

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 82 (1956)  
**Heft:** 14

**Artikel:** Les essais sur modèles d'ouvrages maritimes: application à l'étude expérimentelle de la jetée nord du port de Samsun (Mer Noire)  
**Autor:** Bonnard, D.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-62068>

### **Nutzungsbedingungen**

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

### **Conditions d'utilisation**

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

### **Terms of use**

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

**Download PDF:** 26.01.2026

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

# BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les quinze jours

**Abonnements:**  
Suisse: 1 an, 26 francs  
Etranger: 30 francs  
Pour sociétaires:  
Suisse: 1 an, 22 francs  
Etranger: 27 francs  
Prix du numéro: Fr. 1.60  
Ch. post. « Bulletin technique de la Suisse romande »  
N° II. 57 75, à Lausanne.

Adresser toutes communications concernant abonnements, changements d'adresse, expédition à  
**Imprimerie La Concorde,**  
Terreaux 31, Lausanne

**Rédaction**  
et éditions de la S.A. du  
Bulletin technique (tirés à part), Case Chauderon 475  
Administration de la S.A.  
du Bulletin Technique  
Ch. de Roseneck 6 Lausanne

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des Anciens élèves de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale.

Comité de patronage — Président: R. Neeser, ingénieur, à Genève; Vice-président: G. Epitoux, architecte, à Lausanne; Secrétaire: J. Calame, ingénieur, à Genève — Membres, Fribourg: MM. H. Gicot, ingénieur; M. Waeber, architecte — Vaud: MM. A. Gardel, ingénieur; A. Chevalley, ingénieur; E. d'Okolski, architecte; Ch. Thévenaz, architecte — Genève: MM. Cl. Groscurin, architecte; E. Martin, architecte — Neuchâtel: MM. J. Béguin, architecte; R. Guye, ingénieur — Valais: MM. G. de Kalbermatten, ingénieur; D. Burgener, architecte.

Rédaction: D. Bonnard, ingénieur. Case postale Chauderon 475, Lausanne.

Conseil d'administration  
de la Société anonyme du Bulletin technique: A. Stucky, ingénieur, président;  
M. Bridel; G. Epitoux, architecte; R. Neeser, ingénieur.

## Tarif des annonces

1/1 page	Fr. 264.—
1/2 »	» 134.40
1/4 »	» 67.20
1/8 »	» 33.60

Annonces Suisses S. A.  
(ASSA)



Place Bel-Air 2. Tél. 22 33 26  
Lausanne et succursales

**SOMMAIRE:** Les essais sur modèles d'ouvrages maritimes, par D. BONNARD, professeur à l'Ecole polytechnique de Lausanne, ingénieur-conseil. — DIVERS: Enquête sur l'essai des bétons de ciment au scléromètre. — BIBLIOGRAPHIE. — CARNET DES CONCOURS. — SERVICE DE PLACEMENT. — DOCUMENTATION GÉNÉRALE. — DOCUMENTATION DU BATIMENT. — INFORMATIONS DIVERSES.

COMMUNICATIONS DU LABORATOIRE D'HYDRAULIQUE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE L'UNIVERSITÉ DE LAUSANNE  
Directeur: M. le professeur A. STUCKY — Directeur-adjoint: M. le professeur D. BONNARD

## LES ESSAIS SUR MODÈLES D'OUVRAGES MARITIMES

### Application à l'étude expérimentale de la jetée nord du port de Samsun (Mer Noire)

par D. BONNARD, professeur à l'Ecole polytechnique de Lausanne,  
Ingénieur-conseil<sup>1</sup>

#### 1. Introduction

Le Laboratoire d'hydraulique de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne entreprit dès 1933 des essais sur modèles pour élucider divers problèmes posés par le comportement d'ouvrages maritimes soumis à l'énergie de la houle.

Les premières études portèrent sur l'action de la houle sur les digues à parois verticales. Ces travaux, déjà anciens, ont été partiellement publiés<sup>2</sup>. Ils furent entre-

pris avec la collaboration d'administrations ou de personnalités de France et d'Italie peu après l'accident survenu à la jetée de Mustapha, à Alger.

Un second groupe de recherches, dont certains sont récentes, porta sur la tenue à la mer de digues en enrochements de types divers. Mentionnons pour mémoire l'étude du brise-lames de Leixões, exécutée avec la collaboration de l'administration portugaise et qui fit l'objet, en 1937 déjà, de publications<sup>3</sup>, et l'étude de la jetée du Port-Noir, à Genève, sur le Léman<sup>4</sup>. Plus récemment, en 1954, le Laboratoire d'hydraulique de l'Ecole polytechnique de Lausanne entreprenait,

<sup>1</sup> Communication présentée par l'auteur lors des IV<sup>es</sup> Journées françaises de l'hydraulique, organisées à Paris, en juin 1956, par la SOCIÉTÉ HYDROTECHNIQUE DE FRANCE, sous le thème: « Les énergies de la mer ».

<sup>2</sup> A. STUCKY: Contribution à l'étude de l'action des vagues sur une paroi verticale. *Bulletin technique de la Suisse romande*, 29.9 et 13.10.1934.

P. J. M. RENAUD: La jetée de Mustapha au port d'Alger. *Annales des Ponts et Chaussées*, mai 1935.

A. STUCKY et D. BONNARD: Action des vagues sur les digues à paroi verticale. *Bulletin technique de la Suisse romande*, 7.12.1935.

E. COEN CAGLI: L'action des lames de tempête sur les digues maritimes à paroi verticale. *Génie civil*, 29.8.1936.

A. STUCKY et D. BONNARD: Action des vagues sur les digues à paroi verticale, étude expérimentale. *Travaux*, édition « Science et Industrie », janvier 1937.

<sup>3</sup> A. STUCKY et D. BONNARD: Contribution à l'étude expérimentale des digues maritimes en enrochements. *Bulletin technique de la Suisse romande* des 28 août 1937 et 15 janvier 1938.

DUARTE ABECASIS: O prolongamento do molhe norte do porto de Leixões. *Boletim da ordem dos engenheiros*, Lisbonne, 1938.

<sup>4</sup> Exécutés à l'échelle du 1:25 pour des houles de 30 m entre crêtes et de 2,00 m de creux, ces essais montrèrent en particulier qu'à poids égal, les blocs erratiques, ne comportant pas ou peu d'arêtes vives, d'une densité plus grande, donc de volume moindre, étaient plus stables que les blocs de béton en forme de tétraèdre de même poids, soit 2,2 t. La jetée construite avec de tels blocs erratiques, à disposition dans la rade de Genève, s'est fort bien comportée dès lors.

avec des moyens d'investigation nouveaux, l'étude de la stabilité du parement et du couronnement de la jetée Nord du port de Samsun, sur la mer Noire ; cette étude, décrite en grandes lignes dans cette communication, fut exécutée avec la collaboration d'entreprises allemandes<sup>1</sup> et pour le compte du gouvernement turc.

Un troisième groupe d'études, exécutées dans le domaine maritime par le Laboratoire d'hydraulique de Lausanne, se rapporte à la recherche des implantations optimum des ouvrages extérieurs et des murs de quai, de manière à obtenir les conditions voulues de calme dans les bassins et d'accessibilité aux ports en périodes de tempête. Les essais les plus importants réalisés en cette matière le furent dès 1946, avec la collaboration de l'administration portugaise, pour un aménagement portuaire aux Açores ; mentionnons en outre les expériences du même genre exécutées de 1951 à 1954 pour l'étude des implantations les plus favorables des nouveaux bassins du port d'Ouchy-Lausanne, sur le lac Léman.

## II. Méthodes d'expérimentation

### A. Les essais en chenaux (à deux dimensions)

Les premiers essais relatifs à l'action de la houle sur les digues à parois verticales ou en enrochements furent exécutés dans des chenaux de 30 cm de large, d'une quinzaine de mètres de longueur, à des échelles variant du 1 : 30 au 1 : 70. Les générateurs de houle étaient des batteurs mécaniques à palettes mus par moteurs électriques et de types divers.

Dès lors nous avons été amenés à remplacer ces essais en chenal étroit par des expériences en chenal large permettant l'essai simultané et juxtaposé sous la même houle de tronçons d'ouvrages de constitutions différentes (fig. 9) ; les générateurs de houle à palettes firent place à un générateur de houle pneumatique. Parallèlement, nos méthodes de détermination des caractéris-

tiques de la houle et de l'agitation dans les bassins au modèle, ainsi que celles des mesures des efforts ou pressions sur les ouvrages, évoluèrent dans le sens indiqué au paragraphe C ci-dessous.

### B. Les essais en bassins (à trois dimensions)

Les études importantes dont notre Laboratoire fut chargé motivèrent, dès 1946, la création d'une station d'essais maritimes qui ne trouva pas place dans les locaux de l'Ecole polytechnique et dut être installée en plein air.

