

L'exécution du génie civil de l'aménagement de Lavey

Autor(en): **Ebner, Maurice**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **77 (1951)**

Heft 19-20: **62e Assemblée générale, Lausanne, 5-7 octobre 1951**

PDF erstellt am: **09.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-58163>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

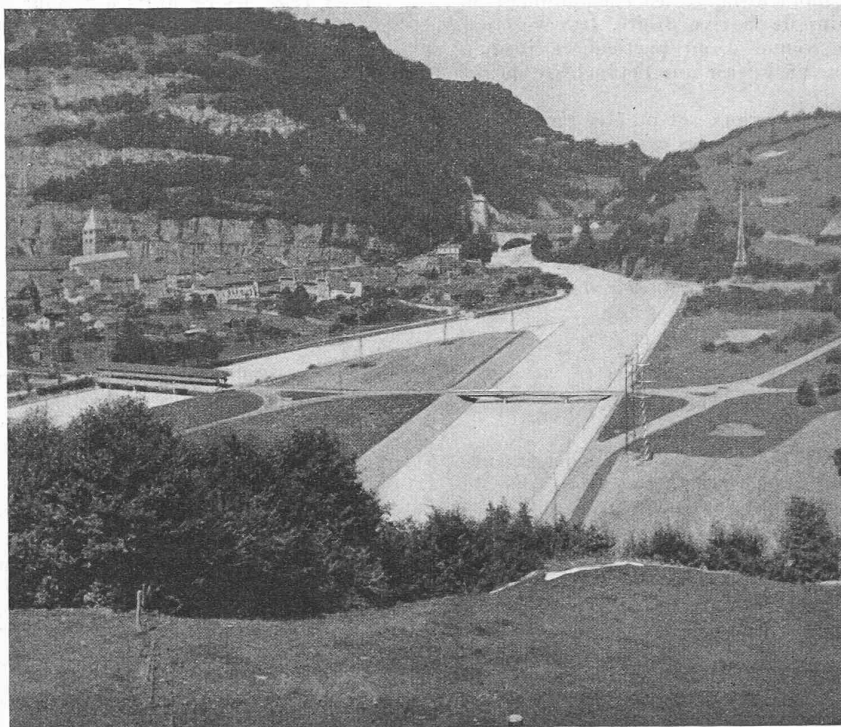


Photo J. P. Meystre

Fig. 65. — Le canal de fuite et sa jonction au Rhône.

L'EXÉCUTION DU GÉNIE CIVIL DE L'AMÉNAGEMENT DE LAVEY

par MAURICE EBNER, ingénieur-conseil

Nous vivons à l'âge des réalisations rapides. Selon la remarque d'un écrivain contemporain, la vitesse est un vice nouveau, invention du XX^e siècle. La révolution qui s'en suit est d'immense portée.

Sur le plan de la construction, des entreprises toujours mieux équipées permettent d'envisager des réalisations de plus en plus vastes dans des délais d'exécution de plus en plus réduits. Au fur et à mesure de cette progression, les moyens mis en œuvre se développent et la valeur de l'équipement immobilisé par une entreprise sur un chantier donné représente, par rapport à la valeur de la construction réalisée, une fraction toujours plus importante. Seules peuvent subsister aujourd'hui comme entreprises, celles disposant d'un outillage puissant et de spécialistes éprouvés, celles efficacement organisées sur le plan industriel.

La nécessité de devoir disposer de moyens techniques accrus a suscité les consortiums d'entreprises, les plus grandes d'entre elles n'hésitant pas à se grouper pour mettre en commun leur expérience et leurs moyens d'action, pour multiplier leur puissance et diviser leurs risques.

L'aménagement hydroélectrique de Lavey est l'une des premières réalisations d'après guerre en Suisse, l'une des premières où l'on voit à l'œuvre les machines les plus récentes, où l'on met au point les techniques nouvelles conçues en fonction des outils nouveaux à disposition.

Lavey permet de se rendre compte des limites d'application : tel procédé compatible en roche compacte ne l'est plus en roche diaclasée, tel moyen efficace sur une courte distance présente des inconvénients majeurs dès que la longueur du trajet s'accroît.

