Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 58 (1932)
Heft: 15

Artikel: Note sur l'onde positive de translation dans les canaux d'usines
Autor: Calame, Jules
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-44860

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 23.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

illuminer les deux rives à la fois tandis que le fleuve devant le bateau reste dans l'obscurité ; 4° le projecteur ne doit pas être dirigé sur le fleuve en avant du bateau ni sur d'autres bâtiments ou bacs plus longtemps qu'il n'est nécessaire soit pour se rendre compte de la situation soit pour reconnaître la position des bâtiments ou bacs ; 5° il est désirable que le projecteur puisse être manœuvré par le conducteur du bateau.

(A suivre.)

Note sur l'onde positive de translation dans les canaux d'usines,

par JULES CALAME, ingénieur-conseil à Genève.

(Suite.[1]*)*

§ 2. Calcul de l'onde positive dans un canal à nappe libre de section rectangulaire.

Avant de généraliser le calcul de l'onde en saillie, examinons d'abord le cas le plus simple d'un *canal ouvert de section rectangulaire.* La simplicité de ce cas provient du fait que, si l'on convient de négliger les phénomènes secondaires qui se produisent dans les bords du canal, la coupe longitudinale, à un instant donné du mouvement, est identique pour toutes les ordonnées du profil, c'est-à-dire que la variation des vitesses et des pressions y sera supposée la même.

Désignons (fig. 2) par :

B ... la largeur constante du canal,

C ... le tirant d'eau dans une section considérée *avant* le passage de l'onde,

$C+Y$ ... le tirant d'eau immédiatement *après* le passage de l'onde, Y désignant la hauteur de l'onde en saillie,

W_0 ... la vitesse moyenne d'écoulement dans une section considérée avant le passage de l'onde, correspondant à un débit constant Q_0, comptée positivement dans le sens de l'écoulement,

a ... la vitesse relative moyenne de propagation de l'*onde positive* de translation, comptée *positivement* quand la propagation a lieu dans le sens de l'écoulement, *négativement* quand l'onde remonte le courant,

W ... la vitesse moyenne d'écoulement, correspondant à un débit Q après le passage de l'onde, c'est-à-dire après que le niveau initial se soit soulevé de la hauteur Y de l'onde.

Nous n'examinerons provisoirement que l'effet d'une *manœuvre complète, instantanée*, mais il faut envisager deux cas d'onde positive, selon qu'il s'agit d'une onde *montante*, provoquée par une fermeture à l'aval, ou d'une onde *descendante* causée par une ouverture à l'amont.

1. *Onde positive montante.*

Il s'agira, par exemple (fig. 2), d'un écoulement tranquille qu'on arrête subitement par la fermeture d'une vanne à l'aval. Puisque l'obturateur obstrue la section *complète* du canal, le débit qui alimente l'onde de translation, en sens inverse de l'écoulement, n'est rien d'autre que le débit Q_0 d'écoulement primitif. Comme la vitesse de l'onde, dans une section bien définie du canal, en d'autres termes sa vitesse *absolue*, est représentée par la différence $a—W_0$, l'égalité s'écrit :

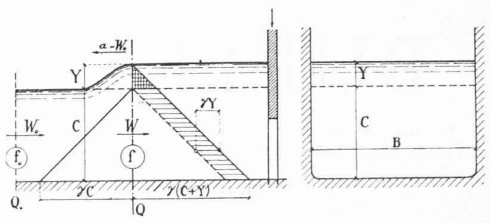

Fig. 2.

$$Q_0 = BC \cdot W_0 = BY(a - W_0) \qquad (1)$$

ce qui peut s'écrire aussi :

$$BYa = B(C + Y)W_0 \qquad (1\ bis)$$

d'où

$$W_0 = a\,\frac{Y}{C + Y}\cdot \qquad (2)$$

Une seconde relation s'établit à l'aide du théorème de l'accroissement de la quantité de mouvement.

