

Chapter 40

LE LABORATOIRE DU HAVRE POUR LA MESURE DES EFFORTS DUS AUX LAMES

Pierre D. Cot

Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées,
Directeur des Etudes et Travaux de l'Aéroport de Paris
291, Boulevard Raspail, Paris 14

Le Comité International pour l'étude des efforts des lames, émanation de l'Association Internationale des Congrès de Navigation, dont la guerre avait interrompu l'activité, s'est reconstitué en 1950. Depuis, il s'est réuni à Paris (en 1950 et 1952), à Naples (en 1951 et 1953) et à Hannover (en 1954) pour prendre connaissance des rapports présentés par les délégations de divers pays et orienter les recherches en cours.

Les investigations poursuivies dans cette branche de l'océanographie sont de natures très diverses : presque uniquement théoriques en Espagne (M. Iribarren, M. Nogales) et en Allemagne (M. Hensen) où les chercheurs s'attachent à l'étude de la propagation de la houle et à la morphologie de la surface de la mer, elles sont principalement expérimentales en Italie (M. Gréco) et en France (M. Pétry, M. Besson, M. Cot) où elles font appel à un appareillage permettant la mesure directe des chocs des vagues. Entre ces deux tendances, certains Ingénieurs anglais (M. Bagnold) ou allemands (M. Hensen) associent à des recherches théoriques une expérimentation sur modèles réduits.

La station de mesures de Naples enregistre la pression développée en différents points d'une muraille verticale abordée par une houle qui s'y réfléchit. La station du Havre, au contraire, enregistre en différents points de la paroi d'une digue les efforts développés par une houle dont le déferlement est provoqué par le talus d'enrochements sur lequel repose l'ouvrage.

La station de mesures du Havre a été construite sur la digue nord du Port du Havre en 1949-1950, après une étude des procédés susceptibles d'être utilisés pour l'enregistrement de la pression exercée par les vagues.

Naguère, c'est au phénomène piézo-électrique, vulgarisé par les appareils de sondage par ultra-sons, que l'on avait fait appel pour transformer la pression développée par les vagues en courants électriques susceptibles d'en transmettre l'indication à distance (Station de Dieppe de MM. Pétry & Besson). L'utilisation du quartz est certes valable quand il s'agit d'enregistrer des variations rapides de pression et de supporter des pressions élevées. Mais les inconvénients sont nombreux : la lampe électromètre qui doit être obligatoirement placée à proximité immédiate du quartz, par conséquent dans le carter même de l'appareil fixé sur la paroi de la digue, est un organe fragile ; l'amplification est nécessairement faite en courant continu. Il en résulte des difficultés d'isolement qui entraînent la disparition des charges. La nécessité de disposer, dans le

circuit de grille de la lampe électromètre, des résistances de l'ordre de 1000 mégohms formées d'éléments séparés introduit des capacités parasites. L'amplification importante, qui est nécessaire en courant continu, accroît la distorsion. Bref, l'appareillage manque de fidélité.

On a utilisé dans l'étude de certains problèmes de pression, des quartz à variation de capacité associée. Ici le quartz est placé en série avec une capacité formée en ménageant une lame d'air entre une face de quartz et une membrane manométrique formant électrode. Les déplacements de la membrane font varier la capacité de l'ensemble, que l'on insère dans un circuit oscillant à fréquence variable. L'alimentation de l'appareil en courant alternatif lui confère une stabilité assez bonne. Malheureusement le dispositif est limité aux fréquences inférieures à 300 périodes par seconde. Il en résulte que les phénomènes rapides sont affectés d'une distorsion sensible. Enfin, le glissement de la fréquence dû aux réactions de la pression sur le quartz peut introduire une cause d'erreurs. Il ne semble pas qu'un tel dispositif doive être rejeté définitivement, mais il a été impossible d'obtenir des constructeurs des propositions sérieuses de fabrication.

Un autre système susceptible d'être employé est l'emploi de jauges à fil résistant. Ces jauges, dont l'usage est maintenant très répandu, ont l'avantage de l'économie et d'une grande facilité de mise en place. En outre, l'amplification se fait en courant alternatif. Malheureusement ces appareils résisteraient mal, fixés sur la paroi d'une digue, aux assauts de la mer. Résisteraient-ils que la constance de leurs indications serait douteuse. Toutefois, un tel système mérite d'être examiné de près. Si l'on suppose résolu le problème de la stabilité des strain-gages, on pourrait étudier la fixation de jauges de cette nature dans des organes robustes et étanches incorporés aux maçonneries des digues servant à l'observation.

Le système à variation d'entrefer utilise une membrane manométrique contrôlant les entrefers de deux transformateurs accouplés. Les tensions secondaires de ces transformateurs sont en opposition, et la tension résultante, théoriquement nulle lorsque les entrefers sont égaux, prend des valeurs positives lorsque le déplacement de la membrane produit une variation des entrefers. Un tel dispositif a l'avantage d'être alimenté en courant alternatif, et de se prêter aisément à l'amplification. Mais il offre l'inconvénient d'une réalisation difficile et la non-linéarité de la courbe de réponse du dispositif en rend l'emploi délicat.

