes : l'objectif  $\mathcal{L}_1$  et l'oculaire  $\mathcal{L}_2$ . On définit l'intervalle optique  $\Delta = F'_1 F_2$ . On prendra  $\Delta = 160$  mm. Le grossissement indiqué sur l'oculaire est  $G_{oc} = 10$  : il est défini comme le rapport de l'angle  $\alpha'$  sous lequel est observée l'image fournie par  $\mathcal{L}_2$  sur l'angle  $\alpha$  sous lequel est observé l'objet de  $\mathcal{L}_2$  à l'œil nu et placé au punctum proximum de celui-ci. On notera  $d_m$  la distance minimale de vision distincte. Le grandissement transversal  $|\gamma_1|$  indiqué sur l'objectif est de 20.

- Où souhaite-t-on former l'image finale  $A_2 B_2$  fournie par l'oculaire d'un objet  $AB$  réel situé devant l'objectif dans un plan transverse ? Réaliser un schéma qualitatif (non représentatif des distances réelles). **Pour ce tracé uniquement, on prendra environ 10 cm entre les deux lentilles et  $F_2$  sera situé à environ 2 cm de  $O_2$ . Enfin, l'objet  $AB$  sera situé à environ 2 cm de  $O_1$  et de taille 1 cm (attention, prévoir de la taille pour l'image intermédiaire  $A_1 B_1$  qui sera nettement agrandie par rapport à  $AB$ ...) Ne pas prendre en compte ces valeurs pour la suite !**
- À l'aide des données de l'énoncé, déterminer les valeurs réelles des distances focales  $f'_1$  et  $f'_2$ .
- Le grossissement du microscope est défini de la même manière que le grossissement de l'oculaire  $\mathcal{L}_2$  mais pour le système optique  $\{\mathcal{L}_1 + \mathcal{L}_2\}$  désormais. Déterminer son expression et sa valeur à l'aide des données de l'énoncé.
- On souhaite observer une bactérie de taille environ  $1 \mu\text{m}$ . Est-ce que ce grossissement sera satisfaisant ?
- On considère que le centre optique  $C$  du cristallin est situé en  $F'_2$ . Déterminer la taille  $\ell$  de la plage d'accommodation de l'œil observant à travers le microscope en fonction de  $f'_1$ ,  $f'_2$ ,  $d_m$  et  $\Delta$ .



## RÉSOLUTION DE PROBLÈME

## Exercice 7

## Grossissement d'une loupe



Voici ce que l'on peut trouver sur le site <https://www.gemmology.be> :



La loupe est l'instrument de base du gemmologue et de tout professionnel de la bijouterie. Il y a loupe et loupe. L'analyse des pierres précieuses nécessite une loupe aplanétique et achromatique de grossissement 10x. L'analyse à la loupe doit précéder toute autre analyse. Elle permet la détection des doublets et l'observation des inclusions. L'analyse à la loupe n'est concluante qu'en de rares occasions et requière une grande expérience en la matière.

Le grossissement d'une loupe est défini comme le rapport de l'angle sous lequel l'objet est observé à travers la loupe par l'angle sous lequel il serait observé si il était situé au *punctum proximum*.

- La photographie proposée est-elle en accord avec le texte ?
- Quel est le champ en profondeur (ou plage d'accommodation) de l'œil observant à travers cette loupe ?



## Aides et éléments de correction

## Exercice 2

Avant même de se lancer, réaliser un schéma afin de mieux se représenter le problème. Il ne sera pas utile de le réaliser à l'échelle (ce serait de toute façon très compliqué vu les distances mises en jeu ...), mais on introduira des notations qui pourront être utiles dans la suite :

- notons  $AB$  le segment de hauteur  $h$  représentant le monument,  $A$  étant sur l'axe optique
- introduire les notations suivantes également :  $AB \xrightarrow{\mathcal{L}_1} A_1 B_1 \xrightarrow{\mathcal{L}_2} A_2 B_2$ .  
où  $A_1 B_1$  est l'image intermédiaire qui jouera le rôle d'objet pour  $\mathcal{L}_2$ . L'image finale  $A_2 B_2$  se forme sur le capteur CCD de l'appareil photographique.

Le schéma doit donc faire figurer l'axe optique, le segment  $AB$ ,  $\mathcal{L}_1$ ,  $\mathcal{L}_2$ ,  $O_1$ ,  $O_2$ , le capteur CCD (c'est un plan transverse) et  $A_2$  situé sur l'axe optique et sur le capteur CCD. Il ne sera pas utile de tracer les rayons lumineux, et donc il ne sera pas utile de chercher où se forme  $A_1$  sur le schéma.

