

## RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

## L'EFFET DE LA COURBURE DES BARRAGES-POIDS

Nous avons publié sous ce titre, dans le *Génie Civil* du 5 mai 1928, un premier article dans lequel nous démontrions que la courbure en plan des barrages-poids ne peut pas augmenter effectivement leur résistance par le développement de pressions longitudinales, comme dans les barrages arqués minces.

A la suite de cette publication, nous avons reçu de M. B. F. Jakobsen, ingénieur-conseil à Los Angeles (Californie), une brochure extraite des comptes rendus de la Société américaine des Ingénieurs civils (1). Elle contient un mémoire présenté par cet ingénieur à la Société, et sa discussion par douze spécialistes, dont le professeur W. Cain, protagoniste des barrages arqués aux Etats-Unis, et M. A. J. Wiley, qui fut président de la Commission d'enquête chargée d'établir les causes de la rupture du barrage de San-Francis (2). La discussion est antérieure à cette rupture et contient quelques témoignages intéressants au sujet de l'ouvrage. Le point de vue que nous exposons dans le *Génie Civil* nous paraît confirmé par l'ensemble de la discussion. Mais M. Jakobsen traite d'un autre point, plus opposé encore à certaines impressions assez répandues, à savoir que la courbure

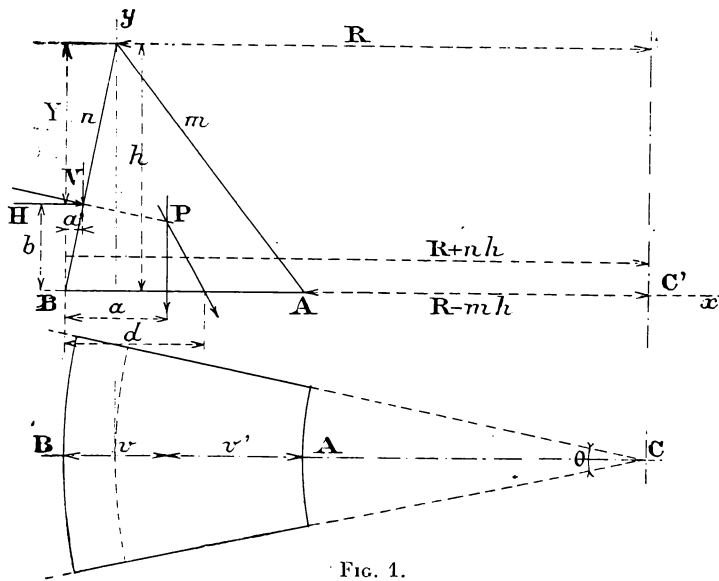


FIG. 1.

diminue la résistance résultant de la gravité. Il le montre par un exemple concret, après avoir établi les formules nécessaires. Au cours de la discussion, il fut rappelé que les professeurs italiens G. Ganassini et A. Danusso avaient déjà envisagé ce point dans leur rapport au sujet de la rupture (1<sup>er</sup> décembre 1923) du barrage du Gleno, ouvrage à voûtes multiples dont la base comportait un mur à gravité (*Annali dei Lavori Pubblici*, de mai 1923) (3).

Nous avons cherché à donner une expression synthétique de cette conclusion, analogue à la classique formule de Maurice Lévy. Après des calculs assez laborieux, nous avons eu la satisfaction d'aboutir à des formules plus simples que nous n'osions l'espérer.

