

OPTIQUE GEOMETRIQUE

1- INTRODUCTION A L'OPTIQUE GEOMETRIQUE :

1-1 DEFINITION DE LA PHYSIQUE :

C'est une science qui étudie les composants de la matière, l'énergie et leurs interactions.

1-2 DEFINITION DU RAYONNEMENT :

On appelle rayonnement ou radiation le processus d'émission ou de transmission d'énergie sous la forme d'ondes électromagnétiques ou de particules.

1-3 LE RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE (REM):

Le REM est composé d'un champ électrique et d'un champ magnétique oscillants avec la même fréquence, perpendiculaires l'un à l'autre ainsi qu'à la direction de leur propagation. L'onde qui en résulte transporte de l'énergie dans le vide ou dans un milieu matériel sans déplacement de matière.

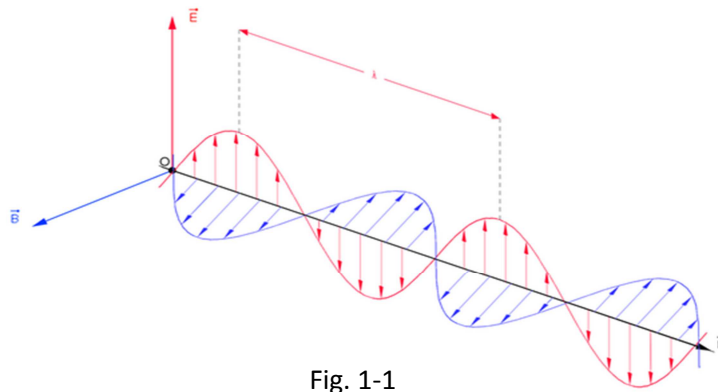
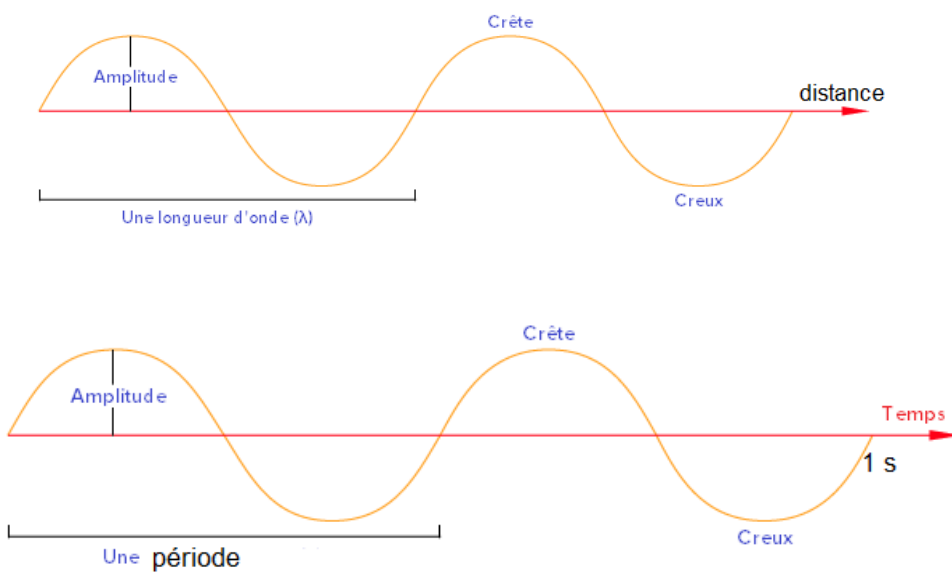


Fig. 1-1

1-4 RAPPELS SUR LES ONDES :



$$\nu = 2Hz$$

Fig. 1-2

1-5 Grandeurs caractérisant le REM :

Vitesse :

Les REM se déplacent à une vitesse v qui dépend du milieu traversé.

Dans le vide cette vitesse est égale à la constante $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ que l'on appelle célérité de la lumière. La vitesse de la lumière dans le vide est l'une des constantes fondamentales de la physique.

- Dans un milieu matériel, la vitesse de propagation de la lumière est toujours inférieure à c .
 - a- Dimension: $[v] = L \cdot T^{-1}$
 - b- Unité : dans le système MKSA : m/s

Période, fréquence et longueur d'onde :

$$v = \frac{v}{\lambda} = \frac{1}{T}$$

Le symbole ν représentant la fréquence est une lettre grecque prononcée nu.

V: vitesse, λ : longueur d'onde, T: période

a- Dimensions : $[T] = T$, $[\nu] = T^{-1}$, $[\lambda] = L$

b- Unités dans le système MKSA :

- Période : s
- fréquence : $s^{-1} = Hz$
- longueur d'onde : m

D'autres unités sont couramment utilisées pour la longueur d'onde à savoir : le nm ($1nm = 10^{-9}m$) et l'Å ($1\text{Å} = 10^{-10}m$).

1-6 LE SPECTRE ELECTROMAGNETIQUE :

Le spectre électromagnétique représente la répartition des ondes électromagnétiques en fonction de leur longueur d'onde, de leur fréquence ou bien encore de leur énergie (fig. 1-3).

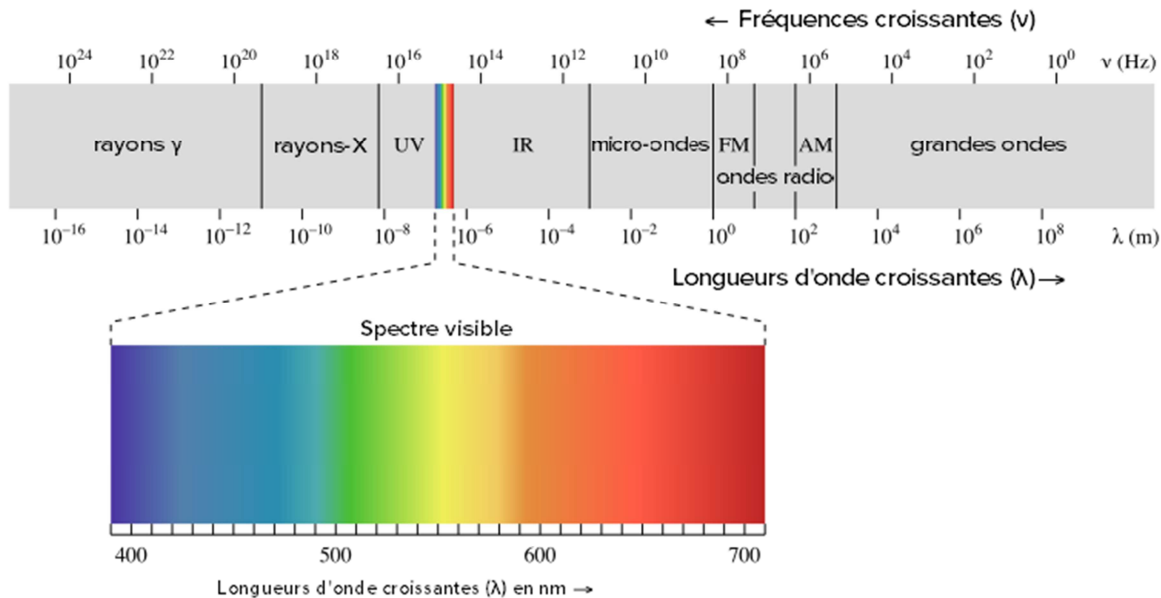


Fig. 1-3

1-7-1 Exemples de REM :

Les REM apparaissent à l'observateur sous différentes formes, telles que RX, lumière visible, ondes radio,...etc. Cependant la seule différence entre ces différents REM c'est leur longueur d'onde.

