Conseils :

- Ce devoir comporte trois exercices indépendants.
- Le correcteur tiendra compte de la **présentation** (soin apporté aux schémas) et de la **rédaction de votre copie** : justifiez rapidement vos affirmations, donnez la **valeur littérale simplifiée** des résultats en fonction des données de l'énoncé, **vérifiez l'homogénéité et la cohérence** (tout résultat non homogène sera sanctionné).

  Les résultats NON ENCADRÉS ne seront pas notés. Laissez une marge à gauche pour le correcteur.
- Numérotez les questions et ajoutez le label de la marge Q1, etc.
- Changer de page pour un nouvel excercice.
- L'usage des **calculatrices est autorisé**.

I. FORMULAIRE

Une partie de ce sujet est issu d'un sujet de concours. Les formules suivantes **n**'y étaient **pas** rappelées.

Lentilles : Pour un objet AB orthogonal à l'axe optique avec A sur l'axe optique, on note $A'B'$ l'image par une lentille mince de centre O, de foyer objet F et image F' et de distance focale $f' = \overline{OF'}$. Les relations suivantes sont alors vérifiées :

- relations de conjugaison et formule du grandissement de Descartes (avec origine au sommet)

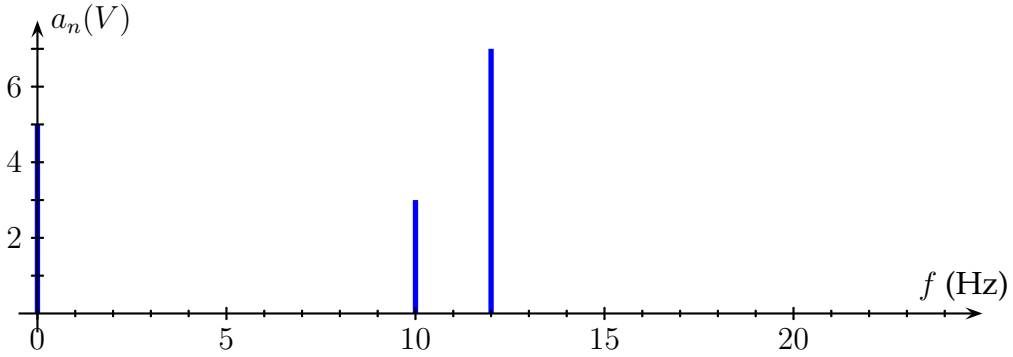
$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}} \qquad \text{et} \qquad \gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

- relations de conjugaison et formule du grandissement de Newton (avec origines aux foyers)

$$\overline{FA}.\overline{F'A'} = \overline{FO}.\overline{F'O} = -f'^2 \qquad \text{et} \qquad \gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{FO}}{\overline{FA}} = \frac{\overline{F'A'}}{\overline{F'O}}$$

II. ETUDE DE SPECTRES

1. On considère un signal $s(t)$ dont le spectre est ci-dessous. Proposer une expression mathématique pour $s(t)$ (avec des valeurs numériques et des constantes pour les grandeurs non
Q1 connues).



2. Un multiplieur est un circuit où l'on peut appliquer deux signaux $s_1(t)$ et $s_2(t)$ en entrée et récupérer en sortie un signal proportionnel à leur produit

$$s(t) = k\, s_1(t) \times s_2(t)$$

On suppose dans la suite que $k = 1$ V^{-1}.
On considère les signaux $s_1(t) = S_0 + S_1 \cos(2\pi f_1 t)$ avec $S_0 = 2$ V, $S_1 = 1$ V et $f_1 = 15$ Hz, et $s_2(t) = S_2 \cos(2\pi f_2 t)$ avec $S_2 = 4$ V, et $f_2 = 5$ Hz.
On donne : $\cos(p)\cos(q) = \frac{1}{2}(\cos(p+q) + \cos(p-q))$

(a) Représenter les graphes temporels de ces signaux $s_1(t)$ et $s_2(t)$sur le même graphique, un en traits pleins, l'autre en tirets pointillés, en choisissant des échelles adaptées (pour
Q2 voir au moins deux périodes que l'on calculera de façon explicite).

Q3 (b) i. Donner l'expression de la valeur efficace de $s_2(t)$ en détaillant les calculs.

Q4 ii. Donner l'expression de la valeur efficace de $s_1(t)$.

Q5 iii. Calculer sa valeur numérique.

Q6 (c) Représenter chacun des spectres en amplitude sur deux graphiques différents.

(d) i. Mettre le signal $s(t) = ks_1(t) \times s_2(t)$ sous la forme d'une somme de signaux sinusoï-
Q7 daux.

Q8 ii. Présenter son spectre en amplitude.

Q9 iii. Le signal $s(t)$ est-il périodique ? Si oui, calculer sa période.

III. ÉTUDE D'UN MICROSCOPE

A. Préliminaires sur l'œil

1. La distance minimale de vision de l'œil est d_m, distance au dessous de laquelle l'œil n'arrive plus à accommoder : l'image n'est plus nette. On parle de punctum proximum (PP).
   La distance d_m a-t-elle tendance à diminuer ou à augmenter avec l'âge ? Quelle est la valeur
Q10 prise conventionnellement pour d_m ?
2. Par contre, l'œil normal voit net et sans accommoder un objet situé à son punctum remotum.
Q11 Où le punctum remotum se situe-t-il pour un œil normal ?

B. Modélisation du microscope

Un microscope peut être modélisé par deux lentilles minces convergentes L_1 et L_2 alignées sur le même axe optique Δ.

- L_1 modélise l'objectif et a une distance focale image $f'_1 = 2$ mm.
- L_2 modélise l'oculaire et a une distance focale image $f'_2 = 30$ mm.
- La distance $\Delta = \overline{F'_1F_2}$ entre le foyer image de L_1 et le foyer objet de L_2 vaut 160 mm, c'est l'intervalle optique du microscope.

On observe, à travers le microscope, un petit objet AB perpendiculaire à l'axe optique avec A et l'œil sur l'axe optique.

