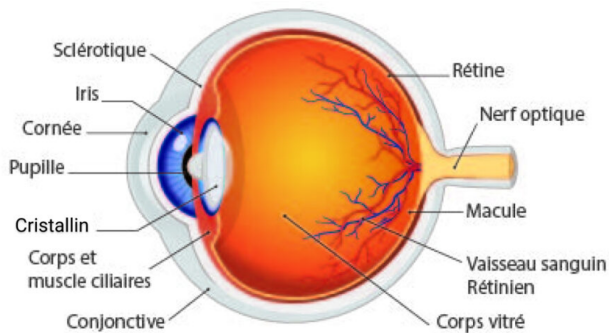

CHAPITRE O3 – INSTRUMENTS D’OPTIQUE

I) L’œil

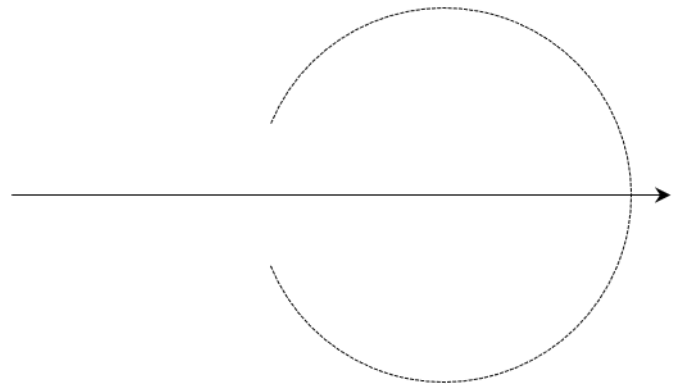
1) Modélisation d’un œil

Un œil peut se modéliser par l’association de :

- l’**iris** = un diaphragme, pouvant laisser entrer plus ou moins de lumière ;
- le **cristallin** = lentille mince convergente de distance focale variable : il est entouré de muscles qui, en se contractant, peuvent changer la forme du cristallin et donc sa distance focale, c’est le principe de l’**accommodation** ;
- la **rétine** = capteur de lumière capteur de lumière à distance fixe du cristallin.



Anatomie d'un œil



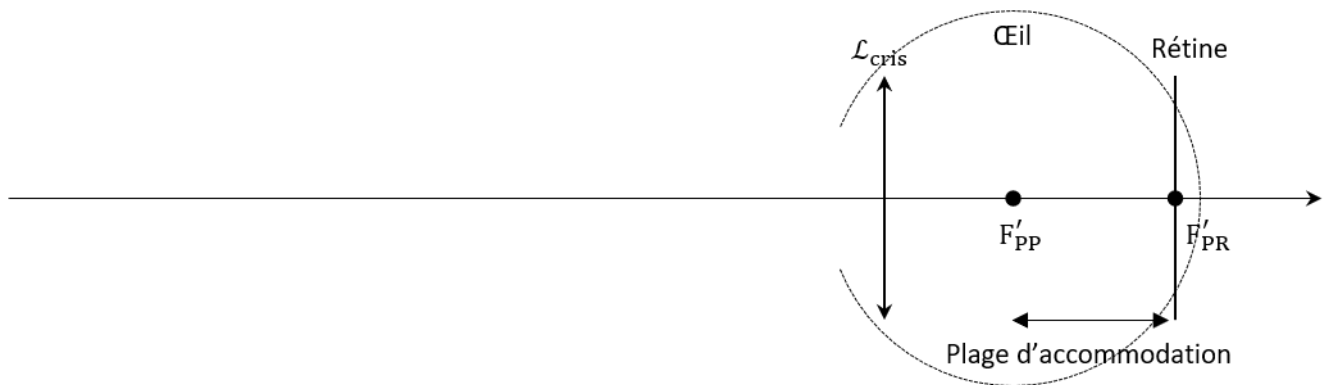
Modèle optique de l'œil

2) Plage d'accommodation

Soit un œil emmétrope (sans défaut). La distance rétine – cristallin vaut $d_0 \simeq 15$ mm.

Lorsque l'œil est au repos, $f'_{PR} = d_0$. Dans cette position, un objet situé à l'infini forme une image sur la rétine.

