

# FORMATION DES IMAGES : MIROIR ET DIOPTRE PLAN, MIROIR SPHERIQUE

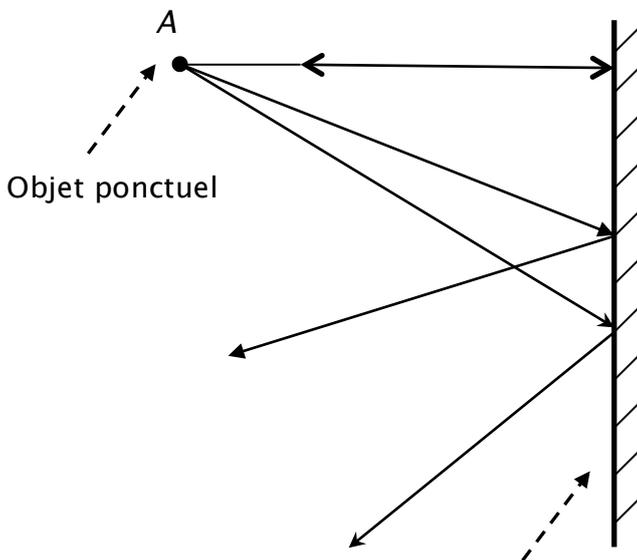
« Qui voit la figure humaine correctement ? Le photographe, le miroir ou le peintre ? »  
Pablo Picasso

## I - Formation d'images par réflexion : le miroir plan

Nous allons étudier la formation de l'image d'un objet avec un système **optique simple** : le **miroir plan**. Le miroir est une **surface réfléchissante**, on dit que c'est un **CATADIOPTRE**.

Remarque: Sauf indication contraire, on travaille avec une lumière monochromatique.

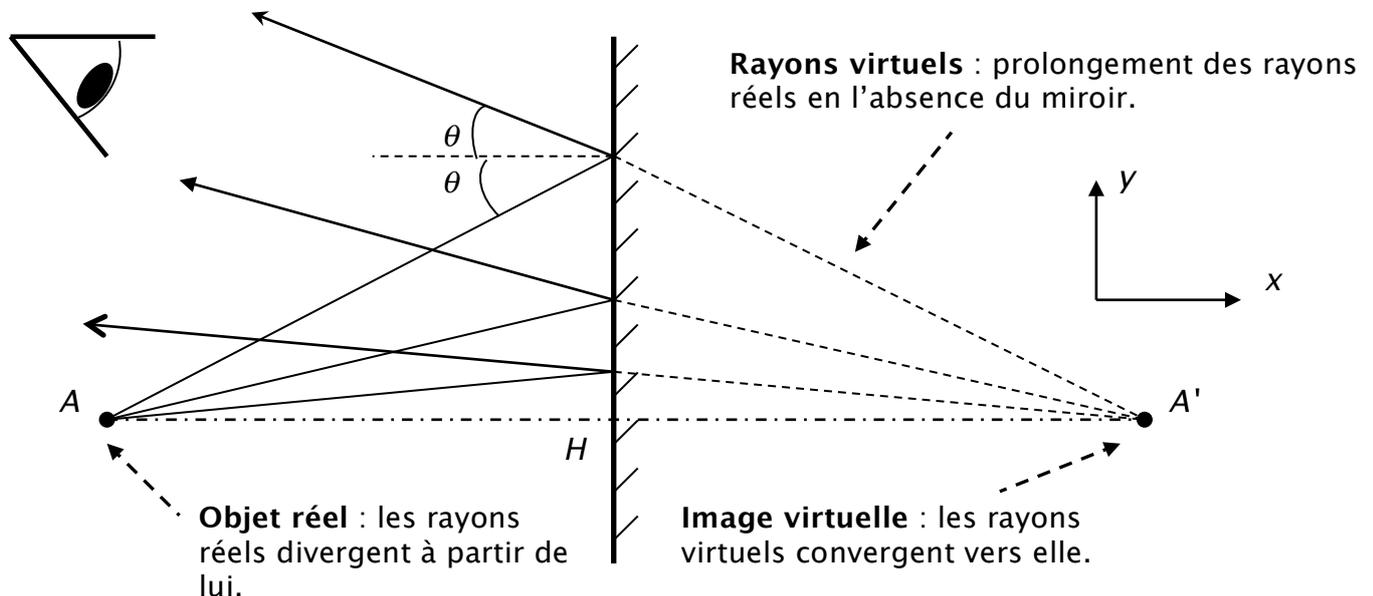
### 1.1 Stigmatisme rigoureux



Système optique (SO)=miroir      ( $A = \text{objet réel} : A' = \text{image virtuelle}$ )

Chaque rayon issu de l'objet ponctuel  $A$  est réfléchi en obéissant aux lois de la réflexion.

Les rayons réfléchis par le miroir semblent provenir, pour l'œil, de l'image virtuelle  $A'$ . Par construction  $A$  et  $A'$  sont symétriques par rapport à  $H$ . Comme tous les rayons issus de  $A$  semblent provenir de  $A'$ , on dit que le miroir plan est parfaitement **STIGMATIQUE** pour le couple :



Le stigmatisme est lié à la **netteté** d'une image ; l'image d'un objet par un miroir est toujours nette.

## 1.2 Relation de conjugaison pour $(A, A')$

Une **relation de conjugaison** est une **relation algébrique** qui relie la position de l'image  $A'$  avec celle de l'objet  $A$  en fonction des caractéristiques géométriques du SO en question.

Dans le cas du miroir, la relation de conjugaison est évidente à l'aide de la figure orientée ci-dessus :

$$\overline{HA} + \overline{HA'} = 0$$

On utilise des grandeurs algébriques (symbolisées par le trait) ce qui nécessite d'orienter la figure.

$\overline{HA}$  est positive si on va de  $H$  à  $A$  dans le sens des  $x$  positifs et inversement.

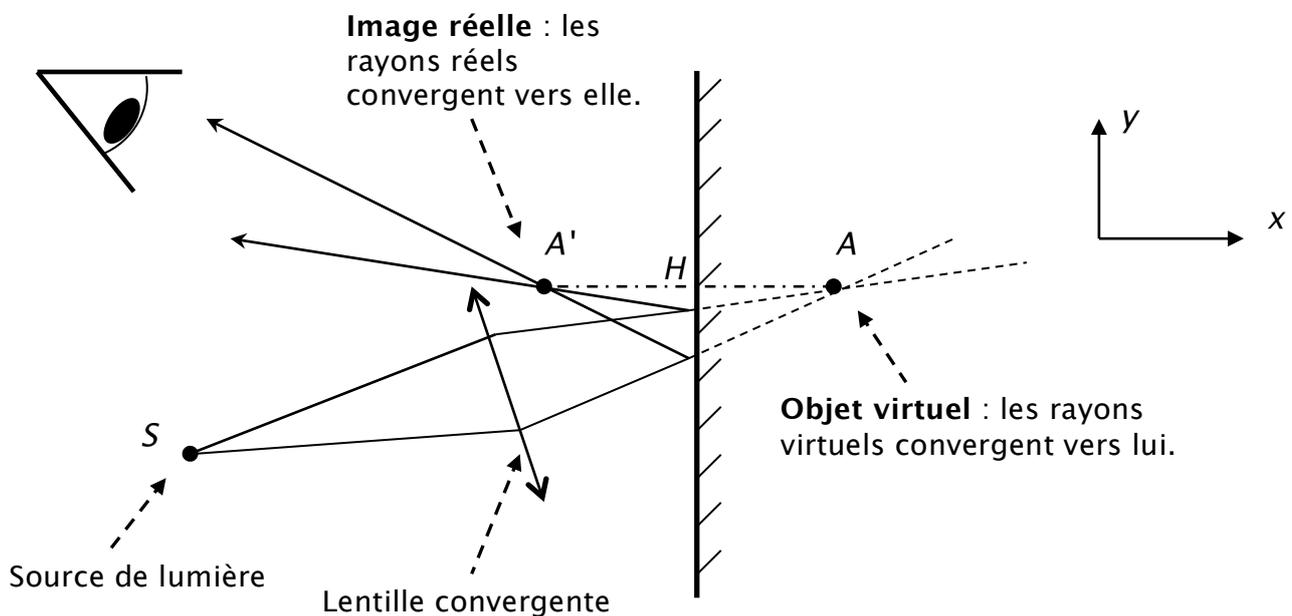
Dans le cas du miroir, on a :

$\overline{HA} < 0 \Rightarrow$  l'objet est réel.

$\overline{HA'} > 0 \Rightarrow$  l'image est virtuelle.

Comme nous le verrons dans le cas des autres systèmes optiques (miroirs sphériques, lentilles minces), le résultat ci-dessus est tout à fait général.

Il est possible d'envisager un couple (objet virtuel – image réelle) même si la notion d'objet virtuel est plus difficile à concevoir (nous n'en verrons quasiment pas, donc pas d'inquiétude).



On a toujours  $\overline{HA} + \overline{HA'} = 0$ , c'est l'intérêt d'utiliser les grandeurs algébriques.

La relation de conjugaison  $\overline{HA} + \overline{HA'} = 0$  est toujours valable quelle que soit la nature de  $A$  et de  $A'$  (réelle ou virtuelle).

