

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 48 (1922)
Heft: 16

Artikel: Recherches sur les variations et sur la répartition de la température dans le barrage de Montsalvens
Autor: Joye, P. / Christen, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-37418>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 26.01.2026

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

BULLETIN TECHNIQUE

DE LA SUISSE ROMANDE

Réd. : D^r H. DEMIERRE, ing.

Paraissant tous les 15 jours

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

SOMMAIRE : *Recherches sur les variations et sur la répartition de la température dans le barrage de Montsalvens*, par P. JOYE, professeur à l'Université de Fribourg, et A. CHRISTEN, docteur ès sciences (suite). — *Les moteurs Diesel. Leur valeur économique comparée à celle d'autres machines motrices*, par M. ALFRED BUCHI, ingénieur en chef, à Winterthour (suite). — *Concours pour la construction d'une église catholique à Montana-Vermala* (fin). — DIVERS : *La protection des grilles par aluminage*. — *La question de la reconstruction de la gare de Genève*. — *Les turbines de Chancy-Pougny*. — NÉCROLOGIE : A. Daulte. — BIBLIOGRAPHIE : *Navigation intérieure*. — *Der Schweizerische Maschinenbau*. — SOCIÉTÉS : *Société suisse des Ingénieurs et des Architectes*. — CARNET DES CONCOURS.

Recherches sur les variations et sur la répartition de la température dans le barrage de Montsalvens,

par P. JOYE, professeur à l'Université de Fribourg,
et A. CHRISTEN, docteur ès sciences.

(Suite¹.)

5. La recherche des coefficients numériques de la formule $R_t = R_o (1 + at + bt^2)$ présente une grande importance. Nous l'avons poursuivie par la méthode des moindres carrés, en donnant à l'expression la forme :

$$r = A + Bt + Ct^2$$

soit A' , B' , C' des valeurs approchées des coefficients A , B , C et r' , la valeur qui résulte de l'adoption de ces coefficients.

$$\begin{aligned} A &= A' + \alpha & B &= B' + \beta & C &= C' + \gamma \\ r &= r' + \delta \\ \delta &= \alpha + \beta t + \gamma t^2. \end{aligned}$$

La théorie des probabilités, appliquée au calcul des erreurs, montre que la somme des carrés des erreurs est minima lorsque α , β et γ sont déterminées par les trois équations simultanées :

$$\begin{aligned} (1) \quad \alpha \Sigma a_o^2 + \beta \Sigma a_o b_o + \gamma \Sigma a_o c_o &= \Sigma a_o \delta_o \\ \alpha \Sigma a_o b_o + \beta \Sigma b_o^2 + \gamma \Sigma b_o c_o &= \Sigma b_o \delta_o \\ \alpha \Sigma a_o c_o + \beta \Sigma b_o c_o + \gamma \Sigma c_o^2 &= \Sigma c_o \delta_o \end{aligned}$$

dans lesquelles :

$$a = \frac{\delta r}{\delta A} = 1$$

$$b = \frac{\delta r}{\delta B} = t$$

$$c = \frac{\delta r}{\delta C} = t^2$$

Le système (1) devient (en désignant par n le nombre des mesures) :

$$\begin{aligned} \alpha n + \beta \Sigma t + \gamma \Sigma t^2 &= \Sigma \delta_o \\ \alpha \Sigma t + \beta \Sigma t^2 + \gamma \Sigma t^3 &= \Sigma t_o \delta_o \\ \alpha \Sigma t^2 + \beta \Sigma t^3 + \gamma \Sigma t^4 &= \Sigma t_o^2 \delta_o \end{aligned}$$

Les formules de Cramer donnent, en désignant par Δ les déterminants :

$$\Delta = \begin{vmatrix} n & \Sigma t & \Sigma t^2 \\ \Sigma t & \Sigma t^2 & \Sigma t^3 \\ \Sigma t^2 & \Sigma t^3 & \Sigma t^4 \end{vmatrix} \quad \Delta_1 = \begin{vmatrix} \Sigma \delta_o & \Sigma t & \Sigma t^2 \\ \Sigma t_o \delta_o & \Sigma t^2 & \Sigma t^3 \\ \Sigma t_o^2 \delta_o & \Sigma t^3 & \Sigma t^4 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} n & \Sigma \delta_o & \Sigma t^2 \\ \Sigma t & \Sigma t_o \delta_o & \Sigma t^3 \\ \Sigma t^2 & \Sigma t_o^2 \delta_o & \Sigma t^4 \end{vmatrix} \quad \Delta_3 = \begin{vmatrix} n & \Sigma t & \Sigma t_o \\ \Sigma t & \Sigma t^2 & \Sigma t_o \delta_o \\ \Sigma t^2 & \Sigma t^3 & \Sigma t_o^2 \delta_o \end{vmatrix}$$

$$\alpha = \frac{\Delta_1}{\Delta} \quad \beta = \frac{\Delta_2}{\Delta} \quad \gamma = \frac{\Delta_3}{\Delta}$$

