

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 60 (1934)
Heft: 21

Artikel: Contribution à l'étude de l'action des vagues sur une paroi verticale (suite et fin)
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-46416>

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: 23.08.2025

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

BULLETIN TECHNIQUE

DE LA SUISSE ROMANDE

ABONNEMENTS :

Suisse : 1 an, 12 francs
Etranger : 14 francs

Pour sociétaires :

Suisse : 1 an, 10 francs
Etranger : 12 francs

Prix du numéro :
75 centimes.

Pour les abonnements
s'adresser à la librairie
F. Rouge & C^o, à Lausanne.

Rédaction : H. DEMIERRE et
J. PEITREQUIN, ingénieurs.

Paraissant tous les 15 jours

ORGANE DE PUBLICATION DE LA
COMMISSION CENTRALE POUR LA NAVIGATION DU RHIN

ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA
SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

ANNONCES :

Le millimètre sur 1 colonne,
largeur 47 mm. :
20 centimes.

Rabais pour annonces répétées

Tarif spécial
pour fractions de pages.

Régie des annonces :
Indicateur Vaudois
(Société Suisse d'Édition)
Terreaux 29, Lausanne.

SOMMAIRE : Communications du Laboratoire d'hydraulique de l'Ecole d'ingénieurs de Lausanne : *Contribution à l'étude de l'action des vagues sur une paroi verticale* (suite et fin). — *Concours d'idées pour un collège classique et l'aménagement d'un ancien pénitencier, à Lausanne.* — *Voyage d'étude au Neckar.* — SOCIÉTÉS : *Groupe genevois de la G. et P.* — BIBLIOGRAPHIE. — *La chaudière électrique.*

COMMUNICATIONS DU LABORATOIRE D'HYDRAULIQUE DE L'ÉCOLE D'INGÉNIEURS DE LAUSANNE

Directeur : M. A. Stucky, Professeur.

Contribution à l'étude de l'action des vagues sur une paroi verticale.

(Suite et fin.)¹

IV. Résultats des essais.

Nous donnons ici principalement les résultats concernant les poussées horizontales agissant sur un mur soumis à un clapotis de type donné. La question des trajectoires des particules liquides au voisinage de l'ouvrage et des affouillements du pied de la digue fera l'objet d'une communication ultérieure. Nous n'en donnerons dans cet article qu'un bref aperçu.

a) Poussées horizontales.

1. La poussée horizontale (côté large), agissant sur un mur vertical à l'instant où le niveau est à son maximum est plus faible que la poussée hydrostatique correspondant à un niveau qui serait celui de la crête du clapotis.

2. La poussée (côté large) agissant sur un mur vertical à l'instant où le niveau est à son minimum est plus forte que la poussée hydrostatique correspondant à un niveau qui serait celui du creux du clapotis.

La figure schématique 5 illustre ce fait.

En composant la poussée ainsi déterminée avec la poussée du côté port agissant en sens inverse, on obtient des diagrammes donnant pour chaque type de clapotis envisagé la résultante des poussées horizontales maxima et minima.

Ce sont ces diagrammes qui ont été groupés en familles de courbes (fig. 6 à 15) caractérisées chacune soit par

l'amplitude de la vague, soit par sa longueur. Ces expériences ont été faites pour deux profondeurs d'eau, soit :
1. $H = 19,50$ m (jetée Mustapha à Alger, sans risberme)
2. $H = 13,50$ m (jetée Mustapha, à Alger, avec risberme).

On constate que ces diagrammes présentent les particularités suivantes :

- la diagramme des poussées résultantes présente un maximum un peu au-dessous du niveau de repos ;
- la poussée maximum est toujours inférieure à la poussée hydrostatique correspondant à la crête du clapotis ;

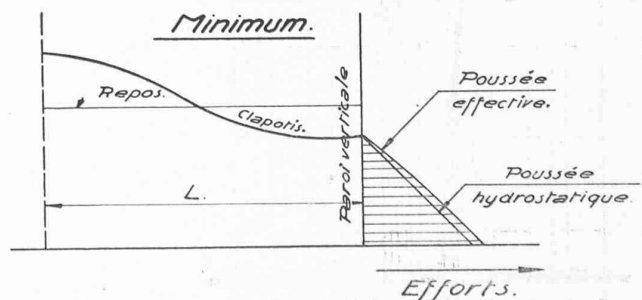
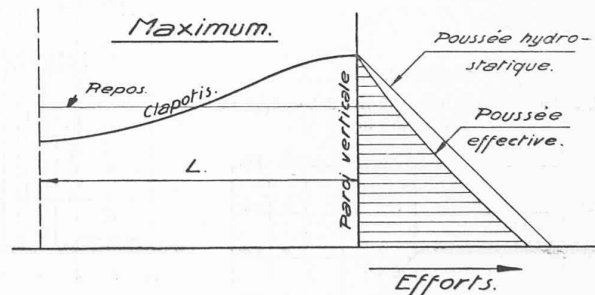


