25-5

PROBLÈMES DE PERTE DE CHARGE ET DE STABILITÉ DES GRILLES DE PRISE D'EAU

PAR L. LEVIN *

Définitions

Beaucoup d'auteurs ayant eu tendance à schématiser exagérément la grille, nous estimons utile d'identifier tous ses éléments.

Soit (fig. 1) une prise d'eau moderne à protéger par une grille. Sa surface étant généralement fort importante, on est conduit à la fractionner verticalement par des poutres (profilées suivant le courant) prenant le nom de *pannes*. Les éléments de grille, de forme rectangulaire, dits *panneaux*, prennent appuis sur la masse de la prise d'eau et sur ces pannes. Leur dimension est déterminée par les possibilités de manutention et de transport.

Chaque panneau est composé :

a) d'un *cadre de rigidité*, pour les petites grilles et de plats de rigidité pour les grandes;

b) d'une série de *barreaux verticaux* de section généralement rectangulaire, avec :

L : longueur en coupe du barreau,

s : son épaisseur (« plein »).

Mais on peut employer des profils différents, conduisant à des pertes de charge moindres, mais d'un coût très supérieur;

c) d'une série de pièces horizontales, dites *entretoises*, dont le rôle est primordial : elles mettent les barreaux à l'abri des vibrations [1]. Il n'est pas exagéré de dire que, sans entretoise, le barreaux se mettraient presque infailliblemen en résonance avec les tourbillons alternés su leur face aval et succomberaient très rapide ment à la fatigue. Nous consacrons à ce pro blème un chapitre spécial.

Les formules font appel aussi à la notion d « *jour* », désigné par *b*, qui est la distance entr barreaux.

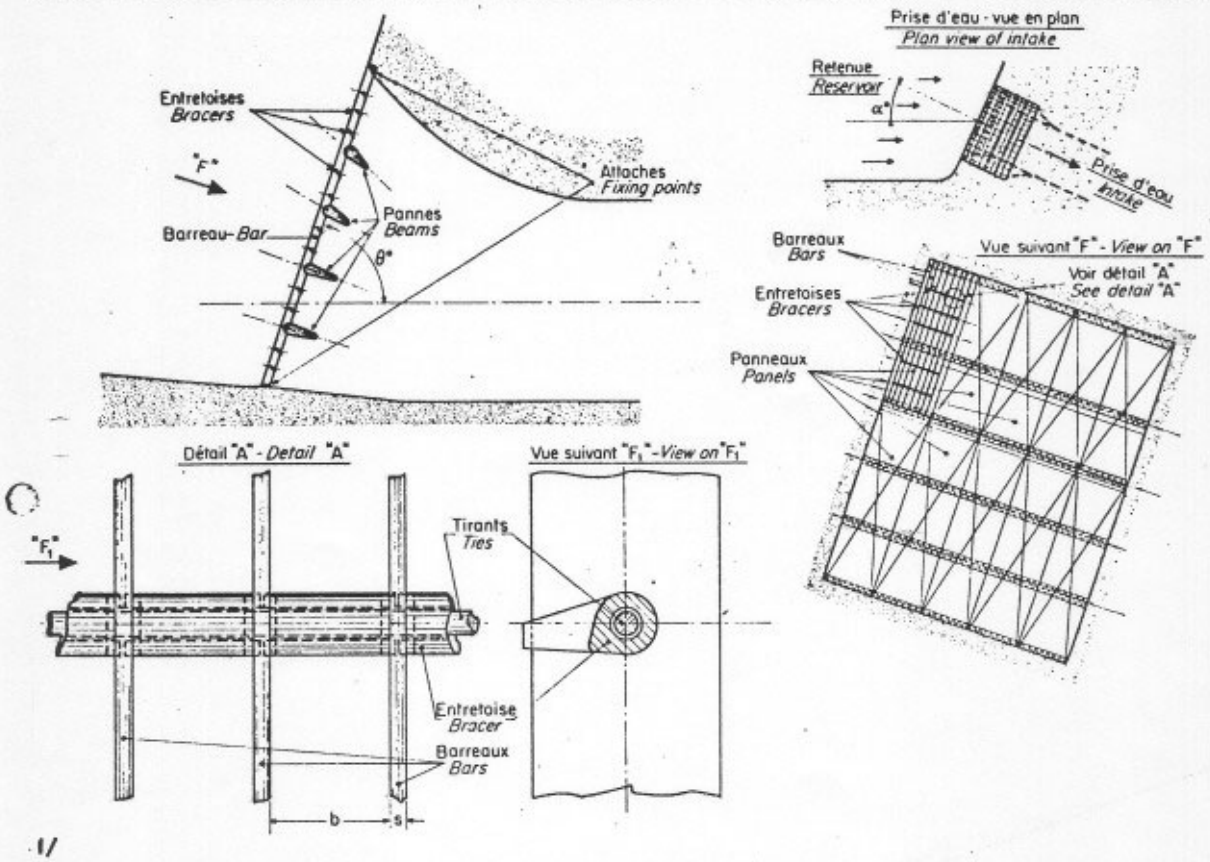
Les panneaux doivent être, bien entendu, fixé très solidement à la maçonnerie et aux pannes, a moyen d'une série *d'attaches* qui peuvent auss souvent, représenter un certain obstacle à l'écou lement.

