priété sise à Ivry, dite gare d'Ivry, d'une contenance de 3 hectares, avec toutes les constructions qui se trouvaient sur ce terrain, moyennant un loyer annuel de 50 000 francs. Ce bail était fait avec la charge imposée à la Compagnie : 1° D'entretenir les baux existants ; 2° Faire pendant la durée du bail les grosses réparations ; 3° Rendre l'immeuble clos de murs ; 4° Supporter la destruction partielle, quelle qu'elle soit de l'immeuble loué ; 5° Suivre à ses risques et périls toutes les actions relatives à la jouissance, le sieur de Ladoucette ne restant chargé que des actions qui toucheraient le droit de propriété ; 6° Acquitter tous les impôts fonciers ; 7° Satisfaire à toutes les obligations de police et de voirie ; 8° Souffrir comme le propriétaire pourrait le faire lui-même toutes les servitudes passives. Lorsque cet acte fut présenté à la formalité d'enregistrement, le receveur perçut le droit de 0.20 °/₀ applicable aux baux à loyer. L'administration de l'enregistrement soutenant, plus tard, que la convention dont il s'agissait présentait tous les caractères d'un bail emphytéotique passible du droit de vente de 5.50 pour cent, décerna contre la Compagnie une contrainte en paiement de droits calculés sur ce taux. Le tribunal de la Seine, par jugement confirmé par la Cour de Cassation, s'empressa d'annuler la contrainte pour les motifs suivants : D'abord la Cour a considéré que le loyer de 50.000 francs que devait payer le preneur était en parfait rapport avec la valeur de l'immeuble, et était la juste représentation de la jouissance concédée et des fruits ou revenus que cet immeuble était susceptible de produire ; qu'il importe peu que, d'après les termes du bail, le bailleur puisse rendre les lieux dans l'état où ils se trouveront sans pouvoir prétendre à aucune indemnité pour les changements faits, puisqu'il est stipulé qu'il doit retrouver les lieux en bon état ; qu'il importe encore moins que la durée de la jouissance ait été fixée à un temps très long, puisque cela s'explique par la durée égale de l'exploitation de la Cie du chemin de fer de Paris à Orléans...

Or, si on prend acte de tous ces motifs, et si on les applique au contrat des communes que nous envisageons, nous voyons qu'ils militent absolument en faveur du bail « simplement immobilier ». En effet, généralement, la commune demande une redevance qui est loin d'être *modique*, puisqu'elle est égale à la somme d'intérêts annuels que la commune aurait demandée en cas de vente. On ne peut pas dire qu'elle envisage « l'amélioration du fonds » en donnant des riverainetés et un droit de passage sur son sol, parce que la création d'un canal ne peut être une amélioration dans le sens matériel du mot, d'une rivière, d'un bois ou d'un terrain vague et même si la commune stipule, pour la fin de la concession, que les travaux qui y seront effectués lui reviendront en pleine propriété. On ne peut dire que cela constitue une bonne affaire, puisque, d'abord, ces travaux ainsi accomplis seront stériles et sans utilité, si l'usine n'est pas en fonctionnement, et qu'ensuite. même dans cette hypothèse, ils enrichiraient peut-être la commune, mais *n'amélioreraient* pas le fonds.

*
* *

Sauf à modifier notre avis sur la présentation de chaque contrat — car il peut y avoir des différences de texte très considérables — nous croyons que, en règle générale, le fractionnement triennal est de droit pour la plupart des contrats passés par les communes, car presque tous sont des contrats purement *immobiliers et non emphytéotiques*.

Paul Bougaut,
Avocat à la Cour d'Appel.

ÉTUDE SUR LES

BARRAGES EN MAÇONNERIE

et Murs de Réservoirs

(Suite et fin)

CONSIDÉRATIONS ACCESSOIRES

En règle général, lorsque l'état des lieux le permet, il y a avantage à construire un barrage de grande hauteur plutôt que deux barrages de dimensions plus réduites.

Ceci nous amène donc à étudier, d'une manière particulière, les efforts que l'on peut admettre dans les parties les plus chargées d'un barrage, c'est-à-dire à la base.

Pour la détermination des efforts maxima à admettre à la base, il y a à considérer deux choses bien distinctes : la résistance du terrain sur lequel on veut fonder le barrage, et la résistance des matériaux que l'on peut employer pour la construction du mur.

Si le mur repose sur le rocher suivant une surface sensiblement horizontale, la pression supportée par ce rocher n'est égale, en chaque point, qu'à la pression normale n. Les granits, grès, micaschistes, calcaires durs, et molasses, supportent tous, sans se rompre, des efforts supérieurs à 200 kgs par cm², et, comme l'on admet généralement que la résistance limite qu'on peut pratiquement admettre est égale au dixième de la charge de rupture, on voit que la compression maxima pourrait atteindre, à ce point de vue, jusqu'à 20 kgs pour les roches précitées (*). Si l'on avait à fonder sur des roches moins résistantes, calcaires tendres, marnes plus ou moins compactes, ou roches en voie de décomposition, il faudrait être très circonspect, et réduire la compression n'' suivant les indications données par des essais de résistance pratiquées sur des blocs extraits de sondages faits au préalable.

Mais ce qui limite, le plus généralement, les efforts admissibles, c'est la résistance des matériaux employés pour la construction du mur. Ici, il faut encore distinguer deux cas. Celui des pierres et celui du mortier. Bien souvent, on sera limité dans le choix de la pierre à employer, pour l'intérieur du mur tout au moins, et on devra se contenter de celle qu'on trouvera dans le voisinage immédiat du chantier, car son transport d'un lieu trop éloigné conduirait à des dépenses prohibitives (**). Mais, si l'on peut disposer de roches dures, c'est surtout la résistance du mortier qui interviendra dans la limitation des efforts.