Nous considérons un barrage, schématisé par la figure 1, ayant la forme d'un anneau de révolution à axe vertical et à section méridienne triangulaire. L'ouvrage est en charge et le niveau de l'eau affleure à la crête circulaire du barrage. Nous étudions l'équilibre d'un tronçon limité à deux plans méridiens tels que l'arc intercepté suivant la crête ait une longueur égale à l'unité. L'angle au centre correspondant est  $\theta$  et nous admettons

que  $\frac{\sin \theta}{\theta} = 1$  et  $\frac{2 \sin \frac{\theta}{2}}{\theta} = 1$ . Nous considérons qu'il n'existe pas de pressions longitudinales. Nous transposons donc au barrage

courbe les hypothèses usuelles pour le barrage droit continu. Si l'on voulait appliquer les formules à un tronçon de barrage, compris par exemple entre deux joints de contraction, il suffirait de multiplier certains éléments  $(P, H, V, S, I \text{ et } \frac{1}{\rho})$  par  $\theta R$ . Les

relations  $\frac{\sin \theta}{\theta} = \frac{2 \sin \frac{\theta}{2}}{\theta} = 1$  subsisteraient avec une approximation suffisante, car l'écart angulaire de deux joints de contraction est en général de  $6^\circ$  et l'on a encore  $\frac{\sin \theta}{\theta} = 0,99$  pour  $\theta = 15^\circ$ .

Nous avons suivi pas à pas la méthode ordinaire de la résistance des matériaux, telle qu'on l'applique aux barrages droits, mais en cherchant systématiquement à écrire les éléments sous la forme :

$$X_r = X k x,$$

$X_r$  désignant un élément du barrage courbe ;  
 $X$  l'élément correspondant du barrage droit ayant même section ;  
 $kx$  une fonction de  $m$  et  $n$ , inclinaisons des parements, de  $h$ , hauteur du barrage, et de  $R$ , rayon de la crête. Voici la suite des calculs.

*Poids d'un élément du mur.* — Rayon  $R_c$  du centre de gravité  $G$  du triangle :

$$R_c = R - \frac{2}{3} \left( \frac{m-n}{2} \right) h = R - \frac{(m-n)h}{3},$$

$$P_r = \Delta \left( \frac{m+n}{2} \right) h^2 R \left( 1 - \frac{m-n}{3} \frac{h}{R} \right) \theta.$$

Comme  $\theta R = 1$ ,

$$P_r = \Delta \frac{(m+n)}{2} h^2 \left( 1 - \frac{m-n}{3} \frac{h}{R} \right) = P k_p,$$

$$k_p = 1 - \frac{m-n}{3} \frac{h}{R} < 1.$$

Si le parement amont est vertical,  $n = 0$  et

$$k_p = 1 - \frac{m}{3} \frac{h}{R} < 1.$$

*Rayon  $R_a$  du centre de gravité du massif et distance  $a$ , au pied du parement amont de l'alignement du poids total.*

$$\begin{aligned} R_a P_r &= \Delta \int_0^{nh} h \left( 1 - \frac{x}{nh} \right) (R+x)^2 \sin \theta dx + \\ &\quad + \Delta \int_0^{mh} h \left( 1 - \frac{x}{mh} \right) (R-x)^2 \sin \theta dx, \\ &= \Delta h \left[ \int_0^{nh} \frac{(R+x)^2 (nh-x)}{nh} dx + \right. \\ &\quad \left. + \int_0^{mh} \frac{(R-x)^2 (mh-x)}{mh} dx \right] \sin \theta, \\ &= \Delta h^2 \left[ n \left( \frac{R^2}{2} + \frac{Rnh}{3} + \frac{n^2 h^2}{12} \right) + \right. \\ &\quad \left. + m \left( \frac{R^2}{2} - \frac{Rmh}{3} + \frac{m^2 h^2}{12} \right) \right] \sin \theta, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_a &= \frac{2}{(m+n)k_p} \left[ n \left( \frac{R}{2} + \frac{nh}{3} + \frac{n^2 h^2}{12R} \right) + \right. \\ &\quad \left. + m \left( \frac{R}{2} - \frac{mh}{3} + \frac{m^2 h^2}{12R} \right) \right] \frac{\sin \theta}{\theta}. \end{aligned}$$

Comme  $\frac{\sin \theta}{\theta} = 1$  par hypothèse,

$$\begin{aligned} R_a &= \frac{(m+n)R - \frac{2}{3} h(m^2 - n^2) + \frac{h^2(n^2 + m^2)}{6R}}{(m+n)k_p} = \\ &= \frac{R}{k_p} - \frac{2}{3} \frac{h}{k_p} (m-n) + \frac{h^2}{6Rk_p} (m^2 - mn + n^2), \end{aligned}$$

(1) N° 1672, extrait du tome 92 (1928) des *Comptes rendus*.