Fig. 5. — Poussées extrêmes agissant sur le parement extérieur d'une digue à parois verticales soumise au phénomène du clapotis.

¹ Bulletin technique du 29 septembre 1934, page 229.

EFFORTS MAXIMA ET MINIMA AGISSANT SUR UNE PAROI VERTICALE SOUMISE A UN CLAPOTIS DE CARACTÉRISTIQUES DIVERSES

Caractéristiques

$2L = 60,0 \text{ m}$; $2h = 2, 3, 4 \text{ m}$;
 $H = 19,50 \text{ m}$

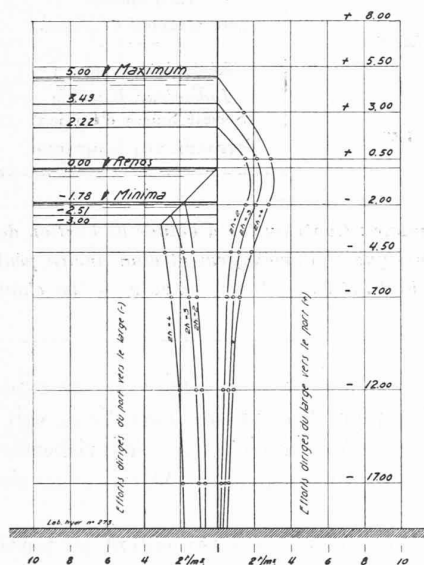


Fig. 6.

Caractéristiques

$2L = 100,00 \text{ m}$; $2h = 2, 3, 4, 5, 6 \text{ m}$;
 $H = 19,50 \text{ m}$

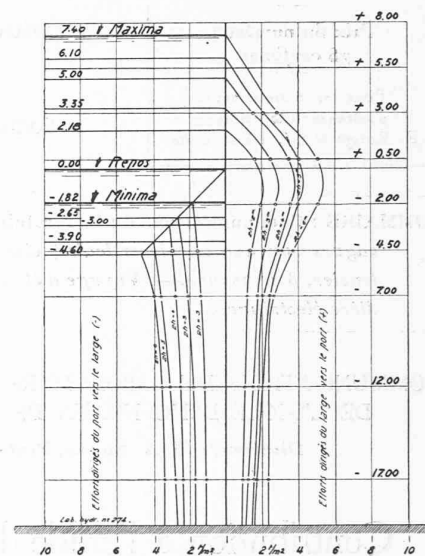


Fig. 7.

Caractéristiques

$2L = 150,0 \text{ m}$; $2h = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 \text{ m}$;
 $H = 19,50 \text{ m}$

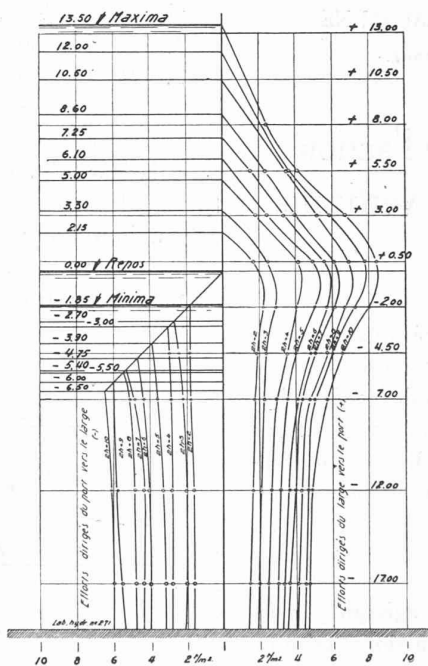


Fig. 8.