La résistance de chaque thermomètre ayant été mesurée de 3 en 3 degrés, de 0° à 24°, le calcul est considérablement simplifié :

On a en effet :

$$n = 8 \quad \Sigma t = 108 \quad \Sigma t^2 = 1836$$

$$\Delta = 4,1150768 \times 10^7 \quad \frac{1}{\Delta} = 2,4301 \times 10^{-8}$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} \Sigma \delta_o & 108 & 1836 \\ \Sigma t_o \delta_o & 1836 & 34.992 \\ \Sigma t_o^2 \delta_o & 34.992 & 710.532 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 8 \Sigma \delta_o & 1836 \\ 108 \Sigma t_o \delta_o & 34.992 \\ 1836 \Sigma t_o^2 \delta_o & 710.532 \end{vmatrix} \quad \Delta_3 = \begin{vmatrix} 8 & 108 \Sigma t_o \\ 108 & 1836 \Sigma t_o \delta_o \\ 1836 & 34.992 \Sigma t_o^2 \delta_o \end{vmatrix}$$

Dans le développement de chaque déterminant 2 des facteurs, dans les produits 3 à 3, restent les mêmes, quel que soit le thermomètre à calculer. Si nous faisons le calcul :

$$\Delta_1 = 8,0091 \cdot 10^7 \Sigma \delta_o - 1,24924 \cdot 10^7 \Sigma t_o \delta_o + 4,0825 \cdot 10^5 \Sigma t_o^2 \delta_o$$

$$\Delta_2 = -1,24921 \cdot 10^7 \Sigma \delta_o + 1,49336 \cdot 10^6 \Sigma t_o \delta_o - 8,1648 \cdot 10^4 \Sigma t_o^2 \delta_o$$

$$\Delta_3 = 4,0824 \cdot 10^5 \Sigma \delta_o - 7,9648 \cdot 10^5 \Sigma t_o \delta_o + 3,004 \cdot 10^3 \Sigma t_o^2 \delta_o$$

Nous donnons quelques détails sur le calcul des coefficients d'un thermomètre.

Désignons par r_m la résistance du thermomètre mesurée aux différentes températures, par r' la résistance obtenue

¹ Voir *Bulletin technique* du 8 juillet 1922, page 157.

en donnant aux coefficients de la formule $r = A + Bt + Ct^2$ des valeurs approchées A' , B' , C' ; par α, β, γ les corrections à apporter pour obtenir les valeurs réelles des coefficients, par δ_o les différences entre r_m et r' ; $t_o \delta_o$ sont les produits de ces différences par les températures correspondantes.

T	r_m	r'	δ_o	$t_o \delta_o$	$t_o^2 \delta_o$	r	$r - r_m$
0°	100,073					100,079	+6
3°	101,255	101,203	+52	+156	+468	101,259	+4
6°	102,444	102,413	+31	+186	+1,116	102,447	+3
9°	103,651	103,629	+22	+198	+1,782	103,644	-7
12°	104,852	104,852	0	0	0	104,851	-1
15°	106,069	106,081	-12	-180	-2,700	106,066	-3
18°	107,287	107,317	-30	-558	-9,720	107,290	+3
21°	108,518	108,559	-41	-861	-18,081	108,523	+5
24°	109,768	109,807	-39	-936	-22,464	109,764	-4
5°	102,056					102,051	-5
10°	104,048					104,048	0
-10°	96,216					96,208	-8

$$\Sigma \delta_o = -17 \quad \Sigma t_o \delta_o = -1995 \quad \Sigma t_o^2 \delta_o = -49.599$$

$$A' = 100,00 \quad \alpha = +0,079 \quad A = 100,079$$

$$B' = 0,4 \quad \beta = -0,0080 \quad B = 0,3920$$

$$C' = 0,00036 \quad \gamma = +0,000133 \quad C = 0,000493$$

$$\Delta = 4,115 \cdot 10^7 \quad \Delta_1 = 3,247 \cdot 10^6$$

$$\Delta_2 = 3,396 \cdot 10^5 \quad \Delta_3 = 5,470 \cdot 10^3$$

$$R_o = 100,079$$

$$a = 0,003917$$

$$b = 0,0000049$$

Ces chiffres montrent clairement :

a) que la formule $r = A + Bt + Ct^2$ représente les variations de la résistance dans un large domaine, puisqu'on peut extrapoler les valeurs jusqu'à -10° ;

b) que les expériences et les thermomètres ne présentent pas d'erreur systématique et que l'exactitude des mesures est supérieure à $1/10\,000$.

