



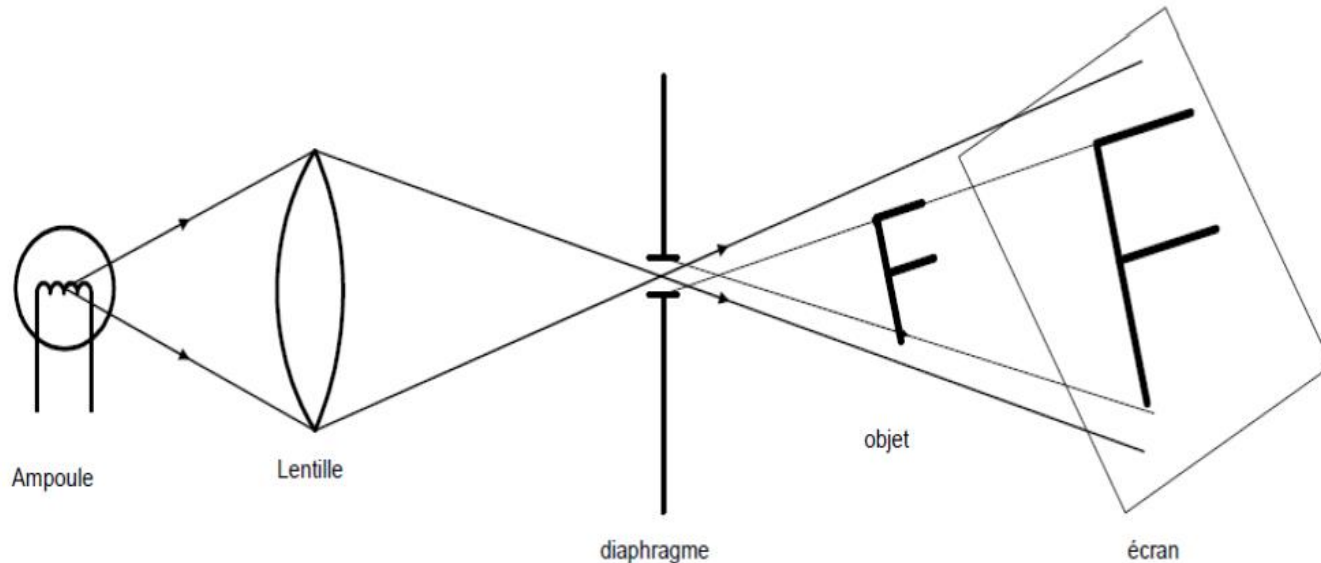
OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE



I. FONDEMENTS DE L'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

1. Notion de rayon lumineux

Lorsque nous examinons comment la lumière interagit avec des objets à grande échelle, comme des objets visibles à l'œil nu, nous pouvons remarquer une chose importante. La lumière que nous pouvons voir à des longueurs d'onde très courtes, bien plus petites que la taille de ces objets (qui sont souvent de plusieurs centimètres ou plus). Cette grande différence de taille nous a conduit à développer une théorie appelée "Optique Géométrique".



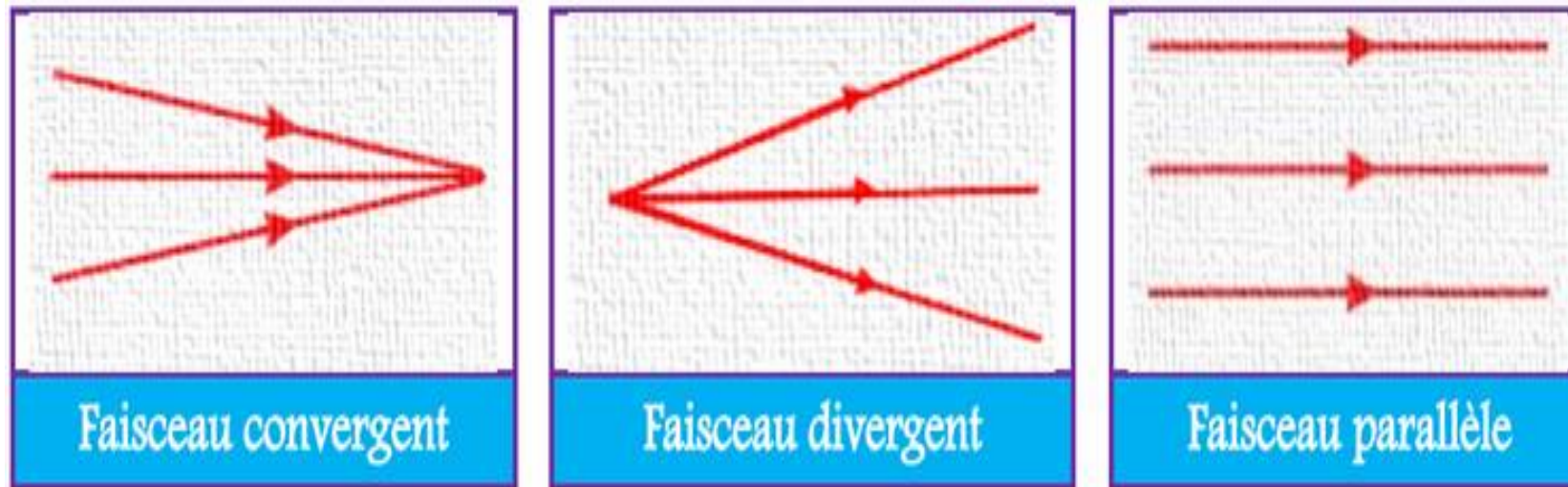
Elle se concentre principalement sur la façon dont la lumière se déplace en ligne droite et comment elle est réfléchiée ou réfractée par des objets de grande taille. Pour décrire ces phénomènes, l'optique géométrique fait appel au concept de **Faisceau lumineux**.