Caractéristiques

$2L = 60, 80, 100, 120, 150 \text{ m}$; $2h = 3,00 \text{ m}$;
 $H = 19,50 \text{ m}$

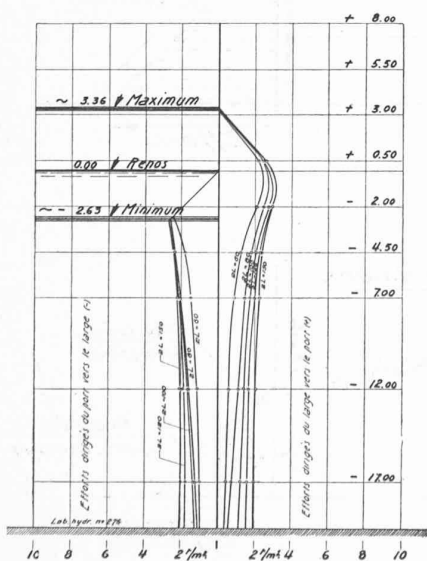


Fig. 9.

Caractéristiques

$2L = 80, 100, 120, 150 \text{ m}$; $2h = 5,00 \text{ m}$;
 $H = 19,50 \text{ m}$

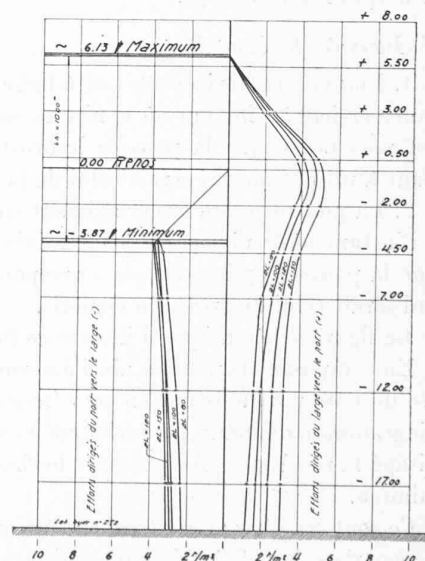


Fig. 10.

EFFORTS MAXIMA ET MINIMA AGISSANT SUR UNE PAROI VERTICALE SOUMISE A UN CLAPOTIS DE CARACTÉRISTIQUES DIVERSES

Caractéristiques

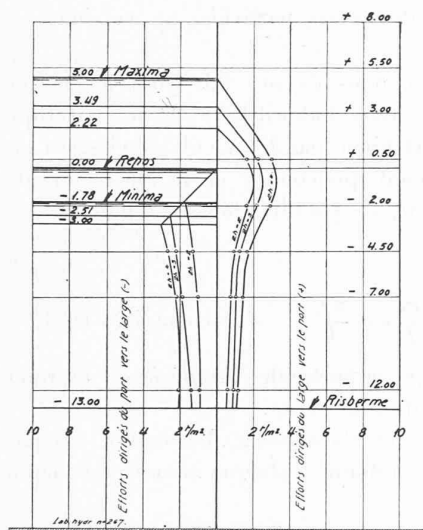
 $2L = 60 \text{ m}$; $2h = 2, 3, 4 \text{ m}$;
 $H = 13 \text{ m}$.


Fig. 11.

Caractéristiques

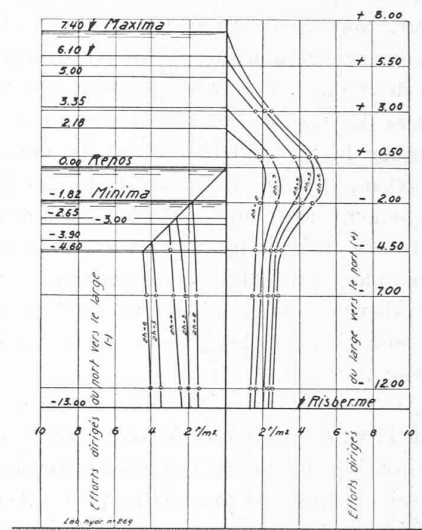
 $2L = 100,00 \text{ m}$; $2h = 2, 3, 4, 5, 6 \text{ m}$;
 $H = 13,00 \text{ m}$


Fig. 12.

