

Chapter 13

LES APPAREILS REALISES A CHATOU POUR LA MESURE DE LA HOULE NATURELLE

J. Valembois

Laboratoire National d'Hydraulique de Chatou

Les appareils décrits ci-dessous ont été réalisés à Chatou pour l'enregistrement de la houle naturelle. Nous ne nous étendrons pas sur l'enregistreur à câble, dont il existe à l'étranger d'autres types, mais plutôt sur les trois autres, qui sont originaux et dont les possibilités peuvent être intéressantes dans bien des cas. C'est pourquoi il nous a paru intéressant de les présenter ici.

ENREGISTREUR A CABLE

Cet appareil comporte un capteur de pression différentielle posé sur le fond de la mer et relié à la terre par un câble. La station d'enregistrement à terre est équipée d'un enregistreur graphique.

Afin d'avoir une bonne sensibilité quelle que soit la profondeur d'immersion, on mesure la différence entre la pression totale P_1 et la pression moyenne P_2 . Celle-ci est obtenue au moyen d'un filtre passe-bas hydraulique (Fig.2) constitué par un tube fin (T) jouant le rôle de résistance et une chambre d'air (D) formant capacité. On trouvera une description plus complète de cet appareil et des méthodes de calcul des circuits oscillants hydrauliques qu'il utilise dans la bibliographie citée à la fin de cet article.

L'intérêt du capteur de pression choisi, qui est du type à strain-gauges, est que le même manomètre permet la mesure des houles normales et de houles très faibles (quelques cm), car le rapport des sensibilités extrêmes de l'équipement utilisant les strain-gauges est de l'ordre de 300.

Avec cet appareil, on peut enregistrer la houle au moment que l'on a choisi, mais la nécessité d'utiliser un câble réduit ses possibilités. En effet, on peut difficilement le placer à plus de 2 km de la côte. D'autre part, si l'on ne veut pas utiliser un câble armé du type des câbles téléphoniques sous-marins, ce qui conduirait à de gros frais tant pour l'achat du câble que pour les opérations de mouillage et de relevage, il faut faire atterrir le câble dans un endroit protégé de la houle, par exemple dans un port.

C'est pourquoi nous avons étudié l'appareil autonome décrit ci-dessous.

ENREGISTREUR AUTONOME (Figures 1, 2, 3 et 4)

Cet appareil, dont la figure 1 donne les dimensions extérieures, comporte à l'intérieur d'un boîtier étanche le capteur de fluctuations de pressions et l'enregistreur. L'ensemble est alimenté par une batterie d'accumulateurs (A) incorporée et peut être abandonné sur le fond de la mer pour enregistrer la houle. Son autonomie de fonctionnement est de 100 heures environ. Si l'on