Le bassin dont dispose cette station (fig. 1) a une surface maximum de 736 m<sup>2</sup> (23 m × 32 m) et une profondeur atteignant 1,00 m. Il est équipé d'un générateur de houle<sup>1</sup> pneumatique (fig. 2) permettant facile-

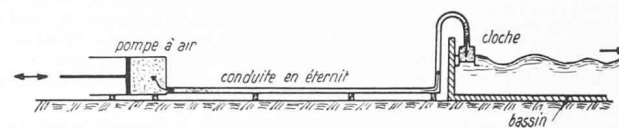


Fig. 2. — Schéma du générateur de houle.

ment, par simple pose ou déplacements de tuyauteries d'air légères en amiante-ciment (joints Gibault) et de cloches plongeantes en peraluman, l'émission de la houle sur l'une de ses quatre faces, parallèlement à l'une des deux directions rectangulaires. A l'origine les

<sup>1</sup> Le générateur de houle est composé :

- 1° d'un moteur à explosion (moteur et châssis automobile) de 35 CV ;
- 2° de deux pompes à air à pistons (80 × 80 cm), course maximum : 1 m environ ;
- 3° de canalisations en « Eternit » (∅ 150 mm), reliant les pompes à air aux « cloches » ;
- 4° de six cloches, éléments métalliques de 3,80 m de longueur pouvant se fixer à volonté sur l'une ou l'autre des faces du bassin d'essais.

Le générateur de houle peut produire des houles de longueur d'onde comprise entre 1 et 2 m, et d'amplitude variant de 3 à 12 cm. Le réglage de la longueur d'onde de la houle s'obtient en modifiant la vitesse du moteur ; le réglage de l'amplitude s'obtient en modifiant la course des pistons des pompes à air et par conséquent le volume d'air mis en mouvement.

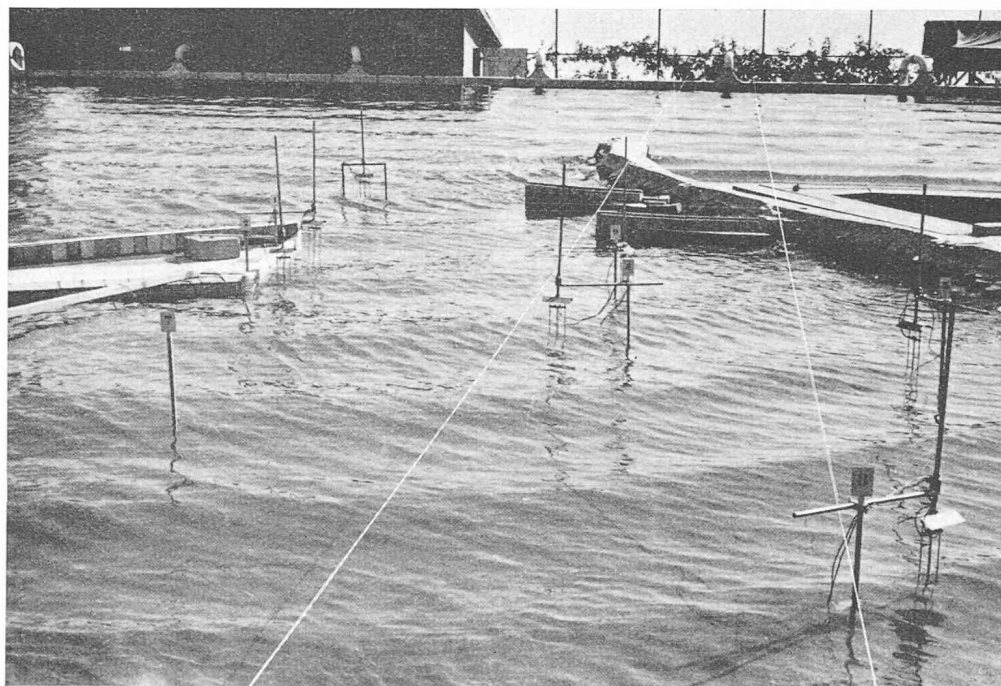


Fig. 1. — Vue générale du bassin de la station d'essais maritimes du Laboratoire d'hydraulique de l'Ecole polytechnique de Lausanne.

Le modèle est celui d'un port aux Açores. Au second plan le bâtiment abritant la pompe à air, les canalisations d'air et la cloche plongeante du générateur de houle pneumatique. A l'entrée et à l'intérieur du port, des électrodes de mesure par voie électrique de l'amplitude des oscillations.

<sup>1</sup> Philipp Holzmann A.G. et Hochtief A.G.

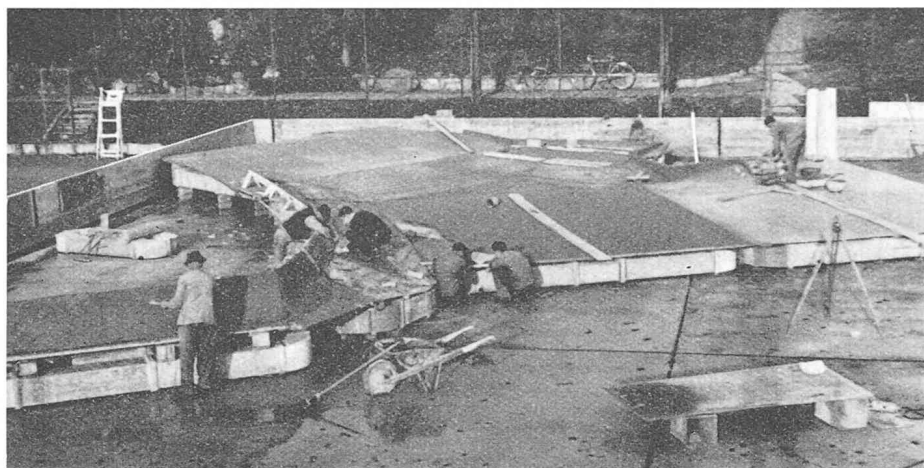


Fig. 3. — Construction d'un modèle sur gaines étanches en amiante-ciment (pontons).

modèles étaient construits soit sur plates-formes pivotantes, soit sur pontons pouvant être allégés et modifiés dans leur orientation afin de pouvoir soumettre un aménagement à des houles de directions différentes (fig. 3). L'expérience a montré cependant qu'en disposant, de manière fixe, de deux directions de houle perpendiculaire et parallèle aux côtés du bassin, on pouvait répondre dans la plupart des cas, et sans rendre la maquette mobile, aux besoins de l'étude tout en retirant le bénéfice, en ce qui concerne les effets secondaires aux limites, de houles courant perpendiculairement aux parois<sup>1</sup>.

Toutes les études ayant pour but la recherche de l'implantation optimum des ouvrages compte tenu de la propagation de la houle dans les bassins et de l'agitation au droit des passes d'entrée des ports, ont comporté, préalablement aux essais, l'établissement en première approximation du tracé des ouvrages et des quais en appliquant la méthode préconisée par M. H. Gridel<sup>2</sup> pour le calcul graphique des propagations. Cette méthode nous a donné d'excellents résultats.

Les essais propres à déterminer l'implantation d'ouvrages portuaires ont en général été exécutés à des échelles variant du 1 : 40 au 1 : 70. Nous avons pu constater que ces échelles garantissaient une excellente similitude entre modèle et vraie grandeur pour tous les phénomènes de propagation, à condition qu'un soin suffisant soit mis à reproduire en Laboratoire la topographie et la nature des fonds ainsi que les caractéristiques des surfaces des ouvrages ou quais exposés à la houle.

Notre Laboratoire n'a pas entrepris, ces dernières années, d'études importantes relatives aux mouvements des fonds mobiles au voisinage d'installations portuaires ou d'estuaires. Il a cependant contribué utilement à élucider divers problèmes posés par la constitution de plages de sable naturelles ou artificielles sur la rive nord du lac Léman. Ses installations d'expérimentation en ce domaine n'offrent cependant aucune particularité digne de mention.

<sup>1</sup> Ce fut le cas notamment pour l'étude du port d'Ouchy-Lausanne sur le Léman, les deux vents dominants ayant des directions sensiblement perpendiculaires l'une à l'autre.

<sup>2</sup> *Annales des Ponts et Chaussées*, I et III, 1946.

### C. Les méthodes de mesure, d'enregistrement et d'observation des phénomènes sur les modèles

Lors des recherches déjà anciennes faites en chenal pour la détermination des efforts agissant sur les digues à parois verticales, les caractéristiques soit de la houle incidente, soit du clapotis étaient relevées sommairement par simples mesures limnimétriques ou étudiées de manière plus détaillée par procédé photographique ou cinématographique en immergeant des particules de densité et de luminosité convenables.

La mesure des pressions instantanées à la paroi verticale était faite par petits dynamomètres mécaniques de types divers<sup>1</sup> dont l'usage était compliqué sans que l'on obtienne dans tous les cas une précision suffisante.

