

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 63 (1937)
Heft: 9

Artikel: Expériences sur le mouvement permanent de l'eau dans les canaux découverts, avec apport ou prélèvement le long du courant
Autor: Favre, H. / Braendle, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-48443>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 04.05.2025

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

Expériences

sur le mouvement permanent de l'eau dans les canaux découverts, avec apport ou prélèvement le long du courant,

par H. FAVRE, Dr ès sc. techn. et F. BRAENDLE, Ing. dipl.
Laboratoire de recherches hydrauliques annexé
à l'Ecole polytechnique fédérale, à Zurich.

(Suite.)¹

§ 4. Manipulations et résultats des essais.

1. Une première série d'expériences a consisté à déterminer le coefficient de rugosité k de la rigole d'essai pour différents mouvements permanents à débit constant.

A cet effet, nous avons établi successivement 7 écoulements permanents dans la rigole, en faisant en sorte que le niveau de la surface soit toujours inférieur à celui des échancrures. Les débits étaient réglés par la vanne placée sur la conduite alimentant l'installation. Ils étaient mesurés au déversoir étalonné situé dans le canal métallique. Les débits de ces expériences ont varié entre 10 et 30 l : s.

Dans tous ces essais, le barrage à aiguilles situé à l'entrée de la rigole était complètement ouvert, tandis que les deux vannes amont des bassins étaient fermées. De cette façon, tout le débit passait par la rigole. Le niveau aval était réglé par le second barrage à aiguilles, de façon à obtenir des mouvements graduellement variés sensiblement uniformes.

Pour chaque écoulement étudié, on repérait la position de la courbe de remous en faisant, avec le coordinatographe, les pointés de la surface de l'eau en des profils distants de 1 mètre, à raison de 3 points par profil. Partant de cette courbe, on déterminait ensuite la pente J de la ligne d'énergie, ce qui permettait, connaissant le débit, d'obtenir la valeur du coefficient k de la formule de Strickler.

Les valeurs de k , en fonction de la vitesse moyenne U , sont indiquées dans la figure 5. En regard de chaque point est indiqué le rayon moyen de l'essai correspondant. On remarque tout d'abord que pour des vitesses supé-

¹ Voir *Bulletin technique* du 10 avril 1937, page 93.

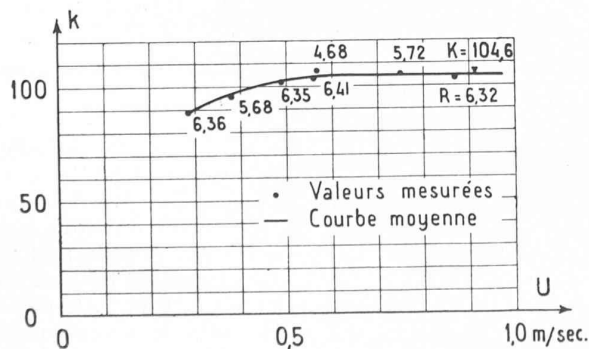


Fig. 5. — Représentation graphique du coefficient de la formule de Strickler k en fonction de la vitesse U .

(A côté de chaque point est indiquée la valeur correspondante du rayon moyen en centimètres).

rieures à 50 cm : s , k est pratiquement constant et a pour valeur 104,6. Pour des vitesses plus faibles, k décroît légèrement. Par contre ce coefficient ne semble pas dépendre du rayon moyen dans les limites où celui-ci a varié ($4,68 < R < 6,41$ cm). Comme dans tous les essais principaux R a été compris entre 5,11 et 7,20 cm, nous avons admis en définitive que k ne dépendait pas du rayon moyen mais seulement de la vitesse U , la fonction $k = f(U)$ étant représentée par la courbe continue de la figure 5¹.

2. Puis nous avons procédé à l'étalonnage des différents déversoirs de l'installation.

Les déversoirs constitués par les échancrures ont été étalonnés séparément, en obturant complètement l'entrée de la rigole d'essai par une murette de béton, et en faisant arriver l'eau sur l'un ou l'autre de ces déversoirs par le bassin correspondant. A cet effet, on ouvrait complètement la vanne amont de ce bassin, tandis que celle d'aval, ainsi que les deux vannes de l'autre bassin, étaient maintenues fermées. Comme la vitesse de l'eau dans le bassin alimentant l'échancrure était très faible à cause des grandes dimensions du profil, la hauteur déversante au-dessus de la crête était constante le long de celle-ci. On avait donc sensiblement affaire à un déversoir à vitesse d'approche nulle. Dans chaque expérience on établissait un écoulement déterminé en ouvrant plus ou moins la vanne de la conduite alimentant l'installation, puis on mesurait ensuite le débit au déversoir du canal métallique (ce déversoir avait été lui-même préalablement étalonné à l'aide d'une chambre volumétrique de 240 m³). Enfin on repérait à l'aide du coordinatographe la hauteur du plan d'eau dans le bassin.