1. Image intermédiaire A_1B_1 : on peut décomposer le système optique { Microscope } en L_1 puis L_2. Ainsi, l'image $A'B'$ de AB par le système est elle-même l'image de A_1B_1 par L_2 avec A_1B_1 l'image de AB par L_1. On parle d'image intermédiaire A_1B_1.

$$AB \xrightarrow{L_1} A_1B_1 \xrightarrow{L_2} A'B'$$

   Dans quel plan particulier A_1B_1 doit-elle se situer pour que l'œil normal observe $A'B'$ sans
Q12 accommoder ?
2. Position de l'objet :
   (a) Tracé : les deux rayons (rayon (1) et rayon (2)) sortant de la lentille L_2 sur la figure de l'annexe sont issus de B. Attention, cette figure n'est pas à l'échelle.
   Complétez le trajet de ces deux rayons à travers le microscope et trouvez ainsi graphi-
   Q13 quement la position de B puis AB.
   Vous rendrez l'annexe avec votre copie, n'oubliez pas d'y mettre aussi votre nom.
   (b) La figure précédente n'étant pas à l'échelle, déterminez la position de l'objet AB par le
   Q14 calcul. Vous déterminerez l'expression littérale de $\overline{F_1A}$ en fonction de f'_1 et Δ.
   Q15 (c) Faites l'application numérique et commentez.
3. Expression du grossissement :
   (a) Sous quel angle maximal θ_0 un œil normal voit-il AB de taille $h = AB$ sans le micro-
   Q16 scope ? On prendra $\tan\theta_0 \simeq \theta_0$ et on donnera le résultat en fonction de h et d_m.
   (b) Sous quel angle θ l'œil voit-il AB à travers le microscope ? On prendra $\tan\theta \simeq \theta$ et on donnera le résultat en fonction de $h_1 = A_1B_1$ la taille de l'image intermédiaire et f'_2 puis
   Q17 en fonction de h, Δ, f'_1 et f'_2.

(c) On définit le grossissement par $G = \frac{\theta}{\theta_0}$. Exprimez G en fonction de Δ, d_m, f_1' et f_2' puis
Q18 faites l'application numérique et commentez.

4. Résolution du microscope optique : on modélise l'œil humain par l'association d'une lentille mince convergente et d'un photorécepteur, la rétine. Comme la rétine est discontinue (granulaire) l'œil ne peut pas distinguer deux rayons lumineux s'ils font entre eux un angle inférieur à une valeur limite que nous noterons ε.

Q19 (a) Quelle est l'ordre de grandeur de ε ?

(b) Exprimer h_{min}, la taille du plus petit objet AB que l'on pourrait théoriquement distin-
Q20 guer avec ce microscope en fonction de ε, f_1', f_2' et Δ.

(c) Faire l'application numérique pour h_{min} et montrer que h_{min} est inférieur à la longueur
Q21 d'onde de la lumière visible.

(d) La valeur obtenue étant inférieure à la longueur d'onde de la lumière visible, quel est en
Q22 fait le phénomène qui limite la résolution du microscope ?

IV. OBJECTIF DE PHOTOCOPIEUR

Les procédés actuels de photocopie nécessitent la formation de l'image du document sur une surface photosensible par l'intermédiaire d'un objectif de reproduction. On désire reproduire un document de format A4 soit en A4 (même format), en A3 (format double en surface) ou en A5 (format moitié en surface). On réalise ces différents tirages à l'aide d'un objectif en modifiant la position relative des lentilles à l'intérieur du système.

La distance entre le document et le récepteur photosensible est de 384 mm et l'on positionne une première lentille mince divergente L_1, de distance focale image $f_1' = -90{,}0$ mm à 180 mm du récepteur (figure 1 ci-dessous).

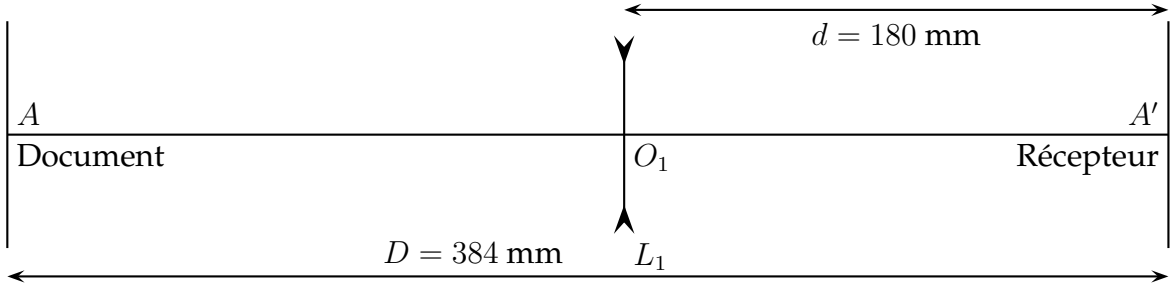


FIGURE 1 – Premier montage optique

1. La lentille L_1 peut-elle donner une image A_1 du document A sur le récepteur situé en A' ?
Q23 Justifiez votre réponse.
2. On ajoute une lentille mince L' devant la lentille L_1 à 180 mm du document (figure 2 ci-dessous).

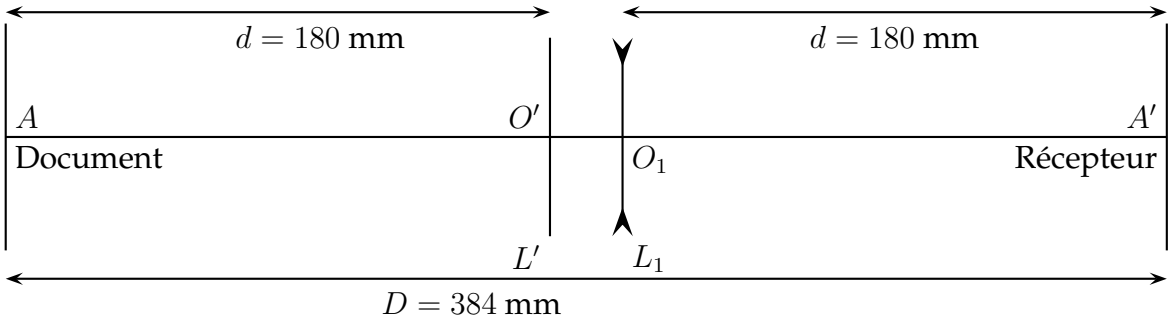


FIGURE 2 – On a ajouté la lentille L'

