Licence 1 – UE PHY202

Examen d'Optique

1ère session – 16 Mai 2019 (durée 2h)

Aucun document n'est autorisé – calculatrice, règle et rapporteur conseillés.
Le sujet comporte 4 pages plus ***2 documents réponses à rendre avec la copie****.*
La présentation et la clarté des explications sont évaluées.
Le barème est donné à titre indicatif.

I. Tracé de rayons lumineux (~4 points)

Compléter le tracé de rayons sur le document réponse 1. Indiquer dans chaque cas si l'objet est réel ou virtuel et si l'image est réelle ou virtuelle, droite ou inversée.

CF DOCUMENT JOINT

II. L'Arc en ciel (~6 points)

Un arc-en-ciel est provoqué par la dispersion de la lumière du Soleil par des gouttes de pluie que l'on considérera comme sphériques. La lumière pénètre dans la goutte (point A), elle subit une réflexion à l'arrière de la goutte (point B), puis ressort de la goutte (point C).

on s'intéresse dans cette partie uniquement aux rayons qui entrent dans la goutte en A, qui subissent une réflexion en B, et qui ressortent de la goutte en C.

Question 1 :
Dans ce cas, quel(s) phénomène(s) subit la lumière en A et en C ?

En A, la lumière subit à la fois une réflexion (rayon ressortant de la goutte, qui ne nous intéresse pas pour l'arc-enciel) et une réfraction (rayon entrant de la goutte), suivant la loi de Snell Descarte.

En C, une partie de la lumière est réfléchie (reste dans la goutte, ne nous intéresse pas pour l'arc-en-ciel) et une partie est réfractée (ressort de la goutte, jusqu'à à l'observateur)

0.5 pt pour A et 0.5 pt pour B

Question 2 :

On s'intéresse dans cette question au rayon pénétrant en A, et ressortant en C tel que décrit ci-dessus. On considère un rayon monochromatique, de longueur d'onde λ, et un indice de l'eau n=1.33.

2.1) Sur le document réponse 2 (à joindre à votre copie), mesurez l'angle d'incidence en A. Que vaut l'angle de réfraction r en A en fonction de i et n ? Donner sa valeur numérique et tracer le trajet du rayon lumineux entre les points A et B.

L'angle d'incidence vaut 48°. 0.5 pt

Après application de la loi de Snell Descartes sin i = n sin r d'où r=asin(sin(41))=34°
1 pt pour SD et 0.5 pt pour l'AN

Tracé : cf feuille. 0.5 pt

2.2) Que valent les angles d'incidence et de réflexion en B ? Tracer le trajet du rayon entre B et C.

L'angle d'incidence en B vaut r et donc 34° car le triangle ABO est isocèle. 0.5 pt
L'angle de réflexion en B vaut donc aussi r. 0.5 pt
Tracé : cf feuille. 0.5 pt

2.3) Que valent les angles d'incidence et de réflexion en C ? Tracer le trajet du rayon après la sortie de la goutte.

L'angle d'incidence en C vaut r (même raisonnement que pour B). 0.5 pt
L'angle de réfraction vaut donc i (même loi que pour A, si i'=angle réfracté, on a sin i'=n sin r) 0.5pt
Tracé : cf feuille. 0.5 pt

Question 3 :
Que vaut la déviation du rayon en A ? Même question en B puis en C. En déduire que la déviation totale est égale à $2i-4r+\pi$. Faites l'application numérique.

La déviation en A, D1, vaut i-r (voir schéma) 0.5pts
La déviation en B, D2, vaut π-2r (voir schéma) 0.5 pts
La déviation en C, D3, vaut i-r (voir schéma) 0.5pts
Les 3 sont positives et dans le même sens

Par conséquent la déviation totale $D=D1+D2+D3=i-r+\pi-2r+i-r=2i-4r+\pi$
0.5 pts

AN avec i=48° et r=34° (et 180° pour π)=140° 0.5 pt

Question 4 :
Une réfraction est-elle présente en B ? Une réflexion est-elle présente en C ? Justifiez vos réponses.

La condition pour une réflexion totale en B est la suivante : l'angle d'incidence doit être supérieur à asin (1/n)=48.7°. Comme l'angle d'incidence vaut 34° (plus petit), il n'y a pas réflexion totale et donc une partie du rayon est réfracté et ressort en B (lumière perdue pour l'arc-en-ciel).

