Lois de Snell-Descartes : Réfraction

1. Le dioptre plan

Un dioptre est une surface de séparation entre deux milieux d'indices différents.
Exemple : la paroi d'un aquarium est un dioptre séparant l'eau de l'air.
La réfraction consiste en un brusque changement de direction de la lumière incidente qui, après avoir rencontré un dioptre, se propage dans un milieu différent de son milieu de propagation initial.

2. Indice de réfraction

Expérimentalement, on peut vérifier que la vitesse de propagation de la lumière dépend du milieu dans lequel elle se propage. Cette vitesse est maximale dans le vide. Un milieu est caractérisé par son indice de réfraction ***n*** défini par le rapport :

$$n = c / v$$

où ***c*** est la vitesse de la lumière dans le vide et ***v*** sa vitesse dans le milieu considéré. Un milieu transparent dont l'indice est différent de 1 est appelé un milieu réfringent. L'indice de réfraction est donc un nombre sans dimension qui caractérise chaque milieu transparent. Soulignons toutefois que l'indice est fonction de la longueur d'onde de la lumière et de la température.

L'indice du vide est égal à 1. L'indice d'un milieu par rapport au vide est son indice absolu ***n***.

Exemple : indice de l'eau = 4/3
indice de l'air = 1,000293 (soit par convention égal à 1)
indice du verre = 1,5
indice du diamant = 2,42 .

3. Les lois de Snell-Descartes pour la réfraction

- Le rayon incident est le rayon avant la traversé d'un autre milieu.
- Le rayon réfracté est le rayon qui a changé de direction en entrant dans le milieu.
- Le point de rencontre du rayon incident et du dioptre est appelé point d'incidence.
- Le plan contenant le rayon incident et la normale au dioptre, au point d'incidence est le plan d'incidence.
- L'angle orienté i entre la normale au point d'incidence et le rayon incident est l'angle d'incidence.
- L'angle orienté r entre la normale au point d'incidence et le rayon réfracté est l'angle de réfraction.

- n_1 est l'indice de réfraction du milieu dans lequel se propage le rayon incident et n_2 celui du milieu dans lequel se propage le rayon réfracté.

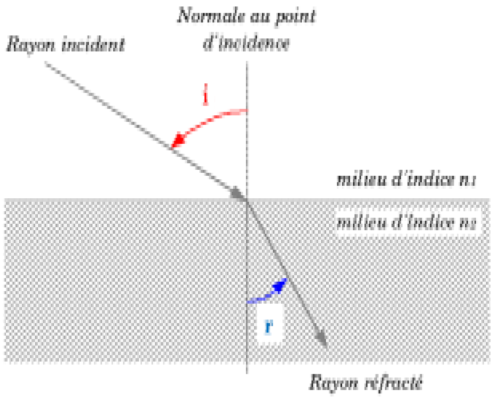

Figure 1. Réfraction d'un rayon lumineux traversant un dioptre plan.

1ère loi : le rayon réfracté est dans le plan d'incidence

2ème loi : les angles d'incidence *i* et de réfraction r sont tels que :

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

Remarque :

- Cas où n'< n :

  Supposons que la lumière se propage d'un milieu moins réfringent vers un milieu plus réfringent (soit n' < n) . En appliquant la formule de Descartes :

  $n' \sin i = n \sin r$ alors sin r < sin i d'où r < i

  A tout rayon incident correspond donc un rayon réfracté qui se rapproche de la normale en pénétrant dans le milieu plus réfringent (*voir figures 2a et 2b)*.

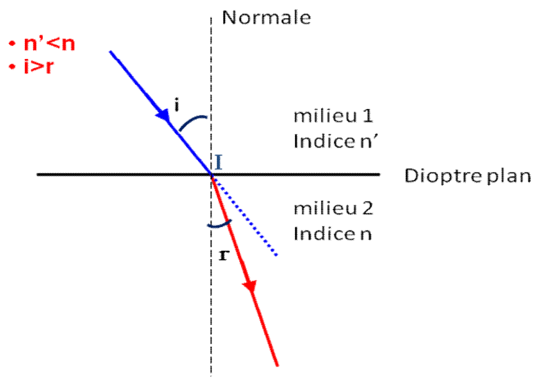

Figure 2a. Le rayon réfracté se rapproche de la normale

Exemple : cas du passage de l'air dans le verre.

