Le problème des vagues

Autor(en): **Favre, Henry**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **107/108 (1936)**

Heft 1

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-48325

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

INHALT: Le problème des vagues. — Aktuelle Schweizerische Strassenfragen. — Einfamilienhaus in Zürich. — Zur Frage des Zürcher Kantonspitals. — Mitteilungen: Taumelkörper-9 Zylinder-Motor. Ampère. Vom Schweizerischen Nationalkomitee der Weltkraftkonferenz. Das Reisslackverfahren zur Untersuchung ebener Spannungszustände. Weitgespannte Eisenbeton-Plattenbrücken. Vom projektierten Kraftwerk Génissiat an der Rhone. Die Generalversammlung des Schweizerischen Technikerverbandes. Pyranol-Transformatoren. Deutscher Strassenkongress München 1936. — Nekrologe: Anthelme Boucher. — Mitteilungen der Vereine.

Band 108
Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich.
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.
Nr. 1

Le problème des vagues.

Par HENRY FAVRE, Dr. ès Sc. techn., Privat-docent à l'Ecole polytechnique fédérale, Directeur-adjoint du Laboratoire de Recherches hydrauliques annexé à l'E. P. F. [1])

Lorsqu'un courant d'air horizontal d'une certaine intensité souffle à la surface d'une masse d'eau initialement au repos, il engendre des vagues. Ce fait est connu de tous. Mais ce qui l'est moins, c'est la complexité du problème qui consiste à étudier la cause de la formation des vagues, les lois de leur mouvement, leur évolution, et ce qu'elles deviennent lorsqu'elles rencontrent un obstacle quelconque.

Or ce problème joue un rôle capital dans la théorie du navire. Il intéresse aussi l'ingénieur qui doit construire un ouvrage maritime: une jetée doit tenir sous la houle la plus forte. La difficulté du problème est la même, qu'il s'agisse de petites ou de grandes étendues d'eau. Les vagues de nos lacs suisses donnent aux riverains, toutes proportions gardées, les mêmes soucis que les grandes vagues de la mer.

Nous avons donc cru utile d'esquisser ici ce que l'on sait du phénomène des vagues. Nous diviserons notre exposé en cinq parties. Dans la première, qui sera très courte, car nos connaissances qui s'y rapportent se réduisent à peu de choses, nous parlerons de la genèse des vagues. Nous montrerons, en second lieu, en quoi consiste le phénomène de leur mouvement. Dans une troisième partie, nous examinerons ce qu'elles deviennent en se propageant au-delà de la zone où elles ont pris naissance. Dans une quatrième, nous étudierons la modification de leur mouvement au voisinage des côtes, où elles rencontrent des profondeurs de moins en moins grandes. Enfin nous dirons quelques mots de la réflexion des vagues sur un ouvrage — une jetée par exemple — destiné à barrer leur route.

1. La genèse des vagues.

Diverses théories ont été émises quant à l'action du vent sur une masse liquide primitivement au repos. Une des plus connues est celle d'*Helmholtz*. D'après ce savant, si la surface de l'eau ne reste pas plane, c'est qu'à partir d'une certaine vitesse du vent elle devient *instable*. La moindre cause perturbatrice — il y en a toujours de nombreuses — crée alors un déséquilibre, et la surface se modifie jusqu'à ce qu'un nouveau régime stable s'établisse. Helmholtz a montré qu'une surface ondulée répond précisément aux conditions requises par ce régime.

Cette théorie, malgré les perfectionnements que lui ont apportés *Wien*, et tout récemment *Burgers* et *Rosenhead*, n'a pas été d'une manière générale confirmée par l'expérience, certaines déductions auxquelles elle conduit étant en flagrante contradiction avec les faits observés. Des tentatives basées sur d'autres principes, au premier rang desquelles nous citerons celles de *Lord Kelvin* et de *Jeffreys*, n'ont pas apporté non plus de solution satisfaisante au problème.

Tout ce que nous pouvons dire en définitive de précis est qu'à partir d'une certaine vitesse critique du vent, qui semble comprise entre 1 et 1,5 m/sec, la surface de l'eau est instable, qu'elle devient ondulée. La distance de crête à crête des ondes est alors de l'ordre de quelques décimètres. Si la vitesse du vent augmente, les dimensions des vagues croissent. Elles croissent également avec la durée de l'action du vent.

Ce qu'il y a de remarquable dans le phénomène, c'est que toutes les perturbations créées à la surface par un vent, même variable, perturbations de formes et de dimensions multiples, finissent par se ranger, s'ordonner, en un mouvement qui, au moins en première approximation, peut être regardé comme un *système unique* d'oscillations sensiblement cylindriques et se propageant avec une vitesse déterminée dans la direction perpendiculaire aux génératrices des cylindres.

2. Les lois régissant le mouvement des vagues par grande profondeur.

Si, comme nous venons de le voir, nous ne savons que peu de choses sur la genèse des vagues, nos connaissances sur leur mouvement même sont beaucoup plus étendues. Et cela, nous le devons à d'éminents mathématiciens qui, depuis deux siècles, se sont attachés avec désintéressement à cette partie du problème. C'est grâce à des savants tels que Laplace, Lagrange, Gerstner, Cauchy, Airy, Stokes, Boussinesq, Levi-Civita, que nous savons aujourd'hui en quoi consiste le mouvement des vagues.

Voyons tout d'abord comment les mathématiciens ont posé le problème. Il s'agit de trouver un mouvement périodique de l'eau tel que 1o) la surface affecte l'allure d'ondulations cylindriques égales entre elles, se propageant sans se déformer avec une vitesse constante; 2o) en tous les points de cette surface et à un instant quelconque la pression ait la même valeur, celle de l'atmosphère; 3o) les molécules de l'eau soient au repos à partir d'une certaine profondeur.

Les vagues ainsi définies sont appelées *ondes de surface*, car leur mouvement n'affecte qu'une certaine épaisseur de liquide au-dessous de la surface. Ce sont celles qui se produisent au large.

