

Etude hydraulique d'un évacuateur

Autor(en): **Bretz, Nicola-V.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **111 (1985)**

Heft 3

PDF erstellt am: **24.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-75609>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Etude hydraulique d'un évacuateur

par Nicola-V. Bretz, Lausanne

Résumé

Le projet d'aménagement hydro-électrique du Rhône est le point de départ de ce travail. Sa préoccupation première est l'étude hydraulique de l'évacuateur de crues, plus précisément au sujet de la dissipation de l'énergie dans le bassin amortisseur caractérisé par un seuil à son extrémité. Après une approche théorique, le problème est étudié sur modèle en laboratoire. Des mesures (lignes d'eau, vitesses et pressions) ont permis d'obtenir des résultats quant aux hauteurs conjuguées, à la répartition des vitesses et des pressions, et à la dissipation d'énergie. Pour le projet du Rhône, deux conclusions sont tirées : d'une part augmenter la hauteur du seuil et d'autre part poursuivre les essais sur modèle en modifiant la longueur du bassin amortisseur.

Abstract

The present study considers the hydro-electrical development of the river Rhône. Particularly, the hydraulic features of the spillway are focussed by emphasising the energy dissipation in the stilling basin. After a theoretical approach, the problem is pursued experimentally. Observations include the development of the surface profiles, and distributions of velocity and pressure are given. These allow for an evaluation of the sequent depth ratio, the internal flow characteristics and the energy dissipation mechanism. Two main conclusions are obtained with respect to the HydroRhône project: flows in the stilling basin will be more favorable by augmenting the original sill height and by lengthening it.

Zusammenfassung

Der hydroelektrische Ausbau der Rhone bildet die Grundlage der folgenden Arbeit. Das Hauptinteresse richtet sich dabei auf eine hydraulische Untersuchung der Hochwasser-Entlastung, genauer auf die Energieumwandlung im Tosbecken. Aufgrund theoretischer Betrachtungen wird das Problem der Energieumwandlung in Tosbecken experimentell verfolgt. Messungen des Wasserspiegelverlaufs, der Geschwindigkeits- und Druckverteilungen ermöglichen eine Auswertung bezüglich der konjugierten Wassertiefen, des internen Strömungsverlaufs sowie der Energieumwandlung. In Bezug auf das Projekt HydroRhône ergeben sich schliesslich zwei wichtige Folgerungen: einerseits muss eine gegenüber den ursprünglichen Berechnungen erhöhte Schwelle am Ende des Tosbeckens vorgesehen werden, andererseits genügt die Länge des Tosbeckens den möglichen Flusszuständen nicht.

1. Introduction

Depuis que l'homme réalise des constructions hydrauliques, il est confronté au problème de la dissipation de l'énergie contenue dans l'eau en mouvement, plus particulièrement lors de la réalisation des évacuateurs de crues. Pour les aménagements au fil de l'eau, ces ouvrages sont constitués d'une partie barrage avec vanes ou déversoir, et d'une partie bassin amortisseur. Le but de ce travail est de présenter quelques résultats correspondant à un type d'évacuateur étudié sur modèle hydraulique et leur discussion en vue de la réalisation de ces ouvrages.

Seront décrits plus particulièrement les aspects hydrauliques concernant les seuils dans les dissipateurs rectangulaires.

La première étape est une analyse de la littérature, la seconde consiste en une approche théorique au problème de la dissipation dans un bassin avec seuil, la troisième, finalement, est une étude en laboratoire sur modèle réduit; l'exploitation des mesures et leur interprétation permettent de tirer des conclusions pratiques.

2. Littérature

La littérature au sujet de la dissipation d'énergie et plus particulièrement du ressaut hydraulique, est abondante. Depuis les premières investigations de Bidone en 1818, de nombreuses théories et recherches se sont développées, mais limitées à des cas simples. Bélanger a établi le rapport des hauteurs conjuguées, pour un canal rectangulaire prismatique et quasi horizontal. Forster et Skrinde [2]¹ se sont attachés à l'étude de bassins dissipateurs à fond horizontal avec marche positive, en adoptant une répartition hydrostatique des pressions sur la marche. Rajaratnam [9] a étudié de nombreux types de bassins amortisseurs et a mis en évidence les différents types d'écoulement possibles à l'aval du bassin. Press et Schröder [8] présentent quelques résultats intéressants, notamment les essais de Macha pour différentes géométries de seuil. Les travaux de Karki [5] portent essentiellement sur l'analyse des pressions et leur répartition. Perterka [7] a étudié de nombreux types de bassins amortisseurs et ses résultats sont largement utilisés pour le dimensionnement de tels bassins.

Une grande variété de bassins a fait l'objet d'analyses depuis Bidone. Globalement, le ressaut hydraulique est assez bien connu pour divers types simples; toutefois, peu d'explications sont données quant à sa structure et à sa dynamique internes, le phénomène étant si complexe. Des types particuliers de bassins amortisseurs doivent donc être examinés à l'aide des essais sur modèles.

3. Théorie

Considérons un écoulement dans un canal rectangulaire, prismatique et presque horizontal avec un débit q par unité de largeur, une hauteur h et une vitesse moyenne $v = q/h$. Son énergie spécifique H est la somme des composantes statiques (pressions) et dynamiques. D'après Bernoulli, on a $H = h + q^2/(2gh^2)$ avec g l'accélération de la gravitation. Les écoulements à surface libre se laissent donc caractériser par le débit, la hauteur d'eau et la charge, ou bien, en introduisant les nombres relatifs, par le nombre de Froude $F^2 = v^2/gh = q^2/(gh^3)$. Le domaine possible du nombre de Froude est $0 \leq F < \infty$, la transition entre deux conditions d'écoulement possible représente $F = 1$. Les écoulements avec $F < 1$ (> 1) sont fluviaux (torrentiels) et la transition de $F < 1$ à $F > 1$ est continue, tandis que le contraire est toujours discontinu [1]. Ce dernier est connu comme ressaut hydraulique.

Le cas le plus simple est celui des canaux rectangulaires, prismatiques et presque horizontaux. Le rapport entre les hauteurs d'eau amont et aval de la discontinuité correspondantes $Y = h_2/h_1$ (cf. fig. 1) se calcule d'après la formule de Bélanger

$$Y = \frac{1}{2} (\sqrt{1 + F^2} - 1), \quad (1)$$

donc $Y > 1$ pour $F > 1$.

¹Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

Notations

a	[-]	rapport d'échelle modèle / prototype
A	[m]	ouverture de vanne
F	[-]	nombre de Froude
g	[m ² /s]	accélération gravitaire
h	[m]	hauteur (profondeur) d'eau
H	[m]	charge hydrostatique
ΔH	[m]	perte de charge
L	[m]	longueur du rouleau
N	[m]	niveau d'eau
p	[mce]	pression hydrostatique
q	[m ² /s]	débit spécifique
Q	[m ³ /s]	débit réel
s	[m]	hauteur du seuil
S	[-]	hauteur du seuil relative à h_1
v	[m/s]	vitesse de l'écoulement
v_{\max}	[m/s]	vitesse maximale de l'écoulement
\vec{V}	[-]	vecteur de vitesse
Y	[-]	rapport des hauteurs conjuguées h_2/h_1
γ	[-]	rapport des hauteurs $(h_2 + s)/h_1$
z	[m]	altitude
β	[°]	direction du vecteur de vitesse

Indices:

1 = section amont	M = modèle
2 = section aval	P = prototype

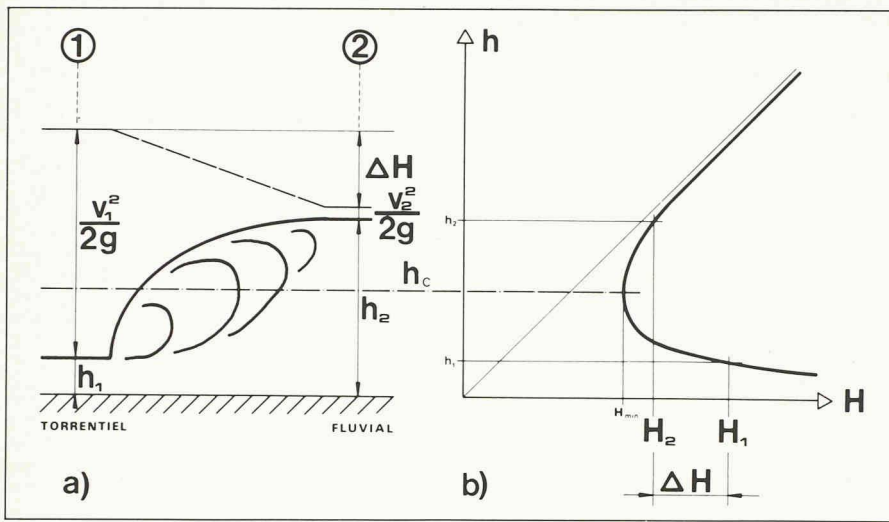


Fig. 1. — Représentation schématique du ressaut hydraulique : a) volume de contrôle avec les sections amont (indice «1») et aval (indice «2»), les hauteurs de vitesses ($v^2/2g$) et la perte de charge ΔH ; b) la charge H en fonction de la hauteur h de l'écoulement pour un débit constant.

Entre deux sections caractéristiques «1» et «2», l'équation de Bernoulli s'écrit :

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta H. \quad (2)$$

La dissipation ΔH devient avec (1) et (2)

$$\Delta H = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4 h_1 h_2} \quad (3)$$

ou, approximativement [3]

$$\Delta H / h_1 = [1 - (\sqrt{2}/F)]^2, \quad F_1 > 1.5, \quad (4)$$

avec $\Delta H / H_1$ comme dissipation relative à la charge amont. Pour H_1 donné, $\Delta H / H_1$ augmente donc avec F_1 .

Le désavantage du ressaut hydraulique décrit ci-dessus est sa *stabilité* : une petite variation du débit Q ou de la hauteur aval h_2 change sa position en canal. Le résultat est une érosion globale de la rivière. Pour éviter ces phénomènes, on peut *fixer la position du ressaut* par des chicanes supplémentaires ; un tel ouvrage est connu comme *dissipateur*. Une solution possible est de faire varier la géométrie du radier du canal, par des marches ou par des seuils. Ce dernier type sera étudié en détail par la suite pour le canal prismatique.

Du point de vue théorique, le dissipateur avec une marche est plus facile à décrire ; de plus, on retrouve des caractéristiques hydrauliques analogues au seuil. Comme esquissé à la figure 2, la marche est caractérisée par sa hauteur s et son inclinaison.

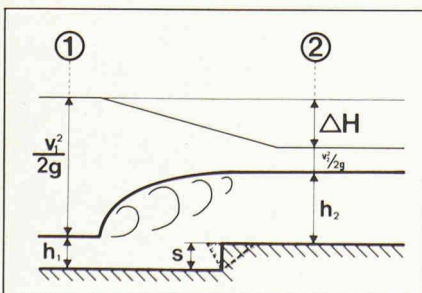


Fig. 2. — Définition des grandeurs pour une marche verticale, avec s comme hauteur de la marche positive.

Normalement, on considère des marches verticales.

Pour exprimer les hauteurs conjuguées d'un écoulement sur une marche positive, l'équation de la quantité de mouvement est appliquée. En supposant des répartitions hydrostatique des pressions et uniforme des vitesses dans des sections amont et aval et contre la marche, le résultat s'écrit [2] :

$$\frac{h_1^2}{2} + \frac{q^2}{gh_1} = \frac{(h_2 + s)^2}{2} + \frac{q^2}{gh_2}$$

En posant $S = s / h_1$ comme hauteur relative de la marche, le nombre de Froude F_1 s'exprime par :

$$F_1 = \sqrt{\frac{[(Y + S)^2 - 1] Y}{2(Y - 1)}} \quad (6)$$

Pour $S = 0$, on retrouve l'équation de Bélanger (1) (la deuxième solution $Y = 1$ ne correspond pas à une transition $F_1 > 1$ à $F_2 < 1$). La figure 3 montre les courbes $F_1 = f(Y, S)$ selon (6) pour les valeurs $S = 0, 0.5, 1, 2$ et 4 . La ligne en traitillés distingue les 2 types d'écoulement que l'on peut rencontrer à l'aval de la marche, pour des conditions amont torrentielles. Le premier est une transition de torrentiel ($F > 1$) à fluvial ($F < 1$) avec formation du ressaut hydraulique ; le deuxième type, par contre, correspond à des conditions globalement torrentielles. Seul le premier type d'écoulement nous intéresse.

Si l'on compare (6) avec les essais effectués par Forster et Skrinde [2], on note un parallélisme des courbes respectives avec un décalage, i.e. pour un même F_1 , l'expérience donne une valeur Y plus faible que la théorie. Ceci est dû aux hypothèses simplificatrices, notamment la répartition des pressions autour de la marche [3].

L'application de l'équation de Bernoulli à l'amont et à l'aval de la marche s'écrit (cf. fig. 2) :

$$h_1 + \frac{q^2}{2gh_1^2} = s + h_2 + \frac{q^2}{2gh_2^2} + \Delta H. \quad (7)$$

En éliminant $Y = h_2/h_1$ de cette relation et de (6), on arrive à :

$$\Delta H / H_1 = 1 - \left\{ \frac{(Y + S + [F^2/2 Y^2])}{(1 + 1/2 F^2)} \right\}. \quad (8)$$

La figure 4 montre cette relation comme $\Delta H / H_1 (F_1)$ pour divers S , et la courbe pour $S = 0$ est l'enveloppe de toutes les autres. La transition entre les écoule-

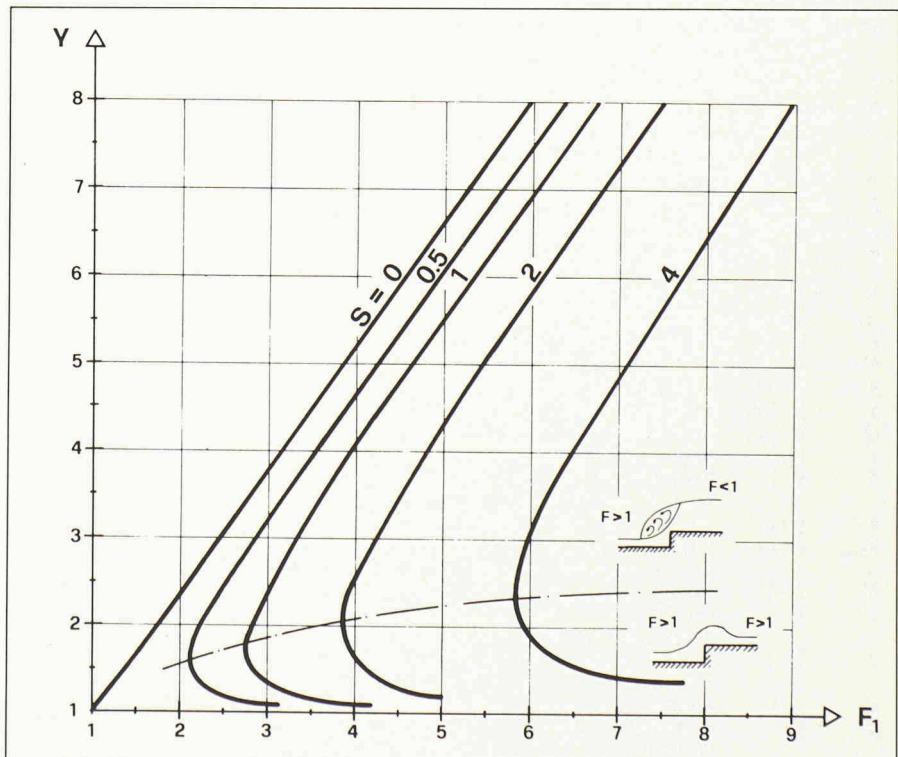


Fig. 3. — Hauteurs conjuguées Y pour une marche positive de hauteur relative S en fonction du nombre de Froude amont F_1 . La ligne en traitillés sépare les 2 types d'écoulement : a) transition $F > 1$ à $F < 1$ (au-dessus) ; b) conditions globalement torrentielles.