Les nécessités de nettoyage, notamment autom tique, requièrent une position des panneaux proch de la verticale; on prend généralement $\theta = 65$ à 85 (voir fig. 1).

Outre *l'angle θ du plan de la grille avec l'horizo tale*, il y a lieu de ne pas négliger *l'angle formé pa le vecteur vitesse d'approche et celui de la vites en aval de la grille*. Il est très rare qu'on place ur grille avec barreaux non profilés dans le coude d'u conduit hydraulique, mais cette situation de fait souvent lieu par suite de zones d'eau morte dans retenue. Il est donc essentiel de savoir, car cela pe coûter cher, évaluer la perte de charge en découlan

Enfin, il importe de souligner — car on ne s'e occupe pas généralement — l'importance du facte « *reste de détritus* » présent presque toujours da les grilles. C'est la fraction de « pleins » due à l'in perfection du nettoyage à la main, mécanique même automatique.

* Chargé de cours à l'École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne; Chef du Département Recherches de la Société B.V.S.



1/

Paramètres et historique succinct de l'étude

La perte de charge due à la grille d'une prise d'eau dépend d'un nombre important de paramètres, dont nous avons retenu 8, parmi les plus importants (voir fig. 1 et 2) :

a) le « plein » *s* du barreau (épaisseur);
b) le « jour » *b* entre barreaux;
c) la longueur L du barreau en coupe droite;
d) la forme du profil du barreau en coupe droite;
e) la proportion des « pleins » représentée par les pannes, les cadres de rigidité, les entretoises, les attaches, etc.;
f) l'angle vertical θ;
g) l'angle « horizontal » α_0 (entre vitesses d'approche et de fuite);
h) la proportion du « reste de détritus » sur la grille.

Cet « inventaire » des paramètres essentiels du problème n'a pas été fait du premier coup et il a fallu une quarantaine d'années pour le dresser et surtout en établir les influences. A l'heure actuelle, l'étude n'est pas terminée, mais on peut estimer que sa précision pourrait être suffisante pour une prise d'eau hydroélectrique.

La première étude et non la moindre, sinon la plus importante, a été effectuée, comme pour tous les problèmes importants de l'hydraulique de l'époque, en 1926, par l'Ecole de Munich, sous la direction du prestigieux professeur D. Thoma. Son collaborateur O. Kirschmer [2] a effectué des expériences très précises et a proposé une formule comprenant 4 paramètres : *s*, *b*, θ et la forme des barreaux. L'influence de θ a été exprimée par *sin* θ, restée vraie jusqu'à nos jours. Les paramètres *s* et *b* ont été groupés, bien entendu, en un rapport *s/b* et leur influence a été jugée susceptible d'être représentée par la puissance 1,33 de ce rapport.

En 1928, I. Spandler [3], autre collaborateur du professeur Thoma, à la suite d'une nouvelle série d'essais, précise l'influence de l'angle horizontal α_0. Ce résultat est retenu valable jusqu'à nos jours.

En 1941, à la suite d'une série fort importante d'expériences, A. Berezinski [4] introduit le facteur essentiel de la longueur L du barreau en coupe et propose une formule tenant compte très correctement de six paramètres.

Le professeur L. Escande [5] travaillant indépendamment du chercheur précédent explique en 1947 l'incidence de la longueur L sur la perte de charge de la grille.