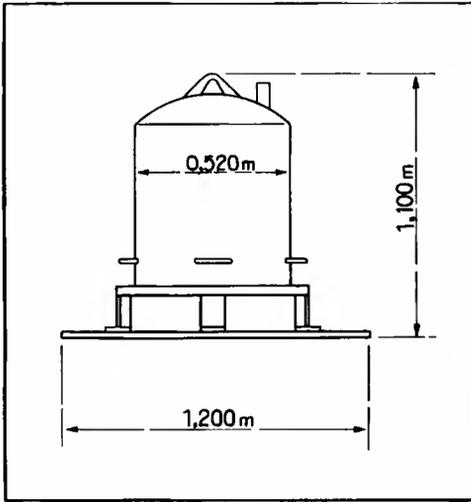


Fig. 1

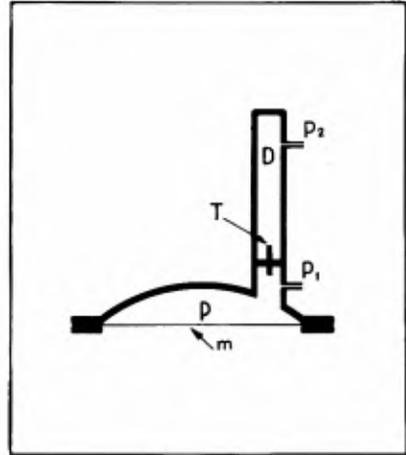


Fig. 2

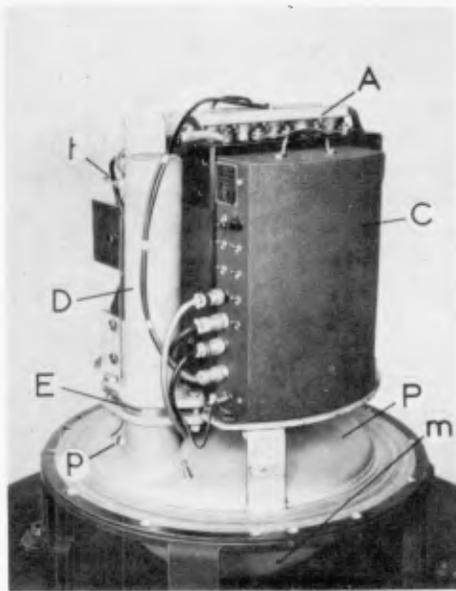


Fig. 3

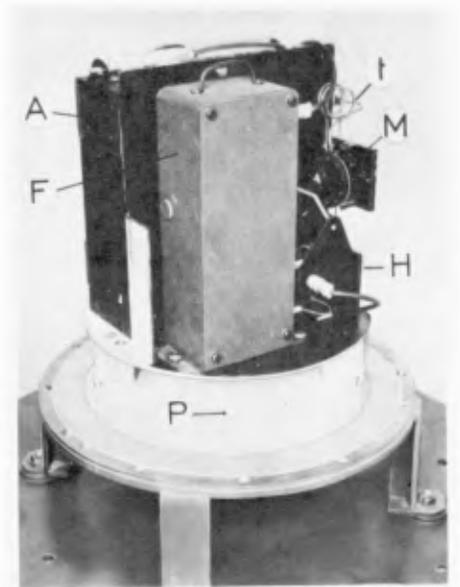


Fig. 4

échelonne les enregistrements à raison de 30 minutes toutes les 12 heures, on peut laisser l'appareil en place pendant 3 mois.

L'intérêt de ce système est que l'on peut ainsi enregistrer la houle à la distance de la côte que l'on veut, si naturellement les fonds s'y prêtent.

Comme pour l'appareil à câble, on enregistre la différence entre la pression totale P_1 et la pression moyenne P_2 . La pression au fond P_1 est transmise par une membrane souple (m) à la chambre (P) contenant de l'air. La pression p_1 qui existe dans (P) est transmise à travers un tube fin (T) à la chambre (D). L'ensemble (T) et (D) forme un filtre passe-bas à résistance et capacité qui élimine les fluctuations rapides de la pression p_2 dans (D). En pratique (T) est un tube de thermomètre de quelques cm de long et (D) a une capacité de l'ordre de 2 litres. La constante de temps d'un tel filtre peut atteindre plusieurs minutes.

Les pressions d'air p_1 et p_2 sont transmises par les tubes (t) au manomètre différentiel à miroir (M).

L'enregistrement des déplacements du miroir de (M) se fait sur un film de 35 mm contenu dans la caméra (F) (Fig. 4). Cette caméra contient 120 m de film. Elle comporte aussi le dispositif d'éclairage du miroir du manomètre.

L'enregistrement se fait en noir sur blanc (Fig. 5) pour permettre l'analyse photoélectrique des fréquences par le procédé anglais décrit dans l'article cité de G.E.R. Deacon. Les tops de temps que l'on remarque à la partie inférieure ont lieu toutes les 30 secondes. Au début de chaque enregistrement, l'horloge (H) est photographiée, ainsi qu'un compteur de demi-journées. On connaît ainsi le jour et l'heure du début de chaque enregistrement.

Ceci est en effet nécessaire, car plusieurs cadences sont prévues pour les enregistrements. Ils peuvent être déclenchés par le mécanisme d'horlogerie contenu dans la boîte de commande (C), toutes les 12 heures, toutes les 2 heures, ou de façon continue. L'autonomie de fonctionnement est alors respectivement de 3 mois, 15 jours ou 4 jours. Trois des interrupteurs que l'on voit à la partie gauche de (C) permettent de réaliser l'une ou l'autre de ces cadences. Les autres sont destinés aux vérifications avant le mouillage.