Le problème revient à trouver une solution des équations de l'hydrodynamique classique des fluides incompressibles pesants (dans laquelle on néglige le frottement) satisfaisant aux trois conditions ci-dessus.

Remarquons que le problème ainsi défini n'a pas nécessairement une solution unique. Nous verrons au contraire qu'il est susceptible d'au moins deux solutions rigoureuses bien déterminées.

Malgré les belles tentatives de *Laplace* et de *Lagrange* — qui se sont occupés d'ailleurs d'un problème légèrement différent,

[1]) Leçon inaugurale donnée à l'Ecole polytechnique le 6 juin 1936.

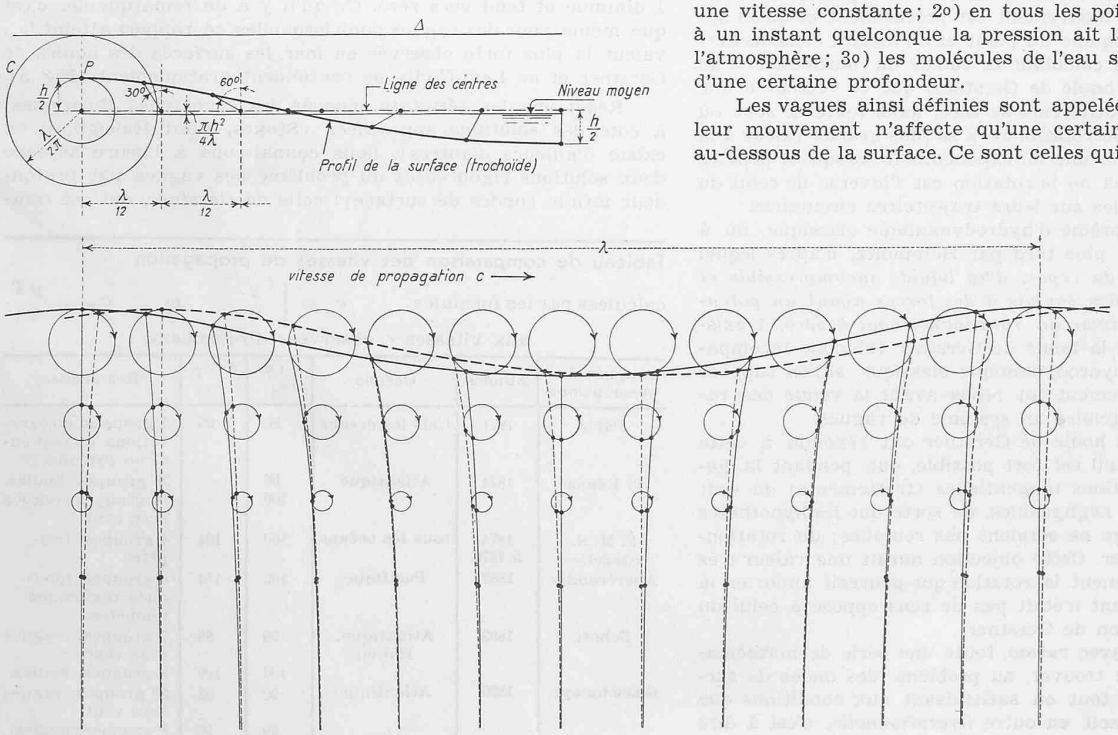


Fig. 1 et 2. Ondes de surface. Solution de Gerstner: le profil est une trochoïde, les trajectoires des particules sont des cercles, le rotationnel est différent de zéro.

celui de la propagation à la surface de l'eau d'une perturbation — ce n'est qu'au début du siècle dernier qu'une première solution, satisfaisant aux conditions énoncées, a été trouvée. Elle est due à un savant ingénieur de Prague, le chevalier *Franz von Gerstner*, qui la publia en 1802 dans les «Abhandlungen der Königl. böhmischen Gesellschaft der Wissenschaft».

D'après cette solution, la surface des vagues (ainsi d'ailleurs qu'une surface d'égale pression) est un cylindre ayant pour directrice une *trochoïde* ou *cycloïde ondulée*, c'est à dire la courbe engendrée par un point intérieur P d'un cercle dont la circonférence C roule sans glisser sur une droite horizontale Δ (Fig. 1). Les trajectoires des molécules d'eau sont des *circonférences*. Le diamètre de ces circonférences décroît, pour des points situés de plus en plus bas, selon une *loi exponentielle*, de sorte que le mouvement devient rapidement nul (Fig. 2).

La *vitesse de propagation* c (appelée parfois *célérité*) est donnée par la formule:

$$c = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

dans laquelle λ représente la *longueur d'onde* (mesurée de crête à crête ou de creux à creux).

La *période* T, qui est liée aux grandeurs c et λ par la relation

$$\lambda = cT, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

a pour valeur:

$$T = \sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

La houle de Gerstner, comme il a été reconnu par Boussinesq beaucoup plus tard, satisfait *rigoureusement* aux équations et conditions aux limites du problème, et cela quelle que soit la hauteur des vagues. C'est en mécanique l'unique exemple d'un mouvement pendulaire dont la période T ne dépende aucunement de la hauteur des oscillations. Il est intéressant de constater que la solution de Gerstner est restée totalement ignorée, jusqu'au milieu du siècle dernier, des mathématiciens anglais et français.

Stokes, dans des mémoires parus en 1846 et 1880, fit à la houle de Gerstner une critique fondamentale. Tout en reconnaissant l'exactitude de cette solution, il lui reproche de posséder un *rotationnel* différent de zéro.

Qu'est-ce que le rotationnel? On peut donner de cette grandeur trois définitions: géométrique, analytique et mécanique. Nous indiquerons cette dernière, qui est précisément due à Stokes.

