

## CHAPITRE 2 : INTERACTION LUMIÈRE MILIEUX TRANSPARENT.

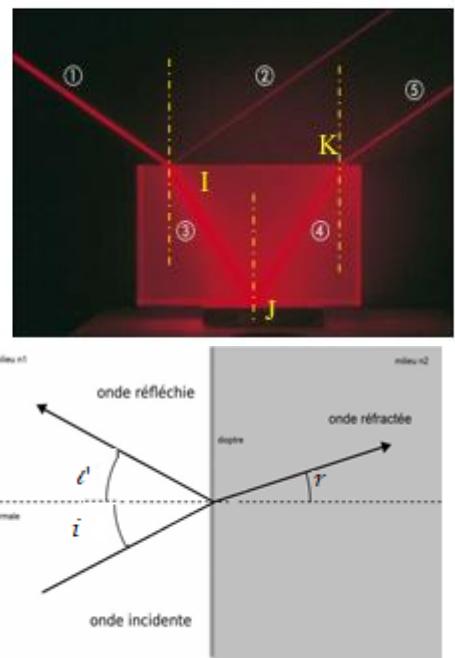
### 2.1 Interaction De La Lumière Avec Un Milieu Transparent.

La **propagation** de la lumière dans un milieu transparent, homogène se **fait en ligne droite**. Lorsque la lumière **rencontre** un autre milieu homogène et transparent **deux phénomènes** peuvent se produire.

L'image suivante illustre ces deux phénomènes. La lumière incidente se propageant dans l'air est schématisée par le **rayon lumineux (1)**. Lorsqu'elle arrive sur la lame de verre transparente, une partie de la lumière incidente est **réfléchie**, et l'autre est **réfractée**.

La lumière réfractée au point (I) pénètre dans la lame de verre (rayon IJ (3)), et quand elle arrive au point (J) elle subit une **autre réflexion** (le rayon JK (4)) puis émerge de la lame en se réfractant au point (K) (le rayon lumineux (5)).

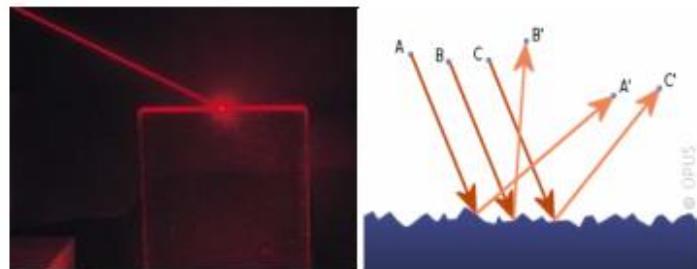
Réellement les deux phénomènes peuvent exister en **même temps**, l'intensité de la lumière **réfléchie** dépend des milieux, et est **généralement inférieure** à celle de la lumière réfractée.



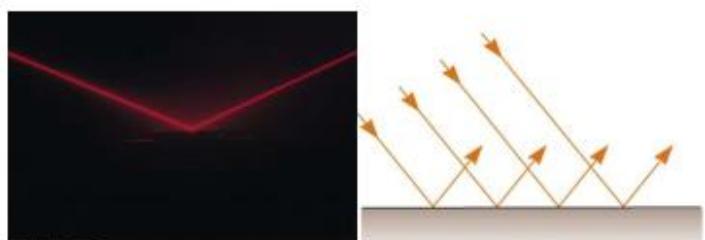
### 2.2 Réflexion Plane, Miroir Plan.

La **réflexion** est un phénomène lumineux qui se produit quand la lumière change de milieu de propagation. On distingue deux types de réflexion. La **réflexion diffuse** et la **réflexion spéculaire**.

- a- **La réflexion diffuse** se produit quand la surface de contact est **rugueuse**. La lumière incidente est diffusée dans toutes les directions. Les rayons lumineux sont réfléchis dans tous les sens.



- b- **La réflexion spéculaire** se produit lorsque la surface de contact est **lisse** (**miroir, surface d'eau très calme**). Après réflexion tous les rayons lumineux **réfléchis** se propagent dans une même direction et sont **parallèles** les uns aux autres.



Dans la suite du cours, on n'abordera que le cas de la réflexion spéculaire.

### c- Remarque :

- **La microscopie spéculaire** est une technique d'exploration de la couche interne (endothélium) de la cornée pour recueillir des informations quantitatives et qualitatives de cette couche (maladie de **GUTTA TA**).



