

Thème I. Ondes et signaux (Optique géométrique) TD n°2 Formation des images

💡 Méthode : Comment travailler des exercices ?

Avant la séance de TD :

- ★ Sur une feuille de brouillon, avec un crayon à la main et le chapitre ouvert sous les yeux.
- ★ Essayer des « trucs » même si cela n'aboutit pas.
- ★ Faire des schémas complets et suffisamment grands.
- ★ Ne rien écrire sur l'énoncé de TD afin de pouvoir refaire les exercices après la correction en classe.
- ★ Réfléchir environ 10 à 15 min sur chaque exercice demandé. Si vous bloquez complètement sur une question/un exercice, passez à la suite au bout de 10 min, et me poser des questions soit directement soit par mail nvalade.pcsi@gmail.com.

Après la séance de TD :

- ★ Refaire les exercices corrigés ensemble, sans regarder le corrigé dans un premier temps.
- ★ Une fois l'exercice terminé ou si vous êtes totalement bloqué, reprendre avec le corrigé.

I Exercices d'application directe du cours

Exercice n°1 Configuration de Silbermann

Capacités exigibles : Exploiter les formules de conjugaison et de grandissement transversal.

Un objet AB est situé en amont d'une lentille convergente, à une distance $\overline{AO} = 2f'$.

- Q1. Déterminer $\overline{OA'}$.
- Q2. Que vaut alors le grandissement transversal ? Commenter.

Exercice n°2 Enfant devant un miroir

Capacités exigibles : Construire l'image d'un objet par un miroir plan.

La petite Louise, 6 ans, est debout devant un miroir plan rectangulaire, fixé sur un mur vertical. Son œil est à 1,0 m du sol. La base du miroir est à une hauteur h au dessus du sol.

Déterminer la valeur maximale de h pour que l'enfant puisse s'admirer en entier.

Exercice n°3 Radio-réveil

Capacités exigibles : Exploiter les formules de conjugaison et de grandissement transversal.

Certains radios-réveils permettent d'afficher l'heure au plafond en plus de celle affichée sur l'écran. Le système, constitué d'une lentille mince convergente de distance focale $f' = 5,0$ cm, forme une image de 12,0 cm de hauteur à une distance de 1,70 m du radio-réveil.

En utilisant les relations de Newton, calculer la taille de l'objet dont l'image est projetée au plafond.

Exercice n°4 Pouvoir de résolution de l'œil

Capacités exigibles : Citer les ordres de grandeur de la limite de résolution angulaire et de la plage d'accommodation.

- Q1. Rappeler la définition du pouvoir séparateur de l'œil, et donner sa valeur pour un œil emmétrope (normal).
Rappeler la plage d'accommodation d'un œil emmétrope.
- Q2. Déterminer la distance jusqu'à laquelle cet œil peut distinguer deux traits parallèles séparés de 2 mm.
- Q3. Déterminer la taille du plus petit détail discernable par cet œil.
- Q4. En modélisant l'œil comme une lentille convergente associée à un écran (la rétine) placé à une distance fixe de 20 mm derrière, déterminer la taille moyenne d'un récepteur de la rétine.

Exercice n°5 Loupe

Capacités exigibles :

- ✓ Citer les ordres de grandeur de la limite de résolution angulaire et de la plage d'accommodation.
- ✓ Construire l'image d'un objet situé à distance finie ou infinie à l'aide de rayons lumineux.
- ✓ Utiliser les formules de conjugaison et de grandissement transversal.

Une loupe est une lentille convergente de distance focale image f' . On l'utilise pour observer une image agrandie d'un objet à travers la lentille.

- Q1. De quelle nature est l'image donnée par la loupe ?
- Q2. Pour observer l'image de l'objet sans fatigue, où doit-elle se former ? Où doit être placé l'objet par rapport à la lentille pour qu'il en soit ainsi ? Faire un schéma dans cette situation.

On définit le grossissement commercial par $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$, où α est l'angle sous lequel est vu l'objet à l'œil nu (sans loupe) observé au punctum proximum ($d_m = 25$ cm), et α' l'angle sous lequel est vue l'image observée à travers la loupe.

- Q3. Exprimer le grossissement commercial de la loupe en fonction de f' et d_m .
- Q4. Calculer la valeur du grossissement commercial d'une loupe de vergence $V = 10 \delta$.
- Q5. Quel est le pouvoir de résolution de l'œil dans de bonnes conditions d'éclairement ? Donner la taille du plus petit objet que peut distinguer un œil normal en accommodant au maximum.
- Q6. Donner la taille du plus petit objet que peut distinguer un œil normal en utilisant la loupe sans accommoder. Conclure.

