LE COIN DU LABORATOIRE

Enregistrement graphique du profil d'une houle produite en laboratoire

English text, p. 415.

But de l'appareil : enregistrement graphique du profil d'une houle obtenue en laboratoire. — Principe : sur un cylindre enregistreur, mécaniquement asservi au générateur de houle et effectuant rigoureusement un tour par période, un stylet inscripteur animé d'un mouvement uniforme le long d'une génératrice note, par détection et impression électriques, les périodes d'immersion et d'émersion d'une pointe parcourant elle-même une verticale à vitesse constante. — Les avantages, la précision de l'appareil; ses possibilités.

Object of instrument : graphical recording of a laboratory-produced wave profile.

Principle : a scribing stylet, which is actuated by a uniform movement over the length of a cylinder, records, by electrical detection and impression on the cylinder (mechanically keyed to the wave machine at a rate of one revolution per period) the periods of immersion and emersion of a point-gauge, which, itself moves along a vertical line at constant speed—Advantages, accuracy and scope of the instrument.

I. — PRINCIPE DE L'APPAREIL

L'appareil que nous avons construit reproduit, à une échelle qui peut être, à volonté, de 1 ou 4 pour les cotes et qui varie autour de 1/2 pour les abscisses, le profil d'une houle obtenue dans un canal.

La houle dont l'appareil trace le profil doit être d'une périodicité rigoureuse dans le temps comme dans l'espace. Si T est la période et λ la

longueur d'onde, la cote de la surface libre est une fonction périodique du temps t et de l'abscisse x par l'intermédiaire de la variable sans dimension $(t/T) - (x/\lambda)$, la période de cette variable étant l'unité.

Il est courant d'utiliser cette symétrie des variables temps et espace pour l'étude de la houle; c'est ainsi qu'on remplace l'exploration instantanée du profil — ou au moins d'une longueur d'onde — par l'exploration en un seul

point poursuivie au cours du temps — ou au moins d'une période. Cette méthode nécessite la connaissance à chaque instant de la cote de la surface libre, c'est-à-dire, par exemple, l'inscription sur l'appareil de mesure d'une grandeur proportionnelle à la profondeur d'immersion d'une pointe.

Le dispositif que nous avons réalisé utilise, non pas une seule période, mais un grand nombre de périodes, ce qui nous permet de remplacer l'inscription de la profondeur d'immersion de la pointe à un instant déterminé par celle de la durée d'immersion de cette pointe à une cote déterminée. L'avantage de ce procédé est que l'inscription se fait par « tout ou rien » ; l'immersion de la pointe fermant un circuit électrique, son émergence le coupant. Il suffit donc de déceler le passage d'un courant électrique et non pas de le mesurer. La seule inertie dont on puisse envisager l'action se caractérise par la constante de temps du circuit ; celle-ci est trop petite pour intervenir sur la précision de nos mesures.

FIG. 1. — Schéma de principe de l'appareil.

Diagram showing basic principles of the apparatus.

Considérons (fig. 1) une pointe métallique P calée à une cote fixe ; son immersion ferme un circuit électrique, alimenté par un générateur basse fréquence G à 5.000 Hz, et qui comprend, après traversée d'un amplificateur A, un stylet inscripteur S en contact avec un cylindre enregistreur C relié électriquement à l'eau du canal à houle. Le cylindre est recouvert de papier conducteur à couche superficielle sensible « Télédeltos » ; il est, d'autre part, calé sur l'axe du volant V qui entraîne le batteur B, de sorte qu'il exécute un tour par période.

Si l'extrémité de la pointe est à une cote supérieure à celle des crêtes de la houle, on n'a aucune inscription ; si elle est à une cote inférieure à celle d'un creux, on a un trait continu ; mais si elle est à une cote intermédiaire entre celle des crêtes et celle des creux, on inscrira seulement sur le cylindre une portion de cercle qui, après développement du papier sur un plan, donnera un segment de droite. On aura des rapports égaux entre la longueur de ce segment et

celle de la circonférence, d'une part, la durée d'immersion et la période de la houle, d'autre part, et aussi, par suite du rôle symétrique joué par les variables temps et espace, la largeur de la houle à la cote de l'extrémité de la pointe et la longueur d'onde.

