



**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 appui 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, les barreaux se mettraient presque infailliblement en résonance avec les tourbillons alternés sur leur face aval et succomberaient très rapidement à la fatigue. Nous consacrons à ce problème un chapitre spécial.

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

Les panneaux doivent être, bien entendu, fixés très solidement à la maçonnerie et aux pannes, au moyen d'une série d'*attaches* qui peuvent aussi, souvent, représenter un certain obstacle à l'écoulement.

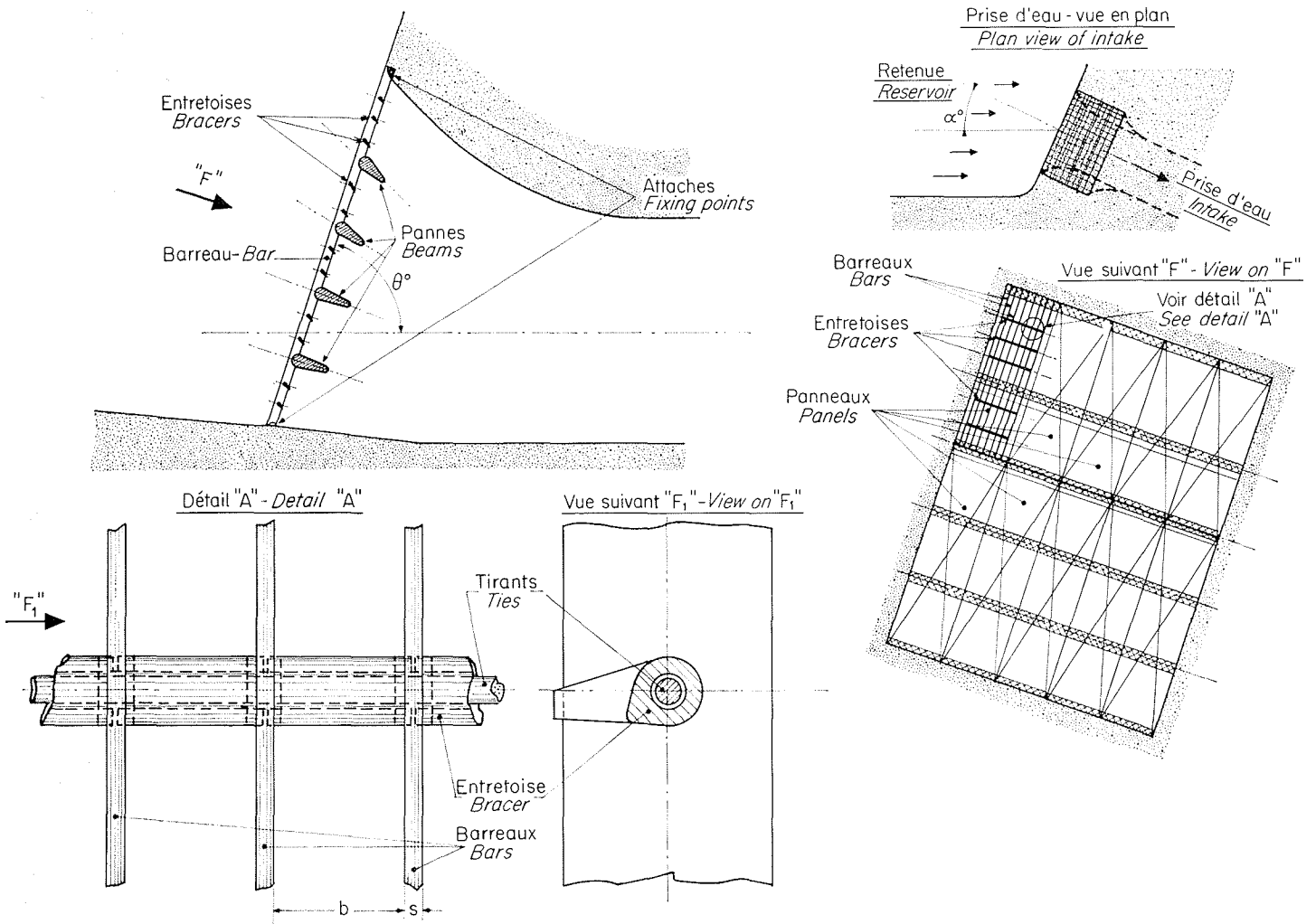
Les nécessités de nettoyage, notamment automatique, requièrent une position des panneaux proche de la verticale; on prend généralement  $\theta = 65$  à  $85^\circ$  (voir fig. 1).