Caractéristiques

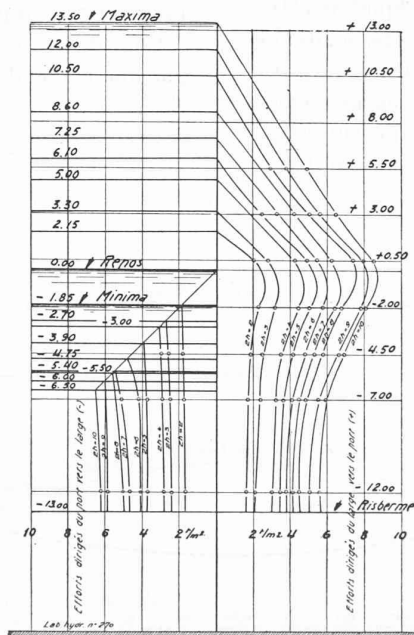
 $2L = 150,00 \text{ m}$; $2h = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 \text{ m}$;
 $H = 13,00 \text{ m}$


Fig. 13.

Caractéristiques

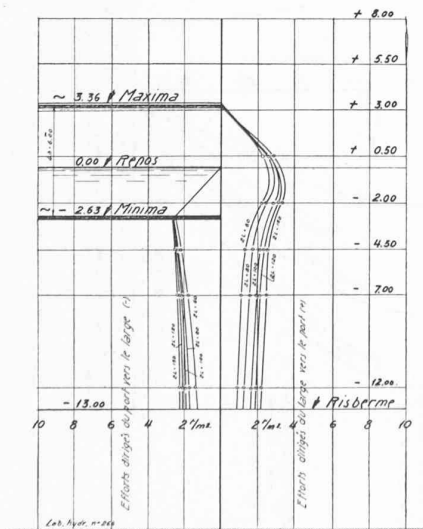
 $2L = 60, 80, 100, 120, 150 \text{ m}$; $2h = 3,00 \text{ m}$;
 $H = 13,00 \text{ m}$


Fig. 14.

Caractéristiques

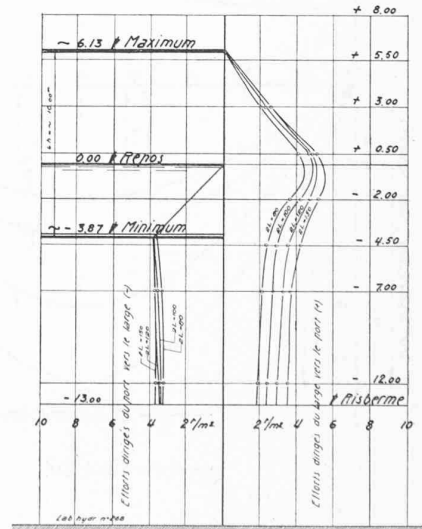
 $2L = 80, 100, 120, 150 \text{ m}$; $2h = 5,00 \text{ m}$;
 $H = 13,00 \text{ m}$


Fig. 15.

c) au-dessous du niveau de repos, la poussée décroît d'autant plus rapidement que la vague est plus accentuée, c'est-à-dire que le rapport h/L est plus grand ;

d) au pied du mur, la poussée varie entre la moitié et les deux tiers de la poussée maximum.

D'une façon générale, nous avons constaté que les essais donnaient des résultats légèrement plus faibles que les calculs par la méthode de M. Sainflou. La différence entre l'expérience et le calcul s'accroît avec la profondeur. Nous avons précédemment, au chapitre II, donné un exemple numérique et reporté en regard l'un de l'autre les deux diagrammes : expérience et calcul.

Ces diagrammes montrent, en outre, que le fait de diminuer la profondeur devant la digue de 19,50 m à 13,50 m, c'est-à-dire le fait de fonder le mur sur un enrochement avec une risberme importante, n'a qu'une influence insignifiante sur la valeur des efforts. Il n'y a donc pas eu déferlement. Il est par contre certain que si la risberme se trouve à une profondeur inférieure à — 13, les efforts sont plus grands. Ce second problème est à l'étude.

Au cours des dernières années, on a quelquefois attribué la ruine de digues à paroi verticale à une mauvaise estimation des poussées agissant sur le mur. En vérité, l'accident qui s'est produit au port d'Alger, au printemps 1934, est dû à une autre cause. Le pied du talus côté large a été affouillé et la digue s'est effondrée du côté du large.

On a cru longtemps qu'à partir de 10 m de profondeur le mouvement de l'eau était insignifiant. Des observations plus récentes ainsi que nos essais ont confirmé ce que le calcul laissait prévoir, c'est-à-dire que le mouvement de l'eau reste suffisamment violent à des profondeurs de 15 et 20 m pour provoquer des affouillements importants. Cette question a également fait l'objet d'études intéressantes, dont il sera donné un aperçu sous c).

b) Trajectoires et vitesses des particules au voisinage de l'ouvrage.