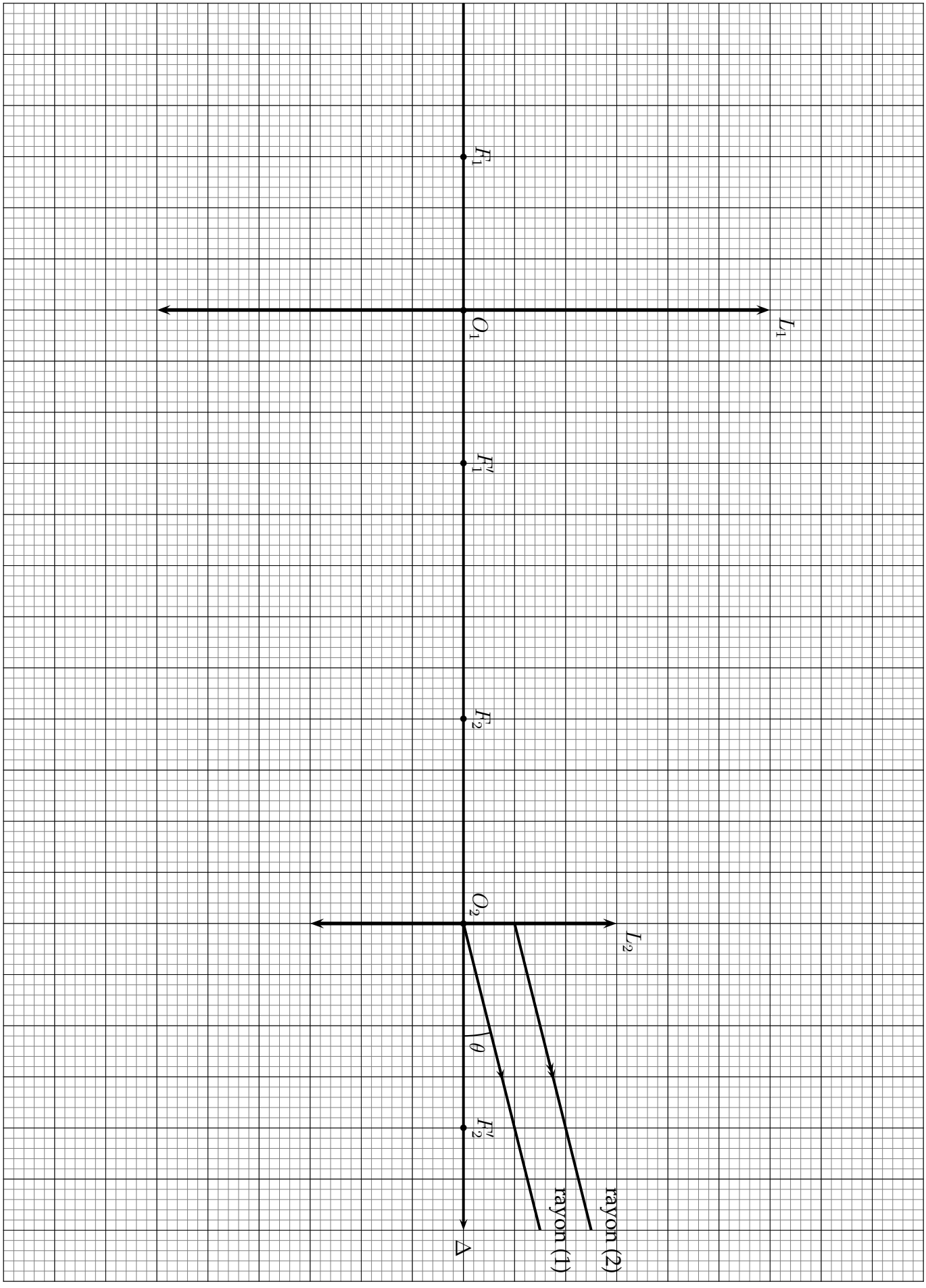
(a) Calculer la valeur numérique (on ne demande pas l'expression littérale) de la distance focale f' de cette lentille L' pour obtenir une image réelle du document sur le récepteur.
Q24 Cette lentille L' est-elle divergente ou convergente ?

(b) En déduire le grandissement γ_1 de l'association des deux lentilles et indiquer quel type
Q25 de tirage permettra cet objectif : transformation de A4 en A3 ou de A4 en A5.

3. En fait la lentille L' est constituée de deux lentilles accolées L_2 et L_3, L_2 étant identique à L_1.
Q26 Calculer la distance focale image f_3' de la lentille L_3. Quelle est la nature (convergente ou divergente) de cette lentille mince ?
4. On glisse alors la lentille L_3 afin de l'accoler à L_1. Montrer que l'image du document reste sur le récepteur et calculer le grandissement γ_2 correspondant à l'association de ces trois
Q27 lentilles ; en déduire le type de tirage obtenu.

Nom et Prénom :

