

III. REFLEXION, REFRACTION

Dans le chapitre précédent, nous avons vu que la lumière se propage en ligne droite dans un milieu transparent, homogène et isotrope. Maintenant, que se passe-t-il quand un rayon lumineux passe d'un milieu transparent à un autre ? Par exemple lorsque la lumière doit passer de l'eau à l'air ? Alors apparaissent les phénomènes de réflexion et de réfraction.

A. Mise en évidence des phénomènes de réflexion et de réfraction

1. Expérience

Nous disposons un demi-cylindre de plexiglas face à une source lumineuse émettant un fin pinceau lumineux qui concrétise pour nous un rayon lumineux :

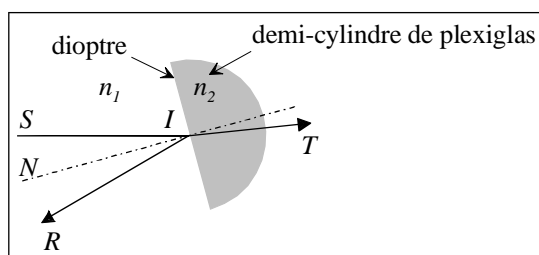


fig. 3.1 : le dispositif expérimental

Nous observons que le rayon lumineux se divise en deux au niveau de la surface de séparation - appelée « dioptre » - entre l'air et le plexiglas. Les indices¹ de réfraction de l'air et du plexiglas sont différents, ils sont notés n_1 et n_2 .

Le rayon « incident » (SI) se propage en ligne droite, de la source lumineuse S jusqu'au « point d'incidence » I , dans l'air, milieu transparent, homogène et isotrope. Le mot incident vient du latin incidere, tomber sur. A partir du point d'incidence I , nous observons deux rayons lumineux (IR) et (IT).

Le rayon « réfléchi » (IR) se propage en ligne droite dans l'air : le rayon lumineux issu de la source a subi le phénomène de réflexion, il s'éloigne du dioptre en restant dans l'air, sa direction de propagation a été modifiée. Le mot réflexion vient du latin reflexio, action de tourner en arrière.

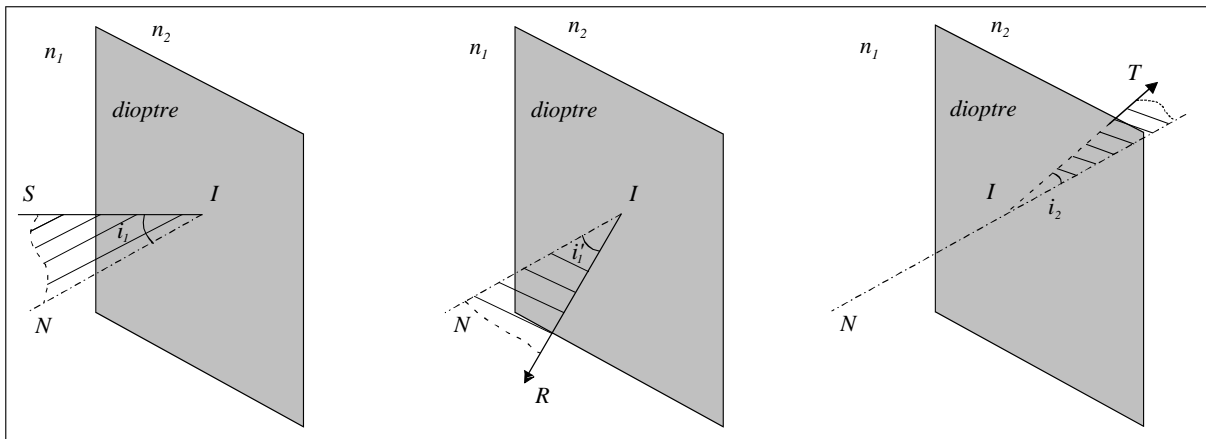
Le rayon « réfracté » ou « transmis » (IT) se propage en ligne droite dans le plexiglas, milieu transparent et homogène : le rayon lumineux issu de la source a subi le phénomène de réfraction, (SIT) est une ligne brisée, la direction de propagation a été modifiée. Le mot réfraction vient du latin refractio, action de briser. Un milieu dans lequel se produit la réfraction est dit réfringent.

