

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

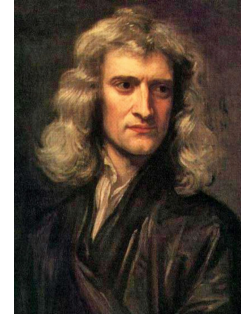
Quelques scientifiques ayant travaillé sur les miroirs et les lentilles :



GALILÉE (1564-1642) utilisant sa lunette



René DESCARTES (1596-1650)



Issac NEWTON (1643-1727)

Quelques instruments utilisant des lentilles et des miroirs :



Appareil photographique numérique



Lunette astronomique



Télescope de Newton



Microscope

Pré-requis

- 2^{nde} : Thème Ondes et signaux
 - Lentilles, modèle de la lentille mince convergente : foyers, distance focale.
 - Utiliser le modèle du rayon lumineux pour déterminer graphiquement la position, la taille et le sens de l'image réelle d'un objet plan réel donnée par une lentille mince convergente.
 - Définir et déterminer géométriquement un grandissement.
 - Modéliser l'œil.
- 1^{re} : Thème Ondes et signaux
 - Relation de conjugaison d'une lentille mince convergente. Grandissement.
 - Image réelle, virtuelle, droite, renversée.
 - Utiliser des grandeurs algébriques.
- Terminale : Thème Ondes et signaux
 - Modèle optique d'une lunette astronomique avec objectif et oculaire convergents.
 - Grossissement d'une lunette afocale.

Objectifs du chapitre

- Construire l'image d'un objet par un miroir, une lentille mince convergente ou divergente.
- Connaître et utiliser les relations de conjugaison pour les lentilles minces afin de déterminer la position d'une image connaissant celle d'un objet (ou inversement).
- Étudier des dispositifs optiques : l'œil, l'appareil photographique, la lunette astronomique, le microscope.

Plan du cours

I Généralités sur les systèmes optiques	4	IV.2.c) Distance focale et vergence	11
I.1 Objet et image	4	IV.2.d) Foyers secondaires	11
I.2 Objets et images à l'infini	5	IV.3 Méthodes de construction	12
I.3 Repérage	5	IV.3.a) Construction d'un rayon	12
II Miroir plan	6	IV.3.b) Tracés d'une image étendue	13
III Qualité de l'image	7	IV.4 Relations de conjugaison	17
III.1 Stigmatisme rigoureux	7	IV.5 Projection de l'image d'un objet réel	18
III.2 Stigmatisme approché	7	V Exemples d'instrument d'optique	19
III.3 Conditions de Gauss	8	V.1 L'œil	19
IV Lentilles minces	9	V.1.a) Modélisation	19
IV.1 Différentes lentilles	9	V.1.b) Limite de résolution angulaire	20
IV.2 Définitions sur les lentilles	9	V.1.c) Plage d'accommodation	20
IV.2.a) Centre optique	9	V.2 Appareil photographique	21
IV.2.b) Foyers principaux	10	V.2.a) Modélisation	21
		V.2.b) Profondeur de champ	21
		V.2.c) Paramètres influençant la formation d'une image	22

Programme officiel

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.1. Formation des images	
Conditions de l'approximation de Gauss et applications Stigmatisme. Miroir plan.	Construire l'image d'un objet par un miroir plan.
Conditions de l'approximation de Gauss.	Énoncer les conditions de l'approximation de Gauss et ses conséquences. Relier le stigmatisme approché aux caractéristiques d'un détecteur.
Lentilles minces dans l'approximation de Gauss.	Définir les propriétés du centre optique, des foyers principaux et secondaires, de la distance focale, de la vergence. 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 conjugaison et de grandissement transversal de Descartes et de Newton. Établir et utiliser la condition de formation de l'image réelle d'un objet réel par une lentille convergente.
Modèles de quelques dispositifs optiques L'œil. Punctum proximum, punctum remotum.	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.
L'appareil photographique.	Modéliser l'appareil photographique comme l'association d'une lentille et d'un capteur. Construire géométriquement la profondeur de champ pour un réglage donné. [TP] Étudier l'influence de la focale, de la durée d'exposition, du diaphragme sur la formation de l'image.
Système optique à plusieurs lentilles.	[TP] Modéliser, à l'aide de plusieurs lentilles, un dispositif optique d'utilisation courante

Ai-je bien appris mon cours ?

- 1 – 😊 – 😞 – Construire l'image d'un objet par un miroir plan.
- 2 – 😊 – 😞 – Définir les conditions de Gauss et expliquer l'intérêt de s'y placer.
- 3 – 😊 – 😞 – Expliquer le lien entre le stigmatisme approché et les caractéristiques d'un détecteur.
- 4 – 😊 – 😞 – Définir les propriétés du centre optique, des foyers principaux et secondaires, de la distance focale, de la vergence.
- 5 – 😊 – 😞 – Construire l'image d'un objet situé à distance finie ou infinie à l'aide de rayons lumineux par une lentille mince convergente ou divergente, identifier sa nature réelle ou virtuelle.
- 6 – 😊 – 😞 – Énoncer les formules de conjugaison et de grandissement transversal de Descartes et Newton.
- 7 – 😊 – 😞 – Établir et utiliser la condition de formation de l'image réelle d'un objet réel par une lentille convergente.
- 8 – 😊 – 😞 – Donner la modélisation de l'œil.
- 9 – 😊 – 😞 – Définir et donner l'ordre de grandeur de la limite de la résolution angulaire.
- 10 – 😊 – 😞 – Définir punctum proximum, punctum remotum, accommodation. Donner l'ordre de grandeur de la plage d'accommodation.
- 11 – 😊 – 😞 – Donner la modélisation de l'appareil photographique.
- 12 – 😊 – 😞 – Construire géométriquement la profondeur de champ d'un appareil photo pour un réglage donné.

I Généralités sur les systèmes optiques

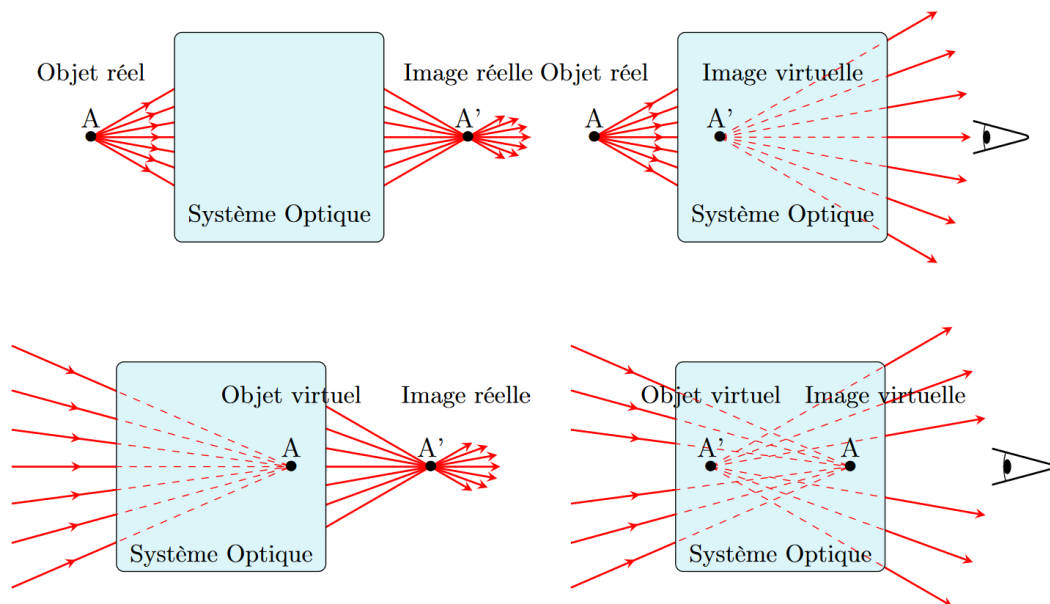
I.1 Objet et image

📖 Définitions : objet

- Un **point objet** est un point où se croisent les droites qui portent les rayons lumineux incidents.
- On parle d'**objet réel** lorsque les rayons lumineux divergent depuis ce point, en particulier lorsqu'ils en sont effectivement issus. L'objet réel peut être « touché ».
- On parle d'**objet virtuel** lorsque les rayons lumineux convergent vers ce point. Ce sont alors les prolongements des rayons lumineux incidents qui passent par ce point.
- Un ensemble de points objet est souvent appelé **objet**, qui peut être une source lumineuse placée devant le système optique (source primaire) ou une diapositive éclairée par une source (source secondaire).
- La notion d'objet est relative au système optique étudié : ce qui constitue un point objet pour un élément du système optique peut constituer un point image pour un autre situé en amont.

📖 Définitions : image

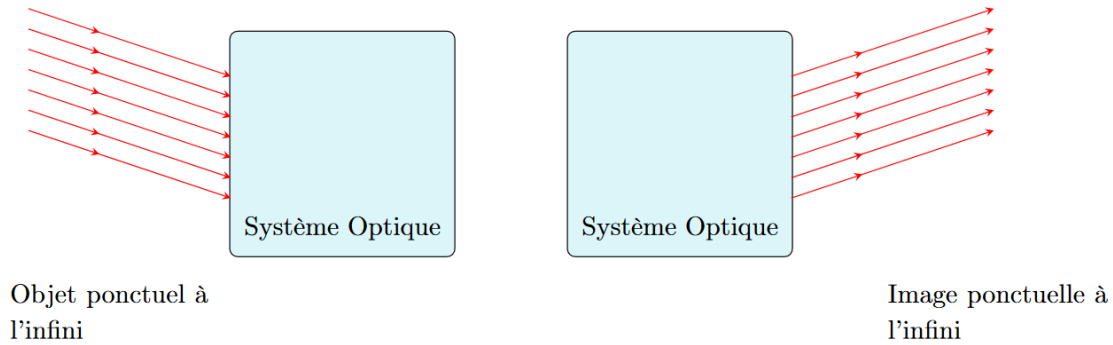
- Un **point image** est un point où se croisent les droites qui portent les rayons lumineux émergents.
- On parle d'**image réelle** lorsque les rayons lumineux convergent en ce point, en particulier lorsqu'ils s'y dirigent effectivement. On obtient un point lumineux en y plaçant un écran, on peut la projeter.
- On parle d'**image virtuelle** lorsque les rayons lumineux divergent depuis ce point. Ce sont alors les prolongements des rayons lumineux émergents qui passent par ce point.
- Un ensemble de points image est souvent appelé **image**.
- La notion d'image est relative au système optique étudié : ce qui constitue un point image pour un élément du système optique pourra constituer un point objet pour un autre situé en aval.



