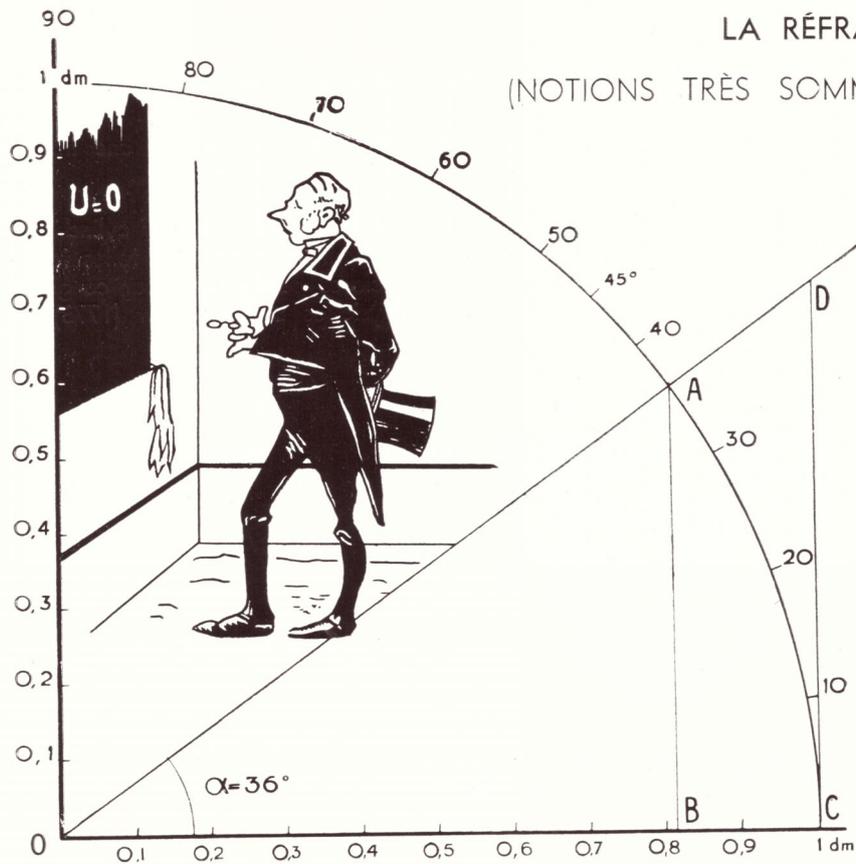


## LA RÉFRACTION

(NOTIONS TRÈS SOMMAIRES DE TRIGONOMÉTRIE)



On peut caractériser les angles non seulement par leur mesure en degrés, en grades ou en radians (mesurable avec un rapporteur) mais encore par ce que l'on appelle leurs « lignes trigonométriques ».

Ces lignes trigonométriques, telles que le « sinus », le « cosinus » et la « tangente » sont des rapports de segments (mesurables avec un double décimètre) caractéristiques de l'angle considéré.

Considérons la figure ci-contre. On appelle sinus de l'angle  $\alpha$  le rapport des segments  $BA$  et  $OA$  mesurés avec la même unité. Le cosinus est le rapport des segments  $OB$  et  $OA$  mesurés avec la même unité ; et la tangente, celle des segments  $CD$  et  $OC$ , ou ce qui revient au même,  $BA$  et  $OB$ .

L'idée fixe du savant Cosinus, d'après Christophe (Librairie Armand Colin).

$$\sin \alpha = \frac{BA}{OA} \quad \cos \alpha = \frac{OB}{OA} \quad \text{tg } \alpha = \frac{CD}{OC} = \frac{BA}{OB}$$

On voit tout de suite que :  $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$  et que  $\text{tg } \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$

Si, pour simplifier, nous avons choisi comme dans le cas de figure ci-contre le rayon du cercle égal à l'unité de longueur (par exemple : 1 dm.) avec laquelle nous mesurerons BA, OB et CD, les mesures de ces trois segments (en dm.) seront respectivement égales à  $\sin \alpha$  -  $\cos \alpha$  -  $\text{tg } \alpha$ .

Dans le cas de figure ci-contre,  $\alpha$  mesure environ  $36^\circ$ . Son sinus AB est d'environ 0,59, et son cosinus 0,81.

La première table en fonction des angles semble bien avoir été établie 150 ans avant Jésus-Christ, par le savant Hipparque. Ce n'est que plus tard que les Arabes inventèrent le sinus.