Plus récemment, en ce qui concerne la mesure au modèle des caractéristiques de la houle, nous avons successivement mis au point les méthodes suivantes :

Pour avoir une indication rapide de l'amplitude de la houle en différents points d'un bassin nous eûmes recours à des sondes à résistance (fig. 1). Ces sondes étaient constituées par deux tiges métalliques de quelques millimètres de diamètre espacées d'environ 1 cm. La méthode utilisée consistait à mesurer la conductance de la sonde alimentée en courant alternatif à 50 Hz. L'observation se faisait sur un oscillographe cathodique en mesurant l'élongation prise par le spot.

Cette méthode, d'une grande simplicité dans sa mise en œuvre, était d'un emploi assez malcommode puisqu'il fallait effectuer les lectures au rythme de la houle, soit deux lectures par seconde environ. D'autre part, vu la faible fréquence du courant utilisé, les électrodes étaient le siège de phénomènes électrochimiques qui faisaient varier leurs caractéristiques d'une expérience à l'autre.

Nous avons perfectionné la méthode précédente en utilisant un oscillographe à rayons lumineux. Nous disposions ainsi d'un appareillage permettant l'enregistrement sur papier photographique du mouvement de l'eau.

Cette méthode ne nous donnant cependant pas entière satisfaction, nous avons abordé le problème différemment : en mesurant les variations de pression au passage de la houle, à une profondeur donnée.

Nous avons utilisé pour cela une installation fabriquée par la maison Vibro-Meter, de Fribourg (Suisse) pour la mesure des pressions rapidement variables. Cette installation comprend une sonde qui transforme les variations de pression en variations de self-induction des bobines qu'elle contient. La sonde est reliée à un

<sup>1</sup> L'un des principes appliqués consistait en la mesure des déformations instantanées sous l'effet de la pression de petits diaphragmes en caoutchouc logés dans la paroi verticale et appuyés sur des lames métalliques flexibles ; déformations amplifiées par un jeu de miroirs projetant un spot lumineux sur une échelle préalablement graduée par tarage de l'appareil sous pression hydrostatique. La précision obtenue était de 2,5 mm d'eau au modèle.



appareil électronique qui délivre une puissance suffisante pour actionner un enregistreur à rayons lumineux.

Cette deuxième méthode, mise en œuvre pour l'étude du port de Samsun, a donné de bons résultats (fig. 6 et 8). Elle présente toutefois l'inconvénient de nécessiter un étalonnage avant chaque essai, l'appareillage électronique pouvant parfois présenter une certaine instabilité. D'autre part, la pression à un niveau donné n'est pas une fonction linéaire de la hauteur d'eau instantanée, résultant de la houle. Pour les houles réalisées couramment en modèles les corrections à effectuer, par rapport à un tarage sous pressions hydrostatiques, peuvent aller jusqu'à environ 30 % ; les corrections sont plus faibles pour les houles de petite amplitude vis-à-vis de la longueur d'onde.

Pour ces raisons, nous avons décidé de développer une méthode permettant l'enregistrement direct de la hauteur d'eau instantanée. Le procédé actuellement à l'étude consiste à mesurer la capacité existant entre un fil électrique isolé et l'eau qui l'entoure. Cette méthode présente les avantages suivants :

- 1° Mesure directe du niveau de l'eau, la capacité étant directement proportionnelle à la quantité de fil immergée.
- 2° Effet de ménisque réduit grâce à l'emploi de fils fins.
- 3° Possibilité, soit d'enregistrer directement les mouvements du plan d'eau, soit de créer un appareil permettant la mesure de la différence de hauteur entre un creux et une crête successifs.
- 4° Utilisation possible de plusieurs capteurs avec le même appareillage rendant ainsi possible la comparaison des amplitudes en différents points d'un modèle simultanément.
- 5° Indifférence complète vis-à-vis des caractéristiques électriques de l'eau.

Cette méthode semble être l'une des mieux adaptées au problème particulier des mesures de houle en modèles. Par contre, lorsqu'il s'agit de mesurer des pressions à la surface des ouvrages, l'appareil Vibro-Meter décrit plus haut est d'un emploi extrêmement commode ; il remplace avantageusement, pour la mesure des efforts aux parois, les anciens dynamomètres mécaniques.

Les phénomènes de réflexion totale ou partielle ou de déferlement de la houle sur les ouvrages sont fixés essentiellement par procédé photographique et cinématographique ; il en est de même de l'évolution dans le temps des destructions qui surviennent aux ouvrages ou du mécanisme de celles-ci<sup>1</sup>. Les prises de vues « au ralenti » sont particulièrement indiquées dans ce dernier cas.

Les films cinématographiques donnant le compte rendu détaillé des essais sur modèles constituent l'un des éléments essentiels de la documentation nécessaire à l'interprétation des expériences ; ils permettent de revenir en tout temps et quelle qu'ait été l'évolution de l'étude à l'observation détaillée d'expériences antérieures ; ils facilitent grandement la tâche de l'expérimentateur lorsque celui-ci doit motiver auprès du

constructeur les avantages et les inconvénients de telle ou telle disposition des ouvrages et ils permettent après coup une comparaison précise des phénomènes du modèle avec ceux de la vraie grandeur, ce qui n'est pas à négliger pour un institut cherchant à connaître toujours mieux la précision de ses méthodes d'investigation.

### III. Exposé succinct de l'étude de la jetée nord du port de Samsun (Turquie)<sup>1</sup>

Les essais eurent pour but la recherche d'un profil en travers de l'ouvrage et d'une constitution des talus et du couronnement de celui-ci propres à lui conférer une stabilité suffisante sous l'effet de tempêtes l'abordant de front, avec houles d'une longueur  $2L$  entre crêtes variant de 93 à 140 m et un creux  $2h$  de 4,00 à 7,00 m.

#### A. Installation d'essais et méthodes d'expérimentation

Les essais furent exécutés dans un bassin de 32 m sur 7,60 m, tel que représenté à la figure 5.

Ils consistaient à faire agir, sur une tranche de l'ouvrage, construite à l'échelle du 1 : 70, des houles de caractéristiques diverses obtenues par un générateur du type pneumatique et à observer la tenue des éléments constitutifs de l'ouvrage.

Les caractéristiques de la houle pour chaque expérience étaient contrôlées par trois méthodes différentes : la photographie de son profil tel que donné sur une échelle graduée fixée sur l'une des parois du bassin (fig. 7), la mesure directe manuelle de son creux et de sa longueur, l'enregistrement rigoureux des variations des profondeurs en fonction du temps en un point déterminé au moyen d'un capteur de pression différentielle à membranes de haute sensibilité, type Vibro-Meter, figure 6.

<sup>1</sup> C'est le 3 septembre 1954 que la Maison Philipp Holzmann A G. à Francfort-sur-le-Main, chargeait le Laboratoire d'hydraulique de l'Ecole polytechnique de Lausanne de l'exécution d'une première série d'essais sur modèles propres à élucider divers problèmes de stabilité posés par la construction de la jetée Nord du port de Samsun, sur la Mer Noire (fig. 4).

Le 23 novembre 1954, la même société nous passait commande d'une deuxième série d'essais dont le but était de contrôler le bien-fondé des dispositions constructives choisies par elle à la suite des constatations faites lors des premières expériences.

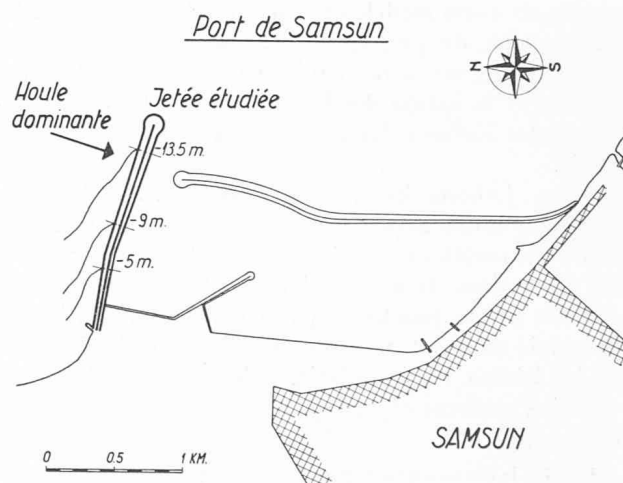


Fig. 4. — Plan du port de Samsun (Turquie).

<sup>1</sup> Toutes les prises de vue sont faites en lumière du jour.

#### Matériel utilisé :

pour la photographie, film 120 panchromatique à grande sensibilité (100 à 160 degrés ASA) et grain fin ;  
pour le cinéma, film inversible noir/blanc, 16 mm, panchromatique, sensibilité 40 à 100 degrés ASA ; rapidité de prise de vue : 18 à 64 images/seconde.



