

TRAVAUX PUBLICS

BARRAGE-RÉSERVOIR DE SHOSHONE

La rivière Shoshone, encore appelée Snake-River, prend sa source dans le Parc National de Yellowstone, au nord-ouest du Wyoming, et se jette dans la Columbia River, près du point où cette rivière commence à former la frontière des états de Washington et d'Orégon.

A 100 km. de sa source, la rivière Shoshone s'est creusée un étroit canyon à travers le granit des Rocky-Mountains. C'est dans ce canyon, que le *United States Reclamation Service* (analogue à notre Service de l'Hydraulique et des Améliorations agricoles) vient de terminer un barrage qui est bien, à l'heure actuelle, le plus haut du monde entier; sa hauteur maxima, depuis le point le plus bas des fondations jusqu'au couronnement, est, en effet, de 328,4 pieds (1), soit

long de 5,6 km. pour, de là, couler dans le canal qui doit l'amener aux champs d'irrigations. Plus tard, on utilisera la chute créée par le barrage pour produire de l'énergie électrique.

Le bassin hydrologique de la rivière Shoshone est de 3 600 km², et est constituée par la partie est du Parc National de Yellowstone, dans les Rocky Mountains; il est couvert par des forêts domaniales (Shoshone National Forest) dont l'altitude est comprise entre 1 800 et 4 000 m. La hauteur des précipitations atmosphériques, qui se font surtout sous forme de neige, correspondent à une hauteur d'eau d'environ 0^m38, ce qui donne un total de 1 370 millions de mètres cubes, dont 80 % environ s'écoulent dans le réservoir pendant les mois de juin et juillet.

Le niveau du lit de la rivière étant à la cote 5 125 pieds, et le couronnement à la cote 5 370, la hauteur du mur au-dessus des fondations est de 245 pieds, soit 74^m68. Le profil du mur est du type trapézoïdal. Le parement amont est incliné