On peut citer également les dispositifs à détecteur de pression purement manométriques, type Bourdon, qui ont été utilisés par le Woods Oceanographic Institute pour enregistrer les vagues produites par les explosions atomiques de Bikini. Mais ce dispositif ne convient pas à la mesure de pressions brusquement appliquées.

Le système adopté au Havre met en oeuvre des capacités électriques variables. Dans ce système une membrane manométrique de petite dimension entraîne dans son déplacement l'armature d'un condensateur dont l'autre armature est fixe. Les variations de capacité, ainsi introduites dans un

circuit oscillant à une fréquence fixe fournie par deux étages contrôlés par quartz sont traduites en variations de tension. Un tel système a l'avantage d'une bonne stabilité et d'une absence à peu près complète de distorsion dans les limites d'emploi.

DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

L'installation comprend :

1. LES CAPTEURS DE PRESSION (fig. 1)

Les capteurs de pression comportent une membrane en bronze au glucinium de 30mm de diamètre, encastrée sur ses bords et susceptible d'accuser une flèche maxima de 0,1 millimètre. Cette membrane est attelée directement à l'armature d'un condensateur formé de cylindres concentriques. L'armature fixe est branchée sur le secondaire d'un transformateur abaisseur dont le rapport est d'environ 4000. Le tout est placé dans un manchon en bronze, lui-même fixé sur un disque de même métal scellé sur la paroi du musoir de la digue. Le corps du capteur porte un manchon de caoutchouc vulcanisé qui assure l'étanchéité du tube en acier dans lequel chaque câble traverse la paroi de la digue. Des colliers de serrage et une imprégnation de brai complètent cette étanchéité. Le diamètre de la membrane est de 30mm environ. A la sortie du capteur un câble co-axial relié au secondaire du transformateur abaisseur met en relation le capteur avec un autre transformateur analogue au précédent mais monté en transformateur élévateur qui restitue à la capacité sa valeur primitive et l'applique sur le circuit d'un discriminateur. La longueur maximum admissible du câble co-axial est de 5 mètres. Ainsi, grâce à l'artifice de la transformation, il est possible de réduire à fort peu de chose (un transformateur d'impédance très robuste) l'organe associé à la membrane sensible et de reporter à quelque distance les appareils délicats chargés de recueillir les indications de la membrane.

Cinq capteurs ont été disposés sur la paroi du musoir (fig. 2 et 3). Un capteur central est placé (1) à la cote (+ 7.50), les quatre autres sont disposés autour de lui, deux d'entre eux sur une même verticale aux cotes (+ 5) et (+ 9). Les deux autres sur la même ligne horizontale à la cote (+ 7.50). Leur écartement sur cette même ligne horizontale est de 2m.

2. LES DISCRIMINATEURS

Ces appareils transforment en variations de tension les variations de capacité du capteur. Il existe un discriminateur pour chaque capteur. Le discriminateur reçoit une fréquence fixe et les variations de fréquence appliquées à la sortie du transformateur-élévateur situé au bout du câble co-axial se traduisent par une tension continue qui varie fidèlement avec la déformation (dans un sens ou dans l'autre) de la membrane.

(1) Toutes les cotes sont rapportées au zéro des cartes marines.

Les causes d'instabilité ont été réduites au maximum non seulement par l'utilisation d'un quartz dans l'oscillateur, mais en disposant les selfs et les capacités du discriminateur dans une enceinte maintenue à 40° par un thermostat au moyen de résistances chauffantes.

Les enregistreurs sont placés à 600 mètres du mûsoir (fig. 4) dans un bâtiment édifié à l'enracinement de la digue sur un terre-plein accessible par tous les temps. L'impédance de sortie des discriminateurs étant trop forte pour attaquer directement le câble de liaison, on les a fait suivre de cinq amplificateurs à faible gain, très stables, et présentant une impédance de sortie suffisamment basse (6000 mégohms). Le câble de transmission utilisé ayant une capacité de 70×10^{-12} farad par mètre, la capacité totale est d'environ 50000×10^{-12} farad. Il en résulte que la constante de temps de transmission d'une onde à front parfaitement raide sur cette ligne est égale à $6000 \times 50000 \times 10^{-12} = 0,3 \times 10^{-3}$ secondes, c'est-à-dire qu'elle est quinze fois plus faible que la durée des phénomènes les plus brefs mesurés naguère dans les installations de Dieppe. On pourrait, si à l'usage cette constante de temps apparaissait trop grande, agir encore sur les amplificateurs pour la réduire.

Les cinq alimentations des amplificateurs sont régulées par des tubes au néon. Elles sont complètement indépendantes. La disposition particulière des enroulements sous haute tension, dont les points à tension alternative élevée sont reportés au centre des bobinages, élimine presque complètement les ronflements par circulation de courant alternatif dans les capacités parasites du transformateur.

Tous les autres appareils se trouvent dans la salle des enregistreurs.

3. LES COMMUTATEURS ELECTRONIQUES

Les commutateurs électroniques comportent chacun un amplificateur, un balayage classique et un tube cathodique avec son alimentation.

Les amplificateurs sont des amplificateurs simples à une lampe dont les sorties sont branchées en parallèle, complétées par un ensemble de multivibrateurs débloquent successivement chacun des cinq amplificateurs.