1-7-2 La lumière visible :

On désigne par le terme de « lumière visible » le spectre du rayonnement électromagnétique perceptible par l'œil humain.

Les longueurs d'ondes de la lumière visible s'échelonnent d'environ 380 nm (violet) à 780 nm (rouge). Les caractéristiques et les propriétés de la lumière sont étudiées dans le cadre de l'optique.

1-7-3 DEFINITION DE L'OPTIQUE :

L'optique est la branche de la physique qui traite de la lumière, de son comportement et de ses propriétés, du rayonnement électromagnétique à la vision en passant par les systèmes utilisant ou émettant de la lumière.

1-8 DEFINITION DE L'OPTIQUE GEOMETRIQUE :

L'**optique géométrique** est une branche de l'**optique** qui s'appuie notamment sur le modèle du **rayon lumineux**. Cette approche simple permet entre autres des constructions géométriques d'images, d'où son nom. Elle permet ainsi d'expliquer la formation des images.

Dans le cadre de l'optique géométrique, on considère que la lumière se propage sous forme de rayons lumineux ; ces rayons représentent alors la trajectoire de la lumière. En particulier, pour que la notion de rayons soit applicable, il faut que la longueur d'onde de la lumière soit très petite devant toutes les longueurs caractéristiques du milieu considéré. Lorsque cette hypothèse n'est plus vérifiée, par exemple lorsque l'onde rencontre un obstacle dont la taille est comparable à sa longueur d'onde, des phénomènes typiquement vibratoires interviennent, comme la diffraction et les interférences. Ces phénomènes pour lesquels interviennent la nature vibratoire de la lumière et sa propagation par ondes sont expliqués par l'optique ondulatoire.

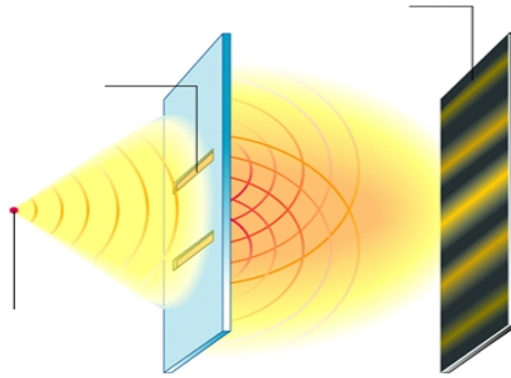


Fig. 1-4 : Phénomène d'interférences

- En optique géométrique on étudie la propagation de la lumière dans les milieux transparents, homogènes et isotropes.

1-8-1 Milieu transparent :

C'est un milieu qui n'absorbe pas la lumière. (contraire: opaque).



Fig. 1-5

1-8-2 Milieu homogène :

C'est un milieu qui présente les mêmes propriétés physiques en tout point (contraire: hétérogène).

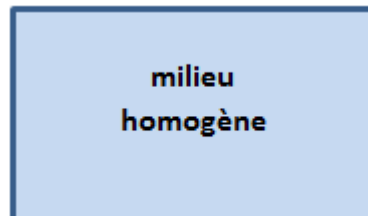


Fig. 1-6

1-8-3 Milieu isotrope :

C'est un milieu qui présente les mêmes propriétés physiques dans toutes les directions (contraire : anisotrope).

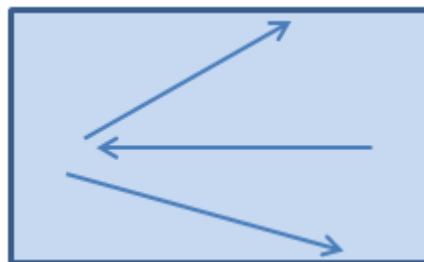


Fig. 1-7

1-8-4 HYPOTHESES DE L'OPTIQUE GEOMETRIQUE :

1- Le rayon lumineux :

On désire décrire la propagation de la lumière à travers différents milieux matériels. Cette étude est très compliquée lorsqu'on utilise la description de la lumière en terme d'onde du champ électromagnétique. Dans le cadre de l'Optique géométrique on ne considère ni le caractère ondulatoire, ni le caractère corpusculaire de la lumière, mais on utilise une approximation qui consiste à isoler, du flux lumineux étudié, une courbe matérialisant la direction (trajectoire) de propagation de la lumière. Cette courbe est appelée rayon lumineux.



Fig. 1-8 : la notion de rayon lumineux est connue depuis le temps des pharaons et même avant, elle est aussi connue par nous tous dès notre plus jeune âge.

2- INDEPENDANCE DES RAYONS LUMINEUX :

Les rayons lumineux sont considérés comme indépendants les uns des autres. Chaque rayon suit sa trajectoire comme si les autres rayons n'existaient pas.



Fig. 1-9

3- DANS UN MILIEU HOMOGENE, LA LUMIERE SE PROPAGE EN LIGNE DROITE :

Pour aller d'un point A vers un point B qui sont situés tous les deux dans un même milieu homogène, la lumière va suivre une trajectoire rectiligne.

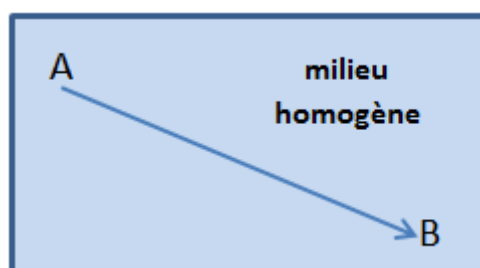


Fig. 1-10

4- Chemin inverse :

Pour aller d'un point B vers un point A, la lumière va suivre le même chemin qu'elle a parcouru pour aller du point A vers le point B.