Toutefois, les essais industriels effectués *in situ*

la grande à l'emplacement de la grille et la petite en fin du pavillon;

α : angle au sommet du pavillon assimilé à un cône;

n : S/s rapport de la section amont à celle de fin du pavillon;

V_1 : vitesse moyenne dans la petite section.

Exemple numérique :

Pour $\alpha = 10°$:

$S = 300\ m^2$; $s = 150\ m^2$; $Q = 290\ m^3/s$; $\lambda = 0{,}01$

on calcule :

$$n = \frac{S}{s} = \frac{300}{150} = 2; \qquad n^2 = 4$$

$$V_1 = \frac{290}{150} = 1{,}93\ m/s;$$

$$\frac{V_1^2}{2g} = \frac{3{,}74}{19{,}6} = 0{,}19\ m$$

suivant (4), on a :

$$Hp = \frac{0{,}01}{8 \times 0{,}087} \cdot \frac{3}{4} \cdot 0{,}19 = 0{,}02\ m$$

2. Perte de charge dans la rainure.

La perte de charge dans les rainures n'a pas été traitée dans la littérature technique. Nous avons fait une tentative pour l'évaluer [10]; cet article ne se prête pas à exposer ce problème (un article spécial pourrait lui être consacré). Disons simplement que la perte de charge due à une rainure n'est pas négligeable dans les conditions qui nous intéressent ici, où elle serait de l'ordre de la perte due au frottement.

Une récente publication [12] concernant une mesure industrielle de la grande centrale de Gorki (U.R.S.S.) confirme ce point de vue : la rainure a provoqué une perte de charge de l'ordre de la moitié de celle de la grille.

Stabilité de la grille

Avant 1950, de nombreux constructeurs de grilles ont constaté des ruptures de barreaux survenant dans des conditions de fonctionnement hydraulique apparemment des plus sûres. Ce fait a été expliqué par la mise en résonance de la période propre du barreau avec celle des tourbillons alternés se détachant à l'aval de celui-ci, tourbillons ne mettant pourtant en jeu que des puissances quasi-insignifiantes [1]. Cette publication contient des abaques donnant, d'une part, la fréquence propre f du barreau enserré entre deux entretoises et vibrant dans l'air, d'autre part, la fréquence des tourbillons alternés, cette dernière suivant des études du laboratoire de Toulouse.

Le stade suivant consistait à rechercher la fréquence propre des barreaux plongés non pas dans l'air, mais dans l'eau, fréquence pouvant être très inférieure à celle relative au fonctionnement dans l'air.

La fréquence est alors donnée par la formule suivante (la théorie en est exposée dans la publication [13]).

$$f = M \frac{r}{H^2} \sqrt{\frac{g^{\kappa}}{\gamma_b + (b/s)\,\gamma'}} \qquad (5)$$

avec :

r : rayon de giration de la section droite du barreau, par rapport à l'axe parallèle à la vitesse du courant;

H : distance entre deux entretoises;

E et γ_b : module d'élasticité et poids spécifique du matériau du barreau;

γ' : poids spécifique du fluide :

b : écartement entre barreaux,

s : épaisseur du barreau en coupe;

M : facteur de fixation, valant :

$$M = \frac{K}{2\pi} \qquad (6)$$

pour extrémités encastrées;

$$M = \frac{\pi K'}{2} \qquad (7)$$

pour extrémités articulées;

$$K = 22{,}4 \qquad \text{et} \qquad K' = 1$$

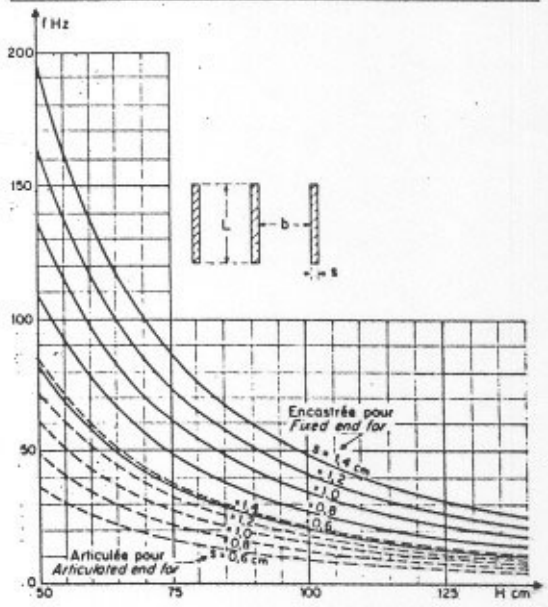
pour la vibration fondamentale.