Réflexion en C = idem question 1)

Question 5 :
On considère maintenant un deuxième rayon monochromatique, de longueur d'onde λ' tel que $\lambda' < \lambda$. On rappelle la loi de Cauchy $n(\lambda)=A+B/\lambda^2$, où A et B sont des coefficients positifs. Est-ce que l'indice optique de la goutte d'eau est différent de n ? Si oui, est-il plus grand ou plus petit ? Justifiez votre réponse.

n' différent de n car dépend de lambda. B étant positif et $\lambda' < \lambda$ on a donc $B/\lambda'2$ plus grand et n correspondant à λ' est plus grand que 1.33 (qui correspond à λ) 1 pt

La déviation D associé à ce rayon plus bleu est-elle plus grande ou plus petite que celle calculée à la question 3 ? Donnez sa valeur numérique.

l'indice étant plus grand, pour la même valeur de i, r est plus petit et donc la déviation est plus grande. 1 pt

L'observateur verra-t-il l'arc bleu à l'intérieur de l'arc rouge ou à l'extérieur ? Expliquez (faites un schéma qualitatif).

L'angle entre le rayon incident et le rayon émergent, qui définit le diamètre angulaire de l'arc-en-ciel, est plus petit lorsque D est plus grand, par conséquent le bleu est à l'intérieur 0.5 pt voir schéma sur la feuille.

III. Le Microscope (~10 points)

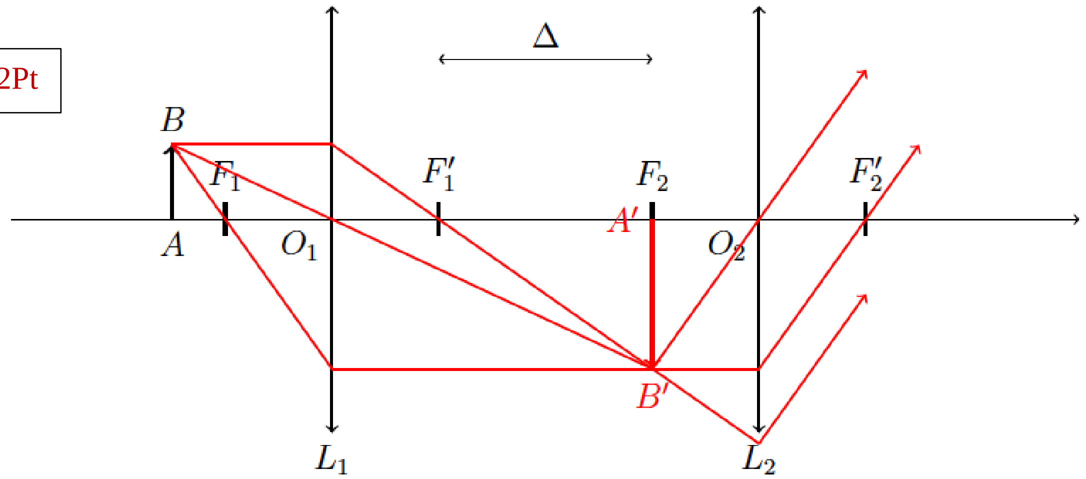
Le microscope est un appareil courant en laboratoire, qui permet l'observation d'objets petits et proches. L'objet de ce problème est d'étudier une modélisation à deux lentilles minces du microscope.

1. Dispositif

Le microscope est constitué de deux lentilles convergentes. La première, L_1 de distance focale f'$_1$, est placée à une distance de l'objet (AB) telle que son image réelle (A'B') soit confondue avec le foyer objet de la seconde lentille, L_2, de distance focale notée f'$_2$.

1.1) Reproduisez le schéma suivant du microscope, tracez la marche de trois rayons issus de B. Faites apparaître l'image intermédiaire (A'B').

2Pt



1.2) Où se situe (A"B") l'image de (A'B') par L_2 ? Rappelez la définition du grossissement commercial pour une lentille simple et donnez son expression pour L_2 en fonction de dp.p = 25 cm, et f'$_2$.