Nous essayons actuellement sur quelques appareils un dispositif à contact manométrique qui permet de déclencher les enregistrements dès que la houle dépasse un certain creux. Nous avons prévu que l'enregistrement courant aurait lieu toutes les 12 heures, et que l'intervalle serait ramené à 2 heures lorsque la houle serait supérieure à la valeur demandée par l'utilisateur, mais d'autres modes de fonctionnement sont possibles, moyennant de légères modifications de la boîte de commande.

Le contrôle de la verticalité au moment du mouillage se fait au moyen d'un contacteur à mercure logé dans le petit tube que l'on voit sur la figure 1 en haut du boîtier. Ce contacteur est relevé par le fil électrique qui le relie à la surface une fois le mouillage terminé.

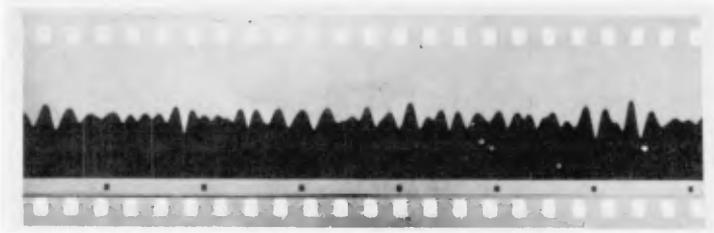


Fig. 5

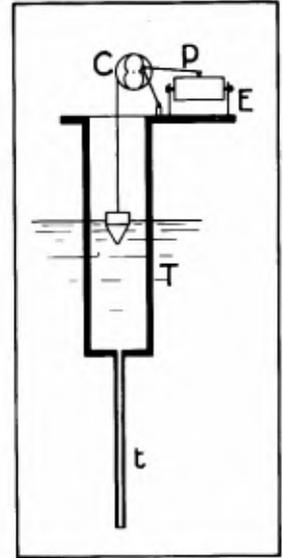


Fig. 6

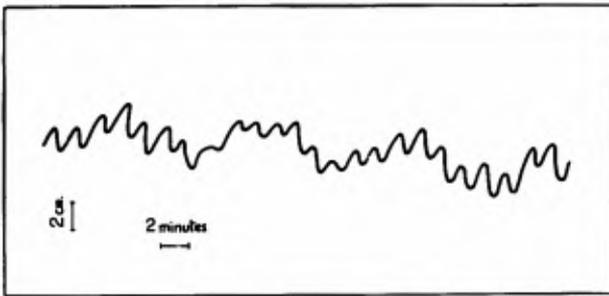


Fig. 7

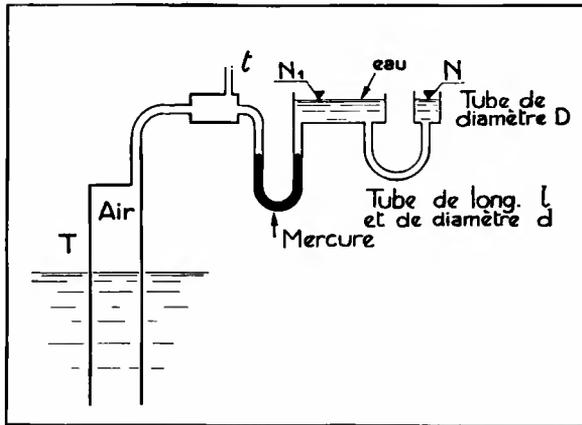


Fig. 8

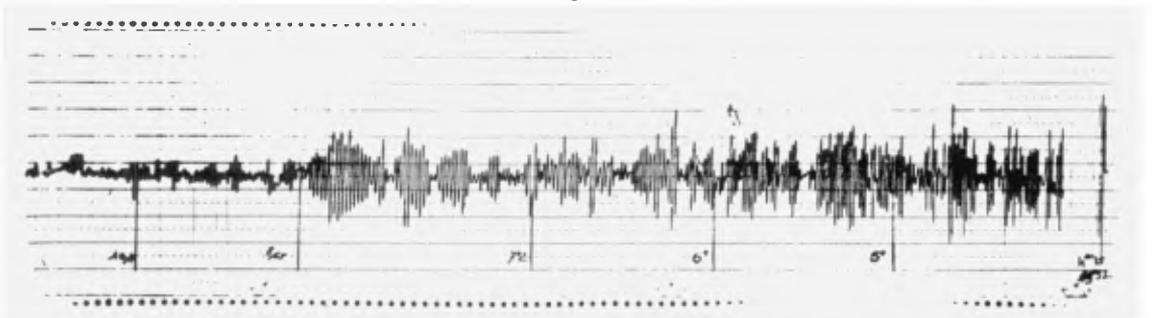


Fig. 9

L'appareil décrit ci-dessus a nécessité une longue mise au point, en particulier en ce qui concerne les étanchéités à l'air des chambres (P) et (D), des prises de pression (p) et du manomètre (M). Par contre, la partie horlogerie a toujours fait preuve d'une parfaite robustesse, ce dont on aurait pu douter au départ, mais a nécessité une mise au point au Laboratoire.

Notons enfin que la partie enregistreur est conçue pour fonctionner avec un galvanomètre antivibratoire Schlumberger, de façon à permettre l'enregistrement de toute grandeur que l'on peut transformer en courant électrique (température, salinité, etc...). En particulier, nous utilisons quelquefois un manomètre à strain-gauges, dont l'intérêt est de comporter plusieurs sensibilités. On passe de l'une à l'autre au moyen d'un contacteur, tandis qu'avec l'appareil à manomètre, il faut changer de manomètre pour changer de sensibilité, inconvéniént qui est toutefois compensé par une plus grande simplicité.

ENREGISTREUR DE HOULES LONGUES (Figure 6)

Nous avons réalisé cet appareil dans le but de déceler les houles longues, dont les périodes sont de l'ordre de quelques minutes.

Il fallait pour cela éliminer les houles courantes. Elles masquent en effet ces houles longues, dont l'amplitude est faible, de l'ordre de quelques centimètres.