Supposons maintenant que la pointe et le stylet soient montés sur des chariots que nous puissions animer de mouvements lents et uniformes, la première de haut en bas (fig. 2), le second

FIG. 2. — La pointe exploratrice montée sur les trois chariots permettant les déplacements suivant trois directions rectangulaires.

Scanning point fitted on 3 mobile mountings allowing movement in one vertical and two horizontal directions.

horizontalement le long d'une génératrice du cylindre enregistreur (fig. 3). A chaque période se produira le phénomène précédemment décrit, à cela près que les arcs de cercle seront remplacés par des arcs d'hélice de pas très faible. Après développement du papier, tous ces arcs donneront des traits parallèles très légèrement incli-

FIG. 3. — Le cylindre enregistreur calé sur l'axe du volant et le stylet inscripteur monté sur son chariot.

The recording cylinder keyed to the flywheel spindle and the scribing style fitted to its mounting.

FIG. 4. — Reproduction de trois enregistrements obtenus à des distances voisines d'une longueur d'onde.

Reproduction of three recordings taken at intervals of one wave length.

FIG. 5. — Une partie de l'enregistrement précédent reproduit en grandeur naturelle.

Full-scale reproduction of sections from two recordings shown in fig. 4.

nés sur le développement d'une section droite du cylindre. Ces hachures fines et régulières donneront l'image d'une section de la masse de l'eau par un plan vertical parallèle à la direction de propagation (fig. 4 et 5). La courbe qui limitera ces hachures représentera le profil de la houle; si h mm est le pas de la vis d'entraînement du stylet et n tours par seconde, sa vitesse, l'espacement des traits sera $n.h.T$ mm.

En fait, les cotes seront représentées en vraie grandeur si les vitesses des déplacements de la pointe et du stylet sont égales. Elles seront reproduites à échelle 2, 3 ou 4 si la vitesse de la pointe est 2, 3 ou 4 fois plus faible que celle du stylet.

Par contre, la longueur d'onde, quelle que soit sa valeur, est toujours représentée par la circonférence du cylindre. Cette particularité peut être utile pour la comparaison des profils de deux houles de longueurs d'ondes différentes,

qui sont ramenées à une même longueur d'onde apparente, mais elle nécessite la détermination précise de la longueur d'onde.

II. — MESURE DE LA LONGUEUR D'ONDE.

Une modification des conditions d'emploi de l'appareil permet de faire cette détermination avec une très grande précision. On laisse la pointe à une cote fixe et on enregistre ainsi les durées d'immersion localisées dans les périodes successives. Déplaçant alors la pointe parallèlement à la direction de propagation d'une longueur connue d , sans modifier sa cote, on enregistre les nouvelles durées d'immersion localisées, elles aussi, dans les périodes.

Si les origines et les extrémités des enregistrements sont respectivement sur les mêmes génératrices du cylindre, les immersions aux points différents ont lieu en phase et le déplacement de la pointe est égal à un nombre entier de longueurs d'ondes; si l'origine — ou l'extrémité — de l'enregistrement de la pointe dans la position la plus éloignée du batteur est en retard de δ mm sur celle de l'enregistrement obtenu pour la position rapprochée, le rapport de δ à la longueur de la circonférence C est égal, à un nombre entier près k , au rapport d/λ :

$$\frac{d}{\lambda} = \frac{\delta}{C} + k$$

En général il suffira de prendre $k = 1$, mais si l'on veut un résultat plus précis, on pourra, une fois calculée cette première valeur de λ , éloigner la pointe d'une valeur voisine d'un nombre entier connu k de longueurs d'ondes et faire sur cette base une mesure k fois plus précise de λ .

Pour cette opération, il sera intéressant de placer l'extrémité de la pointe à une cote pour laquelle la pente de la surface libre est maximum; il semble qu'on ait ainsi une précision supérieure à la méthode habituelle qui consiste à noter l'instant du passage d'une crête, c'est-à-dire celui pour lequel la fonction z du temps passe par un maximum.