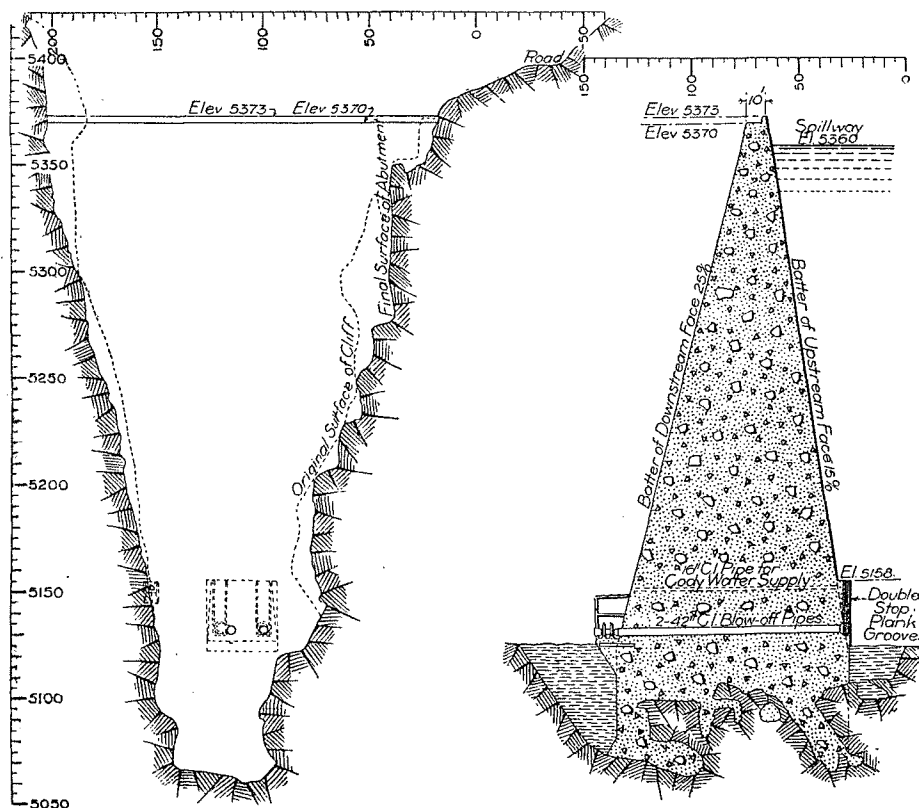


FIG. 1. — Coupe de la gorge à l'emplacement du barrage

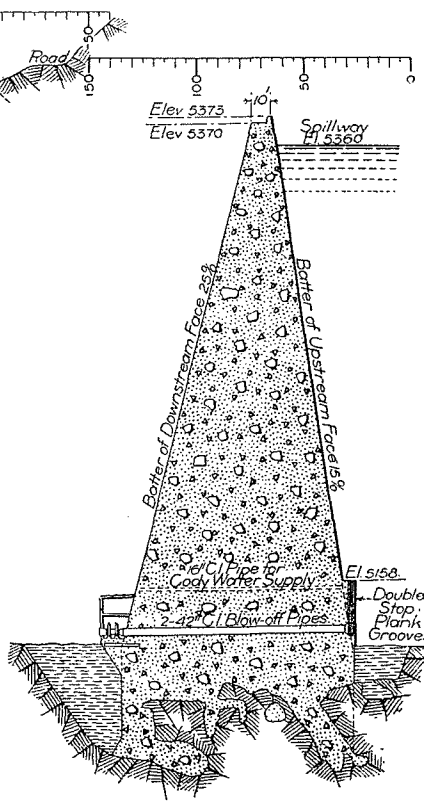


FIG. 2. — Coupe transversale du barrage de Shoshone

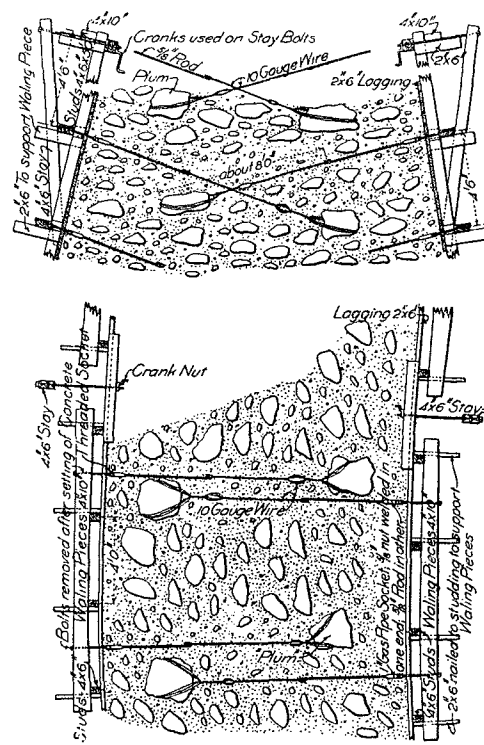


FIG. 3. — Détails de construction des formes.

100^m10 ! soit 9^m50 de plus qu'au barrage du Croton, du service des eaux de New-York, qui détenait jusqu'ici le record de la hauteur (2).

Le réservoir ainsi créé couvre une superficie de 2 700 hectares et a une capacité de 563 millions de mètres cubes. Cette réserve servira à irriguer la partie désertique du territoire du Wyoming qui est appelée Bighorn Valley (3). A cet effet, l'eau du réservoir est renvoyée à la rivière suivant la quantité voulue, puis est reprise, à 24 km. plus bas, par un petit barrage de dérivation, et envoyée dans le Corbett Tunnel,

à 15 % sur la verticale, tandis que le parement aval est incliné à 25 %, ce qui, avec un couronnement de 10 pieds (3^m05), donne une largeur à la base de 108 pieds, soit 32^m92.

Le barrage est établi en courbe suivant un arc de cercle de 150 pieds pour le rayon de l'arc central du couronnement, soit de 191,75 pieds (58^m44) pour le rayon d'extrados à la base. Le développement du mur, suivant son axe, est de 18^m50 à la base et de 61 m. à la crête. Etant donné l'étroitesse de la gorge, et la forte courbure donnée au mur, celui-ci travaille surtout comme voûte, ce qui justifie la faible épaisseur relative de la base.

Les fondations sont descendues au-dessous du lit de la rivière jusqu'à une profondeur maxima de 83,4 pieds, soit 25^m42. Le fond de l'excavation est extrêmement irrégulier; pendant la période de creusement de son lit, la rivière Shoshone ayant formé de véritables cuves, aux formes bizarres, qui furent ensuite remplies par les graviers, des galets, et des blocs de rocher.

(1) D'après W. COLB, *Engineering Record*, 23 juillet 1910.

(2) Si le projet de barrage de Serre-Ponçon, sur la Durance, venait à être réalisé, tel que M. WILHELM l'a préconisé en dernier lieu, ce record serait battu, car la hauteur maxima prévue y est en effet de 130 m., soit 30 % de plus qu'au barrage de Shoshone.

(3) On trouvera des renseignements très complets sur les irrigations aux Etats-Unis (ainsi d'ailleurs que sur l'utilisation des eaux en général), dans une de M. TAVERNIER, aujourd'hui inspecteur général de l'Hydraulique agricole, paru dans les *Annales de l'Hydraulique agricole*, fascicule 39.

Pour évacuer normalement les crues, on a établi un déversoir (*spillway weir*), de 91^m43 de longueur, arrasé à la cote 5 360, soit à 3^m05 au-dessous du couronnement du barrage, et à 3^m96 au-dessous de la crête du parapet qui surmonte le couronnement à l'amont. L'eau qui se déverse par dessus ce déversoir passe dans un tunnel, de 6^m10 × 6^m10 de section, et de 123^m50 de longueur, avec une pente de 10 pour 100.

A 10 m. au-dessus de la crête du déversoir, passe la route de Cody au Parc National de Yellowstone.

Deux galeries d'évacuation ont été creusées dans le rocher de la rive droite. La galerie supérieure sert à régler le débit qui retourne à la rivière, tant que le niveau de l'eau dans le réservoir est supérieur à la cote 5 300.

