Dispositifs optiques classiques

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.
- Modéliser l'appareil photographique comme l'association d'une lentille et d'un capteur.
- Construire géométriquement la profondeur de champ pour un réglage donné.
- Étudier l'influence de la focale, de la durée d'exposition, du diaphragme sur la formation de l'image.

I. L'œil

- **Constitution de l'œil**

L'œil humain est notamment constitué :

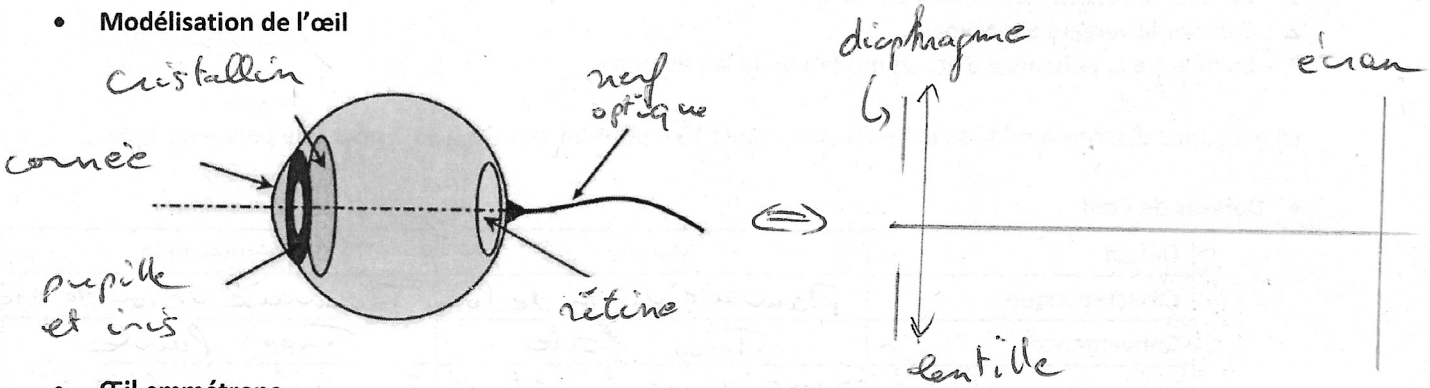
- du cristallin, par lequel entre la lumière dans l'œil et qui joue le rôle de lentille déformable permettant la mise au point
- du corps vitreux qui est le milieu intermédiaire
- de la rétine, distante d'environ 2 cm du cristallin et dont les cellules réceptionnent la lumière et la transmettent au nerf optique

Son pouvoir de résolution est d'environ 3×10^{-4} rad $\simeq 0{,}02° \simeq 1'$ d'arc

Activité 1 **Pouvoir de résolution et taille d'objets**

Déterminer la hauteur h du plus petit objet que l'œil peut distinguer à une distance d = 25 cm et 100 m.

- **Modélisation de l'œil**



- **Œil emmétrope**

Un œil emmétrope distingue nettement au repos une image située à l'infini.

- **Accommodation de l'œil**

Processus musculaire par lequel le cristallin peut se contracter - La distance focale du cristallin change et il peut distinguer des objets proches

- **Punctum proximum**

Point le plus proche visible nettement avec accomodation
Pour un oeil emmétrope, $d_{pp} = 25$ cm.

- **Punctum remotum**

Point le plus éloigné visible nettement sans accomodation
Pour un oeil emmétrope, $d_{pr} = +\infty$

- **Puissance d'accommodation**

L'accommodation est la capacité de l'œil à faire varier sa vergence : elle caractérise sa faculté de mise au point. Puisque l'œil possède une vergence toujours positive pouvant varier entre une valeur minimale C_{min} et une valeur maximale C_{max}, l'amplitude d'accommodation A_{acc} correspond à :

cristallin bombé au maximum (muscles ciliaires contractés)  C_{max}

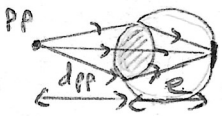
$$A_{acc} = C_{max} - C_{min} = \frac{1}{d_{pp}} - \frac{1}{d_{pr}}$$

cristallin bombé au minimum (muscles ciliaires relâchés)  C_{min}

- **Champ de vision**

Le champ de vision correspond à la zone où l'œil est apte à visualiser des objets afin qu'il se forme des images nettes sur sa rétine. Cette zone est délimitée par deux distances :