Par contre cette fois :

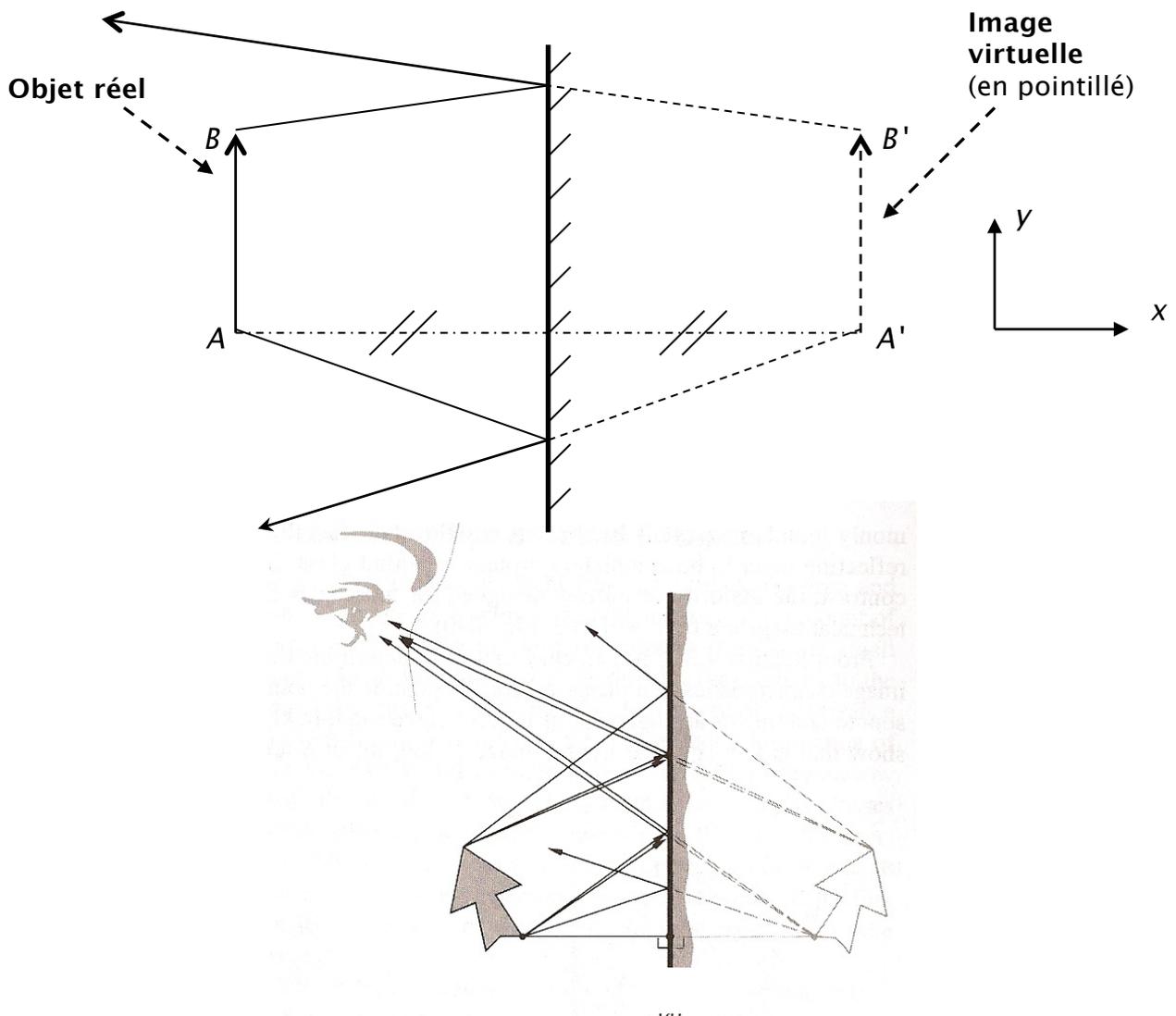
$\overline{HA} > 0 \Rightarrow$  l'objet est virtuel.

$\overline{HA}' < 0 \Rightarrow$  l'image est réelle.

Encore une fois cette relation est tout à fait générale.

Pour un miroir plan, l'objet et son image sont toujours de nature différente. Si l'un est réel, l'autre est virtuel et inversement.

### 1.3 Objet et image étendus



Le miroir plan conserve par symétrie la taille des objets. On définit le grandissement transversal (suivant  $y$ ) de la façon suivante :

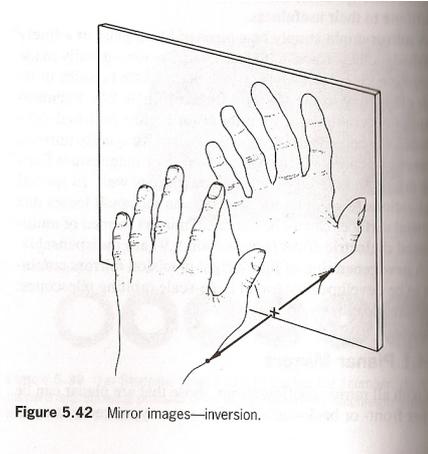
Définition du grandissement transversal:  $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$

Seul le grandissement transversal est au programme, c'est-à-dire que nous étudierons toujours des objets « droits », parallèles au miroir (pas comme sur la figure ci-dessus).

Dans le cas du miroir plan, le grandissement transversal vaut simplement un :

Pour le miroir plan:  $\gamma = 1$

Attention : L'image n'est pas forcément identique à l'objet à travers un miroir plan. En effet une main droite a pour image une main gauche (cf figure ci-dessous).

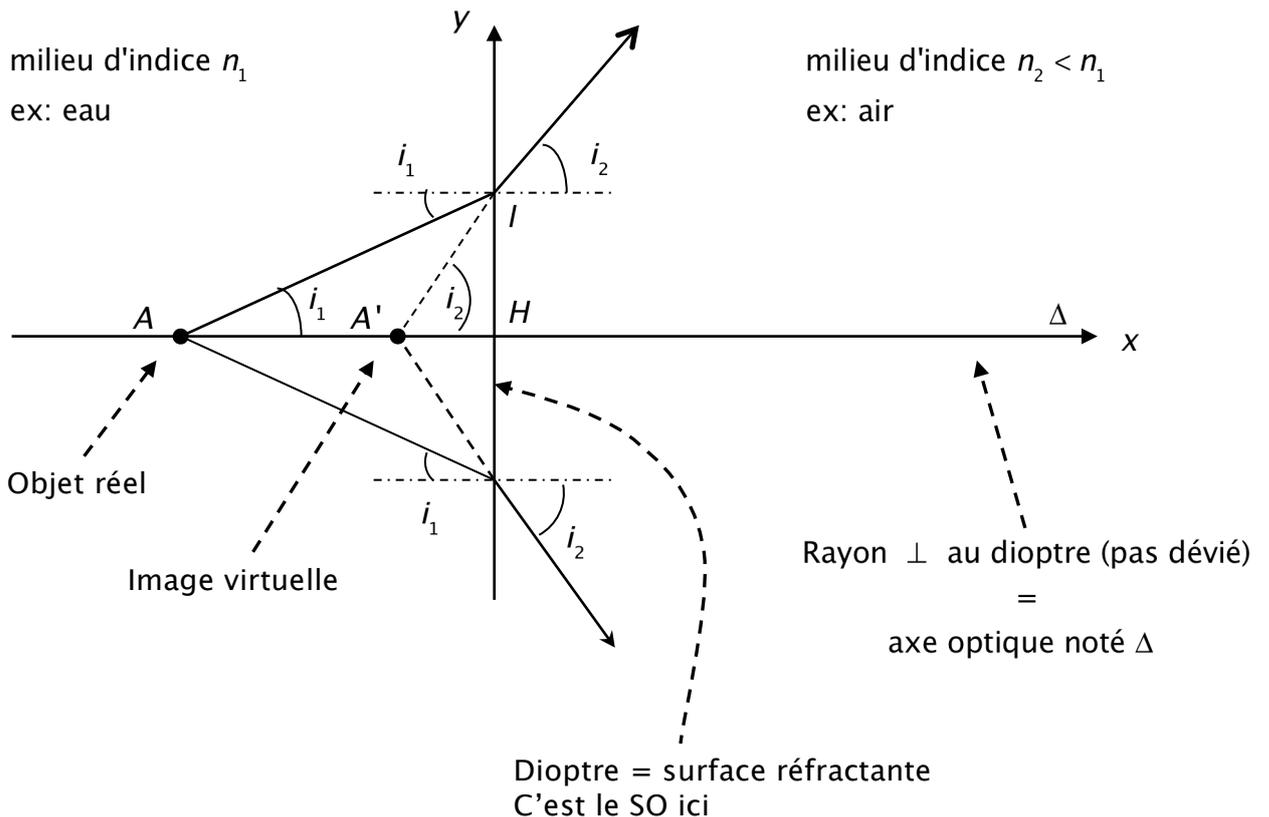


## II - Formation d'images par réfraction : le dioptre plan

Un **DIOPTRE** est une surface réfractante, c'est-à-dire une surface de séparation entre deux milieux d'indice de réfraction différents (par exemple la surface de séparation entre l'air et l'eau).

Nous allons étudier la formation de l'image d'un objet à travers un dioptre. Par exemple, quand on regarde un poisson dans une rivière, on ne voit pas le poisson mais son image.

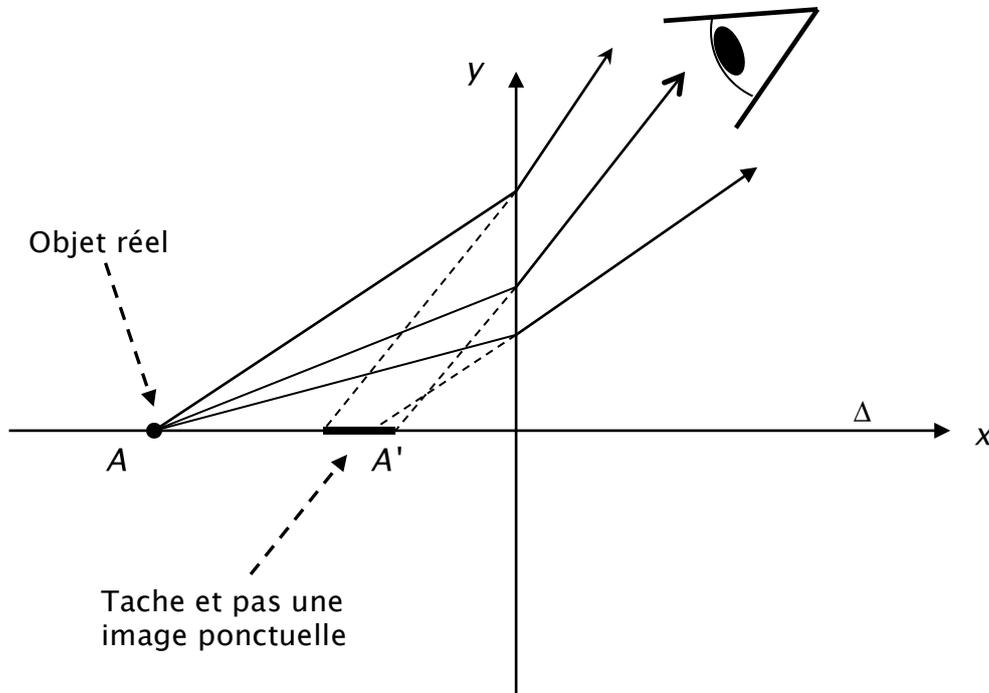
### 2.1 Stigmatisme approché, aberrations géométriques



On cherche, si elle existe, une relation de conjugaison entre  $A$  et  $A'$ .