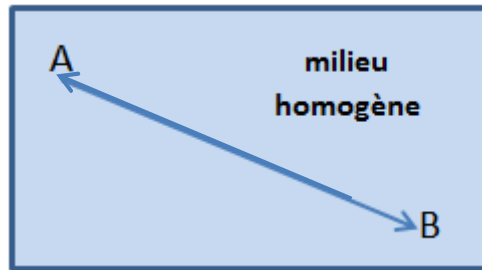


Fig. 1-11

1-9 Indice de réfraction d'un milieu :

C'est le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide et sa vitesse dans le milieu.

$$n = \frac{c}{v} \quad (1-1)$$

n : indice de réfraction du milieu. Il est sans dimension (sans unité).

c : vitesse de la lumière dans le vide.

v : vitesse de la lumière dans le milieu.

Milieu	Air	eau	verre
Indice n	1	4/3	1,5

Tableau 1 : valeurs de n dans quelques milieux.

1-10 Loi de Cauchy :

C'est une relation empirique qui donne l'indice de réfraction n en fonction de la longueur d'onde de la lumière pour un milieu transparent.

$$n = A + \frac{B}{\lambda_v^2} \quad (1-2)$$

Où :

A et B sont des coefficients dépendants du milieu.

λ_v est la longueur d'onde de la lumière dans le vide.

1-11 Relation entre longueurs d'onde dans un milieu et dans le vide :

$$\lambda_m = v \cdot T = \frac{c}{n} \cdot T = \frac{1}{n} \cdot c \cdot T = \frac{1}{n} \lambda_v$$
$$\lambda_m = \frac{1}{n} \lambda_v \quad (1-3)$$

Comme $n > 1$ donc :

$$\lambda_m < \lambda_v$$

- Lorsque la lumière passe du vide vers un milieu, sa longueur d'onde diminue. Et vice versa.
- Lorsque la lumière passe d'un milieu moins réfringent vers un milieu plus réfringent, sa longueur d'onde diminue.

1-12 LOIS DE SNELL-DESCARTES :

Point d'incidence : c'est le point où tombe le rayon incident.

La normale : c'est une droite qui passe par le point d'incidence et qui est perpendiculaire au plan tangent au point d'incidence.

Angle d'incidence : c'est l'angle entre la normale et le rayon incident.

Plan d'incidence : c'est le plan qui contient le rayon incident, la normale, ainsi que le rayon réfléchi ou réfracté.

1-13 LA REFLEXION : (Ibn Al Haythem) :

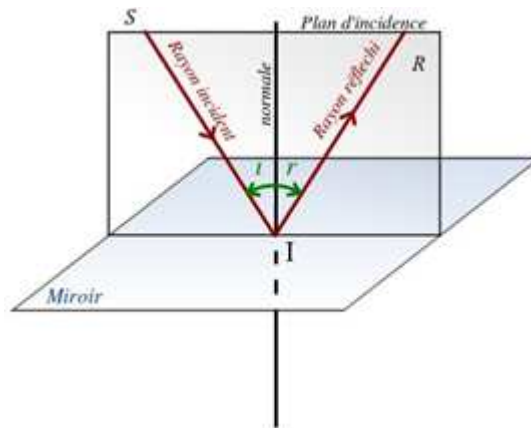


Fig. 1-12

Le rayon incident, le rayon réfléchi et la normale appartiennent tous au même plan, appelé plan d'incidence.

Loi de la réflexion : $r = i$ (1 - 4)

r et i représentent respectivement les valeurs absolues des angles de réflexion et d'incidence.

Remarque : si l'on prend les angles avec leurs valeurs algébriques (si l'on définit un sens positif et un sens négatif pour les angles), alors : $r = -i$

La déviation d'un rayon réfléchi :

L'angle de déviation est l'angle entre la direction du rayon incident et le rayon réfléchi.

$$d = \pi - 2i \quad (1 - 5)$$

d : angle de déviation.

i : angle d'incidence.

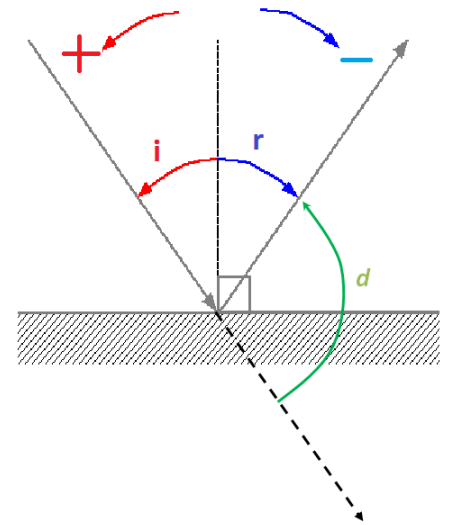


Fig. 1-13

1-14 LA REFRACTION :

Lorsqu'un rayon passe d'un milieu vers un autre milieu d'indice de réfraction différent, il subit un changement de direction. Ce phénomène est appelé réfraction.

Loi de la réfraction :

$$n_1 \sin(i) = n_2 \sin(r) \quad (1 - 6)$$

i : angle d'incidence, r : angle de réfraction.

n_1 et n_2 indices de réfraction du premier et du deuxième milieu traversés par le rayon.

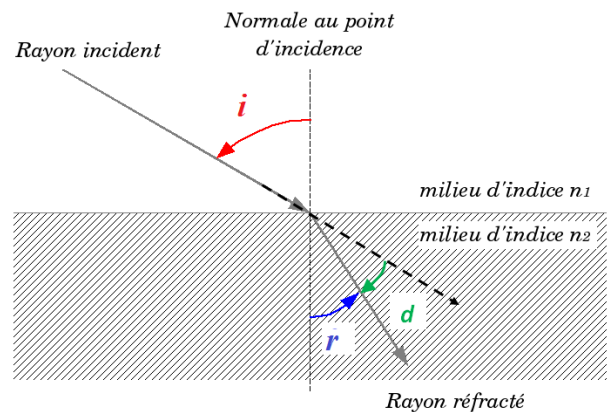


Fig. 1-14

Déviatiion d'un rayon réfracté :

$$d = r - i \quad (1 - 7)$$

1-14-1 CAS PARTICULIERS :

1) $n_1 < n_2$:

$$n_1 \sin(i) = n_2 \sin(r) \rightarrow \sin(r) = \frac{n_1}{n_2} \sin(i)$$

$$\rightarrow r < i$$

$$\rightarrow \sin(\lambda) = \frac{n_1}{n_2} \sin\left(\frac{\pi}{2}\right)$$

$$\rightarrow \sin(\lambda) = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\lambda = \text{Arcsin}\left(\frac{n_1}{n_2}\right) \quad (1 - 8)$$