La galerie inférieure est munie de 3 vannes de contrôle, laissant un débouché utile de 1^m98 de haut sur 0^m965 de large, qui sont installées dans une chambre de manœuvre dont le détail est donné figure 4. L'ossature des vannes est en fonte, et les pièces frottantes sont en bronze. La manœuvre de ces vannes est faite par un servo-moteur à huile, fonctionnant sous une pression de 35 kgs par cm². On pénètre dans la chambre de manœuvre au moyen d'une galerie d'accès (*adit to gate chamber*) débouchant sur la rive droite, immédiatement en aval du barrage (voir fig. 5).

Au niveau de la rivière, on a noyé dans le barrage deux conduites en fonte, de 1^m067 de diamètre, qui sont munies de vannes à leur extrémité aval, et que l'on peut obturer à l'amont au moyen d'un double barrage à poutrelle. Elles permettent d'évacuer le débit de la rivière, lorsque le réservoir est vidé, en cas de réparation à la galerie inférieure précitée.

Une petite conduite en fonte, de 406 mm. de diamètre, a été également noyée dans le béton, près de la rive droite et

bois conduisait les eaux, ainsi dérivées, dans la galerie inférieure, à la sortie de laquelle se trouvait un second aqueduc rejetant les eaux à l'aval du mur.

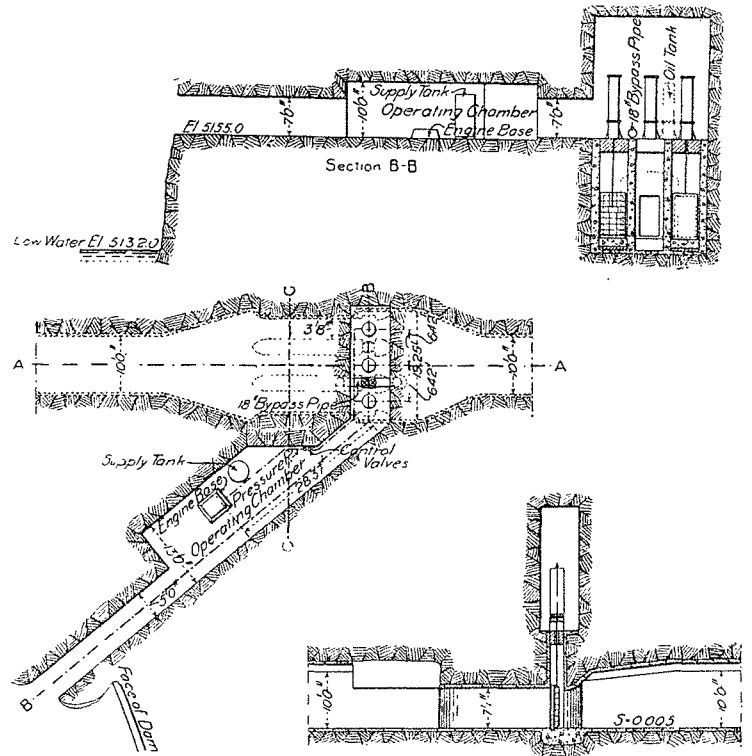


FIG. 4. — Détails des vannes de la galerie inférieure.

Pour évacuer les déblais extraits des fouilles, deux transporteurs aériens par câble furent établis dans le sens de la