Procédons comme nous l'avons fait pour le cas des poussées et donnons tout d'abord la méthode analytique permettant de déterminer par le calcul les vitesses des particules en un point quelconque de la masse liquide, au voisinage du mur, c'est-à-dire dans la région du clapotis.

Soit l'équation :

$$x = x_0 + 2r \sin \frac{\pi t}{T} \cos \frac{\pi x_0}{L} \quad (\text{voir chapitre II, 4.})$$

A l'origine des temps, la particule considérée est au repos ou passe par sa position de repos.

Considérons un point d'abscisse x_0 . Le chemin parcouru par une particule sera donné à chaque instant par l'équation.

$$x - x_0 = 2r \sin \frac{\pi t}{T} \cos \frac{\pi x_0}{L}.$$

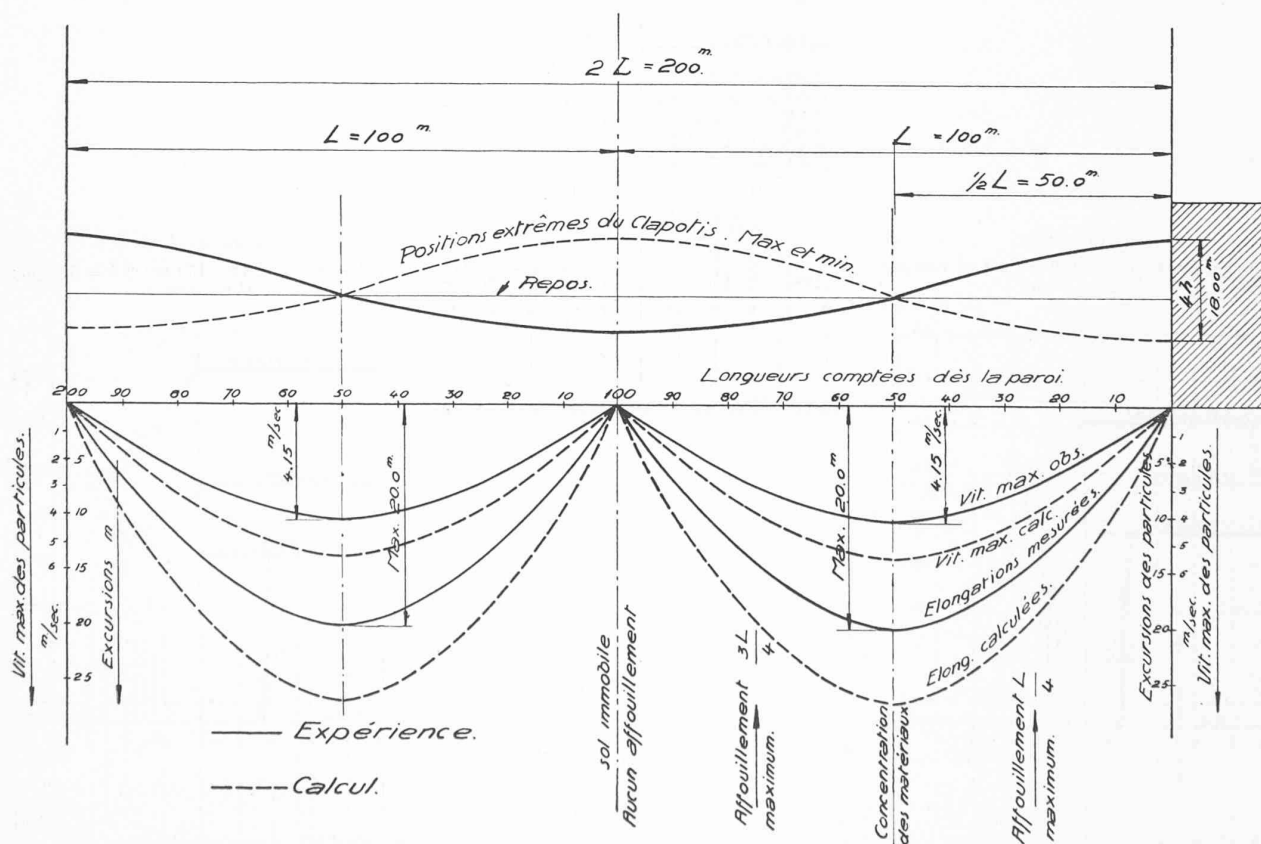


Fig. 16. — Excursions et vitesse des particules sur le fond au voisinage du mur vertical.

