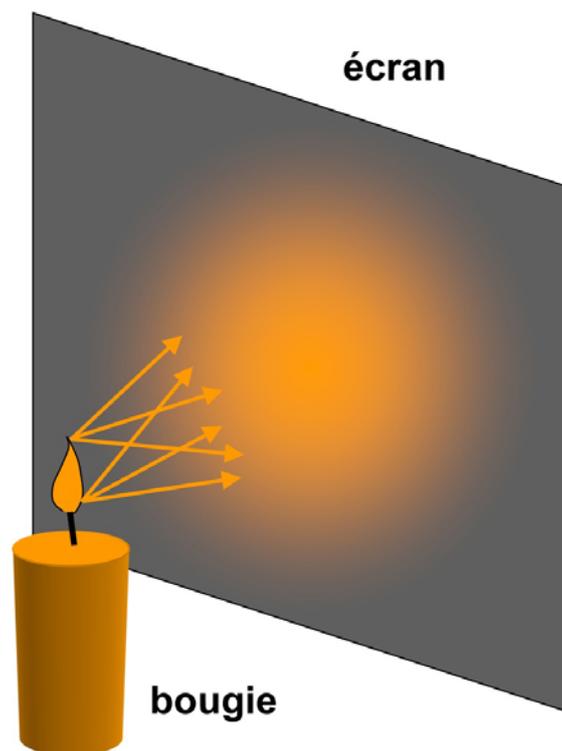


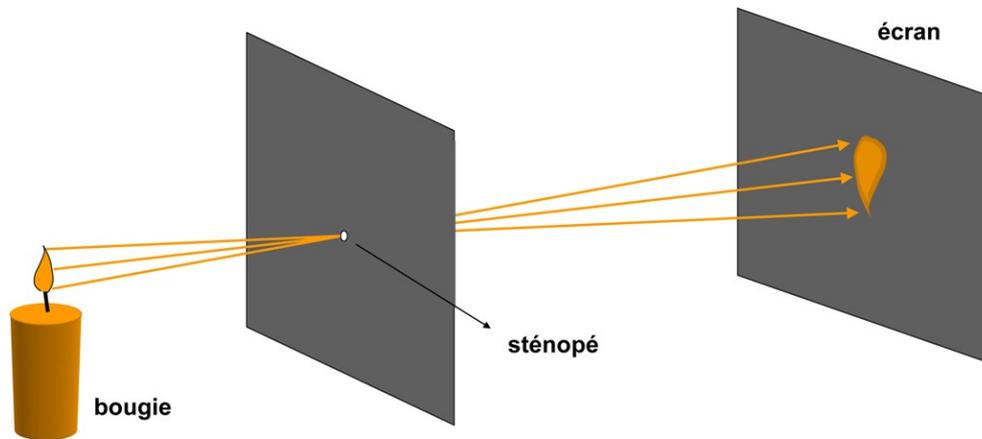
## Cours 7 : Images

Pour pouvoir voir les objets qui nous entourent, que ce soit par l'intermédiaire de l'œil ou d'un objectif d'appareil photo, il est nécessaire *de récupérer la lumière* qui nous parvient et d'en *extraire un très grand nombre d'informations* : nous avons besoin de savoir quel objet est à quel endroit, quelle est sa forme, s'il est plutôt sombre ou lumineux, quelle est sa couleur, etc...

La difficulté provient du fait que les objets nous envoient souvent de la lumière de façon complexe. Qu'il s'agisse de sources primaires (directement productrices d'énergie lumineuse) ou de sources secondaires (qui se contentent de diffuser la lumière reçue), les objets que nous observons ont un point commun : *chaque point de l'objet envoie des rayons dans presque toutes les directions de l'espace*. Ainsi, si l'on éclaire un mur avec la flamme d'une bougie, la tache projetée ne nous renseigne pas sur la forme de la flamme, car chaque point lumineux contribue à éclairer toute une partie du mur :