Pendant longtemps, on ne s'est occupé que de la compression normale n'', puis, ensuite, on a tenu compte de la compression maxima A, et, maintenant, l'on admet que cette compression maxima ne doit pas dépasser une valeur donnée, déterminée par la résistance à la compression des matériaux employés. En réalité, ce n'est pas cette compression maxima par elle-même qui est dangereuse, car l'on sait que la rupture dite par compression des maté-

(*) Au pont de Plauen, qui a été construit en 1903-1904 sur la Syra (Allemagne), et qui a 90 m. d'ouverture, avec une flèche au cinquième, la pression maxima sur le rocher de fondation des culées (diabase) atteint *vingt-cinq* kgs par centimètre carré.

(**) On devra proscrire l'emploi des pierres gélives, surtout dans le voisinage des parements. Pour savoir si une pierre est gélive, on la plonge dans une solution chaude et concentrée de sulfate de soude, puis on la soumet à un courant d'air froid. Si la pierre se fendille, on est sûr que la pierre est gélive ; mais il y a cependant des pierres gélives qui résistent à l'expérience précédente, car la force d'expansion de l'eau est bien plus grande.

Article published by SHF and available at http://www.shf-lhb.org or http://dx.doi.org/10.1051/lhb/1907017

riaux cassants, tels que les mortiers, n'est, en somme, pas autre chose qu'une rupture sous l'effet d'un cisaillement plus ou moins complexe. D'après ce que nous avons dit précédememnt, le rapport σ de la compression maxima A au cisaillement maximum C_1, en tenant compte du frottement f, est :

$$\sigma = \frac{2}{\sqrt{1+f^2}-f} = 2\left(\sqrt{1+f^2}+f\right)$$

pour $f = 0{,}75$, valeur généralement admise, σ est égal à 4.

Cette remarque est absolument nécessaire, car elle conduit à distinguer deux genres de constructions : le béton non armé) et la maçonnerie.

A première vue, il semble que le béton puisse être préférable à la maçonnerie, à cause de son homogénéité plus grande. Ceci est vrai pour les ouvrages de moyenne ou de faible hauteur, tels, par exemple, que les barrages de prise d'eau ou de dérivations, pour irrigations ou usines hydrauliques. Mais, pour les grandes hauteurs, il devient impraticable.

En effet, par suite de son homogénéité, toutes les sections que l'on peut mener autour d'un point quelconque se trouvent couper des matériaux semblables, par suite, la valeur du cisaillement que l'on ne devra pas dépasser sera celle qui correspond au cisaillement maximum.

Quelle est au juste la valeur de la résistance des mortiers au cisaillement ? Il paraît assez difficile d'y répondre exactement, pour diverses causes, et M. Feret, dont le nom fait autorité en la matière, s'exprime ainsi à ce sujet : « Les résistances auxquelles on arrive pour les mortiers, dans les essais de cisaillement, varient tellement, suivant les conditions de l'essai, que l'on n'a actuellement aucune idée de leurs grandeurs possibles ». Il semblerait résulter toutefois, des expériences exécutées par cet auteur, que la résistance au cisaillement serait du même ordre de grandeur que la résistance à la traction (*).

Avec des mortiers de chaux éminemment hydraulique, on arrive à des résistances à la traction qui dépassent 15 kgs par cm² au bout d'un an, aussi admettrons-nous, ainsi qu'on le fait généralement, qu'on peut faire subir au mortier des efforts de cisaillement allant jusqu'à 15 tonnes par mètre carré pour le mortier de chaux éminemment hydraulique et le ciment de grappiers, et à 25 tonnes pour le mortier de ciment portland.

Ceci limite donc, pour le béton, la compression maxima à 60 ou 100 tonnes par m². Par suite, pour un barrage du type normal, à profil sensiblement triangulaire, la hauteur maxima ressort à 40 m. pour le ciment et à 25 m. environ pour la chaux. Pour monter à des hauteurs plus grandes, il faudrait augmenter la résistance au cisaillement par l'emploi d'armatures métalliques, et alors on serait conduit au béton armé, dont le coût est élevé, ou bien au moyen de gros blocs de pierre, ou claveaux, dont la plus grande dimension soit normale à la direction du cisaillement maximum, mais alors on retombe sur la maçonnerie, qui est la seule pratique pour les grandes hauteurs.

Comme la résistance de la pierre au cisaillement est, en général, très grande par rapport à celle du mortier, la résistance au cisaillement est fortement augmentée par la substitution de la maçonnerie de blocage au béton, car tout plan que l'on peut mener autour d'un point quelconque rencontre alternativement du mortier et de la pierre, et la séparation par glissement ne peut se produire sans entraîner la rupture d'un certain nombre de pierres, faisant arrachement d'un bloc dans l'autre.

Ainsi que nous l'avons déjà indiqué, la plupart des barrages américains sont construits avec une maçonnerie composée de gros blocs de pierre noyés dans du béton, avec interposition de pierres plus petites dans le béton (*cyclopean concrete*). Ce mode de construction permet d'avancer assez rapidement, tout en diminuant les frais de main-d'œuvre, et il peut être considéré comme intermédiaire entre la maçonnerie et le béton proprement dits, car la résistance du cisaillement n'est pas négligeable lorsque l'épaisseur des joints de béton devient assez grande. On pourra donc l'employer dans les parties hautes et à l'intérieur du massif, et réduire l'épaisseur du mortier au fur et à mesure que la pression augmente. Il sera bon de réserver les blocs les mieux équarris pour les parties les plus chargées, où on les disposera avec joints dirigés autant que possible suivant les lignes isostatiques où le cisaillement est nul, ou, tout au moins, de telle façon que leur principale dimension soit parallèle à un plan suivant lequel le cisaillement est nul, en tenant compte du frottement.