λ est appelé angle limite de réfraction

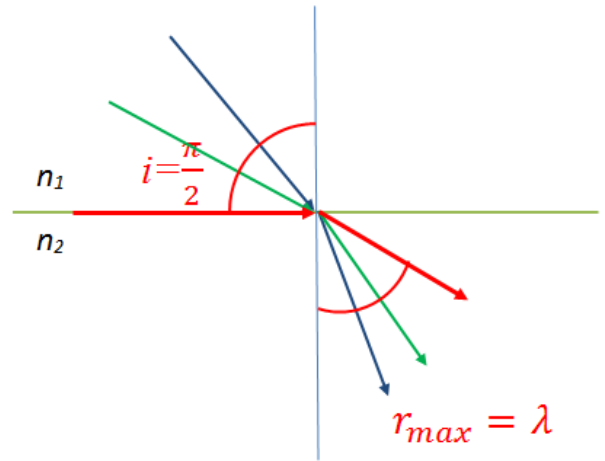


Fig. 1-15

2) $n_1 > n_2$:

$$n_1 \sin(i) = n_2 \sin(r) \rightarrow \sin(r) = \frac{n_1}{n_2} \sin(i)$$

$$\rightarrow \sin(r) > \sin(i) \rightarrow r > i$$

Réflexion totale :

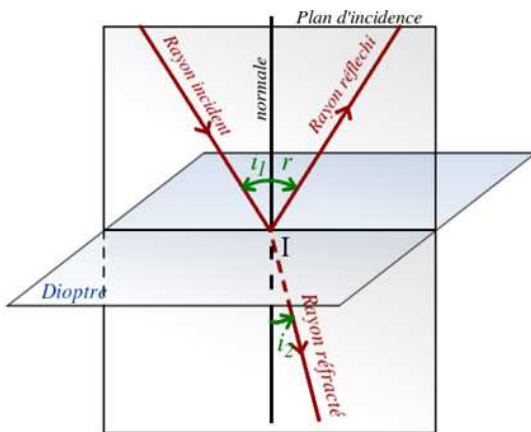


Fig. 1-15

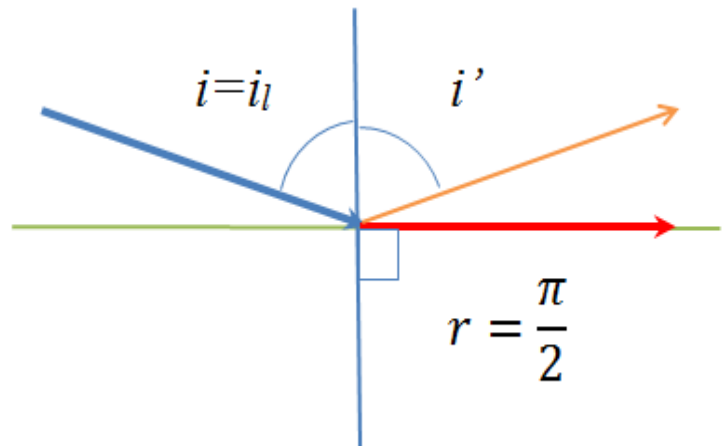


Fig. 1-16

Lorsque : $r = \frac{\pi}{2} \rightarrow i = i_l$

$$n_1 \sin(i_l) = n_2 \sin\left(\frac{\pi}{2}\right)$$

$$\sin(i_l) = \frac{n_2}{n_1}$$

$$i_l = \text{Arcsin}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (1 - 9)$$

i_l est appelé angle limite d'incidence.

Si $i \leq i_l \rightarrow$ il y a réfraction et réflexion.

Si $i \geq i_l \rightarrow$ il y a uniquement réflexion. on dit qu'il y a **réflexion totale**.

Démonstration mathématique :

$$\sin(r) = \frac{n_1}{n_2} \sin(i)$$

$$\text{Si } i > i_l \rightarrow \sin(i) > \sin(i_l) \rightarrow \sin(i) > \frac{n_2}{n_1}$$

$$\rightarrow \sin(r) > 1 \rightarrow r \text{ n'existe pas}$$

\rightarrow pas de réfraction.

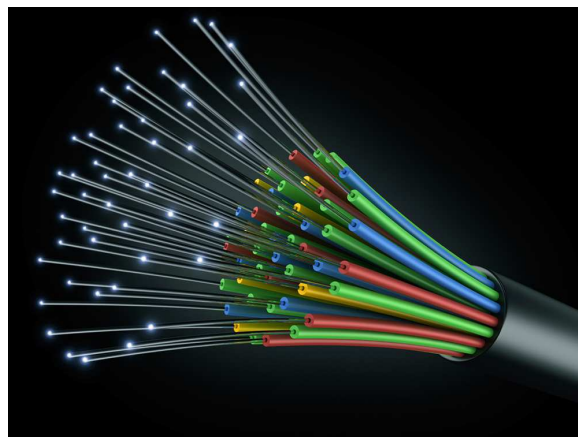
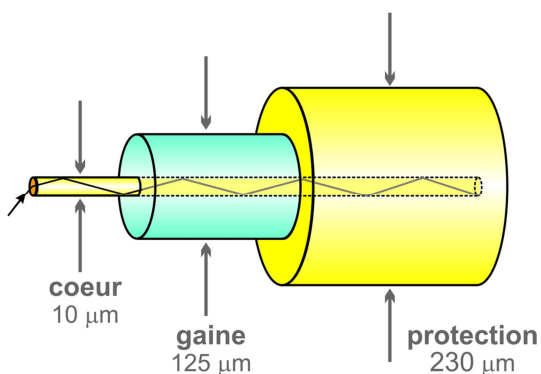
REMARQUE :

Lorsqu'il y a réfraction il y a toujours réflexion. Par contre la réflexion, n'est pas toujours accompagnée de réfraction.

APPLICATIONS :

LA FIBRE OPTIQUE :

Parmi les nombreuses applications de la réflexion totale des rayons, il y a la fibre optique qui est constituée d'un cœur entouré d'une gaine. L'indice de réfraction du cœur est inférieur à celui de la gaine. L'intérêt de la fibre optique est qu'elle peut transporter la lumière suivant des trajectoires qui ne sont pas rectilignes.