(2) Voir, au sujet de cet accident, le *Génie Civil* des 14 et 28 avril et 12 mai 1928 (t. XCII, n° 15, 17 et 19).

(3) Le *Génie Civil* a consacré deux articles à cet accident et à l'examen de ses causes probables : voir les numéros des 12 avril et 18 octobre 1924 (t. LXXXIV, n° 25, et t. LXXXV, n° 16).

$$a_r = R + nh - R_a = nh + R \left(1 - \frac{1}{k_p}\right) + \frac{2}{3} \frac{h}{k_p} (m - n) - \frac{h^2}{6Rk_p} (m^2 - mn + n^2).$$

Finalement :

$$a_r = \frac{m + 2n}{3} \frac{h}{k_p} \left[1 - \frac{h}{2R} \frac{m^2 + mn - n^2}{m + 2n}\right] = ak_a,$$

$$k_a = \frac{1}{k_p} \left[1 - \frac{h}{2R} \frac{m^2 + mn - n^2}{m + 2n}\right] > 1.$$

Si  $n = 0$ ,

$$k_a = \frac{1}{k_p} \left(1 - \frac{mh}{2R}\right) = \frac{1 - \frac{mh}{2R}}{1 - \frac{mh}{3R}} > 1.$$

Composante horizontale de la poussée hydrostatique.

$$H_r = \int_0^h 2\omega y (R + ny) dy \sin \frac{\theta}{2} = 2\omega \sin \frac{\theta}{2} \int_0^h (R + ny) y dy = 2\omega \sin \frac{\theta}{2} \left(\frac{R h^2}{2} + \frac{n h^3}{3}\right),$$

$$H_r = \left(2R \sin \frac{\theta}{2}\right) \frac{\omega h^2}{2} \left(1 + \frac{2nh}{3R}\right) = H k_h, \quad k_h = 1 + \frac{2nh}{3R} > 1.$$

$k_h$  est toujours peu différent de 1 et, si  $n = 0$ ,  $k_h = 1$ .

Composante verticale de la poussée hydrostatique.

$$V_r = \int_0^h \theta (R + ny) n \omega y dy = \omega \theta R n \frac{h^2}{2} \left(1 + \frac{2nh}{3R}\right) = V k_v.$$

Alignement du  $V_r$ .

$$(R + nY) V_r = n\omega \int_0^h (R + ny)^2 y \sin \theta dy = n\omega h^2 \left[\frac{R^2}{2} + \frac{2Rnh}{3} + \frac{n^2 h^2}{4}\right] \sin \theta,$$

$$R + nY = \frac{2}{R + \frac{2nh}{3}} \left[\frac{R^2}{2} + \frac{2Rnh}{3} + \frac{n^2 h^2}{4}\right].$$

$$a'_r = R + nh - R - nY = R + nh - \frac{2}{R + \frac{2nh}{3}} \left[\frac{R^2}{2} + \frac{2Rnh}{3} + \frac{n^2 h^2}{4}\right],$$

$$a'_r = \frac{nh}{3} \frac{1 + \frac{nh}{2R}}{1 + \frac{2nh}{3R}} = a' k_b, \quad \text{en posant } k_b = \frac{1 + \frac{nh}{2R}}{1 + \frac{2nh}{3R}} < 1.$$

Si  $n = 0$ ,  $k_b = 1$ .