D'après ce que nous avons dit précédemment, le cisaillement S', en tenant compte du frottement, peut être représenté par l'expression :

$$S' = a \sin 2\theta + b \cos 2\theta + c = 0$$

On déterminera les directions suivant lesquelles le cisaillement est nul en résolvant l'équation $S' = 0$, ce qui donne :

$$\operatorname{tg} 2\theta_3 = \pm \frac{ab \pm c\sqrt{a^2+b^2-c^2}}{a^2-c^2}$$

Si $\operatorname{tg}\beta = 1$, ce qui peut être considéré comme une limite supérieure, les directions du cisaillement maximum sont respectivement l'horizontale et la verticale, et l'on a, dans le voisinage du parement aval : (*)

$$S' = n''(\cos 2\theta \pm f \sin 2\theta \pm f)$$

et $$\operatorname{tg} 2\theta'_3 = \pm \frac{1-f^2}{2f} = \pm \operatorname{cotg} 2\gamma$$

d'où $$\theta'_3 = \frac{\pi}{4} \pm \gamma$$

γ désignant ici l'angle du frottement. Pour $f = 3/4$, γ est égal à 37° environ, de sorte que θ'_3 est égal à 8° (direction ON de la figure 77) ou à 82° (direction ON').

Sur la figure 77 ci-jointe, toute la partie teintée comprise dans les angles NOB et N'OB' est soumise au cisaillement, tandis que le secteur NON' en est exempt, si l'on tient compte du frottement (Les directions du cisaillement maximum C_1, avec frottement, sont représentées par OM et OM').

(*) On tend à admettre aujourd'hui que, de même que la rupture par compression est en réalité due au cisaillement, la rupture par traction serait le résultat d'une rupture par cisaillement, avec coefficient de frottement négatif. Cette manière de voir est d'ailleurs confirmée par certains résultats d'expérience.

Si dans l'expression de σ on change f en $-f$, on a $\sigma = 1$ pour $f = 0{,}75$.

(*) Nous tenons à rectifier ici une erreur qui nous avait échappé dans notre article de janvier 1906. Lorsque l'on fait intervenir le frottement, la tendance au glissement n'est pas $S' = S - Rf$, comme nous l'avions indiqué, mais $S' = S \mp Rf$. Le signe — correspondant au cas où S est positif, et le signe + au cas où S est négatif; le frottement Rf devant toujours s'opposer au glissement. En outre, S' ne peut avoir de valeur réelle que si S est, en valeur absolue, plus grand que Rf. Les directions suivant lequelles le cisaillement avec frottement est maximum font donc toutes deux un angle de $45 - \gamma/2$ avec les parements.

Si tg $\beta = 0$, ce qui est une limite inférieure, on a alors :

$$S' = n'' \frac{-\sin 2\theta \pm f(1 + \cos 2\theta)}{2}$$

et

$$\operatorname{tg} 2\theta_3'' = \pm \frac{2f}{1 - f^2} = \pm \operatorname{tg} 2\gamma$$

Les directions ON et ON' font ici un angle de 37° avec la verticale (figure 78).

Il est facile de trouver la valeur de β pour laquelle la direction ON coïncide avec l'horizontale : il suffit pour cela de poser $\theta = 0$ dans l'équation $S' = 0$, ce qui donne immédiatement :

$$2t \pm (n_1 - n) f \mp f(n + n_1) = 0$$

Dans le voisinage du parement aval, cette expression se réduit à tg $\beta = f$, c'est-à-dire que β doit être égal à l'angle du frottement, soit 37° environ.

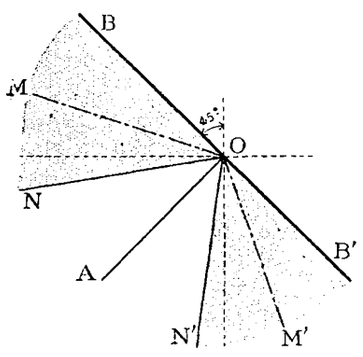


Fig. 77.

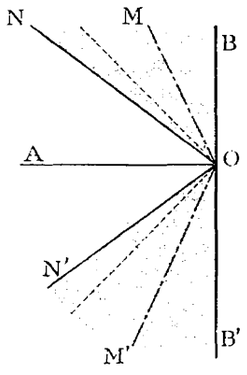


Fig. 78.

Pour que le mortier de la fondation du mur ne soit soumis à aucun effort de cisaillement, il suffit donc que la surface de contact du mur et du rocher soit inclinée à l'aval suivant la ligne ON de la figure 77, si β est compris entre 37 et 45°, et suivant l'horizontale, si β est compris entre 0 et 37°.

Lorsque la compression maxima devient très grande, il faut réduire l'épaisseur du mortier des joints au strict minimum, car l'on sait que l'influence du frottement du mortier sur la pierre empêche le gonflement transversal, ce qui augmente considérablement la résistance de rupture de ce mortier. On est ainsi conduit à employer, sur les parements, des moellons d'appareils avec joints minces disposés suivant les lignes isostatiques, où la pression est rigoureusement normale, c'est-à-dire suivant des perpendiculaires et des parallèles au parement. Dans le voisinage du parement, il sera bon d'appareiller grossièrement les moellons suivant la même direction, avec joints peu épais. Avec ce mode de construction, et si l'état du rocher de fondation le permet, on pourra prendre sans danger, pour limite de ρ : 12 kgs par cm² pour la chaux éminemment hydraulique, les ciments de grappier ou de laitier, et 16 à 18 kgs pour le ciment portland de première qualité.