On peut se demander si nous n'avons pas apporté une précision inutile au calcul des thermomètres et si les erreurs de mesure à la station ne seront pas supérieures de beaucoup aux erreurs de la calibration. Cela est plausible, l'ohmmètre ne permet en effet de déterminer les résistances qu'à 0,05 ohm près et nos thermomètres sont calculés au 0,01 près.

Nous remarquerons d'abord que si nos thermomètres n'étaient étalonnés qu'au $1/10$ d'ohm près, les erreurs de la calibration pourraient s'ajouter aux erreurs de mesures et l'exactitude des résultats serait abaissée d'autant.

Un étalonnage très précis était dans ces recherches d'une absolue nécessité, non que nous voulions apporter dans les mesures au barrage une exactitude exagérée, mais afin de pouvoir nous assurer de l'invariabilité de la résistance de nos thermomètres à une température donnée. En poussant à la limite les méthodes de mesure et de calcul, nous cherchions à déceler, dans le court laps de temps dont nous disposions, les plus faibles variations de résistance, indices d'un changement dans le métal, soit mécanique, soit moléculaire. Nous avons contrôlé

certain thermomètres pendant plusieurs mois, sans avoir observé le moindre changement. Les quelques cas où la résistance de base n'était pas constante, se sont révélés au cours des premières mesures; ils étaient dus à des défauts de montage faciles à éliminer.

IV

Installation des thermomètres dans le barrage.

Avant de décrire l'installation des thermomètres dans le barrage, il nous paraît utile de donner quelques renseignements sommaires sur cet ouvrage¹.

Le barrage de Montsalvens ferme l'entrée d'une vallée très étroite dans sa partie inférieure. Sa hauteur totale est de 52 m., de la cote 748 à la cote 800. Un socle plus long suivant l'axe, que large est encastré dans le fond de la vallée et supporte une voûte couchée qui trouve ses appuis, rive droite, contre le rocher, et rive gauche contre une large culée, elle-même appuyée à des dalles rocheuses. A la cote 750, la profondeur dans le sens de la vallée est de 20 m.; sa longueur de 11 m. L'épaisseur diminue graduellement avec la hauteur; elle se réduit à 2 m. au couronnement. Sur la rive gauche, à la cote 800, se trouve le déversoir. La crête du barrage, longue de 138 m. est surmontée d'une série de voûtes qui supportent une passerelle. Les deux faces de l'ouvrage sont revêtues presque entièrement de moellons de béton juxtaposés dont le jointoyage a été exécuté avec beaucoup de soin pour éviter les infiltrations. Pour augmenter l'imperméabilité, le parement amont a été recouvert d'un enduit au goudron.

1. La ligne de chaque thermomètre, de la spirale de nickel à la station de mesures est constituée par deux fils de cuivre de 1,6 mm. de diamètre (2 mm² de section) dont la résistance est environ 0,008 Ω par mètre. L'isolation des fils est de la meilleure qualité (isolation XII). La résistance des lignes n'est pas négligeable vis-à-vis de celle des thermomètres eux-mêmes. Pour le N° 1, dont la ligne est la plus longue, elle est égale à 1,66 Ω . Elle n'est que de 0,38 Ω pour le N° 28. Ces valeurs ont été ajoutées, à la table de calibration de chaque thermomètre comme une correction fixe qui a pour effet de diminuer légèrement la sensibilité de la mesure. Mais il n'est pas inutile de se demander si les variations de résistance des lignes ne seront pas une cause d'erreur dans la détermination des températures. Le cuivre a un coefficient de température peu différent de celui du nickel (0,004). Prenons comme exemple la ligne N° 1 dont la résistance est égale à 1,66 Ω à la température de 5° C. Si nous admettons que la ligne subit des variations extrêmes de température de -15° à $+25^\circ$ C, c'est-à-dire de $\pm 20^\circ$ par rapport à la température initiale, sa résistance varie de $\pm 0,13 \Omega$ ce qui correspond à une différence de $\pm 0,03$ sur la détermination de la température à l'intérieur du barrage. Diverses causes contribuent cependant à diminuer l'importance de cette erreur: Les lignes passent sur une grande longueur à l'intérieur du barrage où les variations

¹ STUCKY, loc. cit., p. 49.

de la température sont beaucoup plus faibles. En été, le parement aval, contre lequel sont fixés les tuyaux contenant les fils, est à l'ombre pendant la plus grande partie de la journée. La température n'y est jamais très élevée. C'est en hiver que les différences sont les plus fortes, mais si l'on fait la mesure dans l'après-midi (le tuyau se met rapidement en équilibre thermique avec l'air extérieur) l'erreur sera plus petite. Enfin, nous avons fait le calcul pour la ligne N° 1 qui est la plus longue. Pour le N° 28, la différence maximale ne serait que de 0,03 Ω c'est-à-dire environ 0°08.