Fig. 5. — Vue générale du bassin construit pour les essais de la jetée Nord du port de Samsun.

1. Bassin — 2. Jetée — 3. Générateur de houle  
— 4. Appareils enregistreurs.

Les phénomènes se produisant aux abords de l'ouvrage et sur celui-ci furent observés directement à partir d'une passerelle facilitant l'accès en tous points du modèle (fig. 10).

Chaque expérience fit l'objet de nombreuses prises de vues photographiques et d'un métrage important de film cinématographique fixant aussi bien l'allure des phénomènes observés pendant la tempête que l'importance et la nature des dégâts survenus sur l'ouvrage.

En choisissant, pour de tels essais, l'échelle du 1 : 70, on excluait toutes causes de manque de similitude entre expérience et vraie grandeur pouvant résulter d'effets de frottement exagéré sur le fond du bassin ou de l'action des forces de viscosité sur les phénomènes de

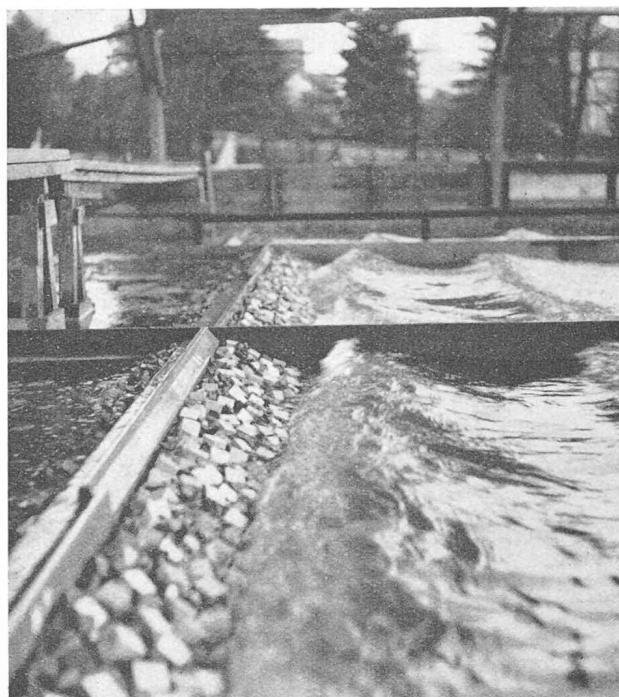


Fig. 9. Déferlement de la houle sur le modèle.

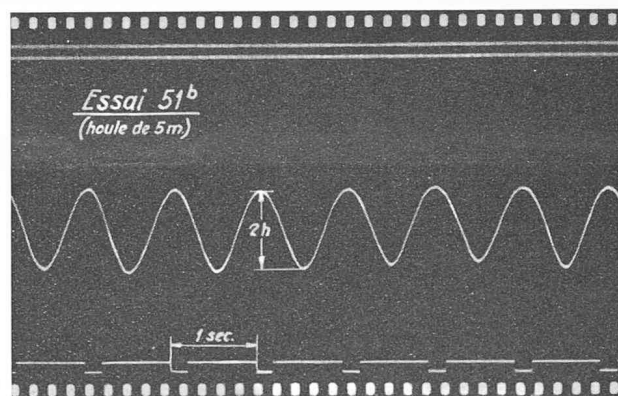


Fig. 8. — Oscillogramme représentatif d'une tempête.

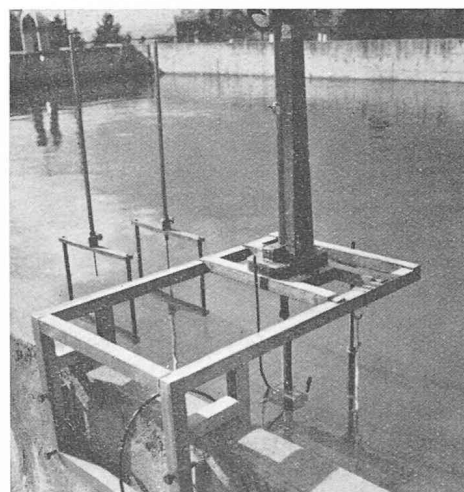
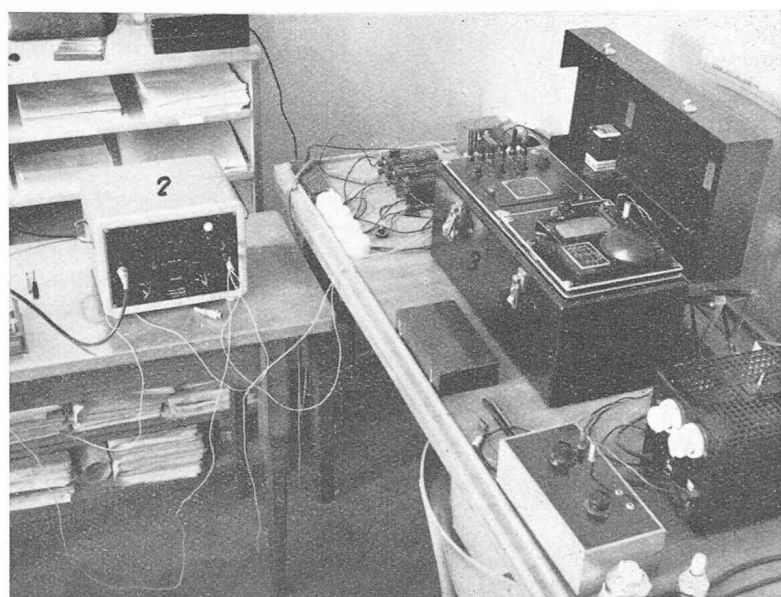


Fig. 6. — Appareils enregistreurs des caractéristiques de la houle.

1. Capteur de pression.  
2. Amplificateur électronique.  
3. Oscillographe enregistreur à boucles.

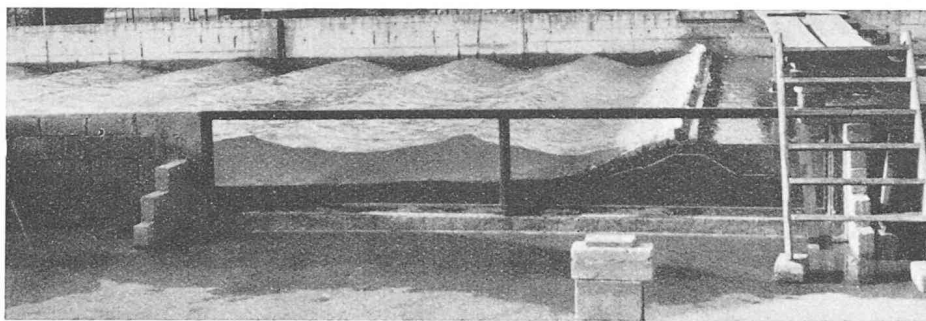


Fig. 10. — Vue générale du chenal d'essai avec passerelle d'observation.

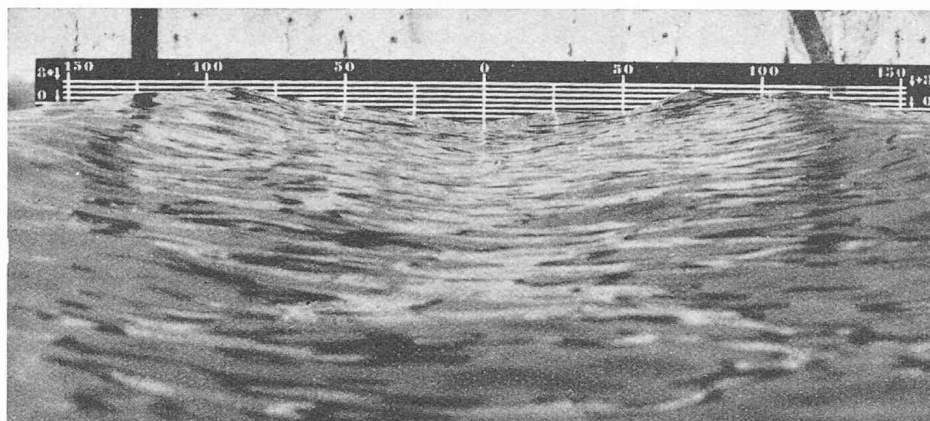


Fig. 7. — Détermination des caractéristiques de la houle par photographie de son profil.

déformation et de déferlement de la houle au voisinage ou sur l'ouvrage.

Les figures 9, 11 et 12 ont été choisies parmi beaucoup d'autres ; elles montrent l'allure parfaitement normale du déferlement de la houle sur la jetée.

Les fonds sous-marins, au large du tronçon de jetée soumis aux essais, furent reproduits avec leur pente jusqu'à une profondeur de — 25 m environ. Plus au large, le bassin avait une profondeur uniforme de 0,56 m, correspondant à — 40 m en vraie grandeur, et s'étendait jusqu'au générateur de houle distant de 25 m du modèle.