Lavey est caractérisé par les dimensions inusitées de sa

galerie d'amenée et de sa chambre d'équilibre. La première établie pour un débit de 200 m³ par seconde, a un diamètre de 7,75 mètres, la vitesse moyenne de l'eau étant de 4,25 mètres par seconde. La seconde, fonction de la hauteur de chute, de la longueur et de la section de la galerie d'amenée, de la vitesse et des variations admissibles des niveaux de l'eau, oblige, pour assurer la stabilité du réglage de la vitesse et de la fréquence, des dimensions horizontales considérables, de l'ordre de 1750 m² au voisinage des niveaux dynamiques.

Rappelons que la chambre d'équilibre a pour but principal de protéger la galerie d'amenée et les conduites forcées contre les variations de pression, dites coup de bélier d'onde, consécutives aux variations du débit des turbines (mise en marche, augmentation ou diminution de puissance, marche automatique ou arrêt).

Accessoirement, elle joue un rôle régulateur en recevant ou restituant les différences de débit qui existent momentanément, en régime de transition, entre la galerie d'amenée et les turbines du fait de l'inertie des grosses masses d'eau en mouvement (oscillations en masse).

La protection de la galerie d'amenée est d'autant meilleure que la section de la chambre d'équilibre est plus grande car la fraction de l'onde dirigée suivant l'axe de la galerie devient négligeable vis-à-vis de celle réfléchie par le plan d'eau libre de la chambre. Mais en augmentant la section de la chambre on augmente en même temps la valeur de la période des oscillations en masse. A chaque variation du régime d'écoulement succède par conséquent une série d'oscillations de longue durée qui nuisent à la stabilité de réglage.

Ces considérations ont toute leur importance pour une usine à basse chute dérivant un débit considérable au travers

d'une longue galerie d'amenée, comme c'est le cas à Lavey.

L'emploi d'une chambre d'équilibre différentielle d'un type particulier a permis, à Lavey, de réduire pratiquement à une seule oscillation le mouvement de l'eau dans la chambre, mouvement consécutif à une manœuvre quelconque des turbines compatible avec les nécessités de l'exploitation.

L'importance, la diversité des travaux et les délais impartis pour leur exécution ont entraîné une division en six chantiers principaux : le barrage et la prise d'eau, la partie amont de la galerie d'amenée avec le dessableur et la fenêtre intermédiaire, la partie aval de la galerie d'amenée et la chambre d'équilibre, les conduites forcées, la centrale souterraine et les galeries de fuite, le canal de fuite et les ponts, enfin, le bâtiment de commande et le poste haute tension.

Chaque chantier était autonome et avait ses installations propres.

Au barrage et à la prise d'eau, le travail s'est poursuivi sans interruption malgré les crues. L'importance du matériel mis en œuvre a permis de gagner une année sur les délais impartis pour l'exécution du génie civil ; ceci a grandement facilité le montage de l'équipement mécanique.

Les trois passes du barrage ont été construites en commençant par la rive gauche, en suivant par celle de la rive droite, la plus difficile, et en terminant par la passe médiane. Lors de la descente des caissons, on a rencontré une très grande quantité de gros blocs provenant des débâcles successives du Saint-Barthélemy. Environ six mille coups de mine ont été tirés dans le caisson de la pile rive gauche. Ceci donne une idée des précautions qu'il a fallu prendre pour éviter les accidents, en particulier ceux pouvant résulter de la fissure des caissons.

La roche dans laquelle avait été prévue l'entrée de la prise d'eau donnait l'impression d'une belle paroi de gneiss compacte et saine. En fait, l'excavation des trompes d'entrée révéla une roche absolument triturée ; de grandes fissures se produisirent dès l'attaque de l'avancement, aussi, sur l'avis du géologue, on dut consentir à l'ablation d'un nez de rocher d'environ 12 000 m³ pour diminuer la poussée et à la construction d'une poutre armée de soutènement sur toute la longueur de la prise, travail délicat et dangereux qui ne put être exécuté que par petits tronçons successifs. En outre, sur une profondeur de cent mètres, la totalité du profil des trompes fut aussi fortement armé.

Les agrégats nécessaires à la fabrication des bétons ont été dragués dans le Rhône en amont du pont de Collombey. Le lavage et le triage des matériaux s'opéraient suivant le procédé classique.