I.2 Objets et images à l'infini

📖 Définitions : Objet et image à l'infini

- Un **objet est à l'infini** lorsque tous les rayons lumineux issus de chaque point parviennent parallèles entre eux sur le système optique.
- Une **image est à l'infini** lorsque tous les rayons lumineux sortant d'un système optique sont parallèles entre eux.
- Une image (resp. un objet) sera dit **à l'infini sur l'axe optique** lorsque les rayons émergent (resp. arrivent) sur le système optique **parallèlement à l'axe optique**.



I.3 Repérage

📖 Définition : Distances algébriques

En optique, on utilise les **distances algébriques**, notées avec une barre au-dessus (\overline{OA}) qui renseignent sur la distance (au sens habituel) qui sépare les deux points, et sur le sens dans lequel est mesurée la distance.

Avant de parler d'utiliser les distances algébriques, il est nécessaire de définir un sens positif :

- Le long de l'axe optique, le **sens positif** est le **sens de la lumière incidente**.
- Perpendiculairement à l'axe optique, le sens positif est souvent choisi « vers le haut ».



📖 Définition : Angles orientés

Les angles sont orientés : ils peuvent être positifs ou négatifs.

En général, on choisit le sens trigonométrique comme le sens positif.



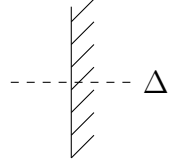
II Miroir plan

Capacités exigibles : Construire l'image d'un objet, identifier sa nature réelle ou virtuelle.

http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/optiqueGeo/miroirs/miroir_plan.php

Un miroir plan est une surface plane réfléchissante (symbole ci-contre).

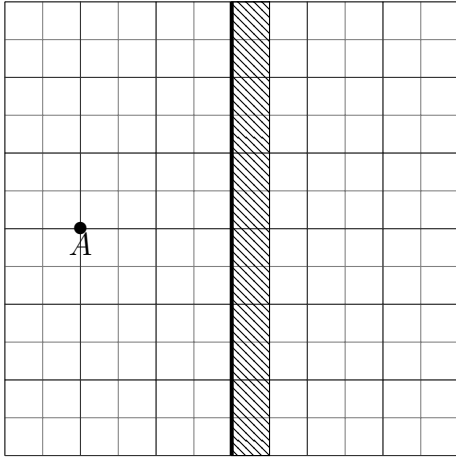
Le système optique constitué du miroir plan possède un axe de révolution, qui est orthogonal au miroir : toute rotation autour de cet axe laisse inchangée la marche des rayons. Cet axe est l'**axe optique du système** (Δ).



Exercice de cours A Image par un miroir

Soit une source ponctuelle placée en un point A et un miroir plan.

Q1. Tracer la marche de trois rayons issus de A et frappant le miroir en trois points différents.



Q2. Tracer le prolongement en pointillés (ces rayons n'existent pas) des rayons réfléchis dans la partie arrière de (\mathcal{M}). Commenter.



Exercice de cours B Images par un miroir

Considérons un objet (AB) réel perpendiculaire à l'axe optique du miroir.

Q1. Tracer l'image $A'B'$ de cet objet par le miroir.

Q2. Comment est-elle par rapport à l'objet ?

Exercice de cours C Objet virtuel

Q1. Placer sur un schéma comportant un miroir plan, un objet virtuel A .

Q2. Construire son image à travers le miroir. Commenter.

III Qualité de l'image

III.1 Stigmatisme rigoureux

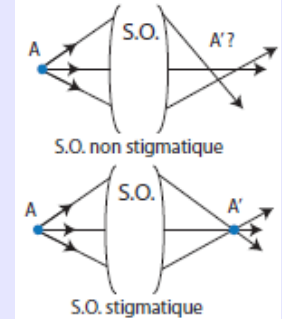
Le stigmatisme est une propriété des systèmes optiques nécessaires pour obtenir une image nette en sortie du système optique.

Définition : Stigmatisme rigoureux

Un système optique est dit **rigoureusement stigmatique** s'il donne d'un objet ponctuel A un point image A' **unique**.

On dit que A' est l'image de A ou que A et A' sont **conjugués par le système optique**.

Dans ce cas, il existe une relation entre la position de l'image et celle de l'objet appelée **formule de conjugaison**.



À retenir : Stigmatisme rigoureux du miroir plan

Le miroir plan est le seul système rigoureusement stigmatique pour tout point objet.

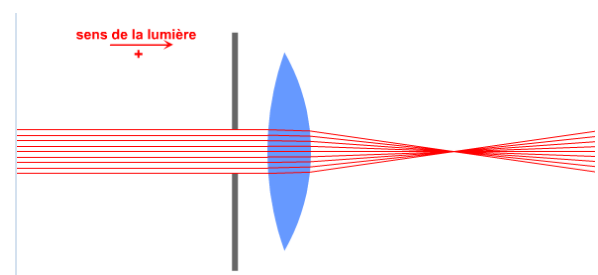
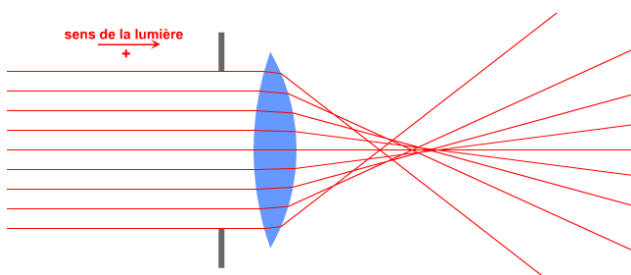
III.2 Stigmatisme approché

Capacités exigibles : Énoncer les conditions permettant un stigmatisme approché et les relier aux caractéristiques d'un détecteur.

Lorsque l'on prend en photo un paysage, on souhaite que l'image obtenue sur le capteur numérique soit la plus nette possible. Le système optique contenu dans l'objectif de l'appareil photo (lentilles minces) doit vérifier un certain nombre de propriétés, que l'on va énoncer.

On considère un point source A placé à l'infini sur l'axe optique avant une lentille mince convergente.

http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/optiqueGeo/lentilles/stigmatisme_lentille.php



→ La lentille réalise-t-elle un stigmatisme rigoureux dans ces conditions ?

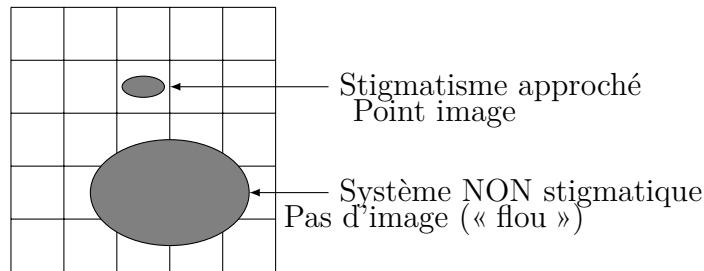
→ Quel dispositif, placé à proximité de la lentille, permet de s'approcher du stigmatisme rigoureux ? Quel autre effet aurait-il sur l'image ?

Le stigmatisme rigoureux est-il nécessaire pour avoir une image nette ? Autrement dit, à quelle condition verra-t-on un point et non une tache ?

Qu'il s'agisse de la rétine de l'œil ou d'un capteur d'appareil photo numérique, les capteurs sont constitués

de cellules : les cônes/bâtonnets sur la rétine et les pixels pour l'appareil photo. Cela confère au capteur une **résolution maximale** : le récepteur ne peut pas distinguer des détails plus petits que le plus petit élément qui le constitue. Des rayons émergeant du système optique parvenant sur la même cellule photosensible du capteur peuvent être considérés comme confondus. L'observateur aura donc l'impression de voir un point.

Illustration avec un capteur numérique : 5×5 pixels



♥ À retenir : stigmatisme approché

Un système optique réalise un **stigmatisme approché** si les rayons incidents issus d'un point objet A passent au voisinage de A' de dimension inférieure à la dimension caractéristique des cellules du capteur. Cette notion dépend donc du capteur utilisé.

Remarque (pas à retenir) : Quelles sont les causes de non stigmatisme ? On les regroupe en deux catégories principales :

- Les aberrations géométriques : on considère une lumière monochromatique. L'image d'un point n'est alors pas exactement un point.
- Les aberrations chromatiques : la lumière blanche est composée de plusieurs longueurs d'onde λ . Or l'indice optique n du verre de la lentille dépend de λ (phénomène de dispersion), donc les différentes couleurs monochromatiques ne vont pas converger exactement au même point. Il en résulte des taches colorées.

III.3 Conditions de Gauss

♥ À retenir : conditions de Gauss

Le système optique est utilisé dans les **conditions de Gauss** si

- les rayons sont peu inclinés par rapport à l'axe optique ;
- les rayons sont peu éloignés de l'axe optique ;

On parle de **rayons paraxiaux**.

Quand elles sont satisfaites, ces conditions impliquent :

- le système optique réalise un stigmatisme approché : $A \xrightarrow{S.O.} A'$;
- le système optique réalise un aplanétisme approché : l'image d'un objet perpendiculaire à l'axe optique est également perpendiculaire à l'axe optique ($AB \perp \text{axe optique} \xrightarrow{S.O.} A'B' \perp \text{axe optique}$).

Dans les conditions de Gauss, les angles θ entre l'axe optique et les rayons lumineux seront très petits devant 1 radian, et on pourra alors écrire, avec θ en radian : $\sin(\theta) \approx \theta$; $\tan(\theta) \approx \theta$; $\cos(\theta) \approx 1$.

En TP, on accordera une grande importance à l'éclairage et à l'alignement du matériel pour observer des images de qualité. Lorsque l'on éclaire un système optique sans respecter les conditions de Gauss, l'image obtenue présente des « aberrations ». Concernant l'éventuel diaphragme délimitant le faisceau incident, on doit faire un compromis expérimental entre la netteté (petit diaphragme) et la luminosité (grand diaphragme) ou entre netteté et diffraction (absente pour un grand diaphragme).

IV Lentilles minces

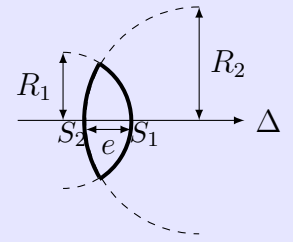
IV.1 Différentes lentilles

Définitions : Lentille


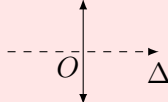
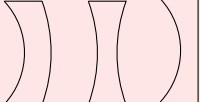
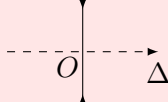
Une **lentille** est un matériau transparent, homogène et isotrope délimité par deux dioptries dont l'un au moins est sphérique.

Une **lentille est mince** si la distance e entre les deux sommets est très inférieure aux rayons de courbure (R_1 et R_2), de sorte que l'on puisse les confondre en un même point appelé centre de la lentille, noté O ($S_1 \approx S_2 \equiv O$) des dioptries.

On note Δ l'**axe optique** : c'est l'axe de révolution de la lentille.



