

# Barrage de Periyar, barrages en voûtes

Autor(en): **Gaudard, J.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes**

Band (Jahr): **23 (1897)**

Heft 6

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-19791>

## **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.

perdre de cette chute, le constructeur a recouru au procédé du *tube aspirateur*, qui, moyennant certaines précautions, peut s'appliquer aux turbines à libre écoulement tout aussi bien qu'à celles à réaction. A cet effet, chaque moteur est monté au sommet d'une colonne en béton évidée (fig. 8), qui lui sert à la fois de socle et de tuyau de fuite et dont le canal intérieur se prolonge par un tube métallique étanche jusqu'au-dessous de la surface de l'eau dans le canal de fuite général. La colonne liquide suspendue dans ce tube vertical engendre une dépression proportionnelle à sa hauteur et qui règne en tous les points de la cage qui recouvre et enveloppe la roue de la turbine.

Pour obtenir que celle-ci tourne dans de l'air et non dans de l'eau, il faut donner continuellement accès dans la cage à une petite quantité d'air extérieur, réglée de manière à ce que le niveau de l'eau n'atteigne jamais le dessous de la roue. Cette alimentation peut très facilement s'opérer automatiquement à l'aide d'une soupape à flotteur qui s'ouvre quand le niveau s'élève par suite de l'entraînement d'air produit par le rapide écoulement de l'eau dans le tube aspirateur, et se referme aussitôt que l'apport d'air extérieur a déterminé un nouvel abaissement du plan d'eau.

Tous les paliers des turbines sont à anneaux graisseurs automatiques. La turbine d'éclairage est accouplée à la dynamo par l'intermédiaire d'un manchon à courroie isolante d'un système breveté<sup>1</sup> (fig. 11).

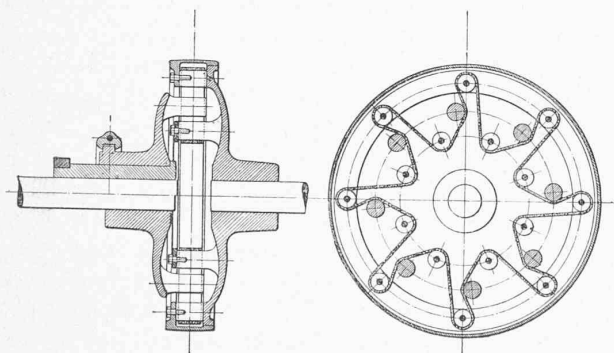


Fig. 11. — Manchon isolateur, système Cachin.

On a appliqué aux quatre turbines le régulateur à servomoteur hydraulique muni de tous les accessoires qui permettent à cet appareil de procurer un réglage de précision. Les résultats obtenus sont vraiment remarquables et ont valu au constructeur le témoignage le plus élogieux de la maison Feltrinelli et C<sup>ie</sup>. C'est ainsi que la turbine de 500 chevaux qui actionne l'atelier de filage, bien que fréquemment soumise à des variations brusques de résistance de 80 %, ne révèle ces énormes sautes de puissance que par des différences de vitesse inférieures à 2 %.

Le cahier des charges exigeait pour chacun des moteurs un effet utile d'au moins 75 %, et stipulait que la valeur réelle en serait établie par un essai au frein. Le directeur de la filature, M. Olcesi, ayant constaté dès le début, au moyen de mesures électriques, que la turbine d'éclairage fournissait un rendement

<sup>1</sup> Brevet suisse n° 14279.

passablement supérieur à la garantie, puis plus tard, à l'aide d'essais comparatifs sur les machines à filer, qu'il en était de même des turbines de 70, de 300 et de 500 chevaux, la maison Feltrinelli déclara spontanément renoncer à tout essai au frein.

Dès l'ouverture de l'usine à l'exploitation, turbines et régulateurs, transmissions et opérateurs, n'ont cessé de fonctionner à l'entière satisfaction des intéressés. Ce plein succès, obtenu sans aucune retouche, proclame hautement la valeur pratique de la disposition spéciale conçue par l'ingénieur de la maison de Milan et hardiment adoptée par les Ateliers de Vevey. L'installation de Campione ouvre une voie nouvelle dans laquelle nombre d'industriels ne tarderont sans doute pas à s'engager.

## BARRAGE DU PERIYAR. BARRAGES EN VOUTES

par J. GAUDARD

Professeur à l'Ecole d'ingénieurs de Lausanne.