- **L'endoscopie ou fibroscopie** est une méthode d'exploration visuelle médicale ou industrielle de l'intérieur d'une cavité inaccessible à l'œil directement.



L'instrument utilisé, appelé **endoscope** ou **fibroscopie**, est composé d'un tube optique muni d'un système d'éclairage qui diffuse de la lumière à l'intérieur de la cavité. Lorsqu'il est couplé à une caméra vidéo, il peut retransmettre l'image sur un écran et nous permet d'observer l'état des milieux éclairés. La fibroscopie est très utilisée en médecine pour explorer l'œsophage, le pharynx, les bronches, l'estomac, le côlon etc.

### 2.2.1 Définition Du Miroir.

Toute surface qui réfléchit totalement ou partiellement la lumière définit un miroir. Cette surface peut être plane ou courbe.



### 2.2.2 Aspect Géométrique et Notations.

Soit un rayon lumineux (SI) issu d'un objet (S), qui arrive sur un miroir plan (M), les notations suivantes seront retrouvées souvent dans la suite du cours.

S : Source lumineuse (objet), elle émet de la lumière dans toutes les directions.

I : le point d'incidence, le point de contact du rayon lumineux avec la surface réfléchissante.

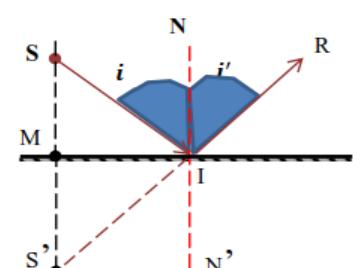
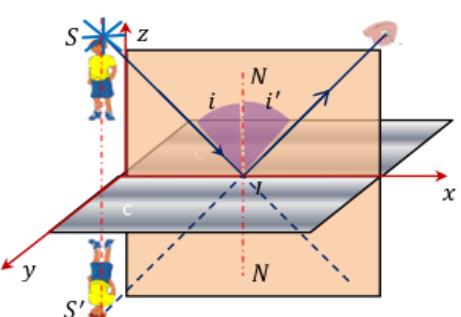
NIN' : Est une droite fictive perpendiculaire au plan réflecteur (la normale), les angles sont définis par rapport à cette normale.

$\widehat{SIN} = i$  : Angle d'incidence.

IR : Rayon lumineux réfléchi.

$\widehat{NIR} = i'$  : Angle de réflexion.

S' : Image de l'objet S donnée par réflexion sur le miroir.



Le rayon lumineux réfléchi semble toujours provenir de l'image observée. Cette image est située sur le point **d'intersection** de la **normale** passant par l'objet avec la **direction** du rayon lumineux réfléchi.

### 2.2.3 Lois De La Réflexion (lois de Snell Descartes).

Les lois de Snell-Descartes décrivent le comportement de la lumière au niveau de l'interface. Ces lois sont à la base de l'optique géométrique.

Ces lois sont au nombre de deux, elles régissent la réflexion :

- Le plan d'incidence est toujours confondu avec le plan de réflexion.
- L'angle d'incidence noté ( $i$ ) et l'angle de réflexion noté ( $i'$ ) sont égaux.

#### 2.2.4 Caractéristiques De L'image Données Par Réflexion Plane.

L'image donnée par un système optique est caractérisée par sa **position**, sa **nature**, son **sens d'orientation** ainsi que sa **taille**.

##### 2.2.4.1 Conditions De Visibilité De L'image :

Ne pas confondre entre existence de l'image et sa visibilité. Il se peut que le système optique forme une image d'un objet donné, mais celle-ci n'est pas vue par l'observateur.

###### a- Existence de l'image :

Si l'on peut tracer au moins un rayon lumineux issu de l'objet et réfléchi par le miroir, on peut affirmer dans ce cas de figure que le miroir forme une image.



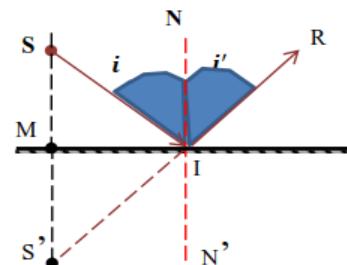
###### b- Visibilité de l'image :

Pour que l'image soit vue par l'observateur, il faut que le rayon lumineux réfléchi intercepte l'œil de l'observateur.