À retenir : Deux types de lentille mince

Lentilles convergentes		Lentilles divergentes	
Bords minces (plus épaisse au centre qu'au bord)		Bords épais (plus épaisse au bord qu'au centre)	
Formes	Symbole	Formes	Symbole
			

IV.2 Définitions sur les lentilles

Capacités exigibles : Connaître les définitions et les propriétés du centre optique, des foyers principaux et secondaires, de la distance focale, de la vergence


IV.2.a) Centre optique

Définition : centre optique

Le centre optique est le point de la lentille mince sur l'axe optique.

Un rayon passant par le centre optique d'une lentille mince n'est pas dévié.

IV.2.b) Foyers principaux

 **Définition : Foyer principal image**

Le foyer principal image, noté F' , est le point image situé sur l'axe optique de la lentille, dont le point objet conjugué est situé à l'infini sur l'axe optique.

Lentille convergente

Les rayons qui émergent par F' sont incidents parallèlement à l'axe optique.

Lentille divergente

Les rayons incidents parallèles à l'axe optique donnent des rayons émergents dont les prolongements passent par F' .

 **Définition : Foyer principal objet**


Le foyer principal objet, noté F , est le point objet situé sur l'axe optique de la lentille, dont le point image conjugué est situé à l'infini sur l'axe optique.

Lentille convergente

Les rayons issus de F émergent parallèlement à l'axe optique.

Lentille divergente

Les rayons incidents dont les prolongements passent par F émergent parallèlement à l'axe optique.

 **À retenir**

F et F' sont symétriques par rapport à O pour une lentille mince.

Lentille convergente

→ sens de la lumière incidente

Lentille divergente

→ sens de la lumière incidente

 **Attention – Erreur à ne pas commettre**

F et F' ne sont pas conjugués par la lentille mince : F' n'est PAS l'image de F .

IV.2.c) Distance focale et vergence

Définitions : Distance focale et vergence

- La **distance focale image** est la distance algébrique $f' = \overline{OF'}$ (en **mètre**)
- La **distance focale objet** est la distance algébrique $f = \overline{OF}$ (en **mètre**), avec $f = -f'$.
- La **vergence** $V = \frac{1}{f'}$ (en **dioptrie** $\delta = \text{m}^{-1}$)

À retenir

- La distance focale image f' et la vergence d'une **lentille convergente** sont _____ .
- La distance focale image f' et la vergence d'une **lentille divergente** sont _____ .

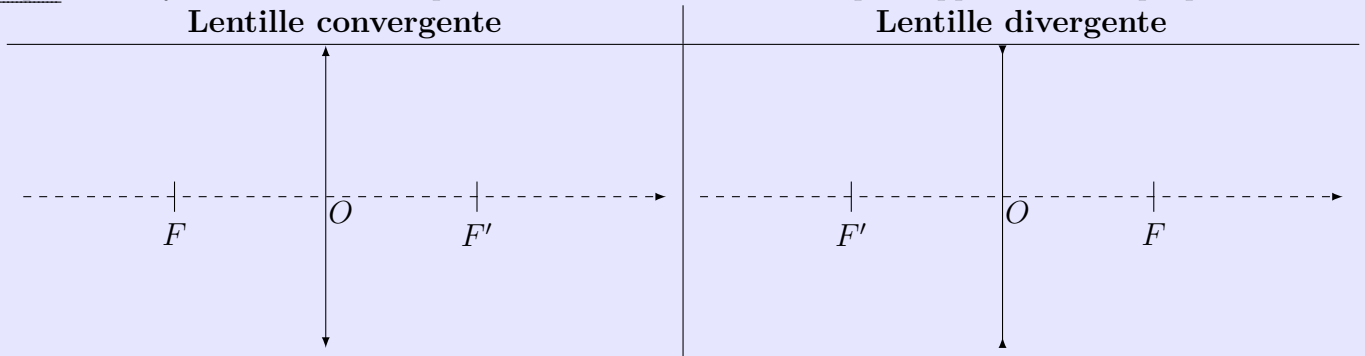
Attention

Soyez très vigilants dans les notations f, f', F, F' : les **foyers** doivent être notés avec une **lettre majuscule**, et les **distances focales** avec une **lettre minuscule**.

IV.2.d) Foyers secondaires

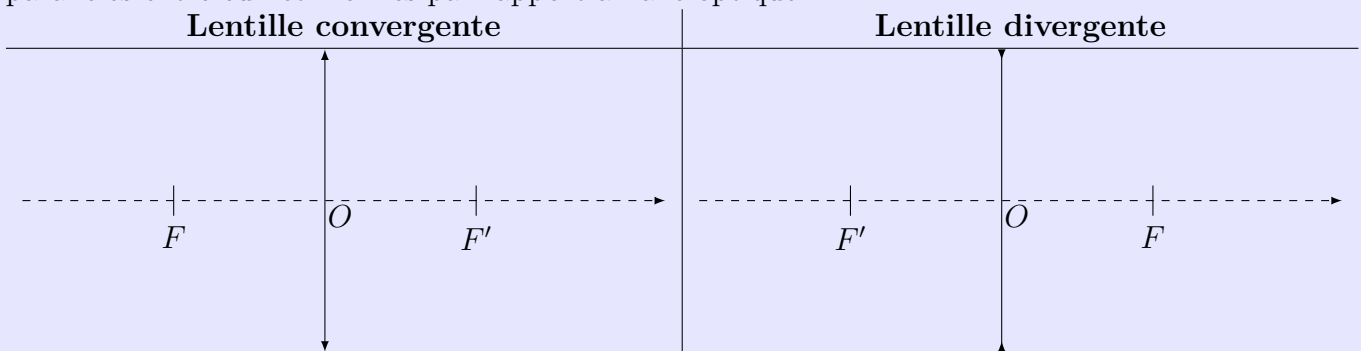
Définition : foyers secondaires image

On appelle **plan focal image** le plan transverse passant par le foyer principal image F' .
Les **foyers secondaires image**, notés ϕ' , sont les points du plan focal image différents de F' .
Un foyer secondaire image est un point image dont le point objet conjugué est situé à l'infini hors de l'axe optique : les rayons incidents sont parallèles entre eux et inclinés par rapport à l'axe optique.



Définition : foyers secondaires objet

On appelle **plan focal objet** le plan transverse (perpendiculaire à l'axe optique) passant par le foyer principal objet F .
Les **foyers secondaires objet**, notés ϕ , sont les points du plan focal objet différents de F .
L'image d'un foyer secondaire objet est située à l'infini hors de l'axe optique : les rayons émergents sont parallèles entre eux et inclinés par rapport à l'axe optique.



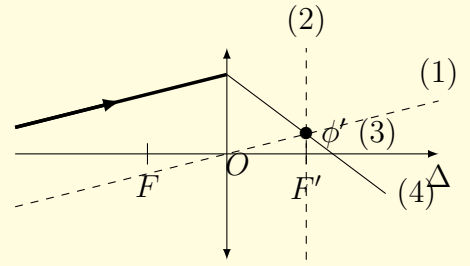
IV.3 Méthodes de construction

IV.3.a) Construction d'un rayon

💡 Méthode : Construction du cheminement d'un rayon incident quelconque

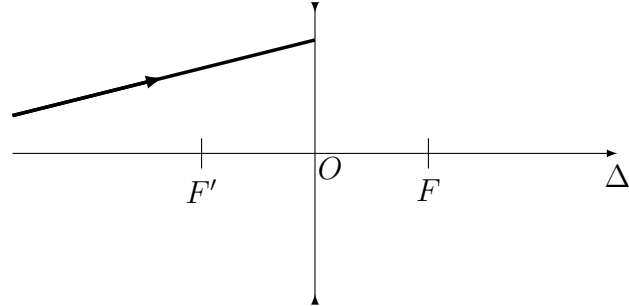
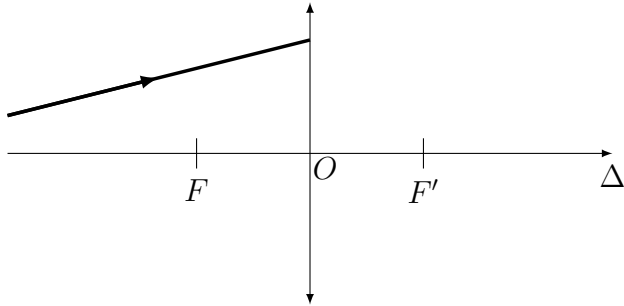
Si on a un rayon incident dont on souhaite tracer le rayon émergent :

1. Tracer un rayon auxiliaire, en pointillés, parallèle au rayon incident inconnu, passant par O . Ce rayon auxiliaire n'est pas dévié.
2. Tracer en pointillés le plan focal image (plan transverse passant par F').
3. Repérer l'intersection entre le rayon auxiliaire et le plan focal image, ce point est un foyer image secondaire ϕ' .
4. Le rayon incident inconnu et le rayon auxiliaire étant parallèle entre eux ils se croisent dans le plan focal image : au point ϕ' repéré précédemment.
Il reste à tracer le rayon émergent issu du rayon incident passant par ce point ϕ' .



Exercice de cours D

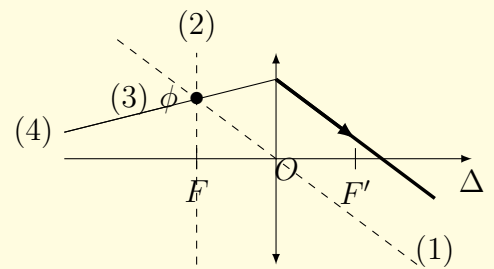
Tracer les rayons émergents correspondant aux rayons incidents.



💡 Méthode : Construction du cheminement d'un rayon émergent quelconque

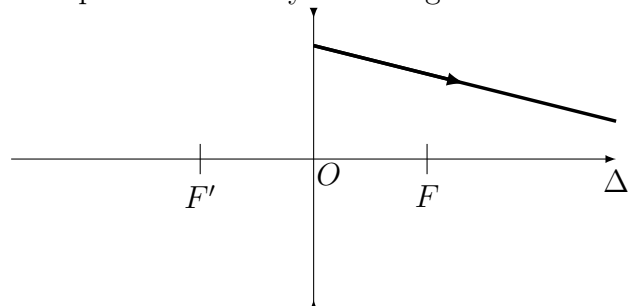
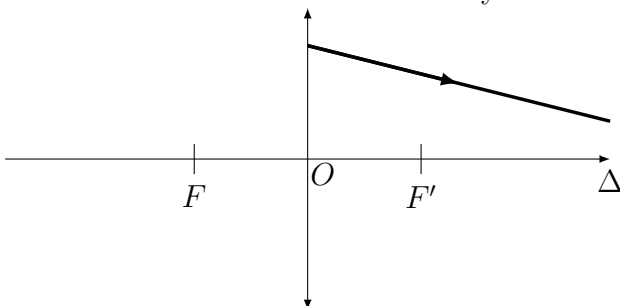
Si on a un rayon émergent dont on souhaite tracer le rayon incident qui lui a donné naissance :

1. Tracer un rayon auxiliaire, en pointillés, parallèle au rayon émergent inconnu, passant par O . Ce rayon auxiliaire n'est pas dévié.
2. Tracer en pointillés le plan focal objet (plan transverse passant par F).
3. Repérer l'intersection entre le rayon auxiliaire et le plan focal objet, ce point est un foyer objet secondaire ϕ .
4. Le rayon émergent inconnu et le rayon auxiliaire émergent de la lentille parallèlement, donc ils proviennent d'un même plan focal objet : le foyer secondaire objet ϕ .
Il reste à tracer le rayon incident passant par ce point objet ϕ qui donne le rayon émergent.