(Planche 5.)

Nulle part au monde les grandes digues ou barrages de retenue d'eau ne se sont multipliés comme dans l'Inde, où de vastes irrigations sont indispensables pour conjurer, autant qu'il se peut faire, d'effroyables famines. Sir Richard Sankey, l'un des ingénieurs résidents anglais, disait récemment que dans la seule province de Mysore, il n'existe pas moins de 37 000 réservoirs, dont le plus grand offre une superficie de 36 kilomètres carrés, et dans la Présidence de Madras, 42 000. Presque toutes les rivières et leurs tributaires sont barrés par une succession de digues en terre; une de ces séries, dans le Mysore, compte jusqu'à 1200 étangs dépendant les uns des autres.

Dans nombre de pays, quoique sur de bien moindres proportions, les besoins distincts ou combinés de l'irrigation, de la navigation, de l'alimentation des villes et de la marche des moteurs hydrauliques ont conduit à barrer, tantôt des vallons pour y former des étangs d'approvisionnement ou lacs artificiels, dont le niveau est limité par un déversoir de trop plein, tantôt des rivières qu'il fallait exhausser de façon permanente, en un point déterminé choisi comme prise d'eau d'un canal, tout en laissant le déversement libre sur la crête entière du barrage. Au temps où nous sommes, le transport électrique des forces motrices à de grandes distances multiplie de plus en plus les installations hydrauliques jusque dans les endroits les plus écartés.

Ajoutons que la défense contre les inondations ne peut généralement qu'y gagner. Comme l'a exposé M. l'ingénieur Cotard, les travaux d'endigement ont trop souvent été à fin contraire du but, en ce qu'ils accélèrent les écoulements, au lieu qu'il faudrait tout faire pour les ralentir. Soit les érosions séculaires, soit la main de l'homme ont entamé des seuils naturels et, en diverses contrées, supprimé des lacs étagés qui constituaient d'amples réservoirs de retenue aux eaux pluviales. Par cette cause, jointe à celle non moins néfaste du déboisement, le danger des inondations a été singulièrement aggravé. Il semble qu'on se soit proposé de faire de certaines étendues de pays quelque chose de semblable à une toiture lisse, pourvue de chénaux savamment combinées pour égoutter d'un seul coup les plus fortes ravines. Quoi d'étonnant dès lors si ces

gouttières s'engorgent et refluent à certains moments! Qu'au lieu de cela, les eaux soient éconduites tout doucement, et le péril sera écarté. Et c'est à quoi l'utilisation de l'eau, sous toutes les formes où elle s'opère, ne peut que concourir. La chose est bien manifeste pour l'irrigation, puisqu'elle absorbe cette eau et tend encore à en augmenter la restitution partielle à l'atmosphère par évaporation; mais ce n'est pas moins vrai en ce qui concerne la navigation, avare de ses lâchures d'eau; l'alimentation des villes, qui éparpille et élabore les liquides avant de les chasser à l'égoût; les usines mêmes, qui, à la vérité, ne vivent que de la chute de l'eau, mais veulent que cette chute soit prolongée, continue, et pour cela modérée, régularisée.

C'est donc l'importance du sujet qui motive la présente note, bien que la question des barrages-réservoirs ait été abondamment débattue dans les publications techniques. Aussi nous ne nous arrêterons qu'à deux points qui présentent quelque nouveauté. En premier lieu le barrage du Periyar, présenté cette année (1897) à l'Institution des ingénieurs civils, à Londres, par un mémoire de M. Pennycuik, se signale par des difficultés toutes spéciales de fondation en plein lit de rivière torrentielle dans un pays perdu. Si rares que soient de semblables circonstances, il sera néanmoins intéressant de reproduire un aperçu abrégé de ce travail.

En second lieu, — et cela est de portée plus générale, — la discussion de ce mémoire a soulevé une question qui, si nous la rapprochons d'un article de M. l'ingénieur en chef Pelletreau dans les *Annales des Ponts et Chaussées* de cette même année, fait entrevoir un sérieux progrès dans l'adoption, en certaines circonstances, pour les barrages en maçonnerie, de formes plus étudiées, plus artistiques que les grosses masses usuelles à profil transversal uniforme.