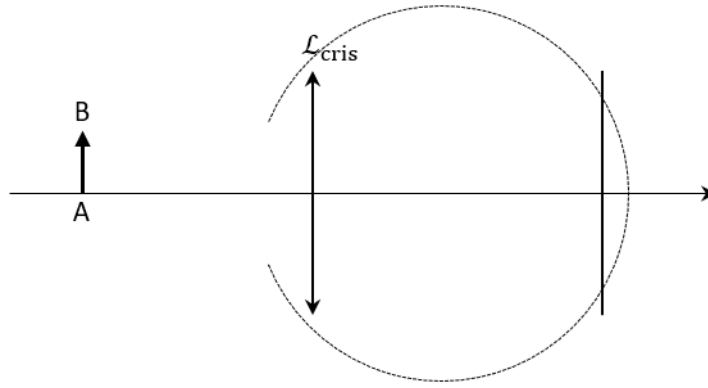
Lorsque l'œil accommode, f' diminue. On note $f'_{PP} < d_0$ la plus petite valeur atteignable.



Un œil emmétrope peut voir des objets situés à une distance comprise entre $d_{PP} \simeq 25$ cm (*punctum proximum*) et l'infini (*punctum remotum*).

3) Limite de résolution

La « taille » perçue d'un objet correspond à la taille de l'image $A'B'$ sur la rétine, qui ne dépend que de l'angle sous lequel est vu l'objet.



On appelle **taille apparente** ou **taille angulaire** de l'objet l'angle α sous lequel est vu cet objet.

$$\tan(\alpha) = \alpha = \frac{A'B'}{d_0} = \frac{AB}{OA}$$

Ainsi plus l'objet est proche de l'œil (OA diminue) ou plus l'objet est grand (AB augmente), plus sa taille angulaire α est grande.

Lorsque la largeur de l'image $A'B'$ devient inférieure à la largeur d'un capteur sur la rétine, A' et B' activent le même capteur. Donc les points objets A et B semblent confondus. C'est la limite de résolution de l'œil.

$$\alpha_{min} \simeq 1' = 3 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

Remarque : un degré ($^\circ$) contient 60 minutes d'arc ($'$), et une minute d'arc contient 60 secondes d'arc ($''$).

$$\pi \text{ rad} = 180^\circ \quad 1^\circ = 60' \quad 1' = 60''$$

II) Microscopies optiques

Pour des objets donc la taille angulaire $\alpha < \alpha_{min}$, on va utiliser un instrument d'optique permettant de former une image de taille angulaire $\alpha' > \alpha_{min}$

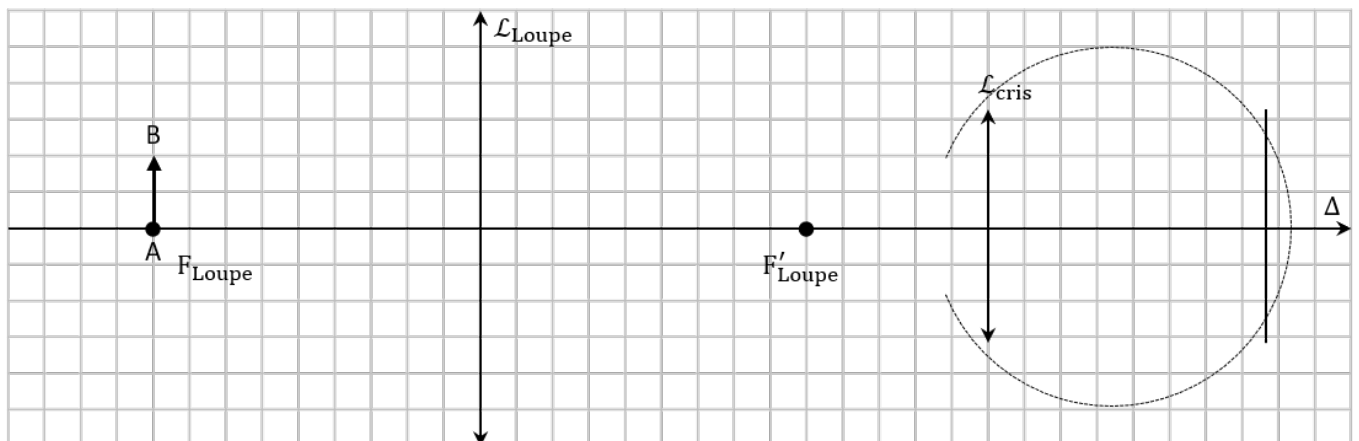
Pour tous les instruments d'optiques, on va chercher à former une image à l'infini, de sorte à ce que l'œil n'est pas à accommoder pour observer l'image.