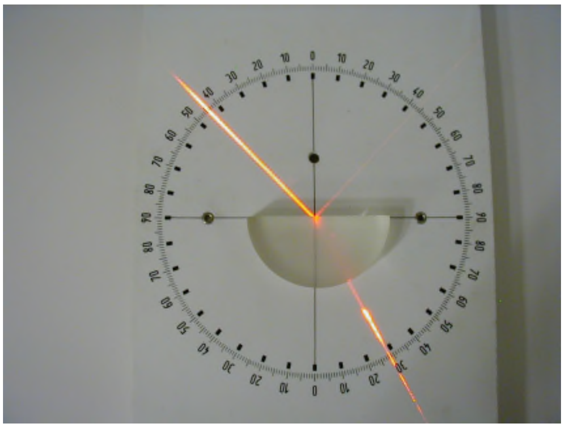

Figure 2b. Angle d'incidence i=45°; angle de refraction r=32°.

- Cas où n'> n :

Supposons maintenant que la lumière passe d'un milieu plus réfringent vers un milieu moins réfringent (n'> n). Si l'on fait croître l'angle d'incidence i depuis la valeur 0 (correspondant à l'incidence normale), l'angle de réfraction r croît plus vite:

$$n' \sin i = n \sin r \text{ alors } \sin r > \sin i \text{ d'où } r > i$$

A tout rayon incident correspond donc un rayon réfracté qui s'éloigne de la normale en pénétrant dans le milieu moins réfringent (*voir figures 3a et 3b*).

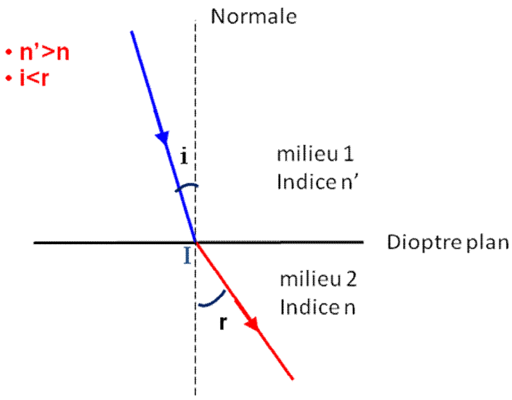

Figure 3a. Le rayon réfracté s'éloigne de la normale

Exemple : cas du passage du verre dans l'air

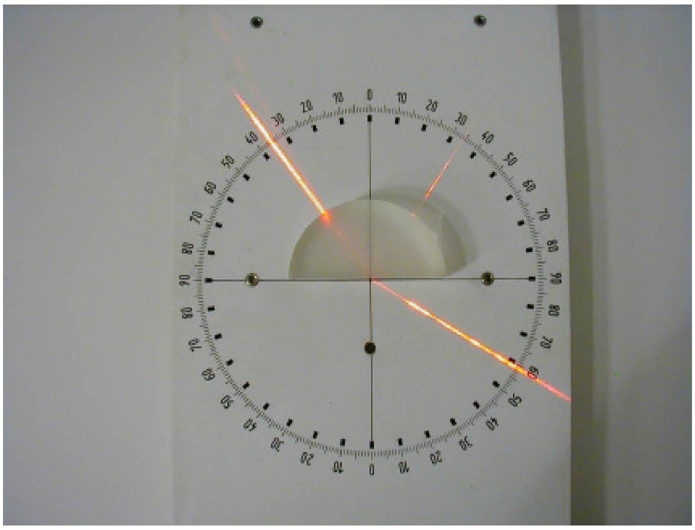

Figure 3b. Angle d'incidence i=35°; angle de refraction r=60°.

4. Réfraction limite - Réflexion totale

Réfraction limite

Dans le cas n'< n (voir figure 4), le rayon réfracté se rapproche de la normale. La valeur maximale de l'angle d'incidence est $i=\frac{\pi}{2}$ (incidence rasante), ce qui correspond à une valeur de l'angle de réfraction $r=\lambda_\ell$ telle que :

$$n' \sin\frac{\pi}{2} = n \sin\lambda_\ell$$

$$\sin\lambda_\ell = \frac{n'}{n}$$

λ_ℓ est appelé ***angle limite de réfraction.***

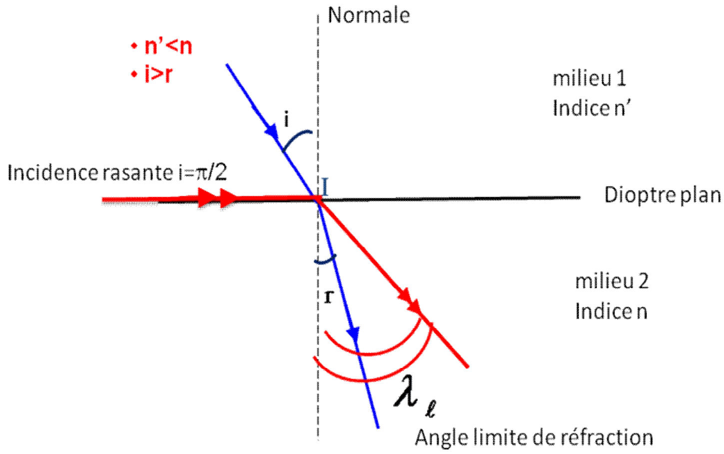

Figure 4. Angle limite de réfraction

Réflexion totale

Dans le cas n'> n, si on applique le principe du retour inverse de la lumière au cas précédent (***passage d'un milieu plus réfringent vers un milieu moins réfringent***), le rayon réfracté s'éloigne de la normale jusqu'à atteindre sa valeur maximale $r=\dfrac{\pi}{2}$. Il existe donc un angle limite $i=\lambda_\ell$ tel que