Soit un liquide en mouvement. Considérons, à un instant déterminé, une petite masse de liquide entourant un point quelconque, limitée par une surface fermée, par exemple une sphère. Supposons que cette masse se solidifie brusquement — par exemple par congélation — que, simultanément le liquide l'entourant disparaisse et qu'elle ne soit soumise à partir de cet instant à aucune force d'origine extérieure. Elle prendra alors en général un mouvement bien déterminé que l'on peut toujours décomposer en une translation et une rotation. Le vecteur représentant cette seconde composante du mouvement est précisément ce qu'on appelle le *rotationnel* du liquide au point et à l'instant considérés.[2])

Stokes a montré, en calculant la valeur du rotationnel en un point quelconque de la houle de Gerstner, que ce vecteur a une valeur bien déterminée, différente de zéro, dans toute la zone où s'étend le mouvement. Le rotationnel a sa plus grande valeur à la surface, et diminue selon une loi exponentielle lorsqu'on pénètre dans le liquide. Le sens de la rotation est l'inverse de celui du mouvement des particules sur leurs trajectoires circulaires.

Or il existe un théorème d'hydrodynamique classique, dû à Lagrange, et généralisé plus tard par Helmholtz, d'après lequel *tout mouvement, parti du repos, d'un liquide incompressible et à frottements négligeables, soumis à des forces ayant un potentiel des vitesses, doit avoir un rotationnel égal à zéro*. L'existence du rotationnel de la houle de Gerstner est donc incompatible avec les lois de l'hydrodynamique classique, si l'on suppose que l'eau était primitivement au repos avant la venue des rafales de vent ayant engendré un système de vagues.

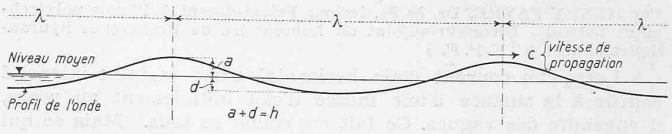
Les partisans de la houle de Gerstner ont répondu à cette critique en objectant qu'il est fort possible, que pendant la genèse des vagues, les actions tangentielles (frottements) du vent sur l'eau ne soient pas négligeables, de sorte que les hypothèses du théorème de Lagrange ne seraient pas remplies; un rotationnel pourrait donc exister. Cette objection aurait une valeur très grande, si malheureusement la rotation que pourrait apporter la force tangentielle du vent n'était pas de sens opposé à celui du rotationnel de la solution de Gerstner.

C'est pourquoi, et avec raison, toute une série de mathématiciens s'est efforcée de trouver, au problème des ondes de surface, une solution qui, tout en satisfaisant aux conditions que nous avons énoncées, soit en outre *irrotationnelle*, c'est à dire telle que le vecteur représentant la rotation soit partout et à tout instant égal à zéro. Cela revient à admettre que les vitesses dérivent d'un *potentiel*.

Le premier de ces mathématiciens fut *Stokes* lui-même, qui donna une solution approchée au problème ainsi défini. Il trouva que la vitesse de propagation est donnée par la formule:

$$c = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} \cdot \sqrt{1+\alpha^2}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

dans laquelle $\alpha = \frac{2\pi a}{\lambda}$, a étant la hauteur des crêtes au-dessus du niveau moyen (Fig. 3 ci-dessus). On voit que cette vitesse dépend de la hauteur des vagues.



La surface n'a plus pour directrice une trochoïde, mais une courbe ayant des crêtes légèrement moins arrondies. On démontre, de plus, que les trajectoires des molécules d'eau ne sont plus fermées, mais sont des courbes ouvertes (Fig. 4), accusant un léger courant d'ensemble dans le sens de propagation des ondes.

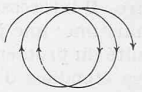


Fig. 4. Ondes de surface irrotationnelles: les trajectoires des particules ne sont pas fermées; il y a transport de liquide dans le sens de propagation des vagues.

Lord Raleigh trouva, en 1876, une autre solution du problème posé par Stokes. C'est également une solution approchée, mais le degré d'exactitude est supérieur.

Enfin récemment, en 1925, l'éminent mathématicien italien *Levi-Civita* donna, à l'aide de la théorie des fonctions d'une variable complexe, la solution *rigoureuse* du problème de la houle irrotationnelle, dans un célèbre mémoire paru en français dans les «Mathematische Annalen». La surface qu'il obtient diffère extrêmement peu de celles des solutions de Stokes et de Lord Raleigh, et la vitesse de propagation est donnée par la série suivante, dont M. Levi-Civita a démontré la convergence pour de petites valeurs du nombre $\alpha = \frac{2\pi a}{\lambda}$:

$$c = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} \cdot \sqrt{1+\alpha^2-\alpha^3+\frac{7}{4}\alpha^4-\frac{49}{12}\alpha^5+\ldots} \quad (5)$$

Dans les solutions de Lord Raleigh et de Levi-Civita les trajectoires, comme dans celle de Stokes, ne sont pas fermées. La vitesse de propagation dépend de la hauteur des vagues.

Il est facile d'établir que toutes les solutions indiquées, y compris celle de Gerstner, tendent à se confondre lorsque le rapport de la hauteur totale des vagues $h = a + d$ à leur longueur λ diminue et tend vers zéro. Ce qu'il y a de remarquable, c'est que même pour des vagues pour lesquelles ce rapport atteint $^1/_{10}$, valeur la plus forte observée en mer, les surfaces des houles de Gerstner et de Levi-Civita se confondent pratiquement (Fig. 5).

Résumons les résultats énoncés des recherches théoriques: à côté des solutions approchées (Stokes, Lord Raleigh, il en existe d'ailleurs d'autres), nous connaissons à l'heure actuelle deux solutions rigoureuses du problème des vagues par profondeur infinie (ondes de surface): celle de *Gerstner*, qui est *rota-*

Tableau de comparaison des vitesses de propagation

calculées par les formules $c_\lambda = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$ et $c_T = \frac{gT}{2\pi}$ aux vitesses c observées directement.