Alignement de  $H_r$ . — On a :

$$b_r = \frac{a'_r}{n} = \frac{a'}{n} k_b = b k_b.$$

Section de la base.

$$S_r = \int_{n-mh}^{n+nh} \theta r dr = \theta R h (m + n) \left[1 - \frac{(m - n)h}{2R}\right] = S k_s,$$

en posant :  $k_s = 1 - \frac{(m - n)h}{2R} < 1.$

Si  $n = 0$ ,  $k_s = 1 - \frac{mh}{2R} < 1.$

Position du centre de gravité de la base. — Soit  $R_g$  le rayon correspondant :

$$R_g S_r = \theta \int_{n-mh}^{n+nh} r^2 dr \frac{\sin \theta}{9} = \frac{m + n}{3} h \left[ (R + nh)^2 + (R + nh)(R - mh) + (R - mh)^2 \right] \sin \theta,$$

$$R_g = \frac{2 \sin \theta}{3\theta} \frac{(R + nh)^2 - (R + nh)(R - mh) + (R - mh)^2}{2R - (mn)h} = \frac{2}{3} \frac{3R^2 - 3R(m - n)h + h^2(n^2 + m^2 - mn)}{2R - (m - n)h},$$

$$v_r = R + nh - R_g = h \frac{m + n - \frac{h}{3R} (2m^2 + mn - n^2)}{2 - (m - n) \frac{h}{R}} = \frac{h(m + n)}{2} k_v,$$

en posant :  $k_v = \frac{1 - \frac{2m - n}{3} \frac{h}{R}}{1 - \frac{m - n}{2} \frac{h}{R}} < 1.$

Si  $n = 0$ ,  $k_v = \frac{1 - \frac{2mh}{3R}}{1 - \frac{mh}{2R}}.$

Quant à  $v'_r$ , il est égal à :

$$v'_r = (m + n)h + (R - mh) \left(1 - \frac{\cos \theta}{2}\right) - v_r = v' k'_v + (R - mh) \left(1 - \cos \frac{\theta}{2}\right),$$

en posant :

$$k'_v = 2 - k_v > 1, \quad k'_v = \frac{1 - \frac{m - 2n}{3} \frac{h}{R}}{1 - \frac{m - n}{2} \frac{h}{R}}.$$

En fait, on peut pratiquement mesurer  $v'_r$  sur le rayon médian, alors :

Moment d'inertie de la section de base. — Par rapport au centre :

$$I_c = \theta \int_{n-mh}^{n+nh} r^3 dr \frac{\sin^3 \theta}{6^2},$$

en posant :  $R + nh = R_c$  et  $R - mh = R_i$ ,

$$I_c = \frac{\sin^3 \theta}{4\theta} (R_c^2 - R_i^2) (R_c^2 + R_i^2).$$

Or :  $S_r = \frac{\theta}{2} (R_c^2 - R_i^2)$ , donc :  $I_c = \frac{S_r}{2} (R_c^2 + R_i^2).$

$$I_r = I_c - S_r R_g^2 = S_r \frac{(R_c^2 + R_i^2)}{2} - \frac{4}{9} S_r \frac{(R_c^2 + R_c R_i + R_i^2)}{(R_c + R_i)^2}.$$

Finalement :

$$I_r = \frac{(m + n)^3 h^3}{12} \frac{\left(\frac{R_c + R_i}{R}\right)^2 + \frac{2R_c R_i}{R^2}}{3 \frac{R_c + R_i}{R}} = I k_i,$$

en posant :

$$k_i = \frac{\left(\frac{R_c + R_i}{R}\right)^2 + \frac{2R_c R_i}{R^2}}{3 \frac{R_c + R_i}{R}} = \frac{\left(2 - \frac{m - n}{R} h\right)^2 + 2\left(1 - \frac{mh}{R}\right)\left(1 + \frac{nh}{R}\right)}{3\left(2 - \frac{m - n}{h} R\right)}.$$

u  
352

$$\left( -\frac{mh}{R} \right)$$

$$\frac{r_r}{v_r} = \frac{1}{v} k_i = \frac{(m+n)^2 h^2}{6} k_{(i:v)}$$

$$k_{(i:v)} = \frac{\left( 2 - \frac{m-n}{R} h \right)^2 + 2 \left( 1 - \frac{mh}{R} \right) \left( 1 + \frac{nh}{R} \right)}{6 \left[ 1 - \frac{2m-n}{3} \frac{h}{R} \right]}$$