Pendant l'unité de temps, la vitesse W_0 est communiquée à une masse liquide $\frac{\gamma}{g} BC \cdot a$ dont la longueur a représente précisément le chemin parcouru par l'onde. Dans ce mouvement uniforme de propagation, l'accroissement par seconde de la quantité de mouvement s'écrit dès lors :

$$\frac{\gamma}{g} BC\,a \cdot W_0$$

et il est provoqué par une force qui est égale à la différence des pressions de part et d'autre de la section considérée au moment du passage de l'onde, du moins si l'on néglige le frottement ; ce qui revient à admettre qu'on avait affaire, au moment de la fermeture de la vanne, à un écoulement uniforme (C = const.) l'effet de la pente du canal contrebalançant alors précisément la résistance du frottement.

La différence des pressions permet alors d'écrire le second membre de l'égalité :

$$\frac{\gamma}{g} BCaW_0 = \gamma Y \cdot BC + \frac{1}{2}\gamma Y^2 B \qquad (3)$$

et l'on en tire après avoir introduit pour W_0 sa valeur (2)

$$a = -\sqrt{gC\left\{1 + \frac{3}{2}\frac{Y}{C} + \frac{1}{2}\left(\frac{Y}{C}\right)^2\right\}} \qquad (4)$$

la racine étant prise avec le signe *négatif* puisqu'il s'agit d'une onde *montante.*

Telle est la valeur de la *vitesse de propagation* de l'onde dans un canal de *section rectangulaire.* Ce résultat est d'ailleurs connu de longue date sous une forme plus

[1] Voir *Bulletin technique* du 9 juillet 1932, page 167.

simple qu'on obtient en négligeant le troisième terme de la parenthèse ; on obtient ainsi approximativement

$$a \approx -\sqrt{gC}\left(1+\frac{3}{4}\frac{Y}{C}\right).$$

L'erreur ainsi commise ne dépasse pas 2 % pour autant que la hauteur Y de l'onde n'atteint pas le quart environ du tirant d'eau C initial.

La valeur de a coïncide avec celle de la *vitesse limite* de l'écoulement tranquille, quand $Y = O$.

2. *Onde positive descendante.*

C'est le cas d'un obturateur s'ouvrant subitement à *l'amont* de la section choisie, dans un canal dont l'eau est au repos. Le débit Q qui surgit à l'amont est précisément celui qui alimente l'onde, laquelle se propage ici à la vitesse a à la surface de l'eau, au repos. (Fig. 6.)

On a, par conséquent,

$$Q = BY \cdot a = B(C+Y)W = BC\left(1+\frac{Y}{C}\right)W \quad (5)$$

d'où l'on tire

$$W = a\,\frac{Y}{C+Y}. \quad (6)$$

Dans ce cas de l'onde positive descendante, c'est la vitesse W qui est communiquée à la masse liquide $\frac{\gamma}{g} BC \cdot a$ et l'égalité (2) conserve la même forme, à condition de remplacer W_0 par W. En introduisant alors W tiré de (6), on obtient une forme identique de l'expression (4) pour a, mais la racine précédée du signe +.

On peut facilement, dans ce cas particulier de la *section rectangulaire*, et quand les régimes sont ceux spécifiés ci-dessus, mettre sous la forme d'un diagramme les relations simultanées (4) et (2) ou (4) et (6) ainsi que le montre la fig. 3. En portant en abscisse la profondeur C de l'eau avant la perturbation et, en ordonnée, la vitesse de régime après la perturbation — soit W_0 dans le cas de (2) ou W dans le cas de (6) — on lit alors immédiatement la valeur relative $y = Y : C$; d'où Y, la hauteur cherchée de l'onde.

A remarquer cependant que, dans le premier cas, on connaît d'avance $W_0 = Q_0 : BC$, ce qui permet d'obtenir

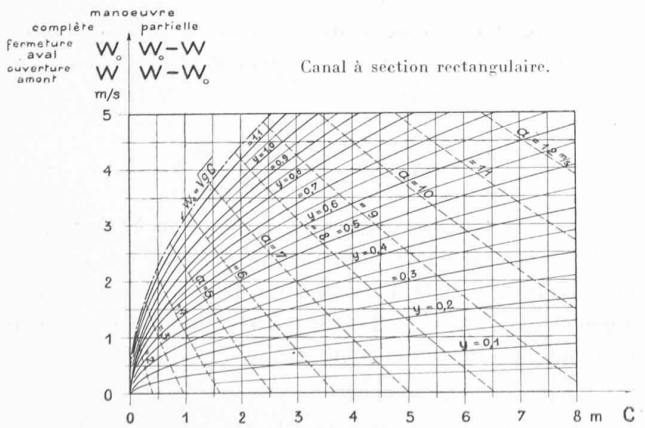

Fig. 3. — Hauteur relative $y = Y : C$ et célérité a en m/s d'une onde positive.