#### Barrage du Periyar.

Des barrages d'immense longueur, mais de hauteur modique, se rencontrent pour le service de prises d'eau sur les grandes rivières indiennes. Ces « anicuts, » lorsqu'ils sont établis sur un lit de sable, ont un profil étalé en largeur, constitué principalement par des enrochement et par les atterrissements mêmes que retient le barrage, pourvu qu'il comporte à l'intérieur de sa masse une muraille de force à soutenir l'effort des eaux. Cette muraille, doublée parfois d'une ou deux autres parallèles à la première et encore de garde-radriers s'il y a lieu, repose sur des files de puits indiens, dont le fonçage a été facile à effectuer durant la saison sèche. L'accumulation des sables retenus contre la face amont ne devient gênante que vers les rives du fleuve, au droit desquelles se trouvent établis des pertuis régulateurs de prise d'eau pour les canaux; aussi les extrémités du barrage, défendues par des avant et arrière-radriers, sont-elles munies de déversoirs de fond ou de vannes de chasse destinées à nettoyer le lit.

S'il arrive que le lit d'une rivière se trouve profondément encaissé entre de hautes berges rocheuses, le barrage prend la forme d'un gros mur déversoir de hauteur plus ou moins considérable, et c'est alors que, en raison des pressions hydrauliques à supporter, les fondations à travers des couches perméables pourront offrir des difficultés graves. En France, un

barrage de 11 mètres de hauteur a été construit pour la prise d'eau du *Canal du Verdon*, destiné à l'irrigation et à l'alimentation d'Aix; il fallut creuser une fouille de 7 mètres de profondeur dans le gravier, puis la combler avec du béton pilonné à sec jusqu'au rocher, afin d'assurer toute garantie d'assiette solide et d'étanchéité; encore ne disposait-on, pour ce travail difficile, que de trois ou quatre mois de saison d'étiage. Après l'insuccès d'une première campagne, où des crues inopinées avaient recomblé le dragage fait, on subdivisa le bétonnage en trois tranches de près de 5 mètres de large, par quatre lignes de pieux jointifs battus perpendiculairement à la rivière. Un batardeau à l'amont éconduisait les eaux par des galeries latérales et contournées, percées dans le roc aux deux rives, et un puissant outillage de pompes épuisait les eaux de filtration. Le dragage s'effectuait d'abord dans la case ou zone d'aval, qu'on bétonnait aussitôt; puis on passait à celle d'amont, et l'on achevait le travail par la confection du noyau central. Durant l'exécution du mur de superstructure, une brèche de 5 mètres de large, provisoirement ménagée contre l'escarpement de la rive droite, conservait un débouché suffisant, notamment pendant l'opération de tamponnage de la galerie de l'autre rive, où devaient être établies les vannes de vidange. Lorsque la liberté de l'écoulement put être restituée dans cette galerie, la brèche, sous la protection d'un double batardeau, fut rapidement rebouchée au moyen d'un double parement murailonné et d'un bétonnage intercalaire à fort dosage de ciment<sup>1</sup>.

Au barrage du Periyar, les obstacles à vaincre furent encore bien plus considérables, en raison, tant de l'importance de l'ouvrage, dont la hauteur atteint 54 mètres, que de l'abondance des eaux, de leur régime, de l'inégalité du lit, de l'insalubrité du climat et de l'éloignement de tout centre civilisé.

Le district de Madura, appartenant à la Présidence de Madras, était une contrée aride, tandis que le versant opposé des monts du Travancore reçoit de 2 à 3<sup>m</sup>80 de pluie annuelle et fait gonfler jusqu'à excès le débit du Periyar. Comme d'ailleurs cette rivière s'approche beaucoup de la ligne de faite séparative des bassins de la mer Arabique et du golfe du Bengale, il a été possible, en exhaussant et en accumulant les eaux à l'aide d'un haut barrage, de les dériver et de leur faire traverser la chaîne montagneuse par un tunnel de 1740 mètres de longueur et de 7 à 8 mètres carrés de section, foré dans la roche granitique. Cette adduction vient enrichir la vallée du Vaigai et distribuer annuellement, par un réseau de 400 kilomètres de canaux, environ 850 millions de mètres cubes d'eau au district de Madura.