Voici quelle est l'importance de la correction pour les diverses séries de thermomètres lorsque la température de l'air est -15° ou $+25^{\circ}$ C, et en admettant que les variations de résistance des lignes à l'intérieur du barrage sont négligeables.

Série	Longueur de la ligne à l'extérieur du barrage.	Résistance de la ligne extérieure en ohms.	Variation de la résistance pour une différence de $+20^{\circ}$	Erreur causée à la mesure de température.
A	84,80 m.	1,36	0,11	0°27
B	74,50	1,19	0,096	0°24
C	37,50	0,60	0,048	0°12
D	37,50	0,60	0,048	0°12
E	30,65	0,49	0,039	0°10
F	5,40	0,086	0,006	0°01

Pour éliminer les effets des variations de température sur les lignes et les erreurs de détermination qu'elles entraînent, il faudrait augmenter la section des conducteurs ; pour réduire à moins de 1/10 de degré la différence maximum signalée plus haut la ligne devrait avoir un diamètre de 3,2 mm. Le coût en serait beaucoup trop considérable.

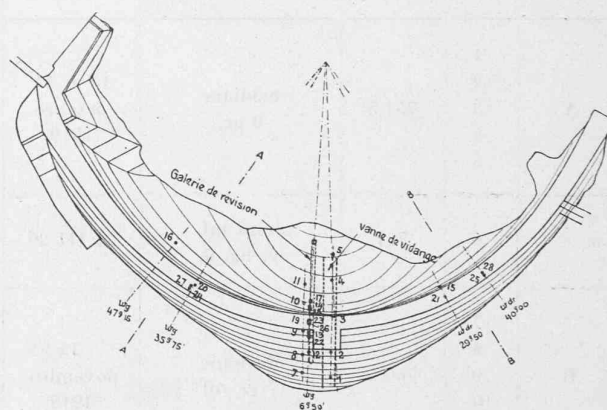
Si les thermomètres étaient comparables entre eux dans tout le domaine des températures à mesurer, il aurait été facile, par l'introduction de résistances complémentaires, de donner à chacun des systèmes formés par le thermomètre et sa ligne, la même résistance totale à 0° degré. Ce procédé que l'on ne peut songer à appliquer avec des thermomètres au fil de nickel est parfaitement réalisable lorsque le corps qui subit les variations de température est le platine ; il a de plus le grand avantage de permettre l'emploi d'un galvanomètre divisé en degré centigrade ; il rend donc inutile les tables de transformation de la résistance en température.

II. On a placé dans le barrage six séries de thermomètres ; la première à la cote 750 environ, les suivantes de 10 mètres en 10 mètres de hau-

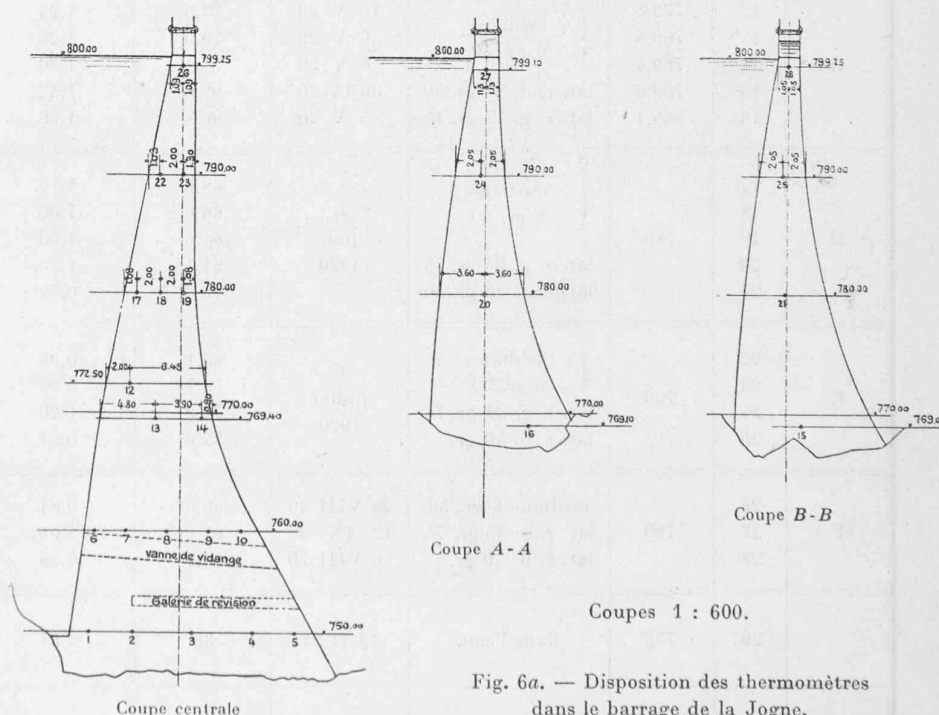
teur. Elles sont désignées par les lettres A, B, C, D, E, F. Le nombre total de thermomètres installés est de 28.