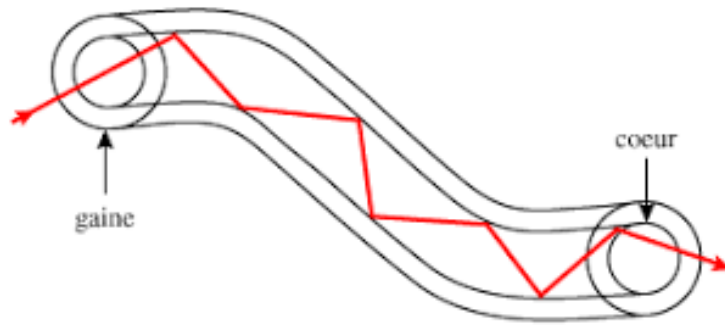


Fig. 1-17

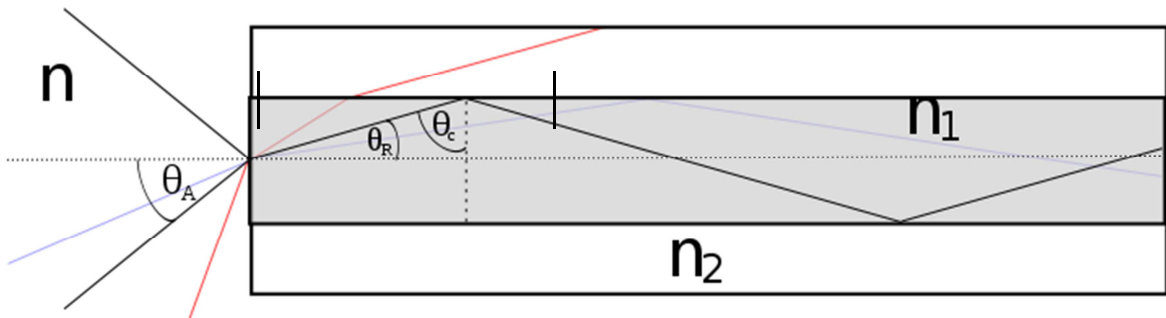


Fig. 1-18

Pour que la lumière reste à l'intérieur de la fibre optique, il faut que son angle d'incidence soit inférieur ou égal à une certaine valeur (θ_A).

LE FIBROSCOPE :

En médecine, la fibre optique a plusieurs applications, parmi lesquelles, le fibroscope, qui est un instrument d'imagerie médicale. Il permet d'avoir des images internes de certains organes.

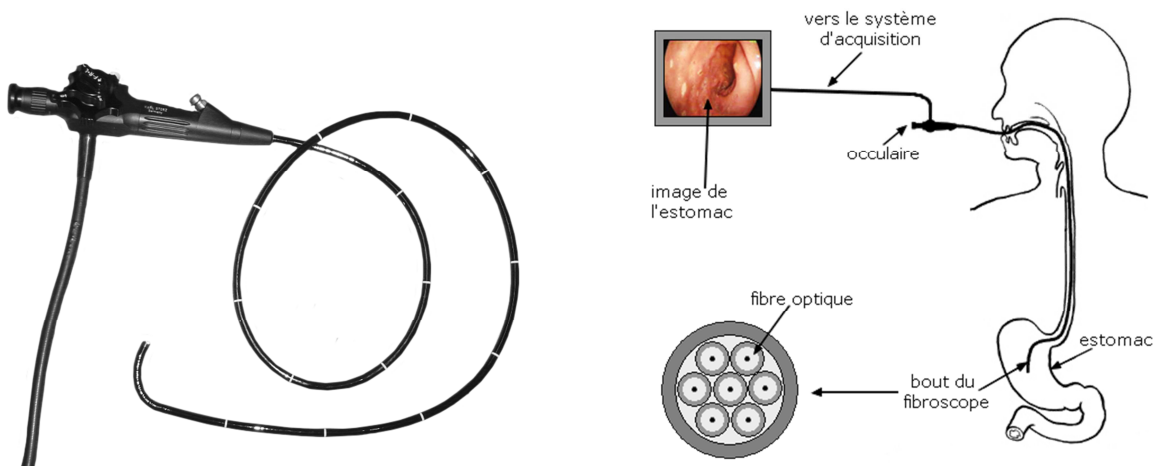


Fig. 1-19

1-15 LE MIROIR :

Un **miroir** est une surface réfléchissante. Les miroirs sont dits éléments « **réflectifs** ». Un miroir est le plus souvent un élément de verre de forme particulière (plan, sphérique, parabolique,...etc) dont l'une des faces est traitée de manière à réfléchir la lumière incidente.



Fig. 1-20

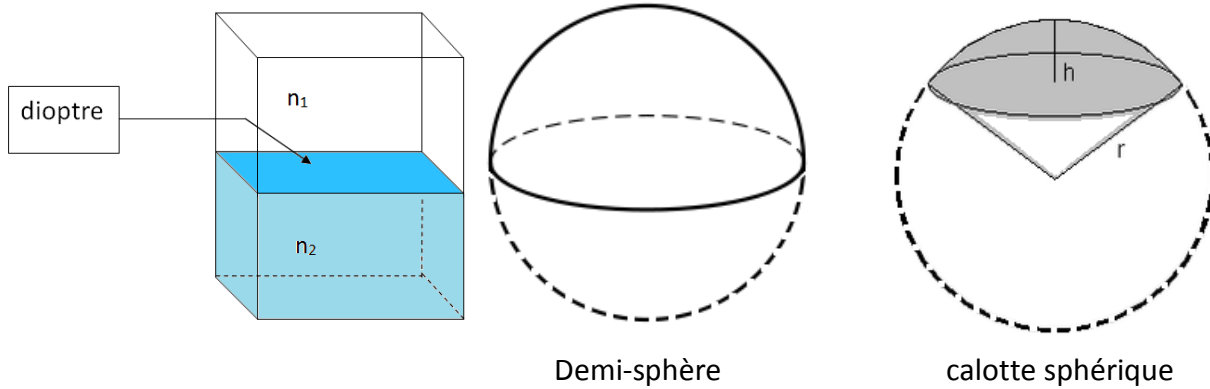
1-16 LE DIOPTRE :

Un **dioptr**e est une surface séparant deux milieux transparents homogènes et isotropes, d'**indices de réfraction** différents.

Les dioptr

es sont des éléments **réfractifs**.

On parle de *dioptr*e *plan* si la surface de séparation est un plan, de *dioptr*e *sphérique* si c'est une sphère (ou tout au moins une calotte sphérique).



1-17 SYSTEME OPTIQUE :

En optique géométrique, on appelle système optique tout élément capable de modifier la trajectoire de la lumière.

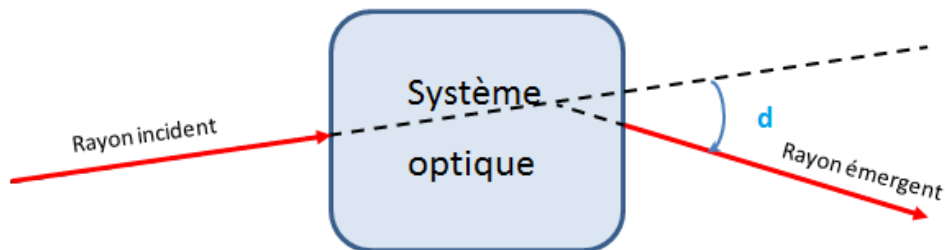


Fig. 1-22

1-18 SYSTEME OPTIQUE CENTRE ET AXE OPTIQUE:

C'est un système optique qui admet un axe de symétrie. On appelle cet axe **l'axe optique**. Un système optique centré peut être constitué de dioptré(s) et ou de miroir(s).