On peut avoir des difficultés pour maintenir la pointe à une cote rigoureusement fixe en passant de l'une des positions à l'autre, les rails sur lesquels se déplace le chariot pouvant ne pas être absolument horizontaux. Si ce défaut n'est pas trop accentué, on aura une correction suffisante en prenant la moyenne entre le décalage des immersions et celui des émerSIONS. Un moyen plus sûr et plus simple, si l'on ne dispose pas de chariot, consiste à placer deux pointes à une distance voisine de une ou plusieurs longueurs d'onde, à les régler à l'affleurement de la sur-

face de l'eau immobile, puis à mettre le batteur en mouvement et à brancher successivement les deux pointes dans le circuit électrique.

La précision obtenue sur λ est de 1 mm pour des longueurs d'onde de l'ordre du mètre, ceci lorsqu'on opère sur une base de 1 mètre.

III. — CHOIX DE LA POINTE EXPLORATRICE.

Nous avons été gênés par la goutte qui se rassemble à l'extrémité de la pointe après l'émerSION. Celle-ci est, en effet, assez rapide pour qu'une gaine liquide reste autour de la tige et se rassemble à son extrémité intérieure; il en résulte qu'à l'arrivée de la vague suivante le contact est en avance, comme si la pointe était à une cote plus basse; la rupture à l'émerSION est aussi légèrement en retard, mais le phénomène est moins important, sans doute. Nous avons essayé de faire disparaître cet inconvénient en prenant une pointe inversée, convenablement isolée jusqu'à son extrémité qui, seule, sortait de l'isolant. Après de nombreux essais, nous avons reconnu que les enregistrements obtenus, bien que fidèles, manquaient de netteté au début et à la fin, par suite de la conductibilité de la pellicule d'eau recouvrant l'isolant.

Finalement, nous avons obtenu des enregistrements fidèles et nets en utilisant une pointe d'acier constituée par un rayon de roue de bicyclette taillé en pointe. L'expérience a montré qu'il ne restait pas d'eau sur sa surface à l'émerSION.

Notons enfin que, pour diminuer les phénomènes de polarisation, nous avons attaqué la pointe sous une tension de l'ordre de quelques volts. Le courant était ensuite reçu par un amplificateur qui permettait un enregistrement net.

IV. — QUALITÉS DE L'APPAREIL.

L'espacement des traits étant de l'ordre du millimètre, l'appréciation de la longueur du dernier trait enregistré permet de se faire une idée de la position de la crête ou du creux par rapport à ce trait, mais on ne saurait espérer obtenir que le quart du millimètre pour la mesure de la double amplitude, c'est ce que donnent à peu près les pointes à observation visuelle ou à œil cathodique.

Par contre, l'appareil se révèle d'une très grande sensibilité quant à l'observation de l'instant de l'immersion ou de l'émerSION, c'est-à-dire la phase du mouvement; cette propriété tient à la grande vitesse du déroulement de l'enregistreur. Une période, généralement inférieure

à 1 seconde, est représentée par 500 mm d'enregistrement.

Aussi l'appareil est-il impitoyable pour toutes les imperfections du canal : défaut d'horizontalité du fond et de la houle produite. Sans entrer dans le détail de toutes les recherches suggérées par l'examen d'un enregistrement, qui sont en cours et qui feront l'objet de publications ultérieures, nous pouvons indiquer qu'un défaut de 0,4 mm dans le nivellement d'un rail se traduit par un allongement supérieur à 1 cm du trait d'inscription à une cote convenable.

D'autre part, si l'analogie entre les variables temps et espace permet de considérer nos enregistrements comme des profils d'une houle régu-

lière et leur donne un aspect sensible qui frappe l'esprit, l'étude des phénomènes plus complexes est certainement plus importante encore. C'est ainsi que notre appareil se prête à l'étude du clapotis et que nous avons pu mettre en évidence, dans une houle, la présence d'un sous-harmonique de période $2T$.

Enfin l'appareil se recommande par sa grande simplicité mécanique aussi bien qu'électrique et, par suite, par un prix de revient minime.