La perforation de la galerie d'amenée avait été prévue comme devant se faire à pleine section. Un grand chariot étagé permettait la marche simultanée des marteaux à avance automatique. Des marineuses à ruban assuraient le chargement des déblais. En fait, cette méthode n'a pu être employée que sur la moitié du tracé. La mauvaise structure de la roche rencontrée (trias et gneiss diaclasé) a nécessité l'abandon de la perforation à pleine section et son remplacement par la méthode classique avec galerie de base et abatages successifs.

La partie amont de la galerie d'amenée a été attaquée à partir de la fenêtre du km 2, les installations étant implantées entre le Rhône et la route conduisant de Lavey à Moreles.

La perforation de la partie aval de la galerie d'amenée et de la chambre d'équilibre a débuté par l'aval. Deux fenêtres d'accès, l'une en sensible prolongation de la galerie d'amenée et l'autre perpendiculaire, en direction de Saint-Maurice, ont permis, la première, le passage des trains de déblais et de béton, la seconde, le transport des blindages et le bétonnage des conduites forcées. La mise en place du béton des revêtements a, d'une façon générale, toujours été effectuée à la pompe.

Les installations de chantier s'étendaient entre Lavey-Village et le canal de fuite.

L'excavation de la centrale souterraine a débuté par la calotte ; elle s'est poursuivie, en descendant, une fois la voûte bétonnée. La mauvaise structure de la roche a nécessité de

fortes armatures sur divers points de la voûte ainsi qu'au débouché dans l'usine des trois conduites forcées et à l'origine des galeries de fuite. Le chargement des déblais s'est effectué à la pelle mécanique, leur transport étant assuré par des camions à benne basculante. De très nombreuses venues d'eau ont compliqué le travail. Un réseau de drainage général conduisait toutes les eaux rencontrées dans le rocher à l'aval des galeries de fuite où une série de pompes, montées sur funiculaire, assuraient l'évacuation hors de l'enceinte de palplanches de protection.

Les installations de chantier se situaient entre l'entrée de la centrale souterraine et le Rhône.

L'excavation du canal de fuite s'est faite à la drague et à la pelle mécanique ; les déblais utilisables étaient dirigés par camions vers une installation de lavage et de triage fournissant le sable et le gravier à l'ensemble des chantiers, à l'exclusion de celui du barrage. Les gros éléments pierreux servaient au remplissage des gabions de protection des berges. L'excavation, commencée à partir de l'amont, s'est poursuivie régulièrement sur la totalité de la section. Le bouchon séparant le Rhône du canal de fuite a été excavé à l'abri d'un rideau de palplanches battu dans le lit du fleuve ; ce rideau, enfoncé ultérieurement jusqu'au niveau du fond du lit, sert de parafouille, le niveau du lit du Rhône étant plus haut que le plafond du canal de fuite.

Pendant toute la durée des travaux, une attention particulière a été vouée à la protection des ouvriers. Grâce aux précautions prises, le nombre des accidents a été heureusement très faible. Chaque entreprise se faisait un point d'honneur d'avoir des cantines, des dortoirs et des installations sanitaires spacieux, confortables et bien aménagés.

Parmi les nombreux problèmes qui se sont présentés en cours de travaux, nous relèverons quelques solutions originales.

Les fondations du barrage établi sur le Rhône sont encastées dans la moraine en place sur la presque totalité de la largeur. Une partie de la passe 3 et de la pile rive droite reposent sur le gneiss granitisé.

Les trois vannes mobiles doivent se déplacer verticalement dans des cadres parfaitement rigides si l'on veut assurer le meilleur fonctionnement possible des dispositifs d'étanchéité. Dès lors, on a été conduit à réaliser une fondation monolithe. Cette condition imposait une armature continue des fondations des quatre piles, des trois radiers et des parafouilles amont et aval. A cet effet, nous avons divisé l'armature en éléments correspondant, en plan, aux dimensions des dix caissons. Les recouvrements d'armatures étaient prévus dans des alvéoles aménagées à chaque extrémité des quatre piles. Ces alvéoles d'extrémité, coffrées dans le béton des piles, suivaient le caisson dans sa descente ; le manque de poids provoqué par les vides était compensé par une surcharge constituée par les moellons de revêtement du radier. Tous les caissons sont descendus régulièrement malgré les gros blocs rencontrés sous les couteaux et dans les chambres de travail.