1) Loupe

C'est l'instrument d'optique le plus simple permettant d'augmenter la taille angulaire d'un objet. Il s'agit d'une simple lentille convergente. Il faut placer l'objet à observer entre le point focal objet et le centre optique. On obtient une image virtuelle agrandie, observable par l'œil.

$$AB \xrightarrow{\text{Loupe}} A_1B_1(\infty) \xrightarrow{\text{Œil}} A'B' \text{ (rétine)}$$

Il faut donc placer l'objet dans le plan focal objet de la loupe.



Définition :

Le **grossissement** d'un instrument d'optique est le rapport de la taille apparente de l'objet vu à travers l'instrument et de la taille apparente de l'objet vu à l'œil nu et placé au PP.

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha_{PP}}$$

Grossissement d'une loupe :

Ordre de grandeur :

$$d_{PP} = 25 \text{ cm} \quad \text{et} \quad f'_{\text{Loupe}} \sim 2 \text{ à } 10 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad G \sim 2,5 \text{ à } 12,5$$

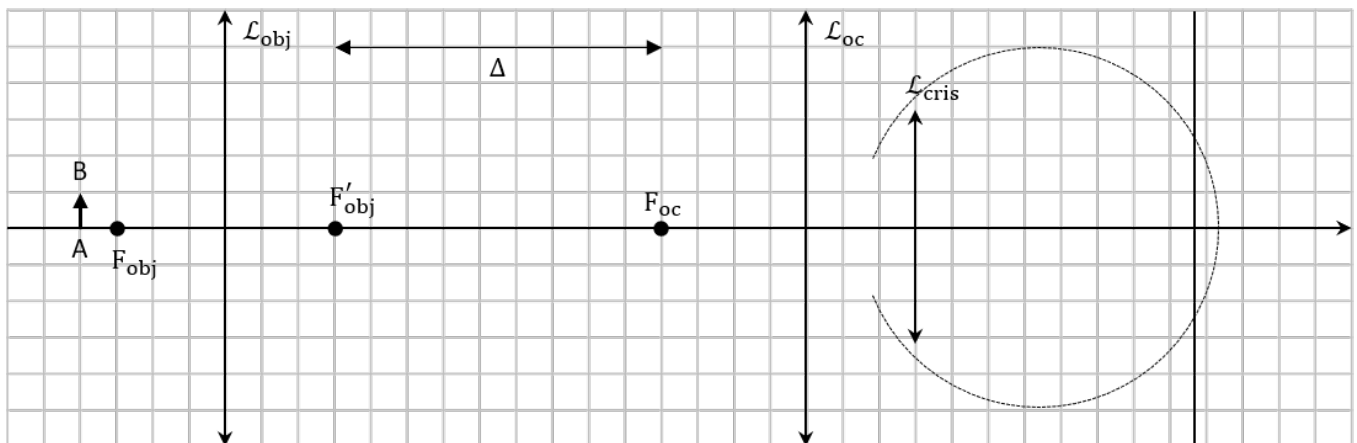
2) Microscope

Un microscope est composé de deux lentilles :

- l'**objectif**, de courte focale et situé proche de l'objet à observer ;
- l'**oculaire**, où l'utilisateur va placer son œil.

$$AB \xrightarrow{\text{Objectif}} A_1B_1 \xrightarrow{\text{Oculaire}} A_2B_2 (\infty) \xrightarrow{\text{Œil}} A'B' \text{ (rétine)}$$

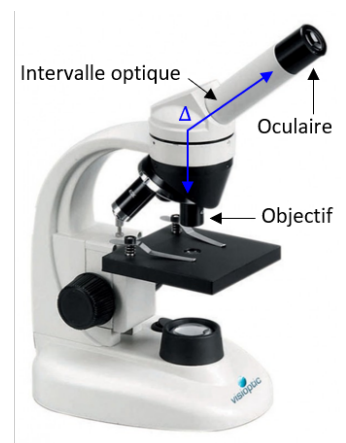
On appelle **intervalle optique** la distance : $\Delta = F'_{\text{obj}}F_{\text{oc}}$