L. SANTON et C. MARCOU,
Laboratoire d'Hydraulique
de l'E.N.S. Electrotechnique
et Hydraulique de Grenoble.

LABORATORY PRACTICE

Graphical recording of the profile of a wave produced in a laboratory

Texte français, p. 411.

I. PRINCIPLE OF THE APPARATUS.

The apparatus we have constructed reproduces — at a scale which can be either 1 or 4 for the heights (ordinates) and which varies around 1/2 in the case of the abscissae — the section of a wave produced in a channel.

The wave, the profile of which is traced by the apparatus, must have an exact periodicity in time and in space. If T is the time factor and λ the wave length, the height (ordinate) of the free surface is a periodic function of the time t and abscissae x in relation to the dimensionless variable $(t/T) - (x/\lambda)$, the period of this variable being one.

It is normal to use the symmetry of the time and space variables in wave study; it is thus that instantaneous scanning of the section — or at least of one wave length — is replaced by scanning at one particular point over a length of time — or at least over one period. This method calls for constant knowledge of the height (ordinate) of the free surface, i.e., for example, the recording on the

measuring instrument of a quantity proportionate to the depth of immersion of a point.

The device we have constructed uses not one single period but a large number of periods, enabling us to replace the recording of the depth of immersion of the point at a determined moment by that of the duration of immersion of this point at a determined depth. The advantage of this method is that the recording is made on the "make or break" system, the immersion of the point closing an electrical circuit and the emersion cutting it. It is therefore sufficient to reveal the passing of an electric current and unnecessary to measure it. The only inertia to be taken into account is characterised by the time constant of the circuit and this is too small to influence the precision of our measurements.

Let us consider (fig. 1) (*) a metal point P set at a fixed height; its immersion closes an electrical circuit fed by a low frequency generator G at 5,000 Hz

(*) See French text, p. 411.

and which, after going through an amplifier A, comprises a scribing style S in contact with a recording cylinder C connected electrically to the water in the experimental channel. The cylinder is covered by conductive paper with a "Telédel-tos" sensitive surface layer; it is, moreover, keyed onto the spindle of the flywheel V which drives the wave machine B in such a way that it makes one revolution per period.

If the end of the point is higher than the wave crests, no inscription is made. If it is lower than a wave trough, a continuous line is made, but if it is at a height midway between that of the top of the crests and the bottom of the wave troughs, a portion of a circle only will be recorded on the cylinder graph paper which will appear as a section of a straight line after unrolling. There will be equal relationships between the length of this segment and that of the circumference on the one hand, the duration of immersion and the wave period on the other hand and also, as a result of the symmetrical rôle played by the time and space variables, between the width of the wave at the height of the end of the point and the wave length.

Let us now suppose that the point and the style are mounted on holders capable of being impelled by slow uniform movements, the first an up and down movement (fig. 2) and the second a horizontal movement along the generatrix of the recording cylinder (fig. 3). At each period the phenomenon described above will be produced, except that the circular arcs will give place to helical arcs of very small pitch. After extension of the paper, all these arcs will give parallel lines very slightly inclined in relation to a developed straight section of the cylinder. These fine, regular hachures will give a picture of a section of the mass of water by a vertical plane parallel to the direction of wave propagation (figs. 4 and 5). The curve which will limit these hachures will represent the wave section; if h mm. is the pitch of the driving screw of the style and n revolutions per second its speed the spacing of the lines will be $n.h.T.$ mm.

In fact, the amplitudes will be represented life-size if the speed of movement of the point and the style are the same. They will be reproduced at a scale of 2, 3 or 4 if the speed of the point is 2, 3 or 4 times less than that of the style.

On the other hand, whatever the wave length, this is always represented by the circumference of the cylinder. This feature may be helpful for the comparison of the sections of two swells of different wave lengths reduced to the same apparent wave length, but it necessitates exact determination of the wave length.

II. MEASUREMENT OF THE WAVE LENGTH.

A modification in the conditions of use of the apparatus makes it possible to take this measurement with very great accuracy. The point is left at a fixed height and the times of local immersion are thus registered during consecutive periods. Then moving the point parallel to the direction of propaga-

tion by a known distance d , without altering its height, the new times of local immersion are also recorded for the consecutive periods.