$\tan i_2 = \frac{\overline{HI}}{\overline{A'H}}$  et  $\tan i_1 = \frac{\overline{HI}}{\overline{AH}}$  donc  $\overline{HA'} = \overline{HA} \frac{\tan i_1}{\tan i_2}$  avec  $\sin i_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin i_1$ . On constate que la position

de  $A'$  dépend de l'angle  $i_1$  donc du rayon lumineux issu de  $A$ . Tous les rayons lumineux ne convergent pas en un point unique. Il n'y a **pas stigmatisme** (cf. figure page 6).



Le SO (ici le dioptre) ne fournit pas une image ponctuelle de l'objet ponctuel, l'image n'est pas nette, on a une tache. On dit qu'il y a des **ABERRATIONS GEOMETRIQUES**. Le SO n'est pas stigmatique. On peut résumer la situation par le diagramme suivant :

Objet ponctuel  $\xrightarrow{\text{SO}}$  tache

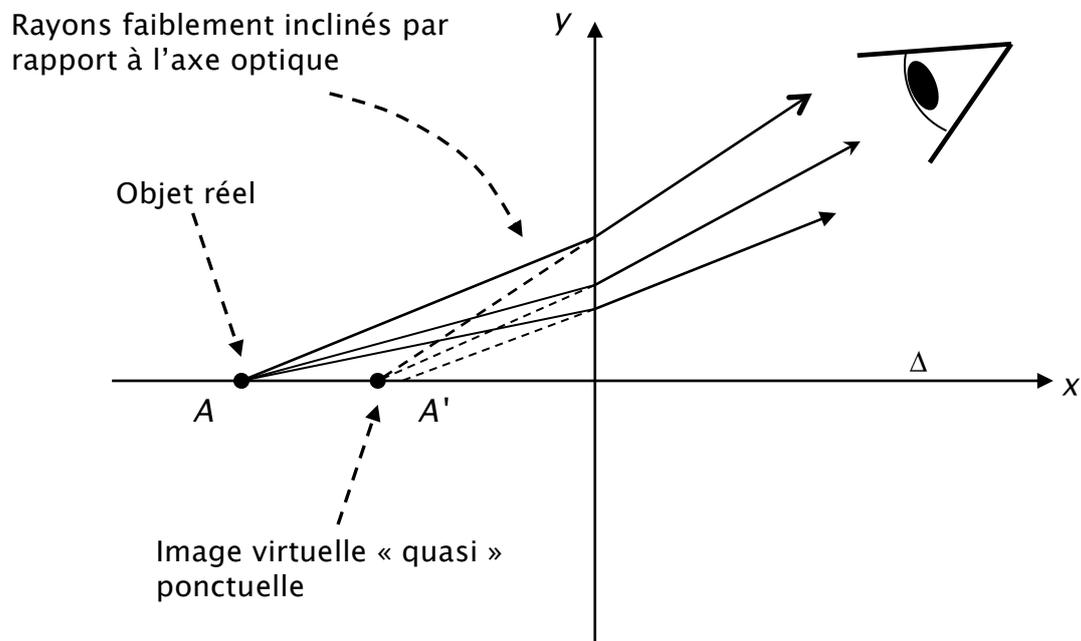
Comment faire pour que la tache devienne plus « ponctuelle » ? On ne va considérer que les rayons peu inclinés par rapport à l'axe optique. Dans ces conditions :

$$\sin i_2 \approx \tan i_2 \approx i_2 \text{ et } \sin i_1 \approx \tan i_1 \approx i_1 \text{ car } i_1 \ll 1 \text{ et } i_2 \ll 1 \text{ et } \overline{HA'} \approx \overline{HA} \frac{i_1}{i_2} \text{ et } n_2 i_2 \approx n_1 i_1.$$

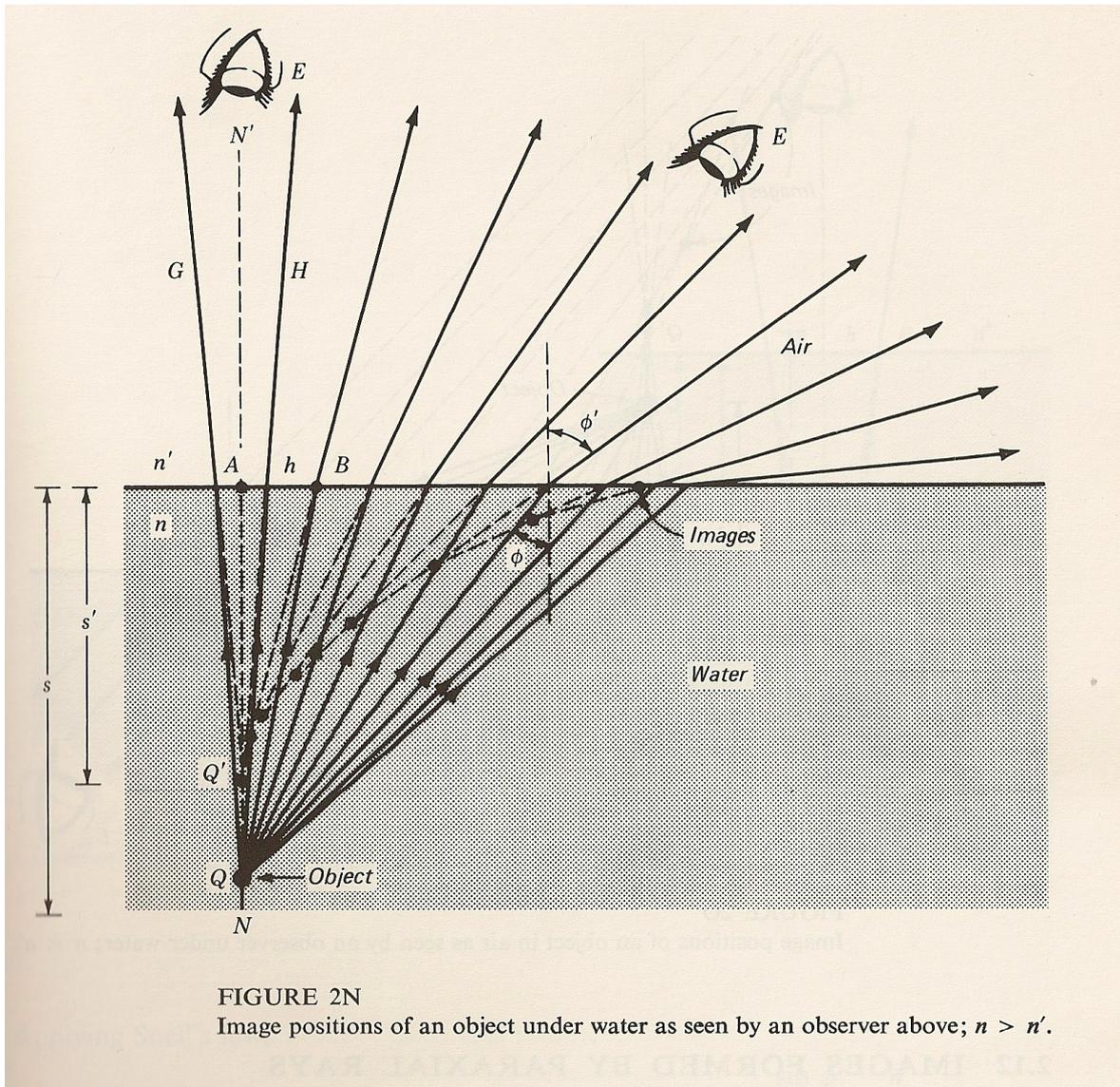
Finalement, on obtient la relation suivante :

$$\frac{\overline{HA'}}{\overline{HA}} \approx \frac{n_2}{n_1}$$

La position de l'image  $A'$  est indépendante des rayons qui partent de l'objet  $A$ . Tous les rayons lumineux **faiblement inclinés par rapport à l'axe optique** semblent provenir d'une seule image ponctuelle (virtuelle). On parle de **STIGMATISME APPROCHE**.



On constate que l'image  $A'$  se trouve plus près du dioptré que l'objet  $A$ . Ainsi quand on regarde un poisson dans une rivière, on voit son image et le poisson nous semble plus proche qu'il n'est en réalité (cf figure page 7).