directement $Y : C$, c'est-à-dire Y. Dans le cas de l'onde provenant d'un débit d'amont Q, au contraire, il faut commencer par admettre une certaine valeur d'Y ou d'$Y : C$ et la valeur de W tirée de (5) devra correspondre à celle déduite du diagramme fig. 3, c'est-à-dire de (6).

Il serait d'ailleurs facile d'établir, dans ce dernier cas, un diagramme donnant $Y : C$ et a directement en fonction de Q et de C [1].

A remarquer enfin que l'onde ne se propagera que dans le cas de l'écoulement tranquille, c'est-à-dire si $W_0 \leqq \sqrt{gC}$.

Exemple numérique :

Dans un canal de profil triangulaire de 10,5 m de largeur, calculé pour un débit de 80 m³/s en régime uniforme, estimer la hauteur de l'onde :

1. si ce canal est un *canal d'amenée* ayant un tirant d'eau normal de 4 m, quand on opère une *fermeture complète* des turbines à l'aval.

Données : $Q_0 = 80$ m³/s $B = 10{,}50$ m $C = 4{,}00$ m. Pour $W_0 = Q_0 : BC = 1{,}90$ m/s et $C = 4{,}00$ m, le diagramme (fig. 3) indique comme hauteur de l'onde à la grille des turbines :

$y = Y : C = 0{,}325$ $Y = 1{,}30$ m $C + Y = 5{,}30$ m
$a = 7{,}75$ m/s ;

2. si ce canal est un *canal de fuite* dans lequel on provoque une *ouverture* complète du débit $Q = 80$ m³/s, le tirant d'eau à l'arrêt étant de 3,70 m.

Données : $Q = 80$ m³/s $B = 10{,}50$ m $C = 3{,}70$ m.

On en est réduit à tâtonner, à admettre une certaine valeur d'Y et à vérifier qu'avec la valeur correspondante de y le W de l'abaque a bien pour valeur $Q : B\,(C+Y)$.

Pour $Y = 1{,}05$ m soit $y = Y : C = 0{,}284$
on trouve pour

$C = 3{,}70$ m $W = 1{,}60 = 80 : 10{,}5(3{,}70 + 1{,}05)$ m/s

$C + Y = 4{,}75$ m tirant d'eau à l'entrée du canal de fuite

$a = 7{,}25$ m/s.

§ 3. Calcul de l'onde positive [2], quand le profil du canal offre un axe de symétrie vertical.

Le calcul se fait tout aussi facilement, quand *la section constante du canal*, sans être rectangulaire, *offre un axe de symétrie vertical.*

Nous désignerons alors (fig. 4) par :

C ... le tirant d'eau dans le profil, au-dessus du radier, pour un écoulement déterminé, immédiatement avant le passage de l'onde,

B_1 ... la largeur du profil correspondant au tirant d'eau C,

[1] On trouvera ce diagramme, ainsi que quelques autres et divers compléments du texte qui n'ont pu trouver place ici, dans un *tirage à part* dont nous annoncerons la parution ultérieurement. (Réd.)

[2] Au sujet du calcul de l'onde *négative* et de la limite que lui impose le régime torrentiel, l'espace dont nous disposons nous oblige à renoncer à le traiter ici, mais on en trouvera l'essentiel dans le tirage à part dont il a été question plus haut.