La figure 5 donne f en Hz, pour barreaux en acier, vibrant dans l'eau, avec $b/s = 10$, rapport assez fréquent dans la pratique.

Ainsi pour :

$H = 1$ m
$b = 100$ mm
$s = 10$ mm

on trouve $f = 42$ Hz pour barreaux soudés.



5/ Fréquence propre f des barreaux à extrémités encastrées ou articulées, de longueur H cm et d'épaisseur s cm, vibrant dans l'eau avec $b/s = 10$.

Natural frequency f of bars with fixed and articulated ends, for bar length H and thickness s. Bars vibrating in water where b/s = 10.

V = 0,8 à 1,0 m/s pour moyen fond (deux à trois fois la hauteur de grille);
= 0,6 à 0,8 pour grand fond;
= 0,4 à 0,6 pour très grand fond (H = 50 à 100 m).

Pour V = 1 m/s, notre exemple conduit à :

$$\Delta H = \frac{1,11}{19,6} = 0,057 \text{ m}$$

soit 57 mm, ce qui n'est point exagéré pour une grille industrielle bien dégrillée.

2. Grille oblique par rapport au courant.

L'influence de l'angle « horizontal » dépendant d'une part aussi bien de la forme des barreaux que des rapports p, et L/s, d'autre part, étant analytiquement difficile à exprimer. I. Idelchik [11] propose, sur la base de [3] et [6] la formule :

$$H = \sigma_1 . \sigma_2 \frac{V^2}{2g} \qquad (3)$$

avec :

$$\sigma_1 = f(\alpha_0;\ \text{forme};\ L/s)$$

$$\sigma_2 = f(\alpha_0;\ p)$$

Les graphiques de la figure 4 sont extraits de [11].

Exemple numérique :

L = 120 mm	V = 0,9 m/s
s = 12 mm	p = 0,29
b = 75 mm	$\alpha_0 = 30°$

Forme du barreau : n° 11 (fig. 4).

Les graphiques de la figure 4 donnent :
— pour forme n° 11 ..... $\sigma_1 = 1,10$
— pour $1 - p = 0,71$ ..... $\sigma_2 = 1,15$

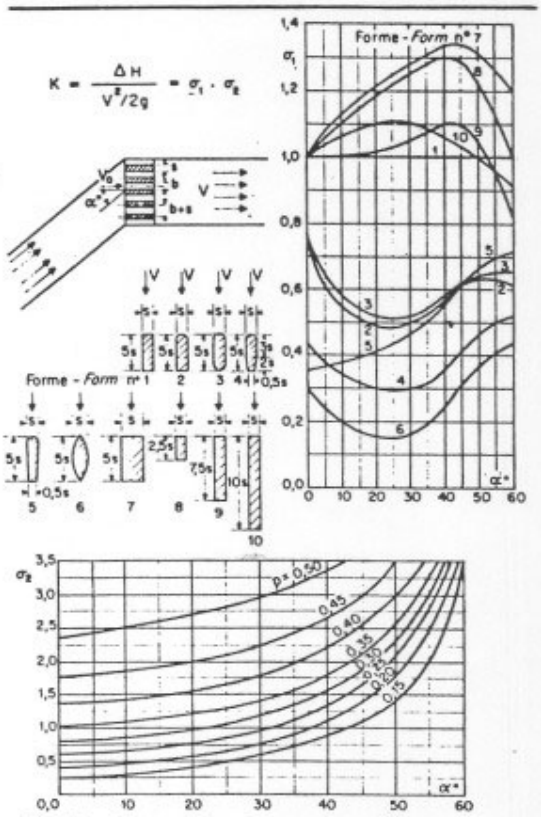
L'installation requiert :

$$K_d = 1,4$$

On a donc :

$$\Delta H = 1,4 \times 1,1 \times 1,15 \frac{0,81}{19,6} = 0,075 \text{ m}$$

soit 75 mm, valeur tout à fait normale.



4/ Grilles obliques.
Oblique screen inflow.

Autres sources de perte de charge à proximité de la grille.