Par conséquent, dans un milieu transparent homogène et isotrope, la lumière se propage en ligne droite. C'est pourquoi on représente son trajet par un rayon lumineux (Une droite portant une flèche).

I. FONDEMENTS DE L'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

Il existe trois types de faisceaux lumineux :

- **Faisceau parallèle** : Les rayons lumineux se déplacent de manière parallèle les uns aux autres.
- **Faisceau convergent** : Les rayons lumineux se rapprochent et convergent en un point focal après avoir traversé une lentille convergente ou un miroir concave.
- **Faisceau divergent** : Les rayons lumineux se séparent et divergent après être passés par une lentille divergente ou un miroir convexe.



I. FONDEMENTS DE L'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

2. Principes de base de l'Optique géométrique

Indépendance des rayons lumineux : Les rayons lumineux n'interfèrent pas entre eux. Les rayons lumineux sont donc considérés indépendants les uns des autres.

Principe de Fermat : Pour aller d'un point à un autre, la lumière choisit toujours le chemin le plus court.

Principe du retour inverse : Le trajet d'un rayon lumineux allant d'un point A à un point B est le même que celui suivi pour aller du point B au point A. Le trajet d'un rayon lumineux est donc indépendant du sens de propagation.

Lois de Snell-Descartes : A l'interface (Surface de séparation) entre 2 milieux différents : le trajet d'un faisceau lumineux est régi par les Lois de Snell-Descartes.

I. FONDEMENTS DE L'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

3. Lois de Snell-Descartes

Les lois de Snell-Descartes ont été conçues pour déterminer le trajet d'un rayon lumineux à l'interface séparant 2 milieux différents. Cette interface est appelée **Surface Optique**.

Les surfaces optiques peuvent prendre 2 formes différentes : Le **dioptre** ou le **miroir**.

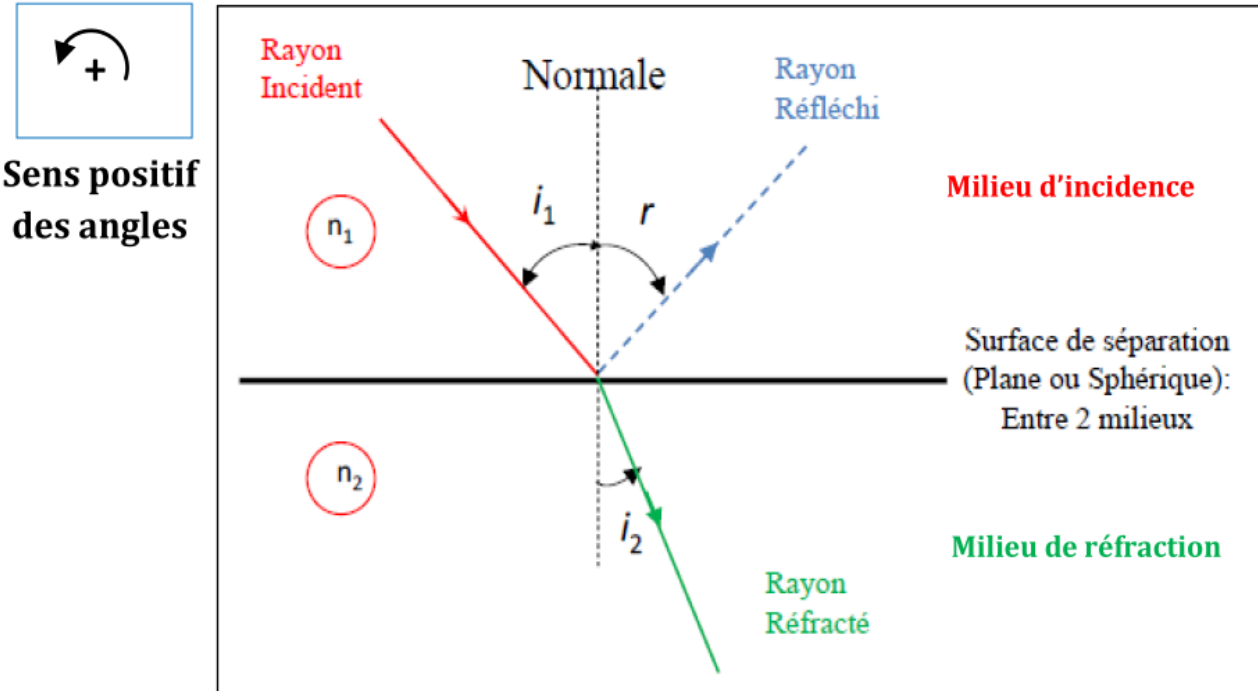
Dioptre : C'est la surface (ou interface) séparant deux milieux transparents d'indices de réfraction différents n_1 et n_2 .