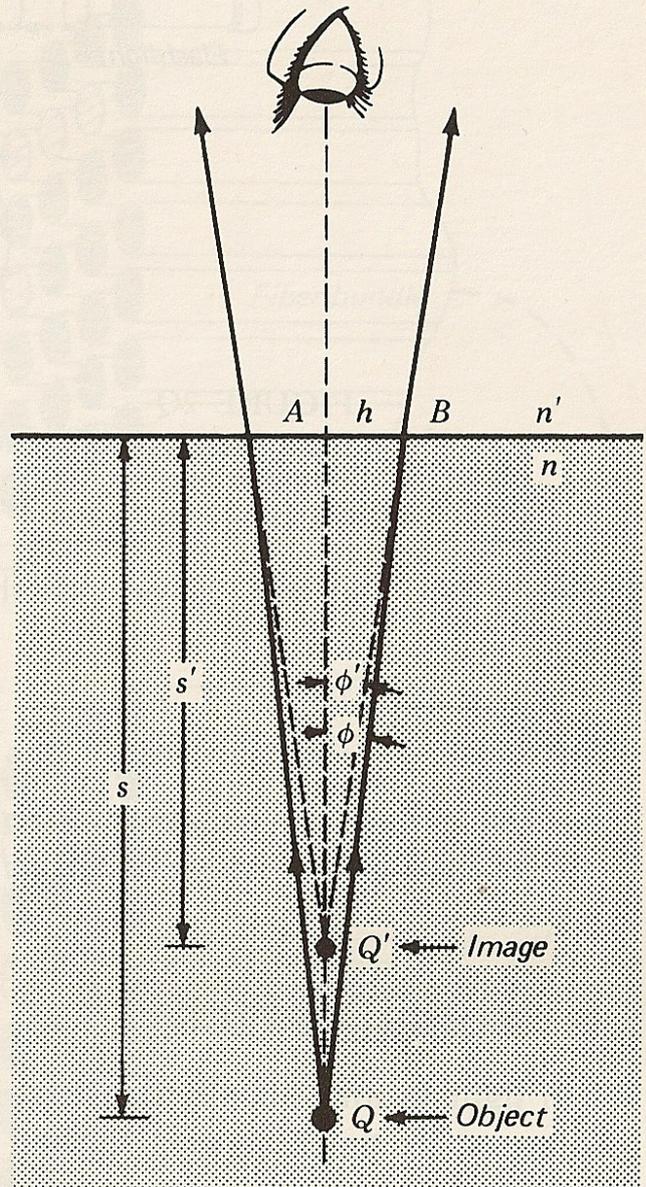
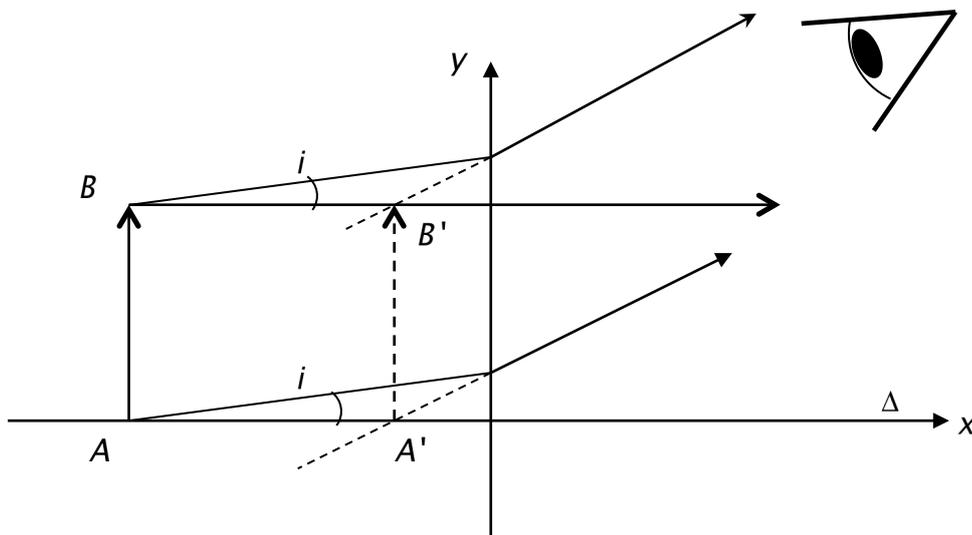


FIGURE 2P  
Paraxial rays for an object in water and observed from the air above.

## 2.2 Grandissement transversal

On considère un objet de taille finie perpendiculaire à l'axe optique  $\Delta$  (ce sera toujours le cas en PTSI). On se place dans l'hypothèse de rayons faiblement inclinés par rapport à  $\Delta$  (stigmatisme approché).



D'après la construction géométrique ci-dessus, on constate que l'image  $\Delta$  est encore perpendiculaire à l'axe optique. De plus, le grandissement transversal vaut un :

$$\gamma \stackrel{\text{Par définition}}{=} \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} \stackrel{\text{Pour le dioptre plan}}{=} 1$$

### 2.3 Lumière polychromatique, aberrations chromatiques

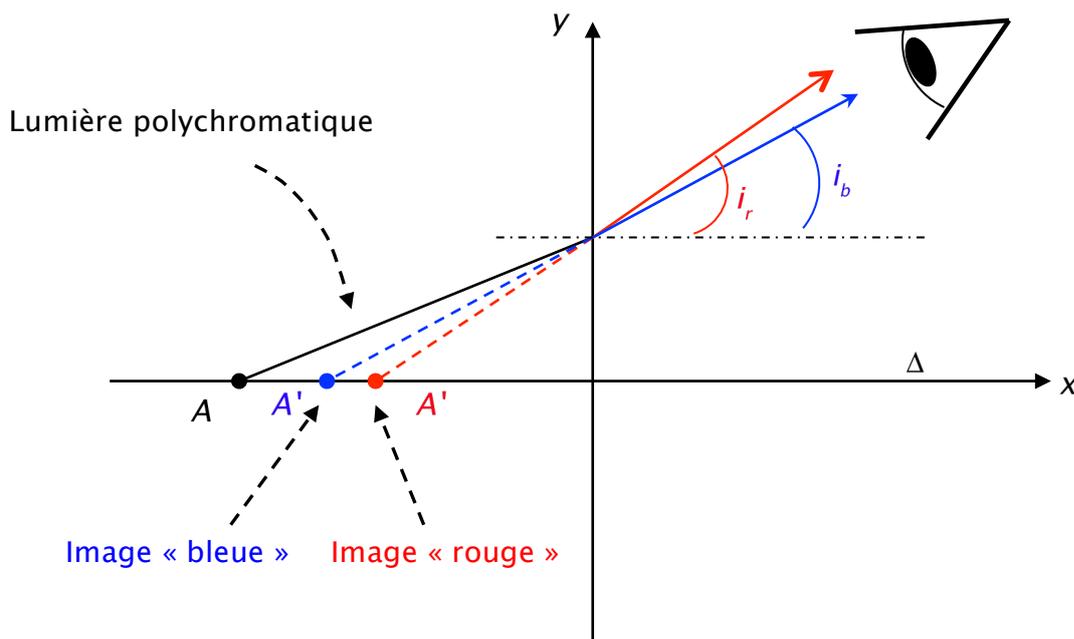
On se place toujours dans le cas des rayons lumineux faiblement inclinés par rapport à l'axe optique. Mais à présent, on considère un objet qui **émet de la lumière polychromatique** (ce qui est quasiment toujours le cas dans la pratique).

Nous savons que l'indice de réfraction est fonction de la longueur d'onde considérée ;  $n = f(\lambda_0)$ . Si

l'on reprend la relation de conjugaison pour le dioptre plan :  $\frac{\overline{HA'}}{\overline{HA}} \approx \frac{n_2}{n_1} = f(\lambda_0)$ . Ainsi à chaque

longueur d'onde, correspond une image  $n = f(\lambda_0)$  spécifique. Globalement cela produit une image trouble irisée. On parle d'**ABERRATIONS CHROMATIQUES**.

Quand on souhaite former l'image d'un objet par un système optique (un appareil photo par exemple), la netteté de l'image est toujours limitée d'une part par les aberrations géométriques que nous avons rencontrées dans le paragraphe précédent et d'autre part par les aberrations chromatiques (il ne faut pas confondre ces deux types d'aberration).



# III – Système Optique Centré. Conditions de Gauss

## 3-1 Définition

Un système optique est centré lorsqu'il possède un axe de symétrie de révolution  $\Delta$  définissant ainsi l'**axe optique** du système. Par exemple, les miroirs sphériques et les lentilles minces que nous allons étudier sont des systèmes optiques centrés.

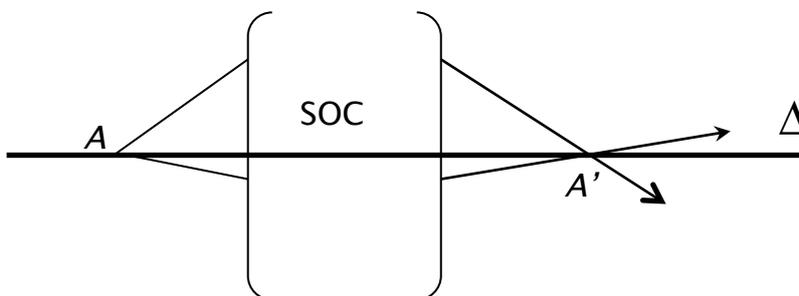
Un rayon arrivant suivant l'axe optique d'un système optique n'est pas dévié.

Les dioptrés et les miroirs, qui constituent les systèmes optiques centrés que nous étudions, possèdent un plan tangent perpendiculaire à l'axe optique. C'est pourquoi les rayons lumineux qui sont suivant  $\Delta$  ne sont pas déviés (loi de Snell-Descartes).

## 3-2 Stigmatisme rigoureux

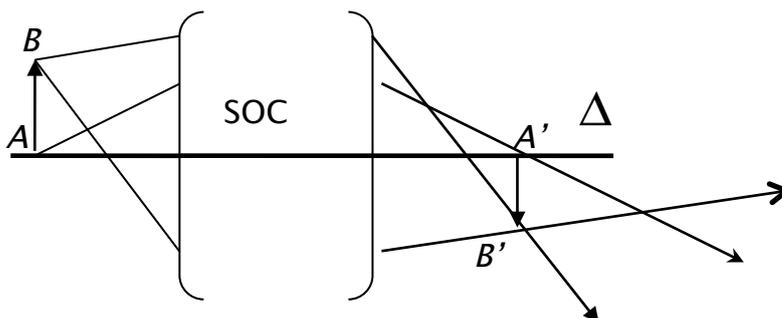
Un Système Optique Centré (noté SOC) est parfaitement stigmatique si tout rayon incident qui passe par  $A$  émerge en  $A'$ .

Si  $A \in \Delta$  et  $A'$  image de  $A$ , alors  $A' \in \Delta$ .



## 3-3 Conservation du stigmatisme dans le plan transverse

Les appareils d'optique sont utilisés pour observer des objets non ponctuels mais étendus et de façon nette → il faut être stigmatique pour tous les couples conjugués.



Le stigmatisme pour tout couple  $(A, A')$  de l'axe optique doit se conserver pour tout couple  $(B, B')$  dans un plan perpendiculaire à  $\Delta$ , on parle D'APLANETISME RIGOUREUX.

Ex : œil, appareil photographique, lunettes...

### 3-4 Conditions d'approximation de Gauss

A part le miroir plan, les SO ne sont pas rigoureusement stigmatiques.

**MAIS** → Stigmatisme approché lorsque la dimension de la « tache image » reste assez petite pour être considérée comme ponctuelle par le récepteur (œil, appareil photo, caméra...)

On va donc se placer dans des conditions particulières, dites **conditions (ou approximation) de Gauss**, pour considérer les SO comme quasi stigmatiques.