* Cristallin bombé au maximum :



$$C_{oeil} = C_{max} = \frac{n_{oeil}}{e} - \frac{n_{air}}{(-d_{pp})}$$

* Cristallin bombé au minimum :



$$C_{oeil} = C_{min} = \frac{n_{oeil}}{e} - \frac{n_{air}}{(-d_{pr})}$$

$$\Rightarrow C_{max} - C_{min} = n_{air}\left(\frac{1}{d_{pp}} - \frac{1}{d_{pr}}\right)$$

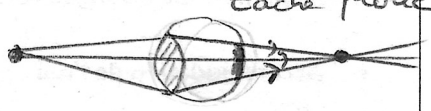
Activité 1 **Puissance d'accommodation**

Une personne sans problème de vue particulier de loin a une distance minimale de vision nette égale à L = 40 cm. La taille de son œil est e = 24 mm. On supposera : $n_{oeil} \simeq 1$.

1. Calculer la vergence minimale de l'œil.
2. Calculer la vergence maximale.
3. En déduire la puissance d'accommodation de la personne.

La puissance d'accommodation diminue avec l'âge : 15 δ pour un jeune à 0,25 δ pour une personne âgée.

- **Défauts de l'œil**

Défaut	Myopie	Hypermétropie
Caractéristique	Mauvaise vision de loin	Mauvaise vision de près
Convergence	Trop forte	Trop faible
Image d'un objet lointain	Formée avant la rétine	Formée après la rétine
Schéma des rayons	 tâche floue	 tâche floue
Traitement	Lentille divergente	Lentille convergente

II. La lunette astronomique

- **Lunette astronomique**

Dispositif optique constitué de deux lentilles : **objectif** et **oculaire**. Elle est destinée à l'observation d'objets lointains.

- **Objectif**

Lentille dont le rôle est de faire une image intermédiaire de l'objet visé. Sa focale doit être la plus grande possible.

- **Oculaire**

Lentille destinée à faire une image observable, qui joue le même rôle qu'une loupe. Les oculaires sont souvent interchangeables dans une lunette astronomique.

- **Système afocal**

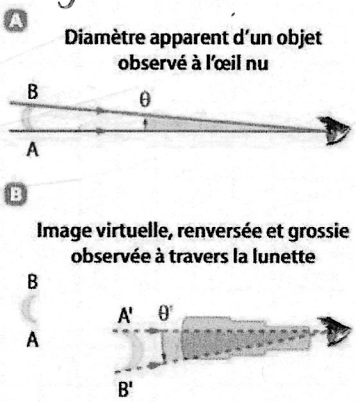
Un système afocal a ses foyers objets et image rejetés à l'infini. Pour un système à 2 lentilles, le foyer image de l'objectif doit coïncider avec le foyer objet de l'oculaire

- **Grossissement**

Vu que les objets sont situés à l'infini, on caractérise le grossissement à l'aide des angles sous lesquels sont vus les objets. Le grossissement G d'une lunette astronomique est défini comme le rapport :

$$G = \frac{\theta'}{\theta} = -\frac{f'_{ob}}{f'_{oc}}$$

Remarque : l'angle θ sous lequel un astre est vu depuis le lieu d'observation est également appelé **diamètre apparent**.