Le haut barrage en maçonnerie est du type français, réalisant approximativement l'égale résistance par stabilité de masse contre le renversement (profil-gravité). Cependant le parement vu n'est pas en courbe continue, mais en ligne brisée. L'ouvrage a déjà supporté en crue 51<sup>m</sup>3 de charge d'eau, l'aire du lac artificiel atteignant à ce moment environ 31 kilomètres carrés. Ce niveau dépassait de 2 mètres celui du déversoir entaillé dans une dépression de la rive droite. La longueur en crête du barrage approche de 400 mètres, et comme le montre la fig. 1, pl. 5, l'épaisseur maximale à la base, dans le lit de

<sup>1</sup> M. de Tournadre, *Annales des Ponts et Chaussées*, 1872.



Seite / page

leer / vide /  
blank



la rivière, s'élève à 43 mètres. Le corps principal est en béton contenu entre des parements épais variant par crans irréguliers, en maçonnerie de moellons bruts.

Ce vaste réservoir, dépourvu de bonde de fond, n'est pas appelé à se vider jamais en dessous du seuil de la tranchée de prise d'eau, qui est placé à 34<sup>m</sup>44 en contre-haut du repère zéro du nivellement; mais cela donne encore, de ce niveau au déversoir, une tranche de 9<sup>m</sup>45, comportant une réserve disponible de 193 millions de mètres cubes pour compenser les fluctuations du débit de la rivière, lequel varie de 11,3 à 340 millions de mètres cubes par mois.

Les conditions climatiques et météorologiques étaient des plus défavorables. Du commencement d'avril à la fin de juillet sévit la fièvre des jungles, interrompant à peu près toutes les opérations autres que l'entretien des ouvrages déjà exécutés. De juillet à décembre inclusivement, ce sont des pluies incessantes, des crues continuelles qui entravent les travaux; il faut donc, pour des constructions en lit de rivière, s'arranger à les exécuter dans le trimestre de janvier à mars, et cela en état d'achèvement tel, qu'elles ne soient pas infailliblement détruites à l'arrivée des eaux torrentielles de juillet. Ajoutons enfin que le site était inhabité, éloigné de 12 kilomètres de toute route et de 130 kilomètres de la gare la plus proche, qui elle-même est à plus de 500 kilomètres de Madras. Avant toute autre opération, il fallut consacrer la saison 1887-1888 et une partie de la suivante à la construction d'une route, ainsi que de maisons et hangars.

Quand au plan des *travaux de fondation*, il devait d'abord consister tout simplement à isoler, par deux minces batardeaux transversaux en maçonnerie ou béton, tout le large emplacement de la base du mur et à épuiser les eaux dans l'espace ainsi circonscrit; mais l'existence dans le rocher d'une faille ou cavité de 12 à 18 mètres de large, descendant à une profondeur de 4 à 5 1/2 mètres sous le zéro, et une saison exceptionnellement pluvieuse vinrent tout compromettre. On avait pensé qu'un enrochement jeté dans ce creux et obstrué par un corroi de glaise aurait raison des filtrations, mais à la fin de février 1889, époque ordinairement sèche, une crue survint, détruisit le travail entrepris comme batardeau d'amont et vint obliger à s'y prendre d'autre façon. On se décida à remonter à une soixantaine de mètres en amont jusqu'en un point où l'ouverture dans le rocher se rétrécissait, pour exécuter là une digue auxiliaire en sacs de sable, qu'on avait mille peines à retenir contre le courant à l'aide de lourdes carcasses en charpente; puis le gouvernement indien ayant, sans motifs sérieux, refusé l'autorisation de percer dans les rives des tunnels de dérivation, refus qui pesa lourdement sur les difficultés de l'entreprise, l'écoulement des eaux arrêtées par la digue dut être obtenu par un canal de décharge creusé le long de la rive droite. Comme on n'avait pas assez de maçons pour faire entièrement en maçonnerie le bajoyer de ce canal provisoire, on se borna à former une ligne de piliers en pierre de 1<sup>m</sup>80 de largeur et d'écartement, et à fermer leurs intervalles par des panneaux en charpente. Ce travail rustique ne pouvait manquer de laisser passer de fortes filtrations, dépassant la puissance des pompes; aussi n'en fallait-il pas moins refaire, tout auprès du parement amont du barrage à construire, une

digue-batardeau, les eaux de filtration étant ici détournées par un second canal de décharge moins important que le premier et placé contre la rive gauche. En outre, et en tout état de cause, un batardeau d'aval restait nécessaire pour empêcher le reflux dans le chantier des eaux dérivées. Pour la confection des batardeaux, on commençait par échouer, à des espacements de 1<sup>m</sup>50, des tréteaux dont les jambes étaient coupées en longueurs de 2 à 8 mètres à la demande des sondages. Contreventées et reliées par des files de palplanches, ces charpentes prenaient la forme d'encassements de 2<sup>m</sup>45 de large avec fruit de 1/4, et dans lesquelles était jeté un corroi de terre.

