

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 48 (1922)  
**Heft:** 3

**Artikel:** Etude sur les barrages arqués  
**Autor:** Stucky, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-37387>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 13.03.2025

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

# BULLETIN TECHNIQUE

## DE LA SUISSE ROMANDE

Réd. : D<sup>r</sup> H. DEMIERRE, ing.

Paraissant tous les 15 jours

ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

SOMMAIRE : *Etude sur les barrages arqués*, par A. STUCKY, ingénieur (suite). — *L'usure des turbines hydrauliques, ses conséquences et les moyens d'y parer*, par H. DUFOUR, ingénieur à Bâle (suite et fin). — *Concours d'idées pour l'établissement d'un plan d'avenir de la Commune de Monthey* (suite). — DIVERS : *Caractéristiques mécaniques et élastiques des fontes*. — *Puissantes stations de télégraphie sans fil*. — NÉCROLOGIE : *J.-J. Sulzer-Imhoof*. — CARNET DES CONCOURS. — SOCIÉTÉS : *Société suisse des Ingénieurs et des Architectes*. — *Association amicale des Anciens Elèves de l'Ecole d'Ingénieurs de Lausanne*. — BIBLIOGRAPHIE.

## Etude sur les barrages arqués

par A. STUCKY, ingénieur.

(Suite<sup>1</sup>.)

### III. Calcul des arcs.

Nous examinerons plus spécialement dans ce travail les barrages dont les proportions permettent de compter avec l'action des arcs. Puisqu'ici les éléments essentiels

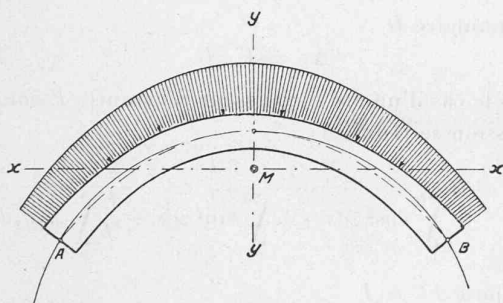


Fig. 7.

sont les arcs horizontaux, toutes les préoccupations devront tendre à donner à ceux-ci la forme et les dimensions qui leur permettront de travailler le plus avantageusement possible.

#### § 1. Calcul d'un arc encastré soumis à une poussée répartie.

Nous n'allons étudier que le cas particulier d'un arc encastré à ses deux extrémités et soumis à une poussée répartie. Nous faisons les hypothèses suivantes : les poussées, comme l'arc lui-même sont symétriques par rapport à un axe  $y-y$ , les poussées peuvent être variables ou uniformément réparties ; elles agissent normalement à l'extrados. La ligne médiane de l'arc coïncide avec le polygone funiculaire des poussées déterminé par le milieu des naissances et de la clef. L'épaisseur de l'arc peut être variable, dans ce cas elle augmente de la clef aux naissances. (Fig. 7.)

Généralement donc l'arc n'a pas la forme d'un arc de cercle. (Sauf pour le cas d'une poussée uniforme.) Si la poussée augmente des naissances à la clef, le polygone funiculaire correspondant et partant la ligne médiane

auront une forme plus aiguë que l'arc de cercle. Si au contraire la poussée diminue vers la clef, l'arc prend une forme plus obtuse.

Nous n'avons pas à établir ici rigoureusement la théorie de l'arc encastré qui est suffisamment connue. Nous nous bornons à rappeler rapidement les résultats auxquels on est conduit dans le cas particulier qui nous intéresse.

L'arc encastré est généralement trois fois statiquement indéterminé. Si nous le supposons libre à l'une de ses extrémités  $A$ , il se déforme sous l'influence des poussées et  $A$  se déplace. Appelons  $\delta mx$  le déplacement de  $A$  suivant la direction des  $x$ ,  $\delta my$  le déplacement suivant la direction des  $y$  et  $\delta mz$  la rotation de la section libre  $A$ . L'appui supposé parfaitement rigide empêche ces déplacements et cette rotation. La réaction d'appui doit par conséquent être capable de ramener l'extrémité  $A$  dans sa position initiale. Cette condition d'élasticité permet de déterminer la réaction  $A$ . Celle-ci peut se décomposer en deux forces  $X$  et  $Y$  et un moment  $Z$  qui ont pour effet de déplacer  $A$  de  $\delta mx$  respectivement  $\delta my$  et de faire tourner la section de  $\delta mz$ . (Fig. 8.)

On sait que les expressions de  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  se simplifient si l'on choisit pour directions  $X$  et  $Y$  deux directions conjuguées principales par rapport aux valeurs  $\frac{ds}{J}$  ( $J$  moment d'inertie) et pour origine le centre de gravité  $M$  des valeurs  $\frac{ds}{J}$ , ce point  $M$  étant supposé lié à l'extrémité  $A$ .