La fréquence des multivibrateurs étant de 10000 périodes par seconde, chacun des amplificateurs fonctionne 10000 fois par seconde pendant 1/50000e de seconde. Les phénomènes sont représentés par conséquent, non pas sous la forme de lignes continues, mais sous celle d'une succession de points extrêmement rapprochés : une montée de pression s'effectuant en 1 millième de seconde serait encore définie par 10 points.

Le fait que tous les dispositifs mis en cascade soient sensibles aux phénomènes continus rend faciles les étalonnages et les vérifications, qui s'effectuent avec des pressions statiques facilement contrôlables.

Le balayage assure un déplacement horizontal du faisceau dans de grandes limites de fréquence pour le contrôle visuel. Il est, bien entendu,

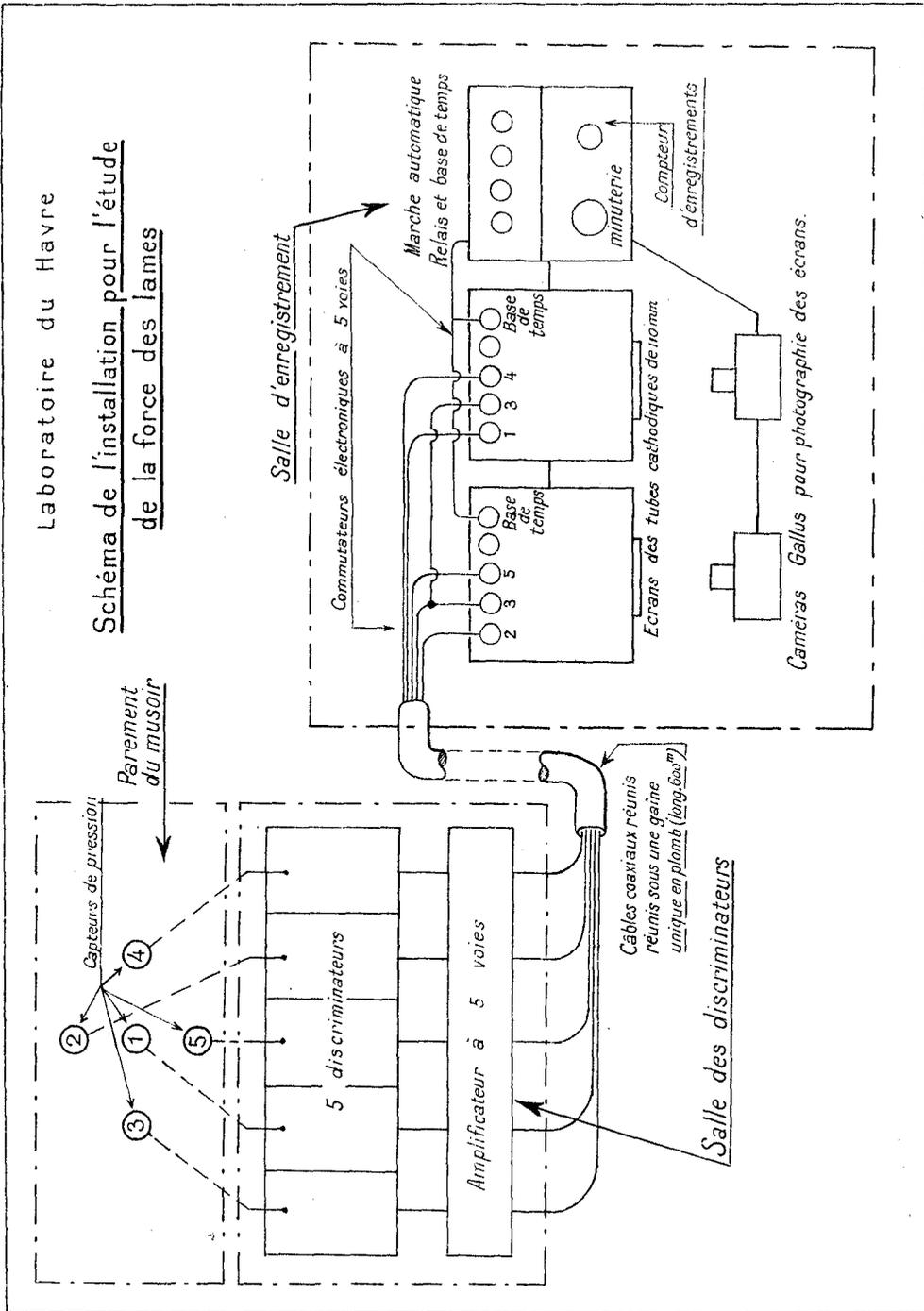


Fig. 1.