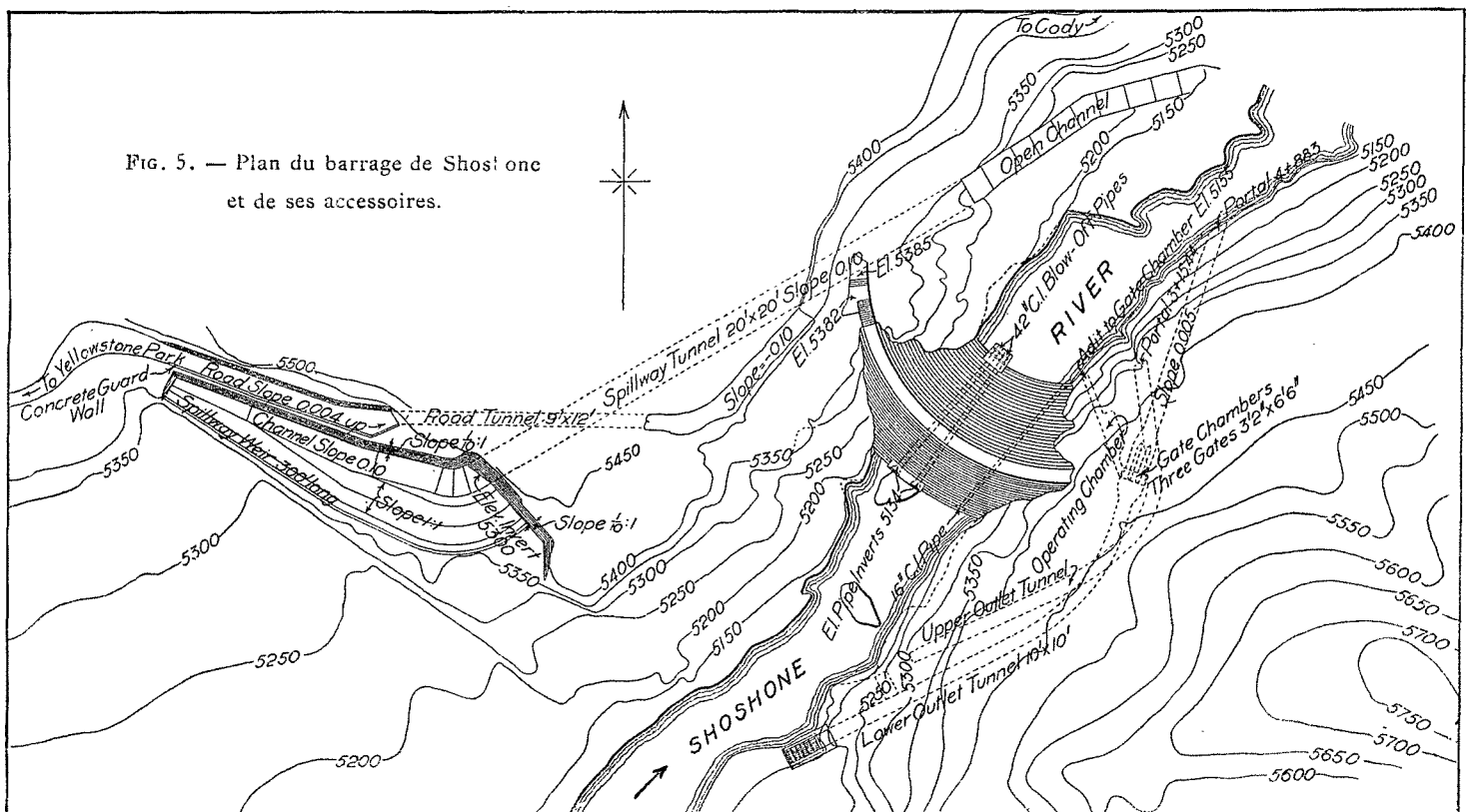


FIG. 5. — Plan du barrage de Shost'one
et de ses accessoires.

un peu au-dessus des deux précédentes, pour l'alimentation de la ville de Cody, située 13 km. à l'aval.

Pour pouvoir exécuter les fouilles, on établit, en avant du mur à construire, un barrage temporaire, de 5^m50 de hauteur, composé de caissons de bois remplis de terre. Un aqueduc en

rivière. A l'aval, ils aboutissaient à un même pylône, de 4^m57 de hauteur, installé sur la rive gauche à 76 m. au-dessus du lit de la rivière, et à 150 m. à l'aval du mur (Voir fig. 6). A l'amont, ces transporteurs aboutissaient séparément à deux pylônes, de 38 m. de hauteur, distants l'un de l'autre de 30^m50, et situés tous deux sur la rive droite. Les

gros déblais furent ainsi amenés à l'amont du barrage (*spoil bank under cableway*), tandis qu'une bonne partie des matériaux fins fut rejetée à la rivière, à l'aval du barrage (1).

Une fois les fouilles finies, les câbles de ces deux transporteurs furent attachés à deux câbles transversaux, établis juste au-dessus du barrage, qui les maintenaient en ce point à 120 m. au-dessus du lit de la rivière. Ceci permit de se servir séparément de chaque tronçon de câble, amont et aval, pour le transport sur le barrage des matériaux de construction, lorsque le niveau du mur eut dépassé la hauteur des pylônes des extrémités.

La maçonnerie du mur de barrage est constituée par du béton, dosé à raison de une partie de ciment pour 2,5 de sable et 5 de gravier, dans lequel sont enrobés des blocs de pierre (*plums*) de 10 à 100 kgs, dont le volume total forme environ 25 pour 100 du volume du mur.

Le béton était broyé humide, et déposé par couches de 8 pouces (20,3 cm.) d'épaisseur. Lorsque la surface d'une couche était restée à l'air libre plus de 24 heures, on la net-

roches granitiques s'effectuant dans un atelier (*stone crushing plant*) établi sur la rive droite, un peu en avant du déversoir. Un premier convoyeur par chaîne sans fin, incliné à 3,5 de base pour 1 de hauteur, amenait ce sable et ce gravier à un second convoyeur horizontal, qui les transportait jusqu'aux trémies des malaxeurs de béton. Le ciment était fourni par le U. S. Reclamation Service, et tenu en réserve dans un local spécial, d'où il était transporté aux malaxeurs au moyen d'un petit transporteur aérien de 215 m. de portée.

Les malaxeurs, au nombre de deux, furent établis sur un pont métallique, de 30 m. de portée, immédiatement en amont du barrage, et à 12 m. au-dessus de la rivière. Ils versaient le béton dans des conduites en tôle d'acier qui livraient celui-ci, soit directement sur la fondation, soit dans des augers qui étaient repris par les derrick et transportés à l'endroit voulu.

Grâce au dispositif employé, et à l'étroitesse de la gorge, il ne s'écoulait guère plus de 4 minutes entre le moment où le béton sortait des malaxeurs, et celui où il était versé à sa place sur le barrage.