La construction des modèles de jetées en enroche-

ments, le choix des matériaux et le mode de mise en place des blocs constitutifs des talus furent particulièrement étudiés, afin de reproduire au modèle les mêmes conditions que celles réalisées sur le chantier par les engins de manutention.

Précisons encore que l'installation, du fait de la largeur du chenal d'expérimentation, permit de soumettre simultanément à l'action d'une même tempête plusieurs profils différents de jetées, facilitant ainsi grandement la comparaison des phénomènes entre eux et permettant de faire ressortir clairement les avantages ou inconvénients de telle ou telle disposition constructive (fig. 9, 11 et 12).

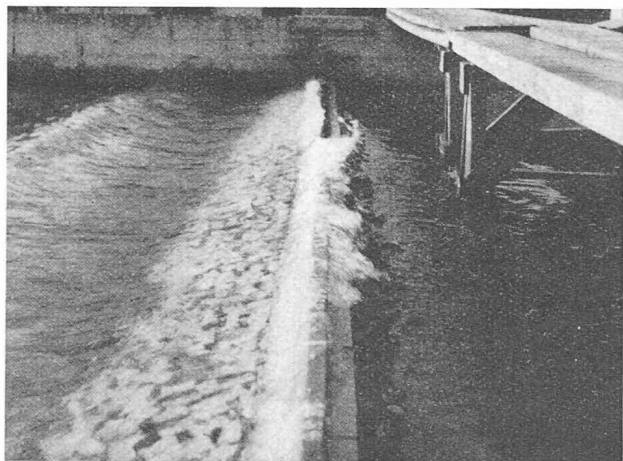


Fig. 11. — Action simultanée de la houle sur deux modèles différents par la disposition du couronnement.

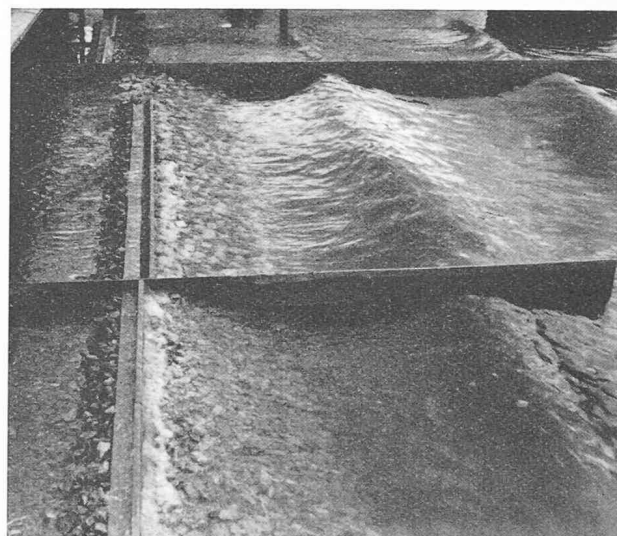


Fig. 12. — Action simultanée de la houle sur trois modèles différents par la constitution des talus extérieurs et du couronnement.



### B. Résultats de la première série d'expériences

Les caractéristiques, en profil en travers, des ouvrages étudiés par cette première série d'expériences sont données aux figures 13 et 14.

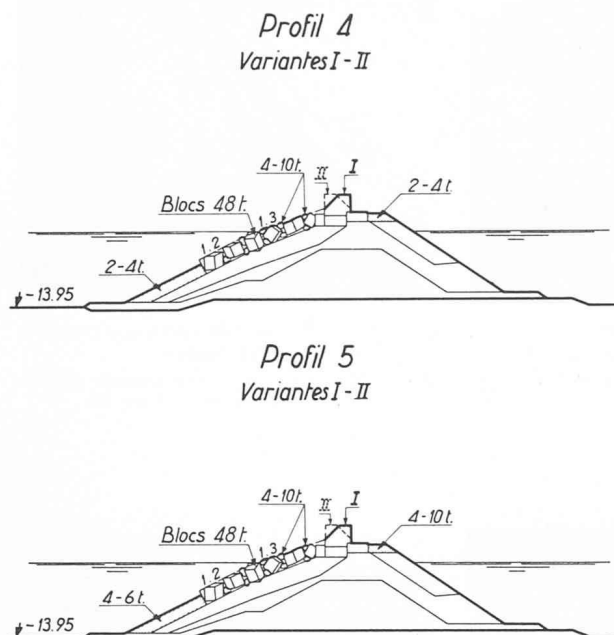


Fig. 13. — Profils types ayant fait l'objet de la première série d'essais.

Le tableau ci-après donne l'énumération des essais effectués, en précisant pour chacun d'eux les caractéristiques de l'ouvrage et de la tempête à laquelle il fut soumis.

Essai	Variante Couronnement	Profil Enrochements	Tempête		
			2h	2L	Durée
41	II	5	4 m	93 m	8 h 20'
47	II	4	4 m	93 m	8 h 20'
42	II	5	5 m	116 m	8 h 20'
48	II	4	5 m	116 m	8 h 20'
45	1/2 I - 1/2 II	5	5 m	116 m	8 h 20'
51	1/2 I - 1/2 II	4	5 m	116 m	8 h 20'
43	II	5	6 m	140 m	48 h
49	II	4	6 m	140 m	48 h
46	1/2 I - 1/2 II	5	6 m	140 m	48 h
52	1/2 I - 1/2 II	4	6 m	140 m	48 h
44	II	5	7 m	140 m	48 h
50	II	4	7 m	140 m	48 h

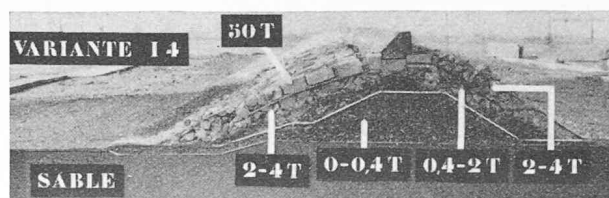
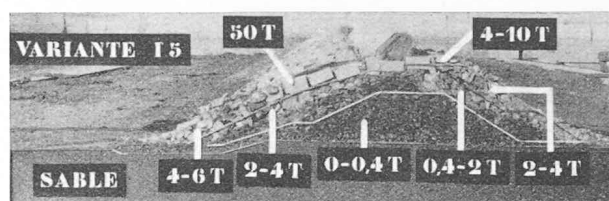
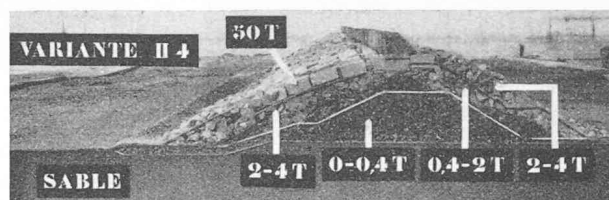
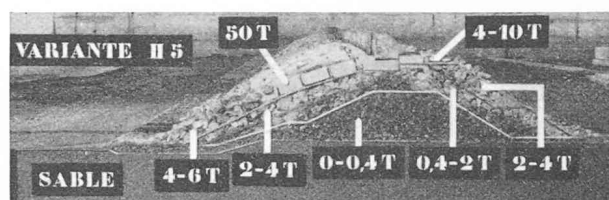


Fig. 14. — Profils des modèles de la première série d'expériences.

#### Essais 41 et 47 — Houles de 4 m

L'ouvrage résiste parfaitement aux houles de cette amplitude.

#### Essais 42, 48, 45 et 51 — Houles de 5 m

Ces quatre essais ont montré encore une excellente stabilité des blocs de 48 t; sur le parement extérieur, seuls un ou deux éléments dont l'assise était particulièrement mauvaise ont été déplacés. Par contre les déversements se produisant par-dessus le couronnement de l'ouvrage, pour la variante I, provoquent déjà pour cette amplitude de houle, côté port, un entraînement important des enrochements supérieurs du talus.

Pour la variante II du couronnement, l'ouvrage est stable dans sa totalité.

Les figures 15, 16 et 17 illustrent ces faits.

#### Essais 43, 49, 46 et 52 — Houles de 6,00 m

Les houles de 6,00 m sont cause de premiers dégâts d'ampleur limitée sur le parement extérieur par entraînement des blocs de 48 t. Toutefois ces dégâts ne sont pas apparus lors de tous les essais et sont dus, pour une part, vraisemblablement à des défauts de mise en place de quelques éléments du modèle.

Les dégâts côté port, par déversement, sont pour cette amplitude de houle très importants avec la variante I du couronnement, quel que soit le tonnage des enrochements.