annexe



I. ETUDE DE SPECTRES

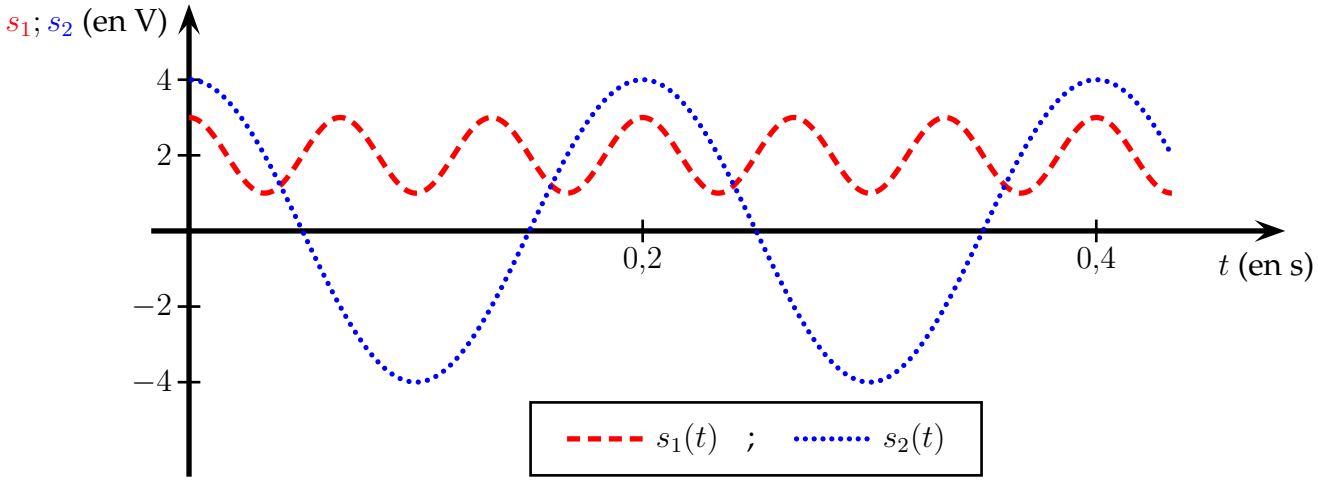
1. À chaque pic correspond un cosinus dont la fréquence est l'abscisse et l'amplitude est l'ordonnée. Le premier pic à $f = 0$ correspond à la valeur moyenne

Q1 $\boxed{s(t) = 5 + 3\cos(2\pi \times 10 \times t + \varphi_1) + 7\cos(2\pi \times 12 \times t + \varphi_2) \text{ avec } s \text{ exprimé en V et } t \text{ en s}}$.

Remarque : on peut ajouter une phase dans chacun des deux cosinus si l'on souhaite car cette information n'apparait pas sur le spectre.

Cette question a été très mal traitée. Faites la différence entre fréquence et pulsations.

2. (a) Pour tous les graphiques ne pas oublier d'indiquer ce que l'on a en abscisse et en ordon-
Q2 née, en ajoutant l'unité s'il y a des valeurs numériques (comme ici). On calcule $T_1 = 0.07$ s et $T_2 = 0.2$ s. On remarque que $3T_1 = T_2$.



Q3 (b) i. Par définition $s_{eff} = \sqrt{\langle s_2^2(t)\rangle}$. Pour simplifier les notations, on pose $\omega = 2\pi f_2$:

$$s_{eff}^2 = \frac{1}{T}\int_0^T S_2^2\cos^2(\omega t)dt = \frac{S_2^2}{T}\int_0^T \frac{1+\cos(2\omega t)}{2}dt = \frac{S_2^2}{T}\int_0^T dt + \frac{S_2^2}{T}\int_0^T \cos(2\omega t)dt$$

Le second terme est nul car la valeur moyenne du cos est nulle. D'où :

$s_{eff}^2 = \frac{S_2^2}{2}$ $\boxed{s_{eff} = \frac{S_2}{\sqrt{2}}}$

Q4 ii. Par définition $s_{eff} = \sqrt{\langle s_1^2(t)\rangle}$. Pour simplifier les notations, on pose $\omega = 2\pi f_1$

$s^2(t) = S_0^2 + 2S_0S_1\cos(\omega t) + S_1^2\cos^2(\omega t)$

$$\langle s^2(t)\rangle = \langle S_0^2 + 2S_0S_1\cos(\omega t) + S_1^2\cos^2(\omega t)\rangle = S_0^2 + 2S_0S_1\underbrace{\langle\cos(\omega t)\rangle}_{=0} + S_1^2\underbrace{\left\langle\frac{1+cos(2\omega t)}{2}\right\rangle}_{1/2}$$

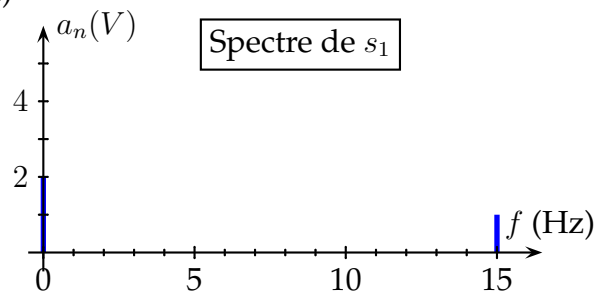
$< s^2(t) >= S_0^2 + \frac{S_1^2}{2}$

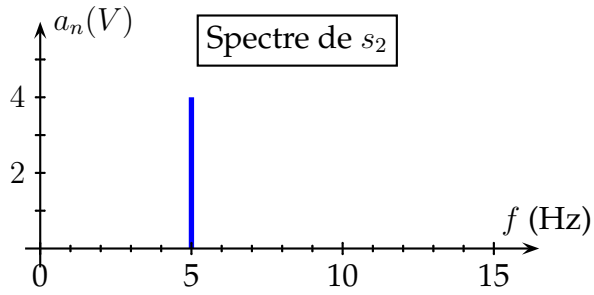
La valeur efficace est donc : $\boxed{S_{eff} = \sqrt{< s^2(t) >} = \sqrt{S_0^2 + \frac{S_1^2}{2}}}$

Q5 iii. A.N : $\boxed{S_{eff} = 2{,}12 \text{ V}}$.

Ce calcul de valeur efficace est encore une question de cours.

Q6 (c)



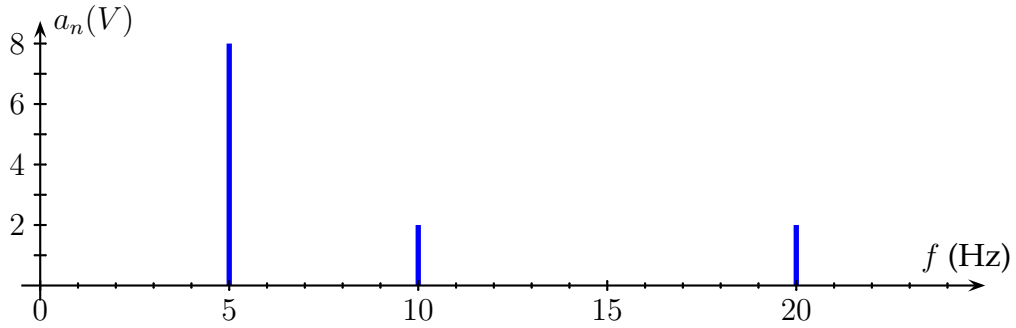


(d) i. $s(t) = ks_1(t) \times s_2(t) = k(S_0 + S_1\cos(2\pi f_1 t)) \times S_2\cos(2\pi f_2 t)$
$s(t) = kS_0S_2\cos(2\pi f_2 t) + kS_1S_2\cos(2\pi f_1 t)\cos(2\pi f_2 t)$.