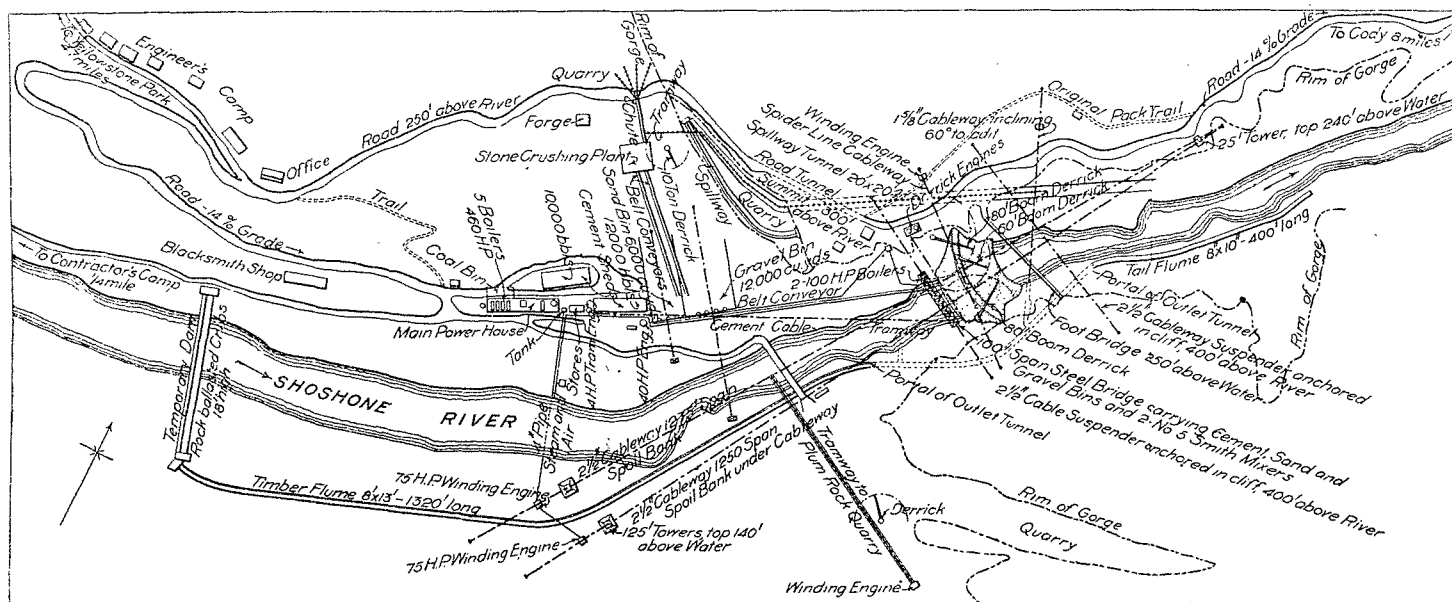


FIG. 6. — Disposition des chantiers.

toyait avec soin, et on y passait une couche mince de mortier frais avant d'y déposer une nouvelle couche de béton.

La figure 3 montre le mode de montage des formes entre lesquelles était pilonné le béton. Ces formes étaient constituées par un couchis imperméable en pin, qui était maintenu par des étais verticaux (*studs*) de 10 x 15 cm. de section, et de 1^m52 de longueur. Ces étais furent eux-mêmes maintenus en place par des pièces de bois horizontales (*waling pieces*), fixées à des tirants noyés dans le béton et attachés par du fil de fer à de gros blocs de pierre situés près du parement posé.

Deux derrick (sorte de grues très employées sur les chantiers américains), de 24^m40 de portée, furent installés à 75 m. au-dessus du lit de la rivière, sur l'une et l'autre paroi de la gorge, et pouvaient, à eux deux, desservir toute la surface du barrage. Un troisième derrick, de 18^m30 de portée, fut installé un peu plus bas sur la rive gauche, pour faciliter le remplissage des fondations.

Le sable et le gravier furent obtenus par un concassage des

Le béton était coulé par deux équipes travaillant chacune dix heures par jour. On put ainsi construire de 270 à 380 m³ de maçonnerie par jour, le volume total des maçonneries (57 500 m³) ayant été construit en 202 jours de travail, répartis sur deux années (1).

Pendant les périodes de froid, l'eau de gâchage fut réchauffée par de la vapeur fournie par les chaudières qui alimentaient les moteurs des malaxeurs. De plus, des jets de vapeur furent dirigés sur les blocs de pierre, immédiatement avant leur pose, pour réchauffer la masse de béton qui devait les entourer. En outre, dans les parties basses du mur, des bâches furent étendues sur le béton fraîchement coulé, pour empêcher qu'il ne vienne à geler avant d'avoir fait prise. A la partie supérieure, une immense tente fut dressée sur le barrage, et chauffée à la vapeur (2).

(1) On avait pensé utiliser dans la maçonnerie du mur les gros blocs de rocher trouvés dans la fondation. Mais on ne tarda pas à y renoncer, car leur nettoyage demandait trop de travail, et il fut reconnu préférable d'extraire toute la pierre d'une carrière.

