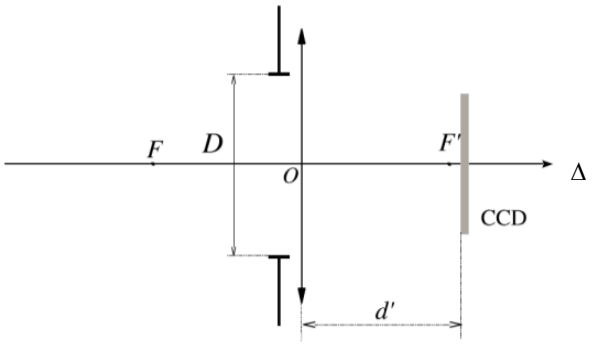
Exercice 1 L'appareil photo numérique, approche documentaire

La photographie est à la fois une technique et une discipline artistique. La partie optique peut être abordée à plusieurs niveaux, le premier d'entre eux consistant à modéliser simplement l'appareil photographique, de manière à proposer une description dans le cadre de l'optique géométrique.
Quelques paramètres simples apparaissent alors : **distance focale**, **durée d'exposition** et **ouverture du diaphragme**, que tout photographe se doit de savoir définir et ajuster.

Le but de cette activité documentaire est de comprendre l'influence de ces différents paramètres sur la formation d'une image.

Document 1 : modélisation d'un appareil photographique

L'appareil photographique est un instrument d'optique complexe comprenant plusieurs lentilles, miroirs et diaphragmes. Les deux éléments essentiels d'un tel 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 suivante qui en permet une description dans la cadre de l'optique géométrique.



Modélisation de l'appareil photographique

● L'objectif d'un appareil photographique est constitué de plusieurs lentilles et diaphragmes : nous le modélisons comme l'association d'un **unique diaphragme** et d'une **unique lentille mince convergente**. L'objectif est caractérisé par sa focale (i.e. distance focale) $f' = \overline{OF'}$. Le diaphragme constitue une ouverture quasi-circulaire de **diamètre d'ouverture D** permettant de limiter la quantité de lumière entrant dans l'appareil. L'ouverture de ce diaphragme s'effectue pendant une durée τ (tau) appelée **durée d'exposition** ou **temps de pose** qui détermine la quantité de lumière qui entre dans l'appareil.

● Un capteur photosensible constitué d'une matrice de cellules ou pixels. La dimension caractéristique correspondante est notée g, pour grain, appellation remontant aux pellicules argentiques dont la couche photosensible était une émulsion. Dans un appareil numérique, les cellules sont constituées de composants accumulant une charge électrique fonction de la quantité de lumière reçue (CCD pour *Charge Coupled Device* : composant à transfert de charge). La plaque CCD est caractérisée par ses dimensions et son nombre total de pixels.

L'appareil photographique ainsi modélisé est un système centré d'axe optique Δ. Notons que la distance d' séparant l'objectif du capteur varie entre f' (mise au point à l'infini) et f'+δ (mise au point à distance finie) où δ est appelé **tirage** de l'appareil photographique.

● Effectuer une **mise au point** consiste à régler correctement la distance entre l'objectif et le capteur de manière à former d'un objet (quelque soit sa position) une **image nette sur ce capteur**.

Retenons donc que les principaux paramètres intrinsèques à l'appareil photographique influençant l'image obtenue lors de la photographie d'une scène sont au nombre de trois :

● La **focale** ou distance focale f' ;
● La **durée d'exposition** (durée d'ouverture de l'obturateur) τ ;
● Le **diamètre d'ouverture** du diaphragme D.

Document 2 : **exposition d'une photo**

Une photo correctement exposée est obtenue lorsque le capteur numérique de l'appareil photo a reçu une quantité de lumière appropriée par rapport à la luminosité de la scène que l'on a photographiée. Concrètement, la photo ne sera donc ni trop claire, ni trop sombre, mais bien équilibrée du point de vue de la quantité de lumière. Cette quantité de lumière dépend des deux paramètres suivants :

● la vitesse de l'obturateur ou le temps de pose τ Les valeurs habituelles rencontrées sont les suivantes :