Si  $n = 0$ ,

$$k_{(i:v)} = \frac{\left( 2 - \frac{mh}{R} \right)^2 + 2 \left( 1 - \frac{mh}{R} \right)}{6 \left[ 1 - \frac{2m}{3} \frac{h}{R} \right]}$$

Par rapport au point A sur le rayon médian :

$$\frac{I_r}{v_r} = \frac{1}{v} k_i = \frac{1}{v} k'_{(i:v)}$$

$$k'_{(i:v)} = \frac{\left( 2 - \frac{m-n}{R} h \right)^2 + 2 \left( 1 - \frac{mh}{R} \right) \left( 1 + \frac{nh}{R} \right)}{6 \left[ 1 - \frac{m-2n}{3} \frac{h}{R} \right]}$$

Si  $n = 0$ ,  $k'_{(i:v)} = \frac{\left( 2 - \frac{mh}{R} \right)^2 + 2 \left( 1 - \frac{mh}{R} \right)}{6 \left( 1 - \frac{m}{3} \frac{h}{R} \right)}$

Point de percée de la résultante dans la section de base et contraintes extrêmes.

$$d_r = \frac{P_r a_r + V_r a'_r + H_r b_r}{P_r + V_r}$$

$$\sigma_b = \frac{P_r (v_r - a_r) + V_r (v_r - a'_r) - H_r b_r}{\left( \frac{1}{v} \right)_r} + \frac{P_r + V_r}{S_r}$$

Comme  $V = nH$  et  $a' = nb$ ,

$$\sigma_b = \frac{Pk_p + Vk_h}{Sk_s} + \frac{Pk_p (vk_r - ak_a) - Hk_h [bk_b (1 + n^2) - nvk_v]}{\left( \frac{1}{v} \right) k_{(i:v)}}$$

$$\sigma_a = \frac{Pk_p + Vk_h}{Sk_s} + \frac{Hk_h [bk_b (1 + n^2) - nvk_v] - Pk_p (vk_r - ak_a)}{\left( \frac{1}{v} \right) k'_{(i:v)}}$$

On vérifiera si  $\sigma_a$  est inférieur à la limite de sécurité et si  $\sigma_b$  est positif ou éventuellement plus grand qu'une certaine valeur  $\rho \sigma h$ , si l'on tient compte des sous-pressions,  $\rho$  étant un coefficient inférieur ou égal à l'unité.

Le développement des formules précédentes serait trop laborieux : on procédera par calcul numérique des éléments. Même dans le cas où le parement aval est un cylindre vertical ( $n = 0$ ), le développement paraît à première vue très complexe, mais il se simplifie étonnamment. On a alors :

$$\sigma_b = \frac{Pk_p + Vk_h}{Sk_s} + \frac{Pk_p (vk_v - ak_a) - Hk_h bk_b}{\left( \frac{1}{v} \right) k_{(i:v)}}$$

Après toutes transformations, on obtient :

$$\sigma_b = \left\{ \frac{\left( 2 - \frac{mh}{R} \right)^2 + 2 \left( 1 - \frac{mh}{R} \right)}{36 \left( 1 - \frac{2mh}{3R} \right)} + \frac{\Delta m^2 h^4 \left( 1 - \frac{mh}{3R} \right)}{2} \left( 1 - \frac{mh}{2R} \right) \left\{ \frac{1 - \frac{2mh}{3R}}{2 \left( 1 - \frac{mh}{2R} \right)} - \frac{1 - \frac{mh}{2R}}{3 \left( 1 - \frac{mh}{3R} \right)} \right\} - \frac{\sigma m h^3 \left( 1 - \frac{mh}{2R} \right)}{6} \right\} - \frac{m^2 h^3 \left( 1 - \frac{mh}{2R} \right)}{36} \frac{\left( 2 - \frac{mh}{R} \right)^2 + 2 \left( 1 - \frac{mh}{R} \right)}{6 \left( 1 - \frac{2mh}{3R} \right)}$$