Auteurs des observations	Années	Océans	$c : c_\lambda$ %	$c : c_T$ %	Remarques
Pâris	1871	tous les océans	96	96	5 groupes d'observations, en tout environ 4000 observ.
de Bénazé	1874	Atlantique	96	—	25 groupes, houles.
			109	—	14 groupes, vagues avec vent
S. M. S. «Gazelle»	1874 à 1876	tous les océans	100	101	4 groupes, tempêtes.
Abercromby	1888	Pacifique	106	114	6 groupes, quelques vagues par tempêtes.
Schott	1893	Atlantique, Indien	99	99	7 groupes, vagues avec vent.
			104	109	8 groupes, houles.
Gassenmayr	1896	Atlantique	90	83	20 groupes, vagues avec vent.
			99	96	8 groupes, houles.
Moyenne			100	100	

[2]) On désigne aussi ce vecteur sous l'un ou l'autre des noms suivants: tourbillon, curl, rotation.

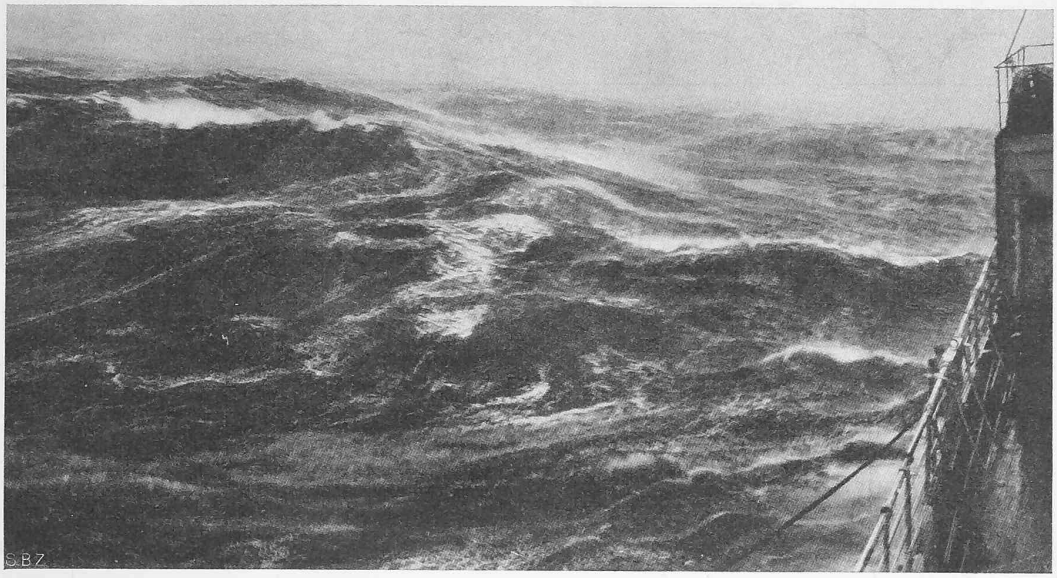


Fig. 6. Vagues de tempête. Photographie prise à bord du «Westfalia» de la «Hamburg-Amerika-Linie» sur l'Océan Atlantique.

tionnelle, dans laquelle les *trajectoires des molécules sont fermées*, et la vitesse de propagation indépendante de la hauteur des ondes, et celle de *Levi-Civita* qui est *irrotationnelle, à trajectoires ouvertes*, et dans laquelle la célérité dépend de la hauteur des vagues.

Passons maintenant aux *recherches expérimentales sur les vagues*. Les bonnes études sont peu nombreuses. En voici la raison. Le phénomène des ondes étant de régime non-permanent, il est très difficile de mesurer les différentes grandeurs caractérisant le mouvement (trajectoires et vitesses des molécules, profil de la surface de l'eau, etc.). L'absence de système fixe de référence complique encore énormément la technique des mesures, les vagues par grande profondeur ne pouvant être observées qu'à bord de bateaux qui oscillent continuellement. Aussi les résultats d'observations quantitatives sont-ils rares. Comme nous le verrons ils n'ont pas, à l'heure actuelle, permis de reconnaître si les vagues sont conformes à la théorie de Gerstner ou à celle de Levi-Civita. Cela est également dû au fait que pour les hauteurs de vagues que l'on rencontre habituellement, les perturbations qu'accuse le phénomène naturel sont d'un ordre bien supérieur aux différences entre les deux théories en présence. Il ne faut en effet pas oublier que la surface de l'eau n'a jamais la régularité que lui suppose la théorie. La Fig. 6, qui se rapporte à des vagues de haute mer, montre combien on est loin de l'hypothèse d'une surface ondulée cylindrique![3])

Les grandeurs qu'il est le plus facile de mesurer depuis un bateau sont: la longueur d'onde λ, la hauteur h, la période T et la vitesse de propagation c. Comme, pour les vagues rencontrées en mer, le rapport $\frac{h}{\lambda}$ dépasse rarement $^1/_{20}$, les formules (1), (4) et (5) donnent à 1 % près le même résultat. Ayant mesuré λ et T, on peut donc calculer, en ne s'occupant que du terme principal $\sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$ des formules en question, les vitesses correspondantes de propagation c_λ et c_T par les relations:

$$c_\lambda = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}},$$

$$c_T = \frac{gT}{2\pi},$$

et comparer la vitesse c mesurée directement aux valeurs ainsi indirectement obtenues. On obtient de cette façon un contrôle des formules établies, sans toutefois pouvoir discerner laquelle correspond le mieux à la réalité. Le tableau de la page 2, dans lequel sont résumées les observations de nombreuses croisières, montre que les rapports $\frac{c}{c_\lambda}$ et $\frac{c}{c_T}$ sont voisins de 1. La moyenne de ces rapports est même égale à l'unité (100 %).