Nous revenons à notre cas particulier et considérons un arc de hauteur 1. La ligne médiane coïncidant avec le polygone funiculaire des poussées, chaque section ne sera soumise, du fait de ces dernières qu'à une force axiale,  $Rm$ . Un élément de l'arc de longueur  $ds$  et de section  $F$

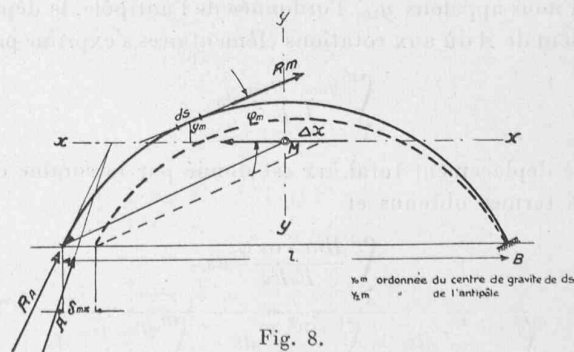


Fig. 8.

<sup>1</sup> Voir *Bulletin technique* du 7 janvier 1922, page 1.

se raccourcira de  $\frac{Rm}{EF} ds$ . Tous ces raccourcissements élémentaires ont pour effet de déplacer l'extrémité  $A$  d'une longueur :

$$\delta mx = \int_A^B \frac{Rm \cdot \cos \varphi}{E.F.} ds \quad (1)$$

vers l'intérieur.

Le déplacement

$$\delta my = \int_A^B \frac{Rm \cdot \sin \varphi}{E.F.} ds$$

est nul par raison de symétrie.

De même  $\delta mz = 0$ .

Il nous faut donc introduire une force additionnelle capable de ramener  $A$  à sa première position. Cette force ne peut être que parallèle à la direction  $x-x$ , soit à la corde de l'arc, nous l'appelons  $\Delta x$ . Elle déplace  $A$  de  $\delta mx$  et agit au centre de gravité  $M$  des valeurs  $\frac{ds}{J}$ . Dans notre cas particulier  $\Delta y$  et  $\Delta z$  sont donc nuls.

La véritable réaction d'appui  $A$  se compose donc de  $R^A$  et de  $\Delta x$ .

Supposons en  $M$  une force  $\Delta x = 1$ . Elle déplace  $A$  de la grandeur  $\delta xx$ . La condition d'élasticité s'exprime par :

$$\begin{aligned} \Delta x \cdot \delta xx &= -\delta mx \\ \Delta x &= -\frac{\delta mx}{\delta xx} \end{aligned} \quad (2)$$

$\delta mx$  est déjà connu. Il nous reste à déterminer la valeur de  $\delta xx$ , c'est-à-dire la grandeur dont  $A$  se déplace sous l'influence d'une force = 1 agissant au centre de gravité  $M$  parallèlement à la corde  $AB$ . Ceci nous ramène au cas général.  $\Delta x = 1$  produit en chaque section une force normale  $Nx = 1 \cdot \cos \varphi$  un effort tranchant  $Qx = 1 \cdot \sin \varphi$  et un moment  $M_x = 1 \cdot ym$ . Les déformations correspondantes projetées sur les deux axes sont :

$$\int_A^B \frac{\cos^2 \varphi}{E.F.} ds \quad \text{et} \quad \int_A^B \frac{\sin^2 \varphi}{G.F.} ds$$

donnant l'influence des efforts normaux et tranchants.

Les moments  $M_x = ym$  provoquent une rotation des éléments  $ds$ . On sait que cette rotation  $\frac{Mds}{J.E.}$  a lieu autour de l'antipôle de la direction de la force (ici axe des  $xx$ ) par rapport à l'ellipse d'élasticité de l'élément  $ds$ .

Si nous appelons  $y_{2m}$  l'ordonnée de l'antipôle, le déplacement de  $A$  dû aux rotations élémentaires s'exprime par :

$$\int_A^B \frac{y_{om} \cdot y_{2m}}{J.E.} ds.$$

Le déplacement total  $\delta xx$  est donné par la somme des trois termes obtenus et

$$\Delta x = \frac{\int_A^B \frac{Rm \cos \varphi}{E.F.} ds}{\int_A^B \frac{\cos^2 \varphi}{E.F.} ds + \int_A^B \frac{\sin^2 \varphi}{G.F.} ds + \int_A^B \frac{y_{om} y_{2m}}{J.E.} ds} \quad (3)$$

Cette formule tient compte de l'influence des trois déformations élémentaires (raccourcissements, glissements, rotations). Nous verrons dans les applications que pour les arcs de grande épaisseur, tels qu'ils se présentent dans les barrages, l'influence des efforts tranchants  $\left( \int_A^B \frac{\sin^2 \varphi}{G.F.} ds \right)$  ne peut pas être négligée comme

c'est généralement le cas pour les arcs de ponts.