Clapotis $2L = 200$ m $4h = 18,00$ m
 $H = 19,50$

Pour obtenir la demi-excursion d'un point, nous faisons dans cette équation $t = T/2$ ce qui donne

$$x - x_0 = \pm 2r \cos \frac{\pi x_0}{L}.$$

Nous rappelons que l'origine des x coïncide avec la verticale située à la distance $L/2$ de la paroi. Pour $x_0 = 0$, nous avons comme cas particulier

$$x - x_0 = \pm 2r = \frac{2h}{sh \frac{\pi H}{L}} \quad (\text{voir valeur de } r \text{ au chap. II}).$$

L'excursion totale sera donc de $4r = \frac{4h}{sh \frac{\pi H}{L}}.$

Pour $x_0 = L/2$, à la paroi

$$x - x_0 = \pm 2r \times 0 = 0.$$

Une particule située contre la paroi ne se déplace pas horizontalement. Nous pouvons ainsi déterminer, pour chaque point, la projection horizontale de son déplacement.

En particulier, considérons les *particules du fond*. Ces dernières nous intéressent particulièrement, car, de leur vitesse dépendra l'importance des affouillements. Pour ces particules la composante verticale du chemin parcouru est nulle, la trajectoire est horizontale et les elongations calculées comme indiquées ci-dessus sont en vraie grandeur.

Ce sont essentiellement ces valeurs des excursions totales sur le fond que nous avons contrôlées au modèle, la concordance des résultats obtenus par calcul et par expérience n'est pas mauvaise, les essais donnent des excursions plus petites que le calcul. Si, pour les elongations maxima l'écart atteint environ 25 %, cela provient, en grande partie, du frottement dont le calcul fait abstraction.

Nous donnons à la figure 16 ci-dessus les elongations calculées et observées pour un cas particulier. Nous en déduisons facilement, par voie analytique, les vitesses maxima ; elles ont été reportées sur le même dessin. Nous avons en effet, en différentiant l'équation donnée ci-dessus

$$\frac{dx}{dt} = \frac{2\pi r}{T} \cos \frac{\pi x_0}{L} \underbrace{\cos \frac{\pi t}{T}}_{1.00 \text{ puisque nous voulons } v_{\max}}.$$

Nous voyons que les vitesses maxima des différentes particules considérées varieront proportionnellement au chemin parcouru.

Nous avons reporté en outre à la figure 17 les excursions des molécules telles qu'elles ont été relevées au modèle pour un clapotis de caractéristiques $h : L = 0,05$ et $H : L = 0,43$.

c) Affouillements.

Des résultats concernant les vitesses sur le fond au voisinage de la jetée, on déduit immédiatement l'allure

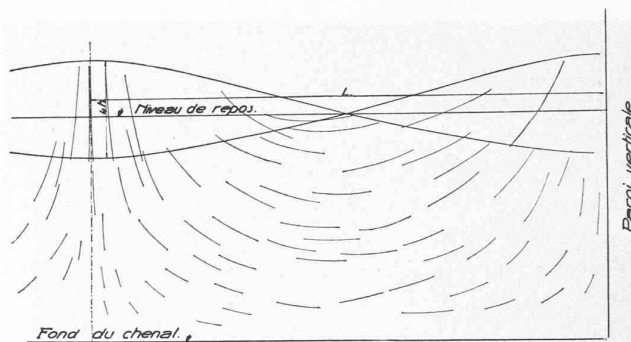


Fig. 17. — Trajectoires des particules au voisinage d'une paroi verticale soumise à un clapotis de type $h : L = 0,05$, $H : L = 0,43$

que doit prendre le mouvement des sables. On constate, en particulier, que les vitesses sont suffisamment fortes pour provoquer des affouillements importants.

Aux points où le mouvement horizontal est nul, le sable restera immobile ; par contre, aux points où la vitesse horizontale des particules est élevée, il y aura des transports de sable modifiant la topographie du sol. Le balancement général transformera, en définitive, complètement l'allure du fond au voisinage de l'ouvrage et cela même à des profondeurs de 15 et 20 m.