La mesure de la perte de charge d'une grille repose sur au moins deux mesures de pression en deux points de part et d'autre de la grille. Le point amont est situé dans la retenue amont; le point aval peut être choisi suivant deux méthodes :

a) soit à proximité de la grille, à son aval; cette méthode présente l'avantage de se trouver dans une section où la vitesse moyenne est très proche de celle dite « d'approche », d'où faible différence entre les énergies cinétiques apparentes amont et aval. Elle entraîne toutefois le grave inconvénient d'utiliser une section où la répartition des vitesses est généralement loin d'être uniforme, ce qui entraîne *ipso facto* la non-uniformité des pressions en travers de la section. Une mesure, dans ces conditions, n'a de sens pratique qu'à condition de faire non pas une prise aval, mais toute une série;

b) la deuxième méthode prenait la prise aval en un point situé en fin du pavillon, tel le point B de la figure 1. Les vitesses, dérivant d'un potentiel, ont le temps de s'y uniformiser sensiblement et l'emploi de la vitesse moyenne dans le calcul de l'énergie cinétique ne peut pas être sérieusement critiqué.

Par contre, entre les points A et B (fig. 1), a lieu la perte de charge due à la grille, mais aussi la *perte due au frottement* contre les parois du pavillon et aussi très souvent celle inhérente aux *rainures* de batardeaux prévues presque dans toutes les installations modernes.

1. Perte de charge due au frottement.

La perte de charge dans les pavillons pourrait être valablement calculée par la formule suivante :

$$\Delta H_p = \frac{\lambda}{8 \sin(\alpha/2)} \frac{n^2 - 1}{n^2} \frac{V_1^2}{2g} \qquad (4)$$

avec :

λ : coefficient de la formule universelle, moyen entre les valeurs relatives aux deux sections,

conduisaient toujours à des pertes de charge très supérieures (trois à sept fois) à celles fournies par la formule. C'est V. Doulnyev qui, en 1956 [6], a indiqué la raison de cette divergence : négligence de l'important paramètre *e*) tenant compte des pièces de raidissement, d'appui et d'attache. Il a proposé d'introduire dans la formule de Berezinski le facteur de majoration :

$$\frac{1}{[1-(\Sigma h/H)]^2}$$

avec Σh : somme des hauteurs de toutes les pièces horizontales;
H : hauteur totale de la grille.

A. Berezinski, tenant compte de l'étude de Doulnyev, modifie en 1958 [7] sa première formule et l'amène à la forme tenant compte correctement des sept paramètres *a*) à *g*).

Pour juger de l'importance du paramètre *e*), on peut noter que si le rapport ancien *s/b* varie dans la pratique entre 6 et 16 %, une enquête effectuée sur de nombreuses grilles industrielles installées dans neuf centrales de l'U.R.S.S. [8] a prouvé que le rapport :

$$p = \frac{\text{surface de tous les « pleins »}}{\text{surface totale}}$$

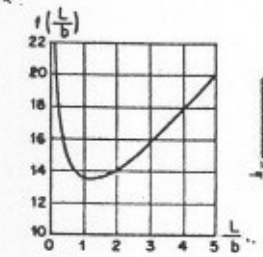
varie entre 22 et 38 % et dépend, bien entendu, aussi de la poussée nominale dont la grille est astreinte à pouvoir supporter l'effet.

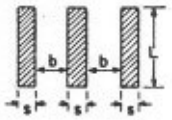
La grille de Pierre-Bénite sur le Rhône, par exemple, donne 27 %.

Le formulaire officiel de WES à Vicksburg [9] propose pour les avant-projets un graphique, reproduit sur la figure 3.

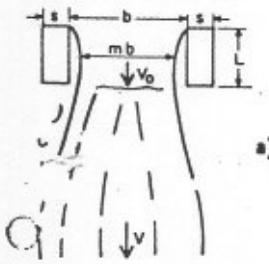
L'influence du « reste de détritus » est pris en compte d'une façon tout à fait empirique, en fonction du mode et du type du dégrillage.

La publication [10] donne quelques précisions et le calcul complet d'un exemple numérique.



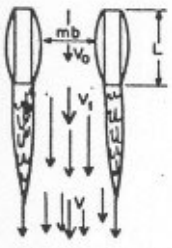


f (*L*/*b*) de la formule (2).
f (*L*/b) *from formula* (2).