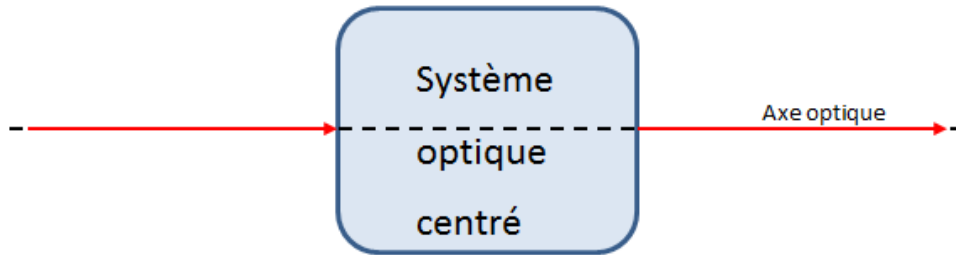


Fig. 1-23

- Les rayons qui arrivent suivant l'axe optique ne sont pas déviés par le système optique.

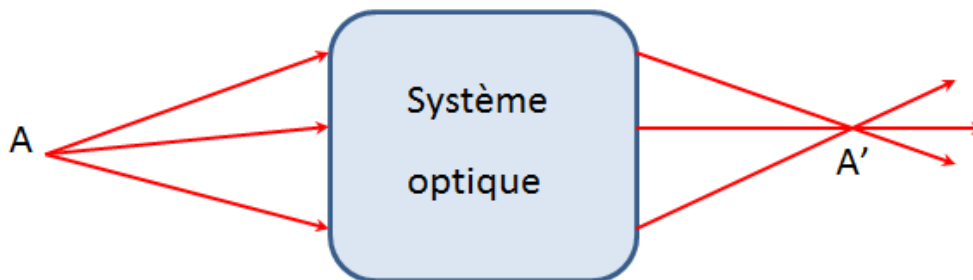
1-19 OBJET :

Pour un système optique donné, un point objet est le point d'intersection des rayons incidents.

1-20 IMAGE :

Pour un système optique donné, un point image est le point d'intersection des rayons émergents.

- Point objet et point image sont les conjugués l'un de l'autre par le système optique.
- Un objet, ou une image, étendu(e) est un ensemble continu de points objet ou image.



Exemples de point objet (A) et de point image (A').

Fig. 1-24

Pas de système optique -> pas d'objet, pas d'image.

1-21 Espace objet et espace image :

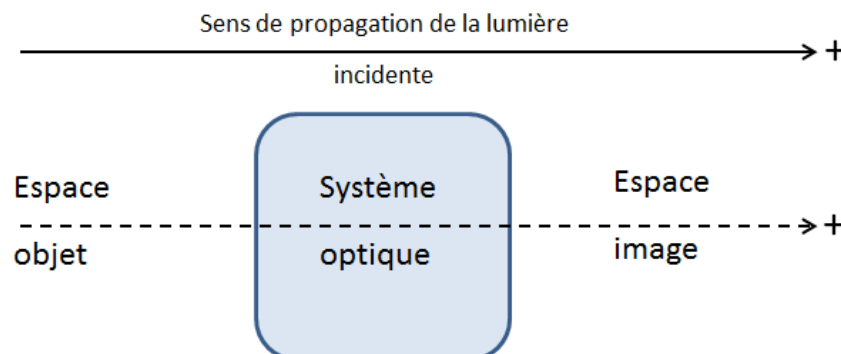


Fig. 1-25

L'espace objet est l'espace situé avant le système optique.

L'espace image est l'espace situé après le système optique.

1-22 Objet réel, virtuel. Image réelle, virtuelle :

Un objet est réel s'il est situé dans l'espace objet, sinon il est virtuel.

Une image est réelle si elle est située dans l'espace image, sinon elle est virtuelle.

Un point objet, ou une image, est réel(le) si tous les rayons au point d'intersection sont réels. En revanche, si au moins un rayon est virtuel, alors l'objet, ou l'image, est virtuel(le).

1-23 Stigmatisme rigoureux :

Un système optique est stigmatique si tous les rayons émis par un point objet A, se croisent en un seul point image A' après leur émergence de ce système.

L'image d'un point objet est un point.

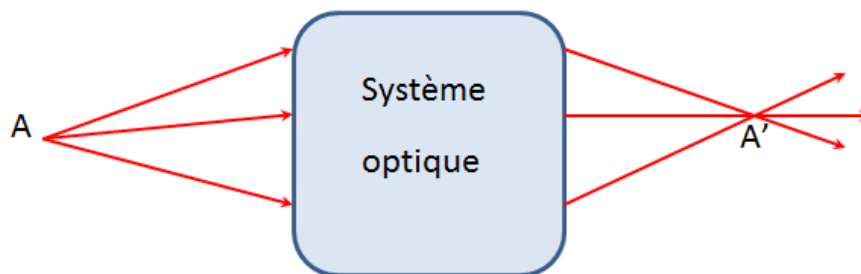


Fig. 1-26

Remarque : il n'existe qu'un seul système optique rigoureusement stigmatique : le miroir plan.

1-24 Stigmatisme approché:

D'une manière générale, les systèmes optiques ne sont pas rigoureusement stigmatiques. L'image d'un point objet n'est pas un point mais une tache appelée tache de diffusion.

Si cette tache est de dimension réduite que l'on peut considérer comme un point, on dit qu'il y a stigmatisme approché.

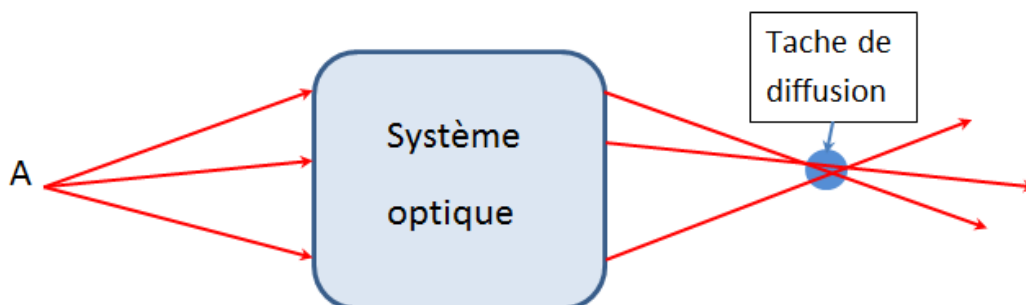


Fig. 1-27

1-25 Aplanétisme des systèmes optiques centrés :

Pour Un système optique stigmatique, centré, d'axe optique (Δ) , il y a aplanétisme rigoureux si, l'image $A'B'C'$ d'un objet ABC , plan et perpendiculaire à (Δ) , est également plane et perpendiculaire à (Δ) .