Si  $Rm$  est constant (poussée constante) ou si comme dans la plupart des cas qui nous intéressent  $Rm$  varie si peu que l'on puisse introduire une valeur moyenne  $\bar{R}$ ,  $\Delta x$  devient

$$\Delta x = \bar{R} \frac{\int_A^B \frac{\cos \varphi}{F.} ds}{\int_A^B \frac{\cos^2 \varphi}{F.} ds + \mu \int_A^B \frac{\sin^2 \varphi}{F'.} ds + \int_A^B \frac{y_0 y_2}{J} ds} \quad (4)$$

si l'on pose  $\frac{E}{G} = \mu$ .

La grandeur hyperstatique  $\Delta x$  est proportionnelle à la force annulaire  $\bar{R}$

$$\Delta x = k \cdot \bar{R}.$$

Dans le cas d'un arc d'épaisseur constante ( $E$  constant) l'expression se réduit à

$$\Delta x = \bar{R} \frac{l}{\int_A^B \cos^2 \varphi ds + \mu \int_A^B \sin^2 \varphi ds + \frac{F}{J} \int_A^B y_0 y_2 ds} \quad (5)$$

si l'on pose  $F' = F$ .

En posant  $y_{om} = y_{2m}$  (l'erreur étant d'autant plus sensible que l'angle d'ouverture de l'arc est plus faible) et en négligeant le terme provenant des efforts tranchants, on retrouve la formule donnée par M. le prof. Mörsch<sup>1</sup>. M. H. Ritter<sup>2</sup> a, pour le cas particulier d'une poussée et d'une épaisseur de l'arc constantes, calculé les intégrales et arrive à la formule

$$\Delta x = R \cdot \frac{e^2}{C_1 r^2 + C_2 e^2}$$

où  $r$  est le rayon moyen,  $e$  l'épaisseur de l'arc  $C_1$  et  $C_2$  deux fonctions de l'angle d'ouverture de l'arc  $2\alpha$ .

Pour une discussion très rapide nous pouvons nous en tenir au cas particulier d'une poussée constante, c'est-à-dire d'un arc circulaire, d'épaisseur constante.

L'angle d'ouverture  $2\alpha$  définit le rapport de surbaissément de l'arc tandis que les proportions elles-mêmes peuvent être définies par le rapport  $\lambda = \frac{r}{e}$  ( $r$  = rayon moyen,  $e$  = épaisseur constante).

Les deux diagrammes, fig. 9 et 10 donnent les valeurs du coefficient  $k$  en fonction de  $\lambda$  et  $2\alpha$ . On peut se rendre compte facilement que si le coefficient  $k$  doit conserver une faible valeur, c'est-à-dire pour que la courbe des

<sup>1</sup> Schweiz. Bauzeitung, 2 mai 1908, Berechnung kreisförmiger Gewölbe gegen Wasserdruck.

<sup>2</sup> Die Berechnung von Bogenförmigen Stauauern. Karlsruhe. Lang.

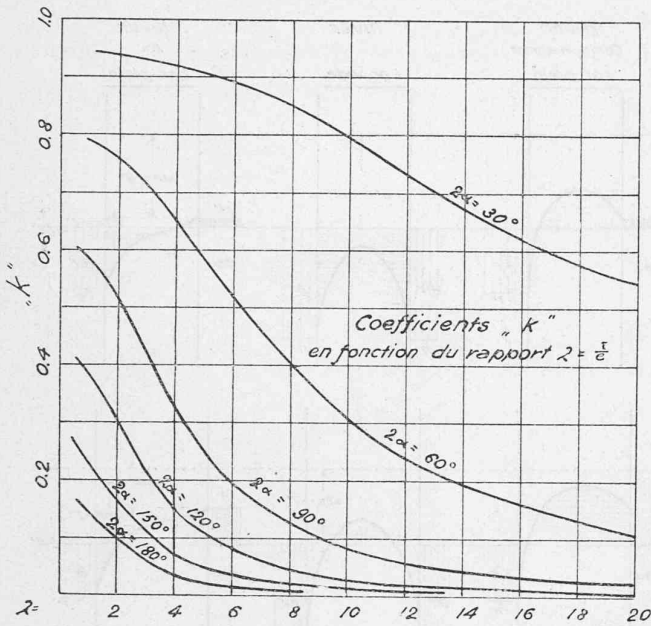


Fig. 9.

pressions s'écarte peu de la ligne médiane, il faut qu'à la fois  $\lambda$  et  $2\alpha$  soient aussi grands que possible. La progression de  $k$  devient très accélérée dès que  $2\alpha$  est inférieur à  $80^\circ$ , à  $100^\circ$  ou dès que  $\lambda$  est plus petit que 5 à 6.

