

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 57 (1931)
Heft: 10

Artikel: Barrage en enrochement de Salt Springs de 100 m de hauteur avec un masque souple en béton
Autor: Steele, I.C.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-44139>

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: 26.11.2024

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 DE PUBLICATION DE LA COMMISSION CENTRALE POUR LA NAVIGATION DU RHIN

ORGANE DE L'ASSOCIATION SUISSE DE TECHNIQUE SANITAIRE

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

SOMMAIRE : *Barrage en enrochements de Salt Springs de 100 m de hauteur, avec un masque souple en béton*, par I. C. STEELE (adaptation française par L. DU BOIS, ingénieur). — *Deux applications de l'électricité dans un immeuble moderne : réfrigération et buanderie*. — CHRONIQUE : *Un nouveau câble téléphonique*. — *Grands travaux en perspective*. — *Les courses de la S. I. A. et de L'A₃ E₂ I. L.* — *Ecole d'ingénieurs de Lausanne et enseignement professionnel*. — DIVERS : *Petit moteur Saurer-Diesel à 4 cylindres*. — *L'Ecole d'application du centre de préparation aux affaires, créée par la Chambre de commerce de Paris*. — *La lumière électrique*. — NÉCROLOGIE : *Gustave Kernén*. — BIBLIOGRAPHIE. — CARNET DES CONCOURS. — *Service de placement*.

Barrage en enrochements de Salt Springs de 100 m de hauteur avec un masque souple en béton¹

par I. C. STEELE.

Adaptation française par M. L. DU BOIS, ingénieur.

Le barrage de Salt Springs est un ouvrage en enrochements que fait actuellement construire la Pacific Gas and Electric Company pour créer sur la Mokelumne River en Californie un réservoir d'énergie hydro-électrique. En raison de sa hauteur anormale soit 91,45 m au-dessus du lit du cours d'eau et 100 m au-dessus de la fondation la plus profonde, on a déterminé avec le plus grand soin les talus amont et aval, et on a choisi de même les matériaux et le mode de construction. L'emplacement est d'un accès difficile et on disposait sur place de roches granitiques en quantité plus que suffisante; on s'est arrêté par suite à un barrage du type en enrochements, comme convenant le mieux à l'emplacement choisi. Le parement amont en béton armé se compose de panneaux carrés de 18,29 m de côté supportés au droit des joints par une ossature en béton noyée dans la couche de l'enrochement spécialement mise en place à l'aide de derricks. Le profil du parement amont est tel qu'il forme une surface à double courbure étudiée en vue de donner le maximum de garantie contre la formation de fissures, quand se produira le tassement du remblai. Les travaux sont exécutés par le service des constructions de la Compagnie, ce qui a supprimé la nécessité de fournir des dessins et des spécifications complets avant le commencement des travaux. Il a donc été possible de modifier les plans en cours d'exécution, quand des situations imprévues se sont présentées.

Utilisation de la retenue.

Le barrage Salt Springs créera une retenue de 160 millions de mètres cubes, destinée à régulariser le débit naturel de la rivière Mokelumne, et augmenter d'une

façon économique la production d'énergie de ce cours d'eau. La création de cette retenue aura pour résultat immédiat la construction de deux nouvelles usines et la reconstruction d'une usine existante. Le débit de la rivière, régularisé par le réservoir, passera par la nouvelle usine d'énergie de Salt Springs, qui doit être construite presque au pied du barrage; la hauteur de la chute utilisée par cette usine sera approximativement celle créée par le barrage. Immédiatement en aval de cette usine l'eau sera dérivée dans une canalisation de 29 km, et rejoindra la rivière sous une chute utilisée par l'usine d'énergie du Tiger Creek (chute de 372 m). La décharge de cette usine sera dérivée de nouveau et utilisée par l'usine Electra, complètement reconstruite.

Le programme qui vient d'être exposé produira une puissance de 146 000 kVA, et l'aménagement que l'on se propose de créer sur la Bear River (principal affluent de la rivière Mokelumne) permettra un accroissement supplémentaire de puissance de 25 000 kVA. Quand cette dernière installation sera achevée, la rivière sera utilisée jusqu'à la limite pratique de sa capacité de production, exception faite de quelques affluents de minime importance.