## PREMIÈRE SÉRIE D'EXPÉRIENCES

## ESSAI 45

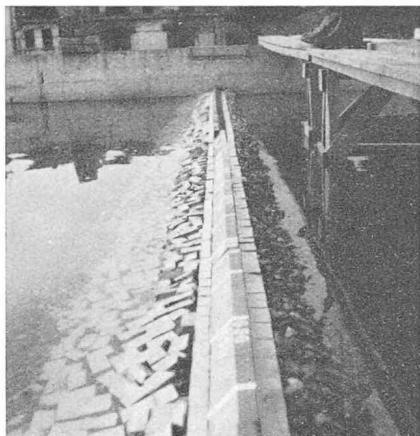


Fig. 15. — Le modèle avant les essais. Au premier plan : couronnement variante I ; à l'arrière-plan : couronnement variante II — essai 45.

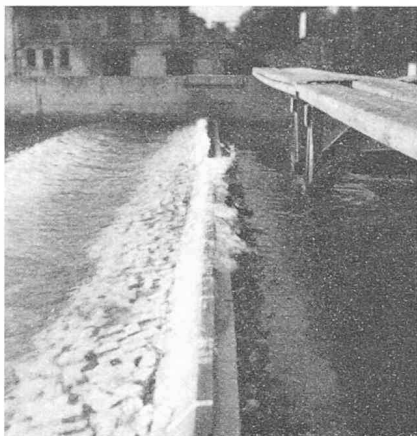


Fig. 16. — Le modèle pendant les essais. Au premier plan : déversement sur le couronnement variante I — essai 45.

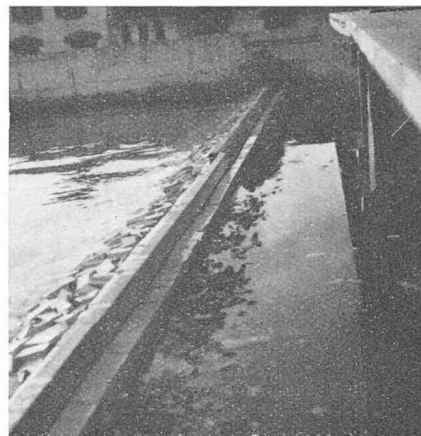


Fig. 17. — Le modèle après une tempête de 48 heures. Au premier plan : destruction partielle du faite du talus côté port — Essai 45.

## ESSAI 52

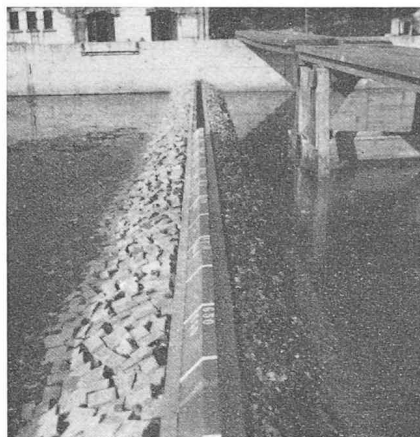


Fig. 18. — Le modèle avant l'essai 52.

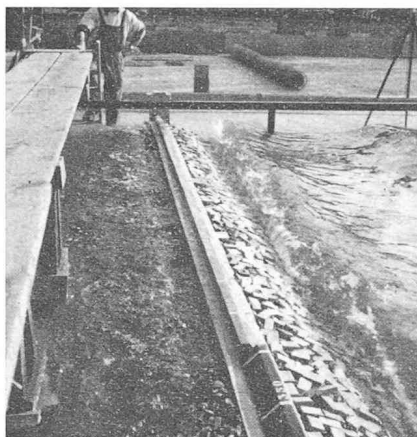


Fig. 19. — Le modèle pendant l'essai 52.



Fig. 20. — Le modèle après une tempête de 48 heures — essai 52. Avec variante I du couronnement : graves destructions du talus côté port. Avec variante II : quelques dégâts.

## ESSAI 50

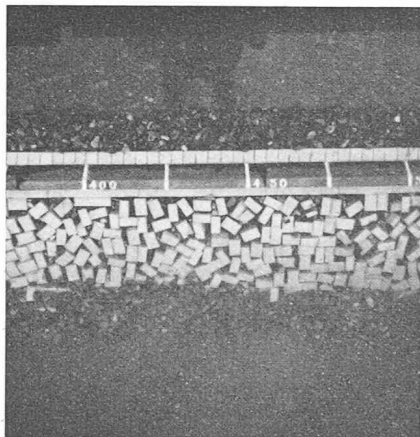


Fig. 21. — Le modèle avant l'essai 50.

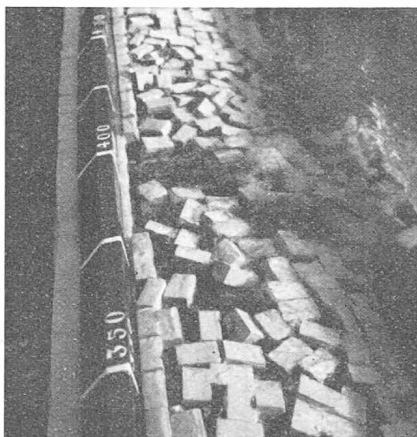


Fig. 22. — Le modèle après 40 heures de tempête, essai 50.

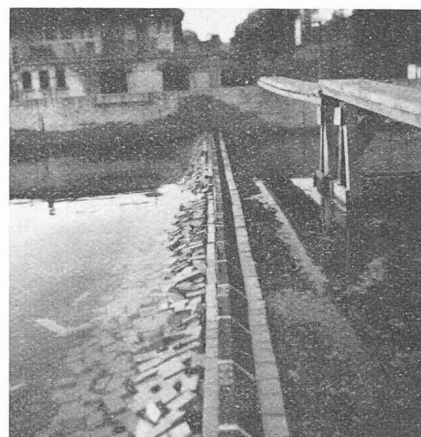


Fig. 23. — Le modèle après essai 50. Grosses destructions côté port. Graves dégâts sur le parement extérieur.

Avec la variante II du couronnement, ces dégâts sont très fortement atténués mais existent cependant.

Les figures 18, 19 et 20 illustrent ces constatations.

#### Essais 44 et 50 — Houles de 7 m

Le parement extérieur de l'ouvrage ne résiste pas à des tempêtes de cette amplitude; les blocs de 48 t sont entraînés.

Le parement côté port est détruit rapidement par déversement de la houle et cela même pour la variante II du couronnement et les enrochements de 4 à 10 t.

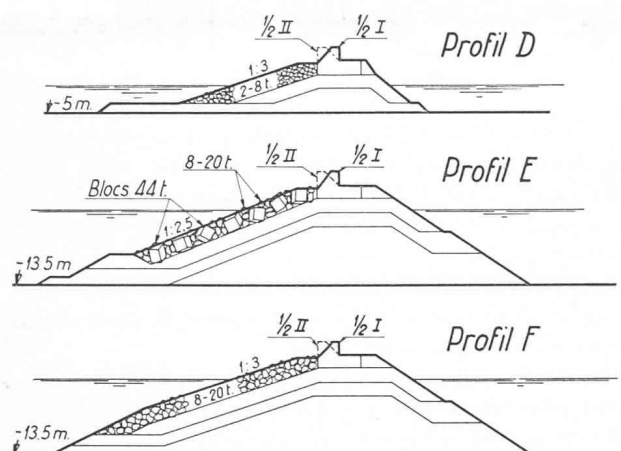
Cette première série d'essais montra clairement que la stabilité de l'ouvrage est insuffisante, notamment pour les houles de 6 et 7 m d'amplitude.

Les blocs de 48 t constituant le talus extérieur sont déplacés, et les éléments supérieurs du talus côté port sont emportés par déversement de la houle sur l'ouvrage.

Ce dernier danger est atténué, mais non éliminé, par le choix d'un parement vertical du couronnement côté large et l'augmentation du tonnage des enrochements à la partie supérieure du talus côté port, variante II du profil 5.

#### C. Résultats de la deuxième série d'expériences

Les caractéristiques, en profil en travers, des ouvrages étudiés par cette seconde série d'essais sont données aux figures 24 à 27.



Type de tempête	2h	2L	Durée
1	4 m	93 m	2 heures
Durée totale : 24 heures	5 m	116 m	2 heures
	6 m	140 m	8 heures
Essai 61	5 m	116 m	6 heures
	4 m	93 m	6 heures
2	4 m	93 m	2 heures
Durée totale : 48 heures	5 m	116 m	2 heures
	6 m	140 m	2 heures
Essais 62, 63 et 64	7 m	140 m	6 heures
	6 m	140 m	16 heures
	5 m	116 m	6 heures
	4 m	93 m	14 heures
3 — Essai 65	6 m	140 m	2 heures

Ces profils furent soumis à une ou plusieurs des tempêtes 1, 2 et 3 définies au tableau ci-dessus donnant les caractéristiques de la houle et de sa durée.