#### 2.2.4.2 Position De L'image.

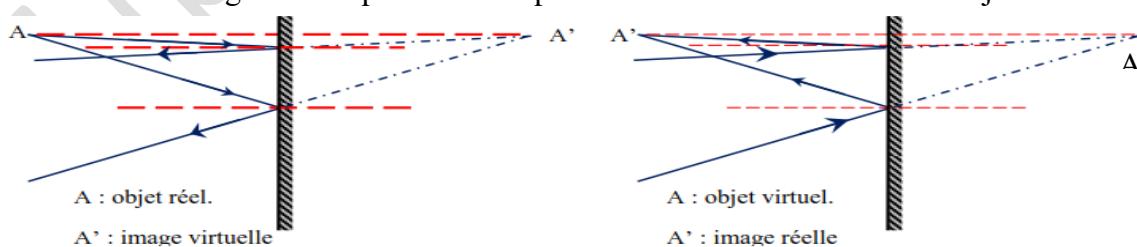
L'image donnée par réflexion plane est toujours symétrique de l'objet par rapport au miroir (plan réflecteur).

$\overline{MS} = \overline{MS'}$  {  
 M : étant le miroir.  
 S : source lumineuse ou objet.  
 S' : image de la source lumineuse ou image.  
 $\overline{MS}$  : position de l'objet par rapport au miroir.  
 $\overline{MS'}$  : position de l'image par rapport au miroir.



#### 2.2.4.3 Nature De L'image.

La nature de l'image formée par réflexion plane est différente de celle de l'objet.



#### 2.2.4.4 Sens De L'orientation De L'image.

L'image donnée par réflexion est renversée (à l'envers). "Ambulance" est écrite à l'envers sur les véhicules. Ce type d'affichage, appelé « effet miroir » est destiné à faciliter l'identification du véhicule de secours par les automobilistes qui le précèdent. Car le reflet du mot dans le rétroviseur se lit à l'endroit.



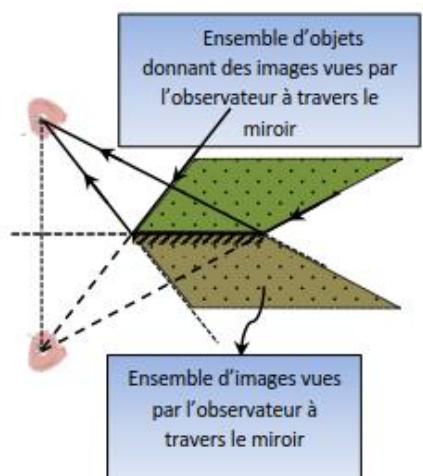
#### 2.2.4.5 Taille De L'image.

La taille de l'image formée par réflexion plane est la même que celle de l'objet.

#### 2.2.5 Champ De Vision Et Champ Du Miroir :

Le champ du miroir est la position de l'espace observable dans un miroir. Il varie avec la position de l'œil de l'observateur. En effet, lorsque l'observateur se déplace, il aperçoit des images d'objets différents.

- **Le champ du miroir** est l'ensemble des images délimitées par les directions des rayons lumineux limites, passant par les extrémités du miroir, et arrivant à l'œil de l'observateur.
- **Le champ de vision** est l'ensemble des objets, donnant des images vues par l'observateur à travers le miroir, il est appelé aussi la profondeur de champ.

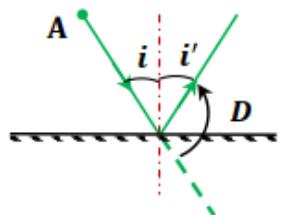


#### 2.2.6 Angle De Déviation Du Rayon Lumineux :

L'angle formé par direction du rayon lumineux incident et celle du rayon lumineux émergent définit l'angle de déviation.

L'expression de cette déviation notée (**D**) dans le cas de la réflexion est :

$$\widehat{D} + i + i' = \pi \rightarrow \widehat{D} = \pi - 2 \times i$$



## 2.3 Réfraction Plane, Diopstre Plan.

### 2.3.1 Définition :

On appelle **réfraction** tous **changement de direction** que subit la lumière lorsqu'elle change de milieu de propagation. Ce deuxième phénomène se produit lorsque le rayon lumineux intercepte un deuxième milieu transparent.

La lumière émise par l'objet (source lumineuse) se trouvant dans le premier milieu « milieu d'**incidence** », **traverse** la surface séparant les deux milieux et **change** de direction. L'indice de réfraction du milieu d'**incidence** sera noté ( $n_i$ ), celui du second « milieu de réfraction » sera noté ( $n_r$ ).