La mise à exécution de ce programme dépendra de considérations économiques basées sur le prix du réservoir de Salt Springs. Ce barrage se trouve à environ 80 km de la voie ferrée, à 65 km des lignes de transport d'énergie existantes, et à 48 km d'une route nationale. L'accès difficile de l'emplacement et une quantité illimitée d'excellent granit d'extraction facile ont suggéré la solution économique d'un barrage en enrochements lors des études préliminaires. Ce type d'ouvrage comporte le minimum de transports, ce qui réduit par la force des choses les frais d'entretien de la route d'accès au chantier, une voie ferrée pour desservir l'emplacement du barrage étant hors de question. L'étude estimative détaillée d'ouvrages en béton de divers types a confirmé cette évaluation provisoire et on a adopté les projets d'un barrage en enrochements constitué par un remblai en roches non liées, la partie amont seule étant mise en place à l'aide de derricks, et revêtue d'un dallage en béton armé, constituant le masque d'étanchéité.

¹ Extrait de l'*Engineering News-Record*, du 16 janvier 1930 et du 28 août 1930. La rédaction de cette grande revue américaine a obligeamment mis à notre disposition les photographies qui illustrent cette note. Réd.

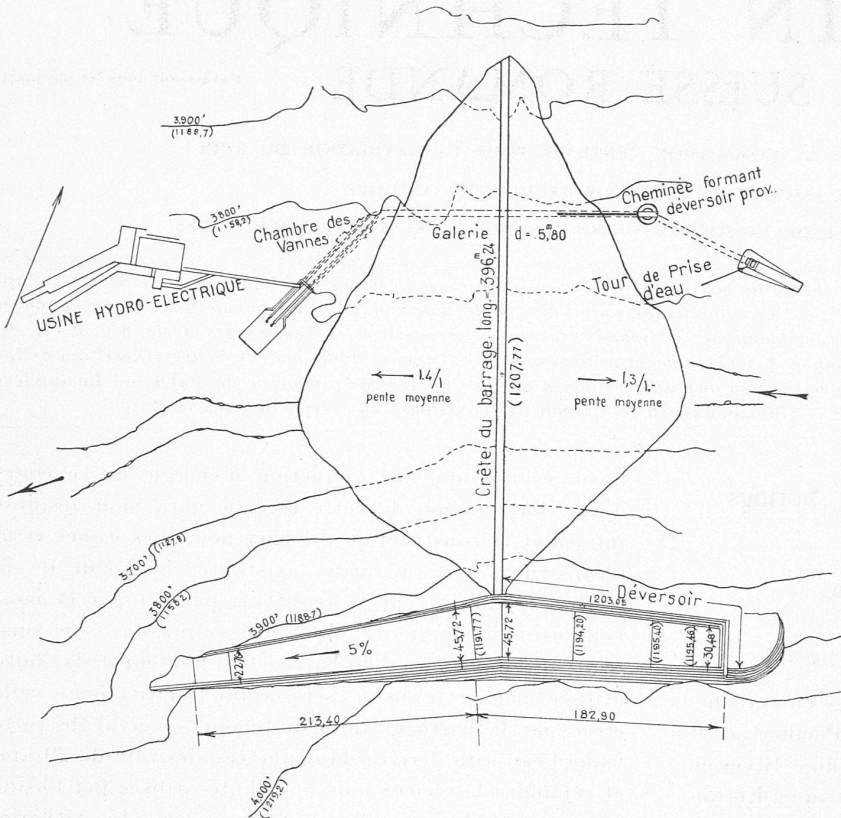


Fig. 1. — Vue en plan du barrage, avec ouvrages-annexes : déversoir, dérivation, prise d'eau, etc.

L'ensemble de ce barrage avec les ouvrages annexes, déversoir, prise d'eau, etc. est donné en plan par la figure 1.