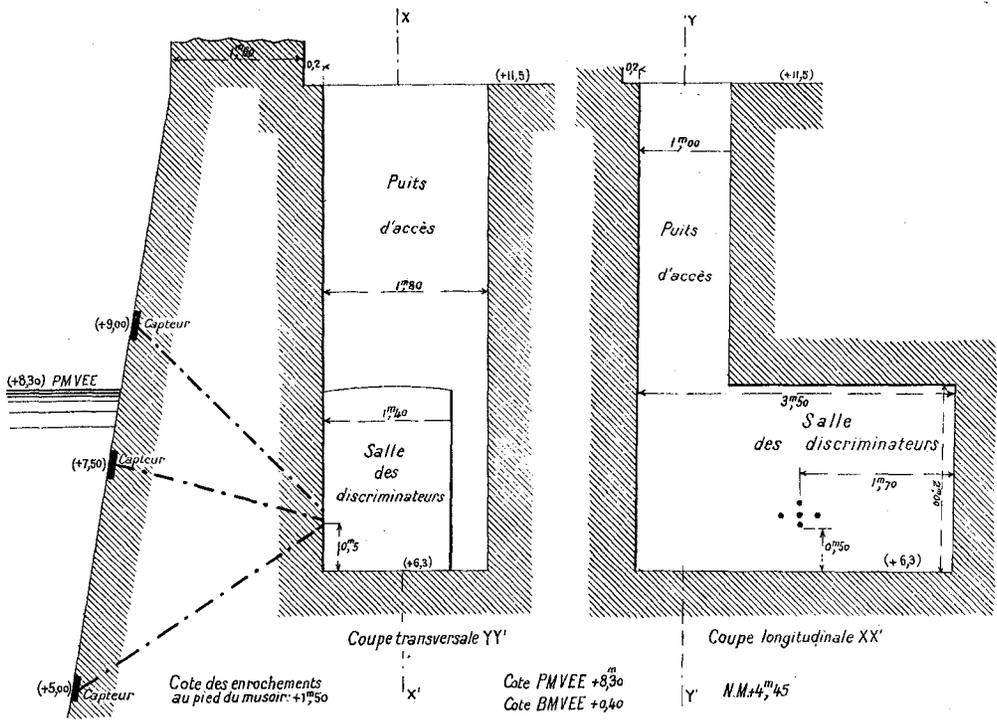
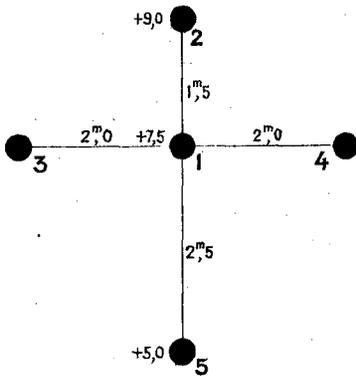


Fig. 3.

Position des capteurs
sur le musoir



Elévation

Fig. 2.

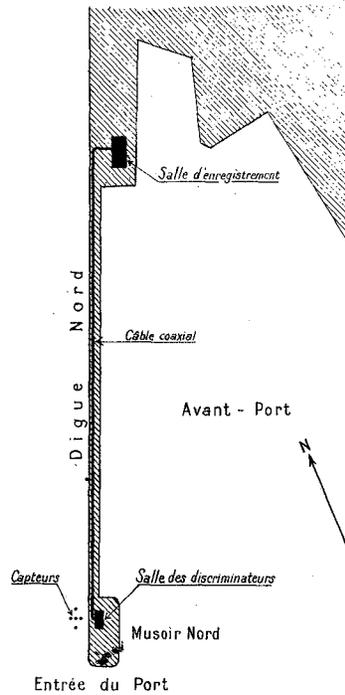


Fig. 4.

bloqué lorsque l'on opère un enregistrement photographique.

Les tubes cathodiques sont des tubes à post-accelération. Ils comportent une alimentation stabilisée. Les tubes ont une longueur de 110 millimètres. Leurs indications sont très lumineuses en raison des tensions relativement élevées que l'on emploie : 1000 volts pour la première anode, 2500 volts sur la troisième anode. Le balayage est effectué par un thyatron et une penthode de charge. L'amplitude du balayage est commandée par la variation de la tension de grille du thyatron.

L'installation d'enregistrement comporte deux oscilloscopes du même type. Sur le premier sont réparties les pressions des capteurs n° 2, 3 & 5 (capteurs périphériques) ainsi qu'une base de temps. Sur le second on indique la pression des capteurs 1, 3 & 4 ainsi que la même base de temps. Il reste donc disponibles deux courbes pour l'enregistrement de phénomènes qu'il paraîtrait nécessaire de mesurer en permanence (par exemple la hauteur des vagues, transmise par un indicateur adéquat), voire une troisième en supprimant le double enregistrement du capteur n° 3.

4. LE DISPOSITIF DE MARCHE AUTOMATIQUE

L'enregistrement peut être déclenché par un opérateur ou entièrement automatiquement par un indicateur de vagues réglé sur une amplitude minimum (mais il n'a pas encore été possible de mettre au point un appareil de cette nature) grâce à un dispositif qui comprend :

- a) un avertisseur sonore qui fonctionne pendant quelques secondes,
- b) l'arrêt de l'avertisseur sonore et l'extinction des lumières de la salle,
- c) l'arrêt du balayage des oscilloscopes,
- d) le départ des caméras d'enregistrement pour des durées d'enregistrement réglables de 10 à 40 secondes,
- e) au bout de ce temps, l'arrêt et le retour à l'état primitif.

Un compteur d'enregistrement permet de régler à 1, 2 ou 3 le nombre des enregistrements qui s'effectuent automatiquement et successivement sous l'impulsion de l'opérateur. Lorsque le nombre indiqué des enregistrements a été effectué, l'installation se met à l'arrêt automatiquement.