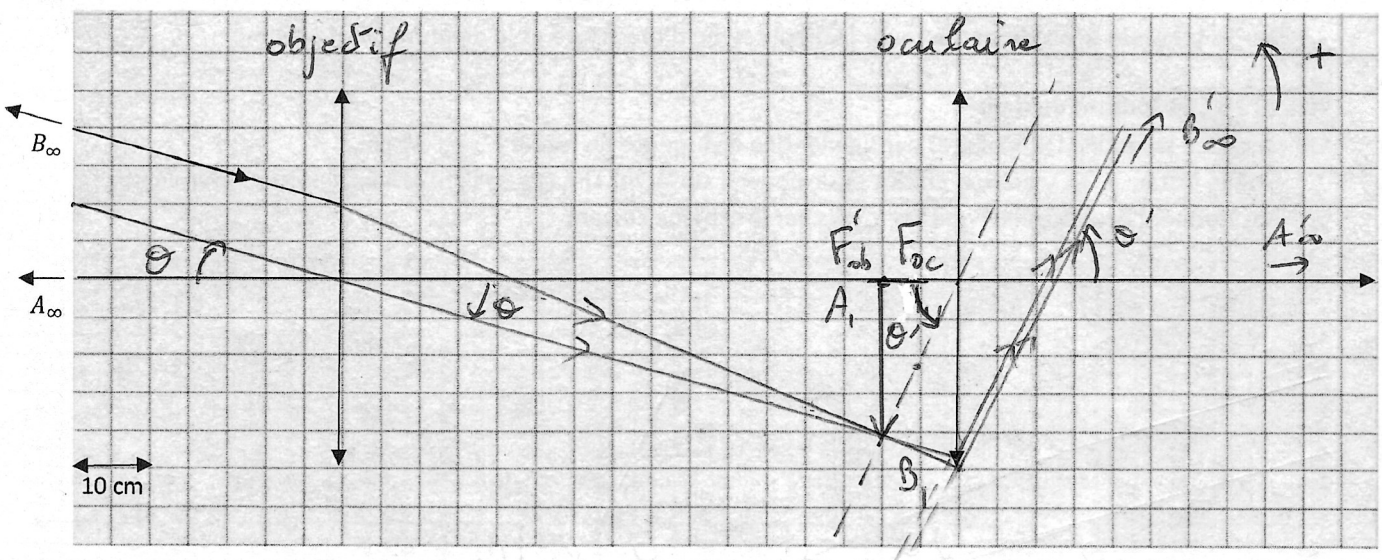
- **Diaphragmes**

Un **diaphragme d'ouverture** agit principalement sur la luminosité de l'image.
Un **diaphragme de champ** affecte le champ en largeur de l'image.

Activité 2 **La lunette de Képler**

Une lunette astronomique afocale est constituée d'un objectif de distance focale $f'_1 = 70$ cm et d'un oculaire de distance focale $f'_2 = 10$ cm

1. Schématiser ci-dessous cette lunette astronomique en positionnant les foyers des deux lentilles



2. On observe avec cette lunette un objet AB situé à l'infini. Représenter le point image B_1 de B donné par l'objectif, puis tracer l'image intermédiaire A_1B_1
3. Représenter le point image B' donné par l'oculaire, et en déduire la position du point A'.
4. Quel rôle joue l'oculaire ?
5. Représenter les angles θ et θ' sur le schéma de la lunette.
6. On suppose que les angles sont petits (inférieurs à 0,30 rad) et qu'on peut se placer dans l'approximation $\tan\theta \approx \theta$ (rad). Exprimer les angles θ et θ' en fonction des longueurs intervenant sur le schéma.
7. En déduire l'expression du grossissement en fonction des distances focales f'_1 et f'_2.
8. L'image A'B' à travers la lunette afocale droite ou renversée ?
9. Une lunette commerciale est caractérisée par deux nombres :

- le diamètre D de son objectif exprimé en millimètre
- la distance focale f'_1 de son objectif en millimètre.