La figure 6 donne le résultat de l'étalonnage des deux déversoirs. Comme on le voit, les deux échancrures ont donné, à 1 ou 2 dixièmes de millimètre près, la même fonction $h = f(Q)$. On a donc tracé une seule courbe d'étalonnage.

Précisons encore que dans les essais d'étalonnage le profil des parois limitant les échancrures était un demi-cercle. Quelques contrôles ont montré d'ailleurs que la courbe d'étalonnage obtenue était la même lorsque les parois limitant à l'amont les déversoirs avaient la forme spéciale indiquée au plan partiel de la figure 3. Nous

¹ Le fait que dans nos conditions d'expériences le coefficient k ne semble pas dépendre du rayon moyen peut s'expliquer de la façon suivante. En comparant les formules (1) et (1 bis), on trouve facilement la relation :

$$k = \frac{\sqrt{2g}}{\lambda^{1/2} R^{1/6}}$$

λ est en général, comme nous l'avons dit (note 1, p. 96), fonction de $\frac{\epsilon}{R}$ et de $\frac{U.R}{v}$. Dans le cas de canaux à parois assez lisses, on sait que λ ne dépend d'ailleurs pratiquement que de $\frac{U.R}{v}$ (voir par exemple H. FAVRE : *Etude théorique et expérimentale sur les ondes de translation*. Dunod, Paris 1935, p. 135 à 139). On peut donc écrire

$$k = R^{-1/6} \cdot f\left(\frac{U.R}{v}\right)$$

Or f varie en général lentement en fonction de $\frac{U.R}{v}$, par suite en fonction

du rayon moyen R . De même $R^{-1/6}$ varie très modérément en fonction de ce rayon. Donc k variera lui-même lentement en fonction de R . Entre deux limites voisines du rayon moyen, k ne dépendra donc pratiquement pas de R , mais seulement éventuellement de U .

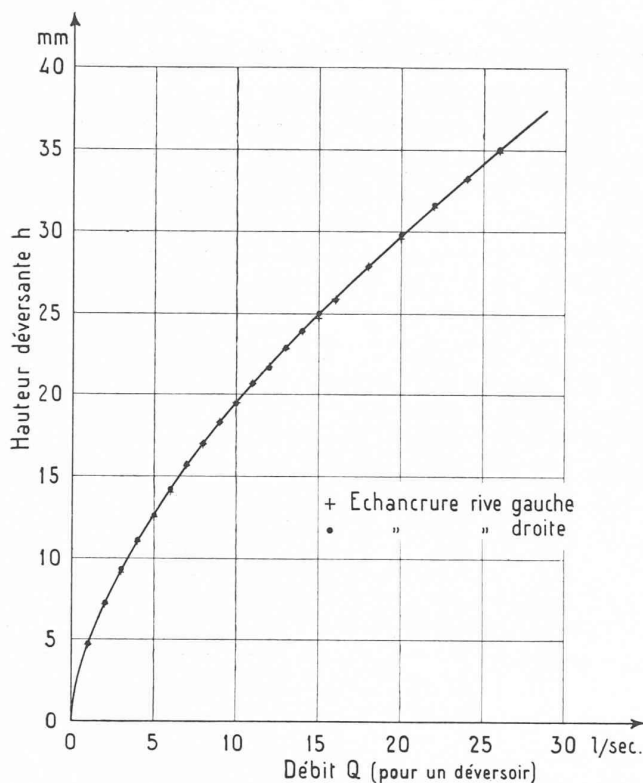


Fig. 6. — Courbe d'étalonnage des déversoirs (échancrures) de la rigole d'essai.

avons pu ainsi utiliser la courbe de la figure 6 pour tous les essais.

Les déversoirs placés à l'extrémité aval des bassins ont été étalonnés d'une façon analogue. Comme ils n'ont servi qu'au contrôle des débits dans certains essais, nous ne décrirons pas cet étalonnage.

3. Les expériences préliminaires ci-dessus terminées, nous avons entrepris trois séries d'essais sur les mouvements à débits variables.

a) *Expériences sur les mouvements à débit croissant, avec apport latéral par les deux échancrures (Série a).*

Cette série comprend 9 essais numérotés de a1 à a9. Le profil des parois limitant les échancrures était un demi-cercle.

Dans cette série d'essais, les vannes amont des deux bassins étaient enlevées, celles d'aval fermées. Pour établir un régime déterminé, on ouvrait tout d'abord la vanne réglant le débit de la conduite alimentant l'installation, de façon à obtenir un débit quelconque Q_v . Ce débit était mesuré au déversoir du canal métallique. Puis, en ouvrant convenablement le barrage à aiguilles situé à l'entrée de la rigole, on introduisait à l'amont de celle-ci un certain débit Q_m , tandis que la différence $Q_d = Q_v - Q_m$ était refoulée dans les deux bassins et se déversait ensuite latéralement dans la rigole, par les deux échancrures.