M. Vicat estimait que la résistance de rupture des mortiers de chaux éminemment hydraulique, au dosage couramment employé pour les travaux hydrauliques, était de 144 kgs par cm². M. Bouvier, ayant procédé à des essais de compression de mortiers dosés à raison de 400 kgs de chaux hydraulique du Teil par m³ de sable granitique, et ayant 3 ans d'âge, constata que de petits blocs de 5 cm. de côté résistaient sans se rompre jusqu'à 100 kgs par cm² lorsqu'ils n'étaient soumis à aucune pression latérale s'opposant au gonflement, et jusqu'à 150 et même 180 kgs lorsqu'on s'opposait en partie à ce gonflement.

Avec le ciment portland, dosé à raison de 600 kgs par m³ de sable pas trop fin, on atteint couramment des résistances de rupture de 300 kgs par cm² (*). En se contentant, comme limite pratique, de 16 à 18 kgs pour la compression maxima, on ne court donc aucun danger. D'ailleurs, le le barrage de Chartrain, dont le mortier n'est constitué qu'avec de la chaux hydraulique du Teil, dosée à raison de 380 kgs par m³ de sable, résiste à la base sous une compression de 16 kgs par cm². Nous avons vu, en effet, que son parement aval était incliné de 0m95 par mètre à la base, or, d'après un rapport de M. Bouvier au Ve Congrès de navigation intérieure, la pression normale n'' atteint 8k510, ce qui correspond par suite pour A à 16k17 par centimètre carré.

La résistance à la compression augmente avec la quantité de ciment employé suivant la loi suivante, déduite de l'expérience et indiquée par M. Féret, qui montre quelle est l'influence du dosage sur la résistance à la compression : « Au bout d'une même durée de conservation, dans des conditions identiques, les résistances à la compression de tous les mortiers qu'on peut faire avec un même liant hydraulique quelconque, et des sables inertes, sont, quelles que soient la nature de la grosseur du sable, et les proportions relatives de liant, de sable et d'eau, à peu près portionnelles aux valeurs correspondantes de l'expression $\left(\frac{c}{1-s}\right)^2$, dans laquelle c et s représentent les volumes absolus de liant et de sable entrant dans l'unité de volume de mortier frais ». La même formule s'applique aux bétons à petits éléments, sauf à y changer s en $s + p$, p désignant alors le volume absolu occupé par les cailloux, ou pierrettes, dans l'unité de volume de béton frais.

Pour obtenir un bon mortier, à la fois résistant et adhérent aux pierres, il conviendra de prendre de préférence un ciment de fine mouture, et d'éviter les sables trop fins qui ne donnent, en général, que d'assez médiocres résultats, tant au point de vue de l'adhérence qu'à celui des résistances à la traction et à la compression (*). Il est à noter que l'adhérence est la plus forte pour les mortiers gâchés plastiques, et toujours moindres pour les mortiers secs, tandis qu'au contraire la résistance à la compression diminue quand la proportion d'eau augmente. Le mortier des parties très chargées, à joints minces, devra, par suite, être gâché plutôt sec, tandis que pour les parties situées à l'intérieur, à joints plus forts, et vers l'amont, surtout si l'on adopte le système américain, le mortier pourra être gâché plus mou, ce qui facilite le travail en retardant la prise.

Pour les barrages de grande hauteur, avec lesquels on arrive à des pressions considérables, on construira le mur

(*) Dans son traité de *Résistance des matériaux*, M. J. Résal, professeur à l'École des Ponts et Chaussées, estime que « dans les ouvrages soignés, comme choix et emploi des matériaux, on admet sans crainte des pressions de 16 kgs. Dans la construction des voûtes de pont on va jusqu'à 30 et 40 kgs. et pour l'arche d'expérience de *Souppes*, on a certainement dépassé 80 kilogrammes ».

La Commission du ciment armé a trouvé qu'un béton composé de 800 litres de gravier, 400 litres de sable et 300 à 400 kgs de portland, résistait à la compression au bout de 90 jours, à :

	160	180	200	kgs par cm²
pour	300	350	400	kgs de ciment

(*) La Commission des méthodes d'essais a admis pour les sables la classification granulométrique suivante : sont sables fins, moyens et gros, ceux qui passent à travers un tamis à maille circulaire de 0,5 mm., 2 mm. et 5 mm. Est considéré comme cailloux tout ce qui reste sur le tamis de 5 mm.

avec de la chaux pour les parties où la pression est inférieure à 10 ou 12 kgs par cm², et avec du ciment pour les autres. On déterminera à cet effet les courbes d'égales pressions, et, si le profil s'écarte peu du profil théorique triangulaire avec parement amont vertical, on remplacera ces courbes par les droites de la figure 27 (*).

Pour les ouvrages d'une certaine importance, on fera bien de se servir, sur les premiers mètres du parement amont, de mortier de ciment, de préférence à celui du mortier de chaux qui se délave beaucoup plus que le précédent. Si l'on veut avoir un mortier bien compact, aussi imperméable que possible, il faut que le volume de la pâte présente un volume au moins égal à celui du vide du sable (**).

Les fondations doivent être exécutées et surveillées avec le plus grand soin. Pour les ouvrages de quelque importance, elles doivent être absolument descendues jusqu'au rocher solide et résistant, à la fois incompressible et imperméable, car un barrage qui a de mauvaises fondations est un ouvrage bien compromis, et les réparations que l'on pourra y faire ne sauraient, bien souvent, y apporter qu'un faible remède, car elles seront en général très difficiles à exécuter, et se feront dans de mauvaises conditions. En outre, s'il se produit des mouvements de terrain à la base, ces mouvements peuvent amener des dislocations et des fissures dans les maçonneries dont les suites peuvent être désastreuses. Les ruptures des barrages de Puentès, du Bouzey et des Cheurfas sont là pour en témoigner. Aussi, c'est pour éviter de pareilles catastrophes, que, pour certains barrages, on n'a pas hésité à enfouir en terre un cube de maçonnerie parfois bien supérieur à celui qui émerge au-dessus du sol.