On convient de compter positivement les segments BA et CD quand A est au-dessus du diamètre horizontal du cercle trigonométrique, et négativement en dessous. Le segment OB sera compté positivement ou négativement suivant que B sera à droite ou à gauche du diamètre vertical du cercle trigonométrique.

Si bien que pour les angles compris entre  $0$  et  $90^\circ$ , les lignes sont positives. Pour les angles compris entre  $90$  et  $180^\circ$ , le sinus et la tangente sont positifs, mais le cosinus négatif ; pour les angles compris entre  $180$  et  $270^\circ$ , toutes les lignes sont négatives ; pour les angles compris entre  $270$  et  $360^\circ$ , le sinus et la tangente sont négatifs mais le cosinus positif. On trouvera au dos de la Fiche N° 31 une table des lignes trigonométriques à l'aide de laquelle on pourra vérifier des mesures faites pour s'exercer, sur la figure ci-contre (p. 20).

Quand  $\alpha$  est très petit, les trois longueurs arc  $\alpha$ ,  $\sin \alpha$  et  $\text{tg } \alpha$  deviennent très voisines et peuvent être confondues entre elles dans les calculs approchés.

## LOIS DE LA RÉFRACTION

C'est au moment où l'Inquisition jetait Galilée en prison pour avoir affirmé que la terre tournait et décrétait que « c'était un avertissement pour d'autres de s'abstenir de tels délits », que Descartes énonça les lois de la réfraction.

Quand la lumière traverse une surface plane séparant deux milieux transparents différents :

**1<sup>o</sup> Loi** : Le rayon incident, la normale à la surface de séparation au point d'incidence et le rayon réfracté sont dans le même plan.

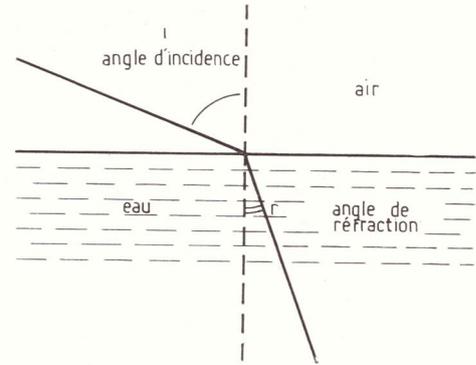
**2<sup>o</sup> Loi** : Le rapport des sinus des angles d'incidence et de réfraction est constant ; ce rapport est appelé l'indice relatif  $n$  de réfraction du deuxième milieu par rapport au premier.

Par exemple, l'indice de l'eau par rapport à l'air est sensiblement  $4/3$ , celui du verre par rapport à l'air environ  $3/2$ .

EXPERIENCE N° 12 : **VERIFICATION EXPERIMENTALE** (Voir Fiche N° 12 insérée à la fin du livre).

Nous réaliserons l'expérience avec les deux milieux air et huile. Remplir le demi-cylindre au tiers environ d'huile de table (huile d'arachide) aussi claire que possible.

En faisant arriver le rayon incident sur la partie plane et au centre C du demi-cylindre, ce rayon ne subira de réfraction qu'en traversant la face d'entrée plane du demi-cylindre. Le rayon réfracté CB tombera



en effet normalement à la surface cylindrique du demi-cylindre (puisqu'il vient du centre C) et ne subira donc aucune nouvelle réfraction à la sortie.

Tout se passe alors comme si le rayon CB continuait sa route dans l'huile. La trace BE sur le papier pourra donc être considérée comme celle du rayon lumineux après une seule réfraction dans l'huile.

Tout en maintenant le centre du demi-cercle au point C du rayon incident (marqué sur le papier), donner à ce demi-cylindre plusieurs positions successives autour de C. Pour chacune de ces positions, repérer à l'aide d'un crayon les traces de la face MN et des rayons incident et réfractés. Tracer ensuite les normales successives à MN dans ses différentes positions.

Mesurer avec le rapporteur les angles successifs d'incidence et de réfraction. Chercher leurs sinus dans la table (au dos de la fiche n° 31) et vérifier que le rapport  $\frac{\sin i}{\sin r}$  reste constant.

Il doit être d'environ 1,5, indice de l'huile d'arachide par rapport à l'air.

Répéter l'expérience avec le demi-cylindre rempli d'eau et non d'huile (éviter de nettoyer le demi-cylindre avec un liquide à base d'essence, de benzine ou d'acétone, liquides susceptibles d'attaquer les parois). Constaté que la réfraction est moins forte. L'indice de l'eau par rapport à l'air est inférieur à celui de l'huile par rapport à l'air. Les indices ainsi mesurés sont relatifs à la lumière blanche, elle-même composée de toutes les couleurs. Chaque couleur correspond à un indice différent (voir prisme, exp. N° 21).