Par suite de la très faible vitesse de l'eau dans les bassins, la hauteur déversante était sensiblement constante le long de chaque échancrure (un contrôle a montré

qu'elle l'était au dixième de mm près). Par raison de symétrie, cette hauteur était la même pour les deux bassins de sorte que le débit de chaque échancrure était égal à $\frac{Q_d}{2}$. On obtenait donc, dans la rigole et tout le

long des déversoirs latéraux, un mouvement à débit croissant, produit par deux apports d'eau symétriques constants par unité de longueur mesurée le long de l'axe de la rigole. La vitesse V^* de ces apports d'eau était perpendiculaire à l'écoulement principal, car les trajectoires des molécules d'apport étaient, au moment de leur arrivée dans la rigole, dans des plans verticaux perpendiculaires à son axe.

En résumé le débit le long de la rigole avait les valeurs suivantes : entre l'entrée et le commencement des échancrures, valeur constante Q_m ; le long de celles-ci, croissance linéaire de la valeur Q_m à la valeur Q_v ; entre la fin des échancrures et la sortie, valeur constante Q_v .

En repérant les hauteurs déversantes à l'aide du coordinatographe, on obtenait, grâce à la courbe d'étalonnage de la figure 6, la valeur de $\frac{Q_d}{2}$, d'où Q_d . Connaissant Q_v

et Q_d on déduisait $Q_m = Q_v - Q_d$.

Le second barrage à aiguilles permettait de régler le niveau aval de la courbe de remous dans la rigole. Selon les cas, la position de ce barrage pouvait, ou non, influencer la répartition des débits Q_m et Q_d . On ne pouvait donc mesurer Q_d qu'après avoir réglé ce barrage.

Le régime permanent une fois établi, on procédait au repérage de la surface de l'eau dans la rigole à l'aide du coordinatographe. La position des pointés est indiquée à la figure 3, en plan. Comme on le voit, la surface a été repérée par 90 points, répartis sur 30 profils en travers, à raison de 3 par profil. L'irrégularité de la surface dans tous les essais a nécessité le choix d'un aussi grand nombre de points. A cause des pulsations, la mesure en chaque point comprenait le repérage de la position maximum et de la position minimum du niveau de la surface. La moyenne arithmétique de ces deux valeurs a été considérée comme la position moyenne de la surface en ce point. Le repérage complet de la surface d'un essai nécessitait donc en réalité $90 \times 2 = 180$ mesures. Ajoutons que le « zéro » de chacun des 90 points a été préalablement déterminé en remplissant d'eau la rigole et en faisant les pointés de la surface après avoir attendu jusqu'à ce qu'elle fût complètement immobile.

Dans le tableau I, colonnes 2, 3, 5, nous avons indiqué les principales données des 9 expériences de cette série, à savoir : le débit total Q_v , le débit des deux échancrures Q_d , le niveau moyen Z_{+400} de la surface au profil + 400 (moyenne arithmétique des 9 pointés relatifs aux profils + 375, + 400, + 425). Dans ce même tableau nous avons également indiqué, colonnes 4, 6 et 7, le débit à l'entrée de la rigole $Q_m = Q_v - Q_d$, le niveau moyen Z_{-100} de la surface au profil - 100 (moyenne arithmétique des 9 pointés relatifs aux profils - 115, - 100, - 85) et la différence $\Sigma \Delta z = Z_{+400} - Z_{-100}$ des niveaux moyens aux profils + 400 et - 100 définis ci-dessus.

TABLEAU I

Expériences sur les mouvements à débit croissant avec apport latéral par deux échancrures

Comparaison des résultats des calculs et des expériences.

Résultats des expériences							Résultats des calculs et leur comparaison aux expériences			
Numéro de l'expérience	Q_v débit dans la rigole à l'aval des échancrures (mesuré)	Q_d débit des deux échancrures = apport latéral (mesuré)	Q_m débit dans la rigole à l'amont des échancrures = $Q_v - Q_d$	Z_{+400} Niveau de la surface au profil + 400 (mesuré)	Z_{-100} Niveau de la surface au profil - 100 (mesuré)	$\Sigma \Delta z_{\text{mesuré}} = Z_{+400} - Z_{-100}$	$\Sigma \Delta z$ calculé à l'aide de l'équation (5) complète	$\Sigma \Delta z_{\text{mesuré}} - \Sigma \Delta z_{\text{calculé}}$ à l'aide de l'équation (5) complète	$\Sigma \Delta z$ calculé à l'aide de l'équation (5) privée du terme dû à la rugosité des parois	$\Sigma \Delta z_{\text{mesuré}} - \Sigma \Delta z_{\text{calculé}}$ équation (5) réduite
	dm ³ : s	dm ³ : s	dm ³ : s	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
a1	22,50	+ 2,50	20,00	15,71	18,08	-2,37	-2,27	-0,10	-1,93	-0,44
a2	22,50	+ 2,40	20,10	15,43	17,84	-2,41	-2,35	-0,06	-1,96	-0,45
a3	25,00	+ 4,80	20,20	14,32	18,66	-4,34	-4,30	-0,04	-3,94	-0,40
a4	17,50	+ 2,52	14,98	16,70	18,02	-1,32	-1,30	-0,02	-1,11	-0,21
a5	20,00	+ 5,08	14,92	15,81	18,23	-2,42	-2,48	+0,06	-2,28	-0,14
a6	22,40	+ 7,40	15,00	13,52	18,36	-4,84	-4,72	-0,12	-4,49	-0,35
a7	10,00	+10,00	0,00	16,90	17,97	-1,07	-0,96	-0,11	-0,91	-0,16
a8	15,00	+15,00	0,00	15,49	17,94	-2,45	-2,37	-0,08	-2,36	-0,09
a9	19,97	+19,97	0,00	12,35	18,25	-5,90	-5,73	-0,17	-5,64	-0,26
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

