

CHAPITRE II.

IMAGES PAR RÉFRACTION.

189. Quand un objet est plongé dans l'eau, tous ses points paraissent rapprochés de la surface du liquide. Cet effet est dû à la *réfraction* : c'est un changement brusque de direction que les rayons éprouvent en passant de l'eau dans l'air.

Un point matériel M (fig. 181), placé à une profondeur ME sous la surface de l'eau, se trouve ainsi vu par un œil O en un certain point N sur la verticale ME. Traçons NO et BM, prenons BM_1 égal à BM et abaissons la verticale M_1E_1 : le quart de BE_1 doit être égal au tiers de BE. Telle est la condition qui détermine la position de l'image N.

On ne peut obtenir graphiquement le point N que par l'emploi d'une courbe auxiliaire. Nous avons simplifié la solution, en calculant une table qui fait connaître immédiatement la proportion dans laquelle la profondeur paraît réduite, c'est-à-dire le rapport de NE à ME.

190. La ligne OM dirigée du point considéré à l'œil est divisée par la surface de l'eau en deux parties AM et AO que nous appellerons m et m' : le rapport de ces longueurs et l'angle de la droite avec un plan horizontal sont les deux arguments de la table. On cherche le premier sur la ligne horizontale supérieure, le second dans la première colonne.

Sur la figure 181, la valeur de $\frac{m}{m'}$ est $\frac{22}{79}$, ou à peu près 0.28. L'angle OAX mesure $35^{\circ} 30'$. On opère avec une exactitude suffisante en prenant pour arguments 0.25 et 35 degrés; la table donne alors pour coefficient de réduction 0.52, et la profondeur EM est réduite de $12^{\text{mm}},8$ à $6^{\text{mm}},7$.

Si l'on voulait une exactitude plus grande, il faudrait prendre des parties proportionnelles. Nous n'entrerons dans aucun détail sur cette opération qui est très-connue, et qui d'ailleurs ne paraît pas nécessaire ici.

Les colonnes 3, 4 et 5 donnent la réduction de la profondeur quand m est plus petit que m' ; les colonnes 7, 8 et 9 concernent le cas où m surpasse m' , et la colonne 6 celui de l'égalité.

Les colonnes 1 et 10 servent quand le rapport des deux longueurs est très-petit.

Tableau de la diminution apparente des profondeurs d'immersion.

ANGLE.	$\frac{m}{m'}=0$	$\frac{m}{m'}=0.25$	$\frac{m}{m'}=0.50$	$\frac{m}{m'}=0.75$	$m=m'$	$\frac{m'}{m}=0.75$	$\frac{m'}{m}=0.50$	$\frac{m'}{m}=0.35$	$\frac{m'}{m}=0$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5°	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.02	0
10	0.19	0.16	0.14	0.12	0.11	0.10	0.07	0.05	0
15	0.28	0.24	0.22	0.19	0.18	0.15	0.12	0.07	0
20	0.36	0.32	0.29	0.27	0.25	0.22	0.18	0.12	0
25	0.43	0.40	0.37	0.34	0.32	0.29	0.24	0.17	0
30	0.49	0.46	0.44	0.41	0.39	0.36	0.32	0.25	0
35	0.54	0.52	0.50	0.48	0.46	0.43	0.40	0.35	0
40	0.59	0.57	0.55	0.54	0.52	0.50	0.48	0.44	0
45	0.62	0.61	0.60	0.58	0.57	0.56	0.54	0.51	0.35
50	0.65	0.64	0.63	0.62	0.62	0.61	0.60	0.57	0.50
55	0.68	0.67	0.66	0.66	0.65	0.65	0.64	0.62	0.59
60	0.70	0.69	0.69	0.69	0.68	0.68	0.67	0.66	0.64
65	0.72	0.71	0.71	0.71	0.70	0.70	0.70	0.70	0.68
70	0.73	0.73	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.71	0.71
75	0.74	0.74	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
80	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
85-90	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75

191. La formule qui nous a servi pour calculer le tableau est :

$$n^2 = \frac{i^2}{\left(\frac{1 + \frac{m}{m'}}{\frac{m}{1 + \frac{m'}{m}n}} \right)^2 (1 - i^2) \cot.^2 \gamma + 1}$$

n est le rapport de EN à EM (fig. 181),

γ l'angle OAX,

Et i l'indice de réfraction dont la valeur est 0.75.

Quand m est nulle, n disparaît du second membre, et on peut calculer la première colonne sans difficulté. Lorsque m n'est pas nulle, il faut donner à n , dans le second membre, une valeur approximative. Le calcul est rapide quand la longueur m est petite, parce que la valeur supposée à n a peu d'influence sur la valeur calculée; pour les valeurs de m un peu grandes, on peut déterminer chaque nouvelle colonne approximativement, d'après celles qui sont déjà obtenues, en extrapolant. Tout se réduit ensuite à un travail de correction par la formule.

Nous avons adopté pour argument celui des deux rapports $\frac{m}{m'}$ et $\frac{m'}{m}$ qui est inférieur à l'unité. Il résulte de là que les nombres portés sur la première colonne horizontale n'indiquent pas des variations en progression arithmétique.

Faire le rapport $\frac{m}{m'}$ nul, c'est supposer que le rayon BO doit être parallèle à AO. Ce cas ne peut pas se présenter, mais il donne les limites supérieures des valeurs de n pour les différents angles.

Faire $\frac{m'}{m}$ nul, c'est exprimer que le rayon BM doit être parallèle à OM. On doit alors distinguer deux cas.

Si l'angle γ est supérieur à $41^\circ 25'$, un des rayons émanés du point O sera, après sa réfraction, parallèle à OM. La déviation éprouvée par ce rayon déterminera la grandeur de n . La formule devient :

$$n^2 = i^2 - (1 - i^2) \cot.^2 \gamma.$$

Si γ est plus petit que l'angle de réflexion totale $41^\circ 25'$, aucun rayon ré-

fracté ne sera parallèle à OM , et alors plus le point M s'éloignera sur OA , plus le point B devra s'éloigner sur la surface de l'eau. Le coefficient n peut ainsi descendre au-dessous de toute valeur positive sans cependant devenir nul.

D'après ces observations, on comprendra facilement la dixième colonne du tableau.

192. Quand on voudra dessiner un objet plongé dans l'eau, on déterminera l'image sur les figures géométrales, et on la mettra en perspective.

Considérons la courbe de tête, et les lignes des pieds-droits d'une arche (fig. 179). L'œil est au point (O, O') ; le niveau de l'eau est indiqué par la droite XX .

Les traces sur la surface de l'eau des plans verticaux qui contiennent les arêtes des pieds-droits sont ON_1 et ON_2 . Rabattant successivement ces plans sur le géométral, on obtient en M_1 et m_1 d'une part, M_2 et m_2 de l'autre, les points regardés, et en O_1 et O_2 les positions de l'œil. Opérant alors comme nous l'avons dit à l'article 190, on trouve dans la table les coefficients pour la réduction de profondeur, et on peut établir en $M''_1, m''_1, M''_2, m''_2$ les images des points.

L'image de M_1M_2 peut être tracée comme une droite parce qu'elle a peu d'étendue. Quant aux arcs, pour opérer avec une grande exactitude, il faudrait déterminer plusieurs points; mais il suffira généralement de joindre par des lignes légèrement courbes les points m''_1 et m''_2 à G_1 et G_2 .

Une image par réfraction ne présente quelque netteté que quand l'eau est claire, le spectateur rapproché, et l'angle γ assez grand.