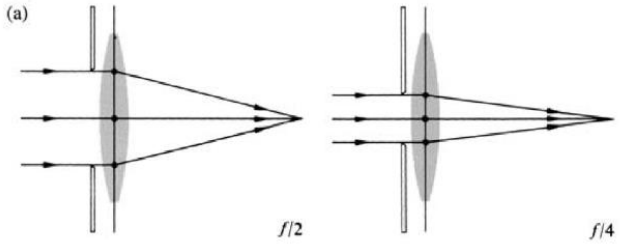
τ (en s)	1/2000	1/1000	1/500	1/250	1/125	1/60	1/30	1/15	1/8	1/4	1/2	1	2

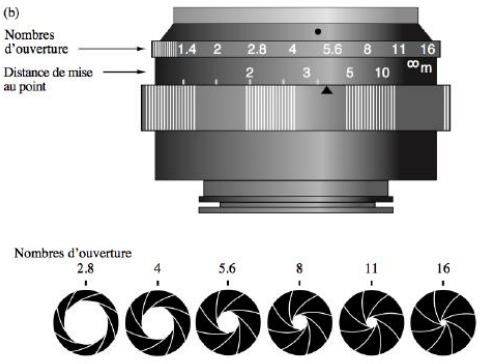
● le diamètre d'ouverture du diaphragme D.
On définit N le nombre d'ouverture de l'objectif (grandeur sans dimension) par :

$$N = \frac{f'}{D}$$

Dans cette expression, D est donc le diamètre du diaphragme utilisé. Plus N est élevé, plus de diaphragme est fermé (ce qui peut porter à confusion…). L'indication qui s'affiche sur l'écran de l'appareil est en général de la forme f/N, f désignant la focale (on indique en faire le diamètre du diaphragme).







Les valeurs de N couramment rencontrées sont les suivantes :

N	1	1.4	2	2.8	4	5.6	8	11	16	22	32

Pour passer d'une valeur de N à celle qui lui est juste supérieure, on multiplie sa valeur par $\sqrt{2}$. Ainsi, quand on double le temps d'exposition, en augmentant d'un cran la valeur de N on retrouve les mêmes conditions d'exposition.

Les photos suivantes ont été prises avec une distance focale fixe de 52 mm en changeant uniquement le temps de pose.



Quelques remarques

● Dans le cas de scènes animées, lorsque les mouvements sont rapides (photographier une Formule 1 à pleine vitesse par exemple !), c'est plutôt le choix d'une faible durée d'exposition qui prime : l'ouverture est alors choisie en conséquence.

● On parle d'exposition : certains clichés pouvant être sous-exposés ou sur-exposés. Pour qu'une photo soit bien exposée, il faut choisir une certaine combinaison entre la vitesse de l'obturateur (c'est-à-dire le temps d'exposition τ) et le nombre d'ouverture N qui soit appropriée à la luminosité de la scène que l'on veut photographier.

Document 3 : profondeur de champ

La profondeur de champ désigne communément la zone de l'espace dans laquelle doit se trouver l'objet à photographier pour que l'on puisse en obtenir une image nette. Pour qu'une image soit nette, il faut que l'image de tout point de l'objet photographié **donne une tache sur l'écran de dimension inférieure à la taille du pixel**.

Soit δ la dimension caractéristique d'un pixel (plus petit élément du capteur). Un point objet A situé sur l'axe optique admet une image sur le capteur en A' (la mise au point est faite sur A).