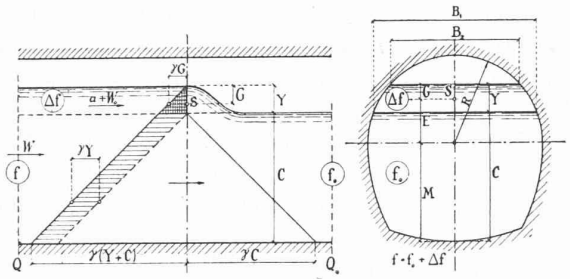

Fig. 4.

f_0 ... la section du profil occupée par l'eau *avant* le passage de l'onde,

Y ... la hauteur de l'onde dans le profil, cette hauteur étant supposée uniforme au-dessus du niveau initial,

B_2 ... la largeur du profil correspondant au tirant d'eau $C+Y$,

Δf ... la part supplémentaire de la section du profil qui vient d'être occupée par la saillie de l'onde positive,

f ... la section du profil qui est occupée immédiatement *après* le passage de l'onde :

$$f = f_0 + \Delta f.$$

Dans ce cas, la relation de continuité (1 *bis*) du § 2 prend la forme plus générale.

$$\Delta f \cdot a = f W_0. \qquad (1\ ter)$$

Quant à l'accroissement de la quantité de mouvement

$$\frac{\gamma}{g} f_0 a \cdot W_0 \qquad (7)$$

pendant l'unité de temps, il provient de la force d'impulsion qui correspond à la variation du niveau de l'eau et qui s'exprime par la différence des prismes de pression d'eau, considérés dans une section déterminée, avant et après le passage de l'onde. Cette différence, que des hachures mettent en évidence sur la fig. 4, comporte :

la totalité de la pression supplémentaire Y sur la surface f_0 de la section initiale

$$\gamma f_0 Y \qquad (8)$$

ainsi que le prisme de section triangulaire à bases curvilignes s'appuyant sur la surface Δf et dont la pression est représentée d'une manière tout à fait générale par le produit

$$\gamma \cdot \Delta f \cdot G \qquad (9)$$

si l'on désigne par G la distance au niveau libre de largeur B_2 du centre de gravité de la surface Δf.

* * *

Pour illustrer immédiatement le parti qu'on peut tirer de cette dernière définition, confrontons une surface supplémentaire Δf ayant un axe de symétrie, et une surface rectangulaire de même base B_1 et de même hauteur Y, subissant l'une et l'autre la même répartition triangulaire de la pression (fig. 5).

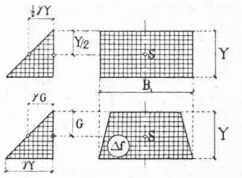

Fig. 5.

Sur le rectangle, la pression totale s'exprime par

$$\frac{1}{2}\gamma B_1 Y^2 = \frac{1}{2}\gamma \Delta f Y = \gamma \Delta f \cdot \frac{Y}{2}$$

et sur la surface à axe de symétrie, on peut l'écrire :

$$\int p \cdot df = \gamma \int Y \cdot df = \gamma \cdot \Delta f \cdot G = \frac{1}{2}\gamma \xi \cdot \Delta f \cdot Y$$

en posant :

$$G = \frac{1}{2}\xi Y$$

En d'autres termes, la surface supplémentaire Δf dans une section de canal ayant un axe de symétrie peut toujours être traitée à la manière d'une section rectangulaire de même base B_1, pourvu qu'on ait soin de multiplier l'expression $\frac{1}{2}\gamma \Delta f \cdot Y$ de la pression totale par le coefficient

$$\xi = \frac{2G}{Y} \qquad (10)$$

dans lequel G désigne, d'une manière tout à fait générale, la distance au niveau libre du centre de gravité de la surface Δf ayant pour hauteur la hauteur Y de l'onde.