Les caractéristiques générales du barrage sont analogues à celles d'autres ouvrages de ce type, mais, en raison de la hauteur et de la dimension sans précédent du barrage de Salt Springs, les études en ont été particulièrement poussées. Ces études ont permis de mettre au point certains détails, en particulier ceux concernant la construction du masque et les mesures à prendre en vue du tassement. La pente du parement aval est de 1,4 de base pour 1 de hauteur et on fera des gradins tels qu'ils sont représentés sur la coupe figure 2, pour réaliser cette pente si elle ne correspond pas au talus naturel des roches simplement versées. Le talus moyen du

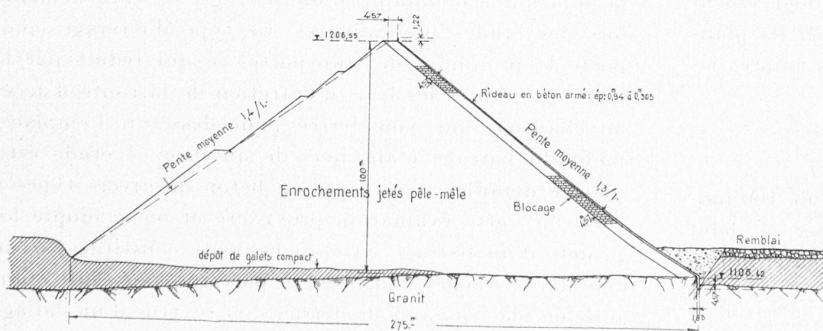


Fig. 2. — Profil du barrage au point de plus grande hauteur.

parement amont sera de 1,3 de base pour 1 de hauteur ; ce parement, qui fait face aux eaux, sera examiné en détail plus loin. La largeur au couronnement sera de 4,75 m et, à l'endroit où la section est maximum et la hauteur en partant de la fondation la plus profonde soit 100 m, l'empattement à la base sera approximativement de 275 m. La longueur du couronnement est de 396 m et le volume total du barrage est approximativement de 2 300 000 m³.

L'enrochement non lié, qui constitue environ 93% du volume total du barrage, consiste en granit brut de carrière, les dimensions maximum des roches étant déterminées par la capacité du matériel de transport et d'extraction. L'enrochement provenant de l'excavation du déversoir transporté à l'aide de remorques tirées par des tracteurs à chenilles, contenait des roches jusqu'à 1,5 m³. Les carrières principales sont équipées avec une voie ferrée pouvant transporter des roches jusqu'à 6,1 m³. Des dispositions ont été prises pour laver l'enrochement non lié, après mise en place, par l'eau courante.

La couche de l'enrochement mise en place à l'aide de derricks est celle qui forme le parement amont tout entier ; elle constitue un blocage en pierres sèches de 4,57 m d'épaisseur, mesurés perpendiculairement au parement. Cette partie est formée par de gros blocs ; les vides ont été garnis de blocs plus petits, de façon à réaliser une surface continue et un appui approprié pour le masque en béton armé. Pour l'exécution de cette maçonnerie en pierres sèches on ne s'est pas astreint à avoir des blocs de dimensions déterminées, mais on eut soin qu'elle soit bien assise et les blocs bien serrés. Sur toute la longueur du parement amont, la couche de roches ainsi mises en place repose par sa tranche inférieure sur le granit massif. Le roc vierge a été mis à nu dans le périmètre d'assise du barrage sauf pour la partie aval dans le lit du cours d'eau, où on a utilisé comme fondation pour l'enrochement le banc compact de galets et de gravier existant.

Dans les roches mises en place au derrick on a ménagé à 18,29 m d'intervalle, mesurés à la fois horizontalement et dans le sens du talus, des rainures pour recevoir l'ossature en béton destinée à supporter par les bords les éléments carrés du masque en béton armé. Les rainures horizontales (voir