5. LES CAMERAS D'ENREGISTREMENT PHOTOGRAPHIQUE

L'enregistrement photographique est assuré par deux dérouleurs enregistreurs Gallus. Ces appareils utilisent des films de 60 millimètres. Leur vitesse de déroulement est constante grâce à un volant équilibré actionné par un moteur asynchrone synchronisé. On peut utiliser trois vitesses de déroulement : 20, 10 et 5 cm/seconde. La commande se fait électriquement à distance par un dispositif qui maintient la caméra embrayée. La mise en route à la vitesse de régime demande environ un quart de seconde.

Les dispositions de cette station répondent au souci de permettre aux observateurs d'accéder à tout moment à la salle d'enregistrement, quel que soit l'état de la mer qui submerge en général les digues lors des tempêtes. Ainsi a-t-on pu éviter les inconvénients des installations antérieures qui exigeaient, des observateurs, de longues séances d'observation dans une salle inconfortable où ils devaient se rendre plusieurs heures à l'avance, souvent en vain, et a-t-on soustrait les appareils d'enregistrement aux vibrations de la digue elle-même sous les chocs des lames.

Achevée dans le courant de l'été 1950, l'installation a fourni plusieurs enregistrements utilisables en 1951, 1952 et 1953.

EXAMEN DES ENREGISTREMENTS

Si l'on examine un enregistrement de pressions dues aux lames, on peut remarquer que dans le cas d'une lame déferlante bien caractérisée, la montée de la pression se manifeste en général d'une façon très brusque : elle atteint son maximum au bout d'un temps inférieur à 1/100e de seconde. Ensuite, on observe aux environs du maximum une succession d'oscillations tout d'abord très rapprochées, de période très courte, qui vont ensuite en s'espacant et en s'amortissant : le spot reprend alors sa position primitive, au bout d'un temps variable mais très court. Dans quelques cas, on peut voir, suivant immédiatement la montée rapide du choc, et alors que le spot n'a pas encore rejoint le point correspondant à une pression nulle, une oscillation très ample dans le temps (de 1 à 3 sec.), d'assez faible amplitude, ayant l'allure d'une pression plutôt statique. Il y aurait, dans une telle circonstance, une manifestation double du front de houle : en premier lieu, un choc correspondant à un déferlement qui se produit lorsque ce dernier atteint la paroi verticale de la digue, puis, suivant immédiatement après, une sorte de montée de la masse d'eau provoquant une pression statique.

Dans d'autres cas, on remarque des fronts d'ondes à l'aspect plus complexe, dont on voit moins bien de quels phénomènes ils sont la traduction. C'est, par exemple, une sorte de ligne brisée offrant un mélange d'oscillations rapides et de pressions ; le maximum est plus arrondi ; peut-être ce schéma correspond-il à un déferlement qui aurait été en partie amorti soit par l'eau, soit par l'air. Notons aussi que le vent, d'après ce que nous avons pu observer, tend dans certains cas, à émousser et à disperser les crêtes de houles ; par exemple lorsqu'une houle aborde la plage et qu'elle se diffracte, l'angle qu'elle fait avec la direction du vent peut être assez grand. Le vent provoque alors une dispersion d'une partie de la crête.

Par ailleurs, on est en droit de se demander si la membrane du capteur de pression n'a pas tendance, immédiatement après la percussion, donc aux environs du maximum, à entrer en vibration.

La houle régnant au Havre perd une grande partie de son énergie par suite de la nature des fonds et des bancs qu'elle rencontre lorsqu'elle aborde le littoral. De plus ses caractéristiques initiales ne peuvent être qu'assez faibles, du fait de l'exiguïté des fetches. Comme, de plus, elle

dissipe encore une part d'énergie sur les enrochements qui protègent la digue, elle n'atteint les capteurs qu'après avoir subi une forte atténuation. En outre, dans la partie haute du musoir où sont placés ceux-ci, il existe un couronnement dont le sommet atteint la cote (+ 13) alors que dans la partie courante, le haut du parapet est à la cote (+ 11). D'une façon générale, on constate que c'est surtout dans cette partie que les gerbes sont spectaculaires, alors qu'au musoir celles-ci sont très rares.

Pour expliquer ce fait, prenons l'exemple d'une tempête observée le 1er février 1952. Bien que l'on n'ait pu procéder ce jour-là à des mesures des caractéristiques des houles il semble que ces dernières avaient une hauteur de 2,50m environ, près du musoir. Pour fixer les idées nous leur donnerons les caractéristiques suivantes :

$2h = 2,50m$; $2 T = 6 \text{ sec.}$; $2 L = 50 \text{ m}$; $H = 10m$ (profondeur)

avec une célérité d'environ 10m/sec.

La surélévation de niveau, calculée par la méthode de Sainflou, est d'environ 0,80m, en supposant qu'il s'agisse d'un clapotis pur.

Le niveau réel de la pleine mer étant ce jour-là de 8,10m l'affleurement maximum était alors :

$$8,10 + 2,50 + 0,80 = 11,40$$

l'affleurement minimum atteignant :

$$8,10 - 2,50 + 0,80 = 6,40$$

On voit donc qu'il y a déversement le long de la partie courante alors qu'au musoir, l'élévation de la muraille provoque la réflexion complète. Il est évident que ces données numériques ne font qu'approcher la réalité car l'état anarchique de la surface de la mer en ce lieu ne permet pas de définir la forme des ondes. Il semble cependant qu'à pleine mer il se forme bien un clapotis partiel qui se modifie ensuite lorsque le niveau de la mer tend à baisser.