- La question peut se reformuler ainsi : où est située  $A_1$  ? Pour cela, on peut se servir de la relation de conjugaison de Descartes pour la conjugaison  $A \xrightarrow{\mathcal{L}_1} A_1$ .
- Que vaut  $A_1 B_1$  ? On pourra se servir du grandissement  $\gamma_1$  de la 1ère lentille.
- Même démarche que précédemment mais pour la conjugaison  $A_1 \xrightarrow{\mathcal{L}_2} A_2$ . On pourra noter  $\gamma_2$  le grandissement de la 2ème lentille.
- Concernant l'encombrement, il s'agit de la taille qu'occupera l'ensemble du dispositif optique, c'est à dire  $e = O_1 A_2$  (distance entre le premier dioptré et le capteur CCD où se forme l'image), il ne reste plus qu'à l'exprimer et à le calculer.

- Faire un nouveau schéma, identique au précédent avec désormais une seule lentille convergente  $\mathcal{L}$  (de centre optique  $O$ ) au lieu de  $\mathcal{L}_1$  et  $\mathcal{L}_2$ . On pourra noter  $AB \xrightarrow{\mathcal{L}} A'B'$ . Nous avons dans cette question deux inconnues :
  - que vaut l'encombrement  $e' = OA'$ ? On ne pourra pas se servir de la relation de conjugaison de Descartes ici, car elle serait à deux inconnues,  $OA'$  et  $f'$ . Par contre, on impose au grandissement  $\gamma$  de cette unique lentille d'être le même que le grandissement global obtenu dans le cas de deux lentilles  $\mathcal{L}_1$  et  $\mathcal{L}_2$ . Cela devrait permettre de trouver  $OA'$  sans trop de difficulté.
  - que doit valoir la distance focale  $f'$  nécessaire pour obtenir ce même grandissement? Cette fois, on peut naturellement utiliser la relation de conjugaison de Descartes.

### Exercice 3

- Le préfixe "a" est privatif : l'ensemble du système optique ne possède pas de foyers. En effet, un faisceau parallèle est «converti» en un autre faisceau parallèle par ce système optique. Avant de se lancer dans le tracé, réfléchir à ceci :  $A_\infty \xrightarrow{\mathcal{L}_1} ?? \xrightarrow{\mathcal{L}_2} ??$ .  
En déduire que  $F_2$  et  $F'_1$  sont nécessairement confondus.  
Respecter alors ce critère pour le tracé. De plus, choisir une distance focale  $f'_1$  5 fois plus grande que  $f'_2$  (c'est lorsque  $f'_2 > f'_1$  que la lunette a un intérêt comme nous le verrons à travers cet exercice). Choisir un faisceau de lumière parallèle provenant de  $B_\infty$  et formant un angle  $\alpha$  assez faible par rapport à l'axe optique (l'intérêt de la lunette est de grossir cet angle comme nous le verrons, il ne faut donc pas choisir une valeur trop forte dès le départ ...).
- Montrer que  $G = \frac{f'_1}{f'_2}$ . Exploiter pour cela des règles de géométrie courantes concernant les triangles rectangles. Exploiter également une des deux conditions de Gauss pour émettre une approximation raisonnable.

### Exercice 4

L'œil doit-il pouvoir distinguer les détails d'un pixel? ... Avec les données du site marchand, estimer la taille d'un pixel. Puis, exploiter le cours concernant la limite de résolution angulaire de l'œil. (*Au fait, 65 pouces correspond à la diagonale de l'écran ...*)