II Exercices d'approfondissement

Exercice n°6 Mesure de f' par la méthode de Bessel

Capacités exigibles :

- ✓ Utiliser les formules de conjugaison et de grandissement transversal.
- ✓ Établir la condition de formation de l'image réelle d'un objet réel par une lentille convergente.

On considère un objet et un écran, tous les deux fixes et séparés d'une distance D .

On place entre les deux une lentille convergente à une distance $x = \overline{AO}$ de l'objet.

On déplace la lentille et on constate qu'il y a deux positions, x_1 et x_2 , pour lesquelles on a une image nette sur l'écran.

On note $d = |x_1 - x_2|$ la distance entre ces deux positions.

Vous devez reconnaître une situation déjà traitée en cours, et bien évidemment vous pouvez vous en aider pour effectuer les calculs !

- Q1. Établir l'équation du deuxième degré vérifiée par x , et dont x_1 et x_2 sont les solutions :

$$x^2 - Dx + Df' = 0$$

- Q2. Établir la relation

$$d^2 = D^2 - 4Df'$$

- Q3. Comment peut-on utiliser ce résultat pour déterminer, par une expérience, la distance focale d'une lentille inconnue ?

Exercice n°7 Lunette de Galilée

Capacités exigibles :

- ✓ Connaître la définition et les propriétés du centre optique, des foyers principaux et secondaires.
- ✓ Construire l'image d'un objet situé à distance finie ou infinie à l'aide de rayons lumineux.

Mars est située à une distance variant entre 56 et 160 millions de kilomètres de la Terre. Son diamètre vaut 6800 km. On l'observe au travers d'une lunette de Galilée composée d'un objectif et d'un oculaire.

Ces deux systèmes optiques complexes peuvent être modélisés par deux lentilles minces la première (l'objectif) de focale 1,0 m et la seconde (l'oculaire) de focale $-2,5$ cm.

Q1. On appelle diamètre apparent l'angle sous lequel est vu un objet. Calculer le diamètre apparent α de la planète Mars lorsqu'elle est observée sans lunette, lorsqu'elle est au plus proche de la Terre.

Est-il possible de voir à l'œil nu la surface de Mars ?

Q2. Où se forme l'image intermédiaire de Mars par l'objectif ?

Q3. Où doit se former l'image finale pour pouvoir être observée sans fatigue ? Pour cela, où doit alors se trouver l'image intermédiaire de Mars par l'objectif qui joue le rôle d'objet pour l'oculaire ?

Q4. En déduire avec quel point le foyer principal objet F_{oc} de l'oculaire doit-il coïncider. On réalise dans ce cas là ce qu'on appelle un **système afocal**.

Faire un schéma en positionnant les lentilles convenablement (on fera attention au fait que l'oculaire est une lentille divergente!).

Mars est assimilé à un objet AB situé à l'infini, où A est sur l'axe optique.

Q5. Faire le tracer des rayons lumineux à travers la lunette. L'image finale est-elle droite ou renversée ?

On appelle grossissement de la lunette le rapport $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$ où α' est le diamètre apparent sous lequel est vue Mars à travers la lunette.

Q6. Exprimer le grossissement en fonction des distances focales de l'objectif f'_{obj} et de l'oculaire f'_{oc} . Le calculer.

Q7. Sous quel angle Mars est-elle perçue lorsqu'elle est au plus proche ? Est-il cette fois possible de distinguer sa surface ?

Exercice n°8 Microscope

Capacités exigibles :

- ✓ Connaître la définition et les propriétés du centre optique, des foyers principaux et secondaires.
- ✓ Construire l'image d'un objet situé à distance finie ou infinie à l'aide de rayons lumineux.
- ✓ Utiliser les formules de conjugaison et de grandissement transversal.

Un microscope optique est modélisé par deux lentilles minces convergentes : l'objectif, placé du côté de l'objet, et l'oculaire, placé du côté de l'observateur. Il est réglé pour donner une image à l'infini d'un objet réel AB , perpendiculaire à l'axe optique, A étant placé sur l'axe, légèrement avant du foyer objet de l'objectif. L'image finale est observée par un œil emmétrope placé au voisinage du foyer image de l'oculaire. On modélise l'objectif par une lentille \mathcal{L}_1 convergente de distance focale image f'_1 et l'oculaire par une lentille \mathcal{L}_2 convergente de distance focale image f'_2 . La notice constructeur précise également l'intervalle optique $\Delta = \overline{F'_1 F'_2} = 16$ cm.