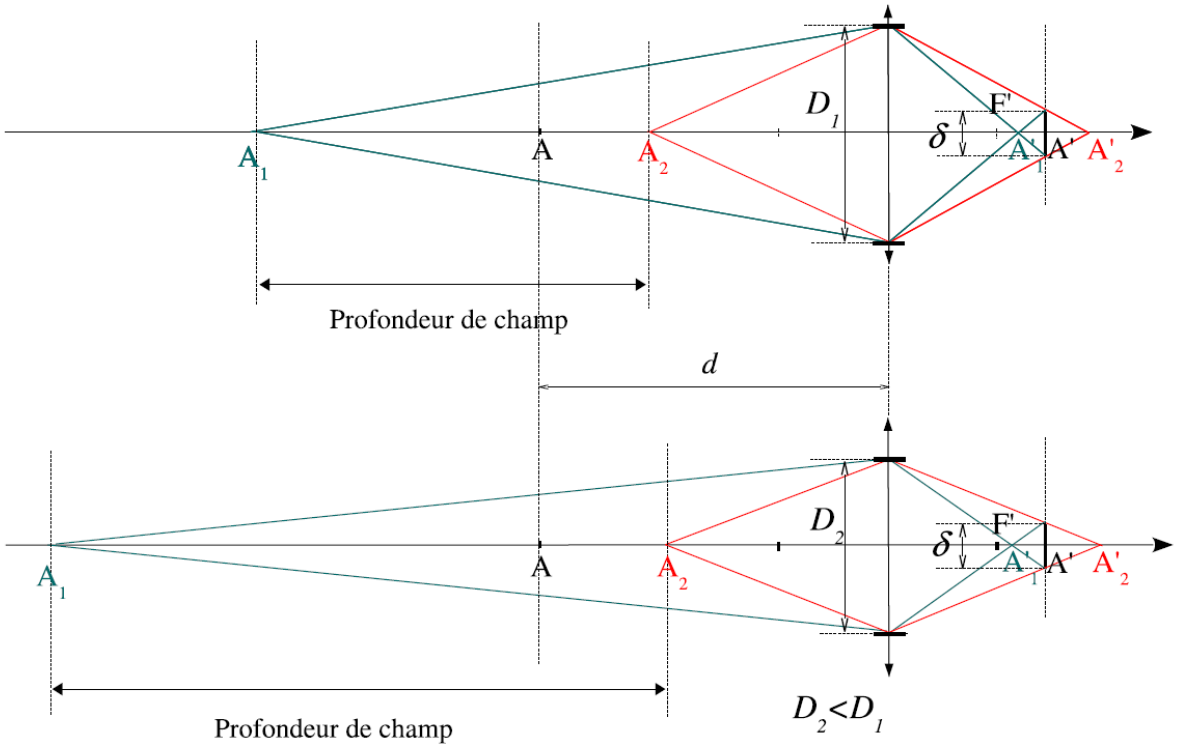
Soit un point A_1 situé sur l'axe optique mais plus loin de l'appareil : son image A'_1 se forme en avant du capteur et le faisceau lumineux issu de A_1 fait une tache sur le capteur.

De même, un point A_2 situé sur l'axe optique mais plus près de l'appareil a une image A'_2 qui se forme derrière le capteur et le faisceau lumineux issu de A_2 fait une tache sur le capteur.

On considère le cas limite où A_1 et A_2 forment chacun une tache sur le capteur de dimension δ égale à celle d'un pixel.

Tout point compris entre A_1 et A_2 donnera une tache sur l'écran de dimension inférieure à δ, et donc sera vu net. A_1A_2 correspond à la profondeur de champ.

Cette situation est représentée sur la figure page suivante. En A', image de A, on a fait figurer la tache de diamètre δ correspondant à la taille du pixel. On passe d'une figure à l'autre en diminuant le diamètre du diaphragme. La distance d représente la distance de mise au point.



Lorsque le diamètre du diaphragme diminue, A'_2 se déplace vers la droite, et donc A_2 également (puisque l'objet et son image se déplace dans le même sens – voir les formules de conjugaison). Simultanément, A'_1 se déplace vers la gauche en se rapprochant du foyer et l'objet A_1 se déplace vers la gauche, de manière d'autant plus importante que A'_1 se rapproche de F. L'écart entre A_1 et A_2 augmente et donc la profondeur de champ augmente.
On peut remarquer également qu'une diminution de la taille du pixel diminuerait la profondeur de champ.

On peut montrer (les courageux pourront le faire) que la profondeur de champ $\overline{A_1A_2}$ vérifie la relation suivante :

$$\overline{A_1A_2} = \frac{2\delta N d(d-f')}{f'^2 - \frac{(d-f')^2\delta^2N^2}{f'^2}}$$

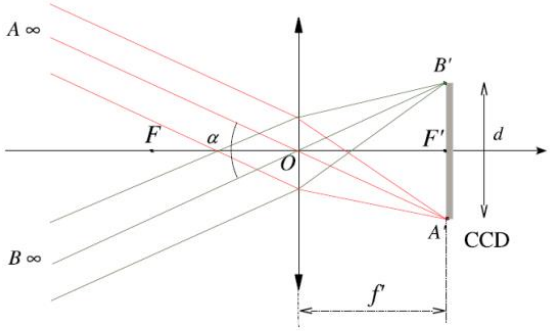
Point important à retenir :

● Pour une distance de visée d donnée, et pour une focale f' donnée, la profondeur de champ augmente lorsque le diamètre du diaphragme diminue et donc lorsque le nombre d'ouverture augmente.