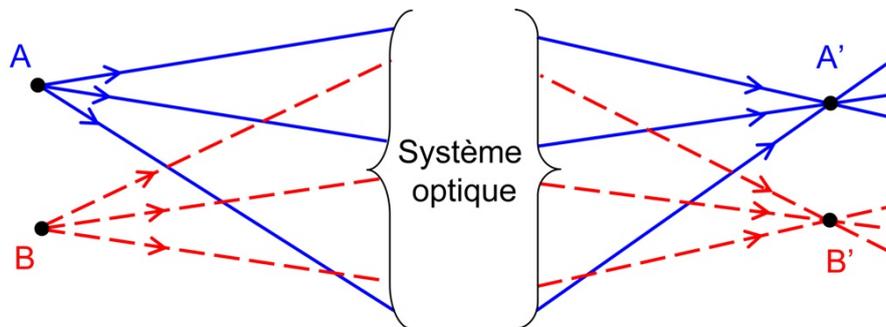


Un moyen de récupérer l'information sur la forme de la flamme est d'utiliser un *sténopé*, c'est-à-dire un petit trou percé dans une boîte hermétique à la lumière (figure ci-dessous). Dans un tel cas les seuls rayons lumineux qui peuvent atteindre le fond de la boîte sont ceux qui se sont propagés en ligne droite en passant par le trou. Ainsi, sur un écran ou sur une pellicule placée au fond de la boîte, *on observe une tache lumineuse ayant conservée la forme de la flamme* (bien qu'elle soit inversée par rapport à la flamme réelle).



Ce procédé, qui a permis la réalisation des premiers appareils photographiques, souffre toutefois de plusieurs inconvénients. Premièrement, on ne peut pas utiliser un trou trop petit, car sinon la forme projetée sur l'écran serait trop peu lumineuse par rapport à l'objet qu'on observe. Mais du fait de la taille finie du trou, il y a toujours plusieurs rayons lumineux qui peuvent partir d'un même point et passer à travers le trou pour atteindre l'écran : chaque point de l'objet forme donc une petite tache lumineuse sur l'écran, et la forme projetée au final manque de netteté.

Pour réaliser une photographie nette, il est nécessaire d'aller plus loin en récupérant la lumière émise par chaque point de l'objet et en la renvoyant vers un unique *point-image*. Ceci peut-être obtenu en utilisant un système optique (c'est-à-dire un dispositif manipulant les rayons lumineux) qui focalise les rayons émis par chaque point, comme sur la figure ci-dessous. Les rayons émis par le point  $A$  sont focalisés en un point  $A'$ , ceux émis par un autre point  $B$  sont focalisés en  $B'$ , et ainsi de suite, de façon à réaliser une *bijection* entre les points-objets ( $A, B, C\dots$ ) et les points-images correspondants ( $A', B', C'\dots$ ).



Nous utiliserons régulièrement dans les cours prochains les définitions suivantes :

- L'image réelle d'un point est le lieu où *convergent* les rayons issus de ce point.
- L'image réelle d'un objet est l'ensemble des différents points-images associés aux différents points de l'objet.

Dans la figure ci-dessus  $A'$  est donc l'image réelle de  $A$ ,  $B'$  l'image réelle de  $B$ , et  $A'B'$  l'image réelle de l'objet  $AB$ . L'adjectif « réel » est ajouté pour préciser que les rayons lumineux convergent réellement vers les points  $A'$ ,  $B'$ , etc..., contrairement aux images « virtuelles » que nous étudierons plus loin.