Q1. Comment placer le foyer principal objet de \mathcal{L}_2 pour que l'image finale se forme à l'infini ?

Faire un schéma du dispositif. Placer un objet AB en tenant compte du principe de fonctionnement d'un microscope puis tracer la marche de 3 rayons issus de B en faisant bien apparaître l'image intermédiaire $\overline{A_1 B_1}$.

On s'intéresse tout d'abord à l'oculaire seul. L'indication $\times 10$ portée sur l'oculaire est le grossissement commercial $G_0 = \frac{\alpha'}{\alpha}$ où α est l'angle sous lequel on verrait l'objet intermédiaire transverse $\overline{A_1 B_1}$ à l'œil nu lorsqu'il est situé à la distance minimale de vision distincte $d_m = 20$ cm et α' est l'angle sous lequel on voit l'image à l'infini de $A_1 B_1$ lorsqu'il est placé dans le plan focal objet de l'oculaire seul.

Q2. Déterminer la distance focale f'_2 de l'oculaire.

On s'intéresse maintenant à l'objectif seul, modélisé par une lentille \mathcal{L}_1 de distance focale image f'_1 . La valeur absolue du grandissement $\gamma_1 = \frac{\overline{A_1 B_1}}{\overline{AB}}$ de l'objet AB par l'objectif est indiquée à $\times 40$.

Q3. Déterminer la distance focale f'_1 de l'objectif.

Pour finir, on s'intéresse au microscope dans son ensemble.

Q4. Calculer la distance $\overline{O_1 A}$ à laquelle positionner l'objet pour que l'image intermédiaire $\overline{A_1 B_1}$ obtenue par l'objectif donne une image finale à l'infini.

Q5. Calculer dans ce cas le grossissement commercial du microscope en entier, défini comme étant $G_c = \frac{\alpha'}{\alpha''}$, avec α'' l'angle sous lequel on voit l'objet AB à l'œil nu placé au punctum proximum.

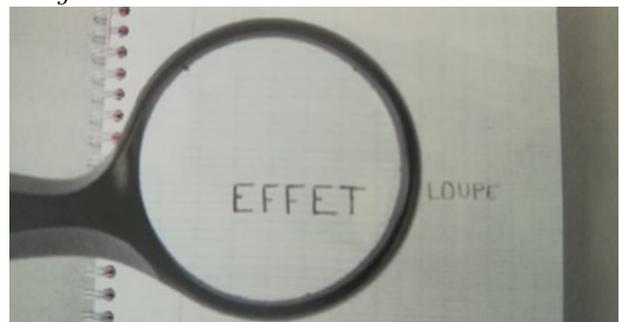
III Résolution de problèmes

Exercice n°9 Loupe

Capacités exigibles : Exploiter les formules de conjugaison et de grandissement transversal.

L'objet dont on forme l'image, est situé à 8,0 cm de la loupe.

Déterminer la distance focale de la loupe.



Exercice n°10 Hauteur d'une chute d'eau

Quelle est la hauteur de la chute d'eau qui apparaît sur la photographie ci-dessous ?

On dispose des caractéristiques techniques de l'appareil photographique et de l'objectif utilisé ainsi que des réglages de l'appareil lors de la prise de vue. La position du photographe est repérée par une croix sur la vue satellite ci-dessous.



Réglages de l'appareil :