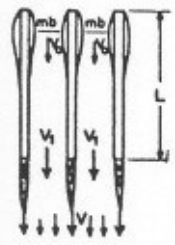
a) Barreaux courts :
Short bars:

$$H = \frac{(V_o - V)^2}{2g}$$



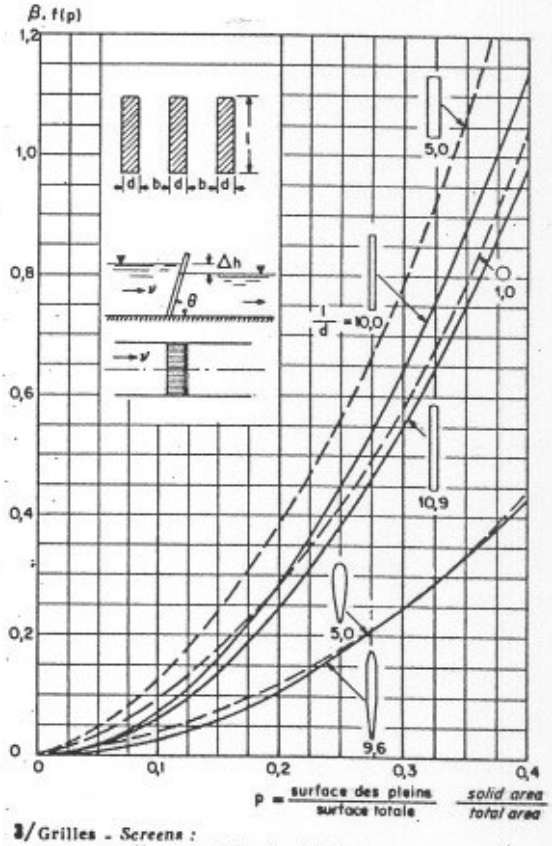
b) Barreaux de longueur optimale :
Optimum bar length:

$$H = K_1 \frac{(V_o - V_1)^2}{2g} + K_2 \frac{(V_1 - V)^2}{2g}$$



c) Barreaux longs :
Long bars:

$$H = K'_1 \frac{(V_o - V_1)^2}{2g} + K_3 \frac{L\,V_1^2}{b\;2g} + K'_2 \frac{(V_1 - V)^2}{2g}$$



3/ Grilles - *Screens* :
$K = \Delta H/(V^2/2g) = f(p)\,\beta \sin\theta$
$f(p)$: coefficient d'obturation (*blockage' factor*);
β : coefficient de forme (*form factor*).

2/ Nota (valable pour *a*, *b* et *c*) - Note (*applicable for a, b and c*) :
$m = f(s/b)$ K_1, K_2, K'_1, K'_2 et $K_3 = f(L/b;\ s/b)$.

Mécanisme de l'écoulement entre barreaux de grille

Le mécanisme de l'écoulement entre les barreaux de la grille et l'influence des paramètres s, b et L sur la perte de charge peuvent être mis en évidence par l'analyse sommaire suivante (voir fig. 2).

Il y a lieu de distinguer du point de vue hydraulique, trois groupes de barreaux : *courts*, de *longueur optimale* et *longs* dont le schéma d'écoulement est dessiné respectivement sur les croquis *a*, *b* et *c* de la figure 2. On voit aussitôt que le groupe dépend avant tout de la longueur relative L/b, mais que le rapport s/b est également très influent. En effet, pour une longueur L donnée, le coefficient de contraction m, proportionnel à b, dépend aussi de s : plus le rapport s/b est faible, plus grand sera le coefficient de contraction m et l'écoulement aura plus de chance de se retrouver dans le groupe b (ce qui réduirait la perte de charge au minimum) et même le groupe c (ce qui introduirait un nouveau facteur d'accroissement des pertes).

Pour les barreaux courts, la veine détachée à partir de l'arête vive ne recolle pas aux barreaux et la perte de charge est donnée, en première approximation, par la formule *a* de la figure 2.

Pour L/b croissant (s/b restant constant), on atteindra un stade où la veine recolle aux barreaux : la perte de charge passe alors par un minimum. La formule *b* de la figure 2 en exprime la valeur.

Si L/b continue à croître, il y a lieu d'introduire un troisième terme tenant compte du frottement entre barreaux, terme non négligeable du fait de l'importance relative des vitesses V_0 et V_1 par rapport à V, mais surtout de la faiblesse du rayon hydraulique valant approximativement 0,5 b. La formule *c* de la figure 2 vaut pour ce cas.

Les coefficients K_1, K_2, K_1', K_2' et K_3 sont évidemment fonction du rapport L/b, mais dépendent aussi du rapport s/b.

Le coefficient de contraction m dépend surtout du rapport s/b. Certaines de ses valeurs ont été publiées par L. Escande [5].