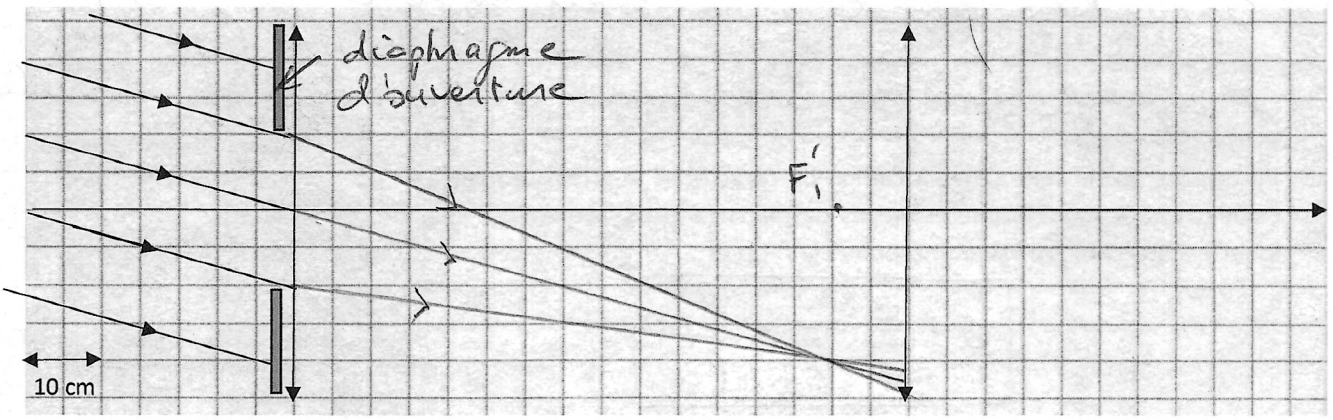
Donner la valeur des grossissements que l'on peut obtenir avec cette lunette.

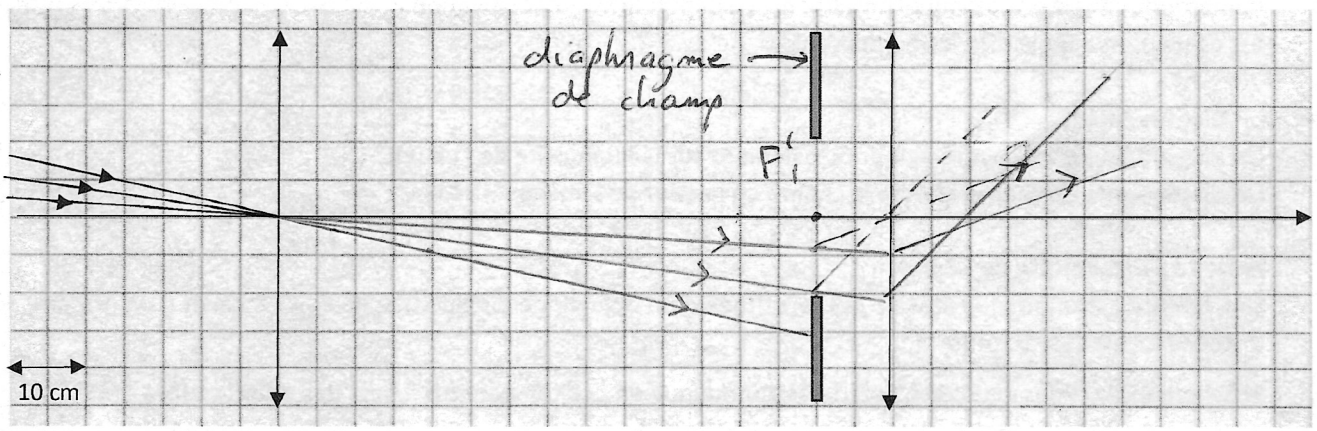
Lunette commerciale (70 /700)