Les tronçons d'armature superposés aux six caissons parafouille avaient les extrémités de leurs fers repliés vers le haut. Le freinage supplémentaire provoqué pendant la descente des caissons parafouille par les armatures repliées était, là encore, compensé par une surcharge. Une fois les caissons descendus à la cote voulue, les espaces compris entre les caissons voisins ont été excavés. Dans ce but, deux rideaux de palplanches de faible longueur, battus l'un à l'amont et l'autre à l'aval de chacun des joints et guidés par des rainures métalliques aménagées dans le béton mis en place au-dessus des caissons, ont permis le déblayage aisé, le décoffrage des alvéoles facile et le rabattement des barres d'attente repliées vers le haut. Le bétonnage des joints et des alvéoles dans lesquelles se juxtaposaient les armatures suivit sans difficulté, les rideaux de palplanches limitant les venues d'eau à un débit minimum. La fondation monolithe ainsi constituée reposait sur la moraine en place et, côté rive droite, sur un remblais de faible épaisseur ménagé au droit du rocher, afin de permettre un tassement uniforme de l'ensemble de l'ouvrage.

Le bétonnage du radier des passes nécessitait l'enlèvement préalable d'une importante couche d'éboulis. On pouvait craindre, vu la hauteur des eaux du Rhône, une infiltration de l'eau au travers du sol disloqué le long des parois des piles et des parafouilles par le passage des caissons et une inondation du radier empêchant un ferrailage et un bétonnage à l'air libre. Pour parer à cette éventualité, nous avons procédé à une série d'injections de ciment le long des parois des piles et des parafouilles sur tout le périmètre de chacun des radiers. Ces injections, destinées à remplir les vides de la moraine disloquée, étaient faites au moyen de deux tubes de deux pouces de diamètre soudés de part et d'autre de l'âme d'un gros fer DIP mis en place à l'aide d'une grue et battu par un marteau pneumatique de 4 tonnes. Les injections se poursuivaient pendant toute la remontée du fer DIP. Plusieurs de ces fers, après extraction, présentaient une torsion de plusieurs tours du fait des obstacles rencontrés et ressemblaient à une grande mèche hélicoïdale. Les précautions prises se sont révélées pertinentes et les trois radiers ont pu être exécutés selon le mode prévu.

La galerie d'aménée traverse successivement le gneiss granité, le trias et le calcaire valanginien. Le passage au travers du trias, long de 172 mètres, a nécessité des précautions particulières. On était en présence de quartzite broyé formant une sorte de ligne de lentilles aplaties, parallèles à la stratification générale, soit en descente légère de l'amont vers l'aval. Localement, les lentilles sont continues et on a ainsi affaire à une bande broyée réduite en purée. Il fallait éviter toute pénétration d'eau gypseuse dans le quartzite. La traversée du trias s'est faite en un an. Etant donné l'influence de l'air et de l'eau sur la roche, l'abattage précédait immédiatement la maçonnerie. Le revêtement appliqué consistait en un anneau extérieur en briques silico-calcaires de 60 cm d'épaisseur. (Dans la partie aval et sur une longueur de 41 m, l'anneau en briques n'a que 30 cm d'épaisseur.) A l'intérieur de l'anneau, nous avons appliqué successivement une couche d'apprêt au bitume à froid, une couche de plaques de jute de 3 mm d'épaisseur préalablement enduite au bitume à chaud puis une couche de feutre asphalté ardoisite également enduite au bitume à chaud. Un treillis métallique tamponné sur les feutres à l'aide de bitume d'asphalte à chaud servait de support à un enduit de résistance au ciment. A l'intérieur de ce dernier anneau, le revêtement définitif en béton armé de 35 cm d'épaisseur, dosé à 400 kg de ciment Portland, a été mis en œuvre. L'armature principale était constituée par des fers ronds de 30 mm de diamètre équidistants de 20 cm et l'armature de répartition comprenait des fers ronds de 16 mm espacés de 25 cm.