Une fois  $k$  connu, on peut déterminer facilement la réaction d'appui en composant  $R_A$  et  $\Delta x$ , la courbe des pressions s'en déduit alors tout simplement. Elle se trouve dans la moitié intérieure de l'arc, aux naissances, coupe la ligne médiane sur l'axe des  $x.x$  pour passer dans la moitié extérieure au sommet.

Les fatigues peuvent se déterminer sans dessiner auparavant la courbe des pressions au moyen des formules

$$\sigma_{int} = \frac{R}{e} + \frac{\Delta x \cdot Yke}{W}$$

$$\sigma_{ext} = \frac{R}{e} - \frac{\Delta x \cdot Yki}{W}$$

L'excentricité de la courbe des pressions est la plus grande aux naissances. Il est dans ces conditions avantageux de donner à l'arc une épaisseur plus forte aux naissances qu'à la clef.

§ 2. Calcul d'un arc soumis à une variation de température.

Les prescriptions fédérales du 26 novembre 1915 pour le calcul des ouvrages en béton demandent que l'on tienne compte d'une variation de température de  $\pm 15^\circ$ . Cette hypothèse peut se rapprocher de la réalité pour des ouvrages de petites dimensions. A l'intérieur de grandes masses de maçonnerie, telles qu'elles se présentent dans les barrages, les variations sont loin d'atteindre ces limites.

Nous ne possédons actuellement que très peu de renseignements sur la propagation de la chaleur dans les grandes masses de maçonnerie. Des premiers essais ont été faits au barrage de Boontom (Amérique du Nord<sup>1</sup>), Plus récemment des observations ont été entreprises au viaduc de Langwies<sup>2</sup>.

Les mesures faites à Boontom sont sujettes à caution, celles du viaduc de Langwies ont été faites sur des masses de béton relativement faibles. Bien que n'étant pas encore définitifs, ces résultats permettent de tirer des conclusions intéressantes pour les grands barrages<sup>3</sup>.

On a pu constater tout d'abord que les variations de température sont considérablement atténuées à l'intérieur de la maçonnerie; les variations journalières ne sont sensibles qu'à une très petite profondeur. La température du corps même de l'ouvrage est en retard de un jusqu'à deux mois sur la température ambiante.

Un abaissement de température en raccourcissant les arcs se manifeste comme la poussée des eaux, tandis qu'une élévation de température la compense en partie. C'est donc une chute de température qui nous intéresse spécialement.

On en est réduit à faire des hypothèses sur la température pour chaque cas particulier. Pour le barrage sur la Jogne nous avons fait les hypothèses suivantes, basées sur les observations citées plus haut (fig. 12).

Au commencement de l'hiver, le lac est encore plein, la température s'est considérablement abaissée. Plus tard, la température baisse encore et conserve une moyenne de  $-12^\circ$  pendant une semaine au moins; le lac s'est vidé... — Vers la fin de l'hiver, le lac a pu se remplir à nouveau, la température extérieure s'est adoucie, mais le corps du barrage est resté assez froid.

<sup>1</sup> Ziegler : *Der Talsperrenbau*. 2<sup>e</sup> éd. Berlin, Ernst.

<sup>2</sup> Schürch : *Versuche beim Bau des Langwieser Viaduktes*.

<sup>3</sup> Des mesures de température ont été entreprises au barrage de Montsalvens (Jogne) par MM. les prof. Joye et Christen. Elles font l'objet d'une note qui paraîtra dans le *Bulletin technique*.

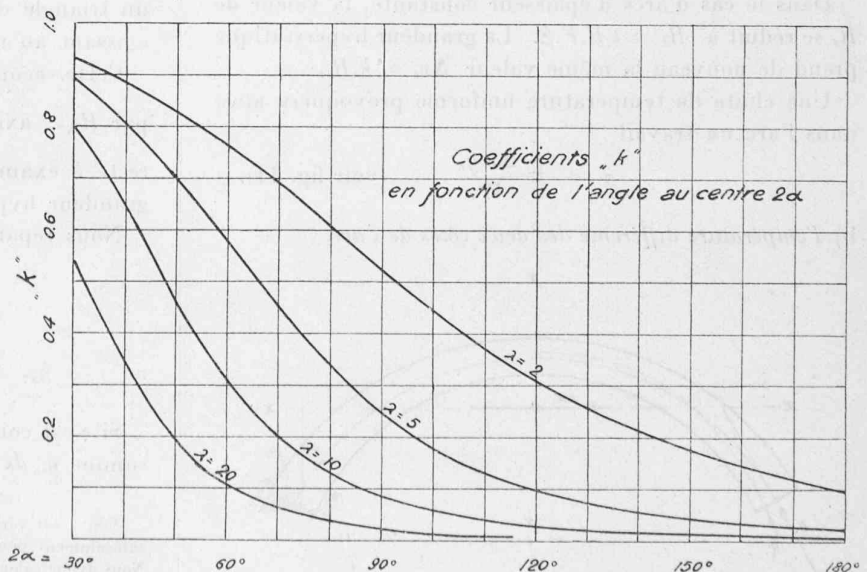


Fig. 10.