La première quinzaine de décembre 1889, pendant laquelle le débit de la rivière était tombé à 35 mètres cubes par seconde, avait favorisé ces travaux préparatoires; l'eau avait été épuisée et l'on entreprenait les maçonneries de fondation, lorsque de nouveaux mécomptes surgirent. Le 18 décembre, à la suite d'une violente tempête, une crue de 170 mètres cubes emporta la digue supérieure, ainsi qu'une partie de l'inférieure et du bajoyer en piliers et vannages; dans la nuit du 29, les eaux grossirent encore plus, les travaux ne purent être repris que le 14 janvier 1890 pour la réparation des brèches, et le 30 pour la maçonnerie. N'ayant plus que deux mois utilisables, on ne pouvait songer à exécuter la fondation sur la largeur entière du barrage; on se borna à faire deux murs aux parements d'amont et d'aval. Le premier se heurta à de graves difficultés en face de quelques-uns des tréteaux qui, au lieu de porter sur le roc, étaient venus s'appuyer sur les débris de l'ancienne digue détruite. Il y eut là de forts suintements; les décombres ne pouvaient être enlevés qu'avec d'extrêmes précautions; lorsqu'ils n'y eut plus qu'une baie de 1<sup>m</sup>80 à refermer, et que l'irruption de l'eau y devint trop violente, on se tira d'affaire en nettoyant la place et y bourrant des sacs de béton riche. A la reprise des travaux en juillet, les filtrations qui subsistaient encore sur ce point furent finalement aveuglées par le moyen suivant: à 3 mètres plus en aval, on éleva un second mur parallèle au premier et relié à celui-ci par des refends; puis, dans les cases ainsi obtenues, on coula un remplissage de béton avec intercalation, à un certain niveau, d'une chape en ciment pur.

Pour le bétonnage en grand du corps du barrage, sur la hauteur formant socle de fondation, l'espace fut encore subdivisé par des murs parallèles, figurés dans la coupe, et cela seulement pour des commodités d'exécution.

Le rocher, quoique sain et dépourvu de fissures apparentes, laissait sourdre, une fois soumis aux sous-pressions, des jets minces et nombreux à des hauteurs de 0<sup>m</sup>6 à 2 mètres, et qu'on traitait comme suit: autour de chaque jet on bâtissait un petit anneau en ciment pur, élevé jusqu'à la hauteur où l'eau qu'il emprisonnait ne manifestait plus de tendance appréciable à monter: alors on l'obturai avec du ciment sec.

De ce moment, l'ouvrage avança sans interruptions sérieuses à part les crues dans les deux saisons suivantes, où les travaux dans leur ensemble étaient submergés. Cependant, faute d'avoir pu ménager aux eaux d'étiage une décharge permanente par percée souterraine, et une fois que le canal qui, d'abord, pourvoyait à cet écoulement vint à être comblé par l'avancement de la construction, on subissait des désagréments de la part de

ces eaux ; car, tout en s'élevant graduellement avec le barrage lui-même, elles devaient, durant les périodes de travail, ne pas le surmonter, mais déboucher quelque part. On avait pensé à établir deux gros siphons, mais il eût été malaisé de les relever de proche en proche, comme aussi de les protéger contre les crues. Le parti adopté fut, en maintenant toujours en avance l'érection du mur formant parement d'amont du barrage, d'y ménager, en un point choisi, un orifice par lequel l'eau pouvait venir ruisseler à travers le tas et gagner le parement d'aval. C'était une gêne pour les maçons ; de plus, à chaque avancement de 2<sup>m</sup>50 au plus en hauteur, il fallait reboucher le pertuis et le remplacer par un nouveau, relevé d'autant.