Lorsqu'un rayon incident arrive sur un dioptre (rayon se dirigeant vers le dioptre), alors :

- *Une partie de la lumière est renvoyée vers le même milieu, appelé milieu d'incidence ou milieu d'entrée d'indice n_1 . On dit que la lumière est réfléchi (Rayon réfléchi).*
- *Une autre partie passe vers le 2ème milieu, appelé milieu de réfraction d'indice n_2 . On dit que la lumière est réfractée (Rayon réfracté).*

I. FONDEMENTS DE L'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

3. Lois de Snell-Descartes : Dioptre

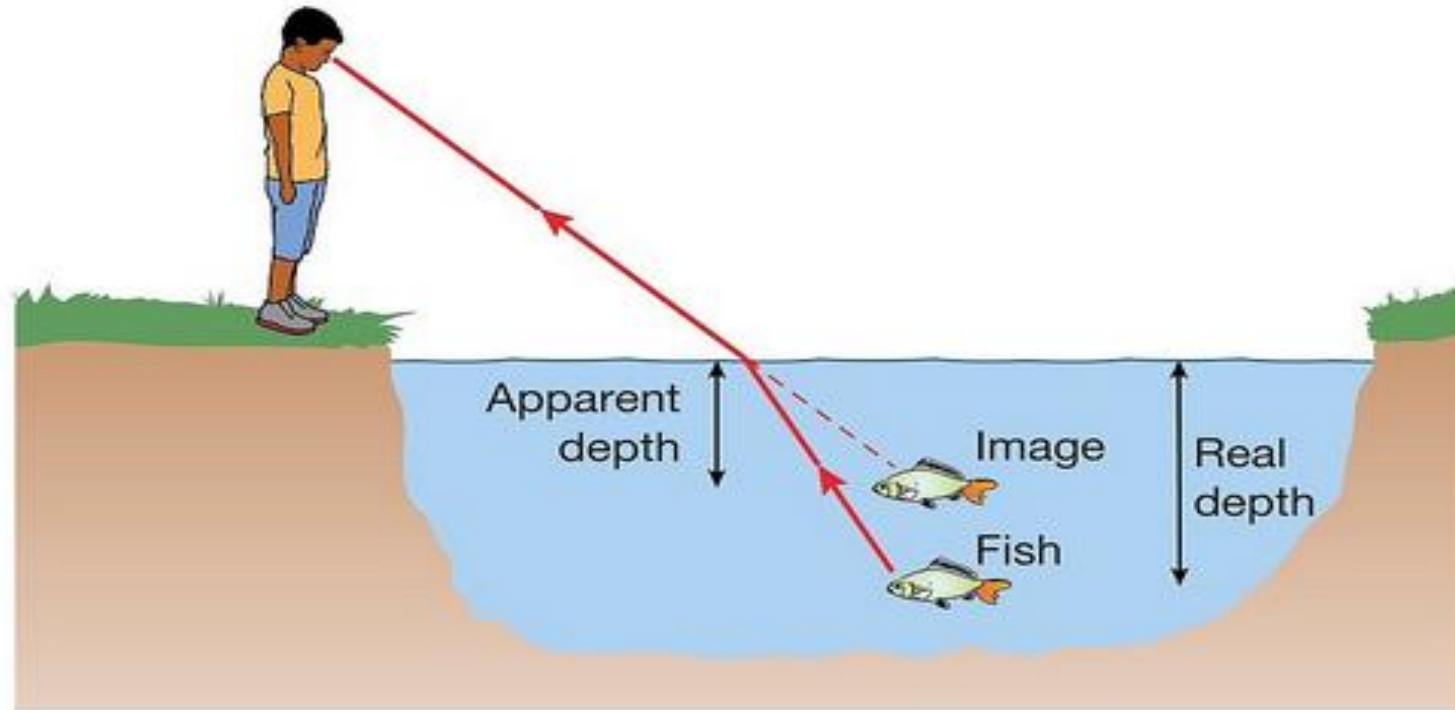


- *L'angle d'incidence i_1 : angle entre le rayon incident et la normale N .*
- *L'angle de réflexion r : angle entre le rayon réfléchi et la normale N .*
- *L'angle de réfraction i_2 : angle entre rayon réfracté et la normale N .*

On appelle plan d'incidence le plan formé par la normale au dioptre “N” et le faisceau incident.