Pour compléter ces remarques, il semble intéressant de calculer la profondeur théorique pour laquelle il y a déferlement. Dans le cas du clapotis, on trouve que le déferlement se produit quand la cote du plan d'eau supposé calme est d'environ de (+ 6,30), pour les houles considérées plus haut.

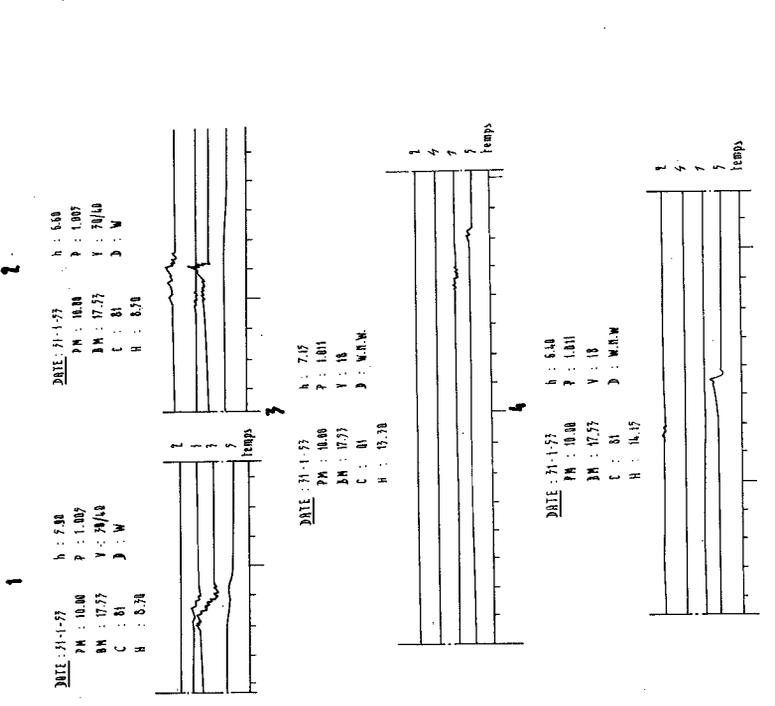
Dans le cas de la houle, le même résultat serait atteint quand cette cote est d'environ de (+ 5).

L'observation semble bien confirmer que le déferlement se produit, pour les houles considérées, quand la cote de la marée est comprise entre (+ 5) et (+ 6,50).

Les tempêtes au cours desquelles nous avons obtenu les résultats qui vont être relatés n'ont pas dépassé en violence, la moyenne des tempêtes

**COMITE INTERNATIONAL
POUR LA MESURE DE LA FORCE DES LAMES**

STATION DE MESURES DU HAVRE



— LEGENDE —

PM : Heure de la pleine mer (U.O) h : Hauteur d'eau au temps H, en mètres au-dessus du zéro
 DM : Heure de la basse mer (U.O) P : Pression barométrique, en millibars
 C : Coefficient de la marée V : Vitesse du vent en nœuds
 H : Heure de l'enregistrement (U.O) : Direction du vent

Echelle des pressions : 1cm = 10 V/m
 Echelle des temps : espacement de deux traits : 1/6 sec.

Disposition des capteurs sur la paroi de la digue
 1 + 9.00 m
 2 + 7.50 m
 3 + 7.00 m