Lunette livrée avec deux oculaires de vergence +40 δ et +25 δ



10. Compléter les trajets des rayons lumineux sur les schémas suivants :



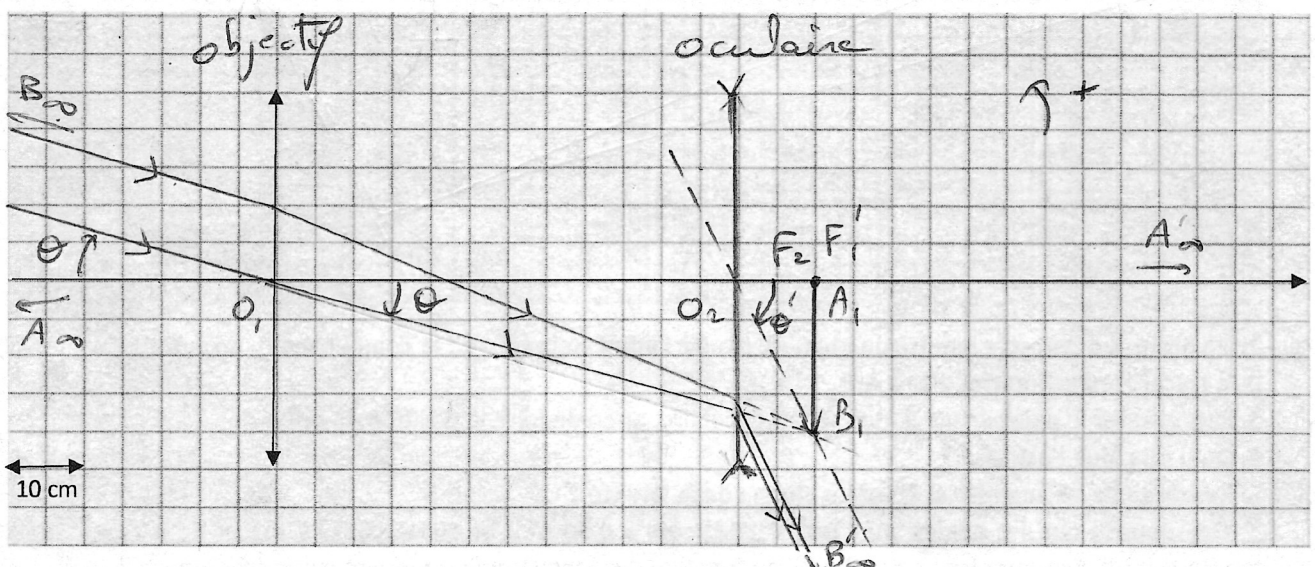


11. Sur les schémas précédents, indiquer le diaphragme d'ouverture et le diaphragme de champ.

Activité 3 **La lunette de Galilée**

On remplace la lentille L_2 (oculaire) par une lentille divergente de focale $f'_2 = -10$ cm

1. Quelle distance O_1O_2 doit-on choisir pour pouvoir observer l'image de l'étoile sans accommoder ?
2. Positionner l'oculaire ainsi que les foyers sur le schéma suivant :



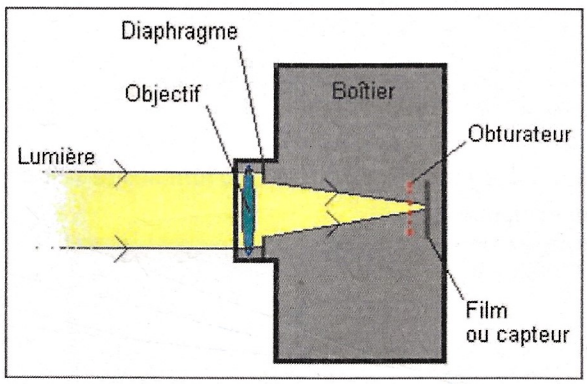
3. Tracer les prolongements des 2 rayons sur le schéma précédent et vérifier que l'image finale est bien à l'infini.
4. En déduire les caractéristiques de l'image : droite, renversée, agrandie ?
5. Calculer le grossissement G de cette lunette en fonction des focales des lentilles.
6. Quelle est la lunette qui prend le moins de place pour un grossissement donné ?

III. L'appareil photographique

Pour simplifier, un appareil photo est constitué de deux éléments principaux :

- **L'objectif** : Une simple lentille convergente sert d'objectif dans les appareils bon marché. Lorsqu'elle est diaphragmée, de façon à se trouver dans les conditions de Gauss, elle donne d'un objet réel une image relativement nette. Cette image se forme sur le capteur, tout près du plan focal image. La plupart des objectifs sont constitués par des associations complexes de lentilles différentes, taillées dans des verres spéciaux, aux indices bien déterminés. Cette association permet de corriger les nombreux défauts (aberrations géométriques et chromatiques) que présente toute lentille. Nous assimilerons ce groupe de lentilles à une lentille unique.