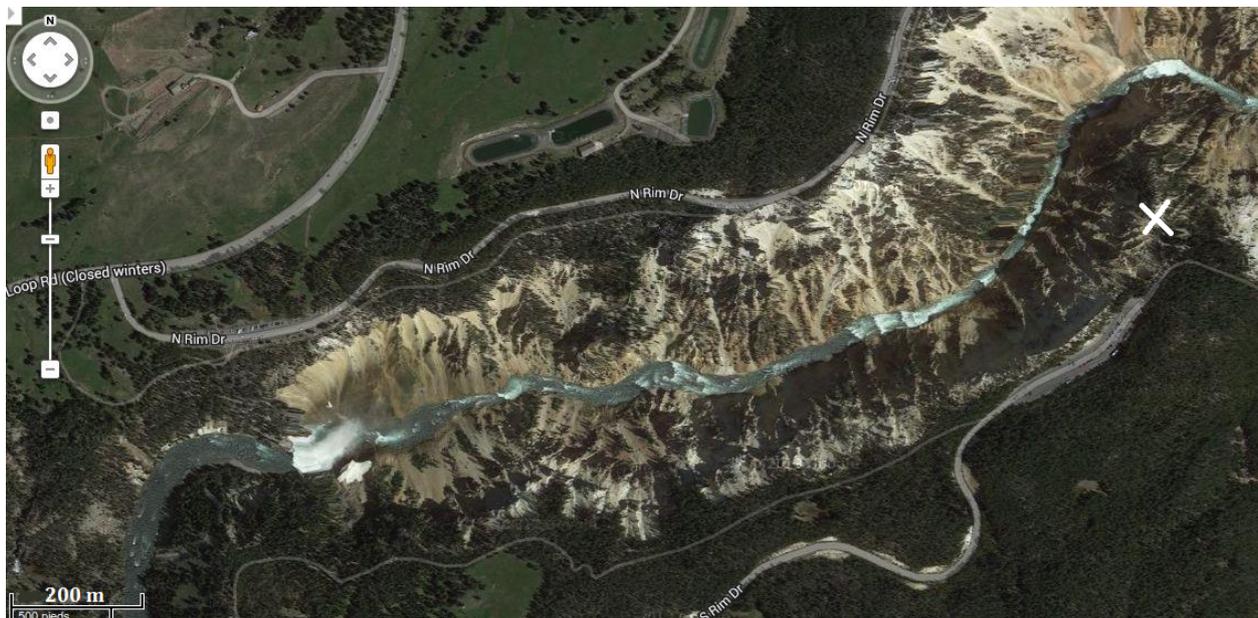
Ouverture : $f/9,0$

Durée d'exposition : $1/100$ sec

Distance focale : 135 mm

Caractéristiques techniques :

Appareil	Canon EOS 550D
Type et Taille du capteur	Cmos APS-C 22,3 x 14,9 mm
Nombre de pixels effectifs	Environ 18,0 millions
Nombre total de pixels	Environ 18,7 millions



Vue satellite de la position du photographe et de la cascade

IV Extraits du cahier d'entraînement

OPT02

Fiche d'entraînement n°1

Optique

Lentilles

Prérequis

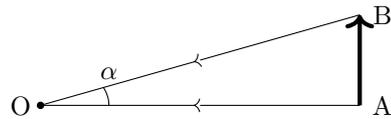
Propriétés des lentilles minces dans les conditions de Gauss. Vergence.
Relations de conjugaison des lentilles minces.

Grandeurs algébriques

Entraînement 1.1 — Diamètre apparent.



On considère le schéma suivant, montrant l'angle α , appelé diamètre apparent, sous lequel est vu un objet AB depuis un point O.



a) Exprimer le diamètre apparent α , en radians, en fonction de OA et AB

b) Exprimer le diamètre apparent α , en degrés, en fonction de OA et AB

Un observateur situé à la surface de la Terre observe des astres, caractérisés par les données suivantes :

	Soleil	Lune
Diamètre	$1,4 \cdot 10^6$ km	$3,5 \cdot 10^3$ km
Distance à la Terre	$150\,600 \cdot 10^3$ km	384 400 km

Pour simplifier les calculs, on pourra utiliser que, quand α est un angle petit et exprimé en radians, on dispose de l'approximation des petits angles : $\alpha \approx \tan(\alpha)$.

c) Calculer le diamètre apparent de la Lune α_L en degrés

d) Calculer le diamètre apparent du Soleil α_S en degrés

e) Que vérifient les valeurs numériques α_S et α_L ?

(a) $\alpha_S > \alpha_L$

(b) $\alpha_S \approx \alpha_L$

(c) $\alpha_S < \alpha_L$

.....

f) Quel phénomène astronomique la comparaison de α_L et α_S permet d'expliquer ?

(a) Les éclipses

(b) Les saisons

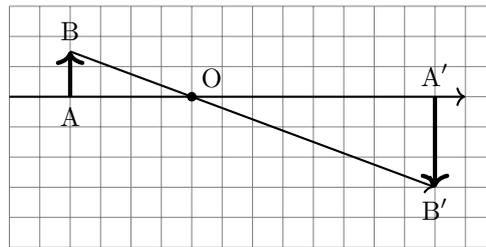
(c) Les marées

.....

Entraînement 1.2 — Configuration de Thalès et grandissement.