I. FONDEMENTS DE L'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

3. Lois de Snell-Descartes : Dioptre

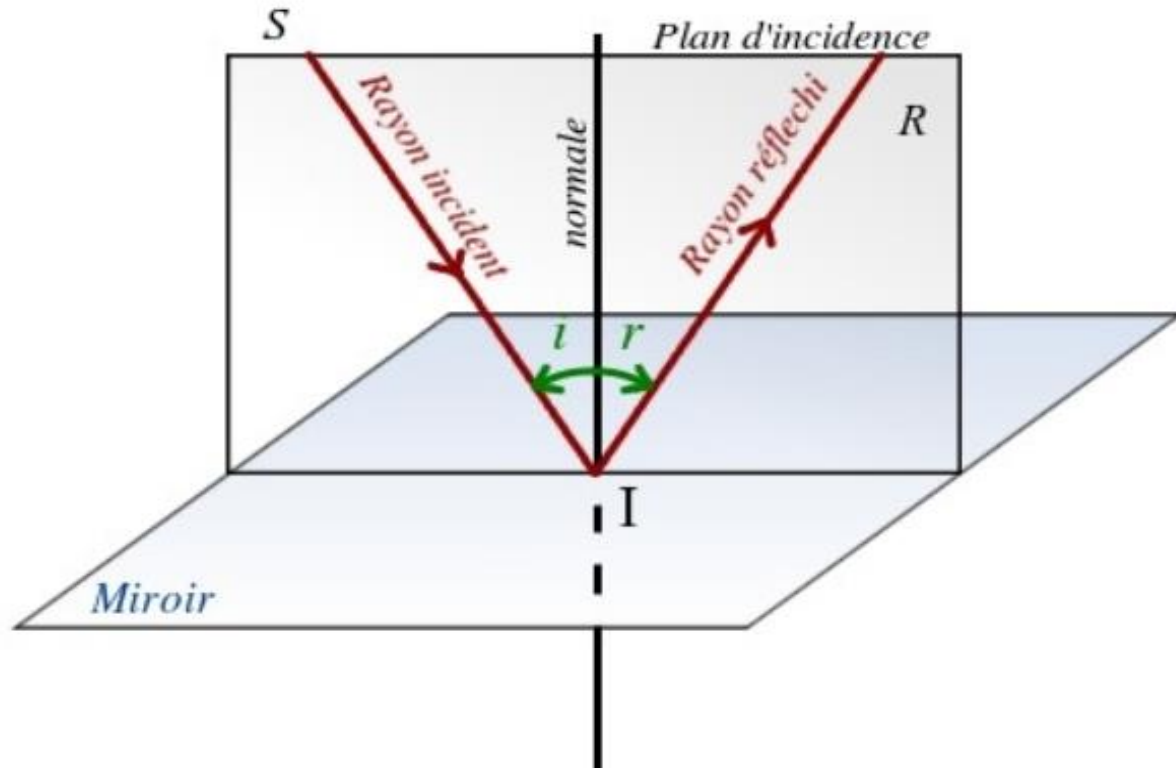


Quand on regarde un poisson dans l'eau, il semble plus proche de la surface que sa position réelle. Ce phénomène est dû à la réfraction des rayons lumineux issus du poisson lorsqu'ils arrivent au dioptre Eau/Air.

I. FONDEMENTS DE L'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

3. Lois de Snell-Descartes : Miroir

Miroir : Une surface avec un revêtement métallique (comme l'aluminium ou l'argent) réfléchissant la lumière. Lorsqu'un rayon de lumière atteint ce miroir, il ne passe pas à travers la couche métallique. Par conséquent, la lumière est presque totalement réfléchi (presque pas de réfraction).



Remarque : Les surfaces optiques (miroir et dioptré) peuvent être soit de forme plane ou bien sphérique.

I. FONDEMENTS DE L'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

3. Lois de Snell-Descartes : Lois de la Réflexion/Réfraction

Pour pouvoir déterminer le trajet d'un rayon lumineux en contact avec une surface optique, il est nécessaire de connaître les 3 lois de Snell-Descartes suivantes :

Loi 1 : Le rayon incident, réfléchi et réfracté sont dans le plan d'incidence.

Loi 2 : Les angles d'incidence i_1 et de réflexion r sont égaux et de sens opposé, vérifiant : $i_1 = -r$.