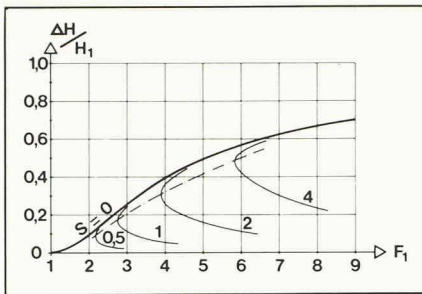


Fig. 4. — La dissipation relative du ressaut sur une marche positive selon (8). La ligne hachurée indique la limite entre des conditions fluviales (au-dessus) et torrentielles (au-dessous) à l'aval de la marche. Voir aussi figure 3.

ments fluviaux et torrentiels est indiquée par la courbe en traitillés (minima des courbes $\Delta H / H_1 (F_1)$ pour S donné). Il est à noter que, pour des conditions fluviales, les différences entre les courbes $S = 0$ et $S > 0$ sont petites. La perte de charge relative est donc insensible à la hauteur de la marche S . L'équation (4) est donc valable pour des valeurs $S > 0$. La perte de charge relative $\Delta H / H_1$ n'est donc qu'une fonction du nombre de Froude F_1 , mais ne dépend pas de la hauteur de la marche.

Le seuil se distingue de la marche par sa géométrie (cf. fig. 5) et par les conséquences du point de vue écoulement qui en découlent. L'écoulement derrière le seuil peut être soit fluvial (ressaut devant le seuil), soit torrentiel (formation d'une onde immobile sur le seuil [6]) avec ou sans ressaut hydraulique à l'aval du seuil. Evidemment, c'est seulement le premier cas qui nous intéresse. La répartition des pressions devant et derrière le seuil n'est pas hydrostatique à cause de la courbure des filets de courant [3]. A l'amont (aval) du seuil, on a des pressions plus grandes (plus petites); il existe donc des zones avec une pression stagnante (amont) et des zones de séparation du seuil (aval). Ces difficultés font qu'une théorie élémentaire ne s'adapte pas facilement à l'analyse de l'écoulement sur un seuil. C'est pourquoi on s'est tourné vers les essais en laboratoire.

4. Essais

4.1 Les installations

Les installations à disposition sont celles du laboratoire d'hydraulique de l'EPFL, en particulier le grand canal vitré dont les dimensions ($L \times b \times h$) sont $43 \times 2 \times 1$ m. A l'intérieur de celui-ci se trouve un modèle au 1:30 de l'ouvrage type de l'aménagement du Rhône. Les débits utilisables sur le modèle varient de 0 à 250 l s^{-1} . Le schéma du modèle est représenté aux figures n° 6 et 7, avec les trois différents seuils (1, 2, 1 et 3 m de hauteur sur le prototype).

4.2 Analogie de Froude

Les principaux résultats de cette analogie pour un rapport d'échelle «a» entre le

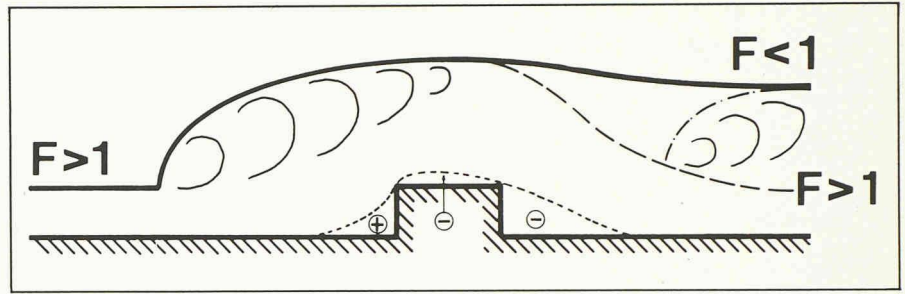


Fig. 5. — Ecoulement sur un seuil: types possibles de profil de surface à l'aval du seuil en fonction du nombre de Froude F_1 ; répartitions typiques des pressions autour du seuil. ⊕ et ⊖ indiquent des surpressions et souspressions, comparées avec la répartition hydrostatique.

prototype (indice P) et le modèle (indice M) sont:

1) dimensions géométriques:

$$h_M / h_P = a,$$

2) pressions (en mce):

$$P_M / P_P = a,$$

3) vitesses:

$$v_M / v_P = a^{0.5},$$

4) débits:

$$Q_M / Q_P = a^{2.5}.$$

Par la suite, toutes les valeurs mesurées et calculées à partir des essais sur modèle sont transformées par ces relations pour obtenir les grandeurs du prototype.

4.3 Essais

Quatre différents essais ont été effectués. Les numéros 1 et 2 consistent à faire varier le niveau aval pour des conditions fixées, avec des seuils différents, pour observer les variations de l'écoulement dans les différents cas. Les essais n° 3 et 4 reprennent la même procédure que l'essai n° 0 réalisé par les soins du LhydreP dans le cadre du mandat HydroRhône, pour 5 débits différents ($80, 150, 200, 300$ et $1300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) en changeant le seuil d'un essai à l'autre. La table 1 donne pour chaque essai effectué l'ouverture de la vanne, le débit sous la vanne, les niveaux amont et aval et la hauteur du seuil.

4.4 Résultats

4.4.1 Représentation graphique des lignes d'eau

Pour les différentes situations étudiées, les niveaux de la surface de l'écoulement ont été mesurés. A partir de ces mesures, on a tracé les lignes d'eau des figures n° 6 et 7. Pour les essais n° 0 et 1, on dispose également des lignes de pressions. Enfin une seule série de mesures de vitesses par essai a été réalisée (excepté pour l'essai n° 0). La numérotation des essais est faite par un nombre à 2 chiffres séparés par un point. Le premier chiffre indique le numéro de la série d'essais comme décrit sous 4.3; le second précise le numéro dans la série (voir aussi table 1).

4.4.2 Hauteurs conjuguées

Les termes utilisés pour le calcul sont définis à la figure 8. La hauteur h_1 est définie comme la hauteur de la lame d'eau correspondant à la charge H_1 prise entre le niveau d'eau amont et le niveau du pied du ressaut. D'autre part, la hauteur h_2 est mesurée au droit du seuil. Ce choix particulier est nécessaire à cause d'une géométrie variable du radier. Les points obtenus sont représentés sur la figure 9, ou $\gamma = (h_2 + s) / h_1$. Une telle représentation fait disparaître les différentes courbes pour différentes valeurs

TABLE 1: Résumé des caractéristiques principales des essais

NO	A [m]	Q [m³/s]	N1 [m]	N2 [m]	S [m]
0.1	totale	1300	401	398	1
0.2	0,5	80	402	393,3	1
0.3	2,5	300	402	394,6	1
1.1	1,3	165	401,2	393,8	1
1.2	1,3	165	401,3	391,7	1
2.1	1,3	165	401,2	393,8	2,1
2.2	1,3	165	401,3	391,7	2,1
3.1	totale	1300	401	398	2,1
3.2	0,5	80	402	393,3	2,1
3.3	2,5	300	402	394,6	2,1
4.1	totale	1300	401	398	3
4.2	0,5	80	402	393,3	3
4.3	2,5	300	402	394,6	3

Explication des signes:

NO = numéro de l'essai
A = ouverture de la vanne
Q = débit sous la vanne

N1 = niveau d'eau amont
N2 = niveau d'eau aval
S = hauteur du seuil

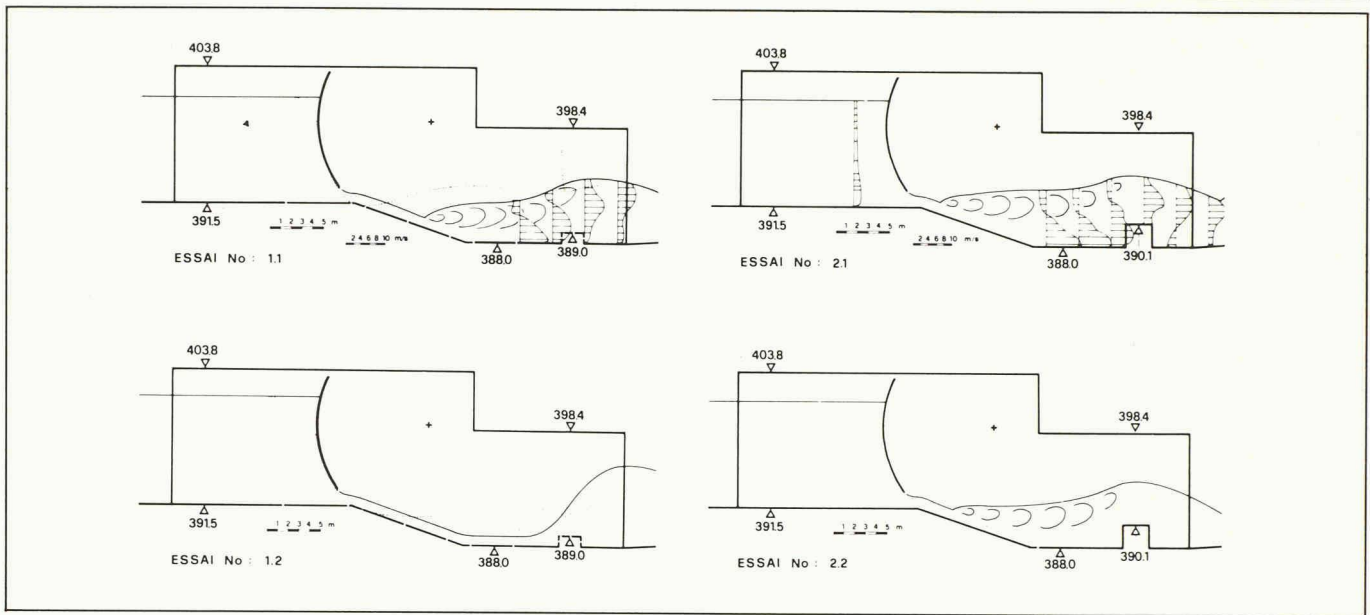


Fig. 6. — Représentations des lignes d'eau des essais nos 1 (à gauche, seuil $s = 1$ m), et 2 (à droite, seuil $s = 2$ m). Pour la série de l'essai 1, on dispose des lignes de pressions (.....). Pour 1.1 et 2.1, la répartition des vitesses est donnée. Pour les 4 cas le débit est $165 \text{ m}^3/\text{s}$.

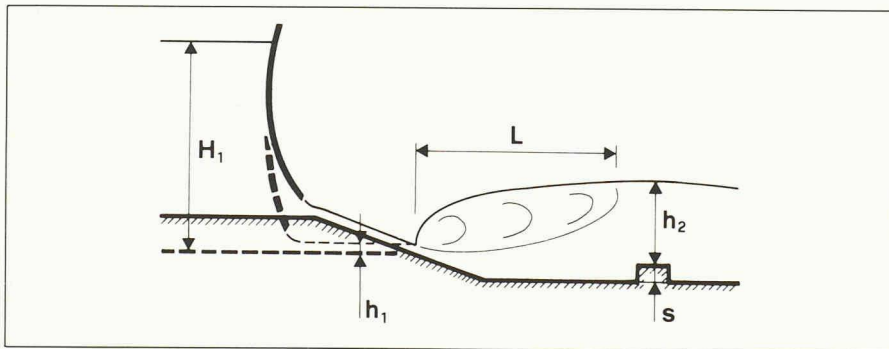


Fig. 8. — Définition des termes pour les hauteurs conjuguées et pour les pressions; sections de mesure des vitesses nos 1, 2, 3 et 4.

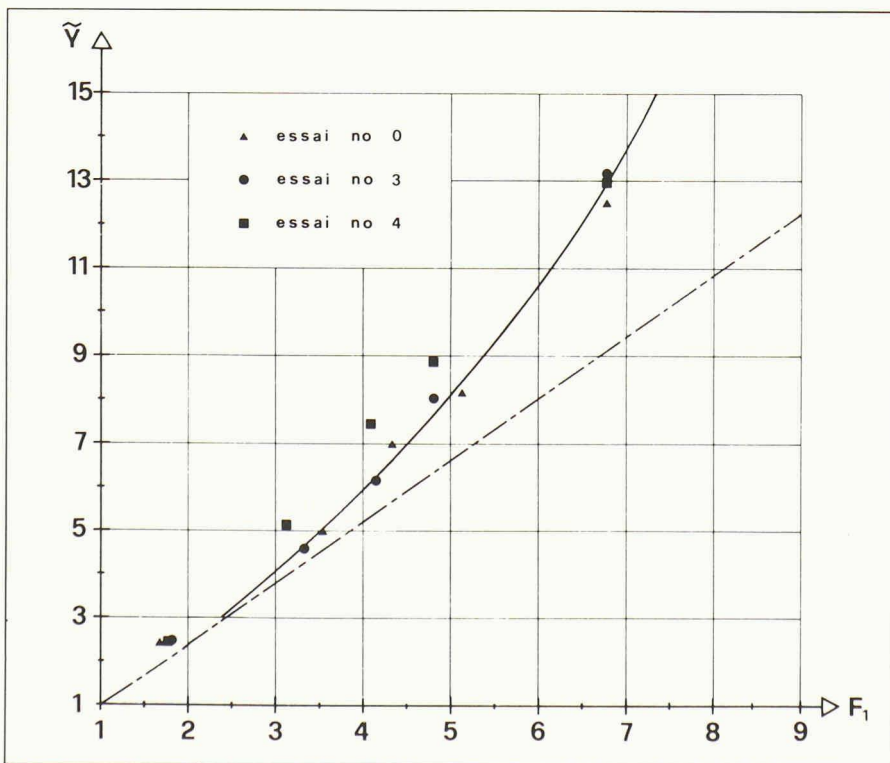


Fig. 9. — Hauteurs conjuguées $\tilde{\gamma} = f(F_1)$ d'après les essais (points et ligne) et relation (1) de Bélanger (ligne traitillée).

de S . Comparé à l'équation (1) et pour F_1 donné, γ est toujours plus grand que Y . Il semble donc que le ressaut dû à un seuil ait besoin d'une hauteur d'eau aval plus grande que dans le cas du canal à fond horizontal. Il faut noter que la position «1» n'est pas connue a priori.

4.4.3 Longueur des rouleaux

La queue d'un ressaut hydraulique est difficilement définissable et mesurable. Par contre, la longueur du rouleau correspond à la distance entre le pied amont du ressaut et l'endroit où la vitesse superficielle de l'écoulement est nulle (voir fig. 10).

Sur la figure 11, cette longueur L est rapportée à $h_2 + s$, suivant la définition des termes à la figure 8. Dans le domaine usuel des nombres de Froude amont, $3 < F_1 < 6$, on a donc $L = 1,4(h_2 + s)$, qui est plus petit que pour des ressauts sur fond horizontal, $L/h_2 = 4,5$ [7].

4.4.4 Vitesses

Les vitesses ont été mesurées à l'aide d'un moulinet non orientable, i.e. on a mesuré les composantes horizontales des vitesses $v_x = \vec{v} \cos \beta$, où β est l'angle entre l'horizontale et la ligne de courant. Les différentes sections de mesures sont représentées à la figure 8.