L'observateur se trouvant dans le deuxième milieu **intercepte** la lumière **réfractée** et voit l'image de l'objet formée par réfraction. Dans le cas de la réfraction l'observateur et l'objet sont séparés par la surface réfractante.

La surface qui sépare les deux milieux transparents est un **système optique** appelé Le **DIOPTRE**.

### 2.3.2 Aspect Géométrique Et Notations :

**S** : Source lumineuse ponctuelle, elle joue le rôle d'objet.

**SI** : Le rayon lumineux incident issu de l'objet ponctuel.

**I** : Le point d'**incidence**, le point de contact du rayon lumineux incident avec la surface réfractante.

**NIN'** : la normale, elle est perpendiculaire au diopstre, les angles seront mesurés par rapport à cette normale.

**SIN = i** : Angle d'**incidence**.

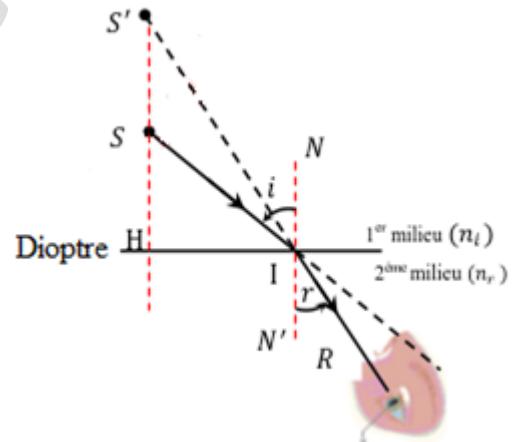
**IR** : Rayon réfracté.

**N'IR = r**: Angle de réfraction.

**S'**: Image de l'objet ponctuel **S** formée par le diopstre.

La direction du rayon lumineux réfracté **passe** toujours par l'**œil** de l'observateur, il semble provenir de l'image **observée**.

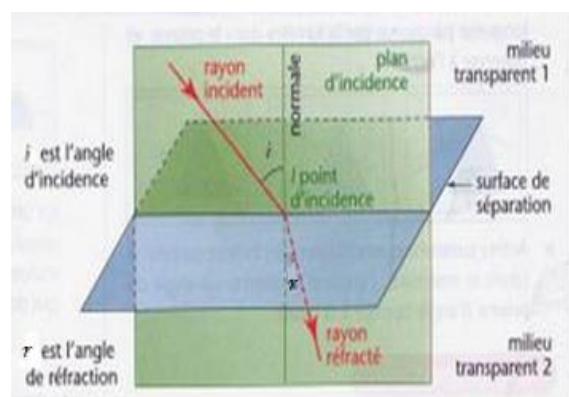
Cette image est **située** sur le point **d'intersection** de la normale passant par l'**objet** avec la **direction** du rayon lumineux **réfracté**.



### 2.3.3 Lois De La Réfraction (Snell Descartes).

Ces lois sont au nombre de deux, elles régissent la réfraction.

a- Le plan **d'incidence** est toujours **confondu** avec le plan de **réfraction**. Le plan d'**incidence** est le plan qui contient le rayon lumineux issu de l'objet, et le plan de réfraction est le plan qui contient le rayon lumineux réfracté arrivant vers l'**œil** de l'observateur, (voir schéma).



b- L'angle d'incidence et l'angle de réfraction sont reliés par :

$$n_i \times \sin(i) = n_r \times \sin(r) \quad \begin{cases} n_i : indice du \textbf{milieu d'incidence (objet)}. \\ n_r : indice du milieu de réfraction (observateur). \\ i : angle d'incidence. \\ r : angle de réfraction. \end{cases}$$

### 2.3.4 Analyse De La Deuxième Loi De Réfraction.

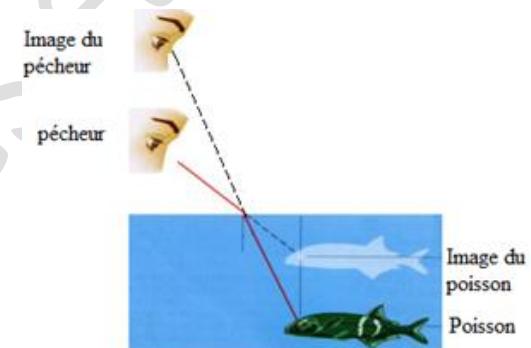
L'angle de réfraction ( $r$ ) dépend des indices de réfractions ( $n_i$ ) et ( $n_r$ ) ainsi que de l'angle d'incidence ( $i$ ).

$$\sin(r) = \frac{n_i}{n_r} \times \sin(i)$$

La position de l'œil de l'observateur est donnée par l'angle de réfraction ( $r$ ).

