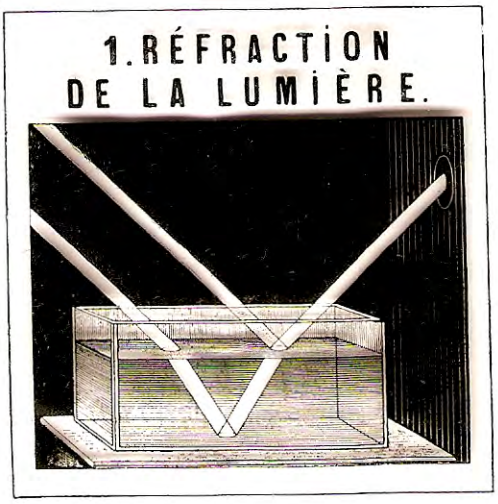
IV - L'OPTIQUE

RÉFRACTION DE LA LUMIÈRE - DIOPTRE PLAN

1° Réfraction de la lumière.



Dans une chambre obscure faisons pénétrer un faisceau cylindrique, fourni par le soleil, par exemple. Faisons le tomber dans une cuve à parois de verre qui contient de l'eau. Dans l'eau nous avons mis de la *fluorescéine* afin que, les rayons lumineux illuminant les régions qu'ils traversent, nous puissions suivre leur trajet. Dans l'air leur trajet est rendu visible par les poussières qu'ils illuminent.

Nous voyons alors que le faisceau qui tombe sur l'eau (*incident*) donne naissance d'abord à un faisceau réfléchi (voir feuille 2) ; puis à un faisceau qui pénètre dans l'eau. Ce faisceau n'est pas dans le prolongement du faisceau incident. Ce faisceau semble brisé (*réfracté*) à l'endroit où il passe de l'air dans l'eau.

C'est le phénomène de la *réfraction* : il se produit chaque fois que la lumière passe d'un premier milieu transparent à un second milieu transparent.

Sur le fond du vase, le faisceau peut se réfléchir, rencontrer de nouveau la surface de l'eau, et y subir de nouveau la réfraction.

2° Lois de la Réfraction (DESCARTES).

Première loi : *Le rayon incident* (SI), *le rayon réfracté* (IR) *et la normale* (In) *au point d'incidence sont dans un même plan* (P).

(Ce plan contient aussi le rayon réfléchi).

Deuxième loi : *Il y a un rapport constant* (pour deux milieux transparents donnés) *entre le sinus de l'incidence* i *et le sinus de l'angle de réfraction* r.

Ce rapport constant $n = \frac{\sin i}{\sin r}$ est ce qu'on appelle *l'indice de réfraction du second milieu par rapport au premier*.

L'indice de l'eau par rapport à l'air est d'environ 4/3e. L'indice du verre ordinaire par rapport à l'air est d'environ 3/2e.

Les indices de réfraction par rapport au vide s'appellent indices absolus. Ils sont très voisins des indices pris par x rapport à l'air.

Construction géométrique. — Dans le plan d'incidence, avec le point d'incidence I comme centre, traçons deux cercles dont les rayons sont entre eux comme 1 et n. — Par exemple, l'un égale 1 ; l'autre égale n, l'unité de longueur étant quelconque.

Nous prolongeons le rayon incident jusqu'à sa rencontre en a avec le cercle de rayon 1. La perpendiculaire au plan D (plan tangent en I à la surface réfringente) rencontre en b le cercle de rayon $x\,n$. I b est le rayon réfracté.

En effet, les deux triangles rectangles ICa et ICb nous donnent :

$Ic = Ia \sin Iac = Ib \sin Ibc.$

Or si l'on remarque que $Ia = 1$ $Ib = n$.

$$Iac = i \quad Ibc - r.$$

la relation précédente devient $\sin i = n \sin r$.

Principe du retour inverse. Il s'applique aussi à la réfraction. Si RI était le rayon incident, il lui correspondrait comme rayon réfracté IS.

A l'angle d'incidence r dans le second milieu, correspond dans le premier l'angle de réfraction 1.

Reportons-nous à la figure 1.