Loi 3 : Les angles d'incidence i_1 et de réfraction i_2 sont liés par la relation suivante (pour chaque lumière monochromatique) :

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$

I. FONDEMENTS DE L'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

3. Lois de Snell-Descartes : Lois de la Réflexion/Réfraction

Dans ce cas, nous allons examiner deux cas possibles, en fonction des indices de réfraction des deux milieux traversés :

- *Cas où $n_1 < n_2$: Le Rayon réfracté existe toujours*

- *Cas où $n_1 > n_2$: Le Rayon réfléchi existe toujours*

I. FONDEMENTS DE L'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

3. Lois de Snell-Descartes : Lois de la Réflexion/Réfraction

- Cas où $n_1 < n_2$: Le Rayon réfracté existe toujours

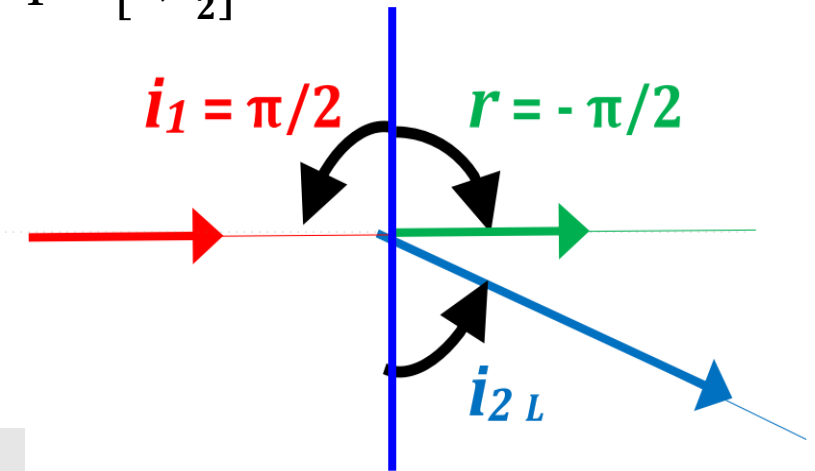
Lorsque la lumière passe d'un milieu d'indice n_1 inférieur à un milieu d'indice n_2 supérieur, on dit que la lumière passe du milieu le moins réfringent vers le milieu le plus réfringent.

Dans ce cas, selon la 3^{ème} loi de Descartes $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$, on aura donc :

$$n_1 < n_2 \text{ alors } i_1 > i_2 \text{ quelque soit la valeur de } i_1 \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right]$$

→ Ainsi lorsque le rayon passe dans le milieu le plus réfringent (milieu 2), le rayon réfracté se rapproche de la normale. Plus l'angle d'incidence i_1 est grand, plus la déviation i_2 du rayon lumineux est importante.

→ En particulier, lorsque $i_1 = \frac{\pi}{2}$ (incidence rasante), l'angle de réfraction atteint sa valeur maximum $i_2 = i_{2L}$: c'est l'angle limite de réfraction.



Réfraction limite

En appliquant la 3^{ème} loi de Descartes, on peut

déterminer l'angle limite i_{2L} tel que :

$$n_1 \sin \frac{\pi}{2} = n_2 \sin i_{2L}$$

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

I. FONDEMENTS DE L'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

3. Lois de Snell-Descartes : Lois de la Réflexion/Réfraction

- Cas où $n_1 > n_2$: Le Rayon réfléchi existe toujours

Lorsque la lumière passe d'un milieu d'indice n_1 supérieur à un milieu d'indice n_2 inférieur on dit que la lumière passe du milieu le plus réfringent vers le milieu le moins réfringent.

Dans ce cas, selon la 3^{ème} loi de Descartes $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$, on aura :

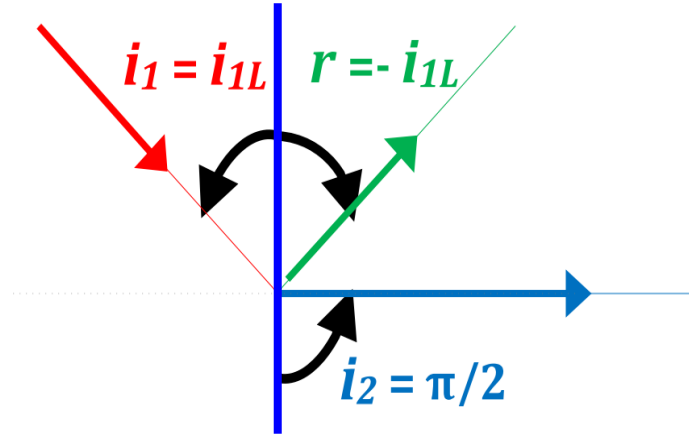
$$n_1 > n_2 \text{ alors } i_1 < i_2 \text{ quelque soit la valeur de } i_1 \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right]$$

Ainsi lorsque le rayon passe dans le milieu le moins réfringent (milieu 2), le rayon réfracté s'éloigne de la normale. Plus l'angle d'incidence i_1 est grand, plus la déviation i_2 du rayon lumineux est importante :

- Lorsque $0 \leq i_1 < i_{1L}$: Le Rayon réfracté existe (car $0 \leq i_2 < \frac{\pi}{2}$)
- Lorsque i_1 atteint l'angle limite $i_1 \rightarrow i_{1L}$: L'angle de réfraction atteint la valeur maximale $i_2 \rightarrow \frac{\pi}{2}$

tel que
$$n_1 \sin i_{1L} = n_2 \sin \frac{\pi}{2}$$

Dans ce cas, l'angle d'incidence limite est : $i_{1L} = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$