#### CONDITIONS DE GAUSS (stigmatisme approché)



On ne prend que les rayons faiblement inclinés par rapport à l'axe optique



On ne considère que les rayons voisins de cet axe optique

RAYONS PARAXIAUX

Dans la pratique, pour réaliser les conditions de Gauss, il faut que le système optique possède un diaphragme d'entrée limitant l'inclinaison des rayons, dans ce cas  $\sin \alpha \approx \tan \alpha \approx \alpha$ . Mais si le diaphragme est trop petit, l'image est peu lumineuse (la quantité de lumière qui rentre dans le S.O est faible) et on voit apparaître le phénomène de diffraction (il faut trouver le bon compromis) (cf. figure ci-dessous).

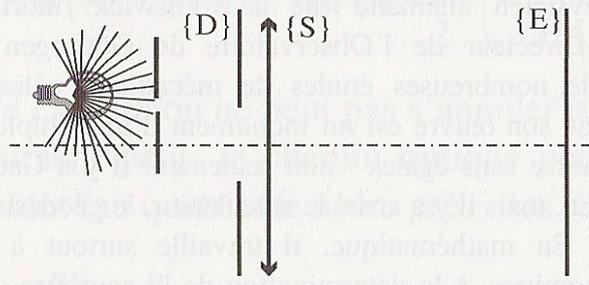
BILAN: Facteurs jouant sur la dimension de l'image d'un objet ponctuel donc sur la netteté de formation des images :

⇒ Les **aberrations géométriques** dues au système optique lui-même en l'absence de stigmatisme rigoureux.

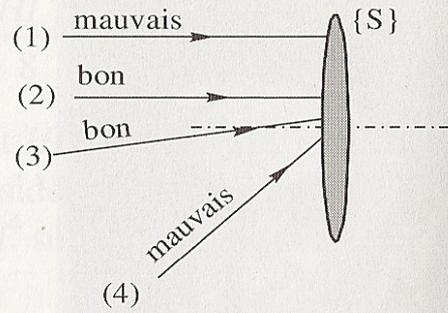
⇒ Les **aberrations chromatiques** dues à la nature polychromatique de la lumière naturelle.

⇒ La **structure granulaire** du récepteur.

⇒ La **nature ondulatoire de la lumière** provoquant de la diffraction en cas de diaphragme trop faible.



(a)



(b)

**Fig. 3.36** Conditions de Gauss : (a) L'image sur l'écran [E] est convenable si [E] est à distance convenable, si S n'est pas éloignée de l'axe et le diaphragme (D) peu ouvert. (b) Les *bons rayons* (2) et (3) rencontrent la lentille près de l'axe et sont peu inclinés sur l'axe : ils obéissent aux conditions de Gauss. Il faut se limiter aux bons rayons, pour obtenir une image convenable (stigmatisme approché).

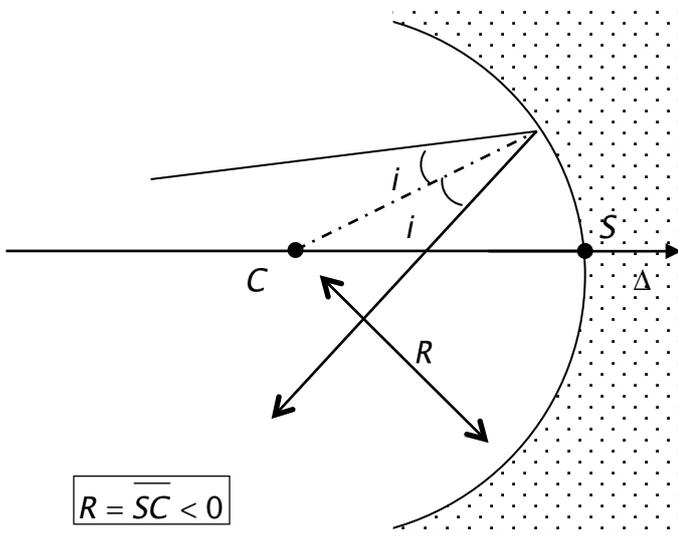
## IV - Le miroir sphérique

### 4-1 Définition

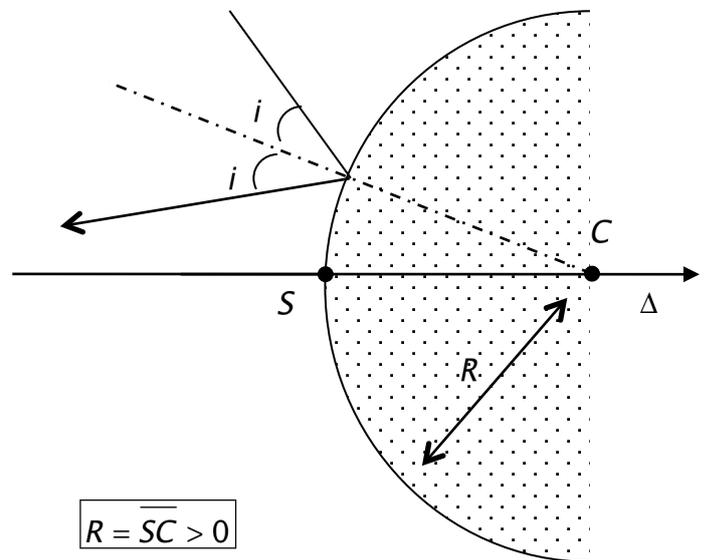
Un miroir sphérique (MS) est une surface réfléchissante définie par **son centre C**, **son rayon R** et limitée à **une calotte de sommet S** pour ne considérer que **les rayons lumineux paraxiaux** (approximation de Gauss).

Il existe deux types de miroirs :

Miroir concave (convergent)



Miroir convexe (divergent)



## 4-2 Stigmatisme

### a) Stigmatisme rigoureux

On place un objet au centre  $C$ . Où se trouve son image ?

$$C \xrightarrow{MS} ?$$

Tous les rayons issus de  $C$  convergent en  $C$  car ils arrivent perpendiculairement à la surface du miroir. L'image de  $C$  est  $C$ . On a un stigmatisme rigoureux. Il en est de même pour un objet placé en  $S$ .

Points qui sont parfaitement stigmatiques pour un miroir sphérique divergent et convergent:

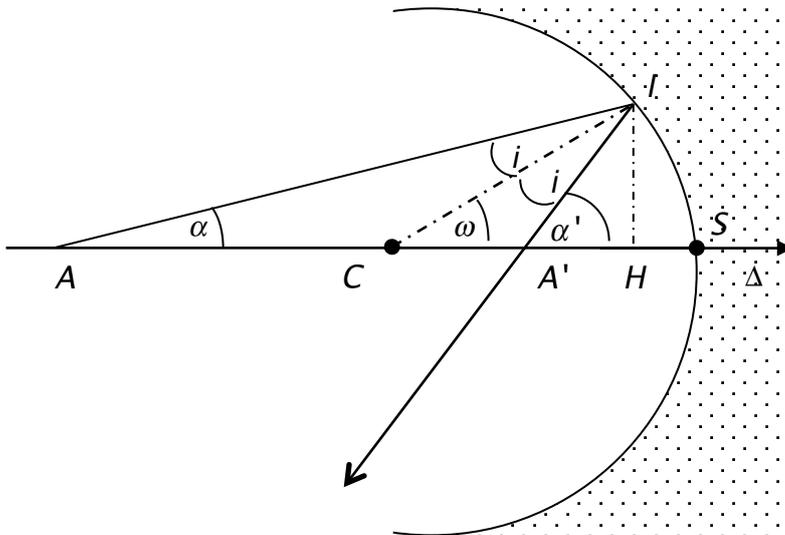
$$C \xrightarrow{MS} C$$

$$S \xrightarrow{MS} S$$

### b) Stigmatisme approché : formule de conjugaison

Pour tout point objet  $A$  appartenant à l'axe optique  $\Delta$  (mis à part les points  $C$  et  $S$ ), on ne peut avoir qu'un stigmatisme approché.

On considère la figure ci-dessous :



On cherche une relation algébrique qui relie la position du point objet  $A$  à celle de son image  $A'$ . On se place dans les conditions de Gauss. (Calculs au tableau)

Relation de conjugaison avec origine au sommet (relation de Descartes):

$$\frac{2}{SC} = \frac{1}{SA} + \frac{1}{SA'}$$

Il s'agit d'une relation de conjugaison avec **origine au sommet** puisque que l'on a le point  $S$  dans chaque terme. Cette relation de conjugaison est connue sous le nom de **relation de Descartes**. Elle est valable dans tous les cas ; miroirs concaves, miroirs convexes ainsi que pour tout couple objet-image réel ou virtuel (c'est l'intérêt d'utiliser des relations algébriques).

#### 4-3 Le foyer objet $F$ et le foyer image $F'$

a) le foyer image  $F'$

Que se passe-t-il si le point objet  $A_{\infty}$  se trouve à l'infini sur l'axe optique ? On note  $F'$  l'image de  $A$  dans cette situation particulière (et non  $A'$ ) que l'on appelle **LE FOYER IMAGE**:

$$A_{\infty} \xrightarrow{MS} F'$$

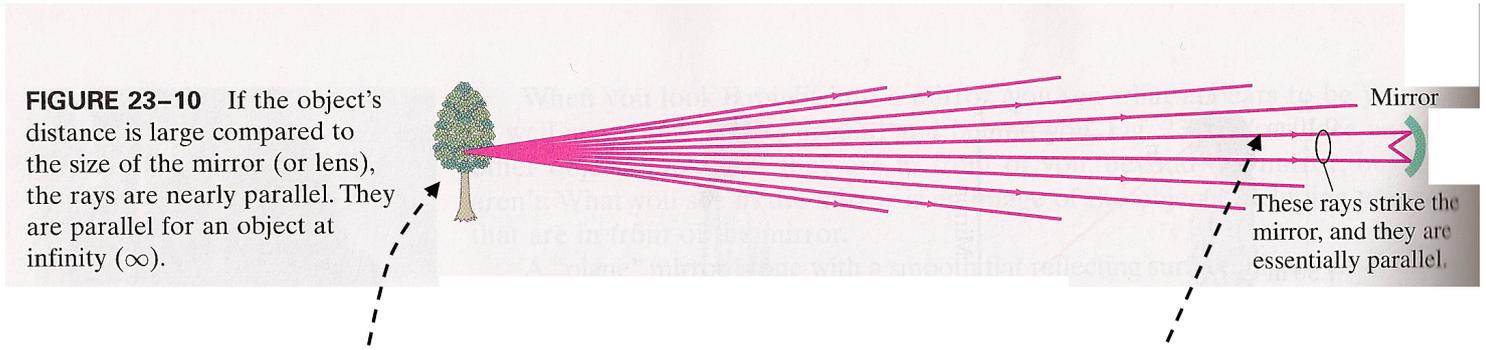
Pour déterminer où se trouve  $F'$ , il faut utiliser la relation de conjugaison précédente (nous sommes toujours dans les conditions de Gauss sauf indication contraire) :  $\frac{2}{SC} = \frac{1}{\underbrace{SA_{\infty}}_{=0}} + \frac{1}{SF'}$  soit :

$$\overline{SF'} = \frac{\overline{SC}}{2}$$

Le foyer image  $F'$  se trouve au milieu du segment  $\overline{SC}$ .