Si l'on veut éviter tout mécompte par la suite, il sera bon, avant d'établir les plans définitifs d'un barrage, de faire l'étude géologique des terrains sur lesquels on se propose d'implanter le mur, et de procéder à des sondages minutieux en divers points de l'emplacement préalablement choisi. Et si les résultats accusés par les sondages ne sont pas bons, il faudra recommencer ailleurs pour chercher un emplacement plus favorable (***). Lorsque l'on aura trouvé le rocher solide, on fera bien de s'assurer qu'il s'agit d'une couche puissante, et non d'un simple banc de faible épaisseur, ou bien qu'on n'est pas tombé sur une veine particulièrement résistante, et que, tout à fait à côté, le rocher ne se présente pas dans de mauvaises conditions.

(*) La densité du mortier de ciment est supérieure à celle du mortier de chaux, il y aura lieu d'en tenir compte dans les calculs de vérification de la stabilité. Voir *La Houille Blanche*, août 1905.

(**) Ce vide se mesure en déterminant la quantité d'eau qu'on peut introduire dans un volume connu de sable. Pour connaître le volume de pâte que donne 1 kg. de ciment, il suffit d'ajouter, au volume occupé par 1 kg de poudre, le volume d'eau de gâchage nécessaire pour obtenir une pâte de consistance normale. D'après M. Feret, les rendements en pâte de 1 kg. de poudre sont de 0l730 à 0l850 pour les chaux, et de 0l570 à 0l630 pour les ciments portlands.

A propos de l'appauvrissement des mortiers de chaux hydraulique, nous signalerons une communication, faite au Congrès de l'*Association Française pour l'avancement des Sciences*, tenu à St-Etienne en 1897, par M. Reuss, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. D'après des expériences faites par cet ingénieur sur les efflorescences calcaires du parement aval du barrage du Gouffre d'Enfer, le poids de la chaux entraînée depuis *trente* ans ne serait que *un cent quatre vingtième* du poids total de la chaux employée. Le barrage peut donc durer encore bien des siècles, mais il n'en est pas moins vrai qu'il y a là une cause latente d'appauvrissement.

(***) Dans le cas de barrages de grande hauteur, il faudra s'assurer que le terrain qui constitue les flancs de la vallée ne présente pas de fissures, car s'il n'en était pas ainsi, des sources considérables ne tarderaient pas à se former à travers ces fissures, dont le moindre inconvénient serait de diminuer l'effet utile du réservoir.

Construction du mur. — Une fois l'emplacement du du barrage définitivement arrêté, et les travaux décidés, on commencera par mettre à sec l'emplacement choisi. Pour cela, on barrera la rivière, à l'amont et à l'aval, au moyen de bâtardeaux solidement établis, et descendus assez profonds pour éviter des infiltrations importantes, puis l'on dérivera les eaux, soit dans un tunnel percé dans le rocher de l'une des rives, soit dans des tuyaux qui seront ultérieurement noyés dans les fondations des parties du mur qui s'appuient contre les flancs de la vallée. Ces tuyaux seront ensuite utilisés comme prises d'eau ou évacuateurs de dépôts, toutefois, cette dernière solution n'est applicable que si le débit de la rivière est assez faible. La section du tunnel ou des tuyaux doit être calculée très largement, de manière à pouvoir évacuer les plus fortes crues.

L'emplacement du barrage étant mis à sec, on procèdera aux fouilles et à l'évacuation des déblais.

Lorsque le rocher sain aura été complètement mis à nu, on le nettoiera soigneusement au moyen de jets d'eau sous très forte pression, et on étendra sur la surface de fondation une couche de mortier riche en ciment, sur laquelle on implantera les premières assises des maçonneries.

En Amérique, pays des procédés expéditifs, on se sert beaucoup de transporteurs aériens par câbles (*). De forts pylônes sont montés sur les flancs de la vallée, et, entre eux, on tend plusieurs câbles sur lesquels se déplacent des chariots qui servent, tout d'abord à extraire les déblais des fouilles de fondation, puis ensuite à apporter les matériaux nécessaire à la construction, pierres et mortiers. Des *derricks*, ou grues d'un type particulier, sont établis un peu partout, pour répartir sur toute la largeur du mur les matériaux apportés par les câbles. La photographie ci-jointe donne une vue du barrage de Wachusett (déjà décrit) pendant sa construction.

Au nouveau barrage du Croton, pour terminer plus rapidement la partie sud, qui devait primitivement être constituée par un barrage mixte et qui, de ce fait, se trouvait en retard, on a monté des pylônes métalliques sur la maçonnerie, et sur ces pylônes se trouvaient des derriks travaillant concurremment avec les transporteur aériens. Au fur et à mesure que l'ouvrage s'élevait, on augmentait la hauteur du pylône, et l'on noyait sa base dans la maçonnerie. D'autres derricks, installés sur des échafaudages s'appuyant sur le sol et sur le parement aval, permettaient d'accélérer le travail.