I. FONDEMENTS DE L'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

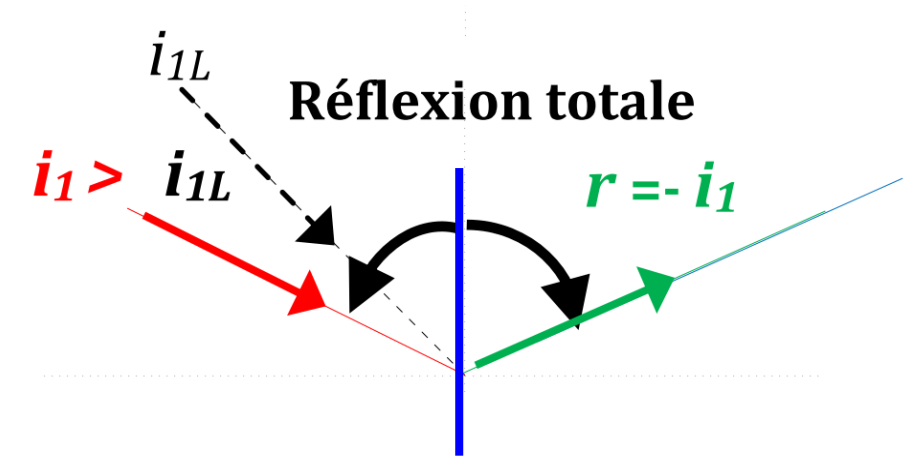
3. Lois de Snell-Descartes : Lois de la Réflexion/Réfraction

- Cas où $n_1 > n_2$: Le Rayon réfléchi existe toujours

- Lorsque $i_1 > i_{1L}$: Le Rayon réfracté disparaît.

On a une réflexion totale.

Le dioptre se comporte comme un miroir.



À retenir : Deux conditions sont indispensables pour qu'il y ait Réflexion totale sur un dioptre :

- Le rayon lumineux doit passer d'un milieu plus réfringent vers un milieu moins réfringent :
 $n_1 > n_2$
- L'angle d'incidence doit être plus grand que l'angle d'incidence limite i_{1L} :
 $i_1 > i_{1L} = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$

I. FONDEMENTS DE L'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

4. Exercice d'application : Caractéristiques de la lumière

A. Situer, dans le spectre de la lumière, les radiations monochromatiques suivantes et indiquer leurs couleurs :

- 1) Une onde de fréquence 650 THz dans le vide.
- 2) Une onde de longueur d'onde 6000 (Å) dans un milieu transparent d'indice de réfraction $n = 2$.
- 3) Une onde de longueur d'onde 0.3 (µm) dans un milieu où la vitesse de propagation de la lumière est 2×10^8 (m/s).
- 4) Une onde associée à un photon d'énergie $E = 3.75$ (eV) dans l'air d'indice $n = 1$.

On donne la constante de Planck $h = 6.62 \times 10^{-34}$ J.s.

On donne le tableau relatif au spectre des couleurs de la lumière dans le vide :

Radiation	Ultraviolet	Violet	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge	Infrarouge
λ_0 (nm)	10-380	380-466	466-490	490-573	573-579	579-593	593-780	780-10 ⁶

I. FONDEMENTS DE L'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

4. Exercice d'application : Caractéristiques de la lumière

B. Une radiation lumineuse émise par un laser a une période $T = 1.533 \times 10^{-15}$ s.

- 1) Préciser la nature de la source de lumière ? Quelle est la fréquence d'une telle radiation ?
- 2) Cette radiation se propage dans du verre crown d'indice $n(\text{crown}) = 1.504$.
 - a) Quelle est sa vitesse de propagation dans ce milieu ?
 - b) Déduire sa longueur d'onde λ dans ce milieu.
 - c) Cette radiation est-elle visible à l'œil nu ? Si oui, indiquer sa couleur.
- 3) Cette radiation se propage maintenant dans du verre flint d'indice $n(\text{flint}) = 1.612$. Sa fréquence change-t-elle ? Sa couleur change-t-elle ?

On donne le tableau relatif au spectre des couleurs de la lumière dans le vide :

Radiation	Ultraviolet	Violet	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge	Infrarouge
λ_0 (nm)	10-380	380-466	466-490	490-573	573-579	579-593	593-780	$780-10^6$

I. FONDEMENTS DE L'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

5. Explication de quelques phénomènes optiques : Le Mirage

Le mirage se produit quand l'air près de la surface de la Terre est plus chaud que l'air au-dessus.