Formule de la perte de charge dans les grilles

1. Grilles droites par rapport au courant.

Laissant momentanément de côté l'influence de l'angle « horizontal », on peut exprimer la perte de charge due à la grille par la formule de Berezinski [7], que nous avons fait précéder du coefficient K_d tenant compte du « reste de détritus » :

$$\Delta H = K_d . K_f . p^{1,6} . f(L/b) . \sin\theta \frac{V^2}{2g} \qquad (1)$$

avec V : vitesse du courant au cas où toute la surface était libre.

$$f(L/b) = 8 + 2{,}3\, L/b \times 2{,}4\, b/L \qquad (2)$$

représenté graphiquement sur la figure 2;

p : rapport des « pleins » à la surface totale;

K_f : coefficient de forme du barreau en coupe :

- K_f : 0,51 pour section rectangulaire allongée,
- 0,35 pour section circulaire,
- 0,32 pour section allongée avec demi-cercles aux deux extrémités;

K_d : coefficient de « reste de détritus » dont nous pensons pouvoir proposer les valeurs :

- K_d : 1,1 à 1,2 pour dégrilleur automatique moderne, par suite de l'empâtement des barreaux par des graisses, hydrocarbures, vase, etc.,
- K_d : 1,5 pour dégrilleur ancien,
- K_d : 2 à 4 et plus, aussitôt après le dégrillage à la main, en fonction du débit et du charriage du cours d'eau.

Exemple numérique :

Grande grille industrielle de section 15 × 18,3 m², avec 4 pannes et 22 panneaux. Le coefficient des « pleins » s'est élevé à $p = 0{,}28$.

Autres caractéristiques :

$$L = 100 \text{ mm} \qquad s = 10 \text{ mm} \qquad b = 75 \text{ mm}$$

Pour :

$$\frac{L}{b} = \frac{100}{75} = 1{,}33$$

la formule (2) ou le graphique de la figure 2 donnent :

$$f(L/b) = 14$$

Pour $p = 0{,}28$:

$$p^{1,6} = 0{,}13 \qquad K_f = 0{,}51$$

On a donc :

$$K_f . p^{1,6} . f(L/b) = 0{,}51 \times 0{,}13 \times 14 = 0{,}93$$

L'abaque du WES (fig. 3) donnerait seulement 0,56, qui est nettement insuffisant.

Par surcroît, si au lieu de compter tous les pleins, on ne prend que les barreaux, on arrive à :

$$\frac{s}{b} = \frac{10}{75} = 0{,}133$$

et l'abaque de la figure 3 donne le facteur 0,125, soit :

$$\frac{0{,}93}{0{,}125} \sim 7$$

chiffre mentionné au chapitre II comme écart maximal entre mesures de laboratoire et d'industrie.

Avec :

$$K_d = 1{,}2 \text{ et } \sin\theta = 1{,}00$$

la formule (1) donne :

$$\Delta H = 1{,}2 \times 0{,}93 \frac{V^2}{2g} = 1{,}11 \frac{V^2}{2g}$$

Pour la grille de surface, la vitesse V est de l'ordre de 1 m/s, mais, pour les grilles de fond, il convient de la diminuer d'autant plus que la grille est plus profonde :

Il est évident que la formule (5) n'est valable que pour des écartements b ne dépassant pas une certaine limite.

Nous pouvons proposer cette limite, expérimentalement vérifiée comme suit :

$$(b/L)_{lim.} \simeq 0,7$$

L'équation (5) n'est donc valable que pour $b \leqslant 0,7$ L. Au cas où $b > 0,7$ L, on admettra dans les calculs $b = 0,7$ L.

Nota. — La formule (5) montre bien que la fréquence des barreaux dans l'air ou le vide est pratiquement la même :

$$\frac{b}{s}\,\gamma' = 1,3.10^{-5}\ \text{kg/cm}^3$$

étant toujours négligeable devant :

$$\gamma_b = 0,0078\ \text{kg/cm}^3.$$

Par contre, pour l'eau, les deux termes sont du même ordre. Nous avons vérifié à maintes reprises la concordance de la formule (5) avec la réalité.

Exemple numérique :

Grille d'une grande centrale sur le Rhône, dont un élément échelle grandeur a fait l'objet d'essais très précis au laboratoire de Toulouse [14].