La première série de cinq thermomètres est posée à la cote 751,50 dans la section médiane et suivant l'axe (fig. 6) ; elle se trouve dans cette partie de l'ouvrage formant socle rigide, plus étendue dans le sens de la vallée qu'en largeur ; complètement enfouie dans les déblais du côté de la gorge, constamment baignée par l'eau en amont, elle ne peut présenter des différences de température que suivant l'axe. Dans tout le plan horizontal, les isothermes sont vraisemblablement parallèles, sauf peut-être au voisinage du rocher.

A la cote 760, la seconde série de thermomètres est placée à 3 m. à gauche de la section médiane à cause du joint de contraction ; elle est encore dans la partie de la construction que l'on peut envisager comme un barrage de pesanteur et qui se termine au niveau 765. Aussi dès la cote 770 des thermomètres ont été placés dans les sections latérales, droite et gauche, à la limite du barrage



Vue en plan. — 1 : 1000.



Coupes 1 : 600.

Fig. 6a. — Disposition des thermomètres dans le barrage de la Jogne.

et du rocher. Dix mètres plus haut, cote 780, nous trouvons trois thermomètres suivant l'axe, dans la section médiane et dans deux sections latérales, droite et gauche, un thermomètre. Au niveau 790, le barrage plus étroit ne contient plus que deux instruments dans la section médiane et un dans chacune des sections latérales. Enfin à un mètre du couronnement à la cote 799, un thermomètre dans chacune des sections médiane et latérale, droite et gauche. Le tableau et les fig. 6a et 6b donnent toutes les indications fixant exactement la position des thermomètres.

Un thermomètre hors série et portant le N° 6 est situé dans le grand joint de contraction ; il a servi principalement aux mesures de prise. Enfin on a placé un thermo-

mètre destiné à mesurer la température de l'eau, contre le parement amont à la cote 772.

Pour connaître la température de l'air, on se sert . 1° d'un thermomètre à maxima et minima dont on note chaque jour les indications extrêmes ; 2° de deux thermomètres enregistreurs placés l'un à l'amont, l'autre à l'aval du barrage et protégés contre l'insolation, la pluie ou la neige par un avant-toit.

Les lignes provenant de tous les thermomètres aboutissent à une station de mesure unique placée sous la seconde voûte du couronnement (rive droite). On peut y accéder au moyen d'une échelle de fer, depuis la crête du barrage.

La voûte est fermée à l'amont et à l'aval par une paroi

Disposition des thermomètres dans le barrage.