Les deux cas III et IV nous intéressent spécialement.

III. *Lac vide*. Température ambiante la plus basse, mais égale des deux côtés du barrage. Il y a symétrie. La contraction est uniforme dans un même arc.

IV. *Lac plein*. La température de l'eau est supérieure à celle de l'air. La symétrie est rompue et il se peut que cet état soit plus défavorable que le précédent bien que la température générale soit moins basse.

a) *Température égale des deux côtés de l'arc.*

La grandeur hyperstatique  $\Delta x_t$  s'exprime d'une manière analogue au cas de l'arc soumis à la poussée des eaux

$$\Delta x_t = - \frac{\partial_{xt}}{\partial_{xx}}$$

$\partial_{xx}$  conserve exactement la même valeur que précédemment.

$\partial_{xt}$  est le déplacement du point A dû à la variation de température  $t$ .

$\partial_{xt} = \beta t.l.$  ( $\beta$  étant le coefficient de dilatation du béton).

Le déplacement  $\partial_{xt}$  peut être assimilé à celui qui serait produit par une force annulaire virtuelle de la grandeur :

$$R_t = \frac{\beta l.t.}{k.\partial_{xx}}$$

En effet  $R_t$  produit un déplacement  $\partial_{xt}$  du point A

$$\partial_{xt} = \int_A^B \frac{\beta l.t. \cos \varphi}{k.\partial_{xx}} \frac{ds}{E.F.}$$

or

$$k\partial_{xx} = \int_A^B \frac{\cos \varphi}{E.F.} ds$$

d'où il résulte bien

$$\partial_{xt} = \beta l.t.$$

Dans le cas d'arcs d'épaisseur constante, la valeur de  $R_t$  se réduit à  $R_t = t.E.F.\beta$ . La grandeur hyperstatique prend de nouveau la même valeur  $\Delta x_t = k.R_t$ .

Une chute de température uniforme provoquera ainsi dans l'arc un travail

$$\sigma = \pm \frac{\Delta x_t y_k}{W.} \quad (\text{voir fig. 11}).$$

b) *Température différente des deux côtés de l'arc.*

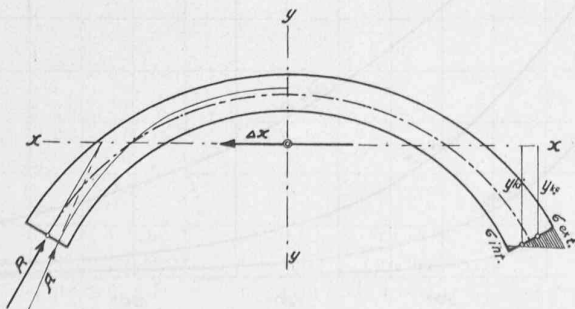


Fig. 11.

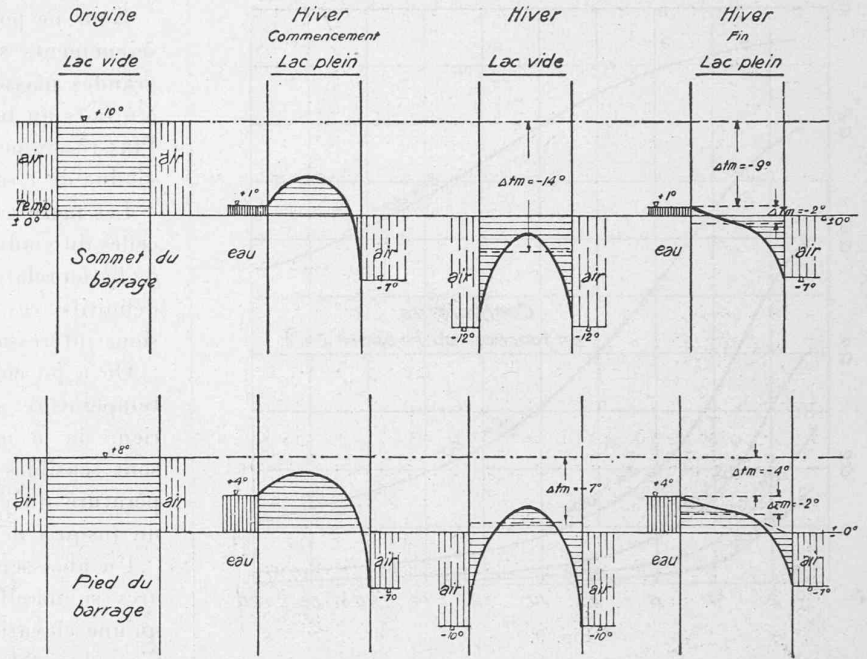


Fig. 12.