Le *profil de la surface* des vagues est beaucoup plus difficile à repérer, et jusqu'à la fin du siècle dernier, on ne possédait aucun renseignement précis à ce sujet. L'application de la *photogrammétrie* — cette méthode de mesure qui rend d'immenses services à la topographie et à tant d'autres domaines de la science, et que M. le professeur Zeller enseigne à l'Ecole Polytechnique avec distinction — a permis d'obtenir avec toute la précision voulue le profil instantané des vagues. La Fig. 7 reproduit en traits continus, d'après *Kohlschütter*, quelques-uns des résultats obtenus au cours de la croisière du bateau allemand «Planet», en 1906/07. La comparaison de ces profils aux trochoïdes correspondantes passant par les sommets des «crêtes» et les points les plus bas des «creux» (traits interrompus) montre que les vagues réelles ont des crêtes moins arrondies que celles de la houle de Gerstner. Comme le profil de la solution de Levi-Civita se confond pratiquement avec la trochoïde pour les vagues envisagées, il semble que le mouvement réel diffère systématiquement des résultats des deux théories rigoureuses en présence. On peut alors se demander si cette différence est due soit à l'action du vent qui crée nécessairement à la surface des inégalités de pression et des actions tangentielles que néglige le calcul, soit à l'existence d'une *troisième* solution théorique qui correspondrait précisément aux vagues que l'on rencontre au large.

On a cherché à remédier à la difficulté d'observation des vagues en mer, en les reproduisant à échelle réduite dans les laboratoires[4]). Les vagues sont alors engendrées soit par un vent artificiel, soit par un moyen mécanique quelconque, par

[3]) Les figures 6, 7 et 10, ainsi que le tableau page 2, sont tirées de l'ouvrage de *Thorade:* «Probleme der Wasserwellen», Hambourg 1931, Henri Grand.

[4]) La similitude, dictée ici par la pesanteur, est régie par la loi de Froude. Il est nécessaire que les vagues aient au moins une vingtaine de centimètres de longueur pour éviter une influence sensible de la tension superficielle.

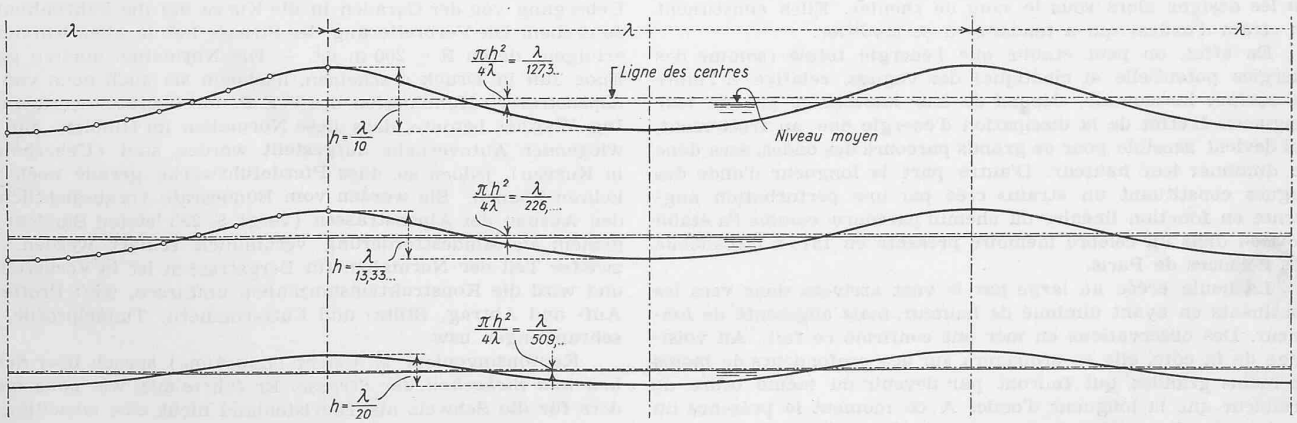


Fig. 5. Ondes de surface: comparaison des profils des solutions de Gerstner et de Levi-Civita.
——— Profils de la surface d'après Gerstner (trochoïdes). o o o Profils de la surface d'après Levi-Civita.