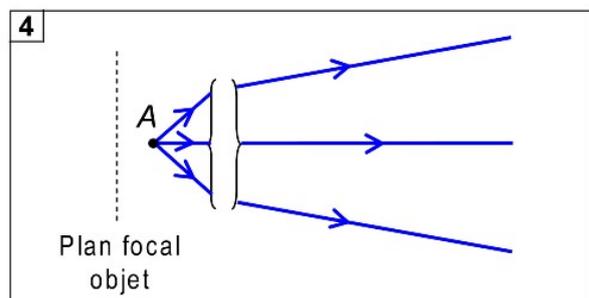
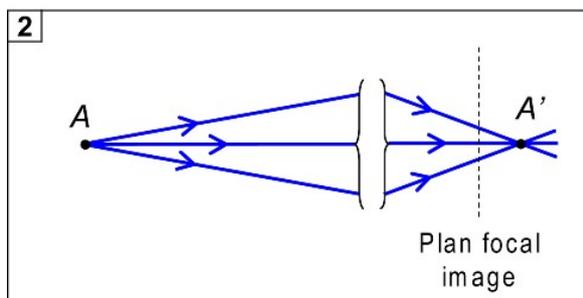
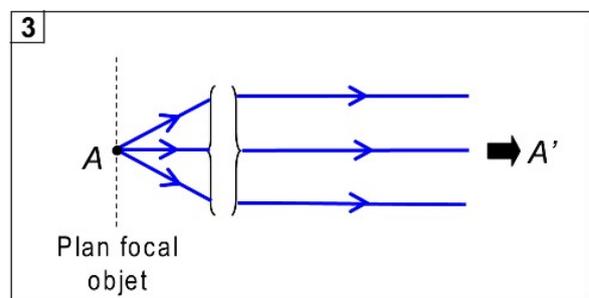
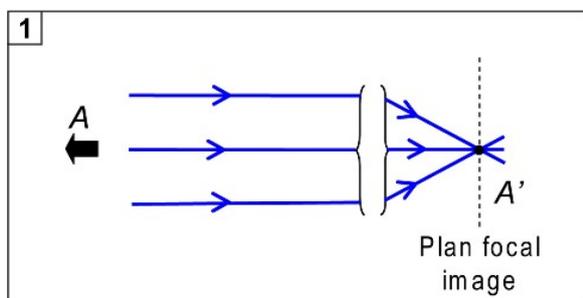
L'intérêt de réaliser une image réelle apparaît si l'on emploie des détecteurs pour *enregistrer* l'image. Dans le cas d'un appareil photo numérique, c'est une matrice composée de millions de détecteurs (les « pixels ») qui est positionnée à l'endroit où se forme l'image : le pixel

placé en  $A'$  reçoit la lumière émise par  $A$ , tandis que le pixel placé en  $B'$  reçoit la lumière émise par  $B$ , etc... Si les proportions sont respectées (c'est-à-dire si la distance  $A'B'$  entre deux points-images est bien proportionnelle à la distance  $AB$  entre les points-objets), on obtient sur la matrice de détecteurs une reproduction fidèle de l'objet original.

Notons que la position de l'image réelle  $A'B'$  dépend fortement de la distance entre l'objet  $AB$  et le système optique : à un objet lointain correspondra une image proche, et réciproquement, à un objet proche correspondra une image lointaine. Nous utiliserons régulièrement dans les cours prochains les deux définitions suivantes, correspondant à deux cas limites :