Pour murer ainsi un pertuis à l'abri de l'eau, on tenait celle-ci écartée au moyen d'un caisson en demi-cylindre vertical de tôle de 4<sup>m</sup>88 de diamètre et 6<sup>m</sup>10 de hauteur. Ce caisson venait s'adosser à jointure étanche, soit contre le mur, soit par son périmètre curviligne inférieur sur une plateforme maçonnée qu'on avait eu soin de monter d'avance pour cet office. On s'arrangeait à pratiquer l'ouverture vers l'endroit où le sol naturel était assez haut pour réduire à 1<sup>m</sup> ou 1<sup>m</sup>50 la hauteur de la plateforme dont il s'agit. En tôle au lieu de bois, ce genre de coffrage batardeau d'applique rappelle le « suçon » employé naguère à des réparations de murs de quais de Saint-Nazaire<sup>1</sup>.

Le moment vint cependant où on voulut s'affranchir de ces perpétuels changements et de l'embarras de ces eaux traversant l'assise en construction: un aqueduc ou petit tunnel de 9 mètres carrés de section fut ménagé à travers tout le corps du barrage, et dès lors les maçonneries purent être activées, menées de niveau et sans entraves: ce conduit, que commandait une vanne cylindrique, put être ultérieurement refermé à sec, à la faveur d'un abaissement survenu fort à propos dans le niveau du lac.

Une turbine actionnait un câble moteur pour le transport des matériaux entre les hangars et le barrage, pour les désintégérateurs à broyer chaux et « surki » (pouzzolane artificielle) et pour d'autres machines. Cependant, en ce qui concerne le béton, on en revint à le mélanger à la main, le résultat étant meilleur qu'à la machine. Ce n'était pas une petite affaire en pareil endroit, que d'amener journellement 80 tonnes de pierres et de vivres pour quatre à six mille hommes. Autant que possible on recourait aux transports par eau, mais en temps de sécheresse il fallait se rabattre sur les charrois; un projet de voie ferrée étroite fut abandonné; on le regretta plus tard. Sur un ghât, un câble aérien rendit de précieux services.

Examinons maintenant *la constitution du barrage du Periyar*. Disons d'abord que la très grande hauteur de la retenue à créer n'empêcha pas qu'on eut un moment l'idée d'exécuter une *digue en terre*. On sait que, dans l'Inde, beaucoup d'anciennes levées de cette nature, sortes de montagnes artificielles pétries avec une extrême lenteur, foulées, piétinées par couches minces, ont pu atteindre toute la sécurité désirable jusqu'à des hauteurs de 30 mètres et même plus: il y en a une de 37<sup>m</sup>50 à Nuggar, dans le Mysore. Les tassements leur sont favorables,

<sup>1</sup> Chronique de 1888, p. 780, *Annales des Ponts et Chaussées*. A Calais, M. Charguéraud emploie un suçon en tôle d'un système perfectionné et applicable à des murs à parement courbe: *Annales* de 1897, p. 298.

alors qu'ils sont une menace pour des maçonneries. Dans les temps modernes, on met nécessairement plus de hâte; mais encore le choix judicieux des terres ou l'étanchement par un corroi ou noyau central en argile (système anglais) ou en maçonnerie (système américain), ou bien un saupoudrage à la chaux, une trituration à la herse ou au cylindre cannelé à chevaux ou à vapeur, l'emploi d'une piétineuse mécanique à mouvement de tangage, le perfectionnement des revêtements en maçonnerie appliqués sur talus doux ou en gradins, toutes ces précautions et ces soins donnent de hautes garanties. Il faut citer encore le mode de *feutrage des remblais* proposé par M. Decœur, comme susceptible de procurer, pense-t-il, autant d'étanchéité et plus de souplesse que les additions de chaux, et consistant à incorporer aux terres des débris végétaux, — feuilles, herbes, joncs, etc., — broyés dans une machine à faire la pâte à papier. On peut se demander néanmoins si l'inventeur, quelque haute idée qu'il se fasse de puissants massifs de terre ainsi apprêtés, eût été jusqu'à en patronner l'application à une cinquantaine de mètres de hauteur au Periyar; le fait est qu'on y renonça; il y avait d'ailleurs pour cela, outre la considération de la friabilité de la matière, celle des longs talus usuels à 2 ou 3 de base pour 1 de hauteur qui ont pour effet d'accroître trop rapidement le cube.