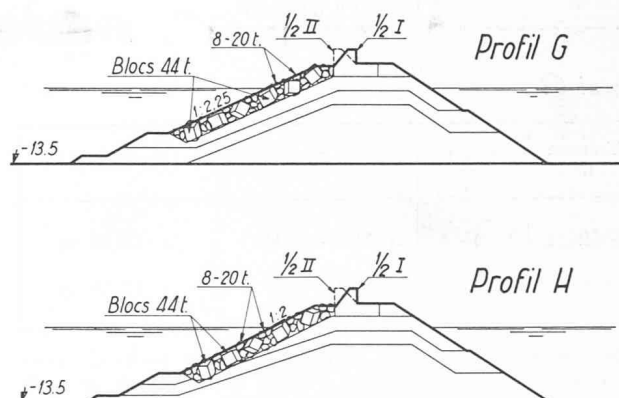


Fig. 24. — Profils D, E, F, G et H.

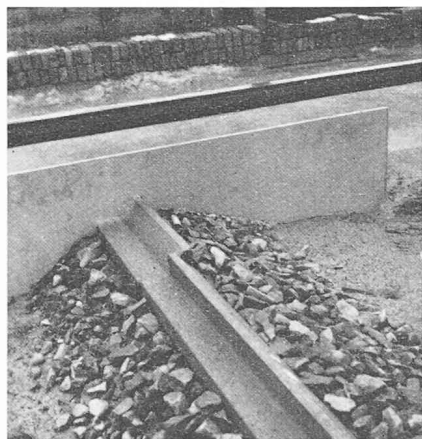


Fig. 25. — Profil D.

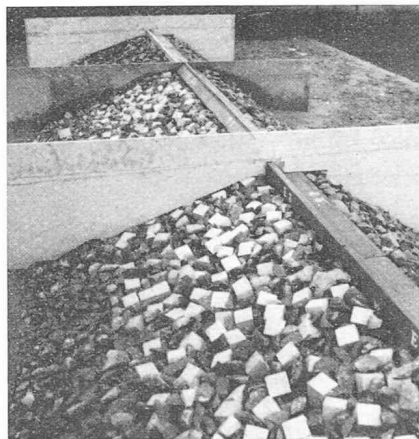


Fig. 26. — Profil E.

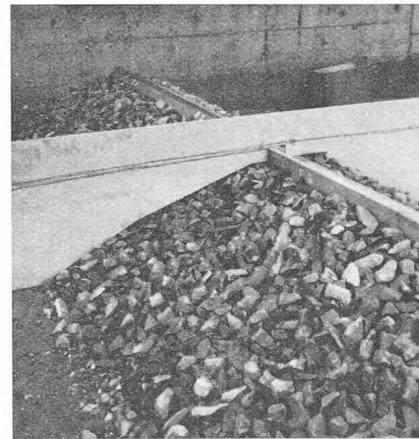


Fig. 27. — Profil F.

## Essai 61

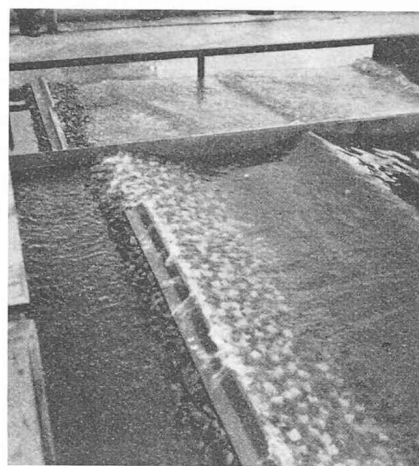
Tronçon n°	Profil	Variante	Profondeur
1	D	$\frac{1}{2}$ I - $\frac{1}{2}$ II	— 5,00 m
2	E	$\frac{3}{4}$ II - $\frac{1}{4}$ sans cour.	— 13,50 m
3	F	I	— 13,50 m

L'ouvrage est entièrement stable, aucune destruction n'est constatée.

Les rejaillissements au couronnement sont un peu plus forts pour le profil E (avec blocs de béton) que pour le profil F (blocs naturels seulement), figure 28. L'énergie de la houle est mieux absorbée par le talus en blocs naturels de pente moins forte et ne présentant pas les faces planes des blocs de béton.

Dans le tronçon 1, profil D, l'énergie de la houle est détruite en grande partie par déferlement avant que les vagues n'atteignent l'ouvrage; aucun rejaillissement côté port, l'eau n'atteint même pas le couronnement.

Fig. 28 et 29. — Essai 61,  $2h = 4,00$  m et  $2h = 6,00$  m. La vague monte plus haut dans le tronçon 2 (profil E) que dans le tronçon 3 (profil F).



## Essai 62

Tronçon n°	Profil	Variante	Profondeur
2	E	$\frac{1}{2}$ I - $\frac{1}{2}$ II	— 13,50 m
3	F	$\frac{1}{2}$ I - $\frac{1}{2}$ II	— 13,50 m

Observation : Le tronçon 1, profil D, reste inchangé pour tous les essais ultérieurs, aucune constatation nouvelle n'a été faite jusqu'à la fin des essais.

Sous l'effet des vagues de 4, 5 et 6 m, aucun dégât n'est observé. Dès les premières vagues de 7 m, un bloc de 44 t se détache et roule au bas du talus. Dès

## Essai 63

Tempête type 2 — 48 heures —  $2h_{\max} = 7$  m

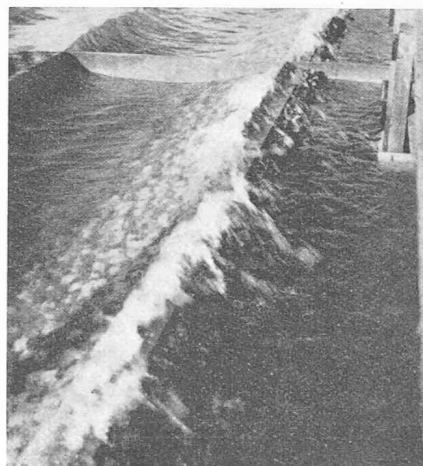
Tronçon n°	Profil	Variante	Profondeur
2	G	$\frac{1}{2}$ I - $\frac{1}{2}$ II	— 13,50 m
3	H	$\frac{1}{2}$ I - $\frac{1}{2}$ II	— 13,50 m

Fig. 30. — Essai 63 : Les vagues de 7,00 m franchissent le couronnement.

lors seuls quelques blocs naturels sont déplacés dans les deux tronçons. Les dégâts constatés sont donc pratiquement nuls. Tout au plus peut-on mentionner un léger tassement du talus en blocs naturels, tronçon 3, profil F.

Les rejaillissements côté port sont aussi un peu plus marqués avec le profil E qu'avec le profil F, mais aucun dégât n'est visible côté port.

Le déversement côté port (rejaillissement) est nettement plus important que dans les essais précédents : effet de la pente accentuée du talus côté large, figure 30.



Pas de destruction côté large.

Côté port, légers affouillements de la berme jusqu'à la cote + 2,00 pour le couronnement à parement incliné côté large (variante I), et cela uniquement pour la houle  $2h = 7$  m, figure 31.

Ces dégâts côté port sont pratiquement de même importance pour les profils G et H.

Fig. 31. — Essai 63 : Dégâts causés au talus côté port par les vagues de 7,00 m.

#### Essai 64

Tempête type 2 — 48 heures —  $2h_{\max} = 7$  m

Tronçon n°	Profil	Variante	Profondeur
2	G	$\frac{1}{2}$ I - $\frac{1}{2}$ II	— 9,00 m
3	H	$\frac{1}{2}$ I - $\frac{1}{2}$ II	— 9,00 m

L'ouvrage est entièrement stable, aucune destruction n'est constatée pendant l'essai, ni après.

Une grande partie de l'énergie est détruite par déferlement des vagues avant qu'elles n'atteignent l'ouvrage (fig. 32) ; cet effet est encore plus marqué pour les vagues de 7 m que pour celles de 6 m. L'ouvrage est de ce fait moins sollicité qu'aux expériences précédentes.

#### Essai 65

Tempête de 2 heures —  $2h = 6$  m

Tronçon n°	Profil	Variante	Profondeur
2	G	$\frac{1}{2}$ II - $\frac{1}{2}$ sans cour.	— 9,00 m
3	H	$\frac{1}{2}$ II - $\frac{1}{2}$ sans cour.	— 9,00 m

Aucun dégât n'est constaté, la houle étant détruite par déferlement avant d'atteindre l'ouvrage, comme dans l'expérience précédente.

L'ouvrage reste parfaitement stable, en l'absence même du couronnement.

Cette seconde série d'essais montre que l'ouvrage projeté à la suite des constatations faites lors de la première série d'expériences reste entièrement stable.

Aucun dégât n'apparaît sur le talus extérieur pour des houles atteignant 7 m.