Nous schématisons ci-dessous l'allure que prend le phénomène en donnant quelques photographies d'expériences faites au *Laboratoire*. (Fig. 18 à 20.)

L'affouillement provoqué par une vague de longueur donnée ne se produit pas au pied même de la paroi verticale, son maximum apparaît à la distance $L/4$ du mur.

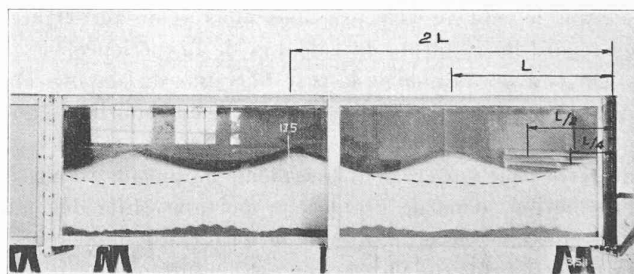


Fig. 18. — Clapotis photographié dans ses deux positions extrêmes (sur le même cliché). Le sable formait à l'origine une surface rigoureusement horizontale. On voit apparaître des affouillements sensibles, spécialement à la distance $L/4$ de la paroi.

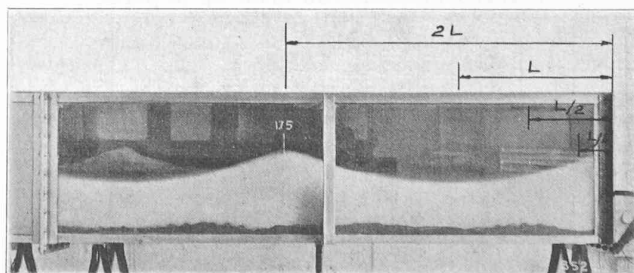


Fig. 19. — Clapotis photographié dans l'une de ses positions extrêmes. On remarque sur le fond du chenal les affouillements caractéristiques.

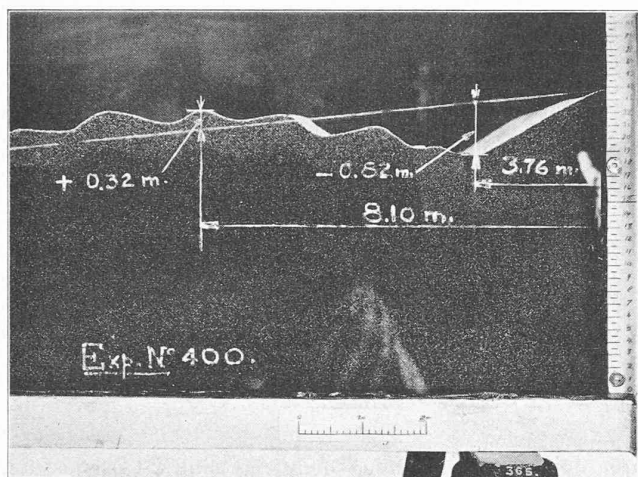


Fig. 20. — Affouillement apparaissant à la distance $L/4$ de la paroi dans le cas particulier d'un fond légèrement en pente.

d) Forme du clapotis.

Les caractéristiques $2h$ et $2L$ de la houle au large étant données, la théorie du clapotis que nous avons exposée succinctement plus haut, permet de déterminer l'allure du mouvement ondulatoire au voisinage de l'ouvrage.

De même qu'il est intéressant de montrer la concordance des efforts calculés et des efforts mesurés au modèle, on peut se demander si le clapotis obtenu au *Laboratoire* répond, en dimensions, aux conditions fixées par la théorie.

Principalement il sera intéressant de savoir si la montée maximum de l'eau contre la paroi, comparée au niveau de repos est bien conforme à ce que laisse supposer les déductions théoriques.

Dans le tableau III ci-dessous nous avons fait figurer en regard les résultats du calcul et de l'expérience.

On voit qu'au modèle la cote moyenne du clapotis au-dessus du niveau de repos est généralement plus haute que ne le laisse supposer la théorie de M. Sainflou. Cette cote du reste peut varier, pour une même amplitude totale de l'oscillation, dans de grandes proportions. Elle dépend, dans une très large mesure, de la forme de la houle génératrice. Il suffit qu'au mouvement ondulatoire principal se superpose une ondulation secondaire, ou que la forme de la vague soit un peu modifiée (par le vent par exemple en réalité) pour que cette cote moyenne change.