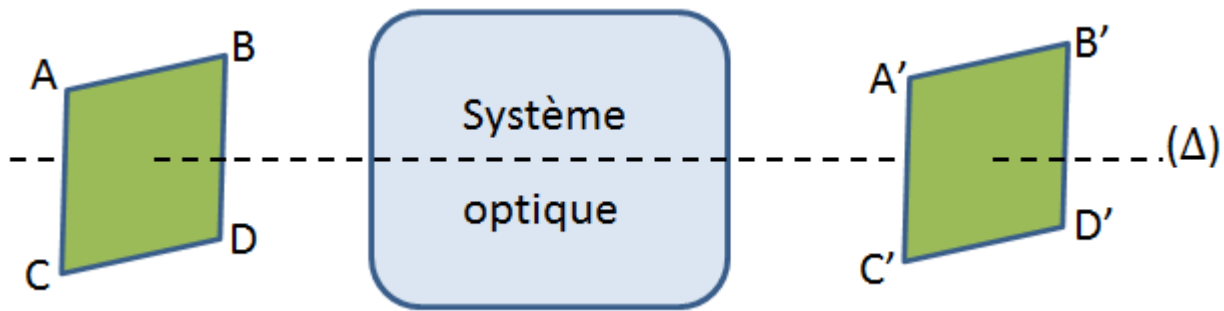


Fig. 1-28

Remarque : il n'existe qu'un seul système optique rigoureusement aplanétique : le miroir plan.

1-26 CONDITIONS DE GAUSS :

Les conditions de Gauss, ou l'approximation de Gauss, sont obtenues lorsque les rayons lumineux possèdent un angle d'incidence très faible par rapport à l'axe optique, et en sont peu éloignés. Ils sont dits paraxiaux.

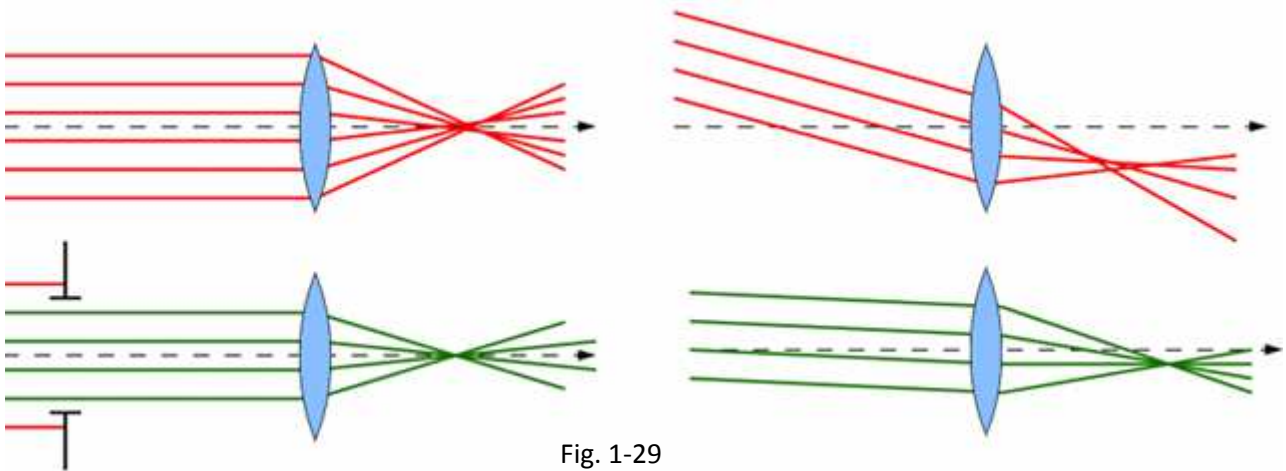


Fig. 1-29

Dans les conditions de Gauss, les rayons sont proches de l'axe optique (en bas à gauche) et peu inclinés (en bas à droite).

Dans ces conditions, les conditions de stigmatisme et d'aplanétisme sont en général respectées.

Pour les obtenir, il suffit en général de placer un fort diaphragme en entrée du système.

- $\tan(i) = \sin(i) \cong i \text{ (rad)}$
- $\cos(i) \cong 1$

1-27 RELATION DE CONJUGAISON :

C'est une relation algébrique qui lie la position de l'image et celle de l'objet.

2 LE MIROIR PLAN :

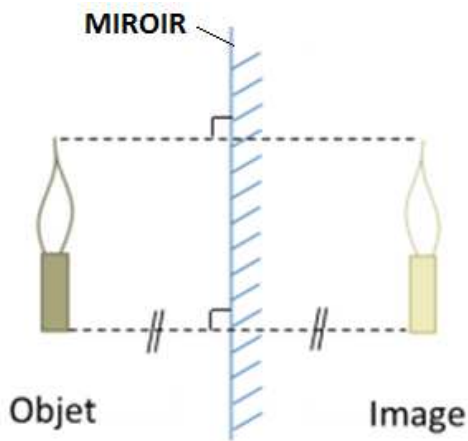


Fig. 1-30

2-1 RELATION DE CONJUGAISON DU MIROIR PLAN:

Soit un objet A. Son image à travers un miroir plan M est A'.

La relation de conjugaison pour ce miroir s'écrit :

$$\overline{MA'} = \overline{AM}$$

Ou bien :