Revenant à l'expression du théorème de l'accroissement de la quantité de mouvement, nous pouvons l'écrire maintenant en toute connaissance de cause, en nous reportant aux expressions (7), (8), (9) et (10) :

$$\begin{aligned} \frac{\gamma}{g} f_0 a W_0 &= \gamma f_0 Y + \gamma \Delta f \cdot G = \\ &= \gamma f_0 Y + \frac{1}{2}\gamma \xi \Delta f \cdot Y = \gamma Y \left(f_0 + \frac{1}{2}\xi \Delta f \right). \end{aligned} \qquad (11)$$

De (1 *ter*) et (11) on tire,

$$W_0 = \frac{\Delta f \cdot a}{f} = \frac{g}{a} Y \left(1 + \frac{1}{2}\xi \frac{\Delta f}{f_0} \right)$$

et finalement l'expression de la *vitesse de propagation* de l'onde de translation dans un *canal dont la section a un axe de symétrie vertical :*

$$a = \mp \sqrt{g Y \frac{f}{\Delta f} \left(1 + \frac{1}{2}\xi \frac{\Delta f}{f_0} \right)} \qquad (12)$$

La vitesse a correspondant à la hauteur Y de l'onde, si elle est la vraie, doit évidemment satisfaire à la relation de continuité du débit, mais il y a lieu, ici aussi, de distinguer entre le cas de l'onde positive montante et celui de l'onde positive descendante.

1. *Onde positive montante.*

Nous examinerons cette fois le cas plus général d'une *fermeture partielle* de la vanne à l'aval, toujours dans

l'hypothèse d'un mouvement uniforme, en n'affectant d'aucun indice le débit Q et la vitesse moyenne W dans une section f que l'onde a déjà atteinte (voir la fig. 1, à gauche de la vanne).

Il faut dans ce cas écrire, ΔQ désignant le débit de l'onde montante

$$Q_0 = Q + \Delta Q$$
$$f_0 W_0 = fW + \Delta f(a - W_0)$$
$$f_0 W_0 = (f_0 + \Delta f) W + \Delta f(a - W_0)$$
$$f_0(W_0 - W) = \Delta f\{a - (W_0 - W)\}$$

d'où

$$W_0 - W = a \frac{\Delta f}{f} \qquad (13)$$

Dans le cas du profil *rectangulaire* :

$$W_0 - W = a \frac{Y}{C + Y}$$

et, si la fermeture est *complète* ($W = O$)

$$W_0 = a \frac{\Delta f}{f} \ldots\ldots = a \frac{Y}{C + Y}$$

les valeurs de W_0 et de W étant celles définies par les équations :

$$Q_0 = f_0 W_0 \qquad Q = fW \qquad (14)$$

2. *Onde positive descendante.*

On admettra ici aussi le cas plus général d'un débit Q qu'on introduit dans un canal déjà parcouru par un débit Q_0 en régime uniforme (fig. 6) ; *ouverture partielle* au delà d'un certain débit existant.

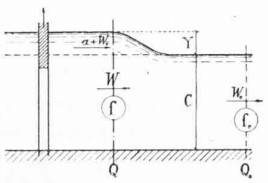

Fig. 6.

Dans ce cas, ΔQ désignant encore le débit de l'onde, mais ici descendante, on a, en tenant compte de $f = f_0 + \Delta f$

$$Q = Q_0 + \Delta Q$$
$$fW = f_0 W_0 + \Delta f(a + W_0)$$

soit

$$W - W_0 = a \frac{\Delta f}{f} \qquad (13\ bis)$$

Dans le cas du profil *rectangulaire :*

$$W - W_0 = a \frac{Y}{C + Y}$$

et, si l'ouverture est *complète* et se fait dans un canal où l'eau est arrêtée ($W_0 = O$) :

$$W = a \frac{\Delta f}{f} \ldots\ldots = a \frac{Y}{C + Y}.$$

Ces valeurs de la vitesse sont reliées aux débits correspondants par les définitions :

$$Q_0 = f_0 W_0 \qquad Q = fW \qquad (14\ bis)$$

Mentionnons quelques cas particuliers :

I. Quand la section est *rectangulaire*, il est possible encore d'utiliser le diagramme fig. 3, mais en interprétant alors l'axe des ordonnées comme la *différence des deux vitesses* qui règnent à *l'amont* et à *l'aval* du canal, dans un profil touché par l'onde et dans un qui ne l'est pas encore ou inversement.