Caractéristiques géométriques :

$L = 155$ mm	$s = 10$ mm
$b = 110$ mm	$H = 710$ mm

On contrôle tout d'abord le rapport :

$$\frac{b}{L} = \frac{110}{155} = 0,71 > 0,70$$

Le calcul sera donc conduit, non pas avec $b = 110$ mm, mais :

$$b = 0,7\ L = 0,7 \times 155 = \textit{108,5 mm}.$$

on a :

$$\frac{b}{s} = \frac{108,5}{10} = 10,85$$

$$\gamma'\,\frac{b}{s} = 0,001 \times 10,85 = 0,01085\ \text{kg/cm}^3$$

$$\gamma_b = 0,0078\ \text{kg/cm}^3$$

$$\gamma_b + \gamma'\,\frac{b}{s} = 0,01085 + 0,0078 = 0,0186\ \text{kg/cm}^3$$

La grille étant soudée, on lit sur la figure 5, pour $H = 71$ cm et $s = 1$ cm : $f = 68,5$ Hz.

Mais l'abaque est valable pour $(b/s) = 10$; avec notre valeur $(b/s) = 10,85$, la fréquence vaudra :

$$f = 68,5\ \sqrt{\frac{178}{186}} = \underline{66,5\ \text{Hz}}$$

On a mesuré : $f = 62,1$ Hz, qui est très acceptable du fait que l'encastrement n'est jamais parfait, dans la pratique.

Dans l'air, cet élément a accusé une fréquence propre $f_a = 99,7$ Hz.

Le calcul donnerait pour barreaux encastrés :

$$f_a = 68,5\ \sqrt{\frac{186}{78}} = 105,5\ \text{Hz}$$

Le facteur de minoration due à l'eau est donc :

$$\frac{68,5}{105,5} = 0,65$$

mais il ne peut en aucune façon être considéré comme une constante, comme le recommande une publication d'E.D.F., Direction de la Production. Il dépend essentiellement du rapport b/s. Ainsi, pour grille de centrale équipée de Pelton, l'écartement b est très faible. Avec $L = 100$ mm; $s = 10$ mm et $b = 25$ mm, on aurait :

$$\gamma_b + \gamma'\,\frac{b}{s} = 0,0078 + 0,0025 = 0,0103\ \text{kg/cm}^3$$

et le facteur de minoration aurait atteint.

$$\sqrt{\frac{78}{103}} = 0,87$$

Bibliographie

[1] Levin (L.). — Etude hydraulique des grilles de prise d'eau, *VIIe Congrès A.I.R.H.* (1957).

[2] Kirschner (O.). — Untersuchungen über den Verlust an Rechen. *Mitteil. Hydr. Inst. München*, n° 1 (1926).

[3] Spangler (L.). — Untersuch über den Verlust an Recher bei schräger Zuströmung. *Mitteil. Hydr. Inst. München*, n° 2 (1928).

[4] Beresinski (A.). — Etude des pertes de charge dans la grille de prise d'eau (russe). *Annales du laboratoire VODGEO*, n° 1 (1941).

[5] Escande (L.). — Perte de charge à la traversée des grilles. Compléments d'hydraulique, Ire partie. Toulouse (1947).

[6] Doulntev (V.). — Calcul des pertes de charge dans les grilles (russe). *Construction hydrotechnique*, n° 9 (1956).

[7] Beresinski (A). — Au sujet des pertes de charge dans les grilles (russe). *Construction hydrotechnique*, n° 5 (1958).

[8] Novikov (A.). — Au sujet des pertes de charge dans les grilles (russe). *Construction hydrotechnique*, n° 10 (1957).

[9] Hydraulic Design Criteria. US Army Engineers, Waterways Experiment Station (WES, Vicksburg Mississipi), 1963, cahier 010-7.

[10] Levin (L.). — Formulaire des conduites forcées, oléoducs et conduits d'aération (en impression).

[11] Idieltchik (I.). — Formulaire des pertes de charge en hydraulique (russe), Moscou (1960).

[12] Tchernyatine (I.). — Perte de charge dans la grille et rainures de la centrale de Gorkiv (russe). *Annales de l'Inst. Scientifique hydrotechnique*, n° 67 (1967).

[13] Levin (L.). — Hydraulique, cours professé à l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne (1964).

[14] Castex (L.). — Etude de la vibration des barreaux de grille sous l'influence des tourbillons alternés. *VIIe Congrès A.I.R.H.* (1957).