Série	N°	Cote	Section	Date	Longueur de la ligne	Résistance de la ligne	Boîtes de raccord	Observations	
A	1	751,5	médiane 0 gr.	13 et 14 octobre 1919	103,9 m.	1,66 ohm	1	Les 5 thermomètres sont raccordés dans la même boîte contre le parement aval à la cote 751,45.	
	2				100,2	1,60			
	3				95,2	1,52			
	4				90,1	1,44			
	5				86,5	1,38			
	6	757	Joint inf. v. fig. 6.	20 III 20	67,5	1,08	3	Raccordé avec la série C à la cote 769,4.	
B	7	760.0	médiane 7 gr. 40	22 novembre 1919	88,1	1,41	1	Les 5 thermomètres sont raccordés dans la même boîte contre le parement aval à la cote 760.	
	8				85,4	1,37			
	9				81,9	1,31			
	10				78,3	1,25			
	11				75,6	1,21			
C	12	772,5	} médiane 6 gr. 50	15 V 20	77,3	1,24	2	Contre le parement aval 2 boîtes : une à la cote 770, l'autre à la cote 780. Elles sont réunies par un tuyau in- térieur au barrage.	
	13	769,4		6 V 20	79,0	1,26	3		
	14	769,4		6 V 20	75,1	1,20			
	15	769,0		lat. r. d. 29 gr. 50	30 IV 20	94,8			1,52
	16	769,1	lat. r. g. 47 gr. 15	5 V 20	96,8	1,55			
D	17	780	} médiane 6 gr. 50	6 juin 1920	68,6	1,10	2	Les thermomètres sont tous raccordés dans la boîte du parement aval à la cote 780.	
	18				66,6	1,06			
	19				64,6	1,03			
	20		lat. r. g. 35 gr. 75		81,1	1,30	1		
	21		lat. r. d. 29 gr. 50		46,3	0,74			
E	22	790	} médiane 6 gr. 50	6 juillet 1920	60,1	0,96	2	Une boîte contre le pare- ment aval à la cote 790.	
	23				58,1	0,93			
	24		lat. r. g. 35 gr. 75		74,8	1,20			
	25		lat. r. d. 40 gr.		32,0	0,51			
F	26	799	médiane 6 gr. 50	24 VIII 20	50,6	0,81	2	Une boîte contre le pare- ment aval à la cote 799.	
	27		lat. r. g. 35 gr. 75	12 IX 20	67,9	1,09	1		
	28		lat. r. d. 40 gr.	6 VIII 20	23,7	0,38			
	29	772	dans l'eau.	12 II 21	38	0,61		Ce thermomètre est rac- cordé directement à la station.	

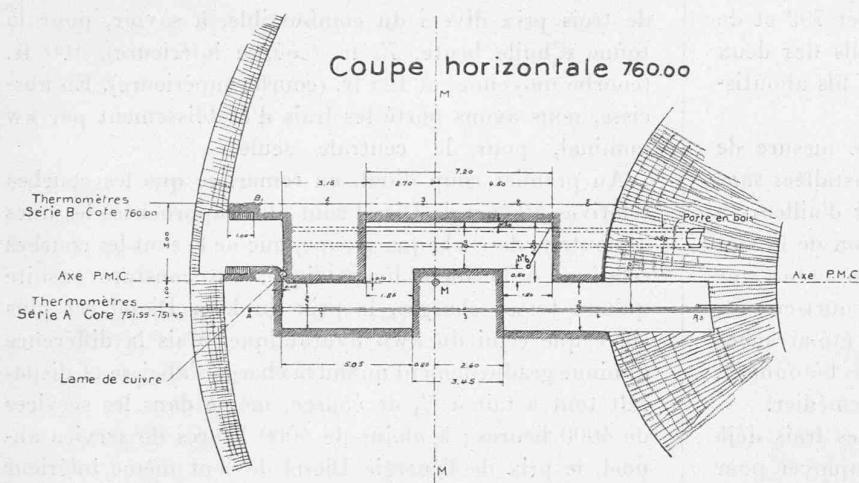


Fig. 6b.

de planches. Sur une dalle de béton est posée une cage métallique dont l'aspect rappelle celui des cabines de jonction de l'Administration fédérale des téléphones. Elle contient : la source de courant, un accumulateur au plomb de 4 volts, un tableau en marbre portant l'ohmmètre précédemment décrit, un interrupteur et 30 couples de bornes numérotées correspondant à chaque thermomètre (fig. 5).

Les tuyaux contenant les lignes sont fixés à la partie inférieure de la cabine dont la paroi postérieure s'enlève pour permettre le contrôle des connexions au dos du tableau.

III. Pour raccorder le thermomètre avec le tube Panzer, on s'est servi de petites boîtes cylindriques en métal, à l'intérieur desquelles se trouve la soudure des fils. Pour éviter toute perte à terre et tout défaut d'isolation, on a coulé dans chaque boîte de jonction de la masse isolante (Chatterton).

L'installation des séries A et B a été exécutée de la même façon. Les cinq tubes Panzer de chaque série courent parallèlement à travers le barrage, jusqu'au parement aval, et aboutissent dans une grande boîte de raccord (série A, cote 751,45 ; série B, cote 760).

Les thermomètres et les tubes Panzer ont été enduits de goudron chaud. On les a placés sur un lit de mortier et, pour éviter tout accident, on les a recouverts immédiatement d'une couche assez épaisse de mortier. Pour empêcher qu'au cours du bétonnage, ils ne se déplacent latéralement, on les a fixés au moyen de fiches de fer.

De la boîte de raccord (remplie de masse et solidement bétonnée) un tuyau à gaz d'un pouce et demi, contenant les dix fils de la série, monte le long du parement aval jusqu'à la station de mesures. Il est fixé au moyen de colliers de scellement.