On considère la situation représentée sur le schéma ci-dessous.



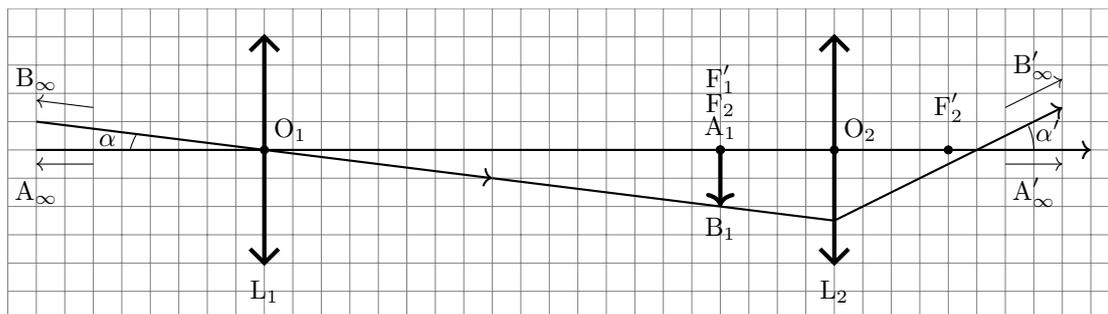
On note \bar{x} la valeur algébrique de la longueur x et on définit le grandissement γ par la relation :

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

a) Donner la relation reliant \overline{OA} , $\overline{OA'}$, \overline{AB} et $\overline{A'B'}$

b) Déterminer la valeur numérique de γ

Entraînement 1.3 — Schéma optique d'une lunette astronomique afocale.



Le schéma ci-dessus modélise une lunette astronomique afocale, où un carreau correspond à une longueur réelle de 2,5 cm.

Calculer les distances algébriques suivantes :

a) $\overline{O_1F'_1}$

b) $\overline{O_2F_2}$

c) $\overline{O_2O_1}$

d) $\overline{A_1F'_2}$

Modèle de la lentille mince

Entraînement 1.5 — Conditions de Gauss.



Parmi les situations suivantes concernant les rayons lumineux issus d'un objet et traversant une lentille mince, indiquer celle qui ne permet pas de se placer dans les conditions de Gauss.

- (a) peu inclinés par rapport à l'axe optique.
 (b) passant par les bords de la lentille.
 (c) passant près du centre optique.

.....

Entraînement 1.6 — Déviation de rayons lumineux.

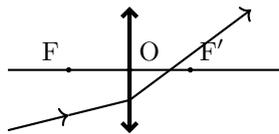


On rappelle les propriétés suivantes :

- Un rayon passant par le centre optique de la lentille n'est pas dévié.
- Un rayon incident dont la direction passe par le foyer objet émerge parallèle à l'axe optique principal.
- Un rayon parallèle à l'axe optique principal émerge avec une direction passant par le foyer image.

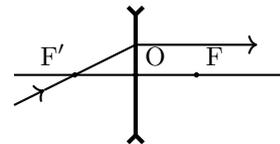
Pour chacun des schémas suivants, préciser s'ils sont corrects ou incorrects.

a)



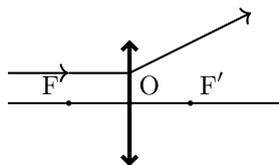
.....

c)



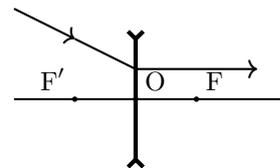
.....

b)



.....

d)

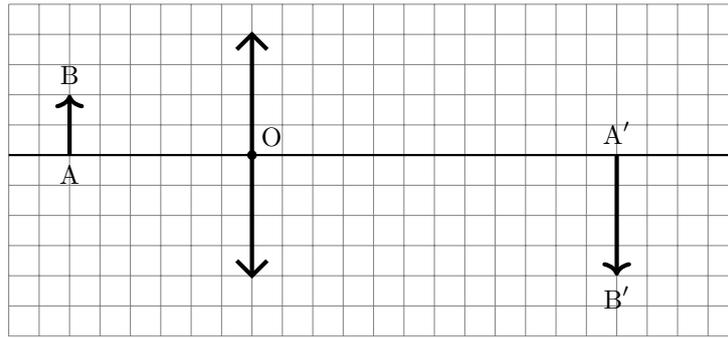


.....

Entraînement 1.7 — Construction de rayons lumineux.