* * *

Sans aborder ici l'ensemble des calculs de l'étude théorique, nous voulons signaler ici une des particularités de la chambre d'équilibre de Lavey.

Dans une chambre différentielle, l'influence de la valeur des orifices de section réduite formant étranglement sur la stabilité de réglage, la condition de Thoma étant préalablement remplie, a été abordée analytiquement en supposant un mouvement sinusoïdal du plan d'eau tant dans les tubes que dans le réservoir.

Ces deux mouvements, d'amplitude maximum z_0 pour le tube et y_0 pour le réservoir sont décalés dans le temps d'une

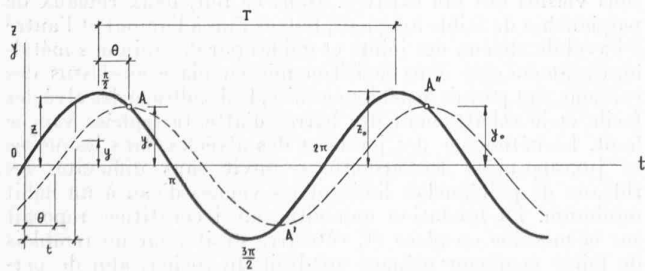


Fig. 1.

valeur θ telle que pour $z = y_0$ on ait conjonction des plans d'eau dans le tube et dans le réservoir. Ces mouvements sont définis, successivement par

$$(1) \quad z = z_0 \sin \frac{2\pi}{T} t \quad \text{et} \quad (2) \quad y = y_0 \sin \left[\frac{2\pi}{T} (t - \theta) \right].$$

La continuité des volumes entraîne

$$(3) \quad Q_V = F_T \frac{dz}{dt} + F_R \frac{dy}{dt} =$$

où F_T et F_R sont les sections horizontales respectives du tube et du réservoir; Q_V le volume d'eau entrant dans la chambre ou en sortant, alternativement.

L'écoulement de l'eau au travers des orifices de section réduite formant étranglement est caractérisé par

$$Q_E = ms \sqrt{2g(z-y)} = F_R \frac{dy}{dt} = \\ = \omega \sqrt{z_0 \sin \frac{2\pi}{T} t - y_0 \sin \left[\frac{2\pi}{T} (t - \theta) \right]}$$

en posant $\omega = ms \sqrt{2g}$.

En tenant compte des relations précédentes, la valeur explicite d' ω s'exprime par

$$\omega = \frac{2\pi F_R y_0}{T \sqrt{z_0 \sin \frac{2\pi}{T} \theta}}$$

valable au point $t = \theta$.

En réalité, pour suivre exactement les variations sinusoïdales de l'eau dans le puits et dans le réservoir, la valeur ω fonction de l'étranglement devrait elle aussi varier. La valeur maximum du débit Q_V a lieu pour une valeur de t satisfaisant à

$$z_0 F_T \sin \frac{2\pi}{T} t = - y_0 F_R \sin \left[\frac{2\pi}{T} (t - \theta) \right].$$

En admettant une valeur d' ω définie comme ci-dessus, correcte pour les grands débits, on ne s'écarte pas trop de la réalité ainsi que le fait ressortir le graphique figure 2.

On peut alors caractériser d'une façon simple les relations entre les variations de puissance, les variations de débit, la valeur des orifices de section réduite formant étranglement et les variations des niveaux de l'eau dans le tube et dans le réservoir. Ces relations sont représentées graphiquement sur les figures 3 et 4.

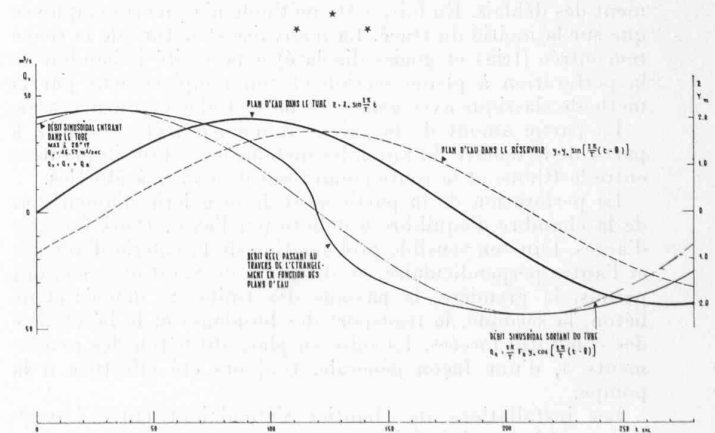


Fig. 2. — Valeur du débit d'eau alternatif passant dans l'étranglement en fonction des variations des amplitudes des oscillations dans le tube et dans le réservoir (cas particulier).