2. Définitions

On appelle « normale au dioptre » la droite (IN) perpendiculaire en I au dioptre.

Dans les schémas ci-dessous, le dioptre est représenté seul, le demi-cylindre n'est pas figuré ; sa présence est rappelée par son indice de réfraction n_2 .

¹ Pour la définition de l'indice de réfraction, voir le chapitre II Propagation de la lumière, paragraphe D.2.



On appelle plan d'incidence, le plan formé par le rayon incident et la normale au dioptre. Et on appelle plan de réflexion, le plan formé par le rayon réfléchi et la normale au dioptre. De même, on appelle plan de réfraction, le plan formé par le rayon réfracté et la normale au dioptre.

On nomme angle d'incidence, noté i_1 , l'angle formé par la normale et le rayon incident :

$$i_1 = (IN, IS).$$

Et on nomme angle de réflexion, noté i'_1 , l'angle formé par la normale et le rayon réfléchi :

$$i'_1 = (IN, IR).$$

Enfin, on nomme angle de réfraction, noté i_2 , l'angle formé par la normale et le rayon réfracté :

$$i_2 = (IN, IT).$$

3. Utilisation de l'incidence normale

Nous allons voir l'intérêt de la forme en demi-cylindre utilisée dans cette expérience.

Lorsque le rayon incident tombe sur le dioptre en formant un angle droit, on dit que l'incidence est normale.

Lorsque l'incidence est normale, l'angle d'incidence vaut alors 0° . Et l'angle de réfraction est également nul. C'est le seul cas où la direction de propagation n'est pas modifiée. De ce fait, à la sortie du cylindre, le rayon lumineux étant colinéaire au rayon du cylindre lui est toujours normal donc il n'est pas dévié. (Voir fig. 3.3.)

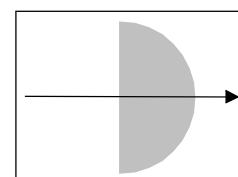


fig. 3.3 : incidences normales

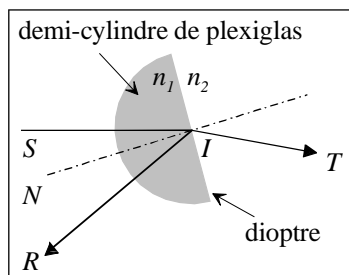


fig. 3.4 : dioptre plexiglas-air

Nous pouvons aussi retourner le demi-cylindre de façon que le rayon lumineux frappe d'abord le dioptre cylindrique. Il le fait sous incidence normale, donc il traverse ce dioptre sans être dévié. Puis il va frapper le dioptre plexiglas/air et c'est alors cette réfraction que nous étudions. Le premier milieu est alors le plexiglas d'indice de réfraction n_1 et le second l'air d'indice n_2 . (Les rôles et les notations sont échangés. Voir fig. 3.4.)

La forme en demi-cylindre permet donc d'étudier chaque réfraction séparément.

4. Observations

a) Traversée de la normale

Nous constatons que le rayon lumineux traverse la normale : sur les figures 3.1 et 3.4 le rayon incident est au-dessus de la normale et les rayons réfléchi et réfracté sont au-dessous de celle-ci.

b) Sens de variation et comparaison

Lorsque nous faisons croître l'angle d'incidence, l'angle de réflexion croît aussi. De plus, les deux angles sont égaux. Pendant cette manipulation, l'angle de réfraction croît aussi.

De plus, si nous considérons le passage de la lumière de l'air vers le plexiglas, l'angle de réfraction est inférieur à l'angle d'incidence : le rayon lumineux, en se réfractant, se rapproche de la normale (voir la figure 3.1).

Tandis que si nous considérons le passage de la lumière du plexiglas vers l'air, le rayon lumineux, en se réfractant, s'écarte de la normale : l'angle de réfraction est supérieur à l'angle d'incidence (voir la figure 3.4).