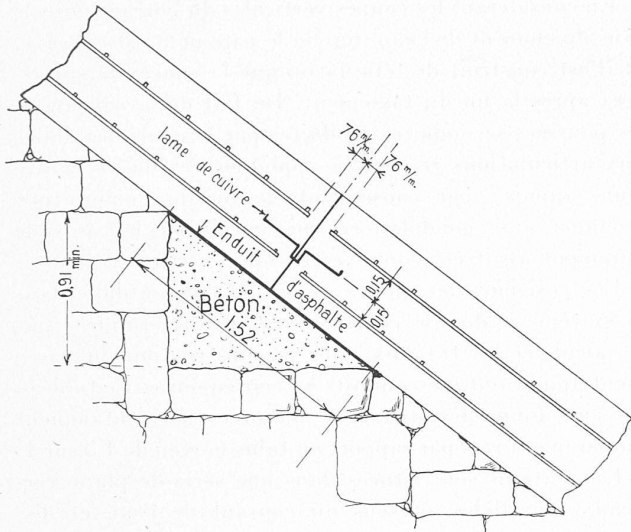


Fig. 3. — Croquis-type des joints horizontaux.

figure 3) sont de section triangulaire avec environ 0,91 m de paroi verticale, et 1,52 m d'ouverture sur le talus, comme dimension minima; le palier est horizontal. Ce profil a été choisi pour faciliter le travail de mise en place des roches par derricks. Ces rainures horizontales constituent des voies de circulation pendant la construction. Les logements perpendiculaires sont de section rectangulaire de 1,22 m en largeur et approximativement 0,78 m en profondeur (Fig. 4). Ce réseau de rainures est rempli de béton avant le coulage du masque de revêtement, et les surfaces d'appui enduites d'asphalte chaud pour empêcher l'adhérence.

Le masque en béton du parement amont est constitué par des dalles carrées en béton armé, dont les épaisseurs vont en décroissant de bas en haut de 0,94 m à 0,305 m. Au pied, ce dallage se prolonge verticalement vers le bas pour former un mur parafouille de 1,83 m de largeur et une profondeur maximum de 4,57 m d'après les projets, mais cette profondeur a été dépassée en plusieurs endroits lorsque la nature du roc de fondation l'imposait pour assurer une garde efficace. On a prévu des trous d'injection de ciment de 15,25 m de profondeur

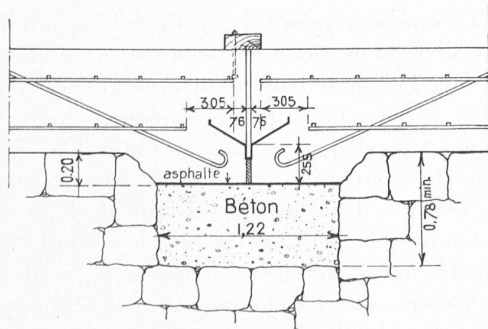


Fig. 4. — Croquis-type des joints verticaux.

à 1,83 m d'intervalle dans la partie du barrage dont la hauteur dépassait 61 m. De côté et d'autre de cette partie, les trous d'injection sont espacés de 3,05 m et leur profondeur diminue progressivement de 15,25 m jusqu'à 7,625 m à la hauteur du couronnement.

A proximité du pied du barrage, dans la partie la plus basse, l'armature du rideau se compose de deux couches de barres rondes de 25,4 mm espacées d'axe en axe de 0,23 m dans les deux sens. L'importance du ferrailage diminue progressivement pour se réduire au couronnement du barrage à une unique couche de barres carrées de 25,4 mm espacées de 0,30 m dans les deux sens. Les épaisseurs successives du dallage et l'importance de l'armature sont consignées dans le tableau suivant :

Tableau du ferrailage et épaisseurs du masque.

Cote	Distance au-dessous de la crête	Ep. dalle	Ferrailage			Position des fers
			Profils	Espacements		
				horizontaux	verticaux	
	m	cm	mm	m		
1206,55	0,0	30,5	d = 25,4	0,30	0,30	
1192,25	14,30	38,1	»	0,30	0,30	au centre de la dalle
1180,45	26,10	45,7	»	0,28	0,28	»
1172,75	33,80	52,7	»	0,25	0,25	»
1161,90	44,65	59,8	»	0,23	0,23	»
1151,25	55,30	66,1	»	0,20	0,20	»
1144,00	65,55	72,4	»	0,19	0,19	»
1130,85	75,70	78,8	»	0,37	0,37	deux rangées (1146,96)
			(carré)	0,34	0,34	»
1116,65	89,90	87,8	25,4	0,24	0,24	»
1106,42	100,13	94,0	»	0,23	0,23	»