Au barrage de Cross River, actuellement en construction pour le service des eaux de New-York, et pour lequel les travaux sont poussés avec une activité remarquable, on a installé 3 câbles aériens, du type Lidgerwood, qui vont d'un côté à l'autre de la vallée. Afin de ne pas gêner la construction, et de laisser complètement libre la surface des maçonneries, on a installé de chaque côté du mur un nombre considérable de derricks qui sont montés sur des échafaudages en bois rudimentaires, que l'on surélève en même temps que la maçonnerie en les appuyant sur le

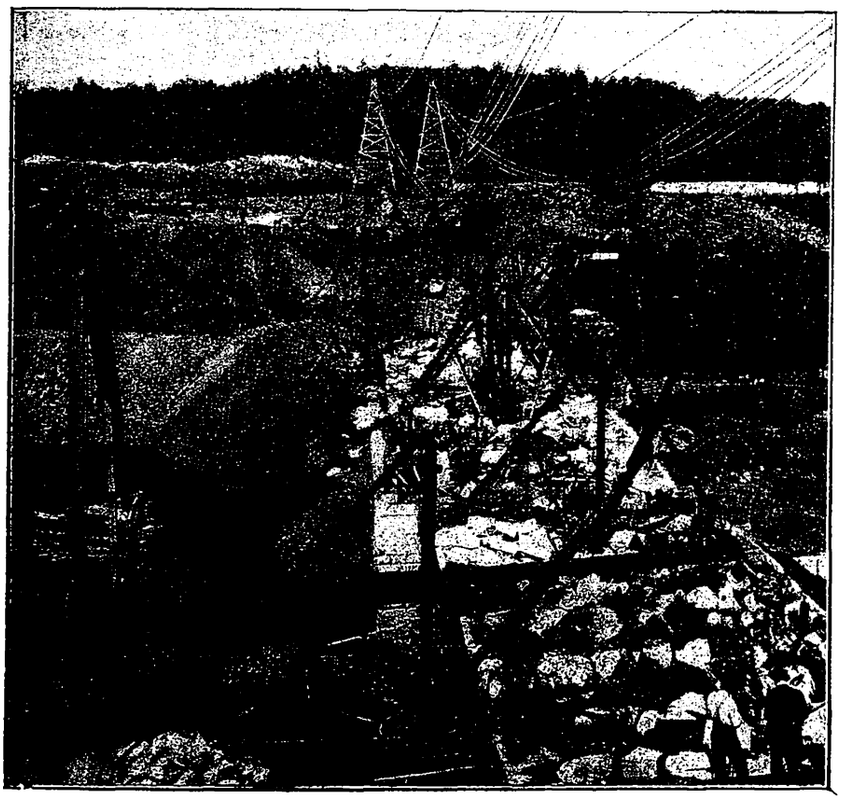
(*) L'emploi des transporteurs aériens par câbles tend à se répandre de plus en plus dans les grands chantiers de constructions, et notamment, dans les chantiers de construction des immenses transatlantiques modernes dont la longueur totale dépasse 200 mètres.

Lors de la construction du pont du Zambèze, près des chutes de ce fleuve, aux Victoria Falls, on s'est servi d'un transport aérien franchissant une portée de 270 m. entre pylones extrêmes. La hauteur maxima du cable au-dessus des eaux du fleuve était de 140 m. Ce même transporteur a servi à transborder d'une rive à l'autre une grande quantité de matériel, jusqu'à 10 tonnes à la fois, nécessaire au chemin de fer du Cap au Caire, pendant la construction du pont.

parement aval au moyen de pièces de fer scellées dans la maçonnerie.

En Europe, on emploie bien quelquefois des transporteurs aériens par câbles, mais jusqu'ici ils ont été réservés pour l'approche des matériaux jusqu'au chantier. La distribution des matériaux sur le mur se fait alors au moyen de wagonnets roulant sur de petites voies établies, soit sur les maçonneries elles-mêmes (barrage du Gouffre d'Enfer, barrage de l'Urft, etc. (*), soit sur un échafaudage installé au-dessus des maçonneries et s'appuyant d'abord sur le sol, lorsque le mur est encore peu élevé, puis sur des consoles fixées sur les parements, comme cela a été fait pour le barrage du Ban, par exemple.

Sur le parement amont, on appliquera un enduit, afin de diminuer les chances d'infiltration. On repiquera les joints, et on appliquera un premier enduit au mortier de ciment à 1 pour 1. Pour éviter que cet enduit ne vienne à se fendiller



VUE DU BARRAGE DE WACHUSETT PENDANT SA CONSTRUCTION

sous l'effet des variations de température, il sera bon de l'armer au moyen d'un treillis en fil de fer, analogue à celui qu'on emploie pour certaines palissades, et que l'on fixera au moyen de crampons contre le parement amont. Sur ce premier enduit, on en appliquera un second, constitué soit par de la pâte de ciment, soit par du goudron ou du coaltar, soit encore avec de l'asphalte posée à chaud.

Comme les mortiers n'acquièrent toute leur résistance qu'au bout d'un temps assez long, supérieur à une année, il est préférable de mettre le mur progressivement en eau, et de régler la hauteur de l'eau de telle façon que la courbe des pressions passe aussi près que possible du milieu de la base, de manière à avoir partout sur la base une pression égale à la pression moyenne.

Disposition en plan. — Sous l'effet d'une augmentation de température, la maçonnerie du barrage se dilate, et comme la distance des points d'encastrements de l'ouvrage dans les flancs de la vallée restent fixes, il en résulte un effort de compression dans le sens de la longueur du mur, qui, à ce point de vue, peut être assimilé à une poutre soumise à des efforts de compression suivant son axe. Si l'ouvrage est établi en plan suivant en ligne droite, il se produit un flambement, qui tend à augmenter la flèche prise par le barrage sous la pression de l'eau ; c'est-à-dire que le couronnement, de rectiligne qu'il était primitivement, s'incurve vers l'aval à la manière d'une poutre encastrée à ses deux extrémités (*).

Au contraire, sous l'action d'une diminution de température, la maçonnerie se contracte, et comme, d'une part, l'adhérence du mortier à la pierre est faible, et que, d'autre part, la limite d'élasticité du mortier à la traction est assez réduite, il tend à se produire des fissures verticales dans lesquelles l'eau peut alors pénétrer.