1Pt

L'image est à l'infinie car l'image intermédiaire A'B' est sur le plan focal objet de L2.
Par def, Gc= θ'/θ, où θ' est l'angle d'observation de l'image et θ l'angle sous lequel on voit l'objet à une distance dp.p.
Ici, Gc = dp.p/f'2

1.3) Soit γ le grandissement réalisé par L1, et Δ = $\overline{F'_1F_2}$ (on le nomme l'intervalle optique). Exprimez γ en fonction de f'$_1$ et Δ.

$$\overline{OA'} = f'_1 + \Delta, \quad \frac{1}{\overline{O_1A}} = \frac{\gamma}{\overline{O_1A'}}, \quad \frac{1}{f'_1} = \frac{1}{\overline{O_1A'}} - \frac{1}{\overline{O_1A}} \quad \Rightarrow \quad f'_1 = -\frac{\Delta}{\gamma}.$$

Et donc $\gamma = -\frac{\Delta}{f'1}$

0,5 pt pour l'expression de OA' 0,5 pt pour l'expression du grandissement. 0,5 pt pour la formule de conjugaison et 0,5 pt pour le résultat final.

1.4) En déduire $\overline{O_1A}$. Faites l'application numérique pour $\gamma = -40$ et Δ = 16 cm.

1Pt

$$\overline{O_1A} = \frac{\gamma}{f_1' + \Delta} = -\frac{f_1'}{\Delta}(f_1' + \Delta).$$

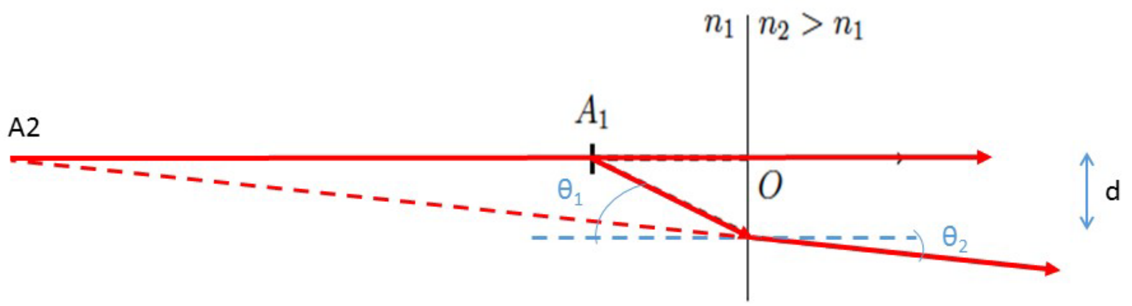
AN. f'1 = 16/40 = 0.4 cm et O_1A = 0.4 x (0.4+16)/16=0.41 cm

2. Lamelle de verre :

La plupart du temps, l'échantillon observé au microscope est déposé entre une lame de verre épaisse, qui sert de support, et une lamelle fine, à travers laquelle est faite l'observation. Cette lamelle doit être plus fine que la distance $\overline{O_1A}$ calculée précédemment, pour pouvoir approcher suffisamment l'objectif du microscope. Le but de cette section est d'évaluer si la lamelle modifie l'observation.

2.1) Une source lumineuse A_1 est à une distance $\overline{A_1O}$ d'un dioptre plan, situé en O, séparant un milieu d'indice n_1 d'un autre milieu d'indice $n_2 > n_1$, tel qu'indiqué sur le schéma ci-après.

1pt



Reproduisez le schéma et complétez qualitativement la marche des deux rayons issus de A_1, tracés en pointillés. Indiquez sur votre schéma le point A_2 d'où semblent provenir les rayons après leur traversée du dioptre.

2.2) Démontrez que, dans l'approximation des petits angles :

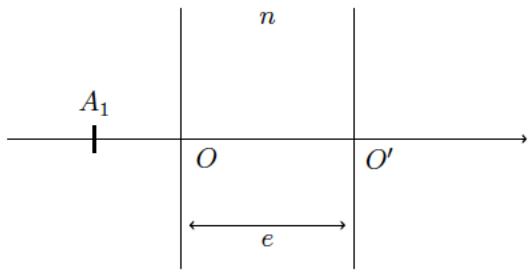
1pt pour l'approximation et 1 pt pour le calcul final

$$\frac{\overline{OA_1}}{n_1} = \frac{\overline{OA_2}}{n_2}$$

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \quad \Rightarrow \quad n_1\theta_1 = n_2\theta_2 \quad \text{petits angles}$$

$$\text{et} \quad \theta_1 = \frac{d}{\overline{A_1O}}, \quad \theta_2 = \frac{d}{\overline{A_2O}} \quad \Rightarrow \quad \frac{\overline{OA_1}}{n_1} = \frac{\overline{OA_2}}{n_2}.$$

2.3) Considérons une lame à faces parallèles, d'épaisseur e et d'indice n, dans l'air. le schéma correspondant est :



Soit A_3 l'image de A_1 à travers les deux dioptres. Montrez que :

$$\overline{A_1A_3} = e\left(1 - \frac{1}{n}\right) \quad (\text{ on rappelle que } \overline{AB} = \overline{AC} + \overline{CB}\ )$$

L'objet paraît-il plus proche ou plus lointain avec la lamelle ?