Le sens de déroulement des enregistrements est de droite à gauche

Legende

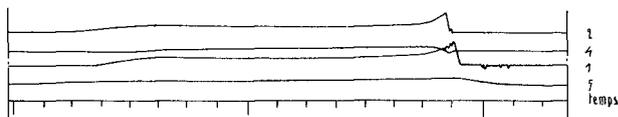
5

DATE : 10-2-57 h : 6.05
 PM : 5.46 P : 973.9
 BM : 11.58 V : 10/40
 C : 39 D : W.S.W
 H : 8.00



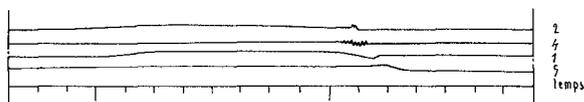
6

DATE : 10-2-57 h : 5.00
 PM : 5.46 P : 973.9
 BM : 11.58 V : 10/40
 C : 39 D : W.S.W
 H : 8.10



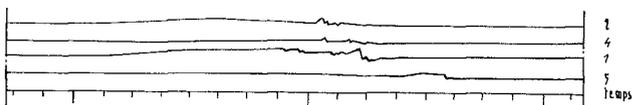
7

DATE : 10-1-57 h : 5.05
 PM : 5.46 P : 973.9
 BM : 11.58 V : 10/40
 C : 39 D : W.S.W
 H : 8.15



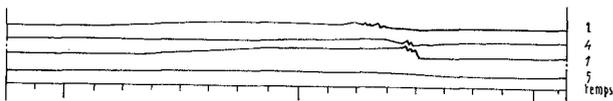
8

DATE : 10-2-57 h : 5.75
 PM : 5.46 P : 973.9
 BM : 11.58 V : 10/40
 C : 39 D : W.S.W
 H : 8.30



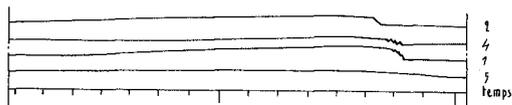
9

DATE : 11-2-57 h : 6.60
 PM : 6.57 P : 982
 BM : 14.19 V : 20
 C : 51 D : N.W.
 H : 8.15



10

DATE : 11-2-57 h : 6.60
 PM : 6.57 P : 982
 BM : 14.19 V : 20
 C : 51 D : N.W.
 H : 8.15



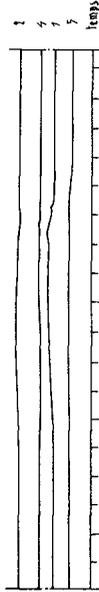
14

DATE: 11-1-57 h: 6.47
 PM: 6.57 P: 981
 BM: 16.19 V: 10
 C: 51 D: R.W.
 H: 6.35



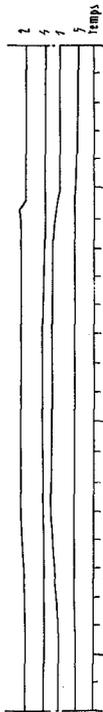
15

DATE: 11-1-57 h: 5.57
 PM: 6.57 P: 982
 BM: 16.19 V: 10
 C: 51 D: R.W.
 H: 10.10



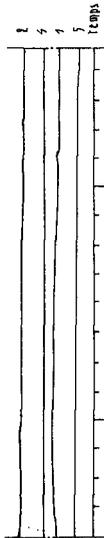
11

DATE: 11-1-57 h: 6.50
 PM: 6.57 P: 981
 BM: 16.19 V: 10
 C: 51 D: R.W.
 H: 6.30



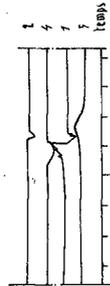
12

DATE: 11-1-57 h: 6.45
 PM: 6.57 P: 982
 BM: 16.19 V: 10
 C: 51 D: R.W.
 H: 9.07



13

DATE: 11-1-57 h: 6.10
 PM: 6.57 P: 981
 BM: 16.19 V: 10
 C: 51 D: R.W.
 H: 9.30



observées au cours des dernières années. L'intensité des chocs est restée modeste mais c'est la forme des phénomènes qui retient l'attention. Dans l'ensemble on a remarqué que les vents étaient très changeants ce qui, vis-à-vis de la houle, est d'une grande influence.

Nous reproduisons ci-joint quinze des enregistrements obtenus en 1953 qui présentent de l'intérêt. En raison de l'avarie survenue à un discriminateur, endommagé par une infiltration le long d'un câble co-axial, ces enregistrements ont porté sur quatre capteurs seulement (1, 2, 4 et 5).

Le plus souvent, les chocs semblent plus élevés sur le capteur le plus bas, situé à la cote (+ 5) ce qui est normal puisque celui-ci est situé dans la zone de déferlement. Dans quelques cas où l'on a obtenu une répartition des pressions, sur tous les capteurs, on s'aperçoit que les pressions enregistrées à la cote (+ 7,50) décroissent assez vite de part et d'autre du capteur central.

On observe également que l'échelonnement dans le temps du début du phénomène enregistré par chacun des capteurs place toujours en premier le capteur 5, c'est-à-dire le plus bas (cote + 5). En second, c'est généralement le capteur 1 (cote + 7,5) précédant de peu le capteur 2 (cote + 9) ; l'ordre est inversé très exceptionnellement. Quant au capteur latéral 4, il est attaqué, par rapport au capteur 1 avec des écarts de temps qui n'obéissent à aucune tendance, tantôt positifs, tantôt négatifs ; il lui arrive même de rester au zéro alors que les capteurs 1, 2 et 5, distants de quelque 2 mètres, enregistrent des chocs appréciables.

Un autre détail mérite d'être souligné : ce sont les dépressions, généralement faibles, qui précèdent un choc. L'existence de ces dépressions ne paraît liée ni à l'intensité du choc qui le suit, ni à la brutalité du choc.

On notera enfin le caractère très brutal de certains chocs, qui contraste avec la montée relativement très lente de la pression dans d'autres cas. L'enregistrement n° 6 est, à cet égard intéressant : tandis que le capteur inférieur 5 (cote + 5) n'indique qu'une montée "lente" (en 0"3) de la pression à 2 tonnes/m², valeur à laquelle elle se maintient pendant 2 secondes, le capteur 1 qui lui est immédiatement superposé (+ 7,50) se borne à vibrer puis accuse un choc de 7 t/m², valeur atteinte en 1/70^e de seconde. Trois centièmes de seconde plus tard, c'est le capteur 2 qui accuse un choc équivalent (6 t/m²), valeur atteinte en 1/50^e de seconde. Pour l'un et l'autre, la pression retombe après le choc et se maintient à (+ 2 t/m²) pendant 1,5 sec. Sur le capteur latéral 4, on enregistre, en même temps que sur le capteur 2, après une brève dépression, une montée "lente" (1/10^e sec.) de la pression à (1,5 t/m²).