#### Deux situations différentes peuvent se présenter.

- a- Soit que l'objet se trouve dans le milieu le moins réfringent, c'est-à-dire que ( $n_i < n_r$ ). Dans le cas du pêcheur et du poisson, le pêcheur joue le rôle d'objet et le poisson le rôle d'observateur.
- b- Soit que c'est l'observateur se trouve dans le milieu le moins réfringent, ( $n_i > n_r$ ). Le pêcheur joue le rôle d'observateur et le poisson le rôle d'objet.



#### Analysons chaque cas séparément.

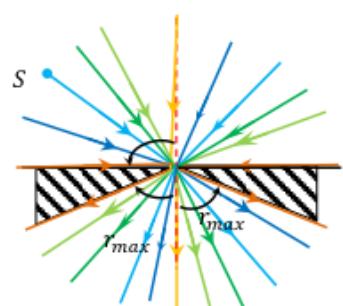
##### 2.3.4.1 L'objet Se Trouve Dans Le Milieu Le Moins Réfringent :

$$(n_i < n_r)$$

Dans cette situation, nous remarquons que le rapport  $\left(\frac{n_i}{n_r} < 1\right)$ , la fonction  $(\sin(i) \leq 1)$ , on déduit que le produit  $\left(\frac{n_i}{n_r} \times \sin(i) < 1\right)$  ce qui donne que le rayon lumineux incident se réfracte quel que soit la valeur l'angle ( $i$ ).  $(\sin(r) = \frac{n_i}{n_r} \times \sin(i) < 1)$ . Un ensemble de points sont à notés :



- Toute la lumière dont  $(0 \leq i \leq 90^\circ)$  se réfracte, avec  $(0 \leq r \leq r_{max})$ . ( $r_{max}$ ) est la valeur maximale de l'angle de réfraction. Sa valeur est déterminée dans le cas d'une incidence rasante ( $i = 90^\circ$ ).
- L'angle ( $r < i$ ), le rayon réfracté se rapproche de la normale, l'image de l'objet formée par le dioptre s'éloigne du système optique.
- La lumière réfractée n'est pas dispersée.
- La visibilité de l'image dépend de la **position de l'observateur**. C'est-à-dire que si le poisson se trouve dans la zone hachurée, il ne peut pas voir l'image du pêcheur, car la lumière n'est pas réfractée dans cette zone.



##### 2.3.4.2 L'objet Se Trouve Dans Le Milieu Le Plus Réfringent : $n_i > n_r$

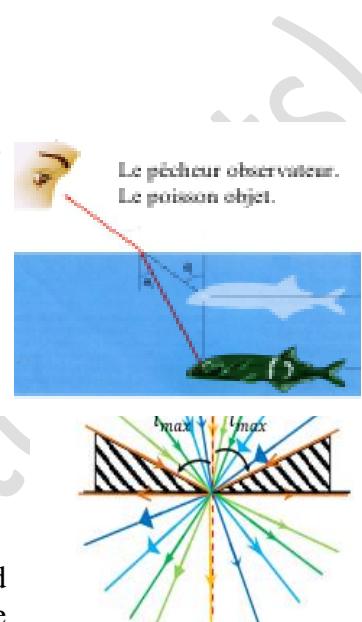
Dans cette deuxième situation, nous remarquons que le rapport  $\left(\frac{n_i}{n_r} > 1\right)$ , la fonction ( $\sin(i) \leq 1$ ), on déduit que le produit  $\left(\frac{n_i}{n_r} \times \sin(i)\right)$  n'est pas forcément inférieur à 1. Trois situations différentes peuvent se présenter.

$$\begin{cases} \text{Soit : } \left(\frac{n_i}{n_r} \times \sin(i) < 1\right) \text{ la réfraction est possible, } \sin(r) < 1. \\ \text{Soit : } \left(\frac{n_i}{n_r} \times \sin(i) = 1\right) \text{ la réfraction possible; } \sin(r) = 1 \\ \text{Soit : } \left(\frac{n_i}{n_r} \times \sin(i) > 1\right) \text{ la réfraction impossible; } \sin(r) > 1 \end{cases}$$

Nous remarquons dans cette situation que le rayon lumineux ne se réfracte que si ( $\sin(r) \leq 1$ ). Donc la réfraction de la lumière **n'est possible que si l'angle d'incidence ( $0 \leq i \leq i_{max}$ )**. On dit que la réfraction est **conditionnée**. Lorsque la **valeur** de l'angle d'incidence ( $i = i_{max}$ ), la valeur de l'angle de réfraction ( $r$ ) est **maximale** ( $r = 90^\circ$ ).