Pour cela, on amortit les fluctuations de niveau rapides au moyen d'un puits de mesure à grande période propre, qui consiste en un tube (T) de grand diamètre (30 cm) relié à la mer par un tube plus fin (t) (diamètre : 1,4 cm - longueur : 2 cm). Le niveau à l'intérieur de (T) suit en pratique les houles longues et la marée.

Pour conserver une échelle importante (1 cm sur le papier représente en effet 3 cm de variation de niveau) sans trop augmenter la largeur du papier d'enregistrement, une came (C) actionnée par le flotteur agit sur la plume (P), de façon à ce que la plume se trouve toujours entre les limites de l'enregistrement quel que soit le niveau. La came est dessinée de façon à ce que la correspondance entre le niveau et l'inscription soit linéaire.

Cet appareil est très simple et fonctionne bien. Les difficultés ont consisté surtout dans l'obtention d'un minimum de frottement, nécessaire si l'on veut pouvoir obtenir avec un flotteur de petite taille l'enregistrement de houles très faibles (quelques mm). C'est d'ailleurs la raison pour laquelle on utilise l'inscription par plume et encre, qui conduit à un frottement faible. L'inscription sur papier Télédeltos a été éliminée pour une autre raison, qui est que l'appareil, conçu pour fonctionner dans les pays d'outre-mer, ne doit comporter aucun organe électrique.

La figure 7 est une reproduction d'un enregistrement obtenu à l'île de la Réunion. On y remarque deux périodicités très nettes, l'une de 90 secondes environ, l'autre de 10 minutes.

ENREGISTREUR SELECTIF

Cet appareil est conçu pour donner directement une analyse sommaire des périodes de la houle entrant dans un port. Il est constitué d'une série de résonateurs accordés sur diverses périodes couvrant la gamme des périodes qui se présentent dans le port. Par exemple, l'appareil que nous avons utilisé à Dunkerque comportait les résonateurs suivants : 4,15 - 5 - 6 - 7,2 - 8,6 et 10,4 secondes. On fait agir la houle naturelle successivement sur chacun de ces résonateurs, dont on enregistre le mouvement. La figure 9 est un enregistrement effectué à Dunkerque. On y voit nettement deux houles, l'une dont le spectre des périodes est groupé autour de 5 secondes, l'autre ayant des périodes voisines de 7 secondes.