Exercice de cours E

Tracer les rayons incidents correspondant aux rayons émergents.



IV.3.b) Tracés d'une image étendue

Capacités exigibles : Construire l'image d'un objet situé à distance finie ou infinie à l'aide de rayons lumineux.

i- Principe

Soit un objet AB perpendiculaire à l'axe optique (Δ) avec A sur (Δ) et B hors de (Δ). On souhaite déterminer son image $A'B'$ par une lentille (\mathcal{L}). En exploitant la propriété d'aplanétisme, on en déduit que $A'B'$ est perpendiculaire à (Δ).

💡 Méthode : Tracé d'une image

Pour représenter l'image $A'B'$ d'un objet AB perpendiculaire à l'axe optique (Δ) avec A sur (Δ) et B hors de (Δ), il faut tracer les trois rayons suivants issus de B afin de déterminer B' :

1. Le rayon passant par le centre optique O n'est pas dévié par la lentille.
2. Le rayon incident issu de B et parallèle à l'axe optique émerge en passant par F' .
3. Le rayon incident issu de B et passant par F émerge parallèlement à l'axe optique.

B' est à l'intersection de ces trois rayons, et on en déduit A' qui est le projeté orthogonal de B' sur (Δ).

♥ À retenir : Règles de tracés

- Les rayons doivent être tracés à la règle, et chaque rayon avec un stylo (ou feutre fin) de couleur différente.
- Les rayons doivent être orientés par une **flèche**.
- Les rayons incidents (avant la lentille dans le sens de propagation) et les rayons émergents (après la lentille dans le sens de propagation) sont tracés en **traits pleins, avec une flèche dessus**.
- Les **prolongements** des rayons incidents (dans l'espace après la lentille) et les prolongements des rayons émergents (dans l'espace avant la lentille) sont tracés en **traits pointillés**.

Les tracés seront toujours effectués avec une échelle transversale plus grande que l'échelle longitudinale. Les rayons représentés ne seront pas « peu inclinés et peu éloignés de l'axe optique » mais les constructions tiennent compte des conditions de Gauss.

🔪 Tracés des rayons

Q1. Réaliser les tracés ci-dessous.

Q2. Préciser pour chaque tracé la nature de l'objet (réel/virtuel) et la nature de l'image (réelle/virtuelle).

Q3. Préciser pour chaque tracé :

- image agrandie / image rétrécie / image de même taille / $|\gamma| > 1$ / $|\gamma| < 1$ / $|\gamma| = 1$
- image droite (même sens que l'objet) / image renversée (sens opposé à l'objet) / $\gamma > 0$ / $\gamma < 0$

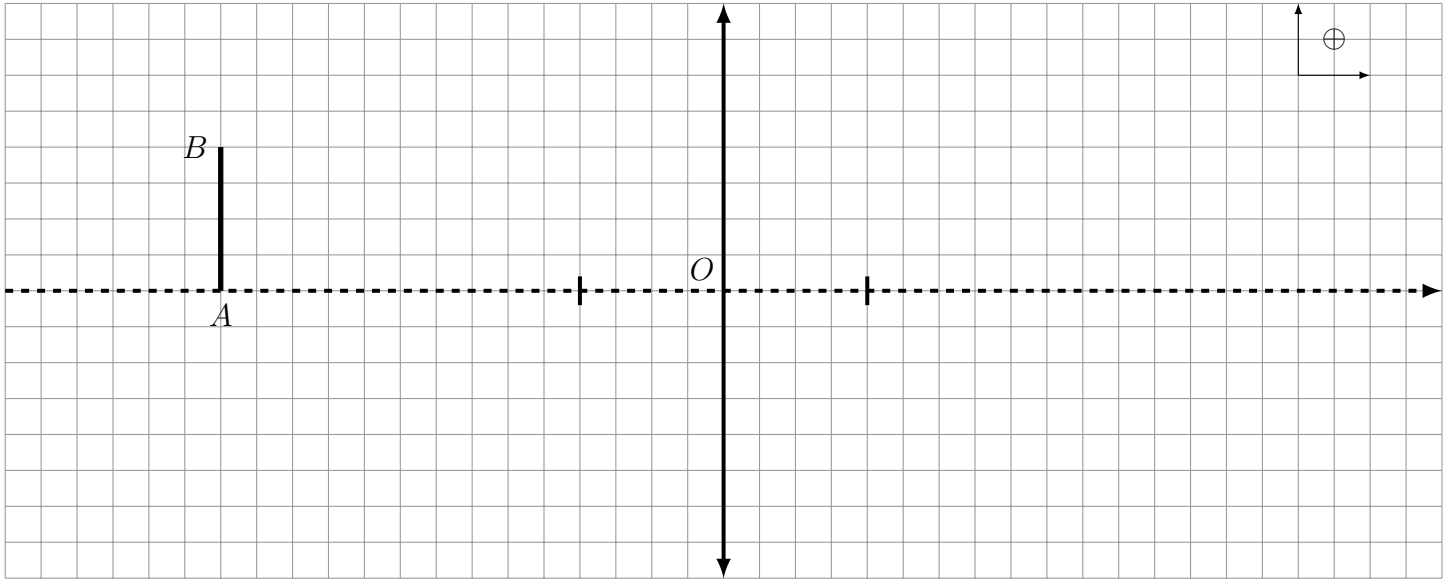
Pour vous entraîner avec la méthode décrite pas à pas (vous pouvez déplacer l'objet et le mettre où vous le souhaitez) :

http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/optiqueGeo/lentilles/construction_lentille.php

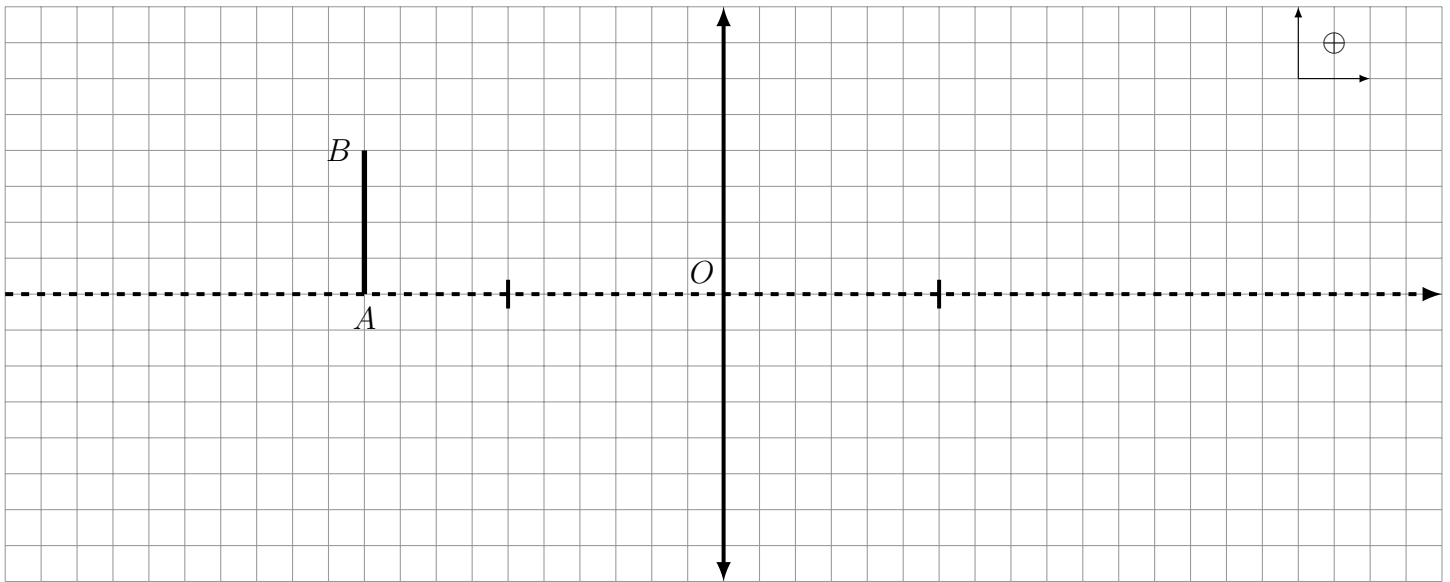
ii- Cas des lentilles convergentes

■ Objet réel, tel $|\overline{OA}| > 2f'$

- Le rayon incident passant par B et par O ...
- Le rayon incident passant par B et par F ressort ...
- Le rayon incident passant par B et parallèle à l'axe optique ressort ...