On considère le schéma suivant montrant un objet \overline{AB} et son image $\overline{A'B'}$ par une lentille convergente.



On donne l'échelle du schéma : 8 carreaux sur le schéma correspondent à 10 cm en réalité.

a) Déterminer graphiquement la distance focale de la lentille

b) Calculer la vergence de la lentille

Entraînement 1.8 — Batailles de convergence.



Quelle est la lentille la plus convergente ?

- (a) une lentille de vergence $+8,0 \delta$
- (c) une lentille de focale objet $-10,0 \text{ cm}$
- (b) une lentille de focale image $+8,0 \text{ cm}$
- (d) une lentille de focale image $-8,0 \text{ cm}$

.....

Conjugaison par une lentille mince

Entraînement 1.10 — Relation de conjugaison au centre optique.



Un objet lumineux est placé au point A, à 15,0 cm devant une lentille mince convergente de centre optique O et de distance focale $f' = 4,0$ cm.

On rappelle la relation de conjugaison aux sommets de Descartes qui permet de faire le lien entre la position \overline{OA} de l'objet et la position $\overline{OA'}$ de l'image :

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

a) Exprimer $\overline{OA'}$ en fonction de \overline{OA} et f'

b) Exprimer \overline{OA} en fonction de $\overline{OA'}$ et f'

c) Exprimer f' en fonction de \overline{OA} et $\overline{OA'}$

d) L'image est-elle située avant ou après le centre optique O?

Entraînement 1.11 — Relation de conjugaison aux foyers.



Dans un dispositif optique convergent de distance focale $f' = 12,0$ cm, on souhaite qu'une image réelle se trouve exactement à 5,0 mm après le foyer image. On cherche la position où l'on doit placer l'objet, dans un premier temps par rapport au foyer objet F, puis par rapport au centre optique O.

On rappelle la relation de conjugaison aux foyers de Newton :

$$\overline{F'A'} \times \overline{FA} = -f'^2.$$

a) Exprimer \overline{FA} en fonction de f' et $\overline{F'A'}$

b) Exprimer \overline{OA} en fonction de \overline{FA} et f'

c) Cet objet est-il réel ou virtuel?

Entraînement 1.12 — Grandissement.



Un système optique donne d'un objet, une image dont le grandissement est le suivant : $\gamma = -2,0$.

a) Par rapport à l'objet, cette image est :

(a) rétrécie

(b) agrandie

b) Par rapport à l'objet, cette image est :

(a) droite

(b) renversée

.....

.....

Entraînement 1.14 — Objets et images à l'infini.



a) Un objet lumineux très éloigné, comme une étoile, peut être considéré comme étant situé à l'infini.

Où se situe l'image d'un tel objet par une lentille ?

- (a) dans son plan focal image
- (b) dans son plan focal objet
- (c) à l'infini

b) Un œil « normal » (emmétrope) n'accomode pas lorsqu'il observe une image à l'infini. Dans ce but, on souhaite projeter à l'infini, l'image d'un objet en utilisant une lentille.

Où doit-on placer l'objet ?

- (a) dans son plan focal image
- (b) dans son plan focal objet
- (c) à l'infini

Réponses mélangées

5,0 cm	(b)	(a)	$\frac{A_1B_1}{f_1}$	Correct	$\overline{FA} - f'$	0	20 cm
$\overline{OA} = -5,02 \text{ cm}$	(b)		$\frac{15D}{64}$	virtuelle	Incorrect	(a)	4 -10 cm
-2	10,8 m × 7,2 m	0,52°	(b)	droite	Incorrect	$\frac{f'_1}{f'_2}$	$\arctan\left(\frac{AB}{OA}\right)$
réel	0,53°	$\frac{\overline{A_1B_1}}{f'_2}$	-50 cm	$\frac{\overline{OA} \times \overline{OA'}}{\overline{OA} - \overline{OA'}}$	(a)	(b)	+20 δ 40 cm
$\arctan\left(\frac{AB}{OA}\right) \times \frac{180}{\pi}$		$\frac{\overline{OA} \times \overline{OF'}}{\overline{OA} + \overline{OF'}}$	5,0 cm	0,22 m	$\overline{OA'} = -15 \text{ cm}$	(b)	
après	(b)	$\frac{\overline{OA'} \times f'}{f' - \overline{OA'}}$	Correct	$\frac{D^2 - d^2}{4D}$	$\frac{-f'^2}{F'A'}$	$\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$	