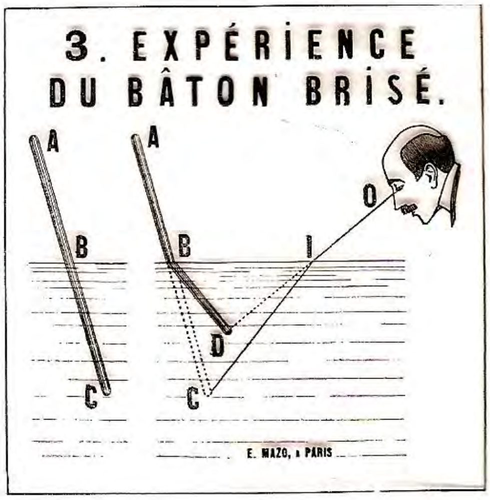
Le fond du vase étant parfaitement horizontal l'angle d'incidence lors de la seconde réfraction égale l'angle de réfraction de la première.

Par suite l'angle de réfraction à la sortie de l'eau égale l'angle d'incidence primitif.

Remarque. — Un milieu est dit *plus* ou *moins refringent* selon que son indice de réfraction est plus ou moins grand. Quand le second milieu est plus réfringent que le premier, le rayon se rapproche de la normale.

Il s'en éloigne si le second milieu est moins réfringent que le premier.

3° Expérience du bâton brisé.

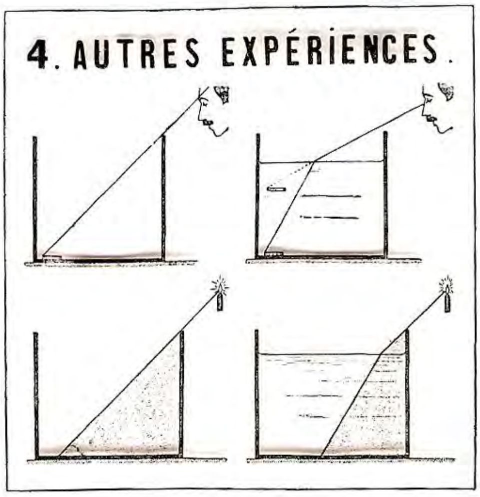


Le phénomène de la réfraction permet d'expliquer un certain nombre d'expériences très connues.

Un bâton ABC, à demi plongé dans l'eau et vu dans une direction oblique paraît brisé. C'est que un rayon CI issu d'un point C du bâton est brisé en I selon IO et semble venir du point D.

La partie BC plongée dans l'eau nous semble par suite relevée.

4° Autres expériences.

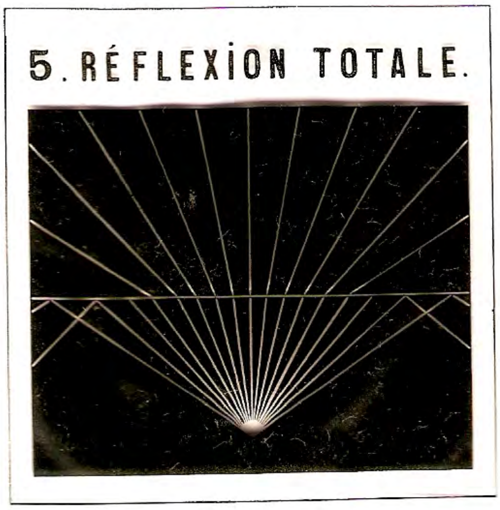


Une pièce de monnaie est placée au fond d'un récipient à parois opaques. Une personne qui l'apercevait par dessus la paroi du vase s'abaisse légèrement de façon à cesser de l'apercevoir.

Elle l'aperçoit de nouveau quand on verse de l'eau dans le vase. Un rayon rectiligne provenant d'un point de la pièce ne peut parvenir à l'œil. Un rayon brisé peut l'atteindre. La pièce nous paraît d'ailleurs relevée.

Si on observe l'ombre portée par une paroi latérale du récipient sur le fond, on constate que la ligne d'ombre, droite quand le vase est vide est brisée quand il contient de l'eau.

5° Réflexion totale.



Supposons d'abord que la lumière aille d'un milieu moins réfringent dans un milieu plus réfringent. Tout rayon incident pénètre, l'angle de réfraction r étant plus petit que l'angle incident. A la plus grande valeur possible de i, $i = 90°$ (valeur limite), correspond la plus grande valeur possible de r, $r = l$. l s'appelle limite.

Renversons maintenant le sens de la lumière. Il résulte du principe du retour inverse que pour qu'un rayon sorte, il faut qu'il tombe sous une incidence inférieure à l. S'il tombe sous une incidence supérieure, il ne peut sortir : il subit la réflexion totale.