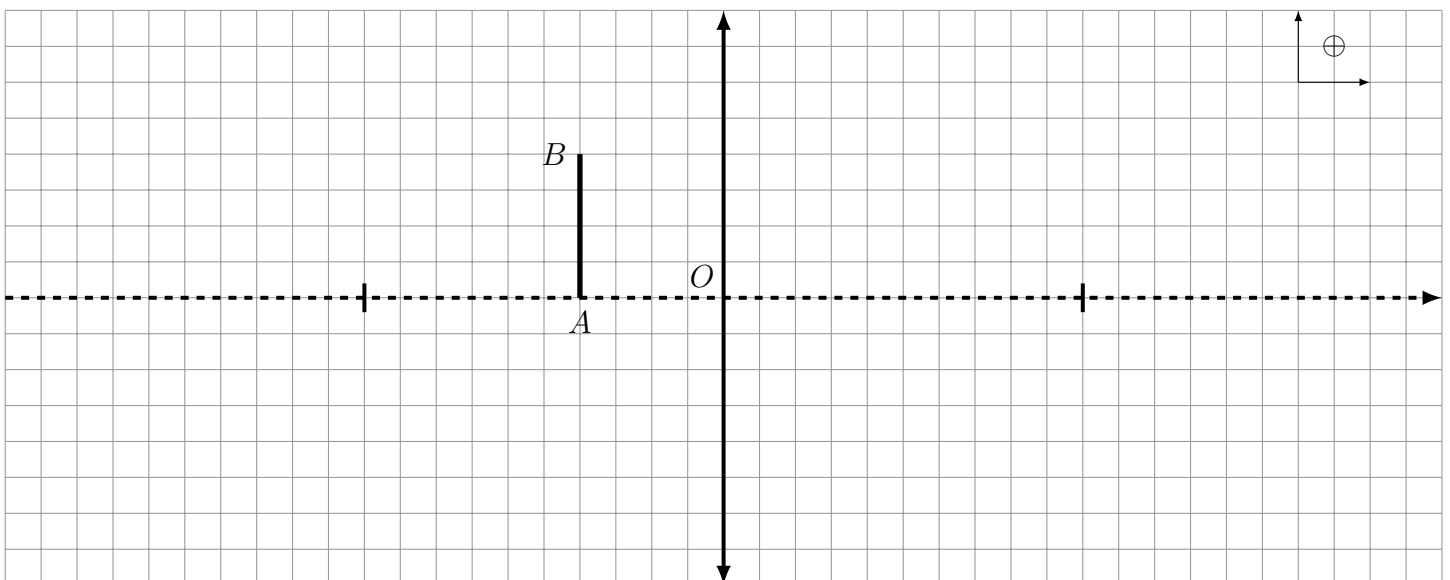


■ Objet réel, tel $f' < \overline{OA} < 2f'$



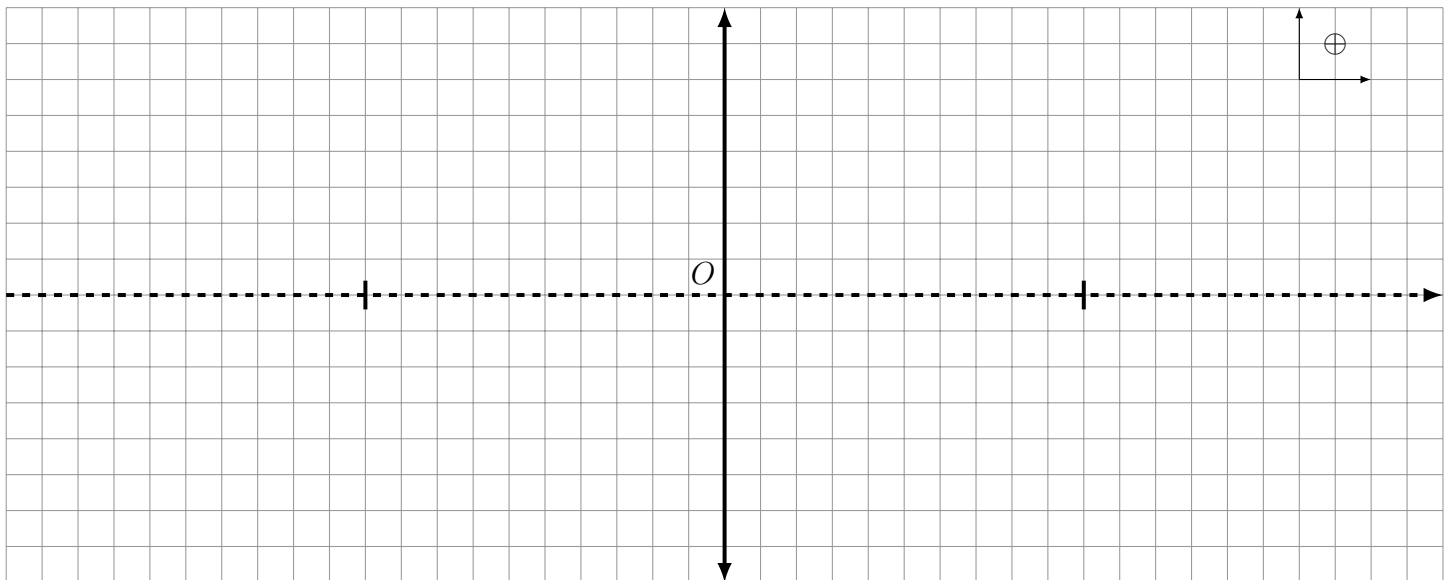
■ Objet réel, tel $\overline{OA} < f'$

- Le rayon incident passant par B et par O ...
- Le rayon incident passant par B et par F ressort
- Le rayon incident passant par B et parallèle à l'axe optique ressort ...



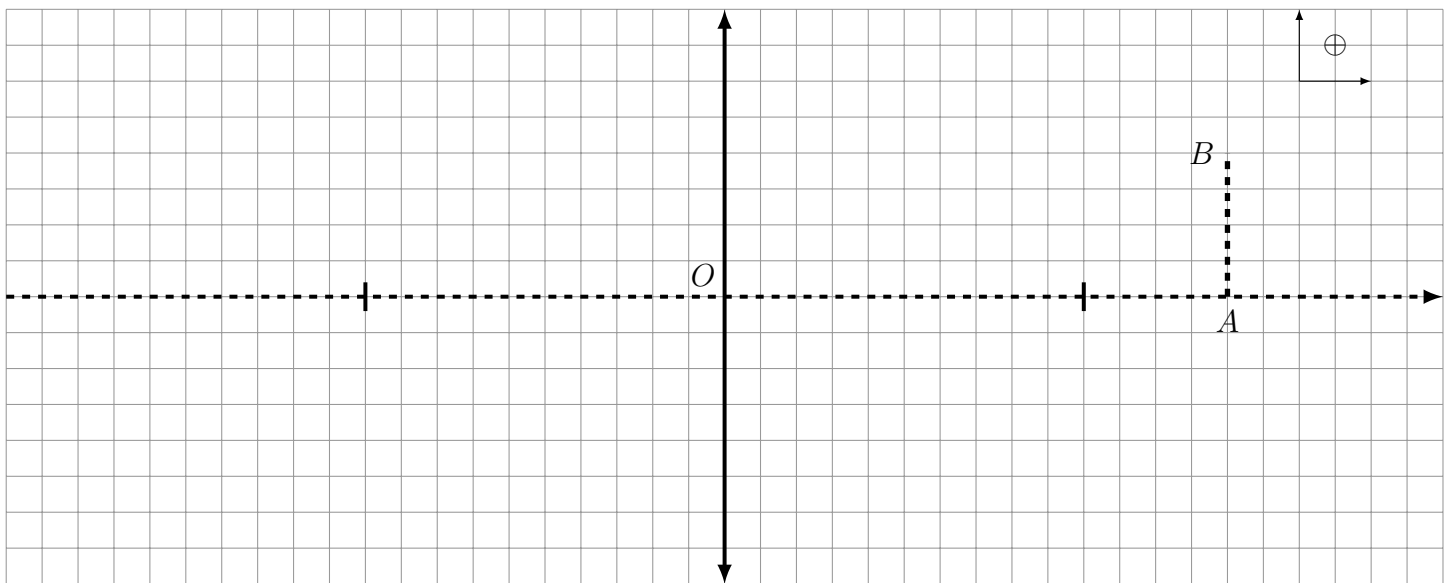
Les 3 rayons émergents divergent et ne se coupent pas. Les prolongements des 3 rayons émergents se coupent en B' , l'image est donc

■ Objet réel dans le plan focal objet



■ Objet virtuel

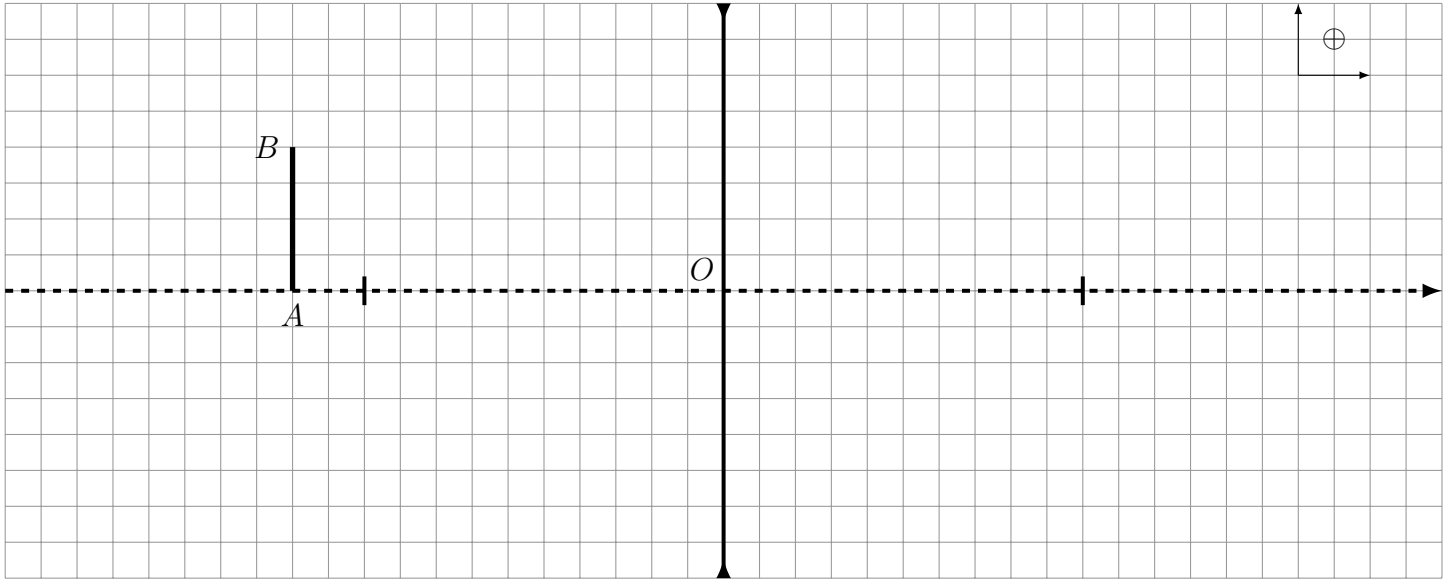
- Le prolongement du rayon incident passant par B et par O ...
- Le prolongement du rayon incident passant par B et par F ressort
- Le prolongement du rayon incident passant par B et parallèle à l'axe optique ressort ...