Ces deux dernières constatations sont conformes à la loi du retour inverse de la lumière.

c) Angle limite de réfraction

Quand le rayon lumineux incident rase le dioptre, on dit que l'incidence est rasante. L'angle d'incidence vaut alors 90° .

Dioptre air-plexiglas		
i_1	0°	90°
i_2	$0^\circ \nearrow$	$i_{2\max}$

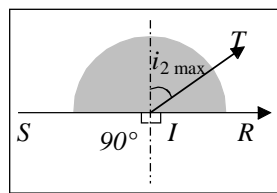


fig. 3.5 : angle limite de réfraction

Dans le passage de l'air au plexiglas, lorsque l'incidence est rasante, l'angle d'incidence est maximum et vaut 90° , tandis que l'angle de réfraction est maximum aussi mais n'atteint pas 90° . Cet angle est appelé angle limite de réfraction.

d) Angle limite d'incidence, réflexion totale

Dioptre plexiglas-air		
i_1	0°	$i_{1\lim}$
i_2	$0^\circ \nearrow$	90°

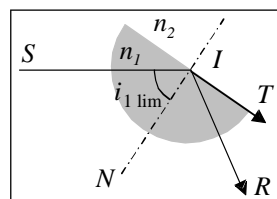


fig. 3.6 : angle limite d'incidence

Dans le passage du plexiglas à l'air, à partir d'un certain angle d'incidence, on n'observe plus de rayon réfracté ; il y a réflexion totale.

De plus, nous constatons que l'angle limite de réfraction et l'angle limite d'incidence sont égaux.

e) Schémas comparés des deux situations

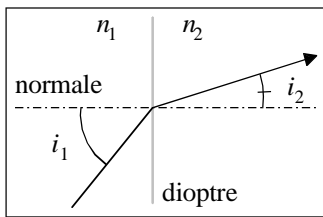


fig. 3.7a :
angle d'incidence quelconque

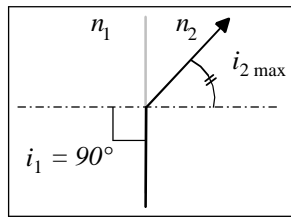


fig. 3.7b : incidence rasante
angle limite de réfraction

Les schémas ci-contre illustrent le dioptre air-plexiglas, c'est à dire plus généralement d'un milieu moins réfringent vers un milieu plus réfringent, en faisant croître l'angle d'incidence. Le rayon réfléchi existe mais n'est pas représenté.

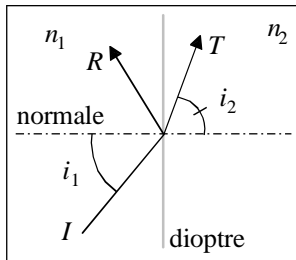


fig. 3.8a :
angle d'incidence inférieur à l'angle limite d'incidence

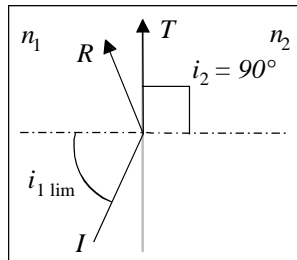


fig. 3.8b :
angle limite d'incidence

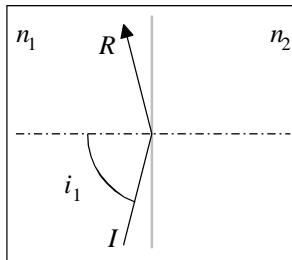


fig. 3.8c : réflexion totale
angle d'incidence supérieur à l'angle limite d'incidence

Maintenant, d'un milieu plus réfringent vers un milieu moins réfringent, en faisant croître l'angle d'incidence.

B. Lois de la réflexion

1. Histoire

Les lois de la réflexion sont énoncées, dès le II^e siècle de notre ère, par Ptolémée. (Claude Ptolémée, astronome, mathématicien et géographe grec, né vers 100 et mort vers 170. Son œuvre a été influente pendant le Moyen Age et jusqu'à la fin de la Renaissance.)

Les lois de la réflexion ont donc été découvertes il y a au moins dix-huit siècles ; cependant il faut garder à l'esprit qu'elles concernaient le rayon visuel² et non le rayon lumineux.