En fait, tout rayon lumineux parallèle à l'axe optique va converger au foyer image du miroir après réflexion sur le miroir. En effet, un objet situé « à l'infini » émet un faisceau de rayons lumineux parallèles entre eux. Si ce faisceau est parallèle à l'axe optique du miroir, il converge au foyer image  $F'$ . Par exemple, l'image d'une étoile (située sur l'axe optique du miroir) est, avec une bonne approximation, située au foyer image de ce miroir. L'arbre de la figure ci-dessous est suffisamment

éloignée pour considérer que la lumière qu'il émet soit constituée de rayons lumineux parallèles entre eux (un objet n'est jamais situé à l'infini en réalité).



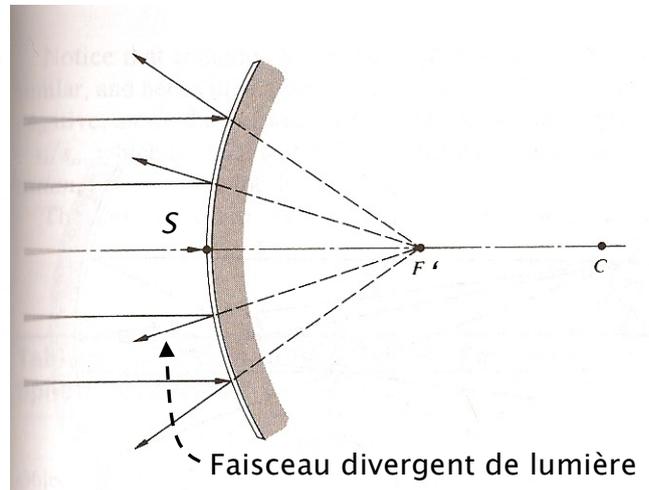
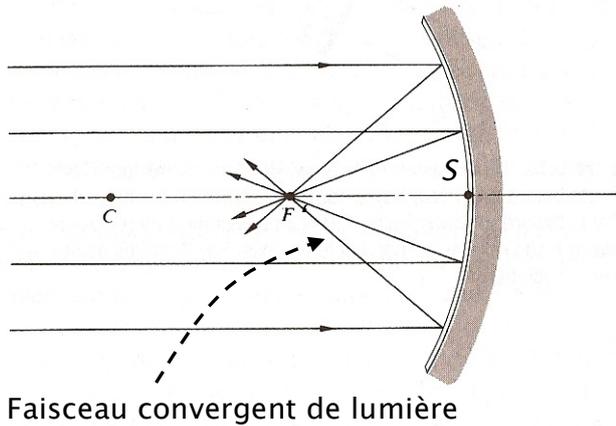
Arbre lointain, objet (presque) à l'infini

Rayons lumineux quasiment parallèles

Les figures ci-dessous résument la situation :

Miroir concave convergent :  $\overline{SF'} < 0$ ,  $F'$  réel

Miroir convexe divergent :  $\overline{SF'} > 0$ ,  $F'$  virtuel



**b) le foyer objet  $F$**

On cherche la position d'un objet sur l'axe optique, noté  $F'$ , que l'on appelle **LE FOYER OBJET**, telle que son image par le miroir sphérique soit à l'infini.

$$F \xrightarrow{MS} A'_\infty$$

Pour déterminer où se trouve  $F$ , il faut encore utiliser la relation de conjugaison :  $\frac{2}{SC} = \frac{1}{SF} + \frac{1}{\underbrace{SA'_\infty}_{=0}}$

soit :

$$\overline{SF} = \frac{\overline{SC}}{2}$$

Le foyer objet  $F$  se trouve au milieu du segment  $\overline{SC}$ .

On constate que le foyer image et le foyer objet sont confondus. On obtient directement ce résultat en utilisant le principe du retour inverse de la lumière. Il suffit d'inverser le sens des rayons lumineux sur les figures ci-dessus.

$$F = F'$$

Il est d'usage en optique d'utiliser les notations suivantes :

Notations:

$$f = \text{distance focale objet} = \overline{SF}$$

$$f' = \text{distance focale image} = \overline{SF'}$$

$$V = \text{vergence} = \frac{1}{f'}$$

Nous verrons l'utilité de la vergence plus tard (employée par les opticiens).

Dans le cas du miroir plan :

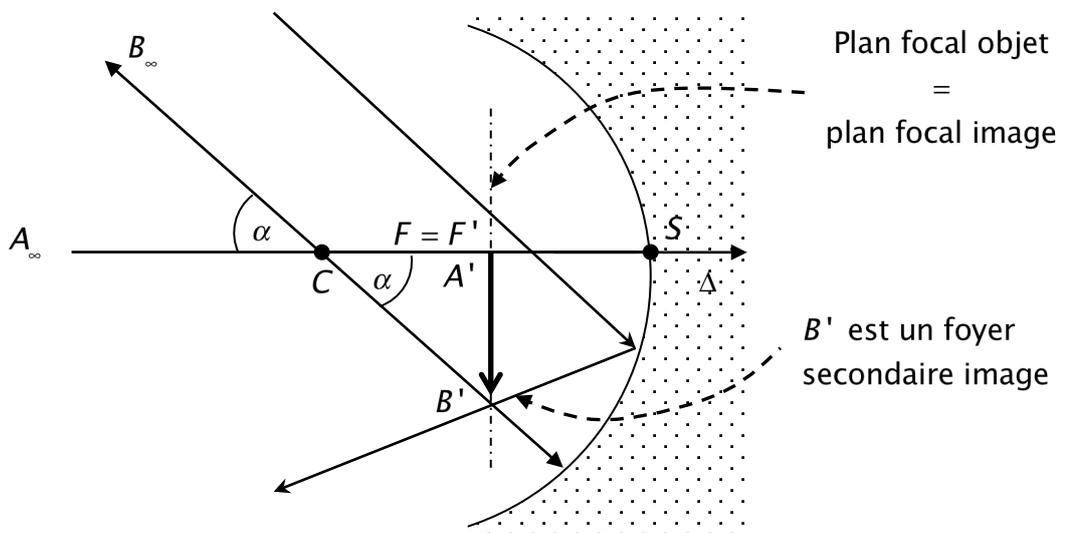
$$f = f' = \frac{1}{V} = \overline{SF'} = \frac{R}{2}$$

Pour un miroir convexe  $V$  et  $f' > 0$  et pour un miroir concave  $V$  et  $f' < 0$  .

### c) Plan focal, foyers secondaire

A présent, on cherche l'image d'un objet à l'infini qui n'est plus sur l'axe optique. Cela signifie que le faisceau de rayons lumineux n'est plus parallèle à l'axe optique (par contre les rayons lumineux sont toujours parallèles entre eux).

Par aplanétisme dans l'approximation de Gauss, l'image doit se trouver dans le plan perpendiculaire à l'axe optique qui passe par les foyers  $F$  et  $F'$ . Ce plan est le **PLAN FOCAL** (pour un MS, le plan focal objet est confondu avec le plan focal image).



L'image  $A'B'$  est dans la plan focal,  $B'$  est un **foyer dit secondaire**. Dans l'approximation de Gauss,  $\tan \alpha \approx \alpha$ ,  $\alpha$  est le **diamètre apparent** de l'objet à l'infini (comme pour les planètes et les

étoiles). D'après la figure ci-dessus,  $\alpha = \frac{FB'}{CF} = \frac{A'B'}{|f'|}$ .

#### d) Système focal et afocal

- Le miroir sphérique possède un foyer objet et un foyer image, c'est un **système optique focal**.
- Pour le dioptre plan et le miroir plan ?

→ miroir plan :  $\overline{HA} + \overline{HA'} = 0$  ; si l'objet  $A_\infty$  est à l'infini alors l'image  $A'_\infty$  est à l'infini. Il n'y a pas de foyer

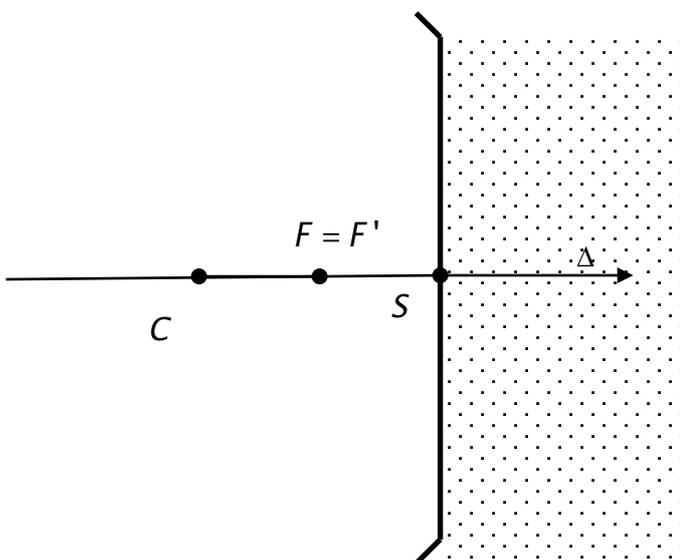
→ dioptre plan :  $\frac{\overline{HA'}}{\overline{HA}} \approx \frac{n_2}{n_1}$  ; si l'objet  $A_\infty$  est à l'infini alors l'image  $A'_\infty$  est à l'infini. Il n'y a pas de foyer.

Le dioptre plan et le miroir plan sont des **systèmes optiques afocaux**.