Document 4 : champ angulaire

Si la mise au point est faite sur l'infini, l'image se forme dans le plan focal de l'objectif, où on place le capteur CCD. Soit d une dimension caractéristique du capteur (largeur, hauteur ou diagonale de la plaque CCD).

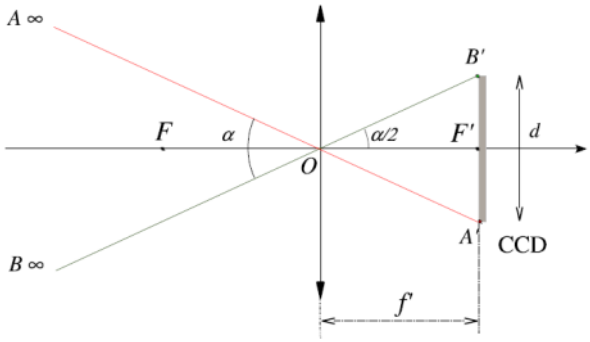
Sur cette première figure on a considéré deux points A et B à l'infini, dont les images respectives se forment à la limite du capteur. L'angle α correspond au **champ angulaire** de l'objectif. Il dépend de la taille du capteur et de la focale f'.



Mise au point à l'infini

Le champ angulaire α vérifie la relation :

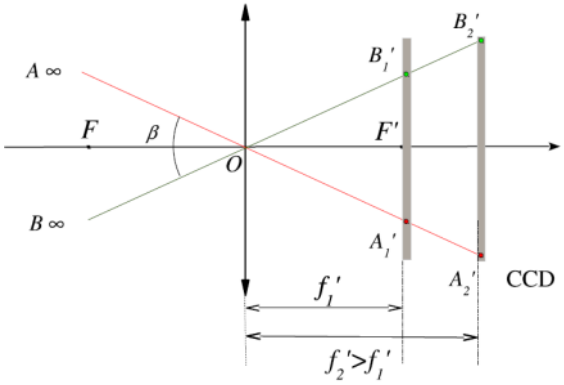
$$\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)=\frac{d}{2f'}$$



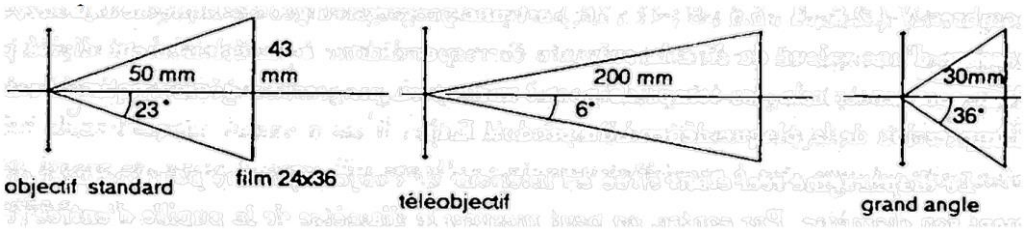
À d fixée, plus f' diminue, plus α augmente. Pour une taille donnée de capteur, un objectif grand angle aura donc une focale petite. Il sera utile pour photographier un paysage. Inversement, une focale longue aura un champ angulaire plus faible : elle sera utilisée pour zoomer. En effet, plus la focale est grande, plus la taille d'un objet à l'infini sur le capteur sera grande :

Un objet à l'infini vu sous l'angle β aura une image d'autant plus grande sur le capteur que la focale est élevée :

$A'_2B'_2 > A'_1B'_1$ si $f'_2 > f'_1$



Quelques exemples de distance focale associée au type d'objectif utilisé (la taille du capteur est constante) :



Points importants à retenir :

● Lorsque l'on augmente la distance focale de l'objectif (on « zoome »), on diminue le champ angulaire. Cette situation est utilisée pour photographier des détails d'objets « lointains ». .
● Lorsque l'on diminue la distance focale de l'objectif, on augmente le champ angulaire. Cette situation est appropriée lorsque l'on veut par exemple photographier un paysage.

Document 5 : caractéristique du capteur CCD

Ses dimensions et son nombre de capteurs

Celles-ci varient d'une technologie à l'autre et d'un fabricant à l'autre. On pourra retenir que le capteur est caractérisé par ses dimensions (largeur par longueur) et par son nombre de pixels.
Exemple : CANON EOS 6D – Capteur type CMOS – taille 24×36 mm – 20,2 millions de pixels.