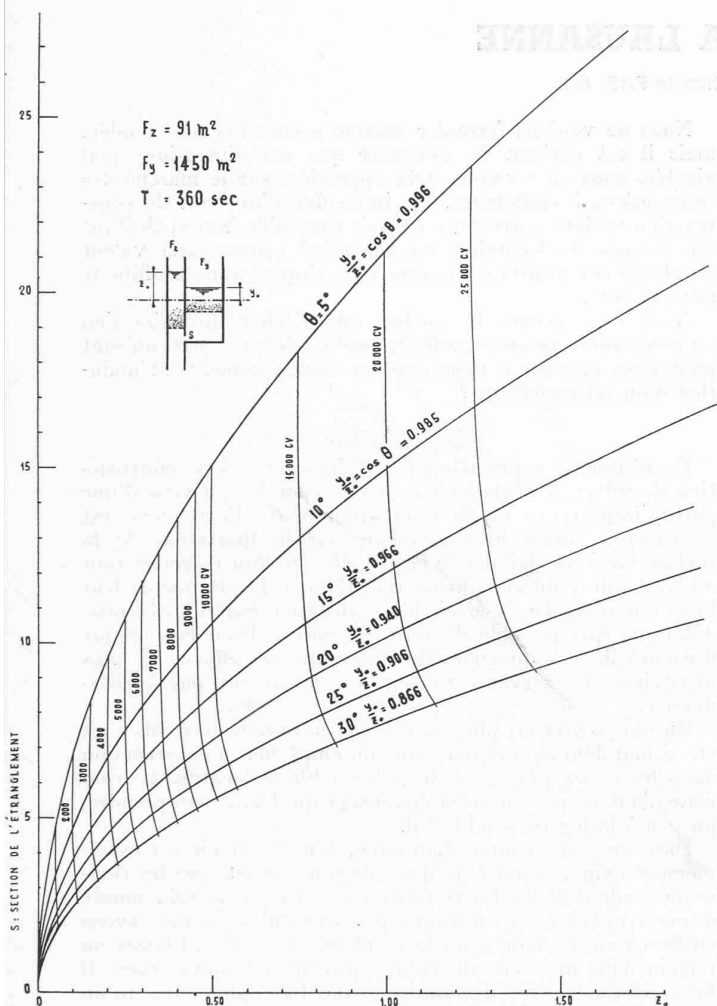


Fig. 3. — Variation des amplitudes des oscillations dans le tube et dans le réservoir en fonction de la valeur de l'étranglement.

Par la nouveauté des moyens techniques mis en œuvre, la diversité des problèmes à résoudre, les difficultés rencontrées et vaincues, l'expérience de Lavey a été précieuse pour tous ses réalisateurs.

A cette expérience s'ajoute le souvenir d'un esprit d'équipe, d'une collaboration étroite entre dirigeants et exécutants, collaboration qui ne s'est jamais départie de la plus agréable courtoisie.

Entreprises de génie civil ayant collaboré à la réalisation de Lavey

Lot 1 = Prise d'eau et barrage du Rhône à Evionnaz

Consortium : Entreprise du barrage de Lavey, comprenant les entreprises : OYEX-CHESEX & C^{ie} S.A., Lausanne ; CONRAD ZSCHOKKE S.A., Genève ; LOCHER & C^{ie}, Zurich ; CARRON et RODUIT, Fully.

Lots 2 et 3 = Galerie d'aménée

Lot 2 : tunnel d'aménée 2400 m

Consortium : Entreprise du tunnel de Lavey — Lot 2, comprenant les entreprises : R. BELLORINI FILS & C^{ie}, Lausanne ; W. RUTTIMANN, Lausanne ; A. MOREL, Lausanne ; R. KALBERMATTEN, Viège.