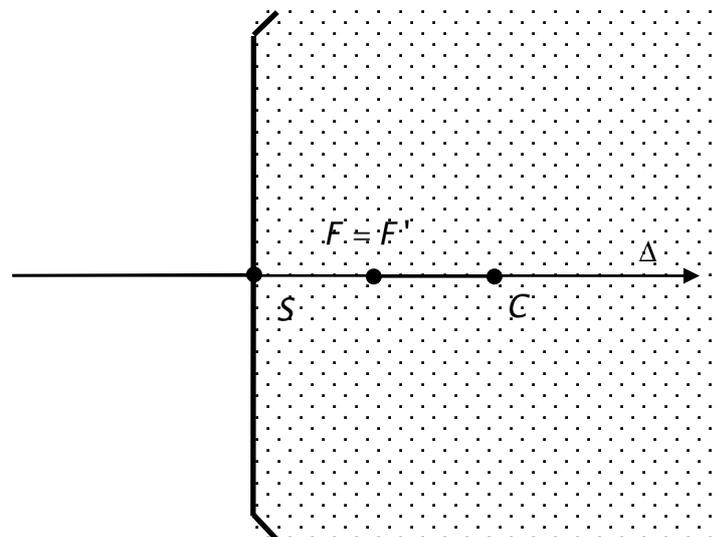
### 4-4 Modélisation et construction des images

À présent, nous allons modéliser le miroir de la façon suivante. On ne représente plus la courbure du miroir puisqu'on la néglige dans les conditions de Gauss (cependant, c'est parce que le miroir est sphérique qu'il a des propriétés spécifiques !).

#### Miroir concave (convergent)

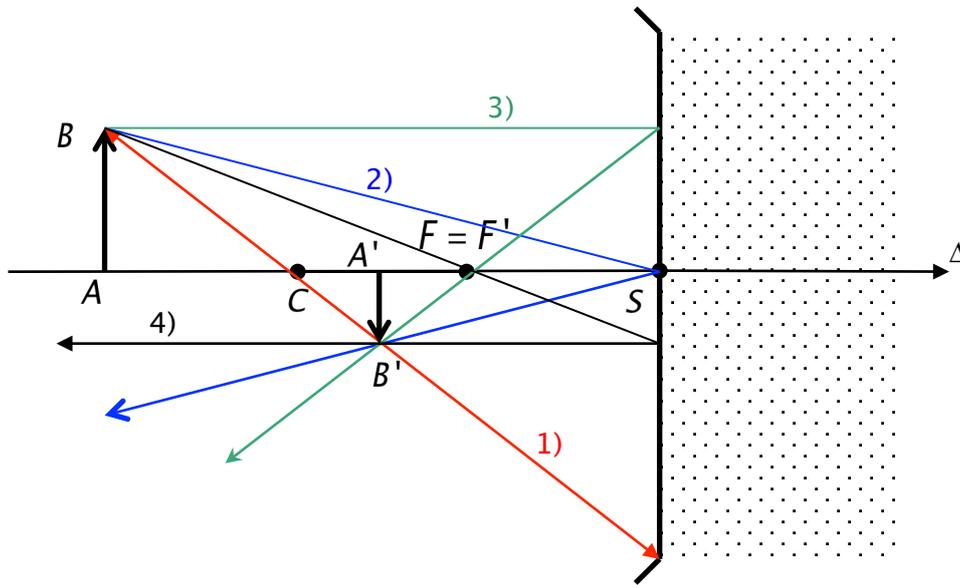


#### Miroir convexe (divergent)



On souhaite construire l'image d'un objet  $AB$  perpendiculaire à l'axe optique. Pour avoir  $B'$ , l'image de l'objet  $B$ , il suffit de 2 rayons parmi ces 4.

- 1) Le rayon passant par  $B$  et  $C$  revient sur lui-même.
- 2) Le rayon passant par  $B$  et  $S$  revient symétriquement par rapport à l'axe optique.
- 3) Le rayon venant de l'infini, parallèle à l'axe optique et passant par  $B$ , revient en passant par  $F$ .
- 4) Le rayon passant par  $B$  et  $F$  revient parallèle à l'axe optique.



#### 4-5 Autres relations de conjugaison

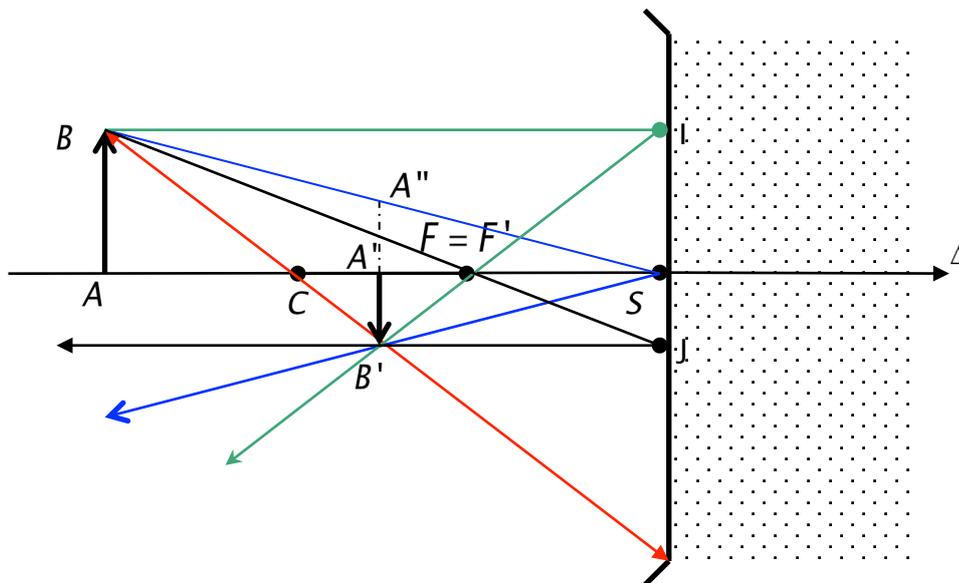
Rappelons qu'une relation de conjugaison permet de déterminer la position et le grandissement de l'image sans construction géométrique.

a) Formule de Descartes avec origine au sommet (déjà rencontrée)

On rappelle que la relation de conjugaison s'écrit  $\frac{2}{SC} = \frac{1}{SA} + \frac{1}{SA'} = \frac{1}{SF'}$ . On cherche à déterminer le

grandissement transversal qui vaut par définition  $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$ .

Pour ce faire, nous allons utiliser la figure suivante :



$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -\frac{\overline{A'A''}}{\overline{AB}} = -\frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}} \text{ d'après le théorème de Thalès.}$$

On retiendra le résultat suivant :

$$\gamma = -\frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}}$$

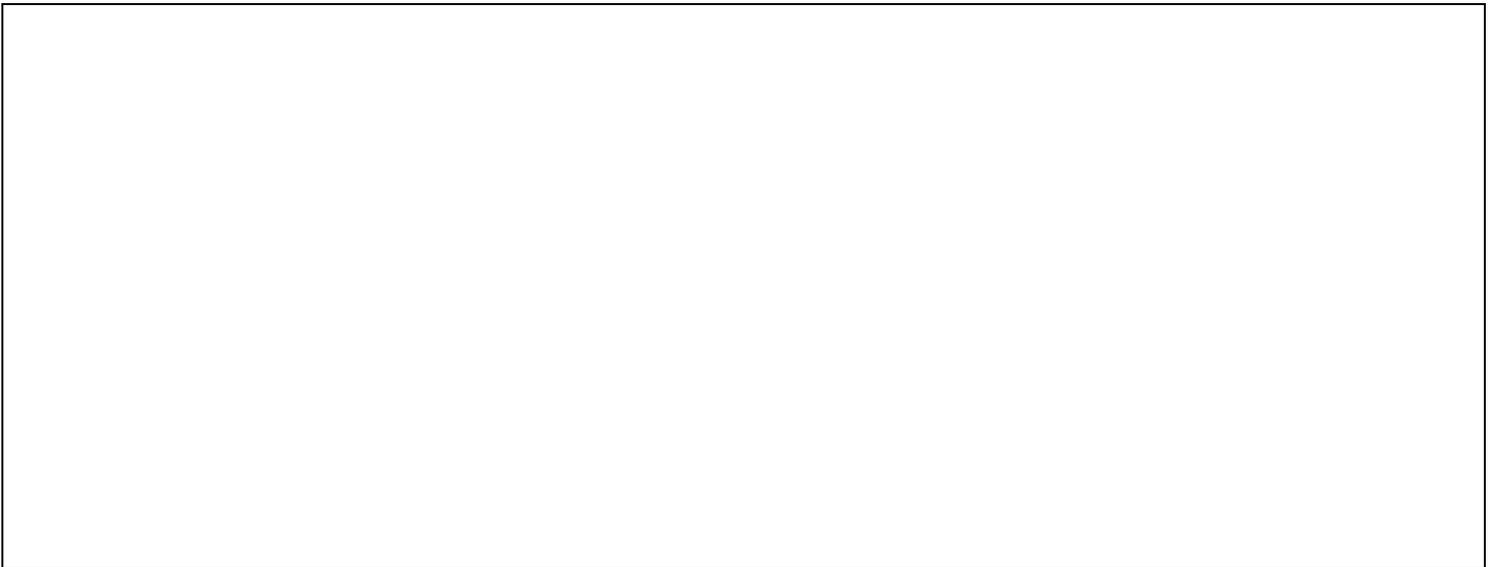
b) Formule de Newton avec origine au foyer

Nous allons encore utiliser la figure ci-dessus (Calculs au tableau) :



$$\overline{FA} \overline{F'A'} = \overline{FS} \overline{F'S} = f'^2 = \frac{R^2}{4} \text{ et } \gamma = -\frac{\overline{SF}}{\overline{FA}} = -\frac{\overline{F'A}}{\overline{SF'}}$$

c) Formule de Descartes avec origine au centre (Calculs au tableau)



$$\frac{1}{CA'} + \frac{1}{CA} = -\frac{1}{f'} = \frac{2}{CS} \text{ et } \gamma = \frac{CA'}{CA}$$