(1) Dans ce béton, coulé rapidement en grandes masses, on a pu observer le phénomène de la production de chaleur engendrée par la réaction chimique qui constitue la prise du mortier. C'est ainsi que, 10 jours après la pose, la température à la base du massif, prise à l'intérieur des conduites en fontes qui traversent le mur, a, paraît-il, été trouvée de 38° C., alors que la température extérieure était de - 18° C. Cette élévation de température était un précieux auxiliaire contre le gel du béton fraîchement déposé.

(2) Le couronnement du mur a été terminé en janvier 1910. Etant donné l'altitude du chantier (1650 m.), ce dispositif, fort coûteux pour

Le charbon nécessaire à la production de la force motrice ou au chauffage revenait à 7 dollars la tonne. Quant à la main-d'œuvre, surtout vers la fin des travaux, elle exigea des prix très élevés. C'est ainsi que les manœuvres furent payés jusqu'à 3 dollars, et les ouvriers d'art 4,5 dollars.

La dépense totale s'est élevée, en nombre rond, à 1 400 000 dollars, se répartissant ainsi :

Barrage, déversoir, tunnels.....	1 000 000 dollars
Appareillage de contrôle du débit.....	100 000 »
Etablissement des voies d'accès.....	100 000 »
Terrains.....	200 000 »

Le prix du mètre cube emmagasiné ressort ainsi à 1,4/563 dollar, soit à 1,3 centime. C'est là un prix de revient qui laisse bien loin derrière lui ceux obtenus en Europe (0 fr. 10 au barrage de l'Urft), et qui n'est dépassé en bon marché que par celui obtenu au barrage Pathfinder (1) où ce prix tombe à 0,55 centime.

H. BELLET.

BARRAGE DE LA PRELE, EN BÉTON ARMÉ

Le barrage de La Prele, avec ses 40 m. de hauteur seulement, paraît sans doute bien petit par rapport aux 100 m. du barrage de Shoshone dont nous venons de parler et, cependant, il constitue, dans son genre, un ouvrage tout aussi hardi. C'est qu'il est tout entier en béton armé.

3 à 5 m. d'épaisseur, mélangé de gravier et de grosses pierres, le tout formant une couche assez compacte. Cette première couche repose sur un banc de schiste argileux rouge, imperméable, et ressemblant au grès comme aspect et dureté.

Le barrage est du type en béton armé de la *Ambursen Hydraulic Construction Co*, dont *La Houille Blanche* a déjà cité de nombreux exemples, quoique de dimensions plus modestes. Il est rectiligne, et a 100 m. de longueur à la crête et 30 m. à la base. Sa hauteur est de 39^m62 à partir de la dalle de fondation. Sa plus grande largeur à la base est de 54^m50 et, au sommet, il supporte une route de 2^m59 de largeur utile entre parapets.

Sur la rive droite, se trouve un déversoir de 27 m. de longueur, arrasé à 1^m52 en contrebas de la route du couronnement. Sur la rive gauche, 5 vannes, disposées à différentes hauteurs, règlent le débit de l'eau renvoyée à la rivière.

La dalle de fondation a une épaisseur minima de 1^m07. Elle se termine, à ses extrémités, amont et aval, par deux murs de garde, descendus dans le schiste argileux résistant. Sur cette dalle, on a édifié un certain nombre de contreforts, espacés d'axe en axe de 5^m486. C'est sur ces contreforts que vient s'appuyer une dalle inclinée, qui constitue le parement amont du barrage. Cette dalle est inclinée à 6 de hauteur pour 7 de base, ce qui correspond sensiblement à un angle de 40° avec l'horizontale. Le parement aval est ici supprimé, ce qui constitue une des originalités de ce système de construction.

Fig. 4.

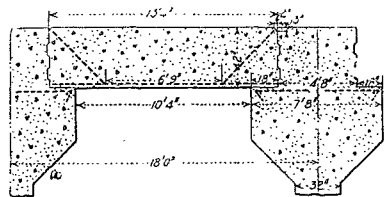


Fig. 3.

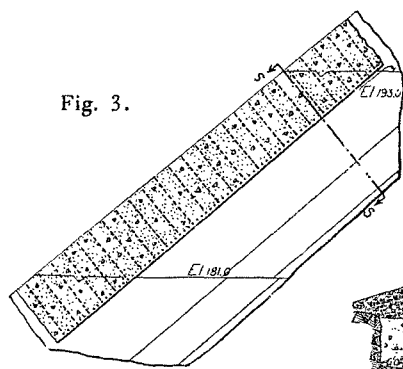


Fig. 2.