En rapportant la hauteur z de mesure de vitesse à la hauteur totale h et la vitesse v ainsi mesurée à la vitesse maximale dans la section, on obtient la figure 12. On remarque une répartition extrêmement non uniforme en direction verticale. La figure 12 montre l'évolution spatiale de la répartition des vitesses. Il est bien visible qu'il y a une couche inférieure et supérieure, et la première va s'agrandissant dans le sens longitudinal. On constate de

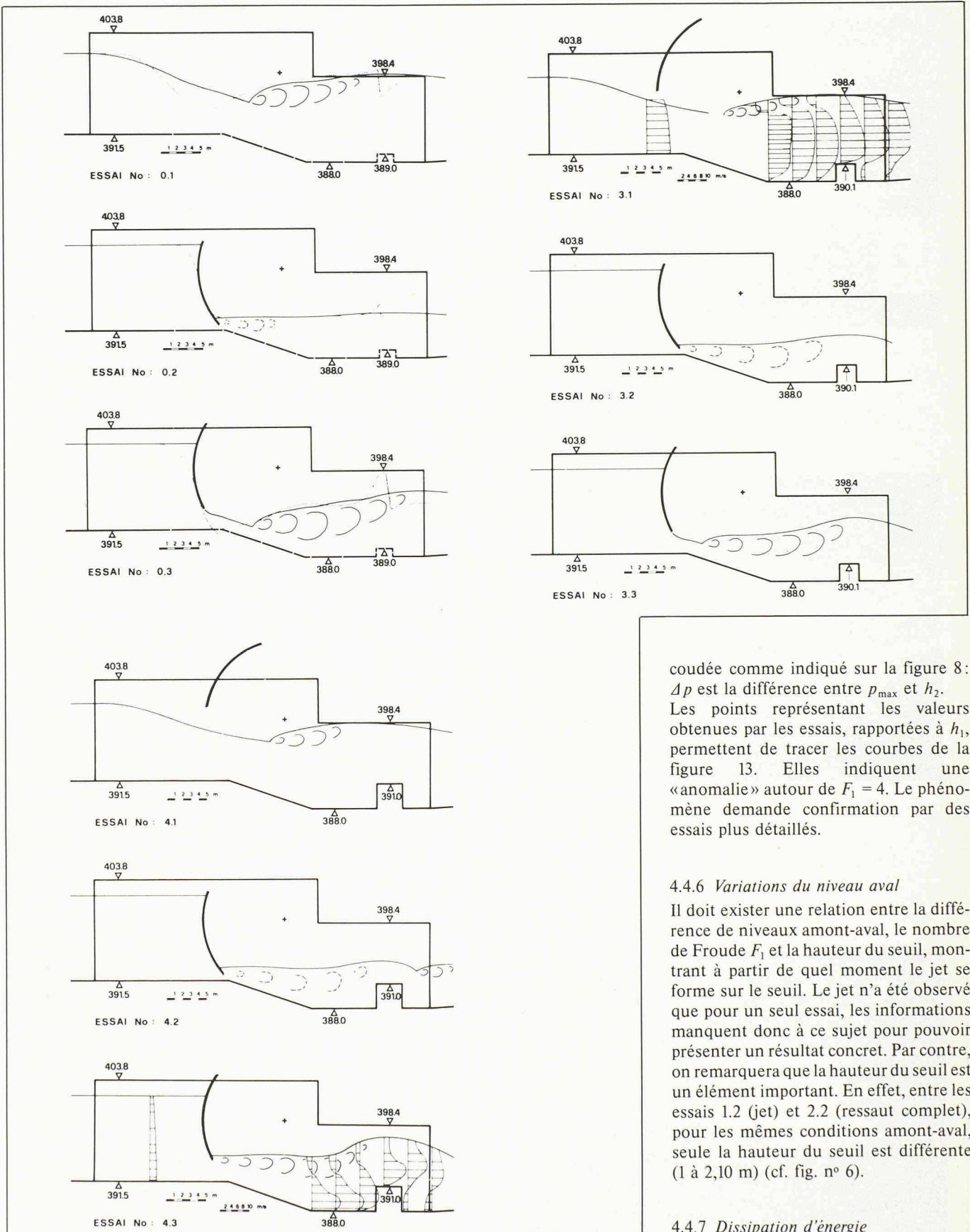


Fig. 7. — Représentation des lignes d'eau des essais : n° 0 (à gauche, $s = 1$ m), n° 3 (au centre, $s = 2,1$ m) et n° 4 (à droite, $s = 3$ m), lignes de pression pour l'essai n° 0 et répartition des vitesses pour 3.1 et 4.3. Les différents débits sont donnés à la table 1.

plus que les répartitions des vitesses deviennent plus uniformes en direction aval. Il faut bien préciser que ces répartitions de vitesses correspondent à des profils moyens, la fluctuation temporelle pouvant être très importante.

4.4.5 Pressions

L'implantation sur le modèle des nouveaux seuils occulte certaines buses des tubes piézométriques. La pression maximale p_{max} sur le seuil a été alors mesurée à l'aide d'un tube de Pitot à extrémité

coudée comme indiqué sur la figure 8 : Δp est la différence entre p_{max} et h_2 . Les points représentant les valeurs obtenues par les essais, rapportées à h_1 , permettent de tracer les courbes de la figure 13. Elles indiquent une «anomalie» autour de $F_1 = 4$. Le phénomène demande confirmation par des essais plus détaillés.

4.4.6 Variations du niveau aval

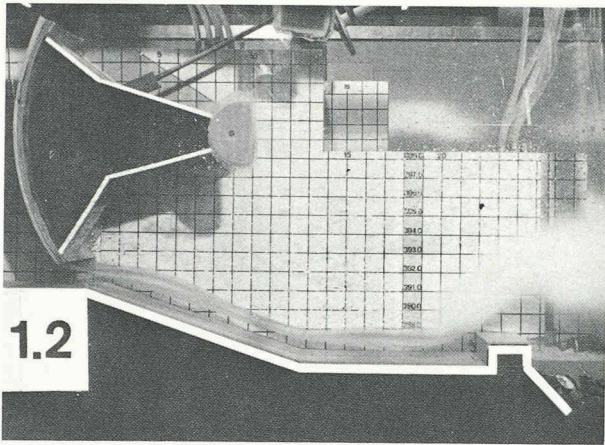
Il doit exister une relation entre la différence de niveaux amont-aval, le nombre de Froude F_1 et la hauteur du seuil, montrant à partir de quel moment le jet se forme sur le seuil. Le jet n'a été observé que pour un seul essai, les informations manquent donc à ce sujet pour pouvoir présenter un résultat concret. Par contre, on remarquera que la hauteur du seuil est un élément important. En effet, entre les essais 1.2 (jet) et 2.2 (ressaut complet), pour les mêmes conditions amont-aval, seule la hauteur du seuil est différente (1 à 2,10 m) (cf. fig. n° 6).

4.4.7 Dissipation d'énergie

Les différents termes relatifs au calcul de la dissipation d'énergie sont définis à la figure 14.

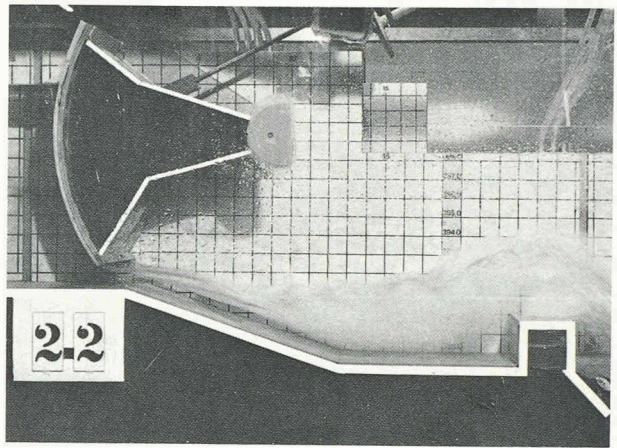
Sur la figure 15, la courbe expérimentale (—) est comparée avec l'équation (4) (---) représentant le maximum d'énergie dissipable.