Outre l'angle  $\theta$  du plan de la grille avec l'horizontale, il y a lieu de ne pas négliger l'angle formé par le vecteur vitesse d'approche et celui de la vitesse en aval de la grille. Il est très rare qu'on place une grille avec barreaux non profilés dans le coude d'un conduit hydraulique, mais cette situation de fait a souvent lieu par suite de zones d'eau morte dans la retenue. Il est donc essentiel de savoir, car cela peut coûter cher, évaluer la perte de charge en découlant.

Enfin, il importe de souligner — car on ne s'en occupe pas généralement — l'importance du facteur « *reste de détrit* » présent presque toujours dans les grilles. C'est la fraction de « pleins » due à l'imperfection du nettoyage à la main, mécanique ou même automatique.

---

\* Chargé de cours à l'Ecole 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) :

- le « plein »  $s$  du barreau (épaisseur);
- le « jour »  $b$  entre barreaux;
- la longueur  $L$  du barreau en coupe droite;
- la forme du profil du barreau en coupe droite;
- la proportion des « pleins » représentée par les pannes, les cadres de rigidité, les entretoises, les attaches, etc.;
- l'angle vertical  $\theta$ ;
- l'angle « horizontal »  $\alpha_0$  (entre vitesses d'approche et de fuite);
- la proportion du « reste de débris » 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 :  $s$ ,  $b$ ,  $\theta$  et la forme des barreaux. L'influence de  $\theta$  a été exprimée par  $\sin \theta$ , 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  $\alpha_0$ . 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*

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  $\Sigma h$  : 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 :

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

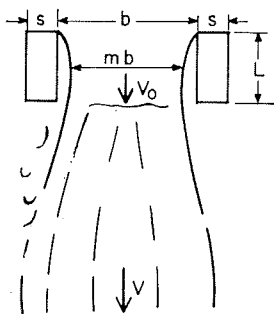
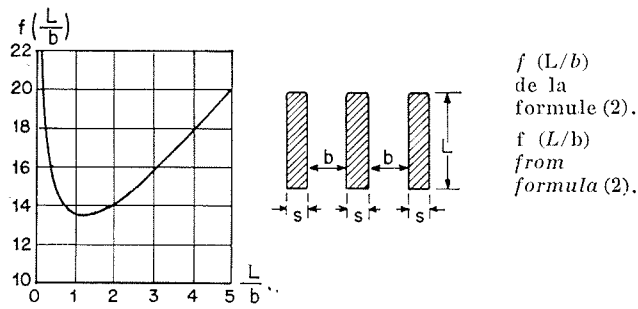
varie entre 22 et 38 % et dépend, bien entendu, aussi de la poussée nominale dont la grille est astreinte à pouvoir supporter l'effet.

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.

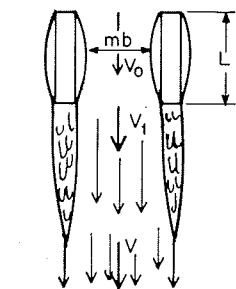
L'influence du « reste de détritux » est pris en compte d'une façon tout à fait empirique, en fonction du mode et du type du dégrillage.

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



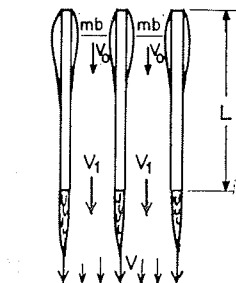
a) Barreaux courts :  
Short bars:

$$H \frac{(V_0 - V)^2}{2g}$$



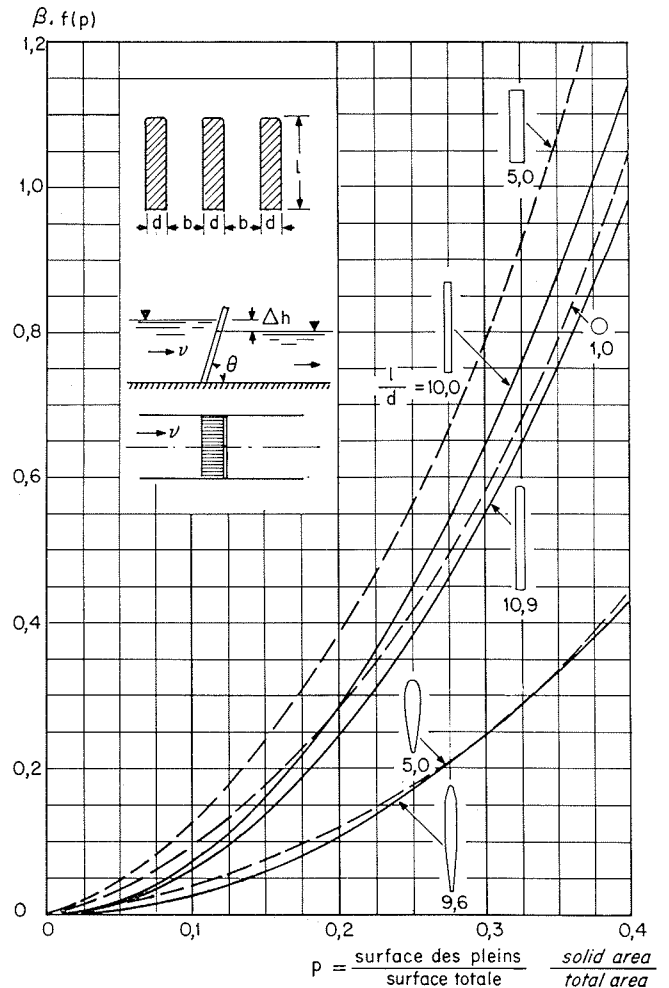
b) Barreaux de longueur optimale :  
Optimum bar length:

$$H = K_1 \frac{(V_0 - V_1)^2}{2g} + K_2 \frac{(V_1 - V)^2}{2g}$$



c) Barreaux longs :  
Long bars:

$$H = K'_1 \frac{(V_0 - V_1)^2}{2g} + K'_3 \frac{L V_1^2}{b^2 g} + K'_2 \frac{(V_1 - V)^2}{2g}$$



3/ Grilles - Screens :

$$K = \Delta H / (V^2 / 2g) = f(p) \beta \sin \theta$$

$f(p)$  : coefficient d'obturation (blockage factor);  
 $\beta$  : coefficient de forme (form factor).

2/ Nota (valable pour a, b et c) - NOTE (applicable for a, b and c) :

$$m = f(s/b) \quad K_1, K_2, K'_1, K'_2, \text{ et } K'_3 = f(L/b; s/b).$$

## 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  $0,5b$ . 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 détritux » :

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

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

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

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 détritux » 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  $15 \times 18,3$  m<sup>2</sup>, avec 4 pannes et 22 panneaux. Le coefficient des « pleins » s'est élevé à  $p = 0,28$ .

Autres caractéristiques :

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

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  $p = 0,28$  :

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

On a donc :

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

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 :

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

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 :

$V = 0,8$  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. Ideltchik [11] propose, sur la base de [3] et [6] la formule :

$$H = \sigma_1 \cdot \sigma_2 \frac{V^2}{2g} \tag{3}$$

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                         $\alpha_0 = 30^\circ$

Forme du barreau : n° 11 (fig. 4).

Les graphiques de la figure 4 donnent :

- pour forme n° 11.....  $\sigma_1 = 1,10$
- pour  $p = 0,29$ .....  $\sigma_2 = 1,15$

L'installation requiert :

$$K_d = 1,4$$

On a donc :