$$n^{'}\sin\lambda_\ell = n\sin\frac{\pi}{2}$$

$$\sin\lambda_\ell = \frac{n}{n^{'}}$$

Ainsi, pour $i>\lambda_\ell$, il ne peut plus y avoir de rayon réfracté, mais seulement un rayon réfléchi : il y a ***réflexion totale***.

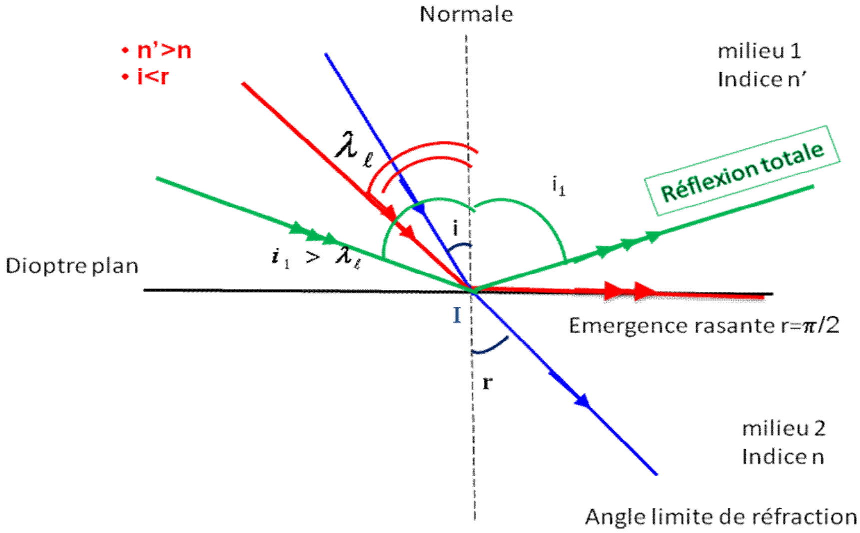

Figure 5a. Angle limite d'incidence et réflexion totale.

Exemple : cas du passage du verre dans l'air : $i>\lambda_\ell$

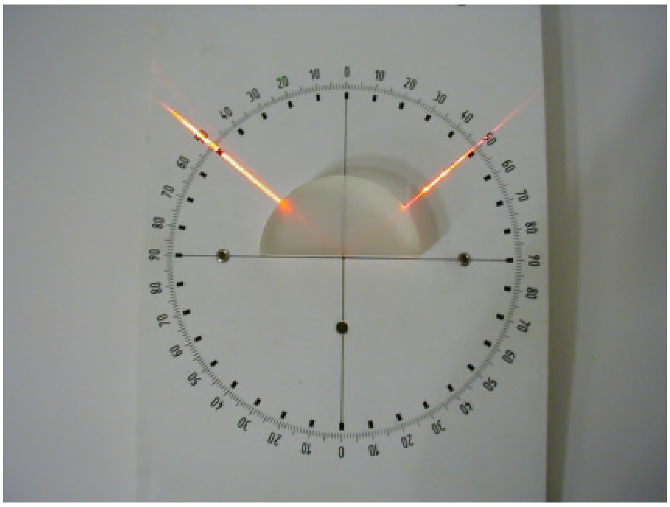

Figure 5b. Réflexion totale : i=50° ; i'=50°.

5. Espace objet - espace image pour les dioptres

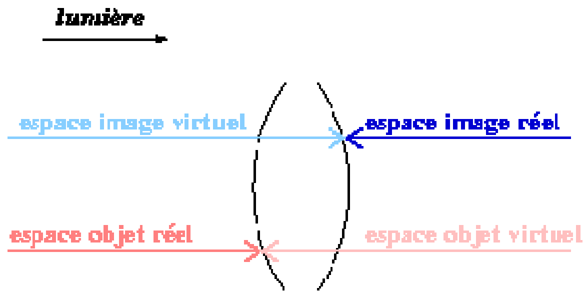

Figure 6. Espace objet - espace image pour les dioptres

6. Formule de conjugaison du dioptre plan

Soit A' l'image d'un objet A par un dioptre plan.