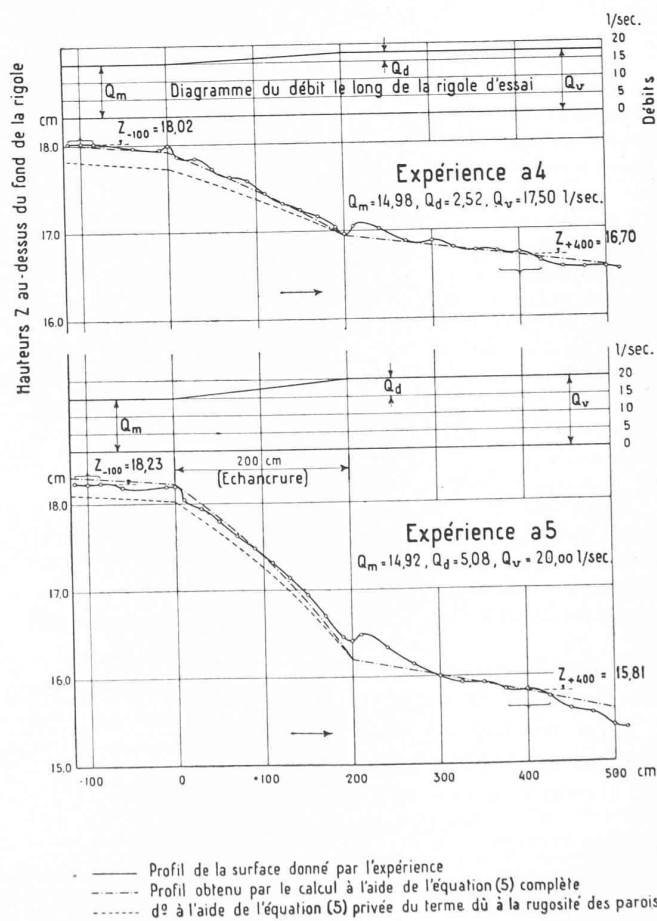
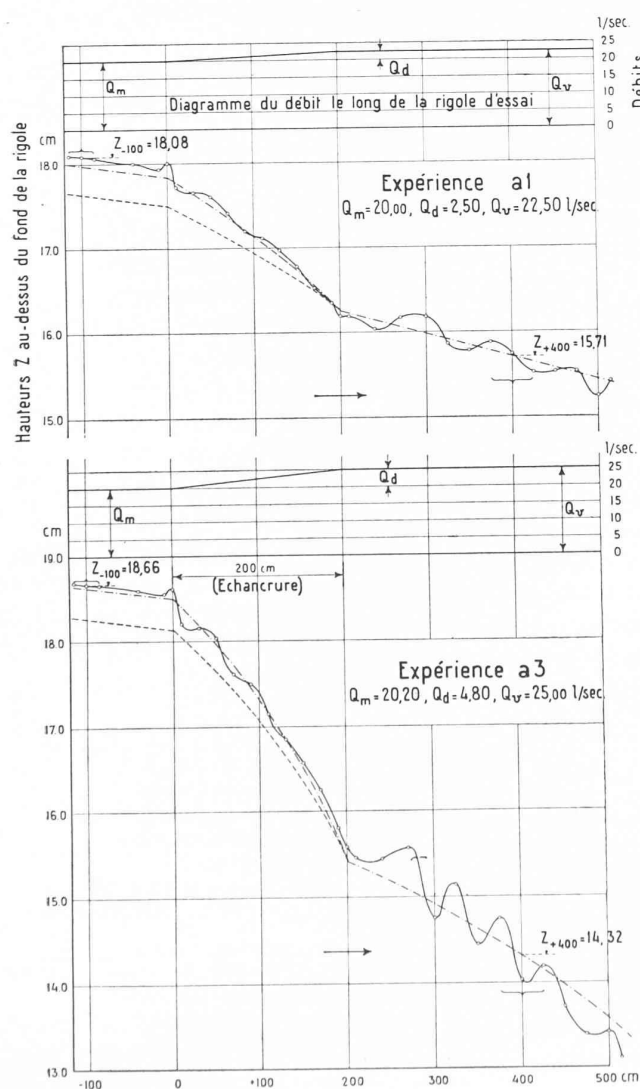


Fig. 7. — Expériences sur les mouvements à débit croissant, avec apport latéral par deux échancrures (série a). Profils en long de la surface donnés par quelques expériences et profils correspondants obtenus par le calcul.