Si l'on a des enregistrements de ce type dès que la houle dépasse un certain creux, on peut savoir quelles sont les périodes les plus fréquemment rencontrées et par exemple, étudier la protection contre la houle surtout pour ces périodes, en veillant bien à ce que les ouvrages du port n'aient pas des périodes propres voisines. En effet, le fait que la houle naturelle fasse osciller un résonateur de mesure montre bien qu'elle fera osciller l'eau dans un bassin ayant la même période propre.

L'appareil a été réalisé de la façon suivante : les variations du niveau de l'eau sont transformées en variations de pression d'air dans la partie haute du tube (T) (Fig. 8). Un tube fin (t) communiquant avec l'extérieur permet que la pression moyenne soit toujours la pression atmosphérique. La pression d'air est appliquée à un tube en U contenant du mercure qui transmet ses variations au niveau (N₁) de l'eau d'une cuve. Ce dispositif a pour but de diminuer les variations de pression que l'on fera agir sur les résonateurs. Ceux-ci sont constitués par un tube de longueur l et de diamètre d, débouchant dans un pot de diamètre D. La période propre en est approximativement $2\pi\sqrt{l D/g d}$. L'amortissement du circuit dépend de d. On trouvera dans l'ouvrage sur la mesure des pressions variables cité en référence tous les éléments pour calculer ces résonateurs. Afin de rester dans le domaine des oscillations laminaires, on utilise de très faibles variations des niveaux (N₁) et (N). Dans l'appareil de Dunkerque, le pot (N) est relié à la cuve par 6 tubes de différentes longueurs débouchant au fond de la cuve suivant une circonférence. L'ensemble de ces orifices est couvert par une plaque circulaire comportant une seule ouverture pouvant être mise successivement en regard des 6 orifices. L'enregistrement du niveau (N) est effectué par un limnigraphe à pointe vibrante.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Valembois J. (1949). Un manomètre enregistreur de pressions sous-marines. (La Houille Blanche - n° spécial B - 1949).
- Valembois J. (1948). La mesure des pressions variables (Hermann, éditeur).
- Deacon G.E.R. (1951). Analysis of sea waves (Gravity waves - National Bureau of Standards Circular 521, p. 209).

RESUME

WAVE RECORDERS DESIGNED AT CHATOU

J. Valembois

Description of the different types of wave recorders designed at Chatou Laboratory.

(1) Shore wave recorder

The pressure head is of the strain-gage type and it can be used to record large and small waves (a fraction of an inch), according to the large range of sensitivities of the strain-gage equipment (1 to 300). It is connected by an electrical cable to the recording unit. The maximum sensitivity should permit the recording of waves of very low amplitude (forerunners, surfbeats, etc.). The pressure cell is located on the sea bed, a hydraulic filtering device permits the measurement of the difference between the actual and the mean pressure.

(2) Self-contained recorder

The shore wave recorder cannot be used very far from the coast without becoming very expensive.

The self-contained recorder is housed in a waterproof case and contains the pressure head, the recording unit and a battery which enables it to record continuously during 100 hours. This time of operation is divided into 20 minute records, which can be made each 12 hours (during 3 months), each 2 hours (during 15 days) or continuously.

The record is made on 35 mm film, as the limit between a black and white zone, in order to permit a photoelectric frequency analysis. In front of each record, the time, day, and any element wanted (number of the manometer, location, etc...) are photographed.

The case is 25 inches wide and 25 inches high. The weight of the apparatus is approximately 500 pounds.

(3) Long period wave recorder

This is a float type level recorder intended to be placed in a harbor for recording long period waves (period of some minutes). This apparatus is very simple and operates without any electrical element. The ordinary waves are damped by the inertia of water in a tube connecting the float well to the sea. The scale of the record is large ($1/3$ of the actual level variations).

(4) Selective recorder

This apparatus gives a coarse frequency analysis of the waves entering a harbor at the same time as they are recorded. The variations of water level are transformed into air pressure variations and transmitted to a series of six resonators covering the range of 4 to 12 seconds (this apparatus was designed for Dunkirk harbor). The movement of each resonator is recorded during 5 minutes. The records obtained permit one to know how the water will oscillate in the structures of the given harbor, according to their period of resonance, under the action of natural waves.