Afin de ne pas nuire à l'aspect du barrage, on avait résolu, tout d'abord de noyer ces tuyaux dans le béton et de prolonger le montage au fur et à mesure de l'élévation de l'ouvrage. On se rendit bientôt compte des inconvénients et des dangers que présentait ce mode de procéder. Comme on avait, pour chaque thermomètre, les

longueurs de fils définitives, soit pour les plus longs 2×50 m., l'installation était volumineuse, et gênait les travaux ; les mesures de température, en cours de construction, étaient quasi impossibles. En outre, les écheveaux de fils traînaient un jour sur le plan d'œuvre, un autre étaient suspendus à 3 m. de hauteur, ce qui ne manquait pas d'augmenter les dangers de rupture, les défauts d'isolement et la confusion des lignes. Enfin, les premiers jours de mai, une benne ayant heurté le tuyau contenant les fils de la série A et de la série B arracha toute l'installation.

Pour sauver les séries A et B et pour éviter qu'un pareil accident se reproduisît, on sectionna le tuyau et les fils

et on recommença l'installation, depuis les boîtes des cotes 751,5 et 760, à l'extérieur du barrage. Les réparations ne se firent pas sans difficulté, la boîte de raccord de la série A étant recouverte par plusieurs mètres d'eau et de déblais.

Au moment de l'accident la série C (770) était déjà installée. Les lignes des thermomètres placés dans les sections latérales parcourent horizontalement le barrage pour venir aboutir, dans la section médiane, à une boîte de raccord qui réunit tous les fils de la série. Puis les dix conducteurs furent amenés par un tuyau placé à l'intérieur du barrage au niveau 780, dans une boîte où arrivent toutes les lignes de la série D. De là les 20 fils parviennent à la station de mesures dans un seul tuyau de $1\frac{1}{2}$ ", courant le long du parement¹. Les séries E et F furent installées d'une manière analogue. Leurs boîtes de

¹ La ligne du N° 12 ayant été arrachée pendant le bétonnage, ce thermomètre fut remplacé par un autre, à la cote 772,50, quelques jours plus tard.

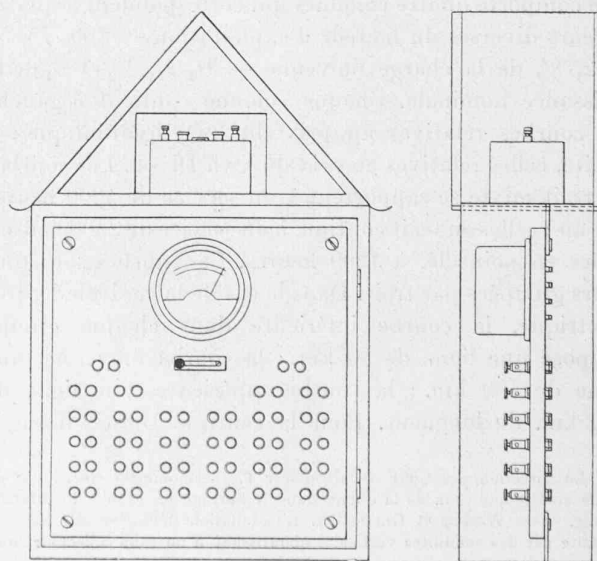


Fig. 5.

raccord sont respectivement aux cotes 790 et 799 et de cette dernière un seul tuyau contient les fils des deux séries. Ainsi trois tuyaux contenant tous les fils aboutissent à la station de mesure.

Depuis l'accident de mai, on cessa toute mesure de température et les séries D, E et F furent installées sans qu'on pût vérifier les thermomètres. On eut d'ailleurs à le regretter. Quand on procéda à l'installation de la station de mesure, on s'aperçut que le N° 19 présentait une résistance infinie et que le N° 22 était en court-circuit. On en conclut que la ligne du premier avait été arrachée et que le second avait été écrasé pendant le bétonnage. Il était malheureusement trop tard pour y remédier.

Pour faciliter l'installation et diminuer les frais déjà considérables, on aurait pu, semble-t-il, employer pour le retour du courant, un fil commun à plusieurs ou à tous les thermomètres. L'inconvénient de ce système était de faciliter, en cas de mise à terre fortuite par défaut d'isolement, le passage de courants qui auraient peu à peu détruit l'installation par électrolyse. (A suivre.)

Les moteurs Diesel.

Leur valeur économique comparée à celle d'autres machines motrices,

par M. ALFRED BUCHI, ingénieur en chef, à Winterthur.

(Suite.)²

Comparaison entre la force hydraulique et le moteur Diesel.

1° Dans la production du courant alternatif.