Telle qu'elle a été exécutée, la muraille du Periyar, partie en béton et partie (environ 30 0/0) en maçonnerie brute, pouvait soulever quelques critiques au point de vue des raccords, du manque d'homogénéité, exposant à des fissures par inégalité de tassement. M. Pennycuik explique ces irrégularités par les sujétions continuelles dans lesquelles on se trouvait engagé; il fallait tenir élevée d'avance une certaine hauteur de mur d'amont, pour s'abriter contre les eaux montantes, et régler l'épaisseur d'après le nombre des maçons disponibles; au surplus les liaisons par arrachement, boutisses, redans, étaient faites avec soin sans que le dessin puisse les indiquer; entre le béton et la maçonnerie de moellons la proportion de mortier ne différait que faiblement; les pierres étaient maniables par deux hommes; en employer de plus volumineuses aurait donné plus de frais que d'avantages, et la monolithie de l'ensemble eût été moins bien réalisée. Malgré tout, il faut bien le dire, les sujétions alléguées, qui marquent une impuissance, ne sont que des circonstances atténuantes; et pour si peu que les grandes lignes séparatives verticales, figurées dans la coupe, aient une existence quelconque dans la réalité, elles ne font point une impression rassurante.

Le constructeur ayant omis de dire à quel taux de pression le barrage a été calculé, notons que l'épaisseur s'élève à 39 mètres environ sous 45 mètres de charge d'eau limite, et comparons ce chiffre à ceux qui résulteraient des calculs de diverses autorités. D'après cette enquête, à la même profondeur, M. Krantz eût assigné 48 à 49 mètres d'épaisseur, en comptant sur un travail de 6 kg. seulement par centimètre carré; M. Clavenad 42 mètres pour travail 6 kg. et 38<sup>m</sup>4 pour travail 7,7 kg.; M. Crugnola 39<sup>m</sup>6 pour 8 à 9 kg.; M. Hétiér 36<sup>m</sup>9 pour 8 kg.; M. Guillemain, 35<sup>m</sup>7 pour 10 kg.; M. Pelletreau, 32<sup>m</sup>6 pour 10 kg.

De ces résultats on peut conclure que le mur du Periyar travaille à quelque chose comme 8 kg. Quant aux divergences

entre les auteurs, elles tiennent soit aux méthodes de calcul, soit à la densité attribuée à la maçonnerie, soit à d'autres causes. M. Hétier dans les *Annales des Ponts et Chaussées* de 1885, à côté de pressions de 10 kg. à l'aval, regardait comme admissible que des tensions de 1 kg. vissent à se produire en certains points du parement d'amont; aujourd'hui tout le monde est d'accord sur la nécessité d'éviter complètement les extensions qui, aussi bien que l'altération ou le dégarnissage du mortier, pourraient provoquer la formation de fissures horizontales par où l'eau viendrait exercer des sous-pressions. Celles-ci, intervenant comme forces perturbatrices sur un massif où déjà une tendance au soulèvement s'est manifestée, aggravent de manière progressive et redoutable les conditions de l'équilibre; la fissure, une fois commencée, s'élargit en raison même de l'augmentation et de l'avancement graduel de la sous-pression; la portion portante du joint se rétrécit de proche en proche jusqu'à écrasement du bord aval. Il faut donc maintenir, en tout état de cause, la résultante des pressions de chaque joint à l'intérieur du « noyau central, » soit dans le tiers médian pour section restangulaire.

Le « profil tiers, » ainsi conçu et recommandé par M. Pelle-treau, abandonne la courbe d'égale résistance. Il consiste à donner aux barrages résistant par gravité une section triangulaire: parement intérieur de préférence vertical, parement extérieur incliné sur l'autre d'un angle dont la tangente, en fonction de la densité  $D$  de la maçonnerie, est  $\sqrt{\frac{1}{D}}$

$\sqrt{\frac{1}{2,3}} = 0,66$ . Appliquée au Periyar, cette règle aurait conduit à épaissir un peu plus l'ouvrage tout le long de la partie où règne le talus raide (ligne supérieure du parement brisé); il faudrait avancer ce talus d'environ 1 m. La digue, telle qu'elle a été construite, n'est donc, probablement, pas exempte de légères extensions éventuelles.