$$\underset{\text{O.R.}}{A} \xrightarrow{\text{Dioptre}\,(n',n)} \underset{\text{I.V.}}{A'}$$

Dans les conditions de stigmatisme approché et à condition que l'angle d'incidence et l'angle de réfraction soient suffisamment petits, on peut écrire que :

$$\sin i \approx tg\ i$$
$$\sin r \approx tg\ r$$

D'après la loi de la réfraction de Descartes on a :

$$n'\sin i = n \sin r \qquad (1)$$

Dans les triangles *A'HI* et *AHI*

$$\sin i = \tan i = \frac{\overline{HI}}{\overline{HA}}$$

et

$$\sin r = \tan r = \frac{\overline{HI}}{\overline{HA'}}$$

En remplaçant dans l'équation (1) on obtient :

$$n'\frac{\overline{HI}}{\overline{HA}} = n\frac{\overline{HI}}{\overline{HA'}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\frac{\overline{HA}}{n'} = \frac{\overline{HA'}}{n}}$$

Relation de conjugaison du dioptre plan

On dit que les points A et A' sont des points conjugués par le dioptre.

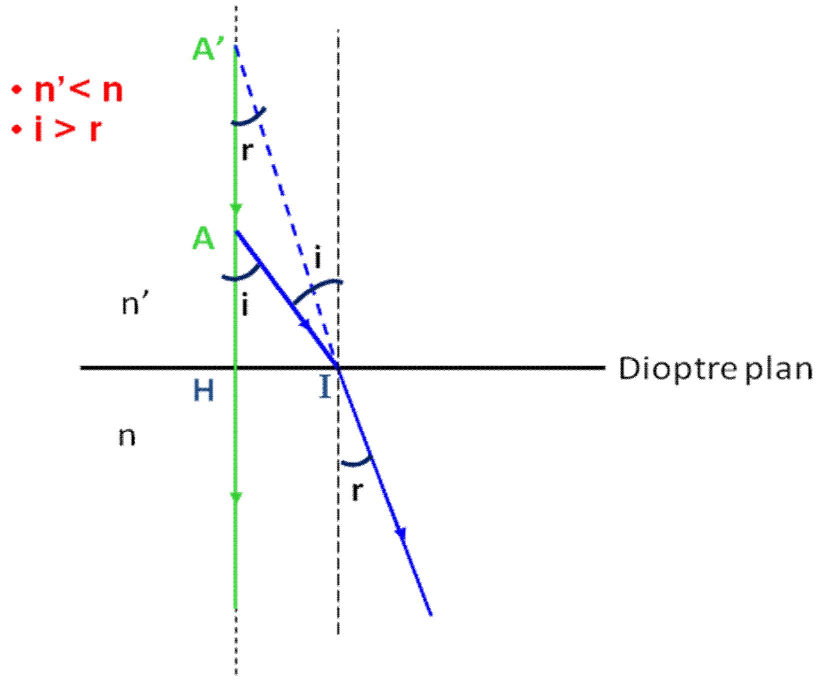

Figure 7a. Construction de l'image donnée par un dioptre plan : **n'<n**.

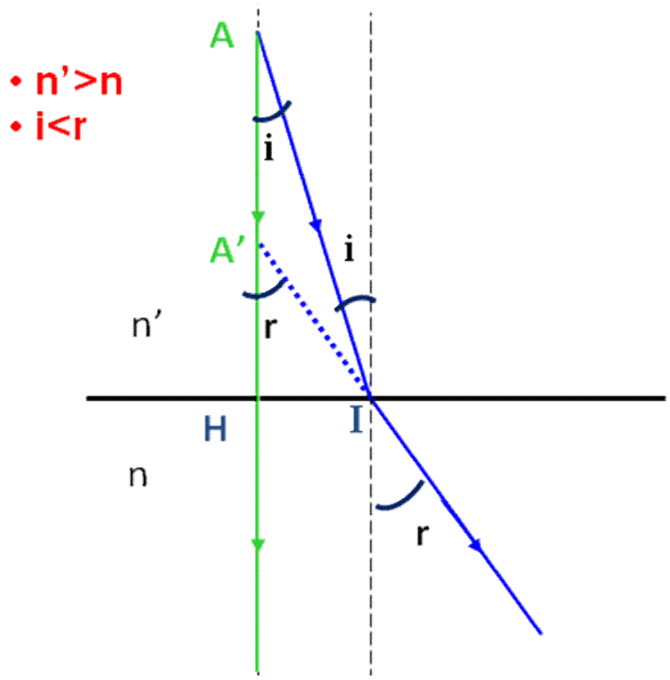

Figure 7b. Construction de l'image donnée par un dioptre plan : **n'> n**.