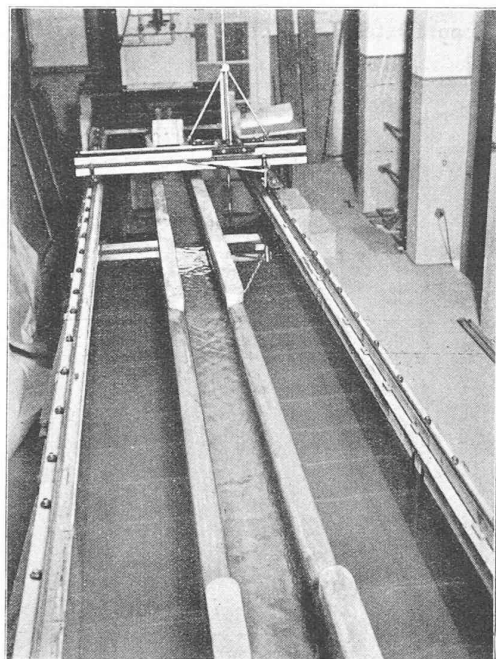


Fig. 8. — Vue de la rigole pendant l'essai a1.

Dans la figure 7, nous avons dessiné le profil en long de la surface de quatre expériences (a1, a3, a4, a5), en reportant d'abord les moyennes arithmétiques des niveaux en chacun des 30 profils où l'on a fait les mesures, puis en reliant ces points par une ligne continue. Ces profils permettent de se rendre compte des irrégularités qu'accuse la surface d'un écoulement permanent à débit variable, non seulement dans le secteur où le débit varie, mais surtout à l'aval, où se forment d'importantes ondulations stationnaires.

Ces irrégularités ne sont cependant pas assez fortes pour masquer le caractère fondamental du phénomène, qui est l'accentuation de la pente de la surface dans le secteur où le débit varie¹.

Comme nous le verrons plus loin, les calculs font parfaitement ressortir ce caractère. La figure 9 est une vue de l'un des essais.

Remarque. Il n'a pas été fait de série d'essais avec débit croissant et apport latéral d'un seul côté, car nous estimons que ce cas a été suffisamment étudié par les expériences faites pour l'avant-projet des évacuateurs de crues du Boulder-Dam (voir note 2, p. 93).

b) *Expériences sur les mouvements à débit décroissant avec prélèvement latéral par les deux échancrures (Série b).*

Cette série comprend 10 essais, numérotés de b1 à b10. Dans les essais b1 et b2, les parois limitant les échancrures étaient exactement les mêmes que pour les essais a

¹ Dans les expériences faisant l'objet de ce mémoire, le mouvement de l'eau dans toutes les parties de la rigole était à l'état tranquille, c'est-à-dire sous l'influence des conditions d'aval. Le caractère des courbes de remous que nous indiquons ici et plus loin se rapporte donc à cet état, qui est celui que l'on rencontre le plus fréquemment dans la pratique. Il va de soi que dans le cas d'un mouvement torrentueux le caractère pourrait être très différent.