La chute de température n'étant pas uniforme, les fibres se raccourcissent différemment à l'extrados et à l'intrados. La force virtuelle  $R_t$  n'est ainsi plus axiale (fig. 13).

Un tel diagramme de raccourcissement des fibres est en contradiction avec l'hypothèse de Navier: Le raccourcissement (ou l'allongement) assez considérable des fibres extérieures produira un travail secondaire de cisaillement parallèlement aux fibres.

Ce diagramme peut être remplacé, si l'on fait abstraction des régions extérieures, c'est-à-dire l'écorce sensible aux variations journalières par un trapèze moyen. Ce trapèze peut à son tour être décomposé en un rectangle de hauteur  $\Delta t_m$  correspondant à un  $R_{\Delta t_m} = \frac{l\Delta t_m \beta}{k\partial_{xx}}$  et un triangle de hauteur  $2\Delta \tau_m$  correspondant à un  $R_{\Delta \tau_m}$  agissant au noyau intérieur.

Cette seconde force excentrique se remplace elle-même par  $R_{\Delta \tau_m}$  axial et un moment  $M = R_{\Delta \tau_m} \frac{e}{6}$ . Il nous reste à examiner l'influence de cette excentricité sur la grandeur hyperstatique.

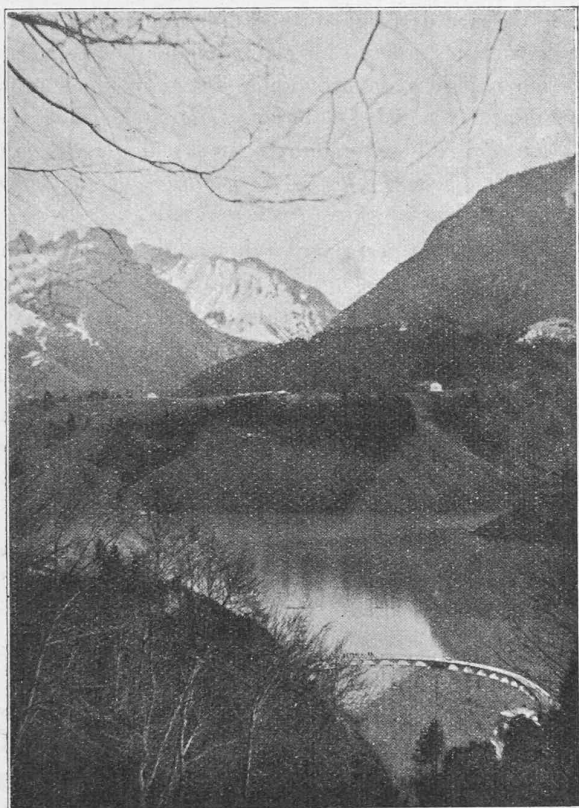
Nous repartons de la formule fondamentale

$$\Delta x_\tau = - \frac{\partial_{xt}}{\partial_{xx}}$$

$$\text{ou} \quad \partial_{x\tau} = \beta \int \cos \varphi \Delta \tau_m ds + \int \frac{M \Delta \tau_m}{J.E.} y_m \cdot ds.$$

Si  $e$  est constant, le deuxième terme est nul puisque la somme  $y_m ds$  elle-même est nulle <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Si  $e$  est variable le second terme est différent de 0 mais néanmoins suffisamment petit par rapport au premier pour qu'il puisse être négligé. Nous avons calculé le rapport des deux termes pour plusieurs cas précis. Le rapport du deuxième terme au premier n'est que de 1 à 2 %.



Accumulation de la Jogne. — Le lac de Montsalvens.

$\delta_{x\tau}$  se réduit donc à  $\beta \Delta\tau_m l$  exactement comme dans le cas d'une variation de température uniforme. Il en résulte que dans ce second cas

$$\Delta x_t = k(R_{\Delta t_m} + R_{\Delta\tau_m}).$$

Les fatigues se composent de l'influence

1. de  $\Delta x_t$   $\sigma_1 = \pm \frac{\Delta x_t y k}{W}$
2. de l'excentricité  $\sigma_2 = \pm \frac{R \Delta\tau_m \frac{e}{\delta}}{W} = E \cdot \beta \cdot \Delta\tau_m$ .

dans notre cas, d'une chute de température plus grande à l'intrados  $\sigma_2$  est négatif (compression) à l'extrados et positif à l'intrados.