Lot 3 : galerie d'aménée 1385 m, chambre d'équilibre et chambre des vannes

Consortium : Nouvelle Usine de Lavey — Lot 3, comprenant les entreprises : C. O. B. A. L. (Coopérative des Ouvriers du Bâtiment,

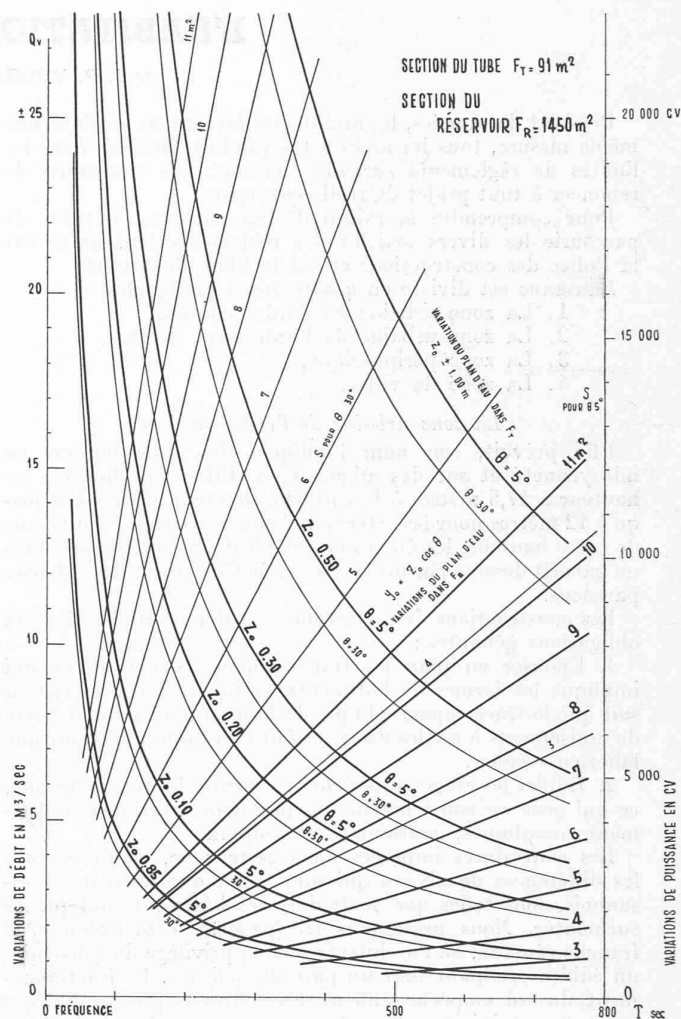


Fig. 4. — Variation du plan d'eau dans le tube et le réservoir en fonction de la section de l'ouverture différentielle S, de la période des oscillations dans le tube T et des variations de débit Q_v au bas de la chambre.

Lausanne) ; STUAG (Entreprise suisse de construction de routes et de travaux publics, Lausanne).

Lot 4 = Centrale souterraine

Lot 5 = Canal de fuite — Préparation des agrégats

Consortium : Usine de Lavey, entreprise des lots 4 et 5, comprenant les entreprises : LOSINGER & C^{ie}, Lausanne ; S. A. RENÉ MAY, Lausanne ; LOSINGER & C^{ie}, Sion.

Lot 6 = Bâtiment de commande

Consortium des entreprises : E. MULTONE, Monthey ; G. DÉNÉRIAZ, Lausanne.

NOTE DE LA RÉDACTION

Ce numéro spécial devait contenir un article de M. le professeur A. DUMAS, sur diverses questions techniques posées par les installations mécaniques de l'Usine de Lavey. Des circonstances imprévues, dont l'état de santé de l'auteur, ont empêché la mise au point, en temps voulu, de ce texte, qui paraîtra ultérieurement.

Nous signalons, en outre, à nos lecteurs que la Direction des Services industriels de la Ville de Lausanne va publier une plaquette entièrement consacrée à l'Usine de Lavey¹. Cette publication, dont une partie des textes est identique à ceux publiés ici, contiendra en outre une riche documentation mise au point par les entreprises et illustrée de nombreuses photographies faites au cours des travaux.

D. Brd.

¹ Edition Annuaire Vaudois, Lausanne.