1pt pour l'application du 2.2 aux couples (A1,A2) et (A2, A3).
1pt pour le calcul et résultat final
1pt pour la conclusion objet proche de la lamelle

On applique le résultat de la question 2.2 aux 2 dioptres : $\overline{OA_1} = \frac{1}{n}\overline{OA_2}$ et $\overline{O'A_3}n = \overline{O'A_2}$ et comme on a aussi $\overline{O'A_3} = \overline{O'O} + \overline{OA_3}$ et $\overline{O'O} = -e$ (idem pour $\overline{O'A_2}$) cela donne :

$$(\overline{OA_3} - e)n = \overline{OA_2} - e$$

Donc $\overline{OA_1} = \frac{1}{n}\left(e + n(\overline{OA_3} - e)\right) = \frac{e}{n} + \overline{OA_3} - e$

d'où $\overline{A_1A_3} = e\left(1 - \frac{1}{n}\right)$

n>1 donc 1-1/n>0. La longueur algébrique $\overline{A_1A_3}$ est donc positive, et A_3 est plus proche. Donc l'image apparait plus proche avec la lamelle.

3. Profondeur de champ :

Le microscope est réglé pour observer des images à l'infini : on ne devrait donc voir net que les objets à une distance bien définie du microscope. Cependant, si l'on prend en compte que l'observateur peut accommoder son œil, il y a toute une plage de distances objet-microscope qu'il peut voir nettes : cette plage d'images nettes est appelée la **profondeur de champ**.

3.1) Rappelez la définition du *punctum proximum* et du *punctum remotum* de l'oeil. Comment interprétez-vous la distance $d_{p.p.}$ = 25 cm apparaissant dans la définition du grossissement commercial (voir question 1.1) ?

1pt

Punctum proximum = point le plus proche que l'œil voit net en accomodant
Punctum remotum= point le plus loin que l'œil peut voir sans accomoder
Dp.p= punctum proximum

3.2) Démontrez que, pour une lentille mince de focale f', de foyer objet F, de foyer image F', l'objet A et son image A' vérifient :

$$\overline{FA}\,\overline{F'A'} = -f'^2 \text{ (Relation de Newton)}$$

- On a $\overline{FA} = \overline{OA} + f'$ et $\overline{F'A'} = \overline{OA'} - f'$
- D'où $\overline{OA} = \overline{FA} - f'$ et $\overline{OA'} = \overline{F'A'} + f'$
- Partant de la relation de conjugaison $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$
- On obtient $f' = \frac{(f' + \overline{F'A'})(\overline{FA} - f')}{-f' + \overline{FA} - f' - \overline{F'A'}}$
- D'où $f'\left(-f' + \overline{FA} - f' - \overline{F'A'}\right) = -f'^2 + f'\,\overline{FA} - f'\overline{F'A'} + \overline{FA}\,\overline{F'A'}$
- Et finalement $-f'2 = \overline{FA}\,\overline{F'A'}$

1pt pour chaque expression de FA et 1pt pour calcul.

3.3) Sur le schéma du microscope de la Part. 1 (dispositif), on suppose l'œil de l'observateur en F'_2 . Il peut observer en accommodant au maximum une image finale A"B" vérifiant $\overline{F'_2A''} = -$ $d_{p.p}$. Elle n'est alors plus à l'infini, comme dans la part.1. A l'aide de la relation de Newton, calculer $\overline{F_2A'}$, en fonction de f'_2 et Dpp.

1pt

$$\overline{F_2A'}\,\overline{F'_2A''} = -f_2'^2 \quad \Rightarrow \quad \overline{F_2A'} = f_2'^2/d_{p.p.}$$

3.4) Évaluez numériquement $\overline{F_2A'}$ pour $f'_2 = 10$ cm et $d_{p.p} = 25$ cm.