La corrélation entre les 2 courbes est satisfaisante pour $F_1 < 6$; au-delà, ces dernières divergent. Ceci indique que



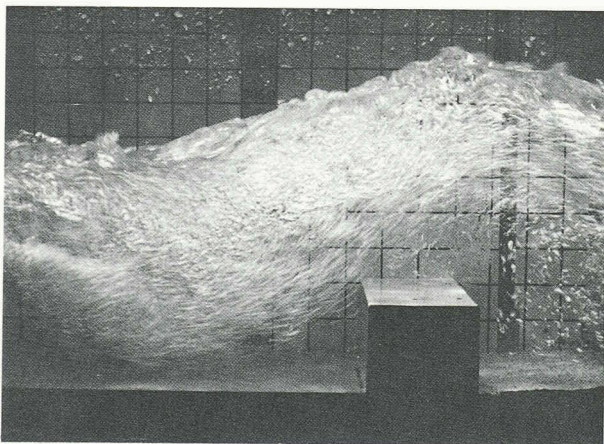
Essai no 1.2 : $A = 1,3 \text{ m}$ $Q = 165 \text{ m}^3/\text{s}$ $s = 1,0 \text{ m}$
 $N1 = 401,3$ $N2 = 391,7$

Il n'y a pas de formation de ressaut dans le bassin ; l'écoulement est torrentiel jusqu'au delà de la zone protégée et la dissipation se fait sur le lit de la rivière.



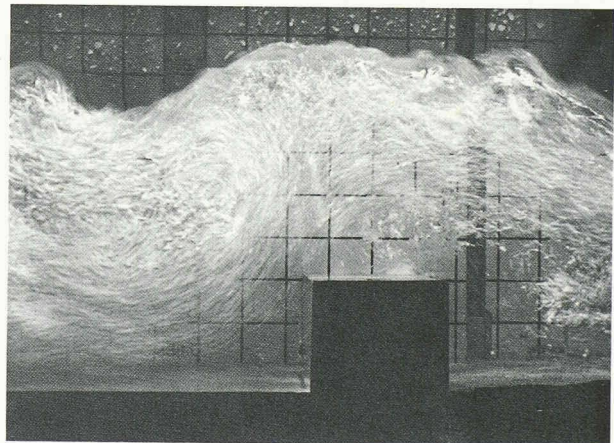
Essai no 2.2 : $A = 1,3 \text{ m}$ $Q = 165 \text{ m}^3/\text{s}$ $s = 1,0 \text{ m}$
 $N1 = 401,3$ $N2 = 391,7$

Pour les mêmes conditions que 1.2, mais en changeant la hauteur du seuil, le ressaut se forme à l'intérieur du bassin amortisseur et le lit de la rivière n'est ainsi pas érodé.



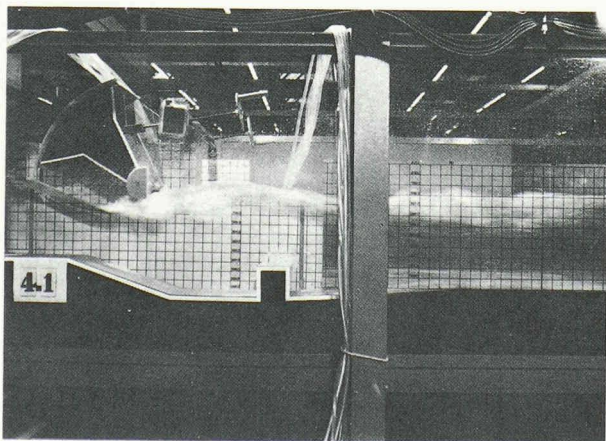
Essai no 3.4 : $A = 1,5 \text{ m}$ $Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$ $s = 2,1 \text{ m}$
 $N1 = 402,0$ $N2 = 394,0$

La trace des bulles d'air entraîné montre les lignes de courant et l'intensité de la vitesse d'écoulement. Plus la trace est longue, plus la vitesse est élevée.



Essai no 3.5 : $A = 1,0 \text{ m}$ $Q = 150 \text{ m}^3/\text{s}$ $s = 2,1 \text{ m}$
 $N1 = 402,0$ $N2 = 393,8$

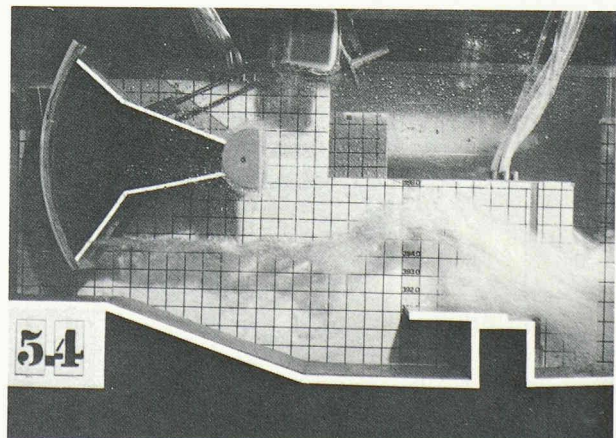
On distingue très nettement l'endroit où le dernier rouleau se termine, i.e. là où la vitesse horizontale de l'eau est nulle (milieu de la photo). A gauche de ce point, l'eau revient en amont; à droite, elle s'écoule vers l'aval.



Essai no 4.1 : $A = \text{totale}$ $Q = 1300 \text{ m}^3/\text{s}$ $s = 3,0 \text{ m}$
 $N1 = 401,0$ $N2 = 398,0$

La vanne est entièrement ouverte et laisse passer le débit de la crue millénaire. Le ressaut provoqué est petit et la dissipation faible.

Explication des signes : s = hauteur du seuil
 $N1$ = niveau d'eau amont
 A = ouverture de la vanne $N2$ = niveau d'eau aval
 Q = débit sous la vanne (*) = seuil avec plaque



Essai no 5.4 : $A = 1,5 \text{ m}$ $Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$ $s = 3,0 \text{ m}$ (*)
 $N1 = 402,0$ $N2 = 394,0$

La plaque est fixée sur le seuil dans le but de provoquer un contre-courant pour augmenter la dissipation d'énergie. Toutefois, cela ne fonctionne pas : l'écoulement ignore la plaque et considère l'obstacle comme un seuil large, qui fonctionne comme un nouveau déversoir et un deuxième ressaut se forme à l'aval.

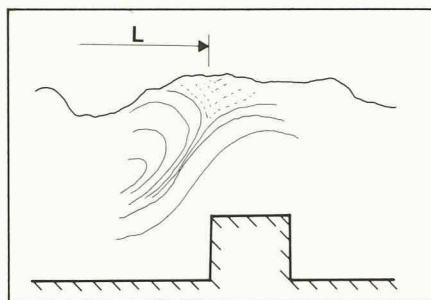


Fig. 10. — Longueur du rouleau, explication schématique: photos de l'écoulement où les bulles d'air entraînées montrent les lignes de courant; schéma explicatif du point de mesure aval de la longueur du rouleau (ci-dessus).

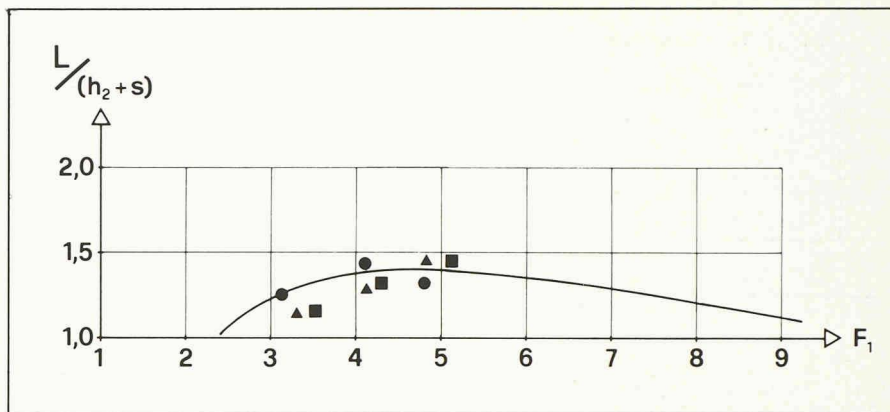


Fig. 11. — Longueur du ressaut L rapportée à $h_2 + s$ en fonction de F_1 .