#### EXPERIENCE N° 13 : **RETOUR INVERSE DE LA LUMIERE** (voir Fiche N° 12 insérée à la fin du livre).

Reprendre la disposition de l'expérience précédente (demi-cylindre rempli d'huile).

Marquer les traces des rayons AC et CB.

Puis, sans toucher au demi-cylindre, déplacer la lanterne de A en B et la disposer de façon à lui faire émettre son rayon lumineux suivant la trace précédemment marquée au crayon de BC.

Constaté que la lumière suit un chemin exactement inverse BCA. Ce principe est tout à fait général.

Le trajet suivi par la lumière pour aller d'un point A à un point B est aussi un chemin possible pour aller de B en A.

EXPERIENCE N° 14 : ANGLE LIMITE - REFLEXION TOTALE (voir Fiche N° 14 insérée à la fin du livre).

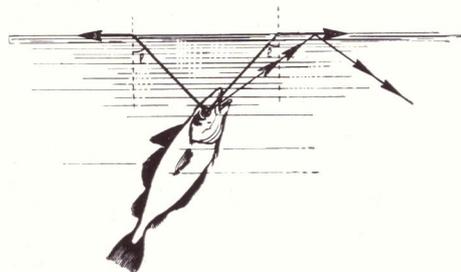
Reprenons le demi-cylindre rempli d'huile.

— En faisant arriver le rayon incident en C, presque rasant à la face AB, on obtient un angle de réfraction L dit « angle limite » correspondant à l'incidence maximum possible de 90°.

En appliquant la formule  $\frac{\sin i}{\sin r} = n$ , avec  $i = 90^\circ$  et  $n = \frac{2}{3}$ ,

on obtient  $\sin L = \frac{2}{3}$ ,

soit  $L = 42^\circ$  env.



— Si inversement, on déplace la petite lanterne de 1 en 2 (correspondant à l'angle limite), on constatera que le rayon réfracté prend toutes les positions de 3 à 4 (figure de droite sur la fiche).

— Continuons à déplacer la petite lanterne (rayon toujours dirigé vers C), au delà de la position 2.

Nous constaterons que le rayon cesse d'être réfracté, mais est réfléchi, suivant les lois de la réflexion, par la face AB.

On dit qu'il s'agit de « réflexion totale », car en fait, en déplaçant la lanterne de 1 cm. ou 2, on aurait pu constater qu'au fur et à mesure de ce déplacement, une partie (de plus en plus grande) de la lumière se réfléchissait, l'autre partie (de plus en plus faible) se réfractant.

C'est ainsi que pour un poisson, l'espace aérien situé au-dessus de l'eau paraît tout entier compris à l'intérieur d'un champ de vision délimité par un cône d'angle au sommet  $2L$ . En dehors de ce champ, les rayons visuels subissent une réflexion totale. Ceux qui font de la chasse sous-marine connaissent bien ce phénomène.

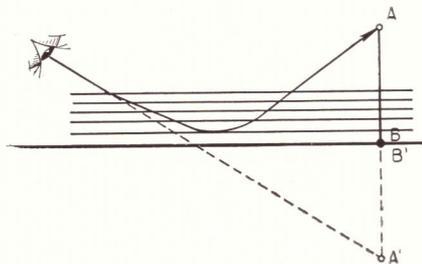
### EXPERIENCE N° 15 : MIRAGES

Il vous est sûrement déjà arrivé, étant en voiture par une journée très chaude et sèche, d'avoir l'illusion de voir une flaque d'eau un peu plus loin sur la route.

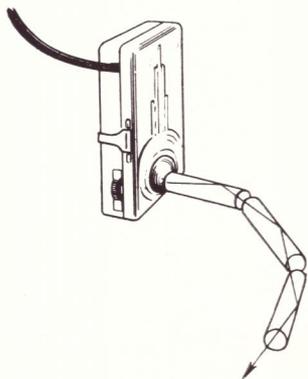
Le sol, exposé au soleil, chauffe les couches d'air qui sont au-dessus de lui. Ces couches d'air sont d'autant plus chaudes qu'elles sont plus près du sol.

Or l'indice de réfraction de l'air diminue avec la température. Les rayons lumineux traversent donc des couches d'indices différents et subissent des réfractions successives jusqu'au moment où l'incidence est telle qu'il y a réflexion totale. L'observateur voit en A'B' l'objet AB renversé et a l'impression d'une réflexion dans l'eau.