#### 4-6 Comment tromper le regard

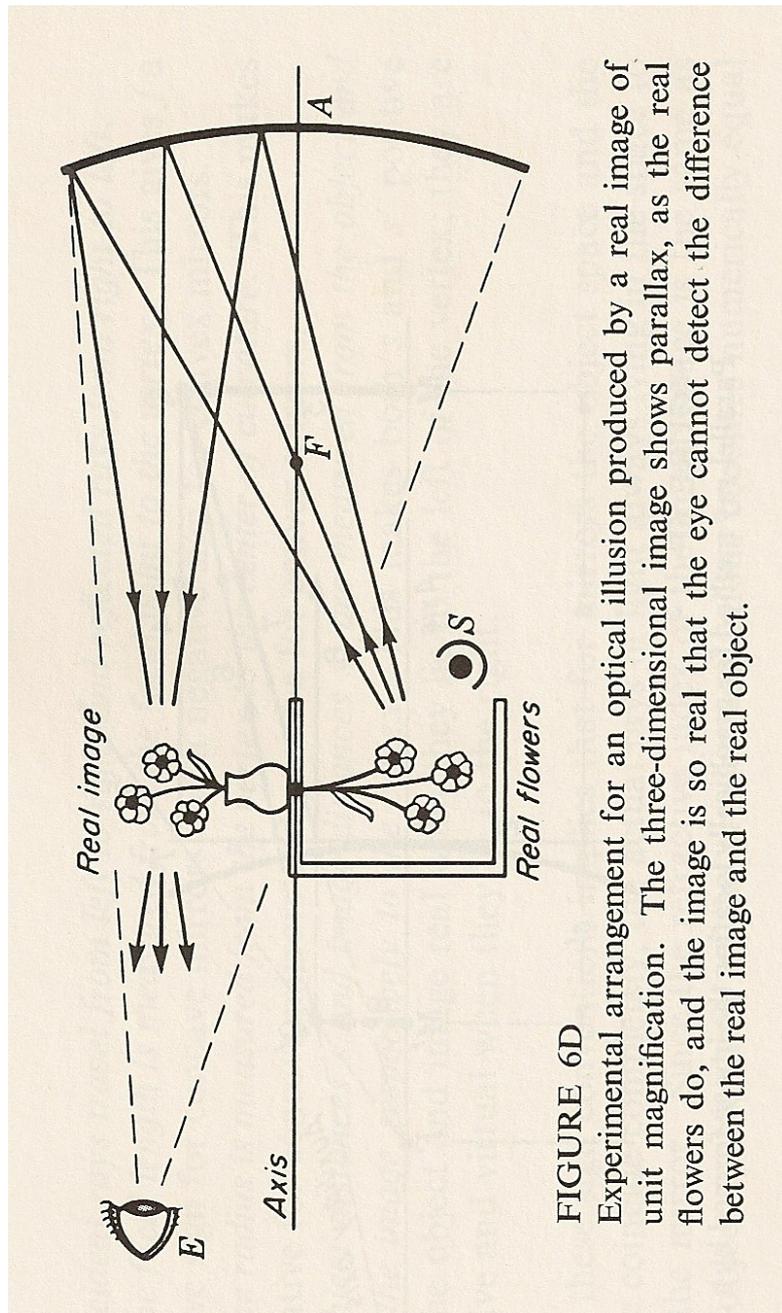
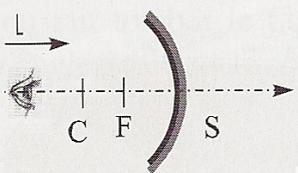
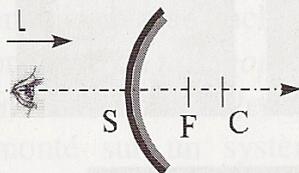


FIGURE 6D

Experimental arrangement for an optical illusion produced by a real image of unit magnification. The three-dimensional image shows parallax, as the real flowers do, and the image is so real that the eye cannot detect the difference between the real image and the real object.

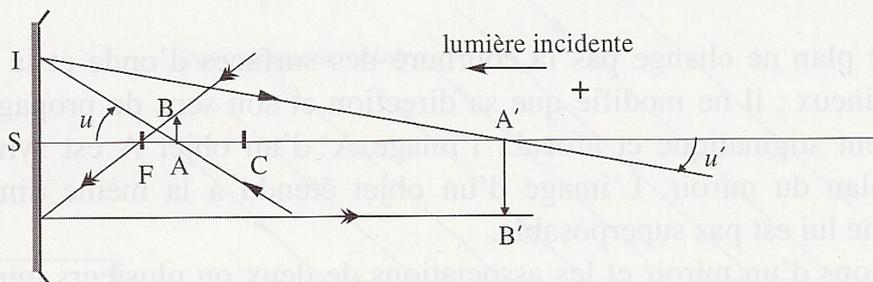
# V - Bilan pour les miroirs sphériques

**Tableau 5.39** Caractéristiques spécifiques à chaque type de miroir sphérique.

 <p style="text-align: center;">concave</p>	 <p style="text-align: center;">convexe</p>
Miroir sphérique concave réfléchissant par sa face creuse	Miroir sphérique convexe réfléchissant par sa face bombée
$SC < 0$	$SC > 0$
$f = SF = SF' = SC/2 < 0$ équidistant de C et de S (milieu de SC)	$f = SF = SF' = SC/2 > 0$ équidistant de C et de S (milieu de SC)
Convergent, F est réel	Divergent, F est virtuel
Vergence (en dioptries) : $V = \frac{1}{SF} = \frac{2}{SC} > 0$	Vergence (en dioptries) : $V = \frac{1}{SF} = \frac{2}{SC} < 0$

## Principales formules de position et de grandissement

Selon le problème à résoudre, l'emploi de l'un ou de l'autre des groupes de relations du tableau 5.41 conduit à des calculs plus ou moins simples. Après un calcul effectué par l'un des deux premiers groupes, il est conseillé de faire une vérification par la formule de position de Newton (fig. 5.40).



**Fig. 5.40** Marche des rayons incident et réfléchi.

**Tableau 5.41** Principales formules de position et de grandissement.

Origine	Formule de conjugaison	Grandissement transversal
Centre C (Descartes)	$\frac{1}{CA} + \frac{1}{CA'} = \frac{2}{CS} = \frac{1}{CF}$	$\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{CA'}{CA}$
Sommet S (Descartes)	$\frac{1}{SA} + \frac{1}{SA'} = \frac{2}{SC} = \frac{1}{SF}$	$\gamma = \frac{A'B'}{AB} = -\frac{SA'}{SA}$
Foyer principal F (Newton)	$FA \cdot FA' = FS^2 = R^2/4$	$\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{FS}{FA} = \frac{FA'}{FS}$

Ici dans ces tableaux, le symbole  $-$  pour les valeurs algébriques a été omis.

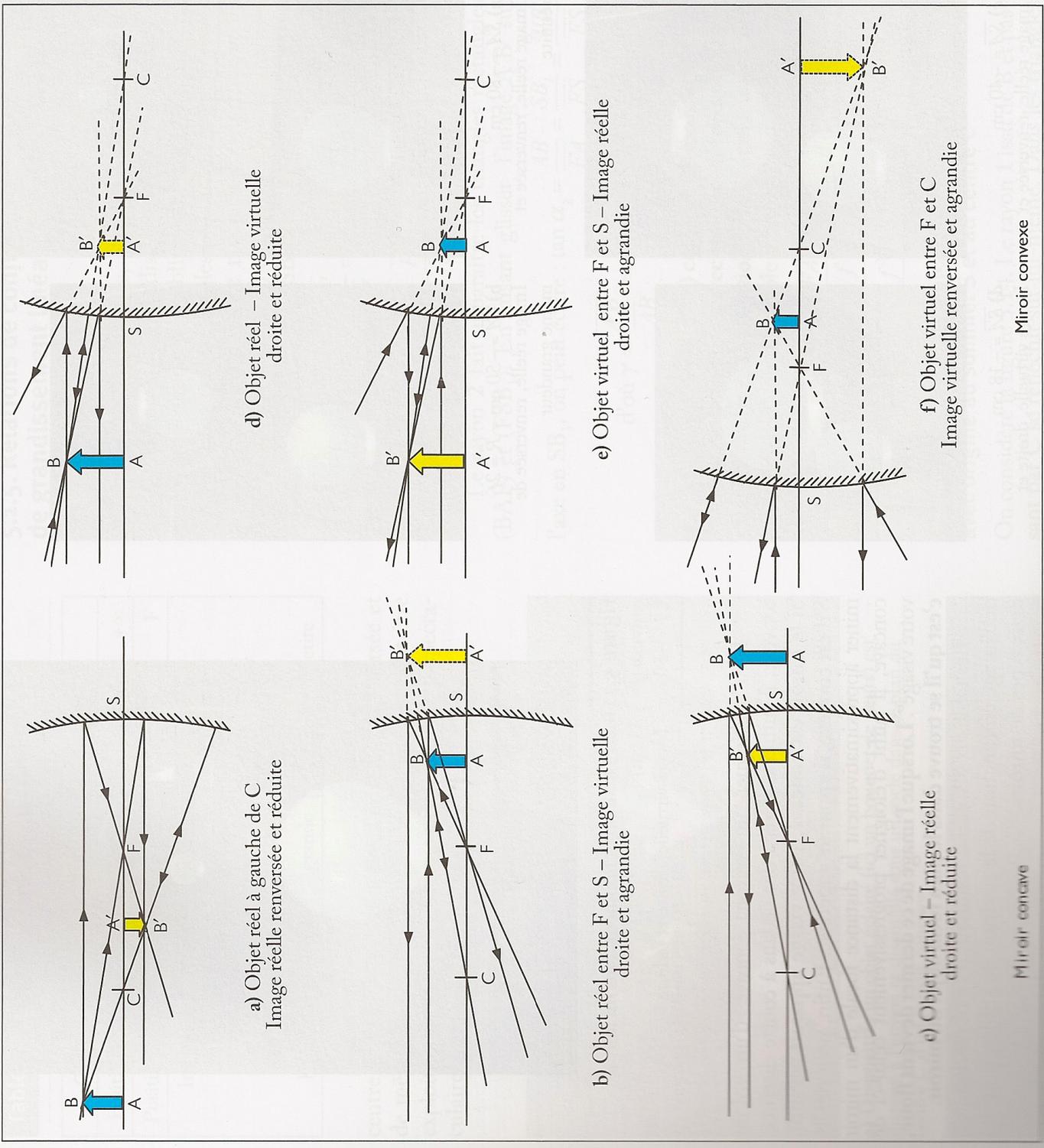


Figure 5.B Construction de l'image d'un objet non ponctuel.