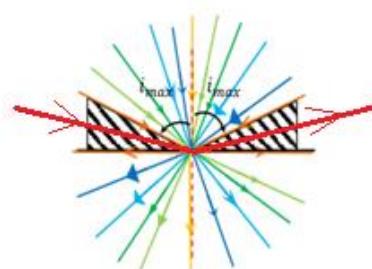
Notons aussi que, l'angle de réfraction ( $r > i$ ), le rayon **réfracté s'éloigne de la normale, ce qui fait que l'image se rapproche du système optique**.

- La lumière réfractée **est dispersée** dans le deuxième milieu.
- La **visibilité** de l'image formée dans cette seconde situation dépend de la **position de l'objet**. Si l'objet se trouve dans la zone hachurée, le rayon lumineux émis n'est pas réfracté.



#### 2.3.4.3 L'objet Se Trouve Dans Le Milieu Le Plus Réfringent Et Dans La Zone Hachurée :

Les rayons lumineux **issus de l'objet** se trouvant dans **la zone hachurée** auront une **valeur** d'angle d'incidence ( $i > i_{max}$ ), ces derniers ne seront pas réfractés ( $\sin(r) > 1$ ), **cas impossible**. Pour ces rayons lumineux le **dioptre se comporte comme un miroir plan**, la lumière incidente est réfléchie totalement.

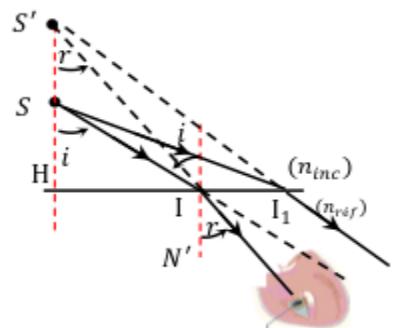


### 2.3.5 Caractéristiques De L'image Donnée Par Réfraction :

Soit un objet (S) ponctuel se trouvant dans un milieu ( $n_i$ ), la lumière émise se réfracte au niveau du dioptre ( $n_i, n_r$ ). Les caractéristiques de l'image formée par le dioptre sont :

#### 2.3.5.1 Position De L'image.

La position de l'image est donnée par le point d'intersection de la normale passant par l'objet avec la direction du rayon lumineux émergent (réfracté).



Nous remarquons que dans le triangle ( $\overline{HIS}$ ) que :

$$\rightarrow \tan(i) = \frac{\overline{HI}}{\overline{HS}} \dots (1); \quad \overline{HS} \text{ Étant la position de l'objet.}$$

Et que dans le triangle ( $\overline{HIS'}$ ) que

$$\rightarrow \tan(r) = \frac{\overline{H'I'}}{\overline{HS'}} \dots (2); \quad \overline{HS'} \text{ Est la position de l'image.}$$

Nous déduisons des deux expressions précédentes que :

$$\overline{HI} = \overline{HS} \times \tan(i) = \overline{HS'} \times \tan(r) \rightarrow \overline{HS'} = \frac{\tan(i)}{\tan(r)} \times \overline{HS} \dots (3)$$

**La position** de l'image  $\overline{HS'}$  **dépend** de la position de l'objet  $\overline{HS}$ , de l'angle **d'incidence** ( $i$ ) ainsi que de l'angle de **réfraction** ( $r$ ). C'est-à-dire qu'un seul **point** objet peut avoir **plusieurs points images**.

Nous déduisons que le dioptre **est un système optique astigmatique**. On parle dans ce cas **d'aberration géométrique**, l'image d'un **objet ponctuel n'est pas une image ponctuelle**.