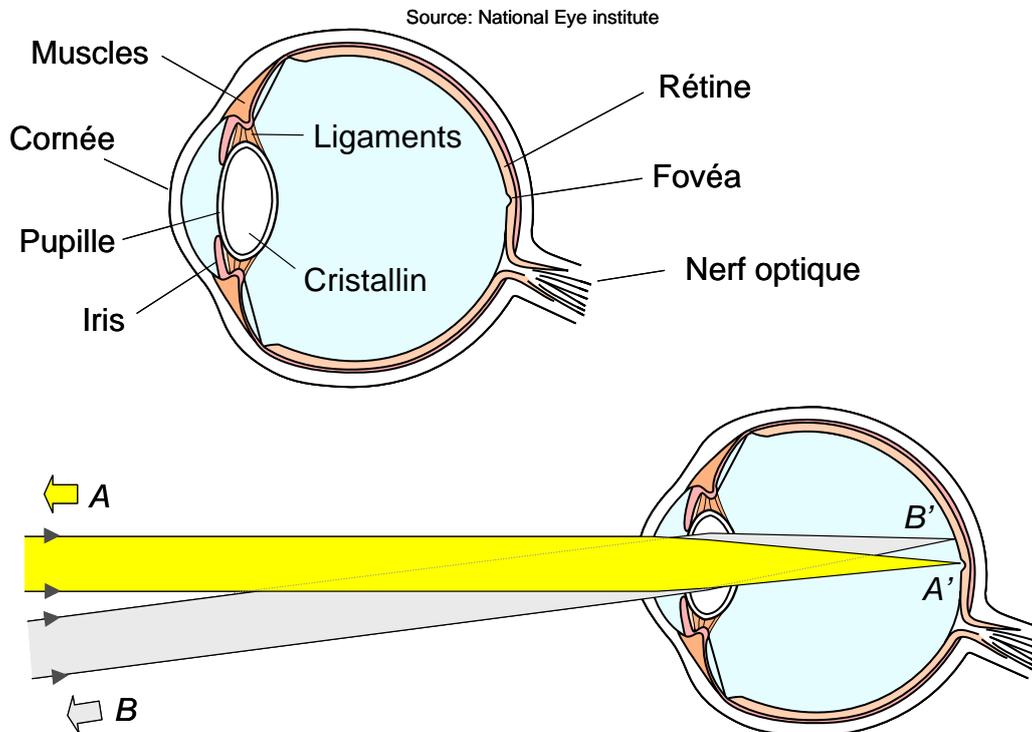
- Lorsque un objet est situé « à l'infini », l'image correspondante est située dans le *plan focal image*
- Lorsqu'une image est située « à l'infini », l'objet correspondant est situé dans le *plan focal objet*

Ces définitions abstraites prennent sens en étudiant les quatre figures ci-dessous. La figure 1 correspond au premier cas limite où le point objet  $A$  est situé à l'infini, c'est-à-dire *tellement loin que les rayons qu'il émet arrivent parallèles entre eux*. Le point image  $A'$  est alors situé dans le plan focal image, d'après la définition ci-dessus. La figure 2 correspond à un point objet  $A$  plus proche, qui conduit à un point image  $A'$  plus éloigné que le plan focal image: le système optique refocalise en effet moins facilement des rayons qui sont déjà divergents au départ. La figure 3 illustre le cas limite où l'objet est précisément situé dans le plan focal objet; dans une telle situation le système optique ne parvient à réaliser une image qu'à l'infini, c'est à dire que les rayons issus de  $A$  ne convergeront qu'en un point  $A'$  extrêmement lointain. La figure 4 correspond à un objet encore plus proche que le plan focal objet, et donc à des rayons tellement divergents que le système optique ne parvient plus du tout à les refocaliser. Dans un tel cas aucune image réelle n'est produite.



Chaque fois que l'on réalise ou que l'on étudie un instrument d'optique, nous devons donc répondre à la question suivante : *où est l'image ?* Dans le cas d'un appareil photographique, par exemple, il est important de positionner la matrice de détecteurs exactement au bon endroit, pour récupérer une image nette de l'objet photographié: c'est ce que l'on appelle le processus de *mise au point*.

Dans l'œil, la cornée et le cristallin constituent un système optique qui forme l'image du monde observé sur les récepteurs de la rétine : les cônes et les bâtonnets (cf cours n°5). La fovéa est la zone centrale de la rétine très dense en cônes, qui permet une vision précise pour les objets situés en face de l'œil, tandis que le reste de la rétine est associé à la vision périphérique. Le diamètre de la pupille est ajustable par l'intermédiaire de l'iris, qui sert de diaphragme pour régler la quantité de lumière pénétrant dans l'œil.