1pt

A.N : $F_2A' = 4$ cm

3.5) De même, exprimez $\overline{FA_1}$ (A l'objet initial) en fonction de f'_1, f'_2, $d_{p.p}$ et Δ, toujours dans le cas de l'accommodation maximum. On pourra commencer par exprimer $\overline{F'_1A'}$ en fonction de $\overline{F_2A'}$ et d'une longueur connue.

En appliquant la relation de Newton trouvée précédemment

$$\overline{F_1A}.\overline{F_1'A'} = -f_1'^2$$

$$\text{et } \overline{F_1'A'} = \overline{F_1'F_2} + \overline{F_2A'} = -\Delta + f_2'^2/dpp$$

ce qui donne :

2pt

$$\overline{F_1A} = \frac{-f_1'^2}{\overline{F_1'F2} + \overline{F_2A'}} = \frac{-f_1'^2}{\Delta + f_2'^2/d_{p.p.}}.$$

3.6) Calculez la valeur numérique de la distance entre 2 objets vus nets respectivement en accommodant au maximum, et sans accommoder. (le cas sans accommodation correspond à la Part. 1), avec $f'_1 = 4$ mm, $f'_2 = 10$ cm, $\Delta = 16$ cm, $d_{p.p} = 25$ cm. L'ajout d'une lamelle de verre de $n = 1.5$ et $e = 0.1$ mm est-elle perceptible avec notre microscope ?

Soit A_0 la position de l'objet dans le cas de la question 1 (sans accommoder), on a alors $\overline{O_1A_0} = \frac{-f_1'}{\Delta}(f_1' + \Delta)$

Soit A_m la position de l'objet dans le cas où on accommode, on a alors

$$\overline{O_1A_m} = \overline{O_1F_1} + \overline{F_1A_m} = -f_1' - \frac{f_1'^2}{\Delta + f_2'^2/dpp}$$

La distance entre les 2 positions est donc

$$\overline{A_0A_m} = \overline{A_0O_1} + \overline{O_1A_m} = \frac{-f_1'}{\Delta}(f_1' + \Delta) - f_1' - \frac{f_1'^2}{\Delta + f_2'^2/dpp} = f_1'^2\left(\frac{1}{\Delta} - \frac{1}{\Delta + f_2'^2/dpp}\right)$$

AN : 0.02mm

Par comparaison, A_1A_3 en question 2.3 fait donc 0.033 mm ce qui est plus grand que 0.02mm. L'ajout de la lamelle est donc perceptible par le microscope.

-

Numéro d'anonymat : *Document réponse 1*

4,5/4 pt

EXO 1/ Tracé de rayons (prolongez le tracé des rayons incidents ou déterminez l'image A'B' de AB)

a)

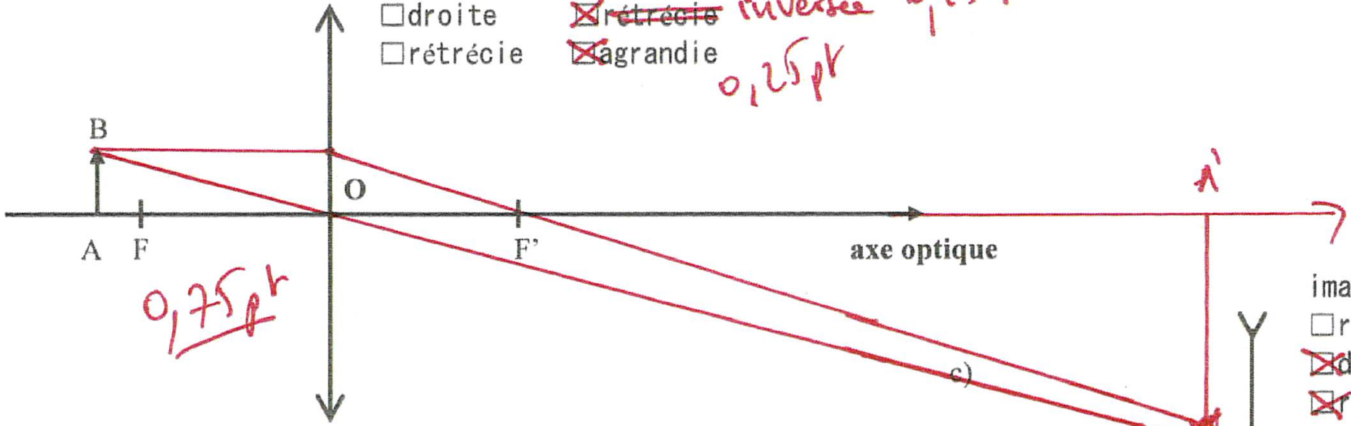
image 0,25 pt

☒ réelle ☐ virtuelle

☐ droite ☒ ~~rétrécie~~ inversée 0,25 pt

☐ rétrécie ☒ agrandie

0,25 pt



b)