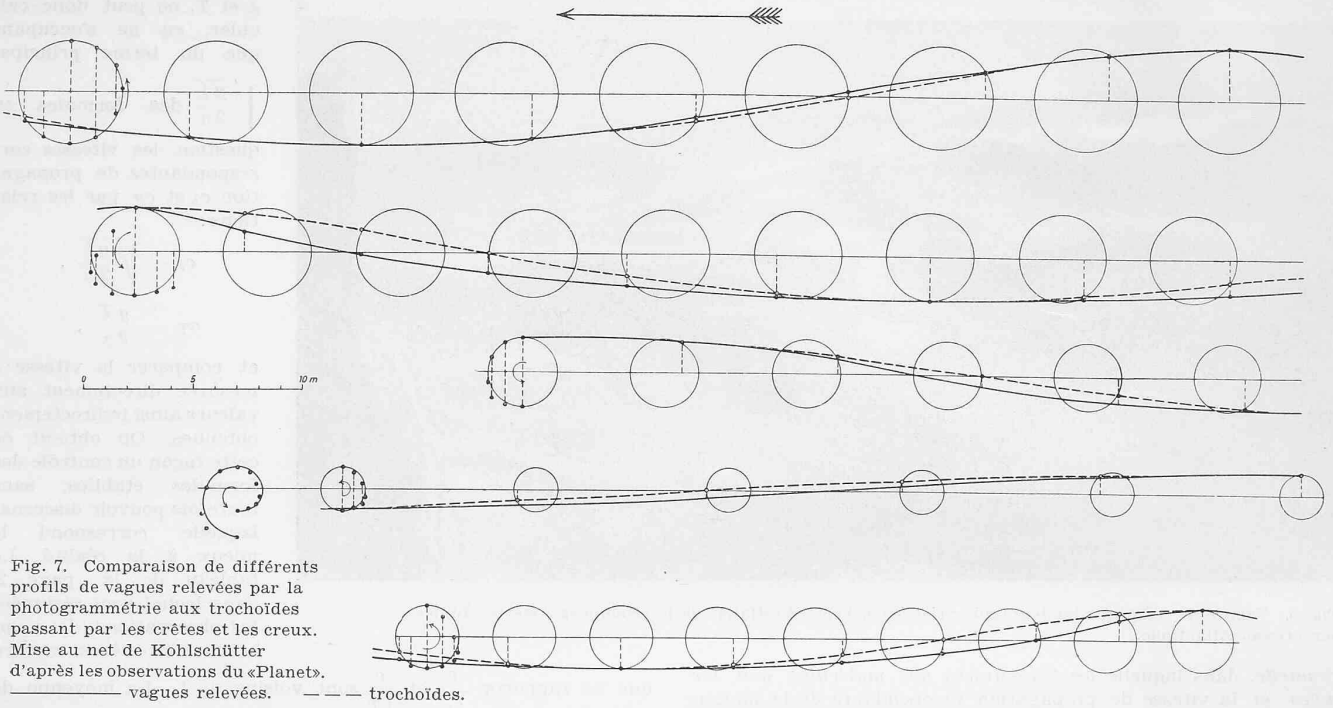


Fig. 7. Comparaison de différents profils de vagues relevées par la photogrammétrie aux trochoïdes passant par les crêtes et les creux. Mise au net de Kohlschütter d'après les observations du «Planet». ———— vagues relevées. — — — trochoïdes.

exemple par l'oscillation d'une palette autour d'un axe horizontal. Les vitesses de propagation et le profil de la surface correspondent assez bien aux résultats de la théorie. La Fig. 8, qui se rapporte à des expériences faites sous la direction du Prof. Dr. Meyer-Peter au Laboratoire de recherches hydrauliques de Zurich, montre le profil de vagues de 43 cm de longueur et de 3,98 cm de hauteur (trait continu), engendrées par une palette. La trochoïde passant approximativement par les crêtes et les creux est indiquée en trait interrompu. La correspondance des deux courbes est incontestablement meilleure que celle des profils observés et calculés de la Fig. 7.

Cette comparaison, avec la théorie, des résultats d'observations en mer et dans un laboratoire semble indiquer que c'est à la présence du vent que l'on doit la différence systématique entre les vagues observées dans la nature et celles données par la théorie (trochoïde). Si l'on construit pour les vagues de la Fig. 8 le profil donné par la solution de Levi-Civita, la courbe obtenue se confond pratiquement avec la trochoïde. Il n'est donc toujours pas possible de reconnaître laquelle des deux théories correspond à la réalité!

Il faut souhaiter — comme nous l'écrivait récemment M. Barrillon, directeur du Bassin d'essai des carènes du Ministère de la Marine française — que la question des vagues fasse l'objet d'études systématiques de laboratoire, les quelques recherches isolées, analogues à celle du Laboratoire de Zurich dont nous venons de parler, permettant difficilement de déduire des conclusions générales.

3. Ce que deviennent les vagues en se propageant au-delà de la zone où elles ont pris naissance.

Les vagues créées en pleine mer par l'action du vent se propagent en général au-delà de la zone où elles ont été engendrées. On les désigne alors sous le nom de «houle». Elles constituent un «train d'ondes» qui a tendance à se modifier.

En effet, on peut établir que l'énergie totale (somme des énergies potentielle et cinétique) des vagues, relative à l'unité de surface horizontale, dépend de leur hauteur et pas de leur longueur. L'effet de la dissipation d'énergie due au frottement, qui devient sensible pour de grands parcours des ondes, sera donc de diminuer leur hauteur. D'autre part la longueur d'onde des vagues constituant un «train» créé par une perturbation augmente en fonction linéaire du chemin parcouru, comme l'a établi *Poisson* dans un célèbre mémoire présenté en 1815 à l'Académie des Sciences de Paris.

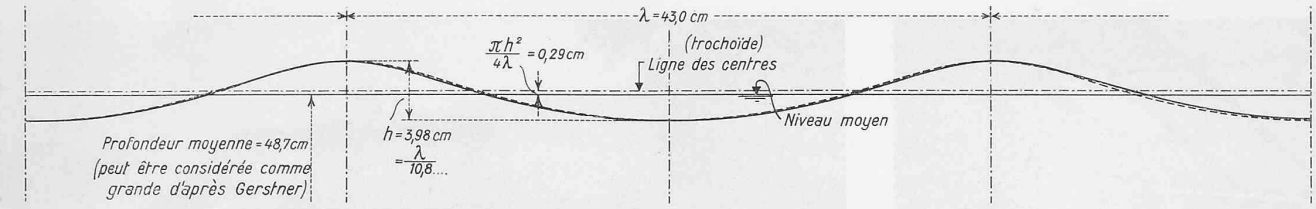
La houle créée au large par le vent arrivera donc vers les continents en ayant diminué de hauteur, mais augmenté de longueur. Des observations en mer ont confirmé ce fait. Au voisinage de la côte, elle se propagera sur des profondeurs de moins en moins grandes, qui finiront par devenir du même ordre de grandeur que la longueur d'onde. A ce moment la présence du fond tendra à modifier le mouvement. Nous allons donc examiner cette nouvelle question. (à suivre)

Aktuelle Schweizerische Strassenfragen.

Am 13. und 14. Juni hat die Vereinigung Schweizerischer Strassenfachmänner in Lausanne ihre Hauptversammlung abgehalten, die einen äusserst angeregten Verlauf genommen hat, dank der Gastfreundschaft der Stadt Lausanne und des Kantons Waadt, dank auch der gewandten Organisaiion der Tagung durch einige Berufskollegen mit Kantonsingenieur M. Perret an der Spitze.