Pour se prêter aux inégalités de tassement, le masque est constitué par des éléments carrés de 18,29 m de côté reliés par des joints prévus à la construction, remplis de matière asphaltique et garnis d'une lame flexible d'étanchéité en cuivre. Les bords de ces éléments reposent sur l'ossature en béton précédemment décrite. Sur les croquis de détail fig. 3, 4 et 5, on verra la conformation des joints-types, horizontaux et verticaux, ainsi que la façon dont on a arrêté les fers d'armature, et l'ensemble du dispositif d'étanchéité. Les lames horizontales en cuivre s'arrêtent aux joints, et à chaque interruption on leur a soudé ainsi qu'aux lames verticales une courte pièce rapportée pour assurer la continuité du joint d'étanchéité.

Le masque en béton forme un angle obtus avec la tranchée du mur parafouille, et un problème se pose en raison de la tendance à la formation d'une fissure le long de cette arête par suite du tassement de l'enrochement. En cet endroit, le masque est soutenu en bas par le roc solide, et en haut par l'enrochement; pour rendre la transition plus progressive, on a coulé du mortier dans la partie inférieure du blocage. On aura ainsi un support semi-rigide pour le masque, dont la flexibilité sera un peu inférieure à celle des autres joints entre les dalles.

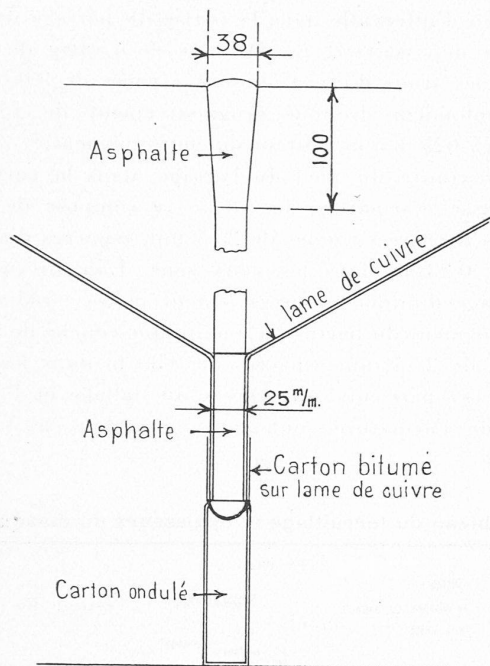


Fig. 5. — Détail d'un joint.

Mesures prises en vue du tassement.

En se basant sur les données les plus sûres concernant le tassement d'un ouvrage en enrochements, on a étudié le parement amont et les détails du rideau de telle façon que les tensions créées dans le masque soient réduites au minimum. On a évalué le tassement dû au poids de l'enrochement combiné avec celui dû à la pression de l'eau, et le résultat obtenu a servi à calculer la courbure du parement amont. Les génératrices horizontales sont cintrées vers l'amont, de telle sorte qu'après la fin du tassement il subsistera une convexité horizontale de ces génératrices. Cette disposition tendra à prévenir la formation de fissures dans le masque et aux joints. Le jeu entre les panneaux est suffisant pour permettre le raccourcissement horizontal sans qu'il puisse se produire dans les dalles des efforts de compression nuisibles. La convexité horizontale atteint 1,98 m de flèche au couronnement et diminue proportionnellement vers le bas.

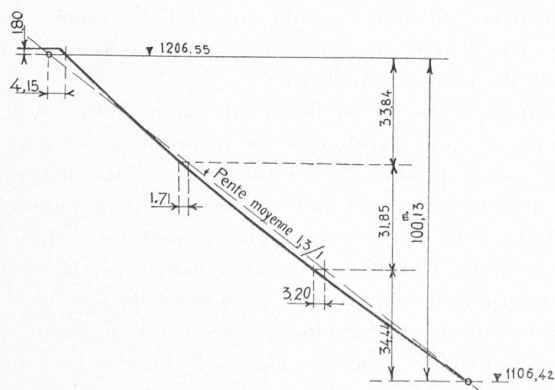


Fig. 6. — Section verticale du barrage montrant la courbure.