Q7 Pour transformer les produits en somme, on utilise les formules de trigonométrie, ici : $\cos(a)\cos(b) = \frac{1}{2}(\cos(a+b) + \cos(a-b))$.

$$\boxed{s(t) = kS_0S_2\cos(2\pi f_2 t) + \frac{kS_1S_2}{2}\cos(2\pi(f_1 - f_2)t) + \frac{kS_1S_2}{2}\cos(2\pi(f_1 + f_2)t)}$$

Q8 ii. On a donc un spectre avec 3 pics,
- ➢ un en $f_3 = 5$ Hz d'amplitude $S_3 = kS_0S_2 = 8$ V
- ➢ un en $f_4 = f_1 - f_2 = 10$ Hz d'amplitude $S_4 = \frac{kS_1S_2}{2} = 2$ V
- ➢ un en $f_5 = f_1 + f_2 = 20$ Hz d'amplitude $S_4 = \frac{kS_1S_2}{2} = 2$ V



Attention aux abscisses, ici ce sont des fréquences en Hz, on place f_1, f_2 (et pas f_0, $2f_0$ qui sont HS.

Q9 (e) En reprenant les notations précédentes $s(t) = S_3\cos(2\pi f_3 t) + S_4\cos(2\pi f_4 t) + S_4\cos(2\pi f_5 t)$.
Le premier cosinus se répète toutes les $0{,}2$ s, le 2e toutes les $0{,}1$ s (et donc à fortiori toutes les $0{,}2$ s aussi) et enfin le 3e toutes les $0{,}05$ s (et donc à forciori toutes les $0{,}2$ s aussi).
Le signal complet se répète donc toutes les $T = 0{,}2$ s.

II. ÉTUDE D'UN MICROSCOPE

A. Préliminaires sur l'œil

1. La distance d_m, distance minimale de vision distincte a tendance à $\boxed{\text{augmenter avec l'âge}}$.

Q10 On prend conventionnellement $\boxed{d_m = 25\text{ cm}}$.

Q11 2. Pour un œil normal, le $\boxed{\text{punctum remotum est situé à l'infini}}$.

Attention à ne pas oublier ces questions. Certains ont dit que la distance minimale "diminue". Je pense que la confusion vient de la connotation négative du mot en français qui veut parfois dire "se détériore".

B. Modélisation du microscope

1. Image intermédiaire : pour que l'œil normal observe AB à travers le microscope sans accommoder, il faut que son image finale $A'B'$ soit à l'infini.
Il faut donc que l'image intermédiaire $\boxed{A_1B_1 \text{ soit dans le plan focal objet de } L_2}$:

Q12
$$AB \xrightarrow{L_1} A_1B_1 \in \Phi_2 \xrightarrow{L_2} A'B'_\infty$$

Attention à la notion de rayons parallèles pour un objet/une image à l'infini. Ce n'est valable que pour un objet/une image ponctuel(le). Ici, l'image est étendue, on ne peut pas dire que tous les rayons sont parallèles.

2. Position de l'objet :

(a) Voir annexe C. On commence par placer $A_1 = F_2$ et B_1 à l'intersection de ce plan et du
Q13 rayon (1). Les rayons (3) et (4) permettent de déterminer ensuite B puis A.

Lisez bien l'énoncé, il fallait déterminer le tracé complet des rayons

(b) On a montré que $A_1 = F_2$ et en appliquant la relation de conjugaison de Newton à L_1 avec $A \xrightarrow{L_1} A_1 = F_2$,

Q14
$$\overline{F_1A}.\overline{F'_1F_2} = -f'^2_1 \Rightarrow \boxed{\overline{F_1A} = -\frac{f'^2_1}{\overline{F'_1F_2}} = -\frac{f'^2_1}{\Delta}}$$

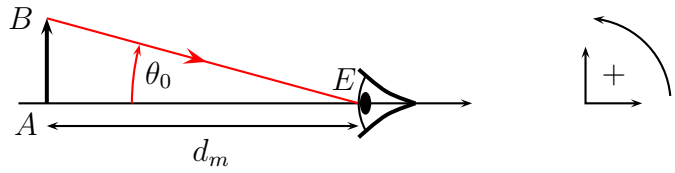
On vous donne les relations de conjugaison, il vous reste à choisir la bonne. Lisez bien l'énoncé, on demandait $\overline{F_1A}$!

(c) L'application numérique donne $\boxed{\overline{F_1A} = -\frac{4}{160} \simeq -0{,}025\text{ mm}}$ donc A est quasiment sur
Q15 F_1, et $\boxed{\text{l'objet est presque dans le plan focal objet de } L_1}$.

Vérifiez la cohérence avec votre tracé

3. Expression du grossissement :

(a) Un œil normal voit AB sous un angle maximum s'il est à la distance minimale c'est à dire à d_m sur la figure ci-dessous, dans le triangle rectangle ABE on peut écrire



Q16 $\tan\theta_0 = \frac{-\overline{AB}}{d_m} \simeq \theta_0 \Rightarrow \boxed{\theta_0 \simeq -\frac{h}{d_m}}$

Pensez au signe si vous orientez l'angle. Ne parlez pas du signe de G (négatif au final) si vous n'orientez pas cet angle, cela n'aurait pas de sens.