Pour que le système optique soit stigmatique, il faut se placer dans le cas des **faibles incidences**, dites aussi **conditions de GAUSS**.

a. **Approximation De Gauss** : nommée d'après le physicien allemand **CARL FRIEDRICH GAUSS**, est l'approximation linéaire de l'optique géométrique obtenue dans certaines conditions. Cette approximation applicable en pratique, permet de simplifier les relations mathématiques de l'optique géométrique, et permettent de rendre l'**image ponctuelle (stigmatisme approché)**.

Les écarts qui résultent de cette approximation, rencontrés dans les instruments d'optique, sont appelés aberrations géométriques, et peuvent être négligés dans le cas des faibles incidences.

b. **Exemple** : calculer l'erreur relative commise dans le cas où l'on replace le sinus d'un angle par sa tangente.

$\alpha(^{\circ})$	$\alpha(\text{rad})$	$\tan(\alpha)$	$\sin(\alpha)$	Erreur relative commise.
$\alpha = 5^{\circ}$	$\alpha = \frac{5 \times \pi}{180^{\circ}} = 0,0872$	$\tan(5)=0.0874$	$\sin(5)=0.0871$	$\frac{\tan(5)-\sin(5)}{\tan(5)} = 3.4 \cdot 10^{-3}$

Donc on peut dire que pour les faibles valeurs de l'angle ( $\alpha$ )  $\rightarrow \tan(\alpha) \cong \sin(\alpha)$ , l'erreur relative commise lors de cette approximation est de l'ordre de ( $\varepsilon = 10^{-3}$ ), elle peut être négligée.

$$\begin{cases} \tan(i) \cong \sin(i) \\ \tan(r) \cong \sin(r) \end{cases}$$

### c. Application des approximations de Gauss à l'équation (3) :

L'équation (3) qui donne la position de l'image ( $\overline{HS'}$ ), devient :

$$\overline{HS'} = \frac{\tg(i)}{\tg(r)} \times \overline{HS} \cong \frac{\sin(i)}{\sin(r)} \times \overline{HS} \dots (4)$$

On sait aussi que l'équation (1) de Snell Descartes donne :

$$n_i \times \sin(i) = n_r \times \sin(r) \rightarrow \frac{\sin(i)}{\sin(r)} = \frac{n_r}{n_i} \dots (5)$$

Lorsque l'on combine l'équation (4) avec l'équation (5) on obtient :  $\overline{HS'} = \frac{n_r}{n_i} \times \overline{HS}$

$\overline{HS'}$  : est la position de l'image ( $S'$ ) par rapport au système optique (H).

$\overline{HS}$  : est la position de l'objet (S) par rapport au même système optique (H).

#### 2.3.5.2 Nature De L'image :

La nature de l'image donnée par un dioptre plan est différente de celle de l'objet. En effet la lumière émise par un objet réel arrive sur le dioptre en divergent, la lumière réfractée est divergente aussi.

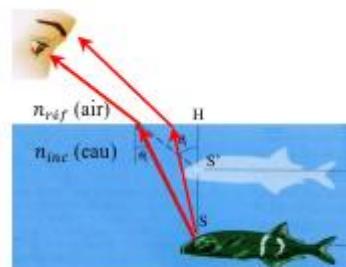
On déduit que si l'objet est réel l'image est virtuelle, et que si l'objet est virtuel l'image est réelle.

La lumière émergente est divergente, l'image est virtuelle.

La lumière incidente est convergente, l'objet est réel.

#### 2.3.5.3 Orientation Et taille De L'image :

L'image formée par réfraction est orientée dans le même sens que celui de l'objet, sa taille peut être différente de celle de l'objet.

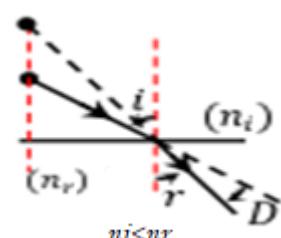


#### 2.3.6 Déviation Du Rayon Lumineux.

L'angle formé par la direction du rayon lumineux incident et la direction du rayon lumineux réfracté, définit l'angle de déviation. On distingue deux situations :

- a- Si l'objet se trouve dans le milieu le moins réfringent, le rayon lumineux se réfracte en se rapprochant de la normale, l'image donnée s'éloigne du dioptre :

$$n_{inc} < n_{réf}; i = D + r \rightarrow D = i - r$$



- b- Si l'objet se trouve dans le milieu le plus réfringent, le rayon lumineux se réfracte en s'éloignant de la normale, l'image donnée se rapproche du dioptre :

$$n_{inc} > n_{réf}; r = D + i \rightarrow D = r - i$$