Lorsque la température de l'air varie, la masse volumique dans l'air varie inversement, ce qui entraîne une variation de l'indice de réfraction de celui-ci. **L'indice de réfraction est lié à la masse volumique** de l'air par la loi de Gladstone :

$$n(\rho) = 1 + k\rho \quad ; \quad \text{avec } k \text{ est une constante}$$

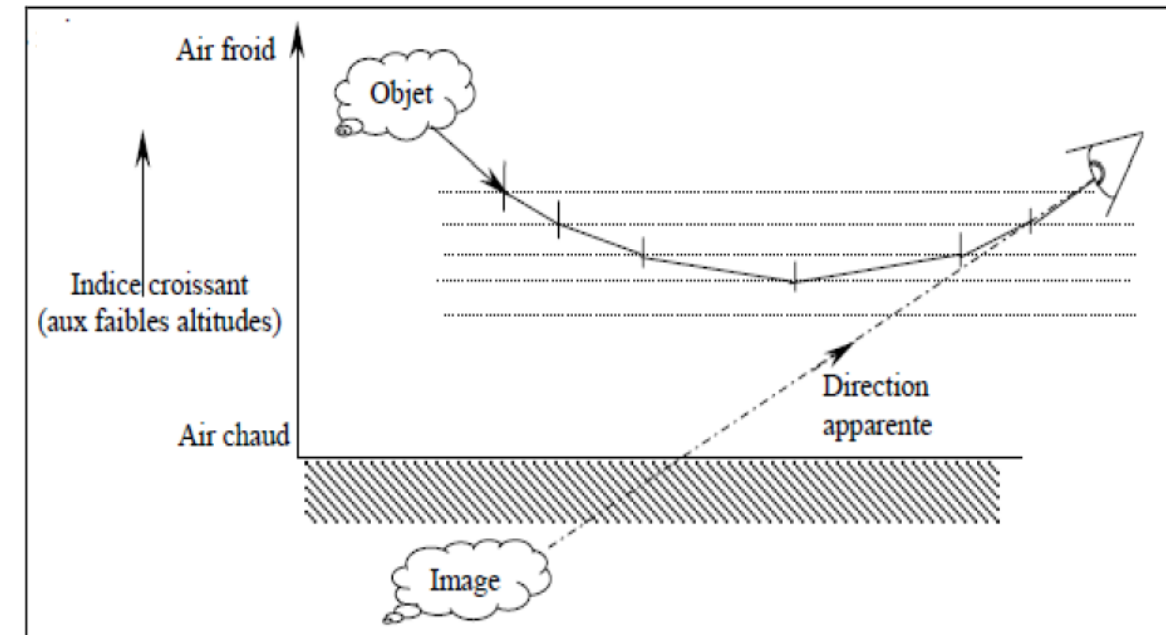


I. FONDEMENTS DE L'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

Le Mirage Inférieur

Le mirage inférieur ou “**Mirage chaud**” apparaît lorsque la température de l’air décroît lorsqu’on s’éloigne d’une Surface chauffée (Exemple : le sable dans le Désert), ce qui entraîne une augmentation de la masse volumique des couches d’air, et donc une augmentation de l’indice de réfraction de l’air au fur et à mesure qu’on s’éloigne de la Surface.

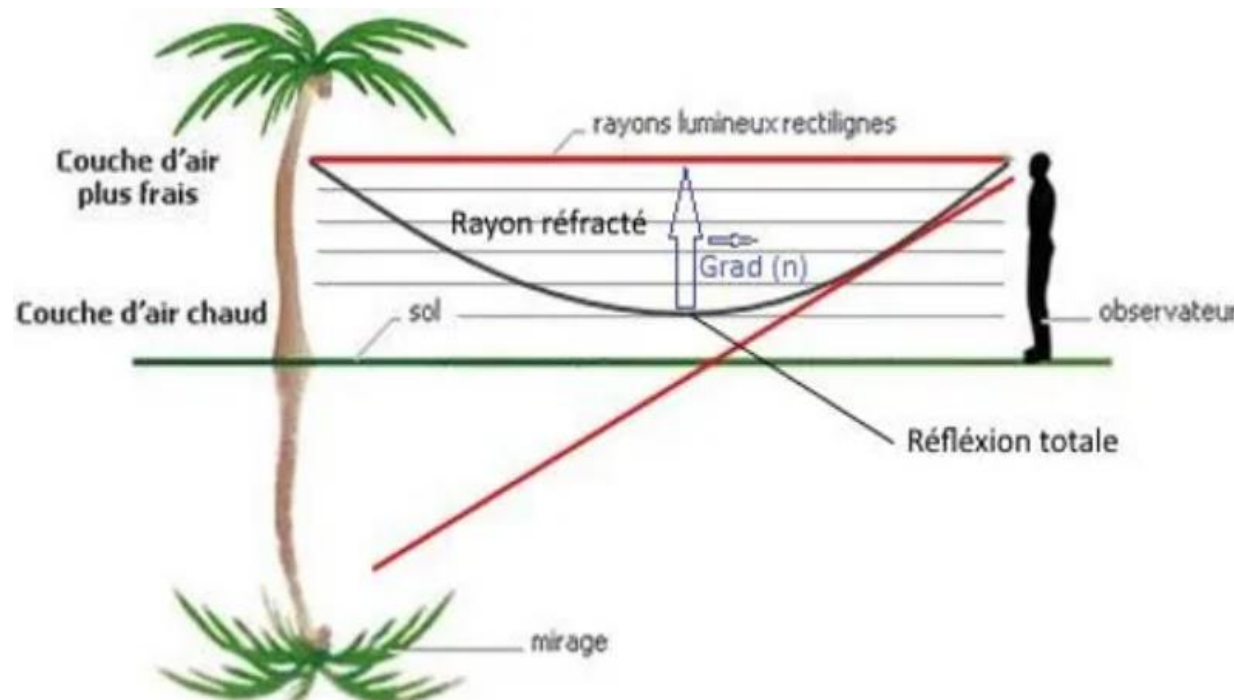
La surface de séparation entre chaque 2 couches d’indices différents est considérée comme **un dioptre**. Par conséquent, la lumière issue d’un objet (exemple : palmier), dirigée vers le bas, rencontre des couches d’air à indice décroissant. Les rayons subissent donc **des réfractions successives**.