En considérant les coupes verticales du barrage dans le sens du courant de l'eau (fig. 6), le parement est concave, et il est construit de telle façon que la concavité subsistera après la fin du tassement. Du fait de la concavité, les poussées secondaires produites par le poids des dalles aux articulations tendent à appliquer ces dalles contre leurs appuis; par conséquent, le masque n'aura pas tendance à se gondoler, ce qui aurait été le cas si le parement avait été convexe en coupe verticale.

Les positions des quatre angles de chaque dalle dans le système à double courbure ont été déterminées par le calcul, et les travaux pour la construction du parement amont ont été conduits en conséquence. Le tableau suivant donne les distances mesurées horizontalement du parement réel par rapport au talus moyen de 1,3 sur 1.

Les stations sont situées dans une série de plans verticaux, parallèles au sens du courant de l'eau et distants de 18,29 m. Elles coïncident donc avec les axes des rainures verticales de l'ossature. La première ligne horizontale du tableau donne les abscisses des stations mesurées à partir de la rive gauche. La surface du parement amont telle que la donne cette méthode, est donc déterminée par les points de sa surface courbe espacés de 18,29 m dans les deux sens, et on projette de faire une série de mesures dans l'avenir pour déterminer le tassement réel pendant un certain nombre d'années, et le comparer avec le tassement estimé.

Déversoir et prise d'eau.

(Voir ensemble des ouvrages, fig. 1). On a pris les dispositions pour dériver le cours d'eau pendant les travaux en creusant une galerie souterraine de section circulaire sous l'enracinement nord du barrage; cette galerie servira ultérieurement comme prise d'eau permanente. Le diamètre de cette galerie est de 5,80 m à l'intérieur du revêtement, et sa longueur totale est d'environ 366 m dans le granit massif. Sur approximativement 274 m il y a un revêtement de béton non armé, d'une épaisseur moyenne de 45,7 cm. Après coulage du revêtement, on a attendu 60 jours pour que le retrait se produise, et on a procédé à la cimentation sous une pression d'environ 7 kg/cm². Les trous d'injection de ciment avaient été prévus dans le revêtement à 3,05 m d'intervalle environ, et la quantité de pâte de ciment injectée a été d'environ 470 litres par mètre linéaire du tunnel. L'extrémité amont de ce tunnel se termine par un puits vertical en béton armé recouvert d'une grille, ce tronçon a 7,62 m de hauteur et sa section est un carré de 6,40 m de côté. La galerie est prévue pour travailler constamment en charge, les organes obturateurs se trouvant près de l'extrémité aval, où elle sera élargie pour pouvoir recevoir deux vannes-papillon de 3,35 m contrôlant l'entrée de deux conduites en acier de 3,05 m de diamètre et de 61 m de longueur. L'autre extrémité est obturée par des vannes à décharge libre qui débouchent dans le lit du cours d'eau en aval du barrage. L'eau destinée à l'usine hydro-électrique de Salt-

Tableau des abscisses pour le tracé de la courbe, en section verticale, du parement amont.

Stations à :	12,20	30,49	48,78	67,07	85,36	103,65	121,94	140,22	158,51	176,80	195,08	213,37	231,65	249,94	268,23	286,51	304,80	303,09	341,38	359,67	377,96	396,24
Niv. Crête	1206,55	1206,61	1206,70	1206,95	1207,22	1207,46	1208,01	1208,19	1208,35	1208,38	1208,25	1207,92	1207,55	1207,16	1207,07	1207,01	1206,88	1206,64	1206,61	1206,58	1206,56	1206,55
Crête	-0,03	-0,12	-0,36	-0,90	-1,52	-2,29	-3,32	-3,90	-4,08	-4,15	-3,84	-3,42	-2,29	-1,61	-1,22	-1,01	-0,76	-0,36	-0,15	-0,09	-0,03	-0,0
1192,25		1,80	1,62	1,19	0,64	0	-0,85	-1,34	-1,46	-1,59	-1,25	-0,58	0,06	0,61	0,91	1,10	1,34	1,62	1,77	1,83		
1180,45			3,23	2,87	2,38	1,68	1,01	0,55	0,43	0,34	0,61	1,25	1,86	2,29	2,59	2,77	3,05	3,26	3,35			
1172,75			4,53	4,03	3,60	2,99	2,35	1,92	1,80	1,71	1,98	2,59	3,14	3,54	3,81	3,96	4,24	4,33				
1161,90				4,79	4,49	3,84	3,26	2,90	2,74	2,65	2,89	3,50	3,99	4,33	4,57	4,72						
1151,25					4,75	4,30	3,78	3,43	3,26	3,17	3,45	4,02	4,45	4,75	4,94							
1144,—					4,63	4,21	3,78	3,45	3,32	3,20	3,45	3,99	4,39	4,63								
1130,85						3,87	3,38	3,11	2,93	2,83	3,08	3,63										
1116,65							1,98	1,83	1,74	1,62	1,83											
1106,42									0,0	0,0												