Pour rendre cette comparaison parlante, on a groupé dans le graphique fig. 4 les résultats acquis jusqu'ici concernant le prix de revient du kwh fourni soit par la force hydraulique, soit par le moteur Diesel. Ce graphique comporte quatre colonnes qui correspondent à quatre valeurs diverses du facteur d'exploitation — 100, 75, 50 et 25 % de la charge moyenne — $\frac{4}{4}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$ et $\frac{1}{4}$ de la puissance nominale. Chaque colonne contient à gauche les courbes relatives au prix du kwh hydraulique ; à droite, celles relatives au prix du kwh Diesel. Les courbes en trait mixte se rapportent à un service de 4000 heures par an ; celles en trait continu, à un service de 2500 heures ; celles en pointillé, à 1500 heures. Ces courbes sont toujours groupées par trois. Dans le cas de la centrale hydroélectrique, la courbe inférieure dans chaque groupe suppose une ligne de 50 km. ; la courbe moyenne, une ligne de 100 km. ; la courbe supérieure, une ligne de 200 km. de longueur. Pour la centrale Diesel, il s'agit

de trois prix divers du combustible, à savoir, pour la tonne d'huile brute, 75 fr. (courbe inférieure), 100 fr. (courbe moyenne) et 125 fr. (courbe supérieure). En abscisse, nous avons porté les frais d'établissement par kw nominal, pour la centrale seule.

Au premier coup d'œil, on remarque que les courbes relatives à l'énergie Diesel sont plus rapprochées les unes des autres, dans chaque groupe, que ne le sont les courbes relatives à la force hydraulique. On constate ensuite qu'aux fortes charges, le prix du kwh Diesel est plus élevé que celui du kwh hydraulique. Mais la différence diminue graduellement quand la charge s'abaisse et disparaît tout à fait à $\frac{1}{4}$ de charge, même dans les services de 4000 heures ; à moins de 4000 heures de service annuel, le prix de l'énergie Diesel devient même inférieur de beaucoup à celui de l'énergie hydraulique. En somme, dans les hypothèses faites, dans les services de 2500 heures par an ou moins et quand la charge moyenne de l'installation est une fraction de la puissance nominale, ce qui se présente couramment — le moteur Diesel est capable de fournir l'énergie électrique à meilleur compte que la turbine hydraulique.

Dans un cas donné, les frais d'établissement, la durée du service annuel, la longueur de la ligne et le prix de l'huile brute étant connus, le diagramme (fig. 4) permet de dire immédiatement laquelle des deux forces motrices, hydraulique ou Diesel, est la plus avantageuse.

Une grande centrale Diesel, complètement équipée, jusque et y compris les barres de départ, revient actuellement à 450 francs le kw nominal. Le prix de l'huile brute oscille autour de 90 francs la tonne rendue franco citerne du client. S'agit-il d'établir dans ces conditions une centrale de réserve de pointes, devant fonctionner 1500 heures par an, sous une charge supposée pour un instant être constamment égale à la puissance nominale ; les points à considérer dans le diagramme sont le point D_1 pour la centrale Diesel, les points W_1 (ligne de 50 km) et W_1' (100 km) pour l'usine hydraulique. Pour être aussi avantageuse dans l'exploitation que le Diesel, la force hydraulique devrait donc revenir, par kw installé, à 875 francs (abscisse du point W_1) si la ligne a 50 km de long ; à 730 francs seulement si la ligne a 100 km. Or ces chiffres sont dépassés régulièrement. C'est-à-dire que le moteur Diesel peut dans le cas particulier et en l'état actuel des prix, concurrencer avec succès la force hydraulique. L'avantage du Diesel s'accroît quand la charge moyenne de l'installation s'abaisse. Ainsi par exemple, pour une usine de réserve appelée à prendre le service pendant 1500 heures par an, sous une charge moyenne atteignant la moitié de la puissance nominale — ce qui correspond mieux à la réalité que l'hypothèse précédente d'une centrale travaillant constamment à puissance nominale — en admettant les mêmes prix unitaires fixés ci-dessus, les points intéressants du graphique sont D_2 (fig. 4) pour le Diesel, W_2 et W_2' pour la centrale hydroélectrique. Pour débiter le courant au même prix que l'installation Diesel, la

² La Direction des CFF a fait placer 17 thermomètres électriques du même modèle que ceux de la Jagne dans le barrage en granit du Pfaffensprung, entre Wassen et Gurtellen. L'installation définitive des lignes a été faite par des conduites verticales aboutissant à un tube collecteur horizontal situé sous le couronnement du barrage et allant à la station de mesures, placée sur la rive droite.

¹ Voir Bulletin technique du 22 juillet 1922, page 169.