- **Le capteur** : Dans les appareils numériques, il est l'équivalent de la «pellicule» (ou film) des appareils argentiques. La dimension d'une image sur une pellicule argentique est 24×36 mm^2. Aujourd'hui, il existe de nombreux capteurs CCD de dimensions variables. Comme ils sont de forme rectangulaire, on raisonne sur la diagonale pour exprimer la dimension du capteur : vous pouvez vérifier que pour la pellicule argentique, elle vaut d = 43,3 mm.

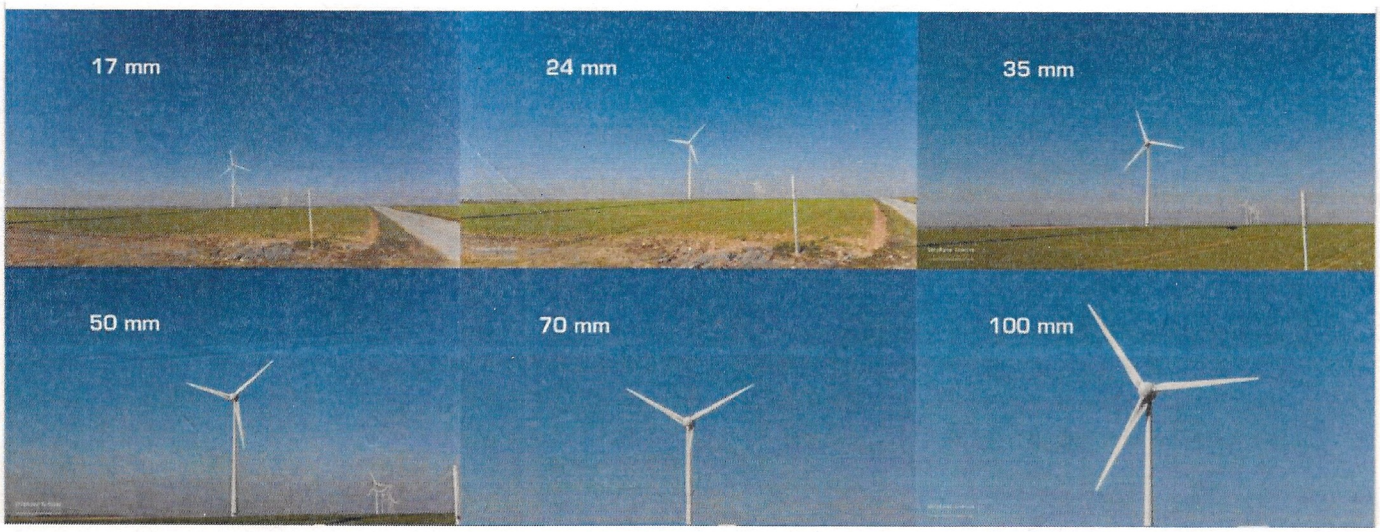




Activité 4 Influence de différents paramètres sur une photo

- **Influence de la focale**

1. En observant les différentes photographies d'éolienne, en déduire l'influence de la focale sur la photographie obtenue et sur le champ angulaire, angle α sous lequel est vue la scène photographiée.



2. Exprimer le champ angulaire en fonction de la focale f ' et de la taille du capteur d.

- **Influence de la durée d'exposition (temps de pose)**

On note T la durée d'exposition. Elle est en général donnée sous la forme d'une fraction de seconde aussi appelée (à tort !) vitesse d'obturation. C'est le temps que l'obturateur reste ouvert (et donc que la lumière arrive sur le capteur) pour prendre la photographie.