(Les joints de dilatation du masque en béton armé sont espacés de 18,29 m.)

Nota : Les chiffres à l'intérieur des traits forts s'appliquent aux abscisses vers l'amont par rapport au talus 1,3/1. Tous les autres chiffres s'appliquent aux abscisses vers l'aval.

Springs, qui sera construite directement en aval du barrage, sera prélevée sur une de ces conduites en acier. Dans les conditions normales, la règle adoptée est de laisser les vannes-papillons ouvertes et de tenir fermées les vannes de décharge à l'extrémité des deux conduites. En cas d'urgence, les vannes à l'extrémité des deux conduites peuvent être ouvertes pour abaisser rapidement le niveau du réservoir. Les vannes à papillon de la galerie permettent de couper rapidement le débit en cas d'accident à l'une des vannes en aval. Le débit maximum des deux conduites est d'environ 185 m³/sec. quand le réservoir est plein. L'eau ayant passé par l'usine hydro-électrique entre dans la canalisation qui l'amène à la nouvelle usine du Tiger Creek.

Le déversoir de trop plein débite dans un canal latéral ; il est creusé dans le granit massif et fait le tour de l'enracinement sud du barrage. La crête de déversement a 198 m de longueur et elle est de 4,73 m en contre-bas du couronnement du barrage. Avec une crue maximum de 1368 m³/sec, la hauteur de la lame déversante serait de 2,28 m laissant une revanche de 2,45 m. Une telle crue résulterait d'une précipitation globale de 3,33 m³/sec par kilomètre carré pour les 410 km² du bassin versant, ce qui est le triple de la crue maximum enregistrée. La décharge du déversoir emprunte un canal d'environ 225 m de longueur creusé dans le roc, d'une pente de 5 %, et elle retourne ensuite au lit de la rivière.

(A suivre.)

Deux applications de l'électricité dans un immeuble moderne : la réfrigération et la buanderie.

Nous empruntons la note suivante au « Bulletin » de la Société française pour le développement des applications de l'électricité qui nous en a obligeamment prêté les clichés.

A toutes les époques de son histoire, l'art de la construction s'est inspiré des progrès réalisés dans les diverses branches de la science appliquée ; il doit compter avec les légitimes exigences d'un public sans cesse plus averti des possibilités nouvelles, et, dans cette mesure, désireux d'accroître le bien-être et le confort de son existence journalière.

Or, si chaque découverte a marqué d'une empreinte plus ou moins profonde son caractère et sa vitalité, l'avènement de l'électricité semble prendre un aspect... de révolutionnaire : toutes les données de la coutume et de la tradition doivent compter avec ce nouveau maître. L'éclairage électrique, première page de ce chapitre nouveau, s'est universellement répandu dès sa naissance ; bien qu'il lui reste peut-être quelques progrès à accomplir, personne ne songe du moins à lui contester son entière supériorité.

Par contre, les applications ménagères de l'électricité ont nécessité, de la part de leurs pionniers, un véritable effort de conversion dont les fruits sont recueillis depuis quelques années déjà. Il faut descendre jusqu'à la période d'après-guerre pour voir aspirateurs, radiateurs et cuisinières s'installer définitivement dans la demeure moderne. Parmi les derniers venus, figurent l'armoire frigorifique et la machine à