iii- Cas des lentilles divergentes

■ Objet réel

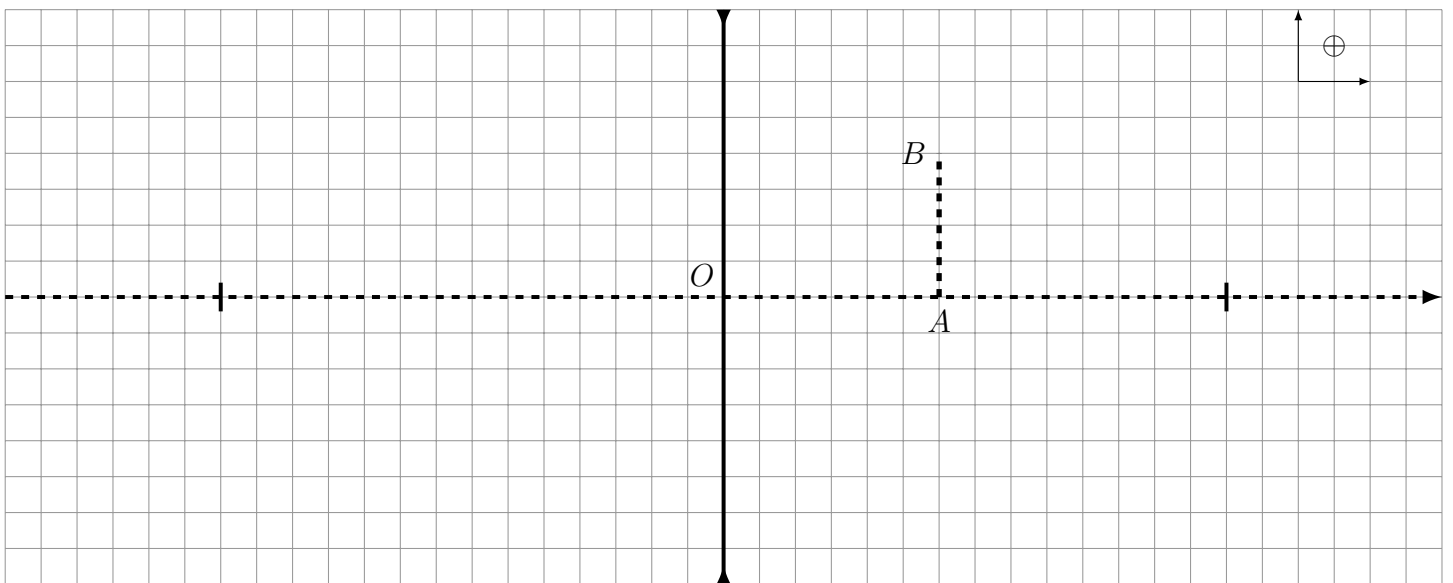
- Le rayon incident passant par B et par O ...
- Le rayon incident passant par B et dont le prolongement passe par F ressort
- Le rayon incident passant par B et parallèle à l'axe optique a son prolongement qui passe par ...



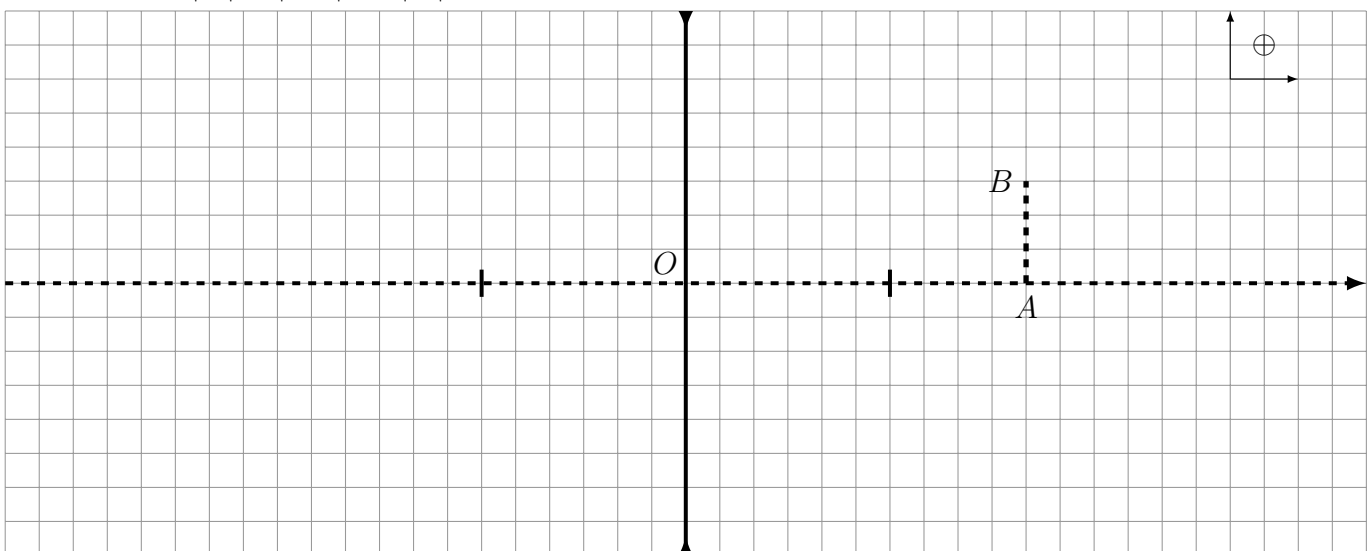
Les 3 rayons émergents ne se coupent pas. Les prolongements des 3 rayons émergents se coupent en B' , l'image est donc

■ Objet virtuel $|\overline{OA}| < |f'|$

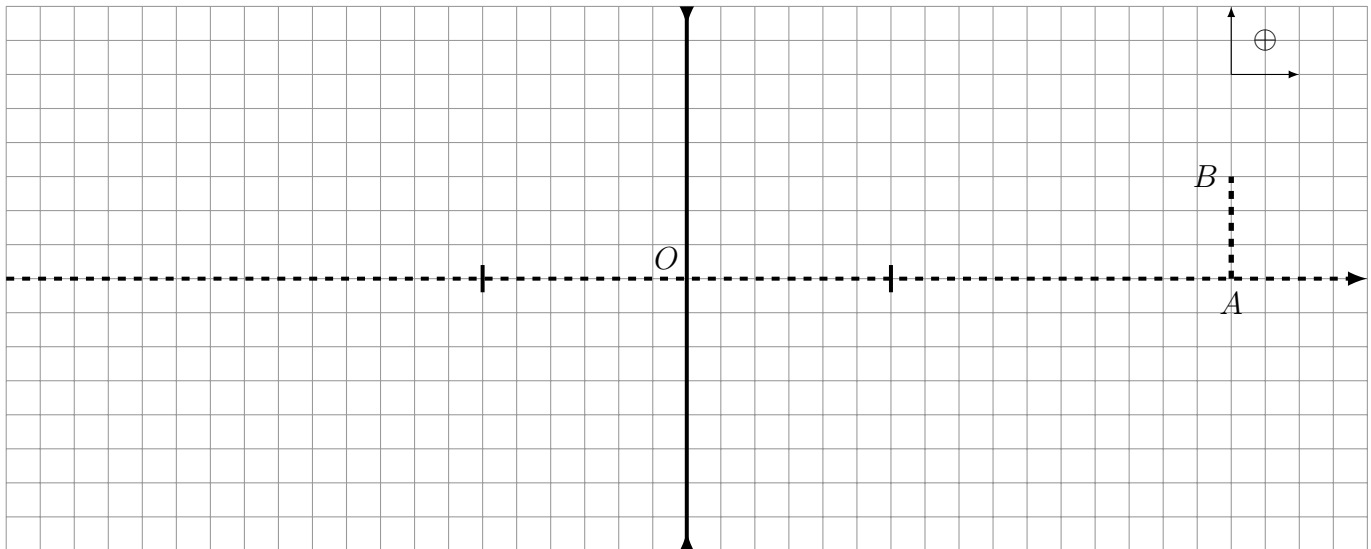
- Le rayon incident passant par B et par O ...
- Le rayon incident dont le prolongement passe par B et par F , ressort ...
- Le rayon incident parallèle à l'axe optique et dont le prolongement passe par B ressort ...



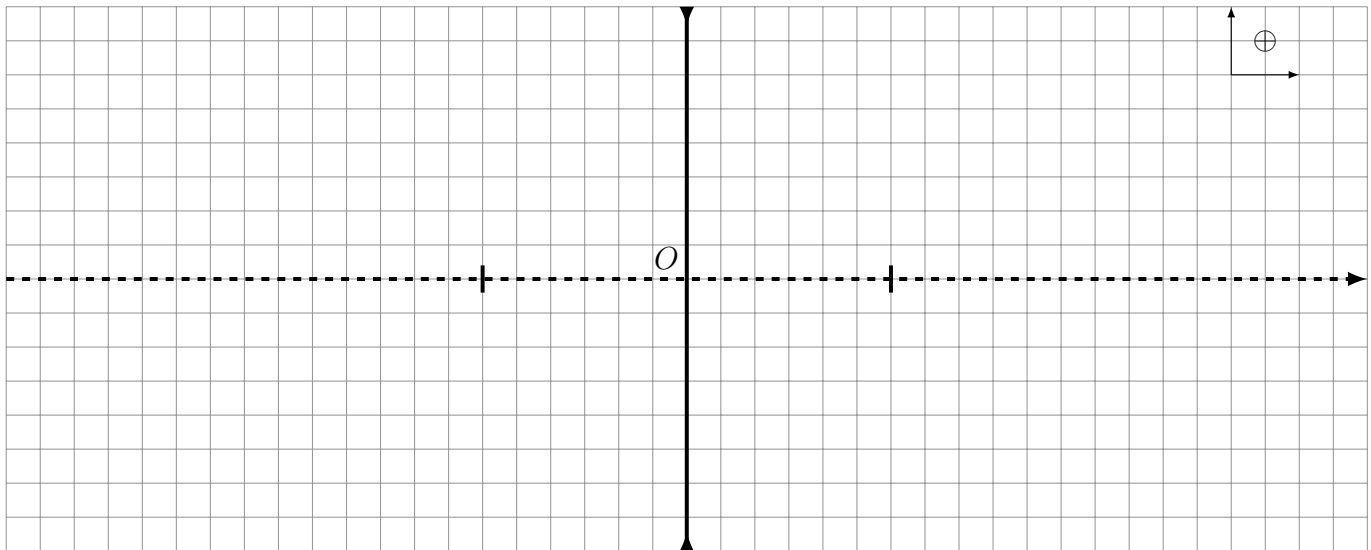
■ Objet virtuel $|f'| < |\overline{OA}| < 2|f'|$



■ Objet virtuel $|\overline{OA}| > 2|f'|$



■ Objet virtuel dans le plan focal objet



IV.4 Relations de conjugaison et de grandissement transversal

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

Définition : Grandissement transversal

Le **grandissement transversal** est le rapport algébrique de la taille de l'image $\overline{A'B'}$ à celle de l'objet \overline{AB} , celui-ci étant orthogonal à l'axe optique : $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$

C'est une grandeur algébrique (positive ou négative) sans dimension.

Exercice de cours F

Q1. Que peut-on dire sur l'objet et l'image si $\gamma > 0$? si $\gamma < 0$?

Q2. Que peut-on dire sur l'objet et l'image si $|\gamma| > 1$? si $|\gamma| < 1$?

Les **relations de grandissement transversal** relient la taille de l'image à celle de l'objet.

Les **relations de conjugaison** sont des relations mathématiques qui relient la position d'un point objet situé sur l'axe optique à la position du point image conjugué.