3. Qu'est-ce qui change entre les trois photographies des bols ? Comment l'expliquer ?

Nombre d'ouverture N =5,6 ; Distance focale f' = 35 mm



T = 1/1000 s

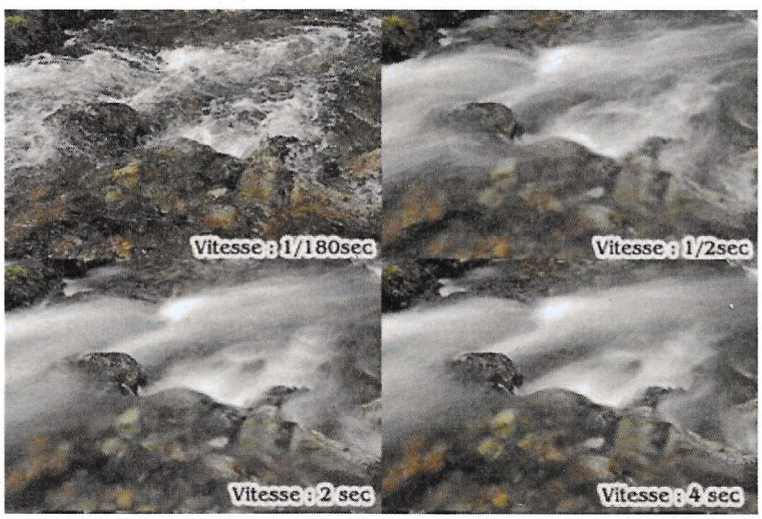


T = 1/250 s



T = 1/50 s

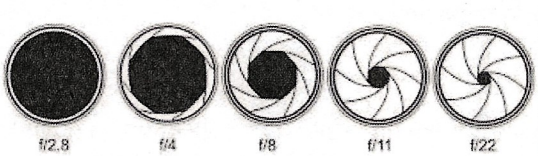
4. Observer les photographies de cascade. Elles ont été modifiées pour que la luminosité soit comparable. Quel autre effet de la durée d'exposition cela met-il en évidence ?

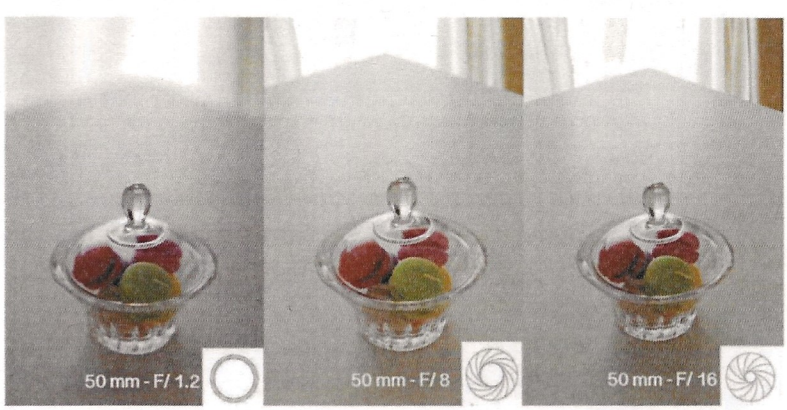


5. Pour réaliser une photographie nette d'un sujet en mouvement, faut-il augmenter ou diminuer le temps de pose ? Quel problème cela pose-t-il ?