Si ces fissures restaient normales à l'axe longitudinal du mur, l'eau qui s'y introduirait ne pourrait que comprimer le mur suivant sa longueur, et, si deux semblables fissures venaient à se produire à une certaine distance l'une de l'autre, le massif intermédiaire serait soumis à sa stabilité propre, conformément à ce qui est prévu dans les calculs, de sorte qu'il n'y aurait rien à craindre. Mais, le plus souvent, les fissures se propagent dans les maçonneries en suivant les joints des diverses pierres, et en lignes irrégulières, dont la direction générale n'est pas celle de la normale aux parements, et c'est là qu'est le danger.

Chaque élément d'une fissure oblique est, en effet, soumis à une pression d'eau qui peut se décomposer en deux : l'une, parallèle à l'axe longitudinal, est sans importance, car elle ne fait que comprimer le mur suivant sa longueur, mais l'autre lui est perpendiculaire, et tend à renverser la portion de mur qui est compris entre l'élément considéré et le parement aval. Or, son intensité et son moment de renversement sont les mêmes que sur le parement amont, tandis qu'au contraire le moment de résistance est plus faible. Si la fissure est de dimension considérable, la stabilité du mur peut être compromise. Or, il est impossible de savoir comment se propage à l'intérieur du massif une fissure qui n'est qu'apparente sur le parement amont. Il importe donc de chercher un mode de construction qui empêche ces fissures, et l'on peut y arriver en disposant le barrage en plan suivant un arc de cercle.

D'après un rapport de M. CADART au Vᵉ Congrès de navigation intérieure, on a observé qu'à la suite d'un hiver rigoureux sept fissures verticales se formèrent dans le barrage de la Mouche, alors que le plan d'eau était maintenu

(*) Au barrage du Gouffre d'Enfer, on a placé sur le parement aval neuf rangées de corbeaux en pierre de taille, disposés en quinconce, espacés de 4ᵐ60 d'axe en axe, et faisant saillie de 0ᵐ40. Ces corbeaux ont été établis dans le double but de rompre la monotonie de l'ouvrage et de faciliter la construction en permettant d'y asseoir des échafaudages. Ce dispositif nous paraît avantageux à tous les points de vue, et mérite d'être pris en considération.

(*) Le coefficient de dilatation linéaire varie de 6 à 11×10^{-6} pour les pierres de taille, et de 10 à 12×10^{-6} pour les mortiers de chaux et ciment. La moyenne pour la maçonnerie ressort à environ 10×10^{-6}.

à 3 m. en contrebas de son niveau normal. Ce barrage est établi en ligne droite ainsi que nous l'avons déjà dit. Ces fissures présentaient leur maximum d'ouverture au sommet, et disparaissaient complètement à 11 m. en dessous du niveau normal de la retenue ; elles se refermèrent graduellement lorsque la température se releva ; quatre d'entre elles disparurent complètement, trois autres demeurèrent longtemps visibles, bien que considérablement rétrécies. On a constaté de plus que le barrage se déformait légèrement vers l'aval au moment des fortes chaleurs, et qu'il présentait alors la forme d'une courbe à deux points d'inflexion.

Avec un barrage établi en plan suivant un arc de cercle, il ne peut pas se produire de fissures verticales, lorsque la maçonnerie se contracte sous l'effet d'une diminution de température, car la pression de l'eau provoque toujours un effort de compression dans le sens longitudinal (*). Les variations de température ne produisent qu'une variation de la flèche de l'arc. Cette variation est maxima au sommet et nulle à la base, car, dans le voisinage immédiat de cette base, la maçonnerie est à la même température que le rocher, et les mouvements que la maçonnerie peut prendre par à rapport au rocher ne peuvent provenir que de la différence de leurs coefficients de dilatation, c'est-à-dire qu'elle est pratiquement nulle.

On devra donc établir les barrages en plan suivant un arc de cercle, tel que la flèche soit au moins égale au vingtième de la largeur de la vallée. Dans le cas d'ouvrages de très grande longueur, comme celui de la Mouche par exemple, il sera préférable de construire le mur suivant plusieurs arcs de cercle, à la manière des voutes d'un pont, en ménageant un renforcement de l'ouvrage à la jonction de deux arcs consécutifs.

Evacuation des crues. — Les crues et les dépôts sont deux ennemis du barrage-réservoir, car les unes peuvent compromettre sa solidité et les autres son efficacité. On est donc obligé de prendre toutes les précautions possibles pour annihiler leurs mauvais effets.

Le moyen le plus simple qui existe pour se débarasser des crues consiste à établir, en contrebas de la crête du barrage, un déversoir suffisamment long et bas pour évacuer les crues, sans que les eaux puissent jamais se déverser par-dessus le barrage. On disposera le déversoir D sur l'un des flancs de la vallée, suivant une direction sensiblement perpendiculaire à celle du barrage, de manière à pouvoir lui donner tout le développement désirable. Un canal de décharge C recevra les eaux de trop plein, et un orifice, ménagé dans le mur de barrage à son extrémité, permettra aux eaux de trop plein de s'écouler à l'aval. Afin que celles-ci ne viennent à dégrader la roche, et afin de permettre aussi aux poissons de remonter librement la rivière, on entaillera le rocher suivant une série de gradins E, de faible hauteur, constituant ce qu'on appelle des échelles à poissons. Au besoin, on disposera un déversoir à chacune des extrémités du barrage.

Le déversoir est au barrage ce que la soupape est à la chaudière, aussi devra-t-il être calculé largement, en se basant sur les plus fortes crues connues. Si l'on n'a pas de données sur le débit de ces plus fortes crues, on admettra qu'à chaque hectare du bassin hydrologique d'alimentation du réservoir correspond un débit de crue de 10 à 20 litres par seconde, suivant que ce bassin est complètement dénudé ou boisé, à pente très rapide ou presque plat, et constitué par du terrain perméable ou imperméable (*). En tout cas, ce qu'il importe de ne pas perdre de vue, c'est qu'une exagération des dimensions du déversoir ne peut entraîner qu'à un très léger supplément de dépense, tandis qu'au contraire une économie sur ce chapitre pourrait conduire aux pires désastres.