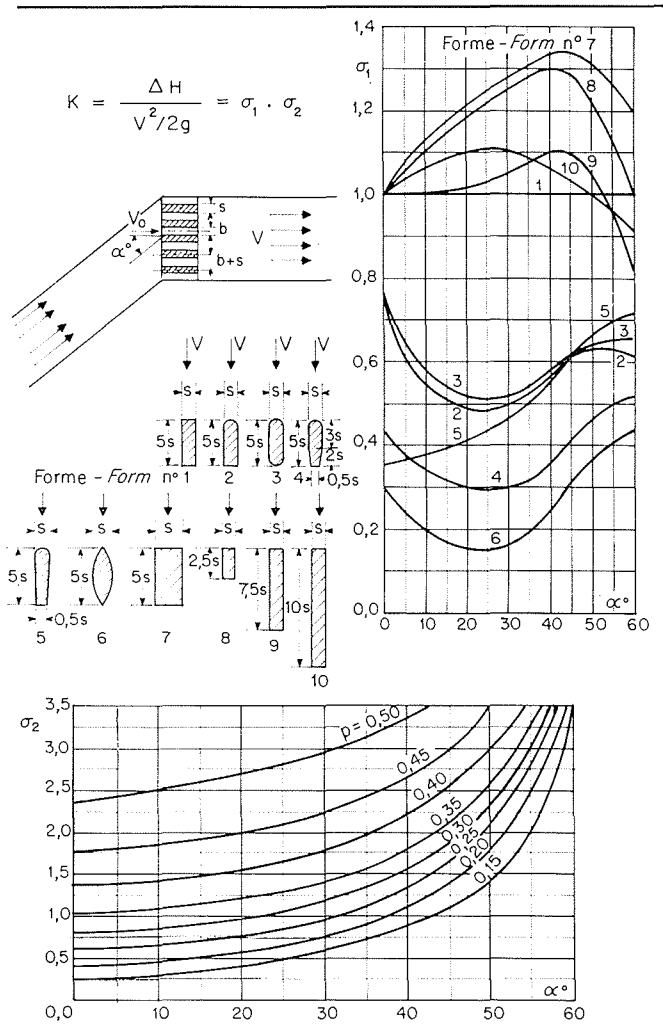
$$\Delta H = 1,4 \times 1,1 \times 1,15 \frac{0,81}{19,6} = 0,075 \text{ m}$$

soit  $75$  mm, valeur tout à fait normale.

**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



**4/ Grilles obliques.**  
Oblique screen inflow.

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 :

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

avec :

$\lambda$  : coefficient de la formule universelle, moyen entre les valeurs relatives aux deux sections,

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

$\alpha$  : 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  $\alpha = 10^\circ$  :

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

on calcule :

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

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

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

suisant (4), on a :

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

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

suisante (la théorie en est exposée dans la publication [13]).

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

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  $\gamma_b$  : module d'élasticité et poids spécifique du matériau du barreau;

$\gamma'$  : poids spécifique du fluide :

$b$  : écartement entre barreaux,

$s$  : épaisseur du barreau en coupe;

$M$  : facteur de fixation, valant :

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

pour extrémités encastées;

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

pour extrémités articulées;

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

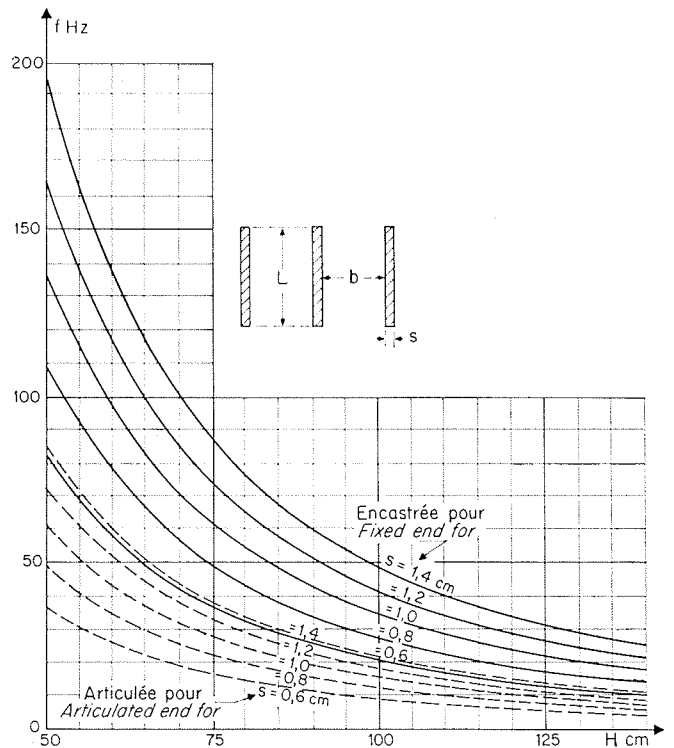
pour la vibration fondamentale.

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 :

$$\begin{aligned} H &= 1 \text{ m} \\ b &= 100 \text{ mm} \\ s &= 10 \text{ mm} \end{aligned}$$

on trouve  $f = 42 \text{ Hz}$  pour barreaux soudés.



5/ Fréquence propre  $f$  des barreaux à extrémités encastées 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  $b/s = 10$ .