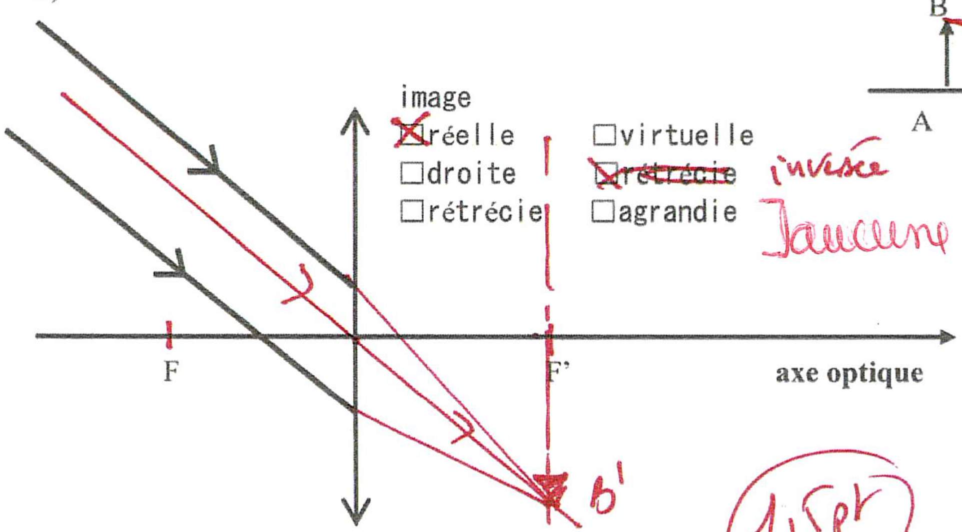
image

☒ réelle ☐ virtuelle

☐ droite ☒ ~~rétrécie~~ inversée

☐ rétrécie ☐ agrandie

aucune



1,5 pt

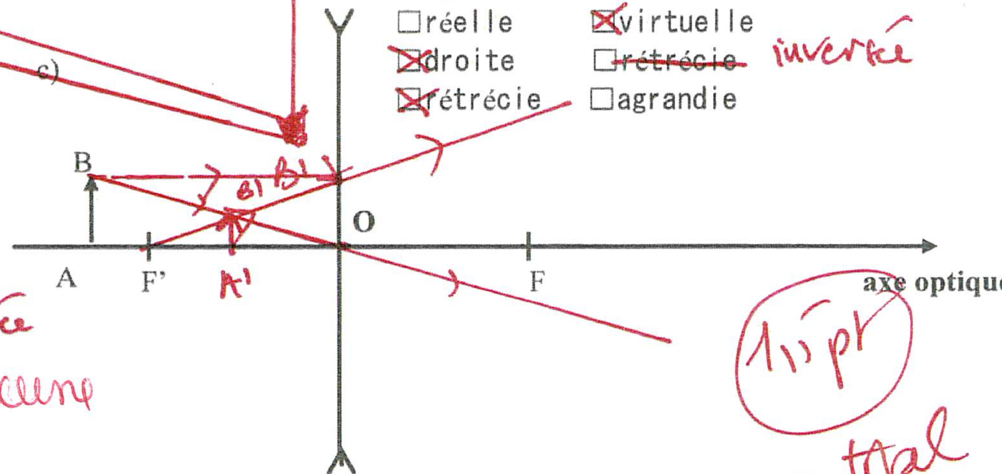
c)