La construction géométrique (figure 2) permet de retrouver ce résultat. Si l'angle d'incidence r est assez petit, la perpendiculaire $b\,c$ coupe le cercle de rayon 1 en a et nous donne un rayon émergent aIS. Si cet angle était trop grand cette droite $b\,c$ serait tout entière extérieure au cercle de rayon 1 et ne fournirait donc aucune direction d'émergence.

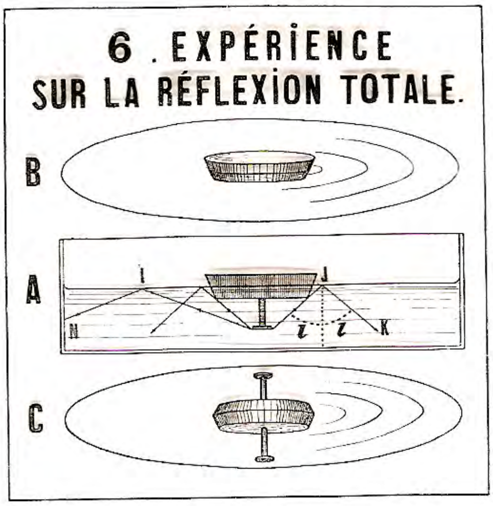
Le cas limite est celui où cette droite (*ed*) est tangente au cercle. Alors $r = l$. Le rayon sort « rasant ».

La figure 5 représente un certain nombre de rayons issus d'un point et tombant sur un plan qui les sépare d'un milieu moins refringent. Les moins obliques pénètrent avec une déviation qui croît avec l'incidence.

Pour une certaine incidence, le rayon sort rasant.

Pour une incidence supérieure, il est totalement réfléchi.

6° Expérience sur la réflexion totale.



A) Un bouchon flottant sur l'eau. Un clou assez enfoncé pour qu'aucun rayon provenant d'un point du clou ne puisse sortir dans l'air, les moins obliques tombant sous une incidence i supérieure à l'angle limite.

B) En regardant par dessus, on ne voit pas le clou.

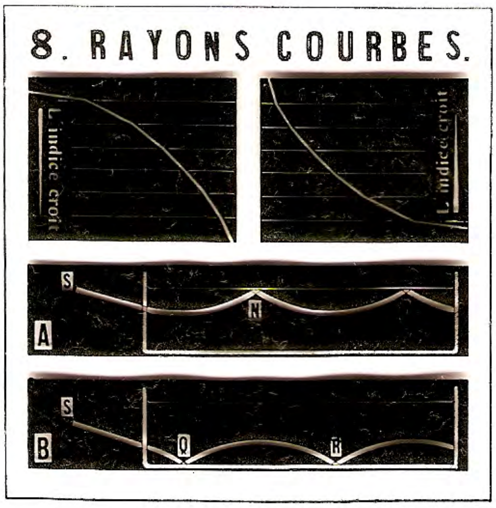
C) En regardant par dessous, on voit non seulement le clou, mais son image par réflexion.

7° **Expérience de la fontaine lumineuse.**

Le faisceau lumineux est concentré par la lentille dans l'axe du jet, à la sortie. Tous les rayons tombent sur la surface du jet sous un angle voisin de 90° et par suite très supérieur à l'angle limite. Aucun rayon ne sort et la lumière paraît enfermée dans le jet liquide. Ce jet est donc obscur jusqu'à ce qu'il se brise en gouttelettes lumineuses.

Mais on peut rendre aussi le jet lumineux dans sa partie lisse, en employant une eau un peu trouble, ou contenant de la fluorescéine.

8° **Rayons courbes.**



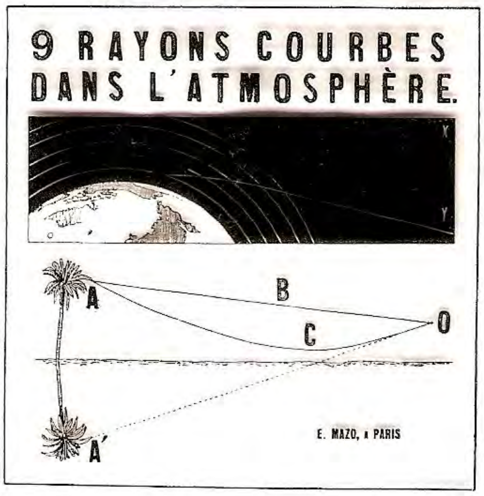
Supposons qu'un rayon traverse une succession de couches horizontales dont les indices croissent lentement. Il forme une ligne brisée aux angles peu marqués.