(b) À travers le microscope, on voit les rayons sortir sous un angle tel que, en travaillant dans le triangle rectangle $A_1B_1O_2$ la figure en l'annexe C,

$$\theta \simeq \tan\theta = \frac{\overline{A_1B_1}}{f_2'} \Rightarrow \boxed{\theta \simeq \frac{h_1}{f_2'}}$$

En utilisant ensuite l'expression du grandissement de la lentille L_1

Q17
$$\frac{A_1B_1}{AB} = \frac{F_1'A_1}{OF_1'} \Rightarrow h_1 = \frac{h\Delta}{f_1'} \Rightarrow \boxed{\theta = \frac{h.\Delta}{f_2'f_1'}}$$

Justifiez en citant les triangles rectangles pour que le lecteur puisse suivre. Éventuellement refaite la partie intéressante du schéma au niveau de la question (juste le triangle).

(c) En reprenant les expressions de θ_0 et θ précédentes,

Q18
$$\boxed{G = \frac{\theta}{\theta_0} = -\frac{d_m\Delta}{f_1'f_2'} \simeq -7.10^2}$$

Le grossissement étant très important il est probable qu'on n'utilise pas de simples lentilles minces car elle présenteraient de fortes aberrations. D'autre part, l'approximation θ faible n'est probablement pas vérifiée d'où une valeur de G certainement différente.

4. Résolution du microscope optique :

(a) La limite de résolution angulaire de l'œil humain est d'environ 1 minute d'arc soit un soixantième de degré ou encore

Q19 $\boxed{\varepsilon \simeq 3.10^{-4} \text{ rad}}$

(b) On pourra distinguer l'objet AB à travers le microscope si l'angle

Q20
$$\theta = G.\varepsilon > \varepsilon \Rightarrow \frac{\Delta\overline{AB}}{f_2'f_1'} > \varepsilon \qquad \Rightarrow \boxed{AB > h_{min} = \frac{\varepsilon f_1'f_2'}{\Delta}}$$

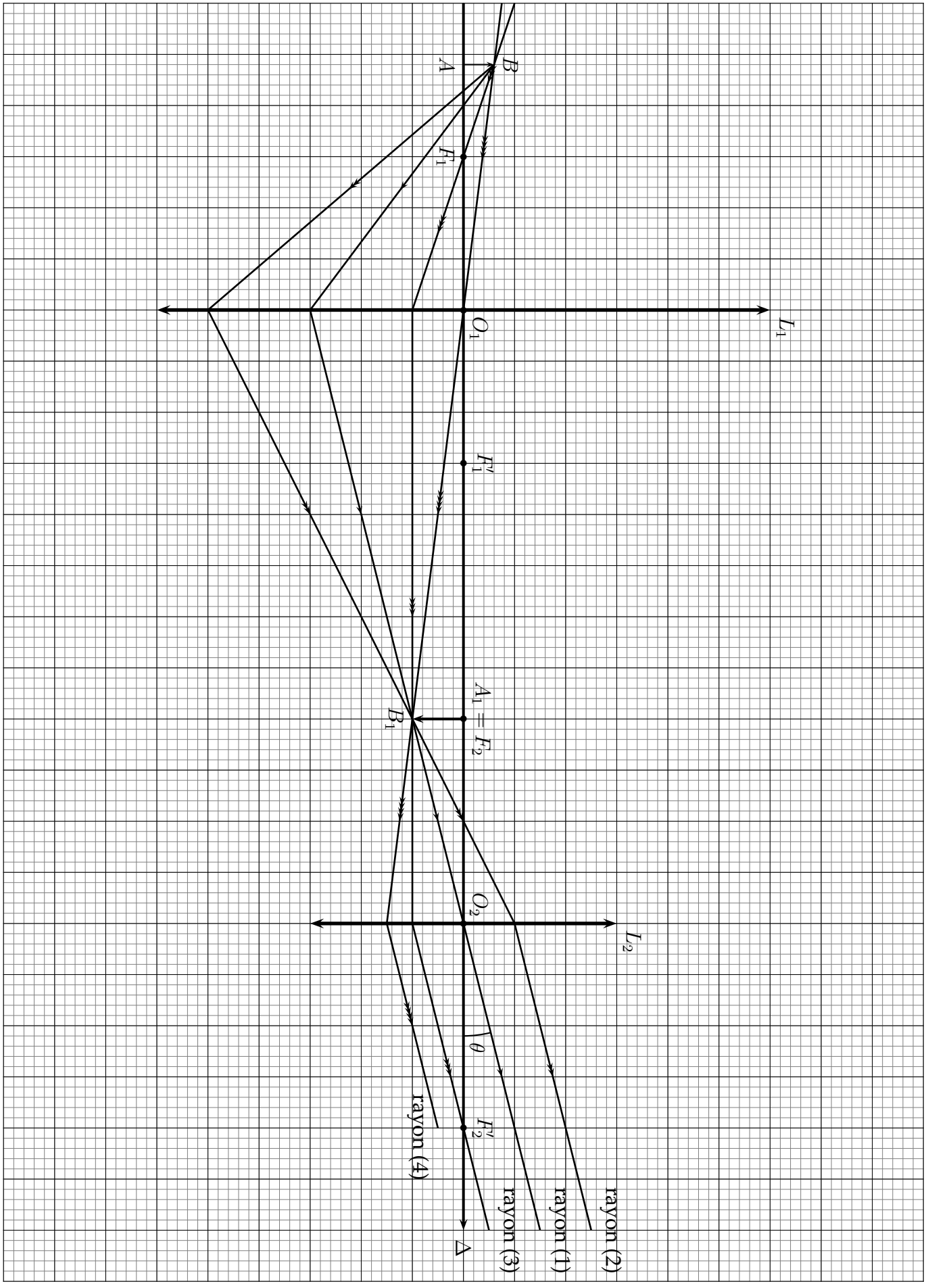
Q21 (c) L'application numérique donne $h_{min} = \frac{3.10^{-4}\times 2.10^{-3}\times 30.10^{-3}}{160.10^{-3}} \simeq 10^{-7}$ soit $\boxed{0{,}1\ \mu\text{m}}$

(d) On obtient h_{min} inférieur à la longueur d'onde de la lumière visible ($0{,}4$ à $0{,}8\ \mu$m) mais on est plus dans le domaine de l'optique géométrique et c'est la $\boxed{\text{diffraction de la lumière}}$

Q22 qui limitera la résolution du microscope.