image

☐ réelle ☒ virtuelle

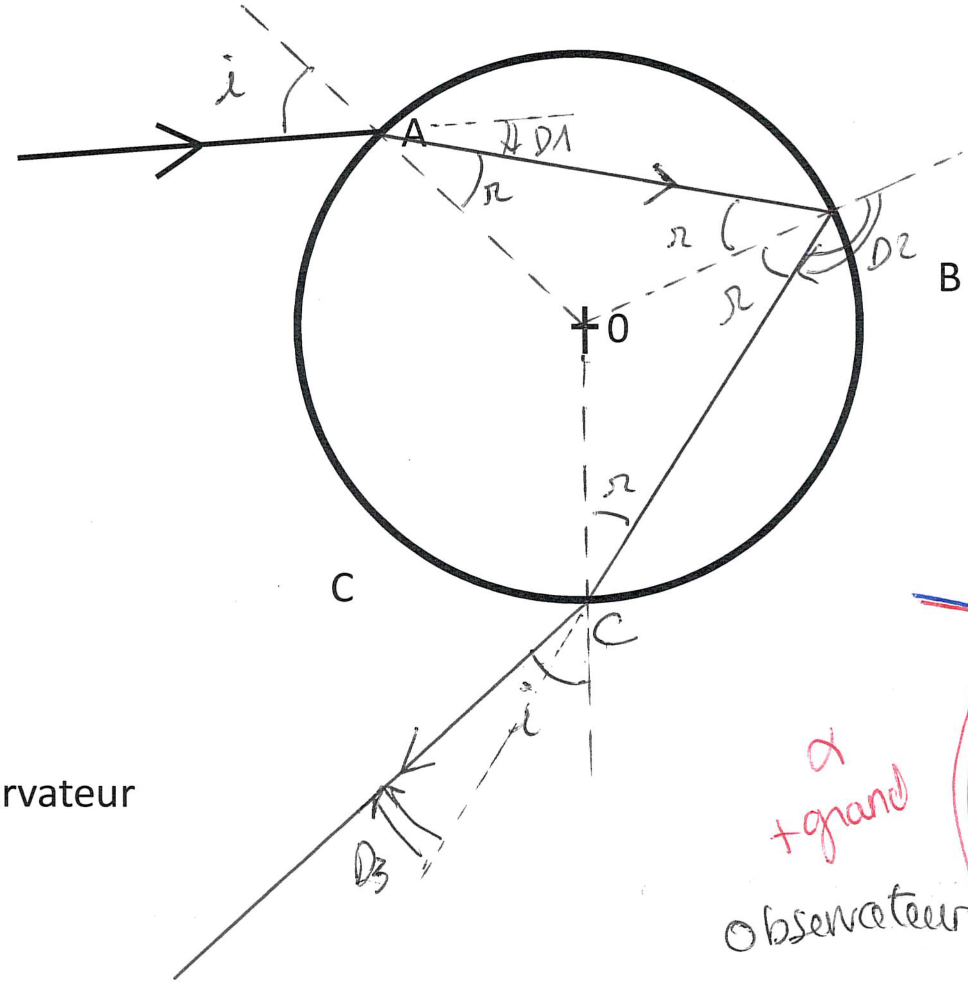
☒ droite ☐ ~~rétrécie~~ inversée

☒ rétrécie ☐ agrandie

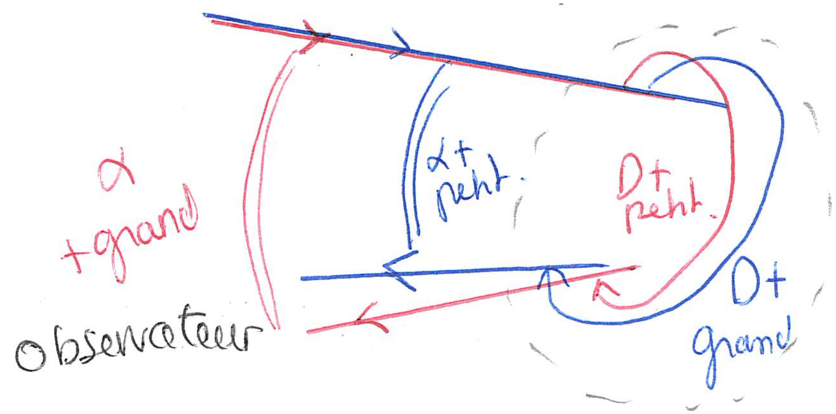


1,5 pt

du total



i
A
D1
r
r
r
D2
B
0
r
C
C
i
D3
Observateur



α
+ grand
α +
petit.
D +
petit.
D +
grand
Observateur