Grossissement d'un microscope :

Ordre de grandeur :

$$\Delta = 16 \text{ cm} \quad f'_{\text{obj}} \sim 1,5 \text{ à } 40 \text{ mm} \quad \text{et} \quad f'_{\text{oc}} \sim 1,25 \text{ à } 5 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad G \sim 40 \text{ à } 1000$$



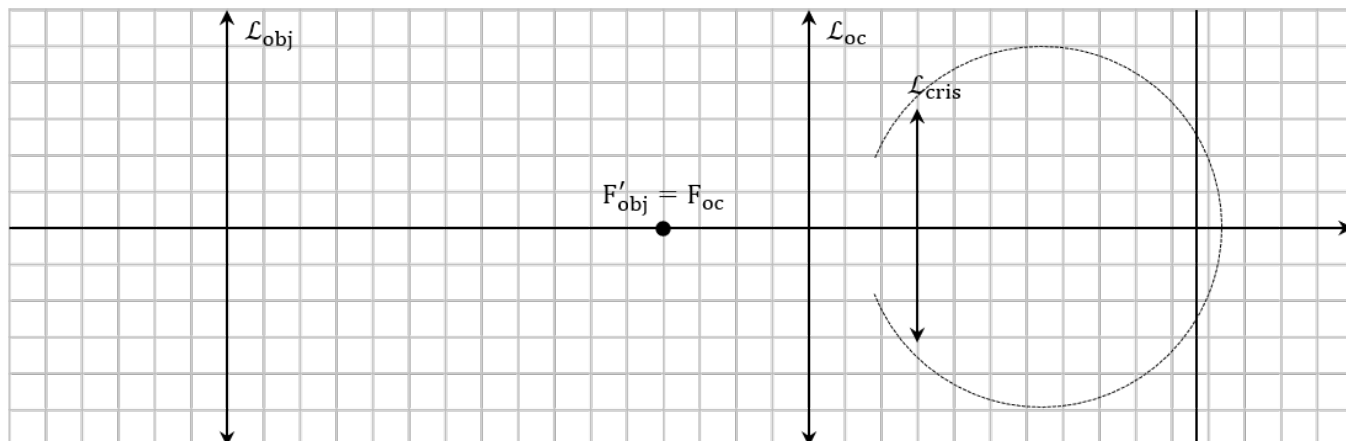
3) Lunette astronomique

Une lunette astronomique est composée, comme le microscope, de deux lentilles :

- l'**objectif**, de courte focale et situé proche de l'objet à observer ;
- l'**oculaire**, où l'utilisateur va placer son œil.

La grande différence avec le microscope est que l'objet à observer est, cette fois, à l'infini. On doit donc réaliser un **système afocal**.

$$AB(\infty) \xrightarrow{\text{Objectif}} A_1B_1 \xrightarrow{\text{Oculaire}} A_2B_2(\infty) \xrightarrow{\text{Œil}} A'B' \text{ (rétine)}$$



Définition :

Pour un système afocal, le **grossissement** est le rapport de la taille apparente de l'image et la taille apparente de l'objet.

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha}$$

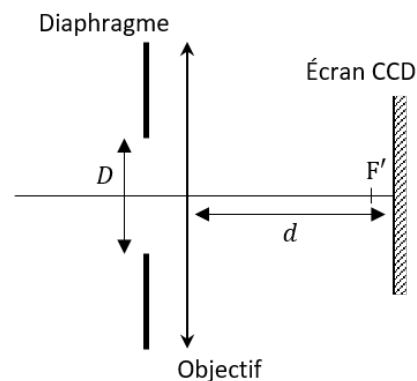
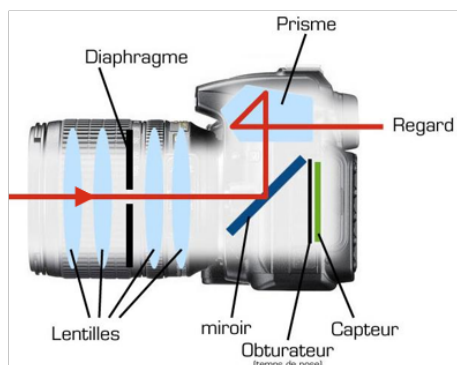
Grossissement d'une lunette astronomique :

III) L'appareil photographique numérique

1) Modélisation à une lentille

Un appareil photo peut se modéliser par l'association de :

- un diaphragme ;
- lentille de focale fixe mais de position mobile position mobile d .