Seuls quelques blocs du talus côté port sont déplacés par déversement des houles maxima, avec le couronnement à parement incliné côté large. Ces très faibles

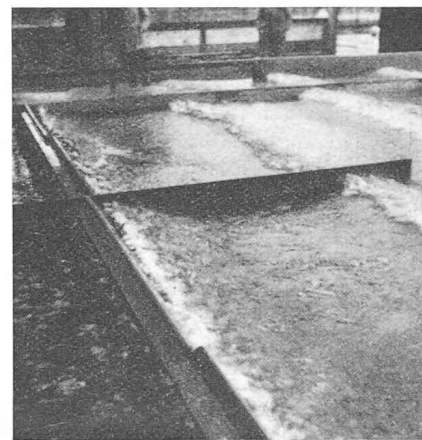
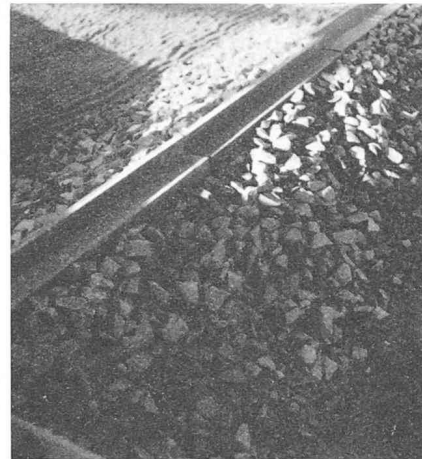


Fig. 32. — Essai 64 : Déferlement des vagues de 7,00 m au large de l'ouvrage.

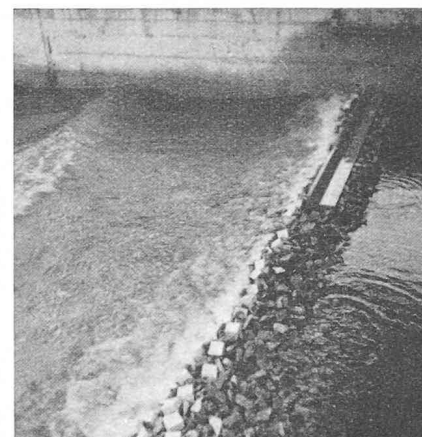


Fig. 33. — Essai 65.

dégâts disparaissent complètement dès que la profondeur au pied de l'ouvrage est inférieure à 9 m, provoquant un déferlement préalable de la houle.

#### D. Conclusions de l'étude expérimentale de la jetée Nord du port de Samsun

L'étude expérimentale de la jetée Nord du port de Samsun, dont quelques résultats déterminants sont



donnés à la présente note, a ainsi fait apparaître qu'en constituant le talus extérieur de l'ouvrage par un revêtement de blocs de 48 t, conformément à la figure 13, ceux-ci ne résistaient pas à l'action des houles les plus fortes,  $2h = 6$  à  $7$  m, et ne garantissaient pas la stabilité de l'ouvrage; en outre ce dernier n'est pas suffisamment protégé contre l'action du déversement de la houle par-dessus le couronnement sur le talus côté port. Ces inconvénients ne peuvent être éliminés complètement par l'augmentation du tonnage des enrochements au pied du talus extérieur et au haut du talus intérieur.

Par contre, une modification radicale du projet tendant à constituer le talus extérieur de l'ouvrage par des blocs naturels de 8 à 20 t, avec ou sans blocs artificiels de 44 t, de pente 1 : 2,5 et 1 : 3, conduit à une stabilité entièrement satisfaisante, pour autant que soient améliorés par ailleurs la forme de couronnement et le tonnage des blocs le constituant, de façon à éliminer les risques de déversement exagérés de la houle et d'en atténuer les effets sur le talus intérieur.

Ces conditions sont remplies par les profils représentés à la figure 24.

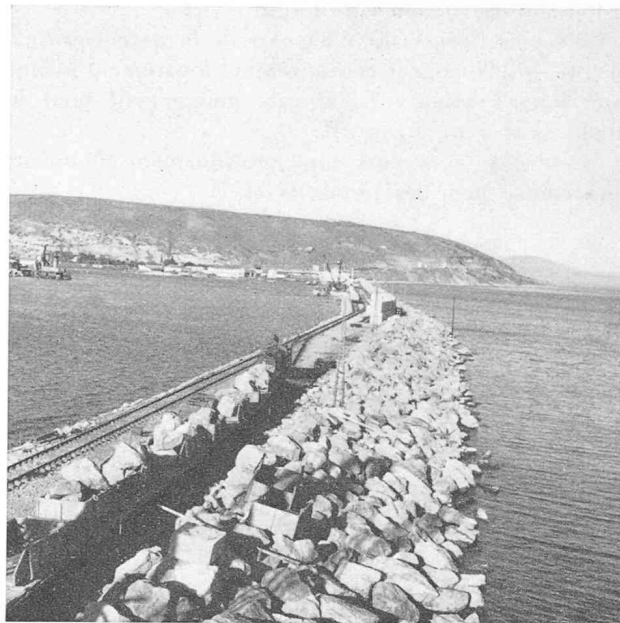


Fig. 34. — Vue prise en octobre 1955, pendant la construction de l'ouvrage à Samsun.

Photo transmise par Holzmann A. G.

## DIVERS

### Enquête sur l'essai des bétons de ciment au scléromètre<sup>1</sup>

#### I. Avant-propos

Le contrôle des matériaux de construction effectué généralement à l'aide d'essais à la rupture sur un certain nombre d'échantillons, présente, comme on sait, certains inconvénients qui peuvent être, pour certains matériaux, gênants. En ce qui concerne le béton de ciment, notons l'impossibilité de contrôler, sur un seul échantillon, certaines caractéristiques variables avec le temps, et les différences inévitables entre l'éprouvette soumise à l'essai et le matériau de l'ouvrage, différences dues à l'influence de nombreux facteurs (conditions de durcissement, effet de parois, différences de composition, etc.)

Ces considérations ont attiré, ces dernières années, l'attention des chercheurs et leurs travaux se sont développés dans une direction complètement différente de celle qui était jusqu'ici traditionnelle. La tendance actuelle consiste, essentiellement, dans la mesure de certaines grandeurs liées aux caractéristiques mécaniques ou élastiques du matériau, mesure qui peut être effectuée sans destruction de l'échantillon; on convient d'appeler ces essais « non destructifs ». Les grandeurs prises en considération sont la fréquence de résonance, la vitesse de propagation du son, la dureté superficielle; récemment la recherche a été étendue au comportement des matériaux soumis aux rayons  $\gamma$  et au bombardement neutronique.

<sup>1</sup> Traduction d'un article de M. P. d'Elia, de l'« Istituto di Scienza delle Costruzioni della Facoltà di Ingegneria della Università di Napoli » et publiée ici sur proposition de la Société Proceq S. A., Zurich.

Le but de cette communication n'est pas de décrire en détail les essais non destructifs<sup>2</sup>; pourtant il est opportun de souligner leur importance, soit parce qu'ils permettent d'éliminer les inconvénients des épreuves habituelles, soit parce qu'ils offrent la possibilité de déceler les défauts cachés d'une structure.

L'ampleur des expériences exécutées et le degré de perfectionnement des appareils permettent d'affirmer que quelques-uns des nouveaux essais sont aujourd'hui déjà acceptables et peuvent donc remplacer avantageusement ceux qui ont été utilisés jusqu'à présent<sup>3</sup>; d'autres enfin demandent encore une certaine mise au point pour compléter les résultats obtenus jusqu'à ce jour; les résultats donnés ici sont une contribution à l'étude de l'une de ces méthodes.

#### II. Epreuves de dureté superficielle. — Essais au scléromètre. — Exposition des résultats des essais exécutés

Comme on l'a déjà dit plus haut, parmi les essais non destructifs du béton il faut mentionner celui qui mesure la dureté superficielle. La détermination de cette caractéristique est d'usage général pour les métaux — méthodes Brinell, Vickers ou Rockwell; dans le cas du

<sup>2</sup> Une ample revue des essais non destructifs du béton, des études terminées et de celles en cours, a été présentée au Colloque International qui a eu lieu à Paris, en janvier 1954, sur l'invitation de la Réunion Internationale des Laboratoires d'Essai et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions. L'auteur a pris part à ce colloque pour le Laboratorio Prove Materiali dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni di Napoli; les bulletins RILEM n°s 18, 19 et 20 ont donné les comptes rendus des communications présentées.

<sup>3</sup> Nous nous référons, en particulier, aux essais qui permettent la détermination du module d'élasticité par mesure de la fréquence fondamentale de résonance d'un échantillon mis en vibration. Puisque les sollicitations imposées au matériau sont très petites, la méthode paraît particulièrement intéressante quand il s'agit de contrôler périodiquement le module d'élasticité, comme par exemple au cours des essais de gélivité; dans ce cas, les méthodes tensométriques usuelles paraissent peu opportunes puisque les sollicitations répétées de l'échantillon peuvent fausser les résultats des essais.