Kreisoberingenieur R. Walther (Spiez) erläuterte den im Entwurf vorliegenden ersten Teil der *Normalien für Bergstrassen*. Die Strassenbreiten zwischen Brüstungen gemessen, also einschliesslich Strassenschalen, sind zu 6,00 m, 5,20 m und 4,20 m festgesetzt für bezw. Hauptstrassen, wichtige Strassen und Nebenstrassen, was für die beiden letzten Kategorien unter Umständen Ausweichstellen bedingt. Das zulässige Längsgefälle beträgt in Geraden bei Haupt- und wichtigen Strassen 8 %, ausnahmsweise auf kürzere Strecken 10 %, während bei Nebenstrassen bis 10 % bezw. 12 % gegangen werden darf. Als Minimalradien sind für Hauptstrassen 30 m, für Nebenstrassen 20 m gewählt worden, ausgenommen die Wendeplatten, bei denen der Radius des äussern Strassenrandes 12 m bezw. 10 m nicht unterschreiten soll. Konvexe Gefällsbrüche, also Kuppen, werden derart ausgerundet, dass die Sichtweite möglichst die Länge des zweifachen Bremsweges, vermehrt um den doppelten Weg in der Schrecksekunde, nicht unterschreitet. Mit ganz besonderer Sorgfalt sind in den Normalien die Kurven und Wendeplatten durch zahlreiche Figuren und Tabellen dargestellt worden. Das normale dachförmige Quergefälle gerader Strassenstrecken von $1^1/_2$ bis 4 %, je nach Strassengefälle und Rauhigkeitsgrad der Fahrbahndecke, geht in Kurven in ein einseitiges Gefälle über, das sich von 3 % für $R = 1000$ m steigert bis auf 8,5 % für $R = 30$ m, vorwiegender Autoverkehr vorausgesetzt. Dabei ist das Quergefälle beim Uebergang von der Geraden in die Kurve um die Fahrbahnmitte zu drehen. Die Verbreiterung der Strasse hat in allen Kurven zu erfolgen, deren $R \leq 200$ m ist. — Die Normalien dürften gegen Ende Juli im Druck erscheinen, nachdem sie auch noch von der Alpenstrassen-Kommission des V. S. S. durchberaten worden sind. Ing. Walther betonte, dass diese Normalien im Hinblick auf vorwiegenden Autoverkehr aufgestellt worden sind (Ueberhöhung in Kurven), jedoch so, dass Pferdefuhrwerke gerade noch verkehren können. Sie werden vom Bundesrate voraussichtlich für den Ausbau der Alpenstrassen (vergl. S. 295 letzten Bandes) allgemein als Mindestforderung verbindlich erklärt werden. Ein zweiter Teil der Normalien für Bergstrassen ist in Vorbereitung und wird die Konstruktionsnormalien umfassen, wie: Profile im Auf- und Abtrag, Stütz- und Futtermauern, Tunnelprofile, Abschrankungen usw.

Kantonsingenieur M. Perret (Lausanne) sprach über *Schönheit und Sicherheit der Strasse*. Er führte aus, wie ganz besonders für die Schweiz als Touristenland nicht eine einseitige Berücksichtigung der Verkehrssicherheit oder anderer Gesichtspunkte zu einer Verschandelung der von der Strasse durchfahrenen



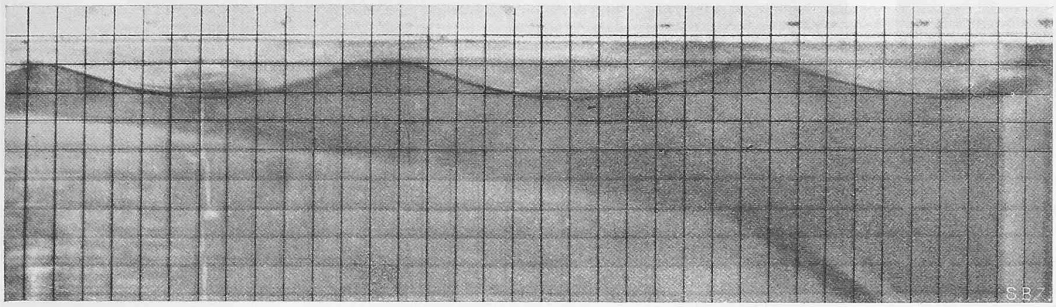


Fig. 8. En bas: photographie d'un profil de vagues (expériences du Laboratoire de Zurich).
En haut: reproduction par le dessin du même profil (trait continu), et trochoïde passant approximativement par un creux et les deux crêtes voisines (trait interrompu).

Landschaft und damit auch der Strasse selbst führen dürfe. Er erwähnte dabei u. a. die vielfach angefochtenen Baumalleen längs der Strasse, die, bei richtiger Anlage, kein wesentliches Gefahrenmoment bilden. Umgekehrt hat die vernünftige Berücksichtigung der Forderung nach Verkehrssicherheit meist auch eine Verschönerung der Strasse zur Folge (helle Strassenbeläge, Vermeidung voller Brüstungen, Regelung oder Unterdrückung der Reklametafeln). Willkürlich gebaute Tankstellen und Reparaturwerkstätten beeinträchtigen durch ihre vielfach unzweckmässige und hässliche Anlage die Schönheit der Strasse oft ebenso sehr wie deren Sicherheit.

Oberbauinspektor A. von Steiger (Bern) nahm in einem humorvollen Votum Stellung zum *Ausbau der Alpenstrassen* (vergl. S. 295 letzter Nr.). Er streifte die Schwierigkeiten, die sich einem einheitlichen, zweckmässigen und vor allem raschen Vorgehen in unserer föderalistischen Schweiz, dem Land der vielen Sonderinteressen, entgegenstellen. Dann wies er darauf hin, dass die Ansprüche an eine Alpenstrasse heute unvergleichlich viel grösser sind, als in früheren Zeiten, und erinnerte an die Ursachen der schon von jeher nicht selten entstandenen, gewaltigen Kostenüberschreitungen beim Strassenbau in stark zerrissenem Gelände. Diese Kostenüberschreitungen sind oft eine Folge zu knapper Projektierung ohne ausreichende Berücksichtigung der Bodenbeschaffenheit. Er zeigte aber auch Richtlinien zu fruchtbringenden rationellen Arbeiten: bestmögliche Anpassung der Strasse an das Gelände ohne übermässige schematische Geradelegung, einfaches, zweckmässiges Bauen, Entlastung der Strasse durch gute Markierung und etwelchen Unterhalt bestehender Saumpfade und Fusswege, in einzelnen Fällen, z. B. bei der Axenstrasse, event. die Schaffung zweier Einbahnstrassen. Im übrigen hofft er, dass nun nicht mehr kostbare Zeit mit Programmberatungen verloren gehe und dass der Strassenbauer nie vergessen werde, wie insbesondere Alpenstrassen auch heute noch stets dem Auto *und* dem Fussgänger zu dienen haben.