Si nous posons  $\sigma_b = \rho \sigma h$ , nous obtenons finalement :

$$\frac{\sigma}{\Delta} = \left\{ \frac{\left( 2 - \frac{mh}{R} \right)^2 + 2 \left( 1 - \frac{mh}{R} \right)}{36 \left( 1 - \frac{2mh}{3R} \right)} + \frac{m}{2} \left( 1 - \frac{mh}{3R} \right) \left\{ \frac{1 - \frac{2mh}{3R}}{2 \left( 1 - \frac{mh}{2R} \right)} - \frac{1 - \frac{mh}{2R}}{3 \left( 1 - \frac{mh}{3R} \right)} \right\} \right\} - \frac{1}{6} \left( 1 - \frac{mh}{2R} \right) \left\{ 1 + \frac{m^2 \rho}{6} \frac{\left( 2 - \frac{mh}{R} \right)^2 + 2 \left( 1 - \frac{mh}{R} \right)}{6 \left( 1 - \frac{2mh}{3R} \right)} \right\}$$

Nous écrirons :  $\frac{\sigma}{\Delta} = \frac{Km^2}{1 + \rho K' m^2}$

$$K' = \frac{\left( 2 - \frac{mh}{R} \right)^2 + 2 \left( 1 - \frac{mh}{R} \right)}{6 \left( 1 - \frac{2mh}{3R} \right)} = \frac{1 - \frac{mh}{R} + \frac{m^2 h^2}{6R^2}}{1 - \frac{2}{3} \frac{mh}{R}}$$

$$K = \frac{1 - \frac{mh}{3R}}{1 - \frac{mh}{2R}} \left\{ \frac{\left( 2 - \frac{mh}{R} \right)^2 + 2 \left( 1 - \frac{mh}{R} \right)}{12 \left( 1 - \frac{2mh}{3R} \right)} + \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{mh}{2R} \right) \left\{ \frac{3 \left( 1 - \frac{2mh}{3R} \right)}{1 - \frac{mh}{2R}} - \frac{2 \left( 1 - \frac{mh}{2R} \right)}{1 - \frac{mh}{3R}} \right\} \right\}$$

$$K = \frac{1 - \frac{mh}{3R}}{1 - \frac{mh}{2R}} \left\{ \frac{6 \left( 1 - \frac{mh}{R} \right) + \frac{m^2 h^2}{R^2}}{12 \left( 1 - \frac{2mh}{3R} \right)} + \frac{1 - \frac{mh}{R} + \frac{m^2 h^2}{6R^2}}{2 \left( 1 - \frac{mh}{3R} \right)} \right\}$$

$$K = \frac{1 - \frac{mh}{R} + \frac{m^2 h^2}{6R^2}}{1 - \frac{2mh}{3R}} \times \frac{1 - \frac{mh}{3R}}{1 - \frac{mh}{2R}} \left\{ 1 + \frac{1 - \frac{2mh}{3R}}{2 \left( 1 - \frac{mh}{3R} \right)} \right\} =$$

$$= K' \frac{1 - \frac{mh}{3R}}{1 - \frac{mh}{2R}} \times \frac{2 \left( 1 - \frac{mh}{2R} \right)}{2 \left( 1 - \frac{mh}{3R} \right)} = K'$$