2. Enoncés des lois de la réflexion

Elles sont au nombre de deux :

Le plan de réflexion est le même que le plan d'incidence.

L'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence : $i_1' = i_1$.

3. Commentaire

Les lois de la réflexion sont compatibles avec la loi du retour inverse.

4. Diffusion, notion d'objet lumineux

Un corps mat est un corps dont la surface n'est pas polie, elle est constituée d'innombrables et minuscules facettes. Lorsque ce corps mat reçoit un faisceau lumineux, chaque facette réfléchit la lumière. Pour l'ensemble du corps, la lumière est réfléchie dans toutes les directions. Ce phénomène est nommé diffusion de la lumière.

² Sur le rayon visuel, voir le chapitre I La lumière, paragraphe A.2.

Lorsqu'un corps mat est éclairé, il joue le rôle d'une source de lumière, il constitue un objet lumineux.

En optique géométrique, sources lumineuses et objets éclairés sont appelés « objets lumineux ».

C. Les lois de la réfraction de Snell - Descartes

1. Histoire

Dès l'Antiquité, Ptolémée a mesuré les angles d'incidence et de réfraction du rayon visuel avec un dispositif très semblable au nôtre. Le physicien égyptien Ibn al-Haytham (965-1039), connu dans l'Occident médiéval sous le nom d'Alhazen, a utilisé la notion fondamentale de rayon lumineux et a amélioré les mesures de Ptolémée. Mais les lois de la réfraction n'ont été découvertes qu'au XVII^e siècle par Snell puis Descartes.

Snell (Willebrord Snell van Royen, astronome et mathématicien hollandais, né en 1550 et mort en 1626) découvrit le premier, en 1621, les lois de la réfraction.

Descartes (René Descartes, philosophe et mathématicien français, né en 1596 et mort en 1650) énonce ces lois en 1637, indépendamment du travail de Snell.

Les lois de la réfraction ont donc été connues beaucoup plus récemment que les lois de la réflexion puisque leur découverte date d'à peine quatre siècles.

2. Enoncés des lois de la réfraction

Elles sont au nombre de deux :

Le plan de réfraction est le même que le plan d'incidence.

L'angle de réfraction vérifie la relation : $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$.

3. Remarque

Dans les lois de la réfraction, comme dans les lois de la réflexion, il est fréquent que les étudiants « oublient » d'énoncer et d'utiliser les lois sur les plans. Elles sont pourtant fondamentales. Par exemple, c'est grâce à elles que les schémas précédents sont justes : tous les rayons lumineux représentés sont bien dans la feuille de papier. Si elles n'existaient pas, les schémas auraient dû être réalisés en perspective, pour traduire les positions spatiales relatives des rayons lumineux.

4. Commentaire

Les lois de la réfraction sont compatibles avec la loi du retour inverse de la lumière.

5. Conséquences

a) Sens de variation de l'angle de réfraction

D'après la loi sur les plans, le rayon incident, la normale et le rayon réfracté sont dans le même plan – ce que traduisent les figures 3.7a et 3.8a ci-dessus.

La deuxième loi donne :

$$\sin i_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin i_1$$

D'après cette relation, lorsque l'angle d'incidence croît, l'angle de réfraction aussi. Nous allons préciser cette propriété.

b) Incidence rasante et angle limite de réfraction

Nous considérons le passage de la lumière de l'air vers le plexiglas, c'est à dire d'un milieu moins réfringent, vers un milieu plus réfringent. En d'autres termes, l'indice de réfraction de l'air est plus petit que celui du plexiglas :

$$\frac{n_1}{n_2} < 1$$

Donc : $\sin i_2 < \sin i_1$

Donc, comme les angles sont compris entre 0° et 90° :

$$i_2 < i_1.$$

C'est à dire que le rayon lumineux, en se réfractant, se rapproche de la normale.