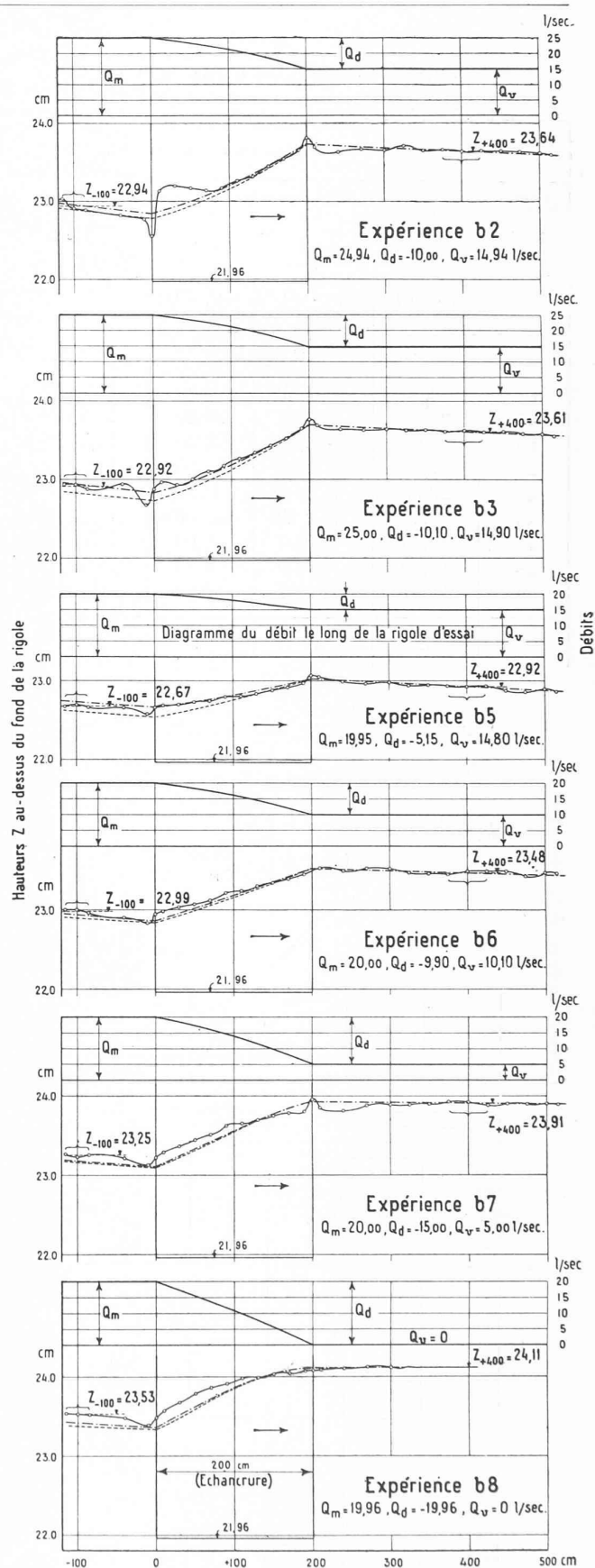


Fig. 9. —

Expériences sur les mouvements à débit décroissant, avec prélèvement latéral par deux échancrures (série b). Profils en long de la surface donnés par quelques expériences et profils correspondants obtenus par le calcul.

(leur profil était un demi-cercle). Par contre, pour faire les essais b3 à b10, on a légèrement modifié les parois latérales amont des déversoirs, en leur donnant en plan une forme permettant plus facilement l'évacuation de l'eau (voir la vue en plan partielle de la figure 3).

Dans ces expériences les deux bassins situés de part

et d'autre de la rigole étaient fermés [à l'amont par les vannes placées à l'entrée ; à l'aval se trouvaient les deux déversoirs à contraction latérale (voir § 3, 2^o). De cette façon le débit total réglé par la vanne de la conduite alimentant l'installation, pénétrait dans la rigole, dont le barrage à aiguilles amont était complètement

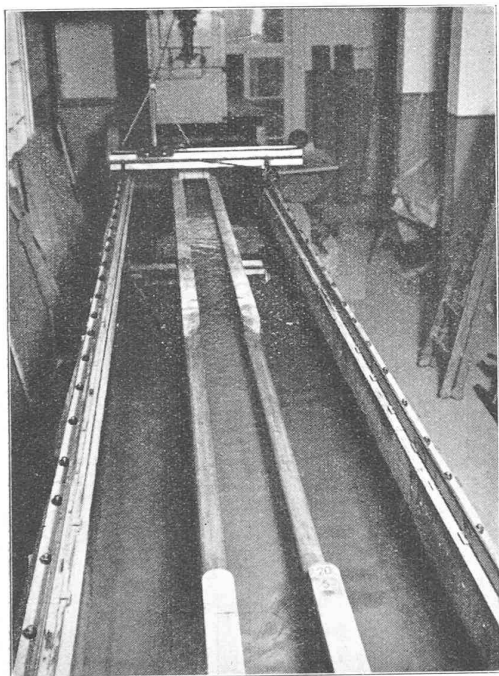


Fig. 10. — Vue de la rigole pendant l'essai b5.

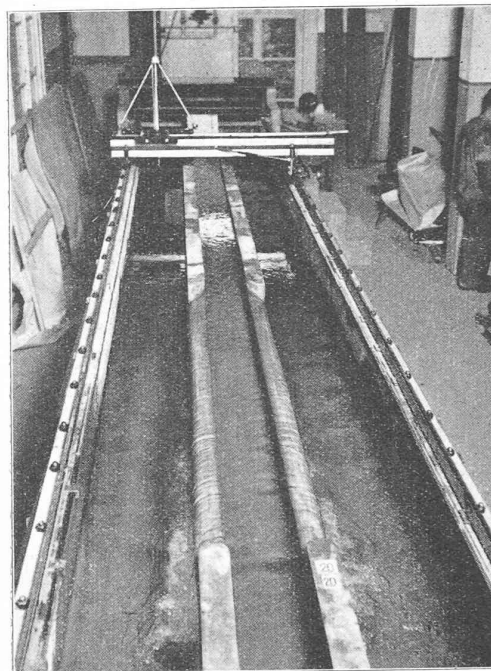


Fig. 11. — Vue de la rigole pendant l'essai b8.