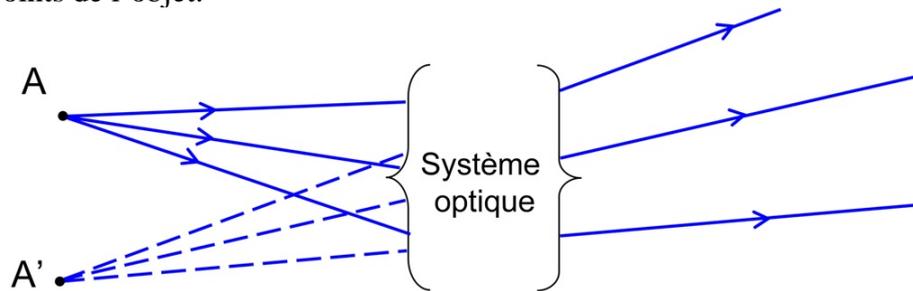
La figure ci-dessus est réalisée dans le cas limite où les rayons sont issus de points lointains  $A$  et  $B$ , situés très à gauche du dessin, émettant des rayons quasiment parallèles entre eux. Les rayons sont alors focalisés sur la rétine aux points-images  $A'$  et  $B'$ , grâce à la forme incurvée du cristallin. Lorsque l'on observe un objet proche, par contre, les rayons arrivants dans l'œil sont plus divergents et donc plus difficiles à focaliser; l'œil doit alors augmenter son pouvoir focalisant pour que l'image  $A'B'$  soit quand même formée sur la rétine. Cet ajustement du pouvoir focalisant de l'œil se fait en contractant les muscles qui entourent le cristallin, pour modifier sa courbure: on dit dans un tel cas que l'œil fait un effort d'*accommodation*. Les défauts de l'œil les plus fréquents proviennent de difficultés à focaliser précisément sur la rétine l'image réelle de l'objet observé : on parle de *myopie* lorsque le cristallin est trop focalisant, d'*hypermétropie* lorsqu'il ne l'est pas assez, et de *presbytie* lorsque l'œil, avec l'âge, a de plus en plus de mal à accommoder.

La notion de stigmatisme/astigmatisme correspond quant à elle à un concept plus général, valable pour n'importe quel système optique imageur et pas seulement pour l'œil. On parle de *stigmatisme idéal* lorsque *tous* les rayons émis par  $A$  sont effectivement focalisés en un unique point  $A'$ . Dans le cas où la grande majorité des rayons est focalisé en  $A'$ , mais pas tous, on parle de *stigmatisme approché* : c'est cette dernière situation que l'on rencontre le plus fréquemment. Une personne *astigmatique* est gênée dans sa vision, parce que la forme de son cristallin ne permet de focaliser qu'une partie des rayons lumineux au bon endroit, les autres rayons étant dispersés ailleurs sur la rétine.

La notion d'image apparaît également dans un autre contexte que pour les images réelles :

lorsque l'on croit voir un objet à un endroit alors qu'il est en réalité ailleurs. Comme le montre la figure ci-dessous, il faut pour cela qu'un système optique dévie les rayons émis par un point  $A$ , mais sans les refocaliser, et de façon telle que les rayons sortants *semblent provenir d'un autre point  $A'$* . On parle dans un tel cas d'image « virtuelle », car les rayons lumineux ne convergent pas vers  $A'$  mais au contraire semblent diverger depuis  $A'$ . Bien entendu, pour réaliser l'image virtuelle d'un objet (et pas seulement d'un point) il faut qu'il y ait une *bijection* entre les points de l'objet ( $A, B, C\dots$ ) et les points-images correspondants ( $A', B', C'\dots$ ). On utilisera donc dans les cours prochains les définitions suivantes :

- L'image virtuelle d'un point est le lieu *d'où semblent diverger* les rayons issus de ce point.
- L'image virtuelle d'un objet est l'ensemble des différents points-images associés aux différents points de l'objet.



De nombreux systèmes permettent de réaliser une image virtuelle des objets qui nous entourent : un miroir plan, une lentille (comme nous le verrons dans le cours suivant), ou simplement une interface entre deux milieux... Ainsi, lorsque l'on regarde un poisson dans l'eau, on observe en réalité une image virtuelle du poisson, comme l'illustre la figure ci-dessous. Les rayons lumineux émis par la tête du poisson (point  $A$ ) semble provenir d'un point  $A'$  plus proche de la surface, et il en est de même pour les rayons lumineux émis par le point  $B$  à l'autre extrémité du poisson. L'image virtuelle observée,  $A'B'$ , donne l'illusion d'un poisson plus proche de la surface qu'il ne l'est réellement.