Lorsque l'incidence est rasante, l'angle d'incidence est maximum et vaut 90° , tandis que l'angle de réfraction est maximum mais n'atteint pas 90° . L'angle limite de réfraction $i_{2\max}$ vérifie la relation :

$$\sin i_{2\max} = \frac{n_1}{n_2} \sin 90^\circ = \frac{n_1}{n_2}$$

$$i_{2\max} = \arcsin \frac{n_1}{n_2}$$

Par exemple³, dans le cas du dioptre air/plexiglas :

$$i_{2\max} \approx \arcsin \frac{1}{1,48} \approx 42,5^\circ$$

c) Réflexion totale

Nous considérons le passage de la lumière du plexiglas vers l'air, c'est à dire d'un milieu plus réfringent, vers un milieu moins réfringent. En d'autres termes, l'indice de réfraction du plexiglas est plus grand que celui de l'air :

$$\frac{n_1}{n_2} > 1$$

Donc : $\sin i_2 > \sin i_1$

Donc, comme les angles sont compris entre 0° et 90° :

$$i_2 > i_1.$$

C'est à dire que le rayon lumineux, en se réfractant, s'écarte de la normale.

Ainsi, l'angle de réfraction atteint 90° alors que l'angle d'incidence est inférieur à cette valeur. L'angle d'incidence $i_{1\lim}$ vérifie alors la relation :

$$\sin i_{1\lim} = \frac{n_2}{n_1} \sin 90^\circ = \frac{n_2}{n_1}.$$

³ Sur la fonction arcsinus, voir le complément mathématique.

Il est égal à l'angle de réfraction limite, car les deux indices ont échangé leur rôle. Par exemple, dans le cas du dioptre plexiglas/air :

$$\sin i_{\text{lim}} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_{\text{air}}}{n_{\text{plexiglas}}} \approx \frac{1}{1,48}$$
$$i_{\text{lim}} \approx 42,5^\circ$$

Lorsque l'angle d'incidence varie de 0° à i_{lim} , on observe à la fois un rayon réfléchi et un rayon réfracté. Quand l'angle d'incidence varie de i_{lim} à 90° , on n'observe plus de rayon réfracté, il n'y a qu'un rayon réfléchi : c'est le phénomène de réflexion totale.

Lorsqu'un rayon lumineux frappe un dioptre, il se produit deux phénomènes, la réflexion et la réfraction. Ces phénomènes obéissent aux lois suivantes : les plans d'incidence, de réflexion et de réfraction ne forment qu'un seul plan. L'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion. Les angles d'incidence et de réfraction vérifient la loi $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$.

Les chapitres intitulés « La lumière », « Propagation de la lumière » et « Réflexion, réfraction » nous ont permis de faire connaissance avec la notion fondamentale de l'optique géométrique, le rayon lumineux. Dans les deux chapitres suivants, nous introduirons les notions également fondamentales d'objet et d'image.

Résumé

Lorsqu'un rayon lumineux frappe un dioptre, il se produit deux phénomènes : la réflexion et la réfraction.

Lois de la réflexion :

Le plan de réflexion est le même que le plan d'incidence.

L'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence : $i'_1 = i_1$.

Lois de la réfraction

Le plan de réfraction est le même que le plan d'incidence.

L'angle de réfraction vérifie la relation : $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$.

Angle limite d'incidence $i_{1\text{lim}}$ et réflexion totale : cas $n_2 < n_1$

Lorsque l'angle d'incidence varie de 0° à $i_{1\text{lim}}$, on observe à la fois un rayon réfléchi et un rayon réfracté. Quand l'angle d'incidence varie de $i_{1\text{lim}}$ à 90° , on n'observe plus de rayon réfracté, il n'y a qu'un rayon réfléchi : c'est le phénomène de réflexion totale.

$$\sin i_{1\text{lim}} = \frac{n_2}{n_1} \sin 90^\circ = \frac{n_2}{n_1}$$

Angle limite de réfraction $i_{2\text{max}}$: cas $n_2 > n_1$

Lorsque l'incidence est rasante, l'angle d'incidence est maximum et vaut 90° , tandis que l'angle de réfraction est maximum mais n'atteint pas 90° .

$$\sin i_{2\text{max}} = \frac{n_1}{n_2} \sin 90^\circ = \frac{n_1}{n_2}$$