If the beginnings and ends of the recordings are respectively on the same generatrices of the cylinder, the immersions at the different points are in phase and the movement of the point is equal to a whole number of wave lengths; if the beginning — or the end — of the recording of the point in the position furthest from the wave machine lags by δ mm on that of the recording obtained from the nearest position, the relationship of δ to the length of the circumference C is equal, to an approximation of a whole number k , to a relationship d/λ .

$$\frac{d}{\lambda} = \frac{\delta}{C} + k$$

Generally speaking, it is sufficient to assume that $k = 1$, but if a more exact result is desired, it will be possible, when this first value of λ is calculated, to move the point by an amount approximating to a known whole number k of wave lengths and take on this base a measurement of λ k times more accurate.

For this operation, it will be advisable to place the end of the point at a height for which there is a maximum slope of the free surface. It seems that in this way greater accuracy is obtained than with the usual method which consists of noting the moment at which a crest occurs, i.e., that for which the function z of time passes through a maximum.

Difficulty may be found in maintaining the point at an exact, fixed level when passing from one position to another, as the rails on which the holder moves may not be absolutely horizontal. If this defect is not too marked, adequate correction may be made by taking the mean between the lag of the immersions and that of the emersions. A surer and simpler method, if no holder is available, consists of placing two points at a distance near one or more wave lengths, setting them so that they just come into contact with the surface of the still water, then starting up the wave machine and successively connecting the two points to the electric circuit.

The precision obtained for λ is 1 mm for wave lengths of a degree of magnitude of 1 metre, when operating on a 1 m base.

III. CHOICE OF THE SCANNING POINT.

We have been hindered by the drop which collects at the end of the point after emergence. Emergence is so rapid that, in fact, a sheath of liquid remains round the rod and collects at its lower end. The result is that, on the arrival of the following wave, contact is established early as though the point were at a lesser height; there is also a slight lag in the breaking of the contact but this is no doubt less important. We have tried to dispose of this difficulty by taking an inverted point suitably insulated right to its end so that only the extremity emerged from the insulator. After numerous tests, we have recognised that the readings obtained,

however accurate, are not clear at the beginning and the end, because of the conductivity of the film of water covering the insulator.

Finally, we have obtained accurate and clear recordings by using a steel point made from a bicycle wheel spoke machined to a point. Experience has shown that no water remained on its surface on emergence.

Let us note, finally, that to diminish polarisation, we submitted the point to a tension of several Volts. The current was then received by an amplifier which permitted a clear recording.

IV. QUALITIES OF THE APPARATUS.

As the spacing between the lines is about 1 mm, by assessing the length of the last line recorded, it is possible to obtain an idea of the position of the crest or the trough in relation to this line, but one cannot expect to obtain an accuracy greater than 1/4 mm for the measurement of the double amplitude — such is the accuracy obtained by direct reading or cathodic-eye point gauge.

On the other hand, the instrument shows itself to be very sensitive with regard to the observation of the instant of immersion or emergence, i.e., the movement phase; this property is a result of the high speed of the recording cylinder. One period,

generally less than 1 second, is represented by 500 mm of recording.

The instrument is therefore ultra-sensitive to all imperfections in the channels, such as the bottom not being strictly horizontal and to faults in the wave produced. Without entering into detail on all the research suggested by the examination of a recording, which research is now being carried out and which will be the subject of subsequent publications, we can state that a rail 0.4 mm out of level results in a lengthening greater than 1 cm in the recording line at a suitable level.

On the other hand, whereas the analogy between the time and space variables makes it possible to consider our recordings as sections of a regular wave and shows them up in a striking manner, the study of more complex phenomena is certainly even more important. It is thus that our apparatus lends itself to the study of "clapotis" and thus also that we have been able to reveal the presence of a period 2 T sub-harmonic in a wave.

Finally, the instrument is remarkable for its extreme mechanical and electrical simplicity and correspondingly low price.

L. SANTON et C. MARCOU,
Laboratoire d'Hydraulique
de l'E.N.S. Electrotechnique
et Hydraulique de Grenoble
(France).