CONCLUSIONS

La station de mesures du Havre a fourni déjà d'utiles indications sur la manière dont se produit le choc des lames sur les obstacles. Il paraît démontrer que les chocs élevés intéressent rarement des surfaces

importantes. Il est vraisemblable que, de même que les progrès de l'anémométrie ont permis, à mesure que les surfaces enregistreuses sur lesquelles s'exerce l'effort du vent devenaient de plus en plus exigües, de constater l'existence de pointes de vitesses de plus en plus élevées, que la réduction de la surface des capteurs de pression s'accompagne de la constatation d'efforts plus grands. Il est évident aussi que l'intégration des résultats très discontinus fournis par les cinq capteurs de la station du Havre est pratiquement impossible.

Les efforts que nous aurons à faire dans le futur dans la poursuite de nos investigations porteront dans trois directions :

- on s'efforcera d'observer le choc des lames dans des sites différents : nous étudions actuellement l'installation de capteurs de pression en Bretagne dans des zones particulièrement battues par les tempêtes.
- on tentera, par d'autres dispositions des capteurs, de recueillir des indications sur l'effort exercé par les lames sur des surfaces de l'ordre du m².
- on cherchera enfin à obtenir, parallèlement; une représentation de la surface de la mer dans une zone déterminée, de manière à connaître la morphologie exacte d'une mer agitée.

On compte procéder par stéréo-photogrammétrie, à l'instar de ce qui a été fait par nos collègues Italiens qui, à Naples, ont déjà obtenu, au moyen d'une station très perfectionnée, d'intéressants levés de la surface de la mer, enregistrés à des intervalles de temps suffisamment proches pour que l'on puisse étudier la déformation de cette surface dans le temps.

RESUME

THE HAVRE LABORATORY FOR MEASURING THE FORCE OF WAVES

Pierre D. Cot

The International Committee for studying the force of waves, a Committee set up by the International Association of Navigation Congresses, the activities of which were interrupted by the War, was reconstituted in 1950.

The Le Havre station was built on the Northern breakwater of the Port of Havre in 1949-1950 after an investigation concerning procedures to be used for recording pressure caused by waves.

The system adopted utilizes variable electric capacities. A manometric membrane made of glaucinum bronze, with a diameter of 30 mm ($1\frac{1}{4}$ "), carries with it when moving one armature of a condenser, the other armature of which remains stationary. The capacity variations thus introduced into an oscillating circuit with fixed frequency, controlled by quartz, are translated into tension variations. The advantages of such a system are good stability and almost complete absence of distortion within the limits of use.

Five pressure cells are arranged on the wall of the head of the breakwater. A central cell is placed in position at the (+7.50 m = 25') level; around it are placed the four other cells, two of which are on the same vertical at the (+5m = 16'6") and (+9m = 30') levels. The other two are in the same horizontal line at the (+7.50 m) level. The distance between them on that same horizontal line measures 2 meters (6'). Those levels are referred to the datum of charts. Practically, the lowest tides fall to (+0.30 m = 1') and the highest rise to (+8.30 m = 28').

The recorders are placed at 600 meters (2000') from the cells in a shelter erected at the shore end of the breakwater on an open space which can be reached in all weather conditions.

The installation is supplied with two oscilloscopes of the same type. Distribution of the pressure of the three peripheric cells, as well as the time, is made on the first; on the second are the pressures of the central and two peripheric cells, as well as the time recording. In that way there are available two curves for recording any phenomena it might appear necessary to measure permanently (the height of the waves, for instance, transmitted by an appropriate indicator).

The arrangements adopted for this station are such as to enable observers to reach the recording-room in all weather, irrespective of the state of the sea which, in general, covers the breakwater at the time of gales. The installation, finished during the summer of 1950, was able to provide several usable recordings in 1951, 1952 and 1953.

Upon examination of a recording of pressures produced by the waves, it can be observed that in the case of a wave forming a well characterized breaker, the rise in pressure is shown, in general, in a very abrupt manner; its maximum is reached at the end of a length of time of about 1/100th of a second. Afterwards there is seen, near the maximum, a succession of oscillations, very close to each other in the first place, with very short periods, which will lengthen and finally damp out completely. The spot on the oscilloscope resumes its original position at the end of a varying but very short length of time. In a few cases it is possible to note immediately following the rapid rise of the shock, when the spot has not yet resumed its place at the point corresponding to zero pressure, a rather long oscillation with regard to its duration (of one to three seconds) of rather weak amplitude, having the behaviour of a static pressure. Under such circumstances, there is a double manifestation of the swell frontage; in the first place a shock corresponding to a breaker-wave which takes place when the wall of the breakwater is reached; then, following up immediately, a rise in the bulk of water producing a static pressure.

Most often the shocks seem the highest on the pressure cell set in the lowest position, that is to say, at the (+5 m = 16'6") level; this is normal since the latter is established in the zone of wave-breaking. In a few cases where it has been possible to obtain a distribution of pressures on all the cells, it has been ascertained that the pressures recorded at the (+7.50 m = 25') level, fall away rather quickly on each side of the central cell.

Finally, there should be noted the very brutal character of certain

shocks in which pressures running from 5 to 10 t/sq.m. are reached in 1/50 to 1/70 of a second, thus providing a contrast with the relatively very slow rise (in 1/2 or 1/3 second) of the pressure in other cases.

The measuring station at Le Havre has already supplied useful indications concerning the way in which the shock of breakers against obstacles is produced. It would seem to be shown that high shocks rarely interest important surfaces. Investigations still in progress also bear upon a representation of the surface of the sea by stereo-photogrammetry.