- **Influence du diaphragme**

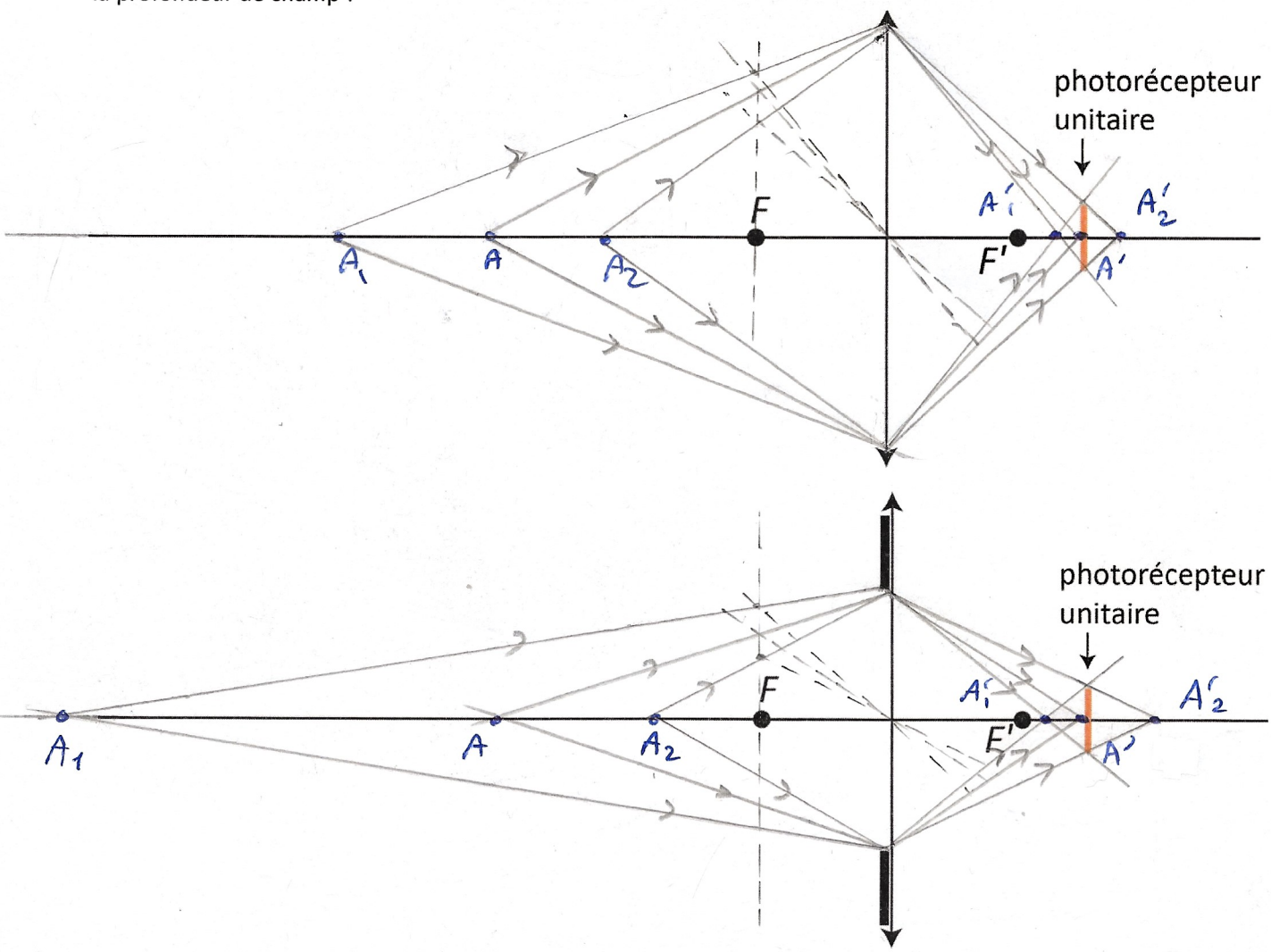
Le diaphragme est placé après l'objectif et sert à restreindre les rayons servant à former l'image sur le capteur. Les valeurs indiquées sont celles du diamètre du diaphragme, calculé en fonction de la focale f '/N, où N est appelé le nombre d'ouverture.





6. Observer l'arrière-plan des trois photographies de la boîte à bonbons. Commenter : laquelle est la plus nette ? Quel est le lien avec l'ouverture du diaphragme ?

7. La profondeur de champ est la distance sur laquelle les objets sont vus nettement. Illustrer cette notion par un schéma sur lequel on fera figurer la taille d'un pixel du capteur, et où on représentera les images d'un objet ponctuel situé aux deux limites de netteté, sans souci d'échelle. Conclure : comment le diaphragme permet-il d'augmenter la profondeur de champ ?



8. Les trois photographies ont une luminosité comparable. Si on avait gardé le même temps de pose pour les trois, cela aurait-il été le cas ? Pourquoi ? Laquelle aurait été la plus sombre ?

9. Rappeler l'aire d'un disque de diamètre D et proposer une formule donnant l'exposition en fonction du temps de pose T et du diamètre D du diaphragme.

10. On passe aux photographies des bols, prises avec des nombres d'ouverture et des temps de pose différents. Comparez les rapports T/N^2 pour les deux clichés. Est-ce en accord avec le résultat de la question précédente ?

f' = 90 mm

T = 1/250 s

N = 4,5





f' = 90 mm

T = 1/80 s

N = 8

11. Conclusion : quel est le compromis à faire pour prendre une photographie à la fois nette et lumineuse ?