I. FONDEMENTS DE L'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

Le Mirage Inférieur

Lorsque les rayons atteignent des inclinaisons convenables (l'angle d'incidence dépasse l'angle d'incidence limite), la lumière peut subir **la réflexion totale**. La lumière réfléchie vers le haut, rencontre l'œil de l'observateur, qui donc voit **une image renversée et déplacée vers le bas de l'objet**. On voit donc le reflet du ciel sur terre, ce qui donne l'impression de voir une nappe d'eau sur le sol.

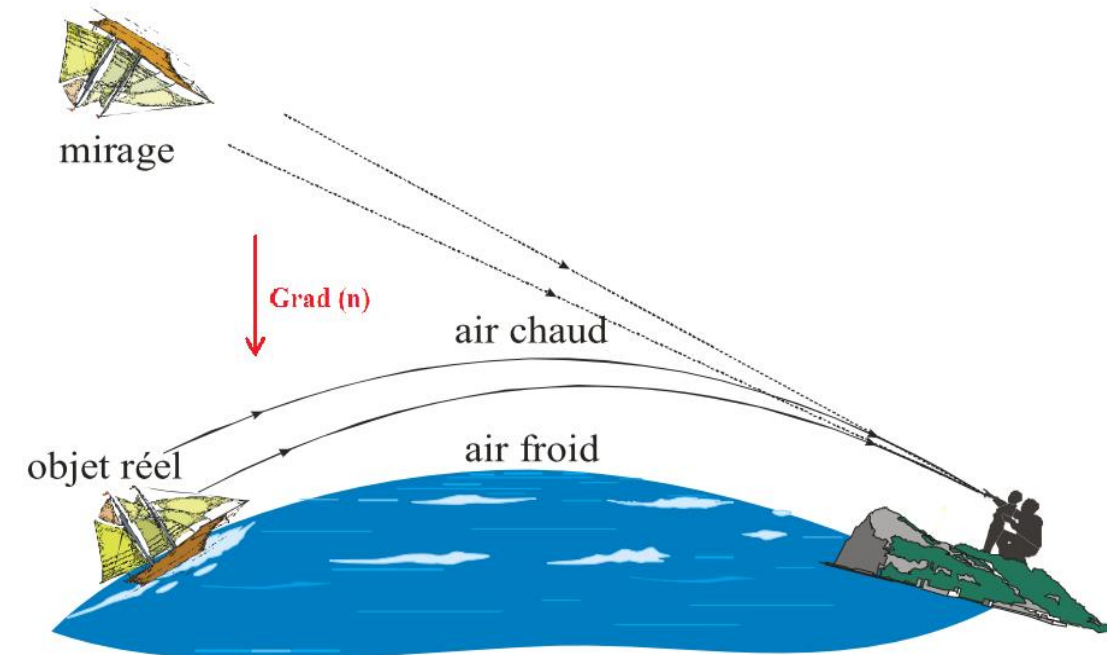


I. FONDEMENTS DE L'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

Le Mirage Supérieur

Par analogie au Mirage Inférieur, le “Mirage supérieur” appelé aussi “Mirage froid” apparaît lorsque la température de l’air croît lorsqu’on s’éloigne d’une Surface froide (exemple : Neige, Mer, ...). Dans ce cas, la masse volumique et donc l’indice de réfraction de l’air décroient au fur et à mesure qu’on s’éloigne de la Surface.

C’est le cas des régions polaires par exemple, où la température en mer est plus faible que celle de l’air. Ou bien, dans les montagnes, lorsqu’il y a de la neige en hiver et il y a un vent chaud qui souffle.



I. FONDEMENTS DE L'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

Le Mirage Supérieur

Ainsi, la lumière issue d'un objet sur la surface terrestre (exemple : Un bateau en mer), dirigée vers le haut, rencontre des couches d'air à indice décroissant. Les rayons subissent donc des réfractions successives.

Lorsque les rayons atteignent des inclinaisons convenables, la lumière peut subir la réflexion totale.

La lumière réfléchie vers le bas, rencontre l'œil de l'observateur, qui donc voit une image renversée et déplacée vers le haut de l'objet. On a alors l'impression que les objets flottent dans l'air.