### Exercice 6

- $A_2B_2$  situé à l'infini pour une observation sans accommodation pour l'œil. Il faut donc que  $A_1$  soit situé en  $F_2$ . Avec le rayon non dévié issu de  $B$  et passant par  $O_1$ , en déduire la position de  $B_1$  sur le plan focal objet de  $\mathcal{L}_2$ . Avec le rayon incident issu de  $B$  et parallèle à l'axe optique, en déduire par stigmatisme la position de  $F'_1$ . Faire apparaître la distance  $\Delta$  par la suite. Terminer le tracé en déterminant les rayons émergent de  $\mathcal{L}_2$  en considérant que  $A_1B_1$  est un objet réel pour  $\mathcal{L}_2$ .
- Pour déterminer  $f'_1$ , on pourra repérer deux triangles semblables faisant intervenir les distances  $\Delta$  et  $f'_1$ . L'énoncé indique par ailleurs que le grandissement effectué par la 1ère lentille est  $|\gamma_1| = 20$ . On peut facilement en déduire une expression de  $f'_1$  en fonction uniquement de  $\gamma_1$  et  $\Delta$  à l'aide d'un théorème de géométrie bien connu depuis le collège ...  
Pour déterminer  $f'_2$ , il faut exploiter  $G_{oc}$ . D'après le schéma réalisé, l'angle  $\alpha'$  peut se situer dans un triangle rectangle faisant intervenir  $f'_2$  justement. Exprimer alors  $\alpha' \simeq \tan \alpha'$  en fonction de  $f'_2$  (*justifier cette approximation d'ailleurs ...*). Par ailleurs, l'angle  $\alpha$  évoqué par l'énoncé (angle sous lequel on observerait  $A_1B_1$  à l'œil nu) peut se situer dans un triangle rectangle faisant intervenir  $d_m$ , faire un schéma et exprimer alors  $\alpha' \simeq \tan \alpha'$  en fonction de  $d_m$ . En déduire  $G_{oc}$  en fonction uniquement de  $f'_2$  et  $d_m$ . Isoler  $f'_2$  et effectuer l'AN.
- Désormais l'angle  $\alpha$  est l'angle sous lequel on observerait  $AB$  à l'œil nu. Faire le même raisonnement que précédemment (concernant  $G_{oc}$ ). Réponse :  $G = |\gamma_1|G_{oc}$
- Calculer  $\alpha$  (angle d'observation de la bactérie à l'œil nu) à l'aide de la taille  $\ell = 1 \mu\text{m}$  de la bactérie et de  $d_m$ . En déduire  $\alpha'$  en exploitant  $G = |\gamma_1|G_{oc}$ .  
À quelle valeur d'angle particulière vue en cours et caractérisant l'œil pourrait-on comparer  $\alpha'$ ? ...
- PAS FACILE! Ou disons fastidieux tout du moins ...** Il faut ici chercher le punctum remotum (PR) et le punctum proximum (PP) du système optique {microscope + œil}, qui n'ont aucune raison d'être situés aux mêmes endroits que le PP et le PR du système optique {œil nu} ...

$$A \xrightarrow{L_1} A_1 \xrightarrow{L_2} A_2 \xrightarrow{\text{crist.}} A_3 \text{ (sur la rétine)}$$

**Le P.R.??** Implicitement, chercher le punctum remotum signifie chercher le point  $A$  situé devant l'objectif tel que l'œil nu supposé emmétrope (et qui observe  $A_2$ ) n'accommode pas, c'est-à-dire tel que  $A_2$  soit situé ... où ça ??? ... Et donc, que peut-on en déduire pour  $A_1$ ?

Avec quel autre point est-il confondu? ... Exploiter alors la relation de Newton pour la conjugaison  $A \xrightarrow{L_1} A_1$ , en déduire  $\overline{F_1A}$ , que l'on notera désormais  $\overline{F_1A_{pr}}$ , en fonction uniquement de  $f'_1$  et  $\Delta$ .

**Le P.P.??** Même principe que précédemment mais désormais chercher le punctum proximum signifie chercher le point  $A$  situé devant l'objectif tel que l'œil nu supposé emmétrope observe  $A_2$  située au punctum proximum de l'œil nu, c'est-à-dire tel que  $\overline{CA_2} = \overline{F'_2A_2} = ???$  ...

Exploiter alors la relation de Newton pour les conjugaisons  $A_1 \xrightarrow{L_2} A_2$  (en exploitant une relation de Chasles, elle fournira  $\overline{F'_1A_1} = \frac{f'^2_2}{d_m} + \Delta$ )

et  $A \xrightarrow{L_1} A_1$  (même formulation que précédemment pour le P.R. en fait ...). En déduire  $\overline{F_1A}$ , que l'on notera désormais  $\overline{F_1A_{pp}}$ , en

fonction uniquement de  $f'_1$ ,  $f'_2$ ,  $d_m$  et  $\Delta$ . Réponse :  $\overline{F_1A_{pp}} = -\frac{d_m f'^2_1}{f'^2_2 + d_m \Delta}$

**Le plage d'accommodation??** Il s'agit de la distance  $\overline{A_{pr}A_{pp}}$ . La déduire des expressions de  $\overline{F_1A_{pr}}$  et  $\overline{F_1A_{pp}}$ .

## Résolution de problème

### Exercice 7

- Faire un schéma-modèle, en plaçant judicieusement l'objet  $AB$  à observer (*où souhaite-t-on que l'image  $A'B'$  produite par la lentille se forme?*). Chercher à exprimer le grossissement en fonction de la distance minimale de vision distincte  $d_m$  et la distance focale  $f'$  de la loupe. La photographie peut donner une estimation de  $f'$ . En déduire une estimation du grossissement et vérifier l'accord avec la valeur indiquée dans le texte.
- Trouver par le calcul la position du PR et du PP de l'ensemble. À l'aide de la photographie, on pourra supposer, pour simplifier, que le cristallin est confondu avec le foyer  $F'$  de la loupe.