Tableau III.

Niveaux extrêmes au droit de la paroi.

N°	$2h$	$2L$	Montée maximum		Descente minimum		Amplitude
			Expérience	Calcul	Expérience	Calcul	
1	2	150	2.15	2.12	-1.85	-1.88	4.00
2	3	150	3.30	3.27	-2.70	-2.73	6.00
3	4	150	5.00	4.48	-3.00	-3.52	8.00
4	5	150	6.10	5.75	-3.90	-4.25	10.00
5	6	150	7.25	7.08	-4.75	-4.92	12.00
6	7	150	8.60	8.48	-5.40	-5.52	14.00
7	8	150	10.50	9.93	-5.50	-6.07	16.00
8	9	150	12.00	11.44	-6.00	-6.56	18.00
9	10	150	13.50	13.02	-6.50	-6.98	20.00

Les résultats que nous avons rapidement énumérés ci-dessus montrent une concordance satisfaisante entre les calculs basés sur la méthode de M. Sainflou et l'expérience.

Dans le cas de problèmes plus compliqués, risberme importante à une profondeur relativement faible, où le calcul devient impossible, l'expérimentation est appelée à donner des résultats intéressants. Il en est de même pour l'étude de l'affouillement du sol au droit des digues.

C'est précisément dans cette direction que travaille le *Laboratoire d'hydraulique de l'Ecole d'Ingénieurs de Lausanne*. Nos études sur l'affouillement et l'influence des talus et des risbermes feront l'objet d'une communication ultérieure.

Concours d'idées pour un collège classique et l'aménagement d'un ancien pénitencier, à Lausanne.

Le programme spécifiait notamment :

Plan d'aménagement de la propriété de Béthusy. Par ce concours, l'Etat de Vaud désire être renseigné sur les possibilités d'aménagement de cette propriété par une utilisation rationnelle, économique et une réalisation harmonieuse d'un projet d'ensemble. Toute liberté est laissée aux concurrents pour l'aménagement de ce bien-fonds, ainsi que pour l'emplacement à choisir pour la construction du collège classique cantonal.

Les voies d'accès seront indiquées, ainsi que les bâtiments à construire pour la mise en valeur de cette propriété. Les concurrents tiendront compte du fait que les bâtiments de l'ancien pénitencier sont destinés à être démolis. Ils pourront maintenir ou modifier à leur gré la route projetée entre la rue du Bugnon et l'avenue de la Dôle, indiquée en pointillé sur le plan de situation officiel.

Collège classique cantonal. Aucune classe ne sera orientée au nord. Les dimensions d'une classe de 24 élèves sont : longueur 7,00 m, profondeur 6,60 m, hauteur 3,50 m, au minimum.

L'éclairage de ces salles doit être unilatéral (gauche) ou bilatéral (gauche et arrière) ; la surface éclairante d'une classe ne sera pas inférieure au quart de la surface du plancher.

Il est demandé de prévoir des vestiaires dans les vestibules ; chaque élève doit disposer d'une armoire de 0,35 m de largeur (vide) 0,35 m de profondeur.

Il y aura un W. C. par classe et des urinoirs et lavabos en suffisance.

Le personnel enseignant doit disposer de 2 W. C. par étage.

Extrait du rapport du jury.

Le jury a commencé ses délibérations le 9 juillet 1934. à 8 h. 30, à la salle de gymnastique du Collège scientifique. Il est présidé par M. le conseiller d'Etat Fazan. M. Torcapel, suppléant, est invité à participer dès le début aux délibérations du jury, car il devra remplacer M. Fazan, absent le lendemain.

Le jury constate que 84 projets ont été remis en temps voulu. Il décide de ne pas prendre en considération un projet portant la devise « Tchenta », mis à la poste après le délai fixé.

Le travail du jury commence par un premier examen individuel des projets soumis à son appréciation.

Cette opération terminée, le jury décide de ne pas prendre en considération un projet dont l'étude et la présentation sont par trop insuffisantes.

Le jury convient d'examiner, dans chaque projet, la manière dont les points suivants ont été traités : 1. utilisation de la propriété ; 2. implantation du collège ; 3. voies d'accès ; 4. distribution intérieure ; 5. architecture.

Le jury examine enfin de façon approfondie quelle est l'orientation la plus favorable pour les classes. Considérant