II. Quand la section du canal est *un trapèze*, le cas en somme le plus courant, ξ devient, en fonction des dimensions du profil (fig. 7)

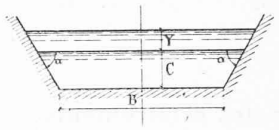

Fig. 7.

$$\xi = \frac{1}{3} \cdot \frac{3Btg\alpha + 6C + 2Y}{Btg\alpha + 2C + Y}$$

ce qu'on peut écrire aussi, en posant :

$$Y : C = y \qquad Btg\alpha : C = m$$

$$\xi = \frac{1}{3} \cdot \frac{3m + 6 + 2y}{m + 2 + y}$$

En valorisant $f_0 \Delta f$ et f à l'aide de ces mêmes données, la formule (12) pour a devient, dans ce cas du trapèze :

$$a = \pm \sqrt{gC(1+y) \frac{m+1+y}{m+2+y} \left\{1 + \frac{y}{6} \cdot \frac{3m+6+2y}{m+1}\right\}} \qquad (12\ bis)$$

III. Si le canal est une galerie fermée, fonctionnant à libre écoulement, la calotte est généralement constituée par un *profil circulaire* à l'intérieur duquel se produit le relèvement du niveau libre.

Dans ce cas, si l'on désigne encore (fig. 4) par

M ... la hauteur du centre du profil circulaire au-dessus du radier

E ... la distance de ce centre au centre de gravité S de la surface Δf

$$G = C + Y - (M + E)$$

d'où l'on tire ξ.

Mais, dans ce cas du profil circulaire (fig. 8), la surface Δf, de hauteur Y, représente la différence de 2 segments [1]

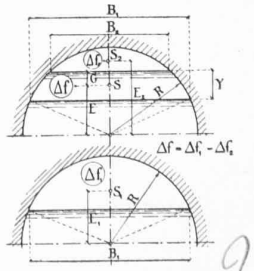

Fig. 8.

[1] On trouve toutes calculées les longueurs des cordes et les surfaces des segments en fonctions de l'angle au centre, par exemple dans *Hütte I*, 25e éd., table 6, page 35.

du même cercle de rayon R, celui de corde B_1 et celui de corde B_2 dont les centres de gravité sont définis par les distances respectives :

$$E_1 = \frac{1}{12} \cdot \frac{B_1^3}{\Delta f_1} \quad \text{et} \quad E_2 = \frac{1}{12} \cdot \frac{B_2^3}{\Delta f_2}.$$

Quant à la distance E du centre de gravité S de la surface Δf, elle est définie par

$$E = \frac{\Delta f_1 \cdot E_1 - \Delta f_2 F_2}{\Delta f} = \frac{B_1^3 - B_2^3}{12 \cdot \Delta f}.$$

(A suivre.)

La mesure des éclairements.

La connaissance se diffuse rapidement, dans le public, qu'un éclairage abondant, rationnellement aménagé et distribué, est un important facteur d'hygiène, de confort, de stimulation au travail, de prévention des accidents et d'accroissement du rendement de la main-d'œuvre. Des expériences systématiquement conduites ont abouti à l'établissement de normes minimum au-dessous desquelles l'éclairement ne doit pas descendre pour l'exécution correcte de tel travail déterminé.

Voici, à titre d'exemple, quelques éclairements « recommandés » par la « Société allemande d'éclairagisme ». Rappelons que l'éclairement d'une surface est généralement mesuré en *lux*.

Ateliers.

Travail	grossier	40 lux.
»	moyen	80 »
»	fin	150 »
»	très fin	300 »

Locaux d'habitation, pour des exigences moyennes : 80 lux.

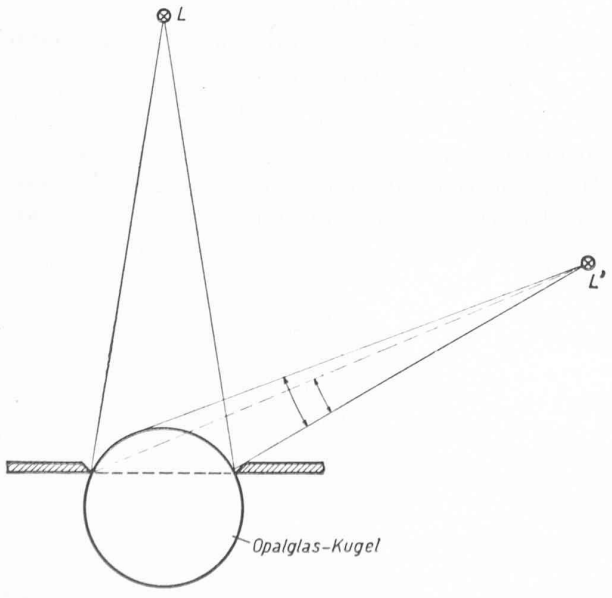

Fig. 1.
Opalglas-Kugel — sphère en verre opalin.