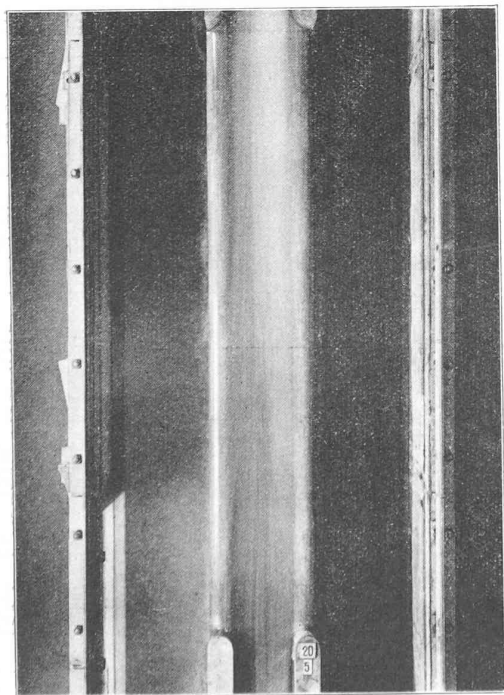


Fig. 12. — Vue en plan des filets liquides voisins de la surface. Essai b5.

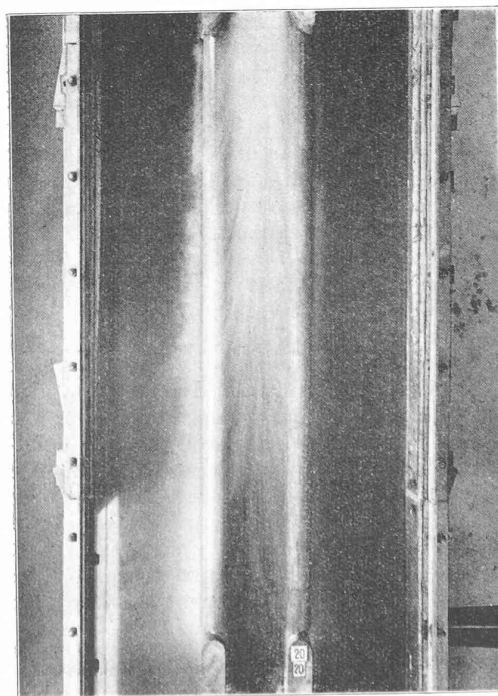


Fig. 13. — Vue en plan des filets liquides voisins de la surface. Essai b8.

ouvert. Le débit avait la valeur constante Q_m entre l'entrée de la rigole et le début des échancrures. Le long de celles-ci, il décroissait selon une loi non-linéaire de la valeur Q_m à la valeur Q_v , car, par suite des variations de niveau de la surface le long de la rigole, la hauteur déversante n'était pas constante. Enfin, entre l'extrémité aval des échancrures et la sortie de la rigole, le débit avait la valeur constante Q_v . La différence des débits, $Q_v - Q_m$, représentait le débit de prélèvement Q_d . Par raison de symétrie, ce débit se divisait en deux parties égales provenant des deux échancrures. Chacune d'elles tombait dans le bassin correspondant, franchissait le déversoir à contraction latérale situé à son extrémité aval et, finalement, se déversait dans la chambre d'évacuation.

Le niveau aval dans la rigole était réglé par le barrage à aiguilles placé vers la sortie.

Dans chaque essai on mesurait le débit Q_m au déversoir du canal métallique, le débit Q_d aux deux déversoirs à contraction latérale situés à l'aval des deux bassins, puis on faisait le relevé de la surface de l'eau, à l'aide du coordinatographe, aux points considérés dans les essais *a*.

Dans le tableau II, colonnes 2 à 7, nous avons indiqué les débits Q_m , Q_d et Q_v , les niveaux Z_{+400} et Z_{-100} définis précédemment, ainsi que les différences $\Sigma\Delta z$ mesurées.

La figure 9 représente les courbes de remous de six expériences (b2, b3, b5 à b8). Ces courbes ont été obtenues en prenant, pour chaque profil en travers, la moyenne arithmétique des trois pointés (courbes continues).

Les figures 10 et 11 sont des photographies montrant l'installation pendant les essais b5 et b8. Pour rendre visibles les filets liquides superficiels de l'eau dans ces deux expériences, nous avons recouvert la surface de confetti que l'on jetait à la main à l'amont des échancrures : les figures 12 et 13, ainsi obtenues, montrent sous quels angles l'eau évacuait la rigole en arrivant sur les déversoirs.

A la figure 9, nous voyons que la surface accuse le caractère fondamental suivant : dans les parties où le débit est constant, la surface descend dans le sens du courant ; au contraire, dans le secteur où le débit varie, elle monte. Cela signifie que l'influence d'un prélèvement de débit se manifeste par une surélévation du niveau. Ce résultat, qui peut paraître à première vue paradoxal, est parfaitement confirmé par la théorie, comme nous le verrons au paragraphe suivant.