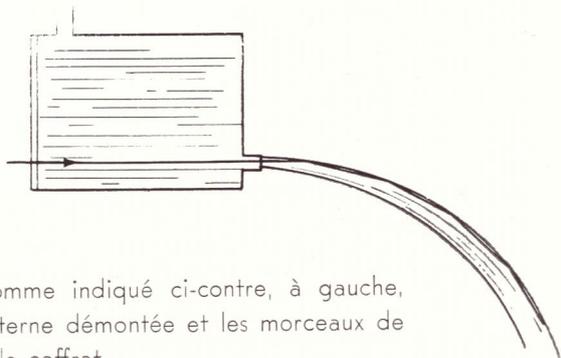
Pour des raisons analogues, on voit encore le soleil alors qu'il est déjà couché.



### EXPERIENCE N° 16 : FONTAINE LUMINEUSE.



Dans le dispositif figuré à droite, les rayons lumineux, subissant plusieurs réflexions totales successives, éclairent vivement le jet d'eau.



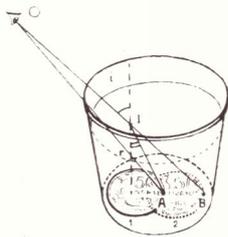
Réaliser l'expérience comme indiqué ci-contre, à gauche, avec la lampe de la petite lanterne démontée et les morceaux de bâton de verre contenus dans le coffret.

## EXPERIENCE N° 17 : FAIRE APPARAÎTRE UNE PIÈCE AU FOND D'UN GOBELET.

Disposez, si vous êtes assez riche, une pièce de 50 francs au fond d'un gobelet à parois opaques.

Placez-vous de telle manière par rapport au gobelet, que le bord de la pièce disparaisse juste à vos yeux.

Puis, sans bouger vous-même, demandez à quelqu'un de verser doucement (pour ne pas déplacer la pièce) de l'eau dans le gobelet. Il vous semblera que la pièce s'est déplacée de 1 en 2 (voir dessin). Le tracé du rayon visuel direct dans l'air et du rayon brisé OIA dans l'eau, vous expliquera comment le point A vous a semblé se déplacer en B.

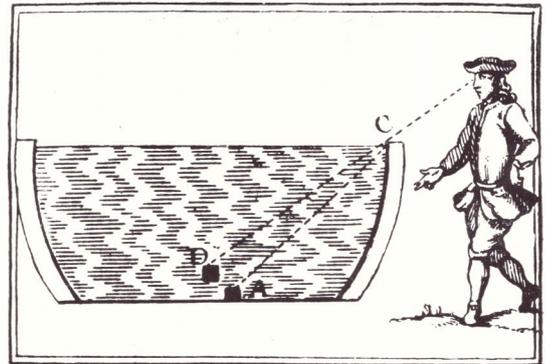


Ci-contre la même expérience d'après une gravure extraite des *Éléments de Philosophie de Newton*, par Monsieur de Voltaire.

Et voici l'explication qu'il en donne dans son chapitre sur « La Théorie de la Lumière » :

« Il faut se faire une idée nette d'une expérience très commune. Une pièce d'or est dans ce bassin : votre œil est placé au bord du bassin à telle distance, que vous ne voyez point cette pièce. Qu'on y verse de l'eau, vous ne l'apercevez point d'abord où elle était, maintenant vous la voyez où elle n'est pas ; qu'est-il arrivé ?

L'objet A réfléchit un rayon qui vient frapper contre le bord du bassin et qui n'arrivera jamais à votre œil ; il réfléchit aussi ce rayon AB qui passe par dessus votre œil : or, à présent, vous recevez ce rayon AB. Ce n'est point votre œil qui a changé de place, c'est donc le rayon AB. Il s'est manifestement détourné du bord de ce bassin en passant de l'eau dans l'air, ainsi il frappe votre œil en C. Mais vous voyez toujours les objets en ligne droite, donc vous voyez l'objet suivant la ligne droite CD. Donc vous voyez l'objet au point D au-dessus du lieu où il est en effet.



EXPÉRIENCE N° 18 : **LAME A FACES PARALLÈLES** (voir Fiche N° 18 insérée à la fin du livre).

— On constituera facilement une lame à faces parallèles en accolant par leurs faces courbes les deux lentilles N° 1 et 3.

— On vérifiera aisément géométriquement et expérimentalement que le rayon sortant est parallèle à lui-même et que ce déplacement croît avec l'angle d'incidence. Essayez, si vous le pouvez, de calculer ce déplacement.



Cul-de-lampe extrait de la Dioptrique Oculaire  
du Père Chérubin d'Orléans (1670).