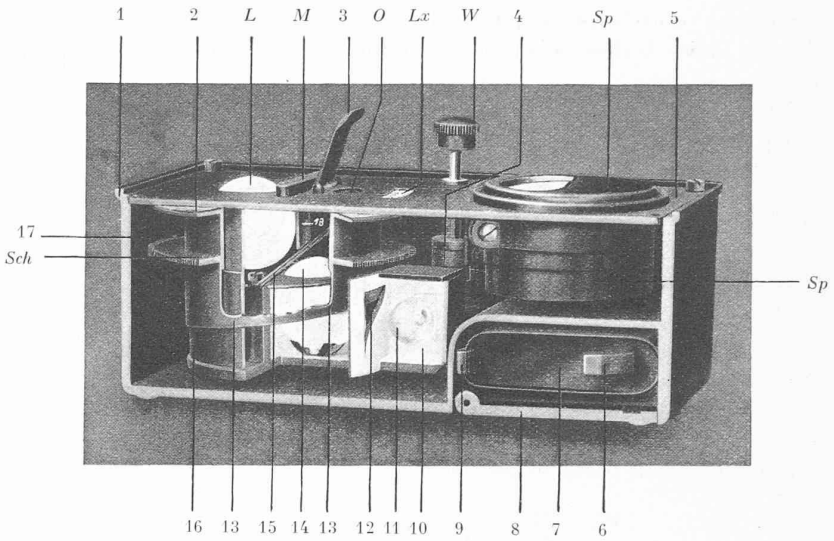

Fig. 2. — Vue en coupe du luxmètre *Osram*.

Légende. — 1. Boîtier en bakélite. — 2. Disque gradué en lux. — *L*. Récepteur. — *M*. Coulisseau de commande du verre gris (18). — 3. Volet de fermeture de la fenêtre de visée. — *O*. Fenêtre de visée. — *Lx*. Fenêtre d'observation de l'échelle des lux. — *W*. Bouton de commande du rhéostat. — 4. Rhéostat. — *Sp*. Voltmètre. — 5. Plateau métallique. — 6. Courte lame-contact. — 7. Pile sèche. — 8. Volet de la chambre de la pile. — 9. Longue lame-contact. — 10. Chambre de la lampe. — 11. Lampe-étalon. — 12. Fenêtre diaphragmable. — 13. Diaphragme cylindrique, rotatif. — 14. Comparateur. — 15. Plaque de comparaison, par juxtaposition des brillances, et verre bleuté. — 16. Cylindre fixe. — *Sch*. Anneau moleté, en laiton, commandant le diaphragme. — 17. Fente pour le passage de l'anneau moleté. — 18. Verre gris (au-dessous du coulisseau *M*).

Voies de circulation, pour un trafic moyen :

Places et rues	8 lux.
Corridors et escaliers	20-25 »
Plates-formes de voies ferrées	2-4 »
Quais de gares : places de dépôt	20-25 »
Voies de navigation (quais, débarcadères, écluses)	5-10 »
Cours de fabriques	5-10 »

Mais comment s'y prendre pour vérifier qu'en un endroit quelconque, l'éclairement satisfait aux normes ? Car, en cette matière, l'évaluation « au jugé » peut produire de fâcheuses méprises. Le « jugé » étant donc exclu, il faudra substituer à l'œil un instrument moins précaire. Ce sera un de ces *luxmètres* portatifs qu'il suffit de poser à l'endroit visé pour en mesurer l'éclairement, avec une bonne précision, par la simple manœuvre d'un ou deux boutons ou coulisseaux. Un des

Fig. 3. — Vue du luxmètre *Osram*.