♥ À retenir : Formules de conjugaison et de grandissement transversal

Pour un objet AB transverse avec A situé sur l'axe optique conjugué avec l'image $A'B'$ par une lentille mince de centre optique O , de foyer principal objet F , de foyer principal image F' et de distance focale f' : $A \xrightarrow{\mathcal{L}(O,f')} A'$

Relations	... de conjugaison	... de grandissement
... avec origine au centre (de Descartes)	$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$	$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$
... avec origine aux foyers (de Newton)	$\overline{F'A'} \times \overline{FA} = -f'^2$	$\gamma = \frac{\overline{F'A'}}{-f'} = \frac{f'}{\overline{FA}}$

⚠ Attention – Erreur à ne pas commettre

Toutes les grandeurs qui interviennent dans les relations de conjugaison sont des **grandeurs algébriques**. L'orientation choisie le long de l'axe optique est celle de la lumière incidente. Ainsi, il faut traduire « on photographie un objet à une distance de 5 m » par $\overline{OA} = -5$ m, si l'axe optique est orienté dans le sens de la lumière incidente.

Exercice de cours G

- Q1. Un objet AB de 0,5 cm est placé 30 cm avant une lentille convergente de distance focale 20 cm, perpendiculairement à son axe. Déterminer la position, la nature et la taille de l'image.
- Q2. Un objet virtuel est placé à 2 cm d'une lentille divergente de distance focale -3 cm. Déterminer la position de l'image et le grandissement transversal.

IV.5 Projection de l'image d'un objet réel

Capacités exigibles : Établir et connaître la condition $D \geq 4f'$ pour former l'image réelle d'un objet réel par une lentille convergente.

On cherche à projeter l'image d'un objet éclairé sur un écran, que l'on souhaite agrandie, lumineuse et nette sur l'écran, les positions de l'objet et de l'écran sont souvent fixées et donc la distance D entre les deux.

http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/optiqueGeo/focometrie/bessel.php

💡 Méthode : Établir la condition $D \geq 4f'$ pour la réalisation d'une projection

On souhaite déterminer une condition sur la distance D qui sépare un objet et l'écran sur lequel on souhaite projeter l'image de cet objet à l'aide d'une lentille convergente de distance focale f' .

1. Faire un schéma de la situation et poser $D = \overline{AA'}$.
2. Appliquer la relation de conjugaison de Descartes.
3. Exprimer $\overline{OA'}$ en fonction de \overline{OA} et D : $\overline{OA'} = \overline{OA} + D$.
4. Travailler l'équation précédente pour obtenir une équation du deuxième degré vérifiée par \overline{OA} .
5. Conclure avec le signe du discriminant de l'équation précédente donnant des solutions réelles.

🌀 Démonstration à connaître : Condition $D \geq 4f'$ pour réaliser une projection

- Q1. Lors d'une projection, quelles sont les natures (réelle/virtuelle) de l'objet et de l'image ?
- Q2. Quel type de lentille permet la réalisation d'une projection ?
- Q3. En partant de la relation de conjugaison de Descartes, établir une équation du deuxième degré vérifiée par \overline{OA} , en fonction de D et f' .
- Q4. À quelle condition sur D et f' peut-on utiliser la lentille pour réaliser une projection ?
- Q5. Combien existe-t-il de positions de la lentille par rapport à l'objet permettant la projection ?



♥ À retenir : Condition sur la distance objet-écran pour la projection

Pour réaliser la projection d'un objet sur un écran à l'aide d'une lentille convergente de distance focale f' , il faut placer l'écran à une distance D de l'objet quatre fois supérieure à la distance focale :

$$D \geq 4f'$$

⚠ Attention – Erreur à ne pas commettre

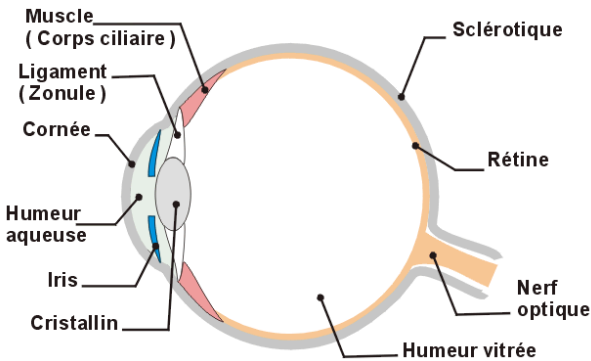
Cette relation ne fait que donner la distance minimale qui doit séparer un objet d'un écran pour pouvoir réaliser la projection de l'objet sur l'écran avec une lentille convergente donnée, elle ne sert à rien d'autre !

V Exemples d'instrument d'optique

V.1 L'œil

V.1.a) Modélisation

Capacités exigibles : Modéliser l'œil comme l'association d'une lentille de vergence variable et d'un capteur fixe.

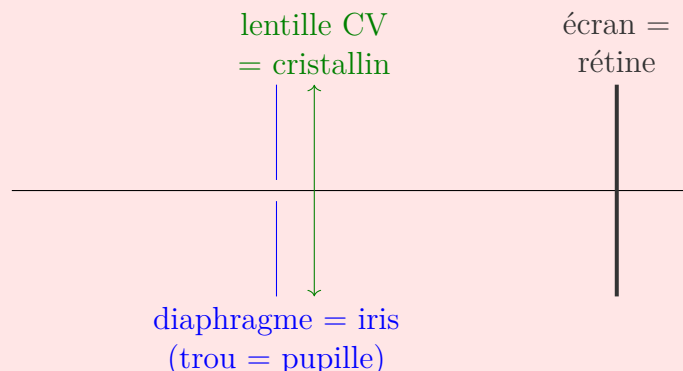


L'œil possède une forme environ sphérique de rayon environ 15 mm.

Éléments principaux de l'œil :

- L'iris (partie colorée) est percé de la **pupille** dont le diamètre est variable (entre 2 mm et 8 mm) et qui joue le rôle de **diaphragme** en limitant l'intensité lumineuse pénétrant dans l'œil (la taille de la pupille s'adapte à la luminosité de l'objet observé).
- Le **cristallin** est un muscle, qui, avec la cornée, est assimilable à une **lentille mince** biconvexe dont la distance focale est variable selon sa contraction (la vergence est de l'ordre de $+20 \delta$). Il donne d'un objet une image renversée sur la rétine.
- La **rétine** est constituée de cellules sensibles à la lumière (les cônes et les bâtonnets). Elle joue le rôle d'un **écran**.
- Le corps vitreux (ou humeur vitreuse) est une substance gélatineuse d'indice de réfraction 1,336.
- L'ensemble {rétine-nerf optique} code l'image sous la forme d'influx nerveux et l'envoie au cerveau par l'intermédiaire du nerf optique. Le cerveau interprète le message (retournement de l'image, correction de la distorsion, vision relief).

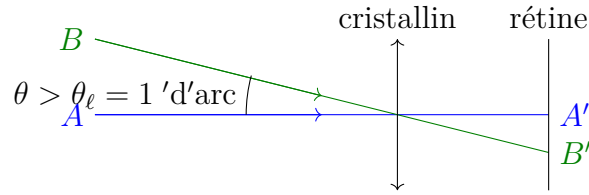
♥ À retenir : Modélisation optique de l'œil



V.1.b) Limite de résolution angulaire

Capacités exigibles : Connaître l'ordre de grandeur de la limite de résolution angulaire.

Deux points objet A et B sont vus distinctement si A' et B' , leurs images respectives sur la rétine se forment sur deux cellules de la rétine différentes.



Il faut que $A'B'$ soit supérieur à la taille d'une cellule de la rétine. Pour cela il faut que l'angle entre les rayons arrivant dans l'œil soit suffisamment grand (la taille de l'œil est fixée).

♥ À retenir : limite de résolution angulaire

On appelle **pouvoir séparateur angulaire de l'œil** l'angle limite sous lequel deux points lumineux peuvent être vus séparés. Il est **de l'ordre de 1' d'arc soit $(1/60)^\circ$ environ 3×10^{-4} radian** dans de bonnes conditions d'éclairement (ni trop sombre, ni trop lumineux).

Exercice de cours H Grande Muraille de Chine

La muraille de Chine fait une épaisseur d'environ 10 m et la distance Terre-Lune est d'environ $3,84 \times 10^5$ km. Est-ce que la muraille est visible depuis la Lune ?

V.1.c) Plage d'accommodation

Capacités exigibles : Connaître l'ordre de grandeur de la plage d'accommodation.

http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/optiqueGeo/instruments/correction.php

♥ À retenir : plage d'accommodation

- L'œil ne peut voir un objet net que si son image se forme sur la rétine.
- Un **œil au repos** voit net à une distance maximale, notée D_m correspondant au **punctum remotum (PR)**.
Un œil emmétrope (« normal ») voit net sans accommoder à l'infini, son PR se trouve donc à l'infini.
- Pour voir des objets plus proches, l'**œil doit accommoder** : le cristallin se bombe, grâce aux muscles ciliaires, afin de diminuer sa distance focale (il augmente sa vergence). Le plan de mise au point s'avance.
- Le point le plus proche que l'œil peut voir net est le **punctum proximum (PP)**. Le PP correspond à la distance minimale de vision distincte (notée d_m). Il vaut en moyenne 25 cm et tend à s'éloigner avec l'âge (presbytie).

Exercice de cours I

- Q1. Faire un schéma rendant compte de la vision d'un objet situé au punctum remotum d'un œil emmétrope.
- Q2. Pour que l'objet soit toujours vu net, où doit se former l'image de l'objet par le cristallin ? Dans l'œil, qu'est-ce qui ne varie pas ? Qu'est-ce qui varie pour permettre la vision nette ?
- Q3. Faire un schéma rendant compte de la vision d'un objet situé entre le punctum remotum et le punctum proximum. Comment évolue la distance focale du cristallin ?

V.2 Appareil photographique

V.2.a) Modélisation

Capacités exigibles : Modéliser l'appareil photographique comme l'association d'une lentille et d'un capteur.