Donc, finalement : 
$$\frac{\sigma}{\Delta} = \frac{Km^2}{1 + \epsilon Km^2}$$

et 
$$K = \frac{1 - \frac{mh}{R} + \frac{m^2 h^2}{6l^2}}{1 - \frac{2mh}{3R}}$$

Si le barrage est droit,  $K = 1$  et on retrouve la formule connue :

$$\frac{\sigma}{\Delta} = \frac{m^2}{1 + \epsilon m^2}$$

Donc : 
$$\rho = \frac{Km^2 - \frac{\sigma}{\Delta}}{Km^2 \frac{\sigma}{\Delta}}$$

$$\sigma_b = \rho h = \frac{Km^2 \Delta - \sigma}{Km^2} h,$$

$$m = \frac{1}{\sqrt{K}} \sqrt{\frac{\sigma}{\Delta - \rho \sigma}} = k \sqrt{\frac{\sigma}{\Delta - \rho \sigma}}$$

formule qui est la généralisation de la formule classique de Maurice Lévy pour les barrages droits :

$$m = \sqrt{\frac{\sigma}{\Delta - \rho \sigma}}$$

Donc, à sécurité égale, aux sous-pressions ( $\rho = 0$ ), l'épaisseur du mur courbe est égale à celle du mur droit multipliée par le coefficient  $k$  plus grand que l'unité. Pour être strictement à l'abri des sous-pressions ( $\rho = 0$ ), l'épaisseur doit être renforcée dans la même proportion. La figure 2 donne un diagramme des valeurs de  $K$  et de  $k$ . L'augmentation d'épaisseur due à la courbure est, d'après cela, pratiquement de 3,6 % à 5,75 %, ce qui n'est nullement négligeable.

Pour la fatigue maximum  $\sigma_a$ , on trouve :

$$\sigma_a = \frac{Pk_p \left[ \left( \frac{1}{\nu'} \right) k'_{(i,v)} - Sk_s (\nu k_v - ak_a) \right] + Hk_b Sk_s b k_b}{Sk_s \left( \frac{1}{\nu'} \right) k'_{(i,v)}}$$

D'après les développements précédents, on trouve que le terme entre crochets est nul, et ;

$$\sigma_a = \frac{\sigma h}{m^2} \frac{1 - \frac{mh}{3R}}{1 - \frac{mh}{R} + \frac{m^2 h^2}{6R^2}}, \quad \text{ou} \quad \sigma_a = K_1 \frac{\sigma h}{m^2}$$

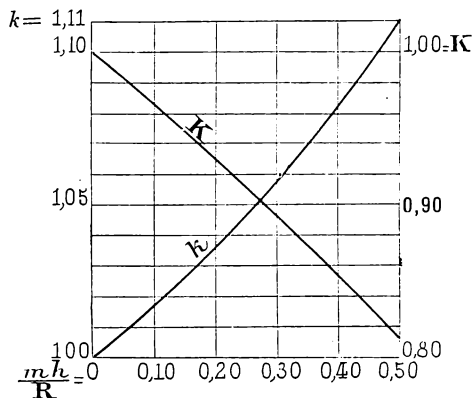


FIG. 2.

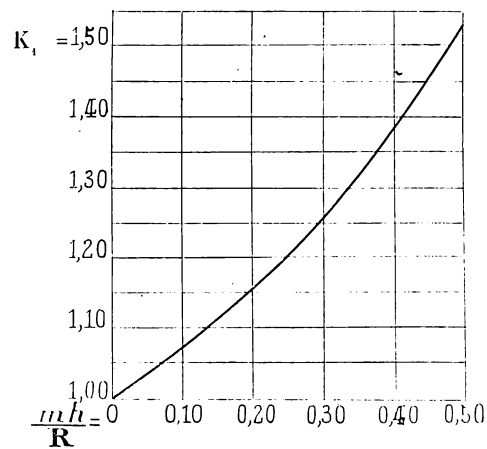


FIG. 3.

en posant : 
$$K_1 = \frac{1 - \frac{mh}{3R}}{1 - \frac{mh}{R} + \frac{m^2 h^2}{6R^2}}$$

La figure 3 donne un diagramme des valeurs de  $K_1$ , en fonction de  $\frac{mh}{R}$ . On voit que  $K_1$  croît rapidement et que, dans les limites de courbure pratique, les contraintes maxima sont augmentées de 15 à 25 % : la conclusion s'exprime d'elle-même.