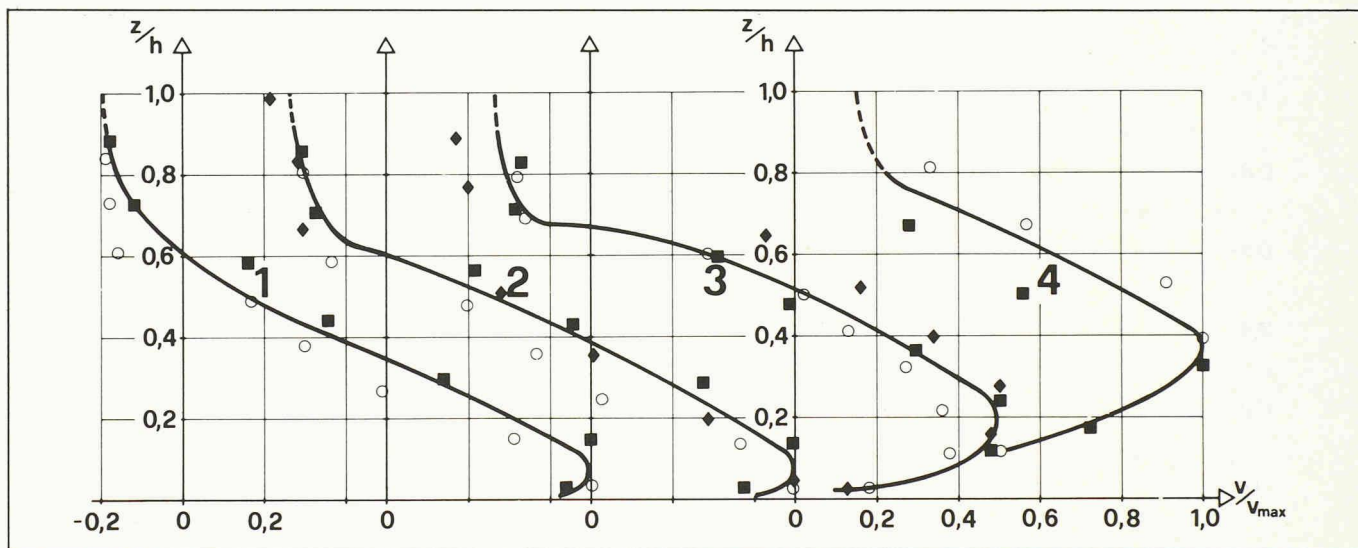


Fig. 12. — Evolution spatiale des vitesses relatives v/v_{max} en fonction de la position verticale z/h dans les sections définies à la figure 12; les traitillés des courbes de répartition des vitesses dans leur extrémité supérieure sont extrapolés.
 ♦ essai n° 1.1; ○ essai n° 2.1; ■ essai n° 4.3.

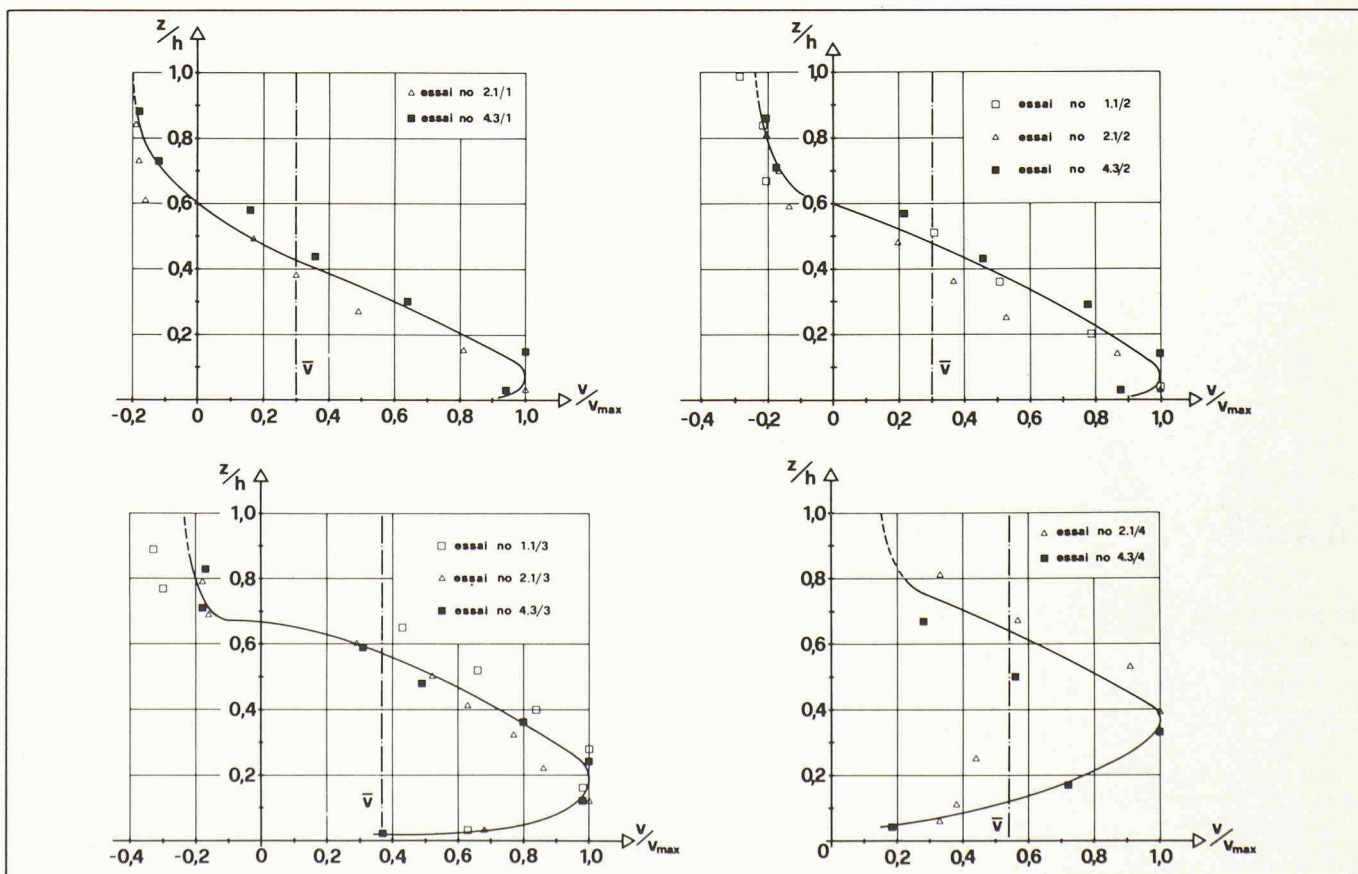


Fig. 13. — La différence de pression $\Delta p/h_1$ en fonction du nombre de Froude F_1 .