Nom et Prénom : correction

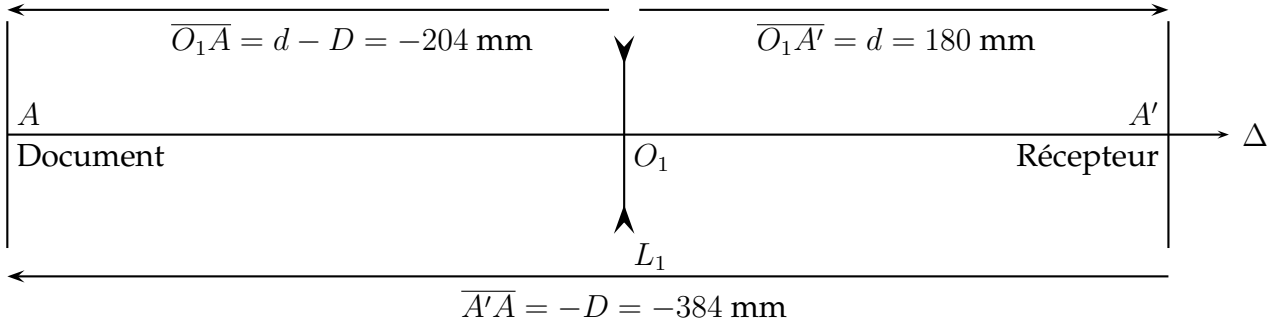
Annexe C



III. OBJECTIF DE PHOTOCOPIEUR

Adapté de E.N. Vétérinaires

Figure 3

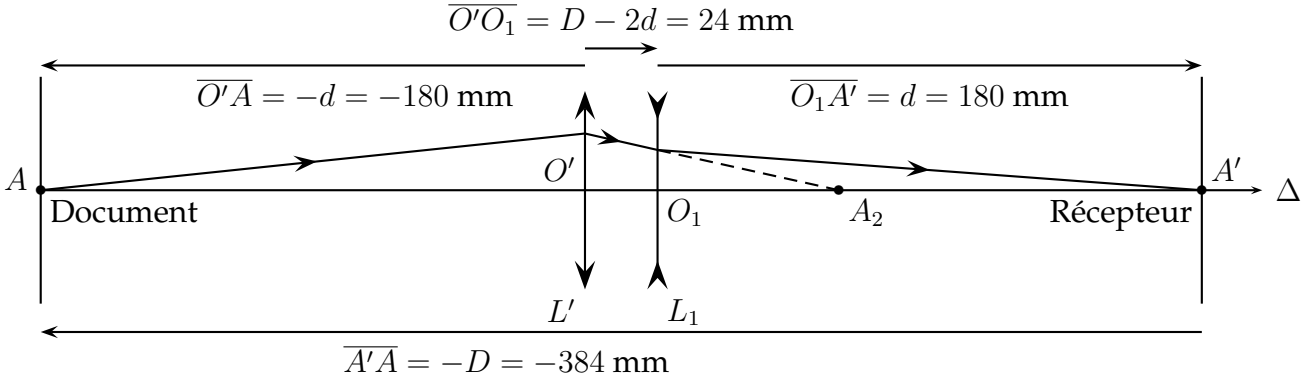


1. On note A_1 l'image de A par la lentille L_1 : $A - (L_1) \rightarrow A_1$.
   En orientant l'axe optique du système optique dans le sens de propagation de la lumière (de A vers A'), pour que A_1 soit confondu avec A', il faudrait $\overline{O_1A_1} = d > 0$ (image réelle) pour $\overline{O_1A} = d - D < 0$ (objet réel).
   Or d'après la relation de conjugaison : $\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'}$: comme $f' < 0$ et $\overline{OA} < 0$, on a forcément $\overline{OA'} < 0$, donc une image virtuelle.
   Il est donc impossible de d'obtenir une image réelle à partir d'un objet réel avec une lentille divergente et

Q23 $\boxed{A_1 \text{ ne peut pas se trouver en } A'}$.

   Rem :On pouvait retrouver ce résultat en déterminant la position de A_1 par application des formules de conjugaison de Descartes. $\frac{1}{\overline{O_1A_1}} - \frac{1}{\overline{O_1A}} = \frac{1}{f'_1} \Rightarrow \overline{O_1A_1} = \frac{f'_1.\overline{O_1A_1}}{f'_1+\overline{O_1A}} = \frac{f'_1.(d-D)}{f'_1+d-D} \simeq -62{,}4$ mm $\neq d$

2. Ajout de L' (qui s'avérera convergente), on complète la figure de l'énoncé pour plus de lisibilité.



   (a) On note A_2 l'image de A par L', A' est l'image de A_2 par L_1 : $A - (L') \rightarrow A_2 - (L_1) \rightarrow A'$.
   Par application de la relation de conjugaison de Descartes sur L_1, on peut écrire :

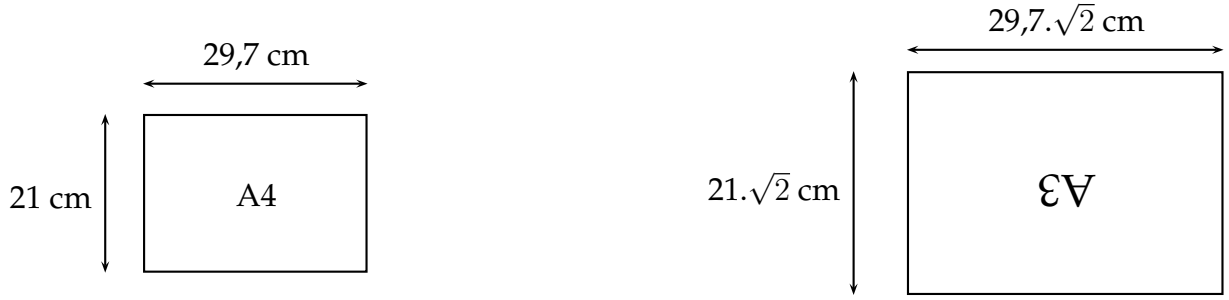
$$\frac{1}{\overline{O_1A'}} - \frac{1}{\overline{O_1A_2}} = \frac{1}{f'_1} \Rightarrow \frac{1}{\overline{O_1A_2}} = \frac{1}{\overline{O_1A'}} - \frac{1}{f'_1} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f'_1} \Rightarrow \overline{O_1A_2} = \frac{f'_1 d}{f'_1 - d} = 60{,}0 \text{ mm}$$