La sensibilité ISO

En photographie, l'échelle ISO est l'échelle de mesure de sensibilité des surfaces photosensibles. Plus le nombre ISO est élevé, plus la sensibilité de la surface est grande, ce qui permet des photographies à très basses luminosité. Les références standards ISO sont : 50 ; 100, 200 ; 400 ; 800 ; 1600 ; 3200. Pour un appareil photo numérique, l'augmentation de sensibilité se fait par amplification du signal électrique recueilli, ce qui génère du bruit et dégrade l'image.

Questions

1. Justifiez par un petit calcul l'affirmation de la page 3 : « Pour passer d'une valeur de N à celle qui lui est juste supérieure, on multiplie sa valeur par $\sqrt{2}$. Ainsi, quand on double le temps d'exposition, en augmentant d'un cran la valeur de N on retrouve les mêmes conditions d'exposition. »

2. Un photographe désire travailler avec une quantité de lumière constante admise dans l'appareil. S'il augmente le nombre d'ouverture, doit-il augmenter ou diminuer le temps de pose ?

3. Les photographies suivantes sont réalisée avec des vitesses d'obturation τ_1=1/100 s ; τ_2=1/10 s et τ_3=1 s. Associer la bonne vitesse à chacune des photographies.



4. En vous appuyant sur les documents, expliquer pourquoi il est plus difficile d'obtenir une photographie nette de nuit que de jour.

5. Pour chaque photo ci-dessous, préciser la valeur de la focale parmi les valeurs suivantes : f' = 18 mm, f' = 50 mm, f' = 100 mm et f' = 300 mm.



6. On considère un appareil photo dont la taille du capteur est 24mmx36mm. Calculer le champ angulaire correspondant à sa direction diagonale pour les valeurs de focales suivantes : f'=70 mm, f'=50 mm et f'=25 mm. Un touriste disposant de cet appareil souhaite prendre une photo de la tour Eiffel (de hauteur 324 m). Il se trouve sur le champ de Mars, à 200 m du monument. Laquelle (ou lesquelles) des trois focales précédentes lui permettra-t-elle de prendre l'intégralité de la Tour Eiffel en photo.

7. Associer en justifiant les photographies suivantes aux bonnes valeurs d'ouverture parmi f/32 et f/5 :



8. On considère un appareil photo de 20,2 millions de pixels dont la taille du capteur est 24mmx36mm et on suppose que les pixels sont carrés, déterminer l'ordre de grandeur de g, la taille caractéristique du pixel.

9. Un touriste monté en haut du Sacré Cœur tente de prendre une photo de la ville de Paris avec le même appareil qu'à la question précédente. Il effectue une mise au point situé à l'infini avec un objectif de focale 50 mm, ouvert à f/22. Un autre touriste passe à 10 m de son objectif au moment où il prend la photo. L'image du touriste sera-t-elle nette? Un schéma de la situation est demandé ainsi qu'un calcul numérique !

10. Compléter le tableau suivant qui résume l'influence des différents paramètres de réglages (distance focale f', nombre d'ouverture N et durée d'exposition τ sur les caractéristiques de l'image obtenue (profondeur de champ, luminosité et grandissement).
On complètera ce tableau en précisant, par exemple, si la distance focale f' augmente alors la profondeur de champ… etc.
Pour la profondeur de champ, on pourra se référer à son expression donnée page 5.

	Distance focale f'	**Nombre d'ouverture N**	**Durée d'exposition** τ
Profondeur de Champ			
Luminosité			
Grandissement			

On pourra retrouver et illustrer l'ensemble des propriétés présentées dans ce document en utilisant le site internet suivant :

https://camerasim.com/

Exercice 2 Décomposition d'une espèce

Un récipient de volume 2,00 L contient initialement 0,500 mol de $COBr_2$, qui se décompose à une température dz 346 K selon la réaction :

$$COBr_{2(g)} \rightleftarrows CO_{(g)} + Br_{2(g)}$$

Tous les gaz sont supposés parfaits et on donne R = 8,31 $J.mol^{-1}.K^{-1}$.

1. Déterminer la composition du système à l'équilibre, sachant que la réaction est un équilibre chimique dont la constante d'équilibre à 346K vaut K = 5,46.

2. Calculer le pourcentage de $COBr_2$ décomposé à cette température.

3. L'équilibre précèdent étant réalisé, on ajoute 2,00 mol de monoxyde de carbone CO. Calculer le quotient de réaction juste après l'ajout et prévoir l'évolution ultérieure du système.

4. Déterminer la nouvelle composition du système à l'état final.