Fernand CAMPUS,  
Professeur de Constructions du génie civil  
et d'Hydraulique fluviale à l'Université de Liège.

PHYSIQUE INDUSTRIELLE

LES APPLICATIONS INDUSTRIELLES  
de la chaudière Löffler à haute pression.

La production de la vapeur à très haute pression, par des chaudières présentant des différences bien nettes avec les dispositifs classiques à moyenne pression, a été réalisée, ces der-

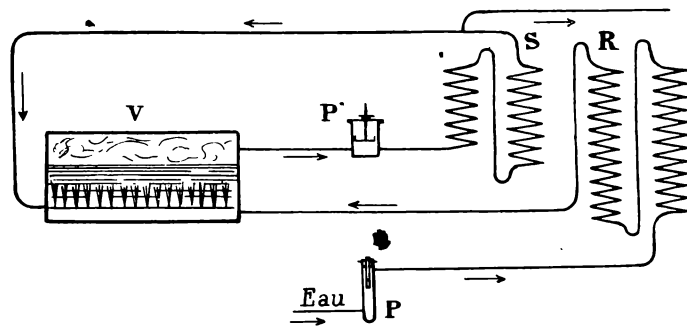


FIG. 1. — Schéma de la vaporisation par le procédé Löffler.

V, vaporisateur; — S, surchauffeur de vapeur; — R, réchauffeur d'eau; — P, pompe à eau; — P', pompe de circulation de vapeur.

nières années, par un certain nombre d'appareils dont le *Génie Civil* a donné la description (1). L'un d'entre eux, la chaudière étudiée par le professeur Löffler, de l'Ecole polytechnique de Berlin-Charlottenbourg, a reçu aujourd'hui plusieurs applica-

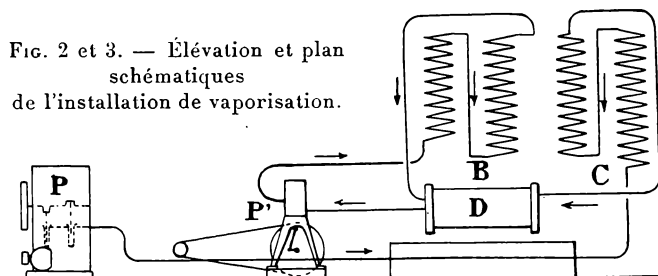
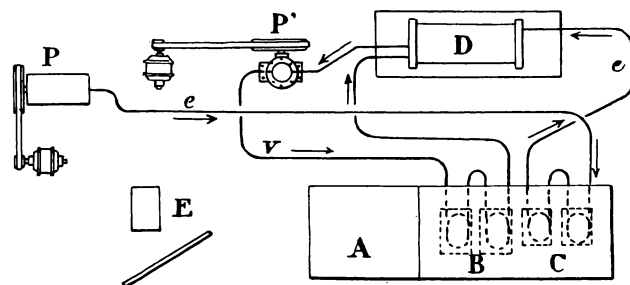


FIG. 2 et 3. — Élévation et plan schématiques de l'installation de vaporisation.



A, foyer; — B, surchauffeur; — C, économiseur; — D, vaporisateur; — E, appareils de mesure; — P, pompe alimentaire; — P', pompe de circulation de vapeur; — e, conduite d'eau; — e, conduite de vapeur.

tions, et une série de renseignements que l'inventeur nous a communiqués récemment nous permettent de compléter le premier article que nous avons consacré à cette chaudière, il y a trois ans (2).

(1) Par exemple, la chaudière Atmos, de la Société Alsacienne de Constructions mécaniques, décrite dans le numéro du 1<sup>er</sup> décembre 1928 (t. XCIII, n° 22, p. 527).  
(2) Voir le *Génie Civil* du 6 février 1926 (t. LXXXVIII, n° 6, p. 133).