$$\overline{MA'} = -\overline{MA} \quad (2 - 1)$$

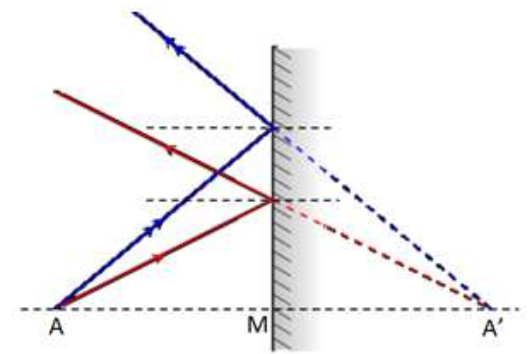


Fig. 1-31

3 DIOPTRE PLAN :

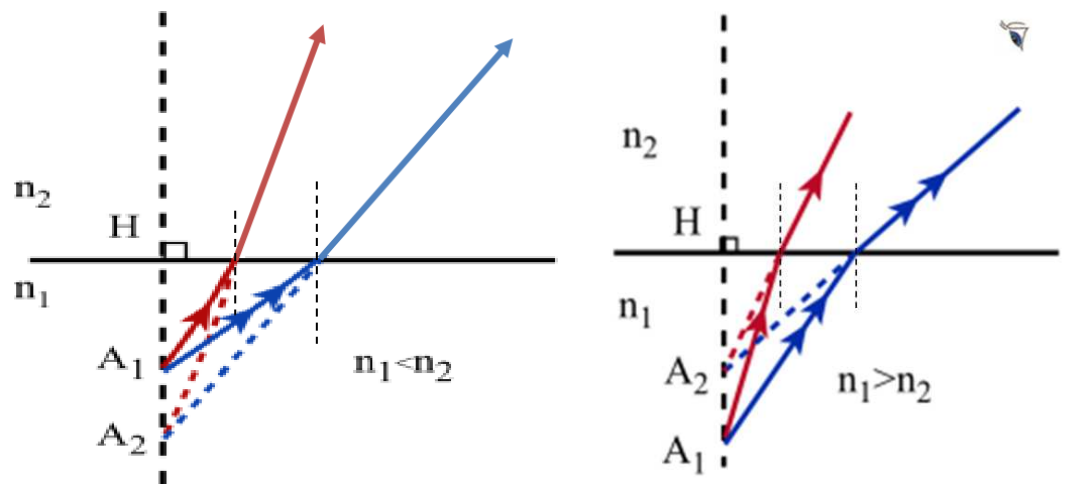


Fig. 1-32

3-1 STIGMATISME APPROCHE DU DIOPTRE PLAN :

Le dioptre plan n'est pas un système stigmatique. Pour chaque point objet il y a plusieurs points images.

Dans les conditions de Gauss on peut considérer que le dioptre plan est stigmatique. On dit que le dioptre plan possède un stigmatisme approché.

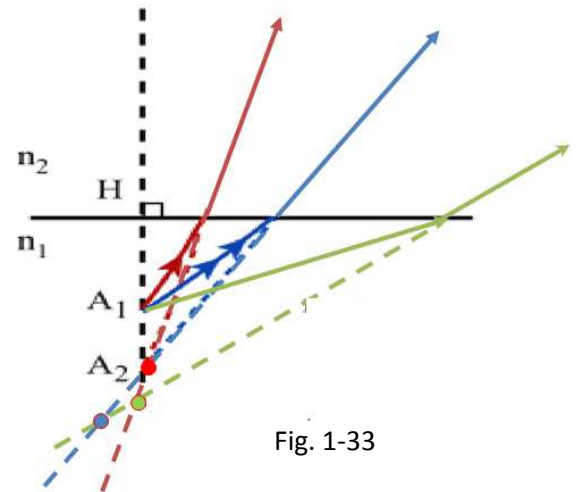


Fig. 1-33

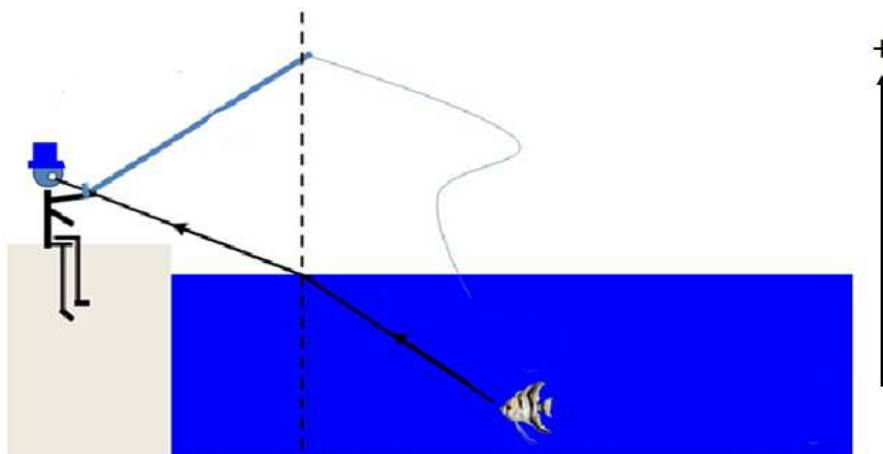
3-2 RELATION DE CONJUGAISON DU DIOPTRE PLAN:

Dans les conditions de Gauss la relation de conjugaison pour le dioptre plan s'écrit comme suit :

$$\frac{n_1}{HA_1} = \frac{n_2}{HA_2} \quad \leftrightarrow \quad \overline{HA_2} = \frac{n_2}{n_1} \overline{HA_1} \quad (3-1)$$

3-3 Exemples :

- a) Un pêcheur regarde un poisson qui se trouve à 4 m de la surface de l'eau. Quelle est la position de l'image du poisson que voit le pêcheur ? $n_{\text{air}} = 1$ et $n_{\text{eau}} = 4/3$

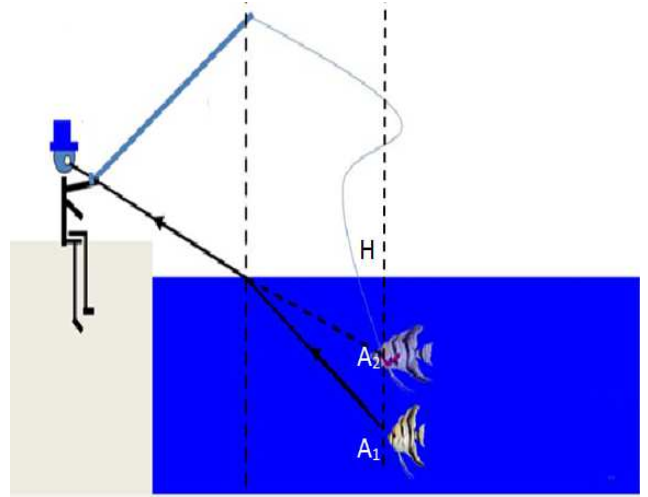


$\overline{HA_1}$: position du poisson (objet) par rapport à la surface de l'eau (dioptre).

$$\overline{HA_1} = -4 \text{ m}$$

$\overline{HA_2}$: position de l'image vue par le pêcheur.

$$\frac{n_{eau}}{\overline{HA_1}} = \frac{n_{air}}{\overline{HA_2}} \rightarrow \overline{HA_2} = \frac{n_{air}}{n_{eau}} \overline{HA_1} = -3 \text{ m}$$



b) A quelle position le poisson voit-il le pêcheur si celui-ci se trouve à 2 m de la surface de l'eau ?

$$\overline{HA_1} = -2 \text{ m}$$

$$\frac{n_{air}}{\overline{HA_1}} = \frac{n_{eau}}{\overline{HA_2}} \rightarrow \overline{HA_2} = \frac{n_{eau}}{n_{air}} \overline{HA_1} = -2,66 \text{ m}$$