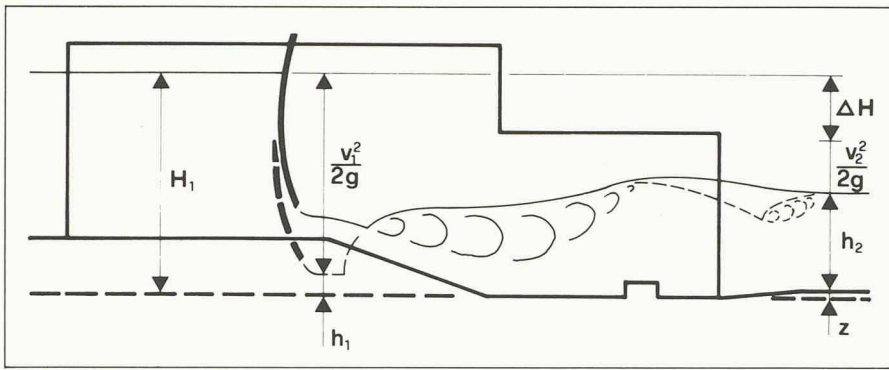


Fig. 14. — Définition des termes.

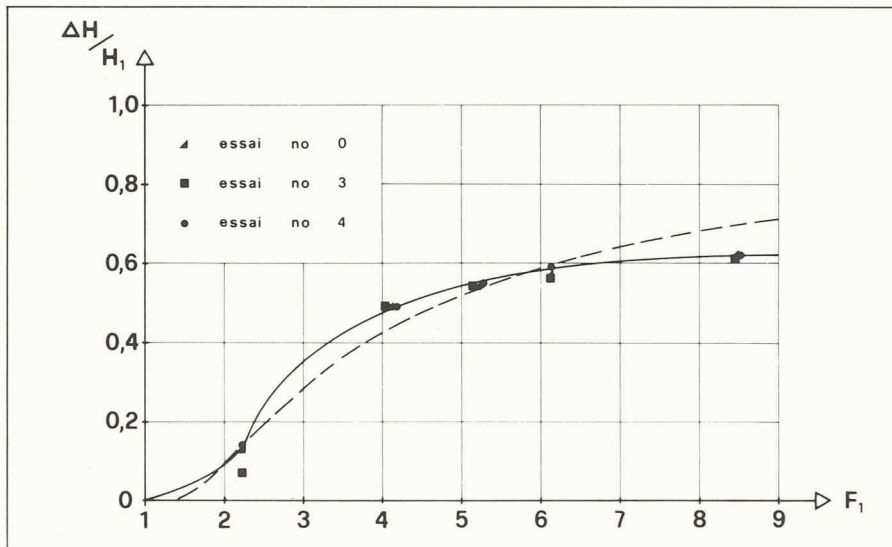


Fig. 15. — Dissipation de l'énergie.

l'on ne peut pas dissiper le maximum d'énergie dans le bassin étudié, ce qui entraîne une dissipation sur le lit de la rivière à l'aval et, partant, une protection correspondante de celui-ci.

5. Conclusion

La dissipation de l'énergie à l'aval d'un évacuateur est un problème d'un intérêt particulier dans le cadre des constructions hydrauliques. Cette étude s'attache à la réalisation d'essais sur un modèle d'évacuateur à bassin amortisseur avec seuil. Les résultats obtenus sont :

- 1) la représentation adoptée pour les hauteurs conjuguées $\gamma = (h_2 + s) /$

$h_1 = f(F_1)$ donne une seule courbe pour tous les différents seuils. Elle se situe au-dessus de la courbe de Bélanger ;

- 2) la longueur relative du rouleau est plus courte que pour le ressaut sur fond horizontal ;
- 3) la répartition transversale des vitesses dans la zone du seuil montre un fort gradient ;
- 4) la dissipation d'énergie dans le bassin est maximale jusqu'à $F_1 < 6$; au-delà de cette valeur, une partie de la dissipation a lieu à l'aval du bassin amortisseur.

En ce qui concerne plus particulièrement le projet d'Hydrorhône, on aboutit à deux enseignements principaux.

Bibliographie

- [1] CHOW V. T. : *Open-Channel Hydraulics*. McGraw-Hill Kagakuska, Tokyo, 1959.
- [2] FORSTER J. W., SKRINDE R. A. : *Control of the Hydraulic Jump by Sills*. Transactions ASCE, vol. 115, 1950, pp. 973-1022.
- [3] HAGER W. H., SINNIGER R. : *Flow Characteristics of the Hydraulic Jump in a Stilling Basin with an Abrupt Bottom Rise*. A paraître dans J. Hydraulic Research.
- [4] JAEGER C. : *Hydraulique technique*. Birkhäuser, Bâle, 1949.
- [5] KARKI K. S. : *Supercritical flow over Sills*. Proceedings ASCE, J. Hydraulics Division, vol. 102, 1976, pp. 1449-1459.
- [6] MUSKATIROVIC D., BATINIC B. : *The Influence of Abrupt Change of Channel Geometry on Hydraulic Regime Characteristics*. 17th IAHR Congress, 1977, Baden-Baden, vol. 2, pp. 397-404.
- [7] PETERKA A. J. : *Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators*. USBR Engineering Monograph n° 25, 7° éd., 1983.
- [8] PRESS H., SCHRÖDER R. : *Hydromechanik im Wasserbau*. W. Ernst & Sohn, Berlin, 1966.
- [9] RAJARATNAM N. : *The Forced Hydraulic Jump*. Water Power, Jan. 1964, pp. 14-19 ; Feb. 1964, pp. 61-65.

D'abord il convient d'augmenter la hauteur du seuil (de 1 à 2 m) pour éviter la formation d'un jet libre pour certaines conditions d'écoulement. Ensuite, il s'avère sans doute profitable de poursuivre les essais sur modèle, en modifiant la longueur du bassin dans le but de n'obtenir qu'un seul ressaut.

Remerciements

Cette étude a été effectuée dans le cadre du travail pratique de diplôme au Département de génie civil à l'EPFL. L'auteur tient à remercier le professeur R. Sinniger et M. W. H. Hager de leur aide et de leurs conseils tout au long de ce travail, comme le personnel du laboratoire d'hydraulique de l'EPFL de sa disponibilité.

Adresse de l'auteur :

Nicola-V. Bretz
Chaire de constructions hydrauliques
CCH — EPFL
BGC — Ecublens
CH-1015 Lausanne

Actualité

Une pause-réflexion pour les ingénieurs

Fin octobre 1984 l'Association suisse des ingénieurs-conseils (ASIC) a organisé à Berne un séminaire de deux jours, dont le thème central concernait la position de l'ingénieur dans la société et face à l'économie.

Une bonne moitié des membres ASIC ont répondu à l'invitation de leur président, Hans Birrer, et pris le temps d'une pause-ré-

flexion pour réfléchir aux questions essentielles touchant à leur profession. Un large éventail de sujets a été abordé et les conférenciers, qui venaient du monde de l'économie, de la technique et des sciences, se sont montrés très qualifiés. Les exposés ont porté sur les problèmes fondamentaux de l'époque postindustrielle, sur les tâches et les problèmes les plus importants de l'ingénieur et sur l'utilisation de l'informatique dans le domaine de l'ingénieur-conseil. Des groupes de travail se sont ensuite formés et ont discuté avec animation des questions et des problèmes abordés au cours des exposés.

Si l'ASIC se préoccupe en ce moment intensivement de la conception du métier de l'ingénieur, ce n'est pas un hasard. En raison des développements en cours dans les domaines économiques et sociaux, il est nécessaire de faire le point. Pour certains, différents facteurs (stagnation économique, évolution démographique) donnent à penser que le domaine d'activités initial de l'ingénieur menace de se rétrécir. En conséquence, l'ingénieur doit essayer de créer de nouveaux débouchés. Pour d'autres, l'image de l'ingénieur s'est modifiée. Si pendant longtemps il a joui d'un grand prestige grâce

aux progrès techniques qu'il permettait de réaliser, il a considérablement perdu de ce prestige au cours des années septante, en raison d'un changement des valeurs établies. Cependant aujourd'hui ce n'est pas la société dans son ensemble que l'on rend responsable de ce résultat, mais l'industrie du bâtiment.

Ce changement subit préoccupe l'ingénieur. La réunion a néanmoins nettement montré que les membres de l'ASIC relèvent le défi et traitent les conditions économiques et sociales changeantes d'un point de vue critique.