Les irrégularités de la surface sont ici, en général, moins accentuées que dans le cas d'un apport latéral, surtout à l'aval des déversoirs, comme le montre une comparaison des figures 7 et 9.

La courbe de remous de l'essai b2, qui fait exception à la règle ci-dessus, accuse une forte ondulation au voisinage du début des échancrures : elle est due à la forme en plan de l'extrémité des parois amont (demi-cercle). En revanche, cette ondulation est beaucoup plus faible pour les autres essais de la figure 9, qui ont été faits en modifiant les extrémités des parois. Cette simple remarque montre l'importance qu'il y a, dans la pratique, à donner une forme convenable aux extrémités des parois voisins des déversoirs, si l'on tient à éviter de trop fortes perturbations locales de la surface.

(A suivre).

Erratum : Bulletin technique du 10 avril 1937, page 96, 2^e colonne, 12^e ligne, remplacer « troisième terme » par « premier terme du second membre ».

TABLEAU II.
Expériences sur les mouvements à débit décroissant avec prélèvement latéral par deux échancrures
Comparaison des résultats des calculs et des expériences.

Résultats des expériences										Résultats des calculs et leur comparaison aux expériences						
Numéro de l'expérience	Q_m débit dans la rigole à l'amont des échancrures (mesuré)	Q_d débit des deux échancrures =prélèvement latéral (mesuré)	Q_v débit dans la rigole à l'aval des échancrures $=Q_m+Q_d$	Z_{+400} Niveau de la surface au profil + 400 (mesuré)	Z_{-100} Niveau de la surface au profil - 100 (mesuré)	$\Sigma\Delta z_{mesuré}$ $=Z_{+400}-Z_{-100}$	$\Sigma\Delta z$ calculé à l'aide de l'équation (6) complète	$\Sigma\Delta z_{mesuré}-\Sigma\Delta z_{calculé}$ à l'équation (6) complète	$\Sigma\Delta z$ calculé à l'aide de l'équation (6) privée du terme dû à la rugosité des parois	$\Sigma\Delta z_{mesuré}-\Sigma\Delta z_{calculé}$ à l'équation (6) réduite	Q_d obtenu par le calcul à l'aide de l'équation (6) complète	$Q_{dmesuré}-Q_{dcalculé}$ à l'équation (6) complète	Q_d obtenu par le calcul à l'aide de l'équation (6) privée du terme dû à la rugosité des parois	$Q_{dmesuré}-Q_{dcalculé}$ à l'équation (6) réduite		
	dm ³ : s	dm ³ : s	dm ³ : s	cm	cm	cm	cm	cm	cm	dm ³ : s	dm ³ : s	dm ³ : s	dm ³ : s	dm ³ : s		
b1	25,00	— 5,00	20,00	22,94	22,65	+ 0,29	+ 0,20	+ 0,09	+ 0,42	- 0,13	— 5,50	+ 0,5	— 5,48	+ 0,48		
b2	24,94	-10,00	14,94	23,64	22,94	+ 0,70	+ 0,68	+ 0,02	+ 0,74	- 0,04	-10,15	+ 0,15	— 9,84	- 0,16		
b3	25,00	-10,10	14,90	23,61	22,92	+ 0,69	+ 0,67	+ 0,02	+ 0,77	- 0,08	-10,00	- 0,40	— 9,40	- 0,70		
b4	25,00	-25,00	0,00	24,55	23,62	+ 0,93	+ 1,07	- 0,14	+ 1,12	- 0,19	-23,10	- 1,90	-22,75	- 2,25		
b5	19,95	— 5,15	14,80	22,92	22,67	+ 0,25	+ 0,49	+ 0,06	+ 0,32	- 0,07	— 5,30	+ 0,15	- 5,22	+ 0,07		
b6	20,00	- 9,90	10,10	23,48	22,99	+ 0,49	+ 0,54	- 0,05	+ 0,57	- 0,08	- 9,90	± 0	— 9,35	- 0,55		
b7	20,00	-15,00	5,00	23,91	23,25	+ 0,66	+ 0,73	- 0,07	+ 0,74	- 0,08	-15,00	± 0	-14,35	- 0,65		
b8	19,96	-19,96	0,00	24,11	23,53	+ 0,58	+ 0,69	- 0,11	+ 0,73	- 0,15	-18,60	-1,36	-18,35	-1,61		
b9	15,00	-15,00	0,00	23,70	23,38	+ 0,32	+ 0,40	- 0,08	+ 0,43	- 0,11	-14,09	- 0,91	-14,04	- 0,96		
b10	10,00	-10,00	0,00	23,29	23,15	+ 0,14	+ 0,49	- 0,05	+ 0,14	± 0	— 9,95	- 0,05	— 9,80	- 0,20		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		