Q24 De même, pour L' avec $\overline{O'A_2} = \overline{OO_1} + \overline{O_1A_2} = 24 + 60 = 84$ mm

$$\frac{1}{\overline{O'A_2}} - \frac{1}{\overline{O'A}} = \frac{1}{f'} \Rightarrow f' = \frac{\overline{O'A_2}.\overline{O'A'}}{\overline{O'A} - \overline{O'A_2}} \Rightarrow \boxed{f' \simeq 57{,}3 \text{ mm} > 0 \; L' \text{ convergente}}$$

(b) En nommant AB l'objet initial, A_2B_2 son image par L' et $A'B'$ l'image finale c'est à dire celle de A_2B_2 par L_1, on peut décomposer le grandissement γ_1 de l'ensemble sous la forme

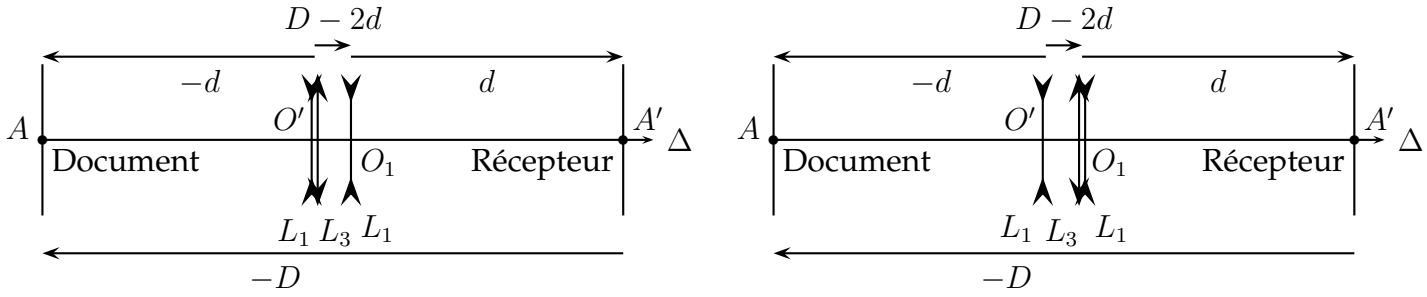
$$\gamma_1 = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A_2B_2}}.\frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{O_1A'}}{\overline{O_1A_2}}.\frac{\overline{O'A_2}}{\overline{O'A}} = \frac{180}{60} \times \frac{84}{-180} = -1{,}40 \Rightarrow \boxed{\gamma \simeq -\sqrt{2}}$$



L'image finale est donc inversée et chacune de ses dimensions (largeur et hauteur) est multipliée par environ $1{,}4 \simeq \sqrt{2}$, la surface est donc doublée.

Q25 On a affaire à un tirage du type A4 vers A3.

3. L' étant constituée de deux lentilles accolées L_2 (identique à L_1) et L_3 comme représenté sur la figure ci-dessous à gauche.



Q26 On peut appliquer le théorème des vergences, à savoir $V' = V_2 + V_3 = V_1 + V_3 \Rightarrow V_3 = V' - V_1$

$$\Rightarrow \frac{1}{f'_3} = \frac{1}{f'} - \frac{1}{f'_1} \Rightarrow f'_3 = \frac{f'.f'_1}{f'_1 - f'} \Rightarrow \boxed{f' \simeq 35{,}0 \text{ mm : lentille convergente}}$$

4. En glissant L_3 contre L_1 comme représenté sur la figure figure ci-dessus à droite, on forme une l'équivalent d'une nouvelle lentille, L_4 de distance focale image $f'_4 = \frac{1}{V_4}$ avec, d'après le théorème des vergences,

$$V_4 = V_3 + V_1 \Rightarrow \frac{1}{f'_4} = \frac{1}{f'_3} + \frac{1}{f'_1} \Rightarrow f'_4 = \frac{f'_1.f'_3}{f'_1 + f'_3} \simeq \frac{-90{,}0 \times 35{,}0}{-90{,}0 + 35{,}0} \simeq 57{,}3 \text{ mm}$$

On a maintenant $A - (L_2) \rightarrow A_3 - (L_4) \rightarrow A_4$ et en utilisant les relations de conjugaison de Descartes, on obtient successivement,

$$\frac{1}{\overline{O'A_3}} - \frac{1}{\overline{O'A}} = \frac{1}{f'_1} \Rightarrow \overline{O'A_3} = \frac{f'_1.\overline{O'A}}{f'_1 + \overline{O'A}} \simeq -60{,}0 \text{ mm}$$

puis avec $\overline{O_1A_3} = \overline{O_1O'} + \overline{O'A_3} = -24 - 60 = -84$ mm

$$\frac{1}{\overline{O_1A_4}} - \frac{1}{\overline{O_1A_3}} = \frac{1}{f'_4} \Rightarrow \overline{O_1A_4} = \frac{f'_4.\overline{O_1A_3}}{f'_4 + \overline{O_1A_3}} \simeq 180 \text{ mm}$$

A_4 est bien confondu avec A', l'image finale reste bien sur le récepteur.

Remarque : on pouvait également faire intervenir le principe du retour inverse de la lumière afin d'éviter tout calcul.

On détermine ensuite comme précédemment,

$$\gamma_2 = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A_3B_3}}.\frac{\overline{A_3B_3}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{O_1A'}}{\overline{O_1A_3}}.\frac{\overline{O'A_3}}{\overline{O'A}} = \frac{-60}{-180} \times \frac{180}{-84} = -0{,}71 \Rightarrow \boxed{\gamma \simeq -\frac{1}{\sqrt{2}}}$$

Q27 L'image est alors inversée et de surface deux fois plus faible, il s'agit du tirage $A4 \rightarrow A5$