Supposons les couches de plus en plus minces, la variation d'indice de l'une à l'autre devenant de plus en plus petite. A la limite nous obtenons, dans un milieu dont l'indice varie d'une façon continue, des rayons courbes. Ces courbes tournent leur convexité vers le haut ou vers le bas, selon que l'indice croît de haut en bas ou de bas en haut.

On réalise le premier cas en versant avec précaution de l'eau pure sur une solution concentrée de sel marin. Avec des réflexions sur le fond du vase on obtient une sorte de guirlande (figure B).

On réalise le second cas en versant de l'alcool sur de l'eau. Le phénomène est semblable au précédent, mais renversé avec des réflexions totales sur la surface libre (figure A).

9e Rayons courbes dans l'atmosphère.



Un rayon qui provient d'un astre et arrive jusqu'à nous a dû traverser des couches atmosphériques dont la densité et par suite l'indice va en croissant. Son trajet dans l'air est donc courbe.

L'astre paraît plus haut sur l'horizon qu'il n'est en réalité : il est dans la direction Y ; on le voit dans la direction X.

Dans les pays très chauds, l'air étant échauffé au contact du sol il peut arriver que l'indice, par exception, croisse de bas en haut. La lumière peut parvenir d'un point A à l'œil O par deux chemins : un chemin *à peu près* rectiligne A B O et un chemin curviligne A C O, si bien que le point A, situé au-dessus du sol est vu non seulement dans sa position réelle, mais aussi en un endroit A' au-dessous du sol Cela permet d'expliquer le phénomène du mirage.

10o Le mirage.

Ces images renversées des objets et situées au-dessous peuvent facilement passer pour leur image obtenue par réflexion sur la surface d'un lac. L'image brillante du ciel vue dans la même direction ne peut qu'augmenter l'illusion.

11° Le dioptre plan.

Pour la définition du dioptre, voir feuille I, figure 12.

Un dioptre plan donne-t-il d'un point une image. On démontre aisément que non. Il fournit une caustique analogue à celle que représente la figure 2, feuille 3.

Mais si l'on n'utilise que des rayons peu inclinés, on a une image approchée.

Les relations des triangles rectangles nous donnent $OI = OA \text{ tg} i = OA' \text{tg } r$.

D'ou $\dfrac{OA'}{OA} = \dfrac{\text{tg } i.}{\text{tg } r.}$

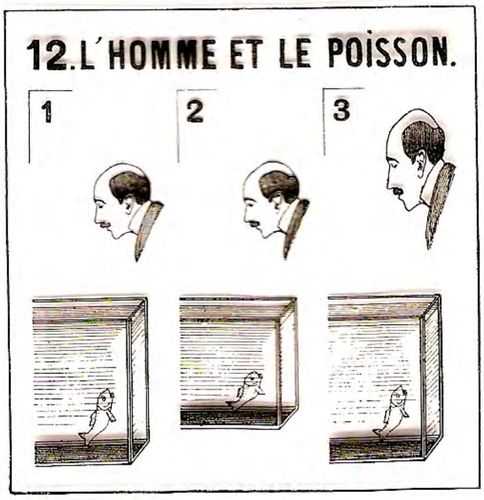
Les angles i et r étant petits, on peut écrire très approximativement $\dfrac{OA'}{OA} = \dfrac{\sin i}{\sin r} = n$.

Les rayons d'un faisceau convergent en A. Intercalons une éprouvette à pied contenant du sulfure de carbone, par exemple, ici choisi à cause de son grand indice (environ 5/3). Les rayons vont converger en A'

$$\frac{OA'}{OA} = \frac{3}{5}$$

Inversement, si un objet réel était en A' en vertu du retour inverse, son image (virtuelle) serait en A. Un objet placé dans un liquide et vu par un observateur placé dans l'air, semble rapproché de la surface.

12° L'Homme et le poisson.



Ainsi un homme verra un poisson plus près de la surface de l'eau qu'il ne l'est réellement. Toutes les distances verticales étant réduites dans le rapport de 4 à 3, le poisson paraît non seulement rapproché, mais encore déformé. Au contraire, au poisson, qui la regarde, la figure de l'homme semblera non seulement éloignée, mais allongée dans la direction verticale. Toutes les distances verticales sont augmentées dans le rapport de 3 à 4.

C'est ce que représente la figure :

(1) Comment ils sont.

(2) Comment l'homme voit le poisson.

(3) Comment le poisson voit l'homme.