### § 3. La forme des arcs.

Si la grandeur hyperstatique  $\Delta x$  était nulle, l'arc serait soumis à une compression uniforme  $\sigma = \frac{p \cdot r}{e}$ . Cette formule a été employée dans plusieurs cas en Amérique. Ce serait certes la répartition la plus avantageuse des efforts. En réalité la grandeur  $\Delta x$  vient troubler cette uniformité, surtout aux naissances et à la clef. La résultante agissant sur une section donnée s'écarte d'autant plus de la

<sup>1</sup> Cette formule  $\sigma = \frac{p \cdot r_{ext}}{e}$  n'est d'ailleurs rigoureuse que pour une épaisseur infiniment mince, par exemple voir : Föppl : « Technisch. Mechanik. Tome III : Dickwandige Röhren. »

médiane que  $\Delta x$  est plus grand. Il faudra par conséquent tendre en fixant la forme du barrage à ce que  $\lambda$  et  $2\alpha$  soient aussi grands que possible.

Les angles au centre des arcs et la courbure dépendent en grande partie de la configuration topographique et géologique de l'emplacement.

Les premiers grands barrages américains sont formés d'arcs circulaires de rayon constant (Shoshone, Pathfinder). Il en résulte que les arcs inférieurs dont l'angle au centre est très petit travaillent très défavorablement. Plus récemment les Américains introduisirent un type nouveau « constant angle arch type » où l'angle au centre reste constant, tandis que le rayon diminue de haut en bas. Cette forme offre d'après ce qui précède un réel avantage sur la première. Il n'y a toutefois aucun intérêt à ce que l'angle reste constant. Nous dirons plutôt que l'angle doit être aussi grand que possible, et nous aurons ainsi toute latitude pour exploiter tous les avantages de la configuration de l'emplacement.

S'il s'agit d'un barrage formé d'une série de voûtes venant s'appuyer sur les piles, la portée des arcs reste constante, on pourrait par conséquent conserver la même courbure de haut en bas. Il sera peut-être possible d'augmenter légèrement la courbure des arcs inférieurs pour compenser en partie le manque d'élasticité qui résulte de leur épaisseur trop forte.

Le rapport  $\lambda = \frac{r}{e}$  devant être aussi grand que possible et le rayon  $r$  étant déjà plus ou moins donné, il faut que  $e$  soit très petit, c'est-à-dire aussi petit que la limite des fatigues à la compression le permettra. On peut déterminer approximativement l'épaisseur de quelques-uns des arcs au moyen de la relation  $e = \frac{\text{profondeur} \times r \cdot \text{ext.}}{\sigma \text{ compr.}}$  en prenant pour  $\sigma$  : 14 kg/cm<sup>2</sup> ou 12 kg/cm<sup>2</sup> suivant que les arcs sont plus ou moins élastiques.

Nous n'avons jusqu'ici considéré que les arcs. Or nous avons vu que l'action du mur pouvait, le cas échéant, être tout aussi importante que celle des arcs. Il nous faut donc envisager également cette action du mur si nous voulons donner au barrage une forme convenable.

Les murs offrent une résistance d'autant plus faible que l'on s'écarte davantage de leur pied. Au pied même

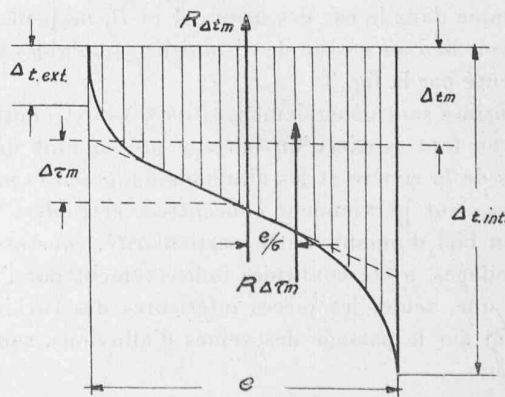


Fig. 13.

le mur est indéformable puisque rigidement encastré dans le roc des fondations. Les arcs eux-mêmes sont également indéformables à leurs naissances, tandis que les sommets peuvent se déplacer plus ou moins facilement. Considérons maintenant la série des arcs superposés : les arcs supérieurs, minces et de grande portée sont plus déformables que les arcs inférieurs, courts et plus épais. Ici de nouveau la résistance aux déformations diminue avec la profondeur, mais dans une mesure beaucoup plus faible que ce n'est le cas pour les murs. Il en résulte donc que dans les régions inférieures du barrage, l'action des « murs » est prépondérante. Elle diminue dès que l'on s'élève et dans les régions supérieures les arcs deviennent les éléments essentiels. La région centrale des arcs supérieurs du barrage devra être aussi faible que possible pour donner à l'ensemble de l'ouvrage une grande élasticité tandis que le pied du barrage et les naissances des arcs seront renforcés afin d'obtenir un bon encastrement.

Il ne faudra naturellement pas perdre de vue la forme du mur qui n'ose pas présenter de changements trop brusques. La forme convenable du barrage résultera de la conciliation de ces deux exigences.