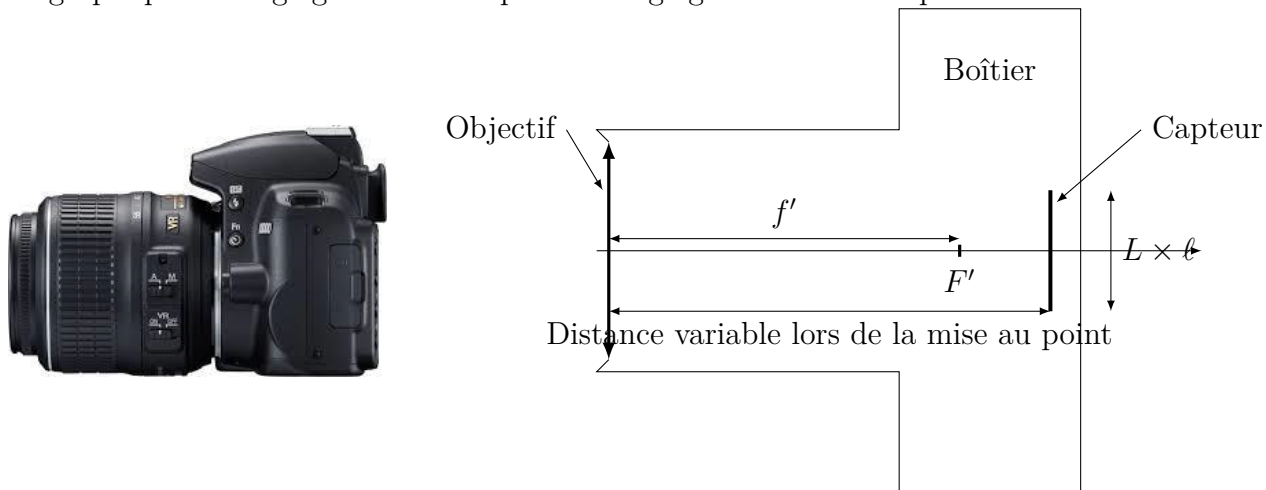
L'appareil photographique est un instrument d'optique complexe comprenant plusieurs lentilles, miroirs et diaphragmes. Les deux éléments essentiels d'un appareil sont l'objectif et le capteur photosensible. Cependant, on peut comprendre les grands principes de la photographie (en tant que technique) à l'aide de la modélisation simplificatrice de la figure ci-dessous qui en permet une description dans le cadre de l'optique géométrique :

- L'objectif d'un appareil photographique est constitué de plusieurs lentilles et diaphragmes : nous le modélisons comme l'association d'un unique diaphragme circulaire et d'une unique lentille mince convergente. L'objectif est caractérisé par sa focale (c'est-à-dire distance focale) f' et par le diamètre d'ouverture du diaphragme D

- Dans les appareils numériques, le capteur lumineux CCD (charge coupled device) est une matrice de cellules photosensibles : les pixels (picture element). Il est caractérisé par la taille des pixels, le grain noté g (en référence aux anciens appareils argentiques) et sa dimension $L \times \ell$ en pixels.

C'est le capteur numérique qui « capte » la lumière lorsque la photo est prise et transforme la lumière en signal électrique.

L'ensemble du dispositif ainsi schématisé admet un axe de révolution, il s'agit donc un système centré. La distance entre l'objectif et le capteur peut varier, entre f' et $f' + \delta$, avec δ ce qu'on appelle le tirage de l'appareil photographique. Le réglage de d correspond au réglage de la mise au point.



V.2.b) Profondeur de champ

Capacités exigibles : Construire géométriquement la profondeur de champ pour un réglage donné.

Pour réaliser une image nette d'un objet situé à une certaine distance de l'objectif, il faut réaliser la mise au point. Avec le modèle du paragraphe précédent, cette opération revient à jouer sur la distance d entre le capteur et la lentille de l'objectif de sorte que l'image de l'objet soit située sur le capteur.

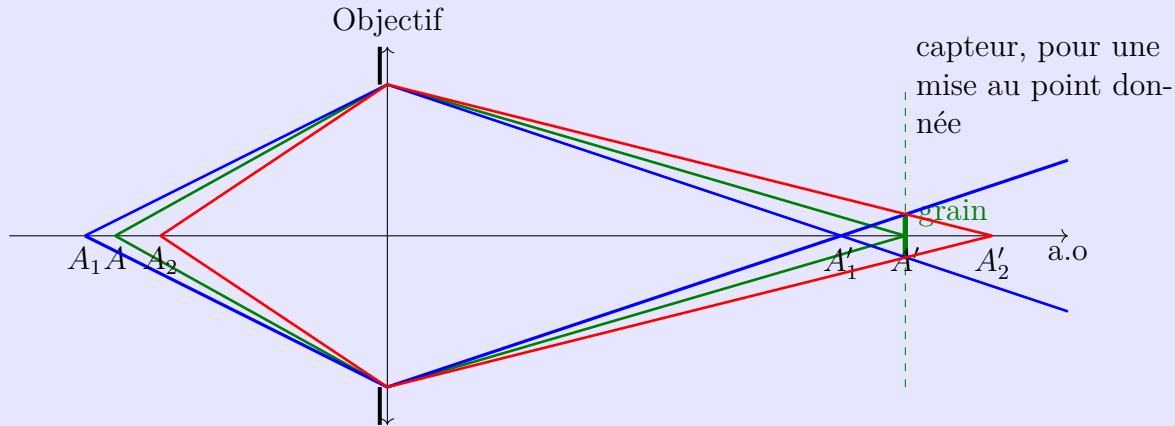
Or le capteur n'est pas ponctuel, mais est constitué de pixels ayant une certaine extension spatiale (le grain g). Tant que l'image d'un point objet sur le capteur sera d'une taille inférieure au grain, si l'exposition est suffisante, tout se passera comme si l'image était ponctuelle. Le capteur ne fait pas de différence entre les deux situations et donnera une image nette. Ainsi, pour une mise au point donnée, on définit la profondeur de champ comme la zone de l'espace dans laquelle tout objet photographié sera net.

📷 Définition : Profondeur de champ

On appelle **profondeur de champ (PDC)** la distance entre les deux points objet extrêmes de l'axe optique dont les images sont vues nettement sur le capteur de l'appareil photo, pour une mise au point donnée.

Sur le schéma ci-dessous, la mise au point est effectuée sur A : le capteur est placé au niveau de A' , image de A par l'objectif.

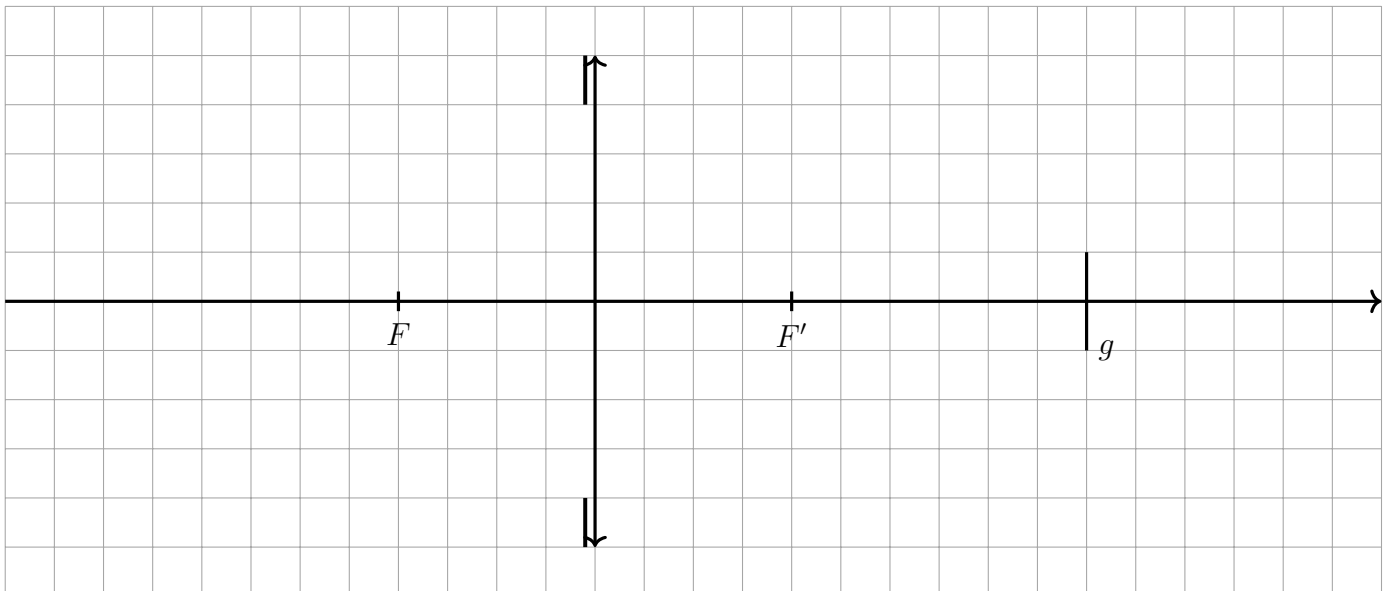
Les objets situés entre A_1 et A_2 sont nets, aux autres positions l'objet est flou, la profondeur de champ est la distance A_1A_2 .



🔪 Construction géométrique de la PDC

On souhaite déterminer graphiquement la profondeur de champ dans le cas où l'appareil photo est réglé pour photographier nettement le point A . On considère un capteur placé dans le plan de A' , et un pixel de hauteur g centré sur l'axe optique.

Q1. Déterminer la position du point objet A conjugué du point image A' situé sur la cellule du capteur et l'axe optique.



Q2. Déterminer les positions des deux points image extrêmes, A'_1 et A'_2 qui apparaîtront nets sur l'écran.

Q3. Déterminer les positions des deux points objets A_1 et A_2 conjugués par la lentille avec A'_1 et A'_2 .

Q4. Identifier la profondeur de champ.

V.2.c) Paramètres influençant la formation d'une image

Capacités exigibles [TP] : Étudier l'influence de la focale, de la durée d'exposition, du diaphragme sur la formation de l'image.

♥ À retenir : Formation d'une image par un appareil photo

Trois paramètres importants peuvent être modifiés :

- La **durée d'exposition** $\tau_{\text{exposition}}$ est la durée pendant laquelle la lumière arrive sur le capteur. L'énergie lumineuse reçue par les capteurs est proportionnelle à la durée d'exposition.
- L'ouverture du **diaphragme d'ouverture** est caractérisée par le **nombre d'ouverture** $NO = \frac{f'}{D}$, où D est le diamètre de l'ouverture.
 - L'énergie lumineuse est proportionnelle au diamètre de l'ouverture au carré. Ainsi l'énergie reçue par le capteur CCD est d'autant plus élevée que le nombre d'ouverture est faible. L'énergie lumineuse reçue par le capteur CCD est donc proportionnelle à $\tau_{\text{exposition}} \times D^2$. La durée d'exposition et l'ouverture du diaphragme doivent être réglées simultanément pour que le capteur CCD reçoive une quantité de lumière convenable.
 - La **profondeur de champ** est d'autant plus importante que le diamètre du diaphragme D est petit.
 - Lorsque le diaphragme est « petit », la diffraction peut se produire. Elle aura un effet sur la qualité de l'image dès lors que la tache de diffraction sera de taille supérieure à un pixel du capteur CCD.
- La **distance focale** de l'objectif de l'appareil photo (lentille mince convergente) agit sur :
 - le **champ angulaire** (champ de vision de la photo) qui est nettement plus large quand la distance focale est petite ;
 - la **profondeur de champ** qui est d'autant plus grande que la distance focale est petite.