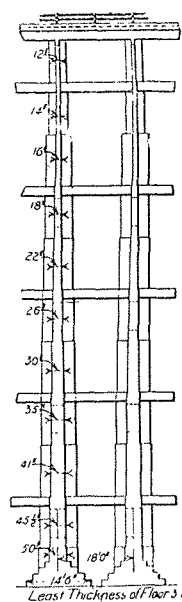
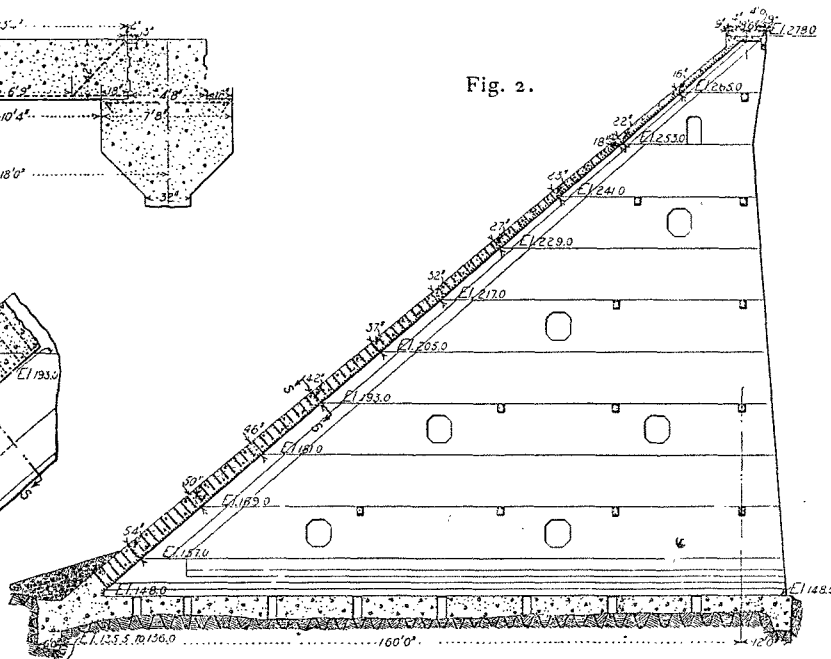


Fig. 1.

Fig. 1. Elévation des contreforts. — Fig. 2. Coupe entre deux contreforts. — Fig. 3. Détail du parement amont entre les joints des cotes 181 et 193. — Fig. 4. Détail de la jonction d'une dalle du parement amont et de ses contreforts (coupe suivant SS).

Ce barrage a été construit en 1909, par la *La Prele Ditch and Reservoir Co*, pour assurer les irrigations de 14 000 hectares de terrains, à l'ouest de la ville de Douglas (Wyoming). Il est établi au travers du creek La Prele, à 16 km. en amont du point où ce creek se jette dans la North Platte River. Il crée un lac de 6,5 km. de longueur, de 285 hectares de superficie, et de 30 millions de mètres cubes de capacité.

Le fond de la rivière est constitué par un lit d'argile, de

Les contreforts ont une épaisseur qui varie de 0^m305 au sommet à 1^m270 près de la base. Ils se raccordent avec la dalle par une série de **redents**, la largeur de l'embase elle-même étant de 4^m420. Les contreforts du milieu de l'ouvrage sont divisés par des redents en 11 étages, sur lesquels 4, répartis sur toute la hauteur, sont renforcés par une double rangée de tiges d'acier, disposées perpendiculairement à l'axe du barrage, et espacées verticalement de 0^m305 à 0^m61 suivant leur emplacement. A part les tout derniers étages qui ont quelques tiges de renforcement, les autres étages ne sont pas renforcés, sauf toutefois dans le voisinage immédiat des ouvertures octogonales, qui ont 1^m83 de diamètre. Suivant l'axe

l'entrepreneur, apparaît comme indispensable. Les travaux étaient d'ailleurs exécutés coûte que coûte, les délais fixés pour l'exécution étant près d'expirer.

(1) Voir *La Houille Blanche* d'août 1900, page 204.

du barrage, les contreforts sont entretoisés, d'abord à l'amont par la dalle inclinée, et ensuite, à l'intérieur, par 12 rangées de poutrelles horizontales, de $0^m457 \times 0^m61$, parallèles à l'axe du barrage, et également en béton armé.

A l'amont, l'épaisseur des contreforts est considérablement augmentée, de manière à présenter deux encorbellements, armés par des tiges d'acier horizontales, sur lesquelles viennent s'appuyer des dalles inclinées, dont l'ensemble constitue le parement amont du barrage. Ces dalles ont une épaisseur qui varie de 1^m37 à la base à 0^m305 au sommet. Elles ont été calculées comme des poutres supportant une charge uniformément répartie, et reposant librement sur deux appuis. Aussi sont-elles armées de tiges d'acier horizontales, disposées près de la paroi intérieure, sur lesquelles $1/3$ ont leurs extrémités redressées en biais, pour résister au cisaillement. Ces dalles sont coulées par tronçons de 3^m658 de hauteur (comptée verticalement). Les joints sont horizontaux, avec une coche en V au milieu, formant clé.

Pour la dalle amont, le béton est dosé à raison 1 de ciment pour 2 de sable et 4 de pierres cassées (grès, de moins de 5 cm.). Pour les contreforts, le dosage est 1 : 3 : 6. Pour la dalle de fondation, on a employé ce dernier dosage, mais on a ajouté au béton une certaine quantité de grosses pierres.

Les barres de renforcement sont toutes constituées par des tiges d'acier, de section carrée, de 22 mm. de côté. Elles sont prévues pour travailler à 10 kgs par mm^2 . Quant au béton, il ne travaille nulle part à la compression à plus de 39 kgs par centimètre carré.