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 :

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

L'équation (5) n'est donc valable que pour  $b \leq 0,7 L$ . 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 :

$$\frac{b}{s} \gamma' = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ kg/cm}^3$$

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 :

$$\begin{array}{ll} L = 155 \text{ mm} & s = 10 \text{ mm} \\ b = 110 \text{ mm} & H = 710 \text{ mm} \end{array}$$

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  $b = 110 \text{ mm}$ , mais :

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

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  $H = 71 \text{ cm}$  et  $s = 1 \text{ cm}$  :  $f = 68,5 \text{ Hz}$ .

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

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

On a mesuré :  $f = 62,1 \text{ Hz}$ , 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  $f_a = 99,7 \text{ Hz}$ .

Le calcul donnerait pour barreaux encastres :

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

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  $L = 100 \text{ mm}$ ;  $s = 10 \text{ mm}$  et  $b = 25 \text{ mm}$ , 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, VII<sup>e</sup> Congrès A.I.R.H. (1957).
- [2] KIRSCHMER (O.). — Untersuchungen über den Verlust an Rechen. *Mitteil. Hydr. Inst. München*, n° 1 (1926).
- [3] SPANGLER (I.). — 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, I<sup>re</sup> partie. Toulouse (1947).
- [6] DOULNYEV (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 Mississippi), 1963, cahier 010-7.
- [10] LEVIN (L.). — Formulaire des conduites forcées, oléoducs et conduits d'aération (en impression).
- [11] IDELTCHIK (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. VII<sup>e</sup> Congrès A.I.R.H. (1957).

## Abstract

## Water intake screen head loss and stability problems

by L. Levin \*

Definitions of the various screen (trash rack) elements are reviewed, also the eight parameters governing loss of head across a screen. Five of these parameters are "solid" area  $s$ , "open" area  $b$ , length  $L$  (see Fig. 2), vertical angle  $\theta$  (Fig. 1) and bar cross-section (Fig. 3), which Thoma and Kirschmer [2] took into account at Munich Institute in 1926. The sixth parameter, horizontal angle  $\alpha_0$  (Figs. 1 and 4) was studied by Thoma and Spangler in 1928 [3].

Measurements *in situ* gave very much higher head losses than in the laboratory, and the explanation for this was provided by Dulnyev [6] and Berezinski [4] and [7], namely the failure to allow for the considerable amount of obstruction due to horizontal screen stiffeners, bracing members, fittings, etc.

The seventh parameter,  $p$ , is the "solid" percentage of the total area, which varies between 20 and 40 % whereas the percentage accounted for solely by upright bars only makes up about 6 to 16 % of the total.

The eighth parameter is the "residual detritus" factor  $K_d$  which indirectly expresses cleaning efficiency.

The loss of head across a screen perpendicular to the flow is given reasonably well by formula (1), in which:

$K_d = 1.1$  to  $1.2$ , for a modern automatic screen cleaner (trash rack rake);

$K_d = 1.5$ , for older designs;

$K_f = 0.51$ , for a "long" rectangular cross-section;

$K_f = 0.35$ , for a circular cross-section;

$K_f = 0.32$ , for an elongated cross-section with semi-circular ends.

The function  $f(L/b)$  is shown in Figure 2. A numerical example is worked out for an operational installation at the end of the article.

Figure 3 gives first approximates for the head loss coefficient [9].

Figure 4 gives data required to calculate the above coefficient for oblique inflows to the screen, with an example of its application ([3], [6] and [11]).

Screen stability, which was frequently at fault before 1955, is discussed at length. The author has shown [1] this to be due to resonance of the natural bar frequency and the frequency of alternating eddy wakes forming on the rear face of the bar. The natural frequency of long components in a vacuum (actually in air) was given by Timoshenko in 1950. The author's formula (5) allows for the fact that such bars vibrate in water [13]. The meanings of symbols in this formula are as follows:

$r$  = radius of gyration of the section;

$H$  = distance between bracing members;

$E$  and  $\gamma_b$  = elastic modulus and density of bar material;

$\gamma'$  = fluid density ( $0.001 \text{ kg/cm}^3$  for water);

$M$  = "Fixing factor" resulting from (6) and (7) for fixed and articulated ends respectively.

Figure 5 [13] gives  $f$  in cycles/sec. for  $b/s = 10$ , and  $f$  is found for other values in this report by a simple calculation, which is demonstrated in the final numerical example. Frequency is very much lower in water than in air (by a factor varying between 0.6 and 0.9).

Formula (5) applies for  $b/L \leq 0.7$ , but above this value the calculation is carried out with  $(b/L) = 0.7$ .

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