Les observations qui précèdent permettent maintenant de dessiner la forme fondamentale du barrage, celle qui servira de base au calcul statique. On pourra par exemple dessiner sur un plan avec courbes de niveau une série d'arcs superposés à un écartement convenable dont l'épaisseur est déterminée d'après la formule grossière citée plus haut. Une fois la forme fondamentale du barrage fixée, on peut passer au calcul statique qui permettra de déterminer les corrections qu'il y aura lieu d'apporter à la forme fondamentale. Cette question fait l'objet du chapitre suivant. (A suivre.)

## L'usure des turbines hydrauliques, ses conséquences et les moyens d'y parer.

par H. DUFOUR, ingénieur, à Bâle.

(Suite et fin.)<sup>1</sup>

Dans les usines à très grands débits et basses chutes, l'élimination des graviers et des sables, parfois si désirable comme dans le cas des usines *A* et *B*, ne peut même plus avoir lieu au moyen de dispositifs semblables à celui représenté par la fig. 38.

Ces usines sont généralement situées à l'extrémité d'un canal, ou font partie d'un barrage provoquant un long remous de la rivière et les alluvions dangereuses pour les turbines, leur parviennent concentrées et roulées sur le fond du bief d'amont. Cette particularité, constatée par des sondages, a été confirmée indirectement par l'observation que, seules les pièces inférieures des turbines se trouvant sur le passage des veines d'alluvions, souffrent de l'usure.

<sup>1</sup> Voir *Bulletin technique* du 21 janvier 1922, page 16.

Si le passage de l'eau, du bief d'amont dans les chambres de turbines, a lieu sans changements de vitesse et de direction capables de provoquer des tourbillons importants dans les couches inférieures, le problème de l'élimination des alluvions dangereuses pour les turbines, semble pouvoir se limiter à l'évacuation des matériaux roulés sur le fond à l'entrée des chambres.

Le type de turbine préféré aujourd'hui pour ces usines à très grands débits, semble être celui à une roue, à axe vertical et chambre en forme de spirale.

La fig. 39 représente une turbine de ce genre dont la chambre est munie de deux vannes d'entrée  $V_1$  et  $V_2$ , de deux grilles  $G_1$  et  $G_2$ , des canaux  $C_1$  et  $C_2$ , des vannes  $E_1$  et  $E_2$ , pour le nettoyage de la grille par retour du courant et d'un dessableur avec purge automatique pour les alluvions.

En passant, nous dirons que le nettoyage de la grille par retour du courant a été appliqué avec succès par la S. A. Buss de Bâle, à la grande usine hydro-électrique de cette ville, à Augst sur le Rhin.

Le dessableur à purge automatique placé derrière les grilles se compose de quatre canaux  $c_1-c_4$  munis chacun d'un récepteur avec trois orifices de passage  $u_1-u_3$ . Les canaux  $c_1$  et  $c_2$  se réunissent devant la vanne de fermeture  $v_1$ ,  $c_3$  et  $c_4$  devant  $v_2$  pour ne former que deux canaux débouchant tangentiellement dans la partie inférieure du coude d'aspiration. Les nervures  $N_1$  et  $N_2$  maintiennent la direction rectiligne des couches inférieures de l'eau et permettent aux alluvions de pénétrer dans les récepteurs et les canaux  $c_1-c_4$ , en glissant sur les parties inclinées du fond.

En variant l'ouverture des vannes  $v_1$  et  $v_2$  on règle le débit de la purge ainsi que la vitesse de l'eau dans les canaux  $c_1-c_4$  et les orifices de passage  $u_1-u_3$ . Cette vitesse doit être d'autant plus grande que la teneur en alluvions de l'eau et les dimensions de celles-ci sont plus fortes.

Lorsque l'eau charrie, le débit de la rivière est supérieur à celui de l'usine, les vannes  $v_1$  et  $v_2$  sont ouvertes et les alluvions roulées sur le fond ou à faible hauteur évacuées automatiquement. Lorsque le débit de la rivière descend au-dessous de celui de l'usine, le charriage d'alluvions cesse, les vannes  $v_1$  et  $v_2$  sont fermées et toute l'eau disponible passe par la turbine. Pendant les périodes intermédiaires où le charriage et la surabondance d'eau sont faibles, il conviendra de réduire l'ouverture de  $v_1$  et  $v_2$  ou même de suspendre la purge automatique des chambres ou seulement des canaux ne recevant pas d'alluvions.

On remarquera que ce dessableur ne modifie en rien la disposition générale de la chambre de turbine et que, quelle que soit son efficacité il ne pourrait être préjudiciable au bon fonctionnement de l'usine.

Si lors de la construction, l'opportunité du dessableur n'était pas encore suffisamment démontrée, et que, par économie, on veuille en remettre l'exécution définitive