Ing. H. Hertig wies in kurzen Worten auf die Ergebnisse der Umfrage 1936 über *Pflästerungen* und Pflastersteinproduktion hin, deren Ergebnisse im Vereinsorgan erscheinen werden. Die Produktion an Pflastersteinen ist 1935 um 35 % gegenüber 1930 zurückgegangen, trotz starker Abnahme der Einfuhr. Im laufenden Jahre werden vermutlich 93 % des Pflastersteinbedarfs durch das Inland gedeckt werden. Die Menge der im Jahre 1935 hergestellten Pflastersteine entspricht 40 % der Produktionsmöglichkeit; dabei stehen die Verkaufspreise rund 20 % unter denen des Jahres 1930. Wenn die einheimische Pflastersteinindustrie durchgehalten werden soll, muss unverzüglich eingeschritten werden.

Gleichzeitig mit den erwähnten Vorträgen wurden im Kreise der Vertreter des städtischen Tiefbauwesens Fragen des passiven *Luftschutzes* besprochen; Referenten waren Ing. G. Semisch (Eidg. Luftamt), Stadting. B. Im Hof (Schaffhausen) und Ing, L. Archinard (Genf). Die Unternehmer-Gruppe schliesslich pflegte eine Aussprache über ihre Fachfragen, unter denen jene der *Bitumenkontingentierung*, behandelt von Ing. E. Studer, Präsident der VESTRA, das grösste Interesse beanspruchte. Weiter diskutierte man die Arbeitsbeschaffungspolitik, die nach der Devise «Arbeit statt Unterstützung» umfassender sein sollte und u. a. durch Uebertragung der Unterhaltarbeiten der Alpenstrassen an private Unternehmer betätigt werden könnte.

Der Samstag Nachmittag war der abwechslungsreichen «Tour du Haut-Lac» gewidmet, die dank dem prachtvollen Wetter zu einem einzigartigen Genuss wurde. Dabei sei nicht verschwiegen, dass die von den Gastgebern verschwenderisch gespendeten Produkte der waadtländischen Rebberge viel zur weitern Ausschmückung der Seefahrt beigetragen haben. Eine grosse Zahl von Strassenfachmännern besichtigte noch die seit 1928 abschnittweise ausgebaute Strasse Lausanne-Vevey. Die bereits ausgeführten mustergültigen Strassenkorrektionen, die die schmale Strasse mit zahlreichen engen Kurven breit und übersichtlich machten und durch die fünf Niveauübergänge unterdrückt werden konnten, fand einhellige Anerkennung. Besonders beachtet wurden die fast ausschliesslich in Mauerwerk ausgeführten Stütz- und Futtermauern und die gute Markierung der Fahrbahnstreifen durch das neuartige Signophalt, einen weissen Kunstasphalt. — Der Abend vereinigte Gäste und Gastgeber zu einer bis in die frühe Morgenstunde ausgedehnten, unter dem Zeichen der fröhlichen Freundschaft stehenden Abendunterhaltung im Stadtkasino Montbenon.

Am Sonntag Vormittag fand in der Aula des Palais de Rumine die Hauptversammlung statt. Unter dem Vorsitz von Kantonsingenieur A. Schläpfer (Herisau) waren die Verbandsgeschäfte rasch erledigt. Der Vorstand des V.S.S. wurde ergänzt durch Ing. R. Pesson (Genf), Kantonsingenieur A. Rossier (Freiburg), Kantonsoberingenieur A. v. Steiger (Bern), Stadtrat Ing. E. Stirnemann (Zürich), Kreisingenieur C. J. Georgi (Zürich) und Aufseher J. Grivaz (Aigle). Der derzeitige verdienstvolle Präsident wurde unter anhaltendem Beifall für eine neue Amtsdauer bestätigt. Als Ort der nächsten Hauptversammlung beliebte Kreuzlingen.

Hieran schloss sich ein Vortrag von Arch. E. Virieux, Chef des Bebauungsplanbureau Lausanne, über *Strasse und Stadt*, der in einem kurzen geschichtlichen Ueberblick die stets enge Verbundenheit der Städte mit den Verkehrswegen beleuchtete und die Wandlung der Regeln erörterte, nach denen die Strasse als Verbindung von Ortschaften angelegt wurde: die zeitgemässe Autostrasse führt nicht mehr durch die Stadt hindurch, sondern diese wird mit einer kurzen Stichstrasse an die Ueberlandstrasse angeschlossen. Dadurch vermeidet man ohne weiteres die Schwierigkeiten, die sich aus der Durchleitung des modernen Automobilverkehrs durch bestehende Städte ergeben. Als Beispiel besprach Arch. Virieux sehr anschaulich die Verhältnisse der Stadt Lausanne.

Als letzter Referent sprach Ing. R. Endtner (Bern) über das *Postautomobil auf den Alpenstrassen* im Sommer und im Winter. Einleitend erinnerte der Chef der Automobilabteilung bei der Generaldirektion PTT an das überaus erspriessliche Zusammenarbeiten seiner Abteilung mit der V.S.S., nahm Stellung zu den oft kritisierten Vorrechten der Postautomobile auf Alpenstrassen, von denen nunmehr zufolge eines neuesten Bundsratsbeschlusses das meist beanstandete, das Bergseits-Ausweichen, mit dem 15. Juni dahinfiel (einige wenige ganz besonders gefährdete Bergstrecken im Tessin, Wallis und in Graubünden noch ausgenommen). Dann zeigte der Vortragende in einer aufschlussreichen Film- und Bilderserie die Entwicklung des Postautomobils, des Schneepflugs und der Schneeschleudermaschine. — Ein Bankett im Hotel Beau-Rivage in Ouchy beschloss die Tagung.

Kurt Waldburger, Dipl.-Ing.