2) Paramètres influençant la formation de l'image

a) Profondeur de champ

On appelle **plan de mise au point**, le plan objet conjugué au capteur. Un point objet situé avant ou après le plan de mise au point formera donc une tâche sur le capteur. Si cette tâche est de taille inférieure à la taille d'un pixel, alors la l'APN réalise un stigmatisme approché : l'image sera nette.

Définition :

On appelle **profondeur de champ** (PDC) la distance entre le premier et le dernier plan net.

On peut montrer que (à ne pas connaître) :

$$\text{PDC} \propto \frac{1}{f'D}$$

Ainsi, pour avoir une grande profondeur de champ, il faut prendre une courte focale ou fermer de diaphragme.

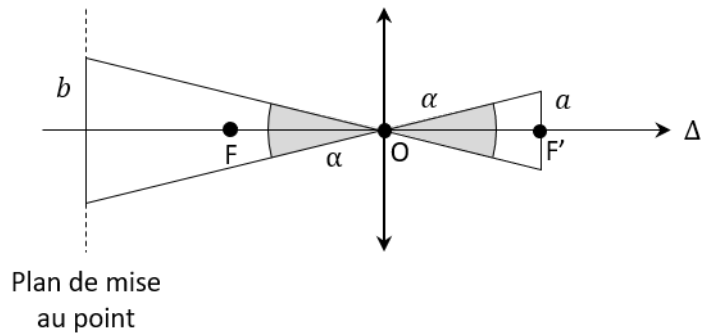
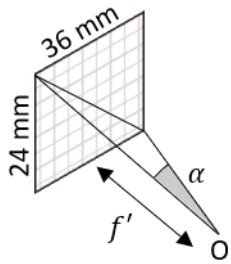


Le nombre marqué après le f (exemple : 1,8 pour la première image) indique le nombre $1/D$. Donc de gauche à droite, le diaphragme est fermé.

b) Angle de champ

Définition :

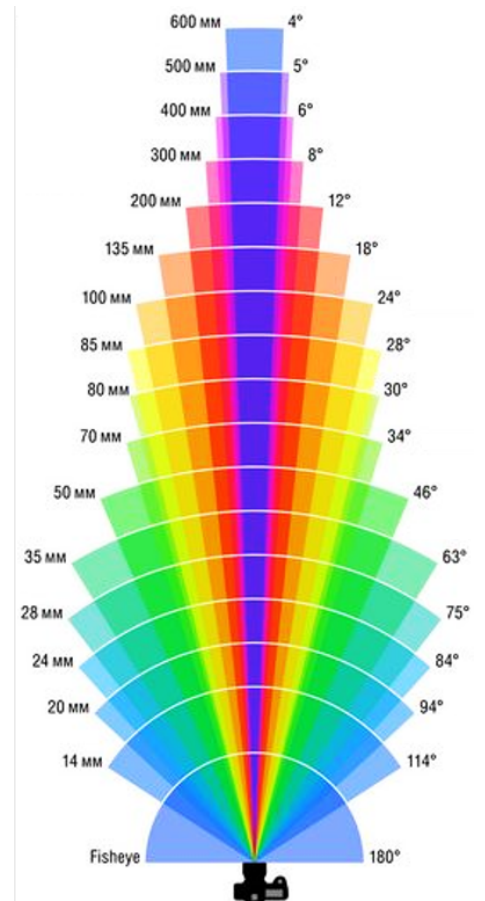
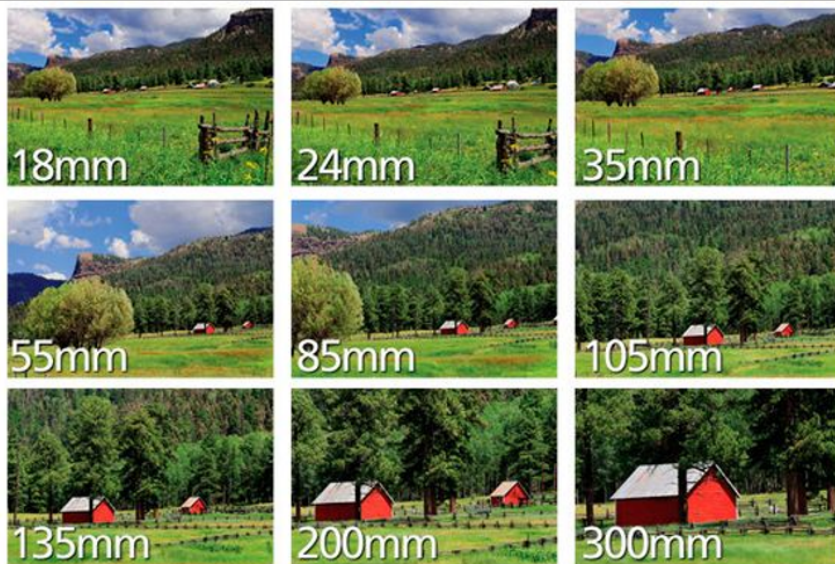
On appelle **angle de champ**, noté α , la taille angulaire de la diagonale du capteur lorsqu'il est situé à une distance f' de la lentille.