Pour analyser de plus près le rôle des *sous-pressions* hydrauliques, ne parlons pas de « perte de poids, » expression impropre: un poids ne se perd pas, il est soutenu par une autre force. Supposons un joint de maçonnerie partiellement dégarni, et l'eau pénétrant dans ce vide: il y aura une perturbation provenant de ce fait, que la pression hydrostatique a une valeur inexorable, déterminée, ne dépendant que du niveau de remplissage du réservoir, tandis que le mortier dont l'eau a usurpé la place travaillait comme matière élastique, moulait sous l'effort non pas seulement sa forme, mais sa force de résistance, et graduait sa réaction à la demande de l'équilibre. L'intervention brutale de l'eau engendrera donc un mouvement. Arrive-t-elle sous pression moindre que celle qu'il fallait attendre du mortier, le massif supérieur s'affaisse, les contacts solides ambiants se resserrent et régénèrent l'appoint de réaction déficiente. Cela expose la matière à une compression plus grande, peut-être à un écrasement local, dont l'effet doit tendre à refermer la fissure, à en chasser l'eau et à récupérer plus ou moins l'aire portante perdue.

Dans le cas, au contraire, où l'eau en charge, insinuée dans un joint, vient y exercer un surcroît de sous-pression, les contacts solides environnants sont sollicités à diminuer leur effort de soutien, ce qui pourrait être d'abord plutôt favorable, ou à

se mettre en extension, ce qui inspirera des craintes s'ils sont peu aptes à ce genre de travail. Si même ils sont dénués de toute force d'adhérence, l'équilibre peut devenir incapable de se rétablir; le bloc alors se soulève, la fente s'élargit, l'eau gagne des espaces plus avancés, jusqu'à ce que le renversement ou le glissement s'ensuivent. Le glissement survient tout d'un coup sur une couche liquide qui n'offre aucune résistance de frottement; c'est, au contraire, un pivotement qui se produira si le contact solide, la résistance de soutien et de friction n'est pas toute surmontée, mais seulement refoulée contre une arête propre à faire point d'arrêt et axe de rotation.

Sans aller jusqu'à demander, avec M. Lévy, que le parement intérieur du barrage reste soumis à des pressions au moins égales à celles de l'eau au même point, de manière que les joints se maintiennent toujours hermétiquement fermés, encore est-il que les incertitudes concernant la loi réelle de la *répartition des pressions élastiques sur les joints* commande des réserves de prudence. La question est fort complexe, ainsi que le montre M. Galliot dans les *Annales des Ponts et Chaussées de 1893*. Il faudrait saisir en chaque point le jeu de forces disséminées dans leur action, au lieu de partir de résultantes n'ayant qu'une existence fictive et qu'on redistribue sur la foi d'hypothèses plus ou moins plausibles; mais, dans le désir d'en rester à des routines simples, des praticiens, reconnaissant qu'il y avait mécompte à réduire une force oblique à sa seule composante normale, en ce qui regarde le calcul de la pression, ont poussé à une exagération contraire. La résultante  $Q$  ayant été trouvée agir sur le joint  $AB$  (fig. 2. pl. ), au lieu de la réduire à sa projection verticale  $Q'$  répartissant ses pressions le long du lit  $AB$  suivant la loi linéaire du trapèze, MM. Leblanc et Bouvier conservent la force oblique  $Q$  tout entière et la répartissent sur une étendue  $AB'$ , égale à la projection de  $AB$  sur une perpendiculaire à  $Q$ : force plus grande, base moindre, double modification en vertu de laquelle la pression calculée en  $A$  devient les  $\frac{1}{\cos^2 \alpha}$  de celle donnée par la méthode primitive.

Pour opérer plus rationnellement, comme le fait à bon droit M. Guillemain, il faudrait prendre comme joint fictif, au lieu de  $AB$ , la ligne  $AB''$  tellement tracée, qu'elle reçoive une résultante  $Q$  qui lui soit normale, cette force, bien entendu, étant complète (et non plus celle de tout-à-l'heure), c'est-à-dire comprenant le surplus de poids du prisme  $ABB''$  et le surplus de poussée liquide contre  $BB''$ . Si cependant, pour ne pas introduire ces éléments nouveaux, mais garder la force  $Q$  telle qu'elle a été calculée par rapport à  $AB$ , nous nous représentons que la surface plane  $AB$  soit fictivement transformée en une surface dentelée, nous voyons que les facettes normales à la force reproduisent bien par leur ensemble la longueur  $AB'$  mise en œuvre dans la méthode Bouvier; mais, pour qu'un mouvement naisse dans la matière, il ne suffit pas que ces crans cèdent par compression, il faut encore qu'un cisaillement se produise sur les facettes des dentelures parallèles à la force; ainsi enfin, du moment qu'elle néglige la résistance à ce cisaillement, la méthode conventionnelle Bouvier comporte un excès de sécurité.

(A suivre.)