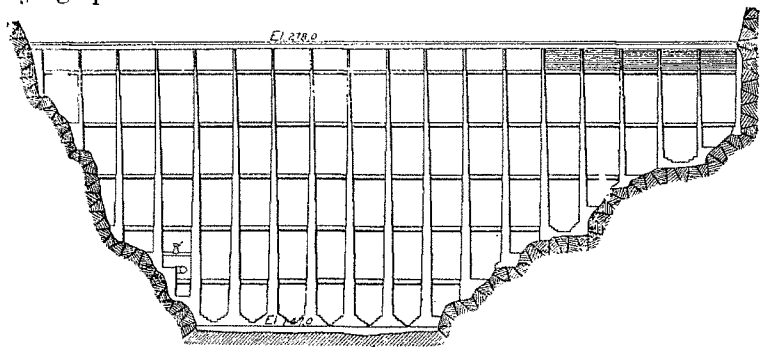


Fig. 5. — Barrage de La Prele vu d'aval.

Pour chacun des panneaux du milieu du barrage, la résultante des pressions est de 9 000 tonnes. Elle fait un angle de $27^{\circ}15'$ avec la verticale, et passe à 2^m286 à l'amont du milieu de la base. La pression sur le sol est ainsi à peu près égale à la pression moyenne, soit un peu plus de 3 kgs par centimètre carré.

La construction de ce barrage a employé 17 200 m^3 de béton, et 400 tonnes de barres d'acier, tandis qu'avec un barrage ordinaire plein, il eût fallu employer 40 000 m^3 de maçonnerie.

La dépense est de 300 000 dollars, ce qui met à 5 centimes le prix de revient du mètre cube emmagasiné.

H. B.

ÉLECTRICITÉ

ESSAIS DES HUILES D'ISOLEMENT

La Société Belge des Electriciens a mis en discussion, au cours de ses réunions intimes de l'hiver de 1909, les questions relatives aux conditions marchandes des huiles de

transformateurs et d'interrupteurs, aux essais de ces huiles et à leur manutention (*).

Afin de résumer les contributions des membres à ces discussions, la société a chargé MM. Goffin, Lepouse et Léon Gerard, de rédiger un premier travail sur les conditions de vente et les méthodes opératoires de réception des huiles d'isolement. Ce travail, présenté sous forme d'avant-projet, a été soumis aux divers industriels belges s'occupant de la fabrication et de la vente de ces produits et à tous les membres de la société.

Les amendements et les suggestions proposés au cours de cette enquête ont été condensés ; les différentes parties du travail ont été coordonnées en fonction de leur importance relative, quelques additions de caractère pratique pour les essais sommaires et les manutentions industrielles ont été ajoutées au premier travail.

Dans sa forme actuelle, les stipulations qui suivent pourraient être proposées comme une participation des électriciens belges au travail collectif de la commission internationale électrotechnique (Standard), et aussi comme une base pour les transactions commerciales régissant les contrats d'achat de ces huiles en Belgique.

Nous rappellerons qu'il a été décidé qu'il n'y avait pas lieu d'établir de distinction entre les huiles à employer pour les transformateurs et celles destinées aux interrupteurs et appareils de connexion. Cette décision a été prise en vue de simplifier les spécifications et de diminuer les complications de manutention dans les centrales.

Le travail, dans ses quatre premiers chapitres, détaille les essais sommaires à faire avant de mettre les huiles en service, le mode d'introduction de l'huile dans les appareils, les précautions à prendre pour le magasinage des huiles neuves et le traitement des huiles souillées, usagées, ou hydratées par une mauvaise manutention, en vue de pouvoir les réemployer.

La cinquième partie donne l'énoncé des conditions de réception commerciale des huiles d'isolement. Les sixième, septième et huitième chapitres sont consacrés à la description du matériel nécessaire aux essais et aux méthodes pratiquement exactes pour s'assurer de la rigidité électrique, des qualités physiques et des qualités chimiques des huiles d'isolement.

I. ESSAIS SOMMAIRES

Pour les essais à faire rapidement, et là où l'on ne dispose pas de laboratoire, on peut réduire les opérations de vérification aux points essentiels que voici :

1° Vérification de l'acidité par un lavage à l'eau chaude et vérification de l'acidité de cette eau par la réaction au rouge Congo, ou mieux au méthylorange. Le rouge Congo se trouve chez tous les droguistes ; il est facile de le préparer par $1/4$ de gramme dissout dans 200 grammes d'eau de pluie. Le réactif est très sensible s'il est préparé au ton rouge pâle. Il vire au bleu par une trace d'acide faible et revient au rouge par une trace d'alcali.

2° Les huiles très faiblement mêlées d'eau sont employables après un chauffage par résistance immergée, poussé à 110° , et maintenu 6 ou 8 heures. On peut s'assurer de l'efficacité de l'opération au moyen du tube à calcium décrit plus loin, ou encore par un essai sommaire de la rigidité électrique.

3° L'essai de rigidité peut être fait grossièrement en se servant de deux boules de 1 cm., écartées exactement de

(*) Extrait du Bulletin de la Société Belge des Electriciens.