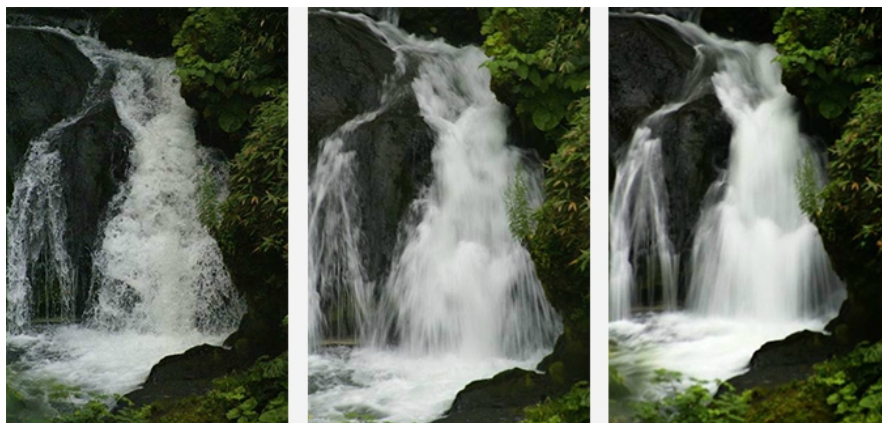
Expression de l'angle de champ :

$$\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{a/2}{f'} \Rightarrow \alpha = 2 \arctan\left(\frac{a}{2f'}\right)$$

Les APN standards du commerce ont une lentille de focale $f' = 50$ mm et un capteur de taille $24 \text{ mm} \times 36 \text{ mm}$. Cela correspondant à un angle de champ de $\alpha = 46^\circ$, équivalent à celui d'un œil humain.



c) Durée d'exposition



De gauche à droite : la durée d'exposition augmente.

Un obturateur situé devant le capteur permet de contrôler sa **durée d'exposition**, notée T , c'est-à-dire le temps durant lequel le capteur va recevoir de la lumière. La durée d'exposition joue un rôle important lorsque l'objet à photographier se déplace. Une durée d'exposition courte fige le sujet : on ne peut distinguer s'il est en mouvement ou non. Une durée d'exposition longue va créer une image floue, suggérant à l'œil un mouvement.

d) Ouverture du diaphragme

Plus la durée d'exposition est courte, plus la quantité de lumière reçue par le capteur est faible, et inversement. Il est alors nécessaire de d'ajuster l'ouverture du diaphragme pour compenser.



De gauche à droite : le diaphragme est de plus en plus fermé.

La quantité de lumière (\mathcal{E}) que reçoit le capteur est proportionnelle au temps d'exposition (T) et à la surface du diaphragme ($S = \pi D^2/4$). Ainsi,

$$\mathcal{E} \propto TD^2$$

e) Bilan

Les deux photographies ci-dessous ont été prise à deux instants proches (la météo n'a pas changée) et du même endroit. Décrire l'évolution des paramètres f' , T et D entre les deux photographies.