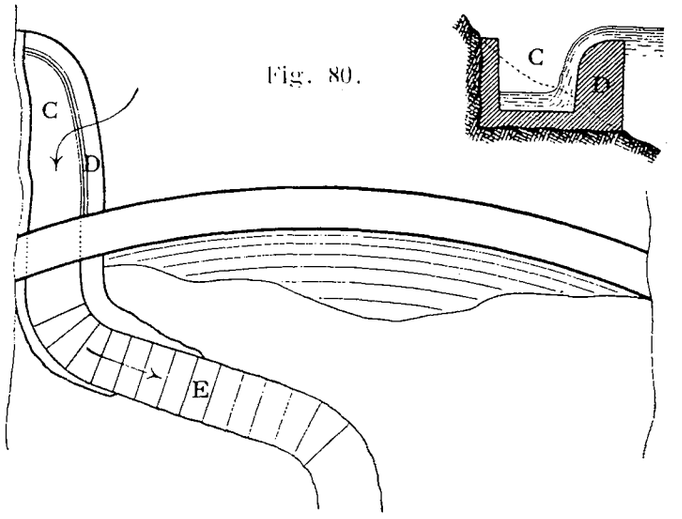


Fig. 80.

Dans certaines gorges abruptes et étroites, servant d'émissaires à des régions dénudées et à très fortes déclivités, analogues à celles du Drac ou de nombre de torrents pyrénéens, la création d'un déversoir pareil à celui qui vient d'être décrit peut être très difficile. Dans le cas d'un barrage de faible hauteur, comme celui d'Avignonet par exemple, on peut admettre que la crue s'écoule par dessus le barrage qui constitue lui-même son propre déversoir, mais, pour un barrage de grande hauteur, cette solution devient inadmissible, ou peu rationnelle, tout au moins, à cause du danger d'affouillement à l'aval. Il faudra alors creuser des galeries dans le rocher, de façon à former des siphons s'amorçant automatiquement lorsque le niveau dépasse une certaine hauteur, et aboutissant à quelque distance en aval du barrage. La grande hauteur de la retenue permettra alors, avec des sections relativement faibles, d'évacuer de très grandes quantités d'eau.

On calculera le déversoir au moyen de la formule de M. Bazin :

$$q = alh\sqrt{2gh}$$

où q est la quantité d'eau débitée par seconde ; a est un coefficient qui varie avec les dimensions du déversoir et h la hauteur maxima que l'eau ne doit pas dépasser au dessus du seuil de ce déversoir dont la longueur est l et la

(*) Si le réservoir était vide pendant la période des froids, ce qui est à peu près l'inverse de ce qui a lieu en réalité, il pourrait bien se produire des fissures verticales, mais elles se refermeraient d'elles-mêmes au fur et à mesure de la mise en eau, sous l'effet de la compression longitudinale.

(*) Dans une communication faite au IIe Congrès du Sud-Ouest navigable tenu à Toulouse en 1903, M. L.-A. Fabre, inspecteur des Eaux et Forêts, a signalé que lors des pluies torrentielles tombées en juillet 1897 sur les 1500 hectares de landes nues qui constituent la partie haute et imperméable du plateau de Lannemezan, la crue qui s'en suivit, constatée aux déversoirs du canal de la Neste, fut de 25 m³, ce qui correspond à 17 litres par seconde et par hectare.

Le Drac, au barrage d'Avignonet, a un bassin hydrologique de 1800 kilomètres carrés environ ; or les grandes crues dépassent 1000 m³ par seconde, et le barrage a été prévu comme devant résister à une crue de 1200 m³, ce qui correspond à 15 litres par hectare.

largeur c. Si l'on désigne par H la hauteur du sommet du déversoir au dessus du sol, mesurée à 1 m. en avant de son parement amont, la valeur de a est donnée par la relation suivante, pour le cas où le seuil est horizontal (*) :

$$a = \left[1 + 0{,}55 \left(\frac{h}{h+H}\right)^2\right]\left[0{,}405 + \frac{0{,}003}{h}\right]\left[0{,}70 + 0{,}185\,\frac{h}{c}\right]$$

Lorsque $h > 2\,c$, la dernière parenthèse doit-être remplacée par l'unité.

La hauteur H est, en général, déterminée par la condition que le canal d'évacuation C puisse débiter toute l'eau qui passe sur le déversoir.

On peut augmenter la capacité d'évacuation du déversoir en divisant celui-ci en deux parties arrasées à des niveaux différents, la partie la plus basse étant munie de vannes qui s'ouvrent automatiquement lorsque l'eau atteint dans le réservoir, sous l'effet d'une forte crue, un niveau déterminé.

Il existe divers types de vannes automatiques. L'un des plus simples, et des plus pratiques, comprend un platelage, presque vertical en temps normal, qui est mobile autour d'un axe horizontal, et s'appuye à la base contre une butée fixée sur le parement amont du déversoir. L'axe de rotation se trouve en général au tiers de la hauteur de la vanne, de sorte que celle-ci se trouve en équilibre instable dès que le niveau de l'eau affleure le sommet de la vanne. Celle-ci se renverse, par suite, dès que l'eau s'élève au-dessus de sa crête, et laisse ainsi passage à la crue. Quelquefois, on munit ces vannes d'un contrepoids qui les fait se refermer d'elles-mêmes dès que, les crues étant en décroissance, l'eau repasse dans le réservoir à un niveau donné.

Evacuation des dépôts. — Certaines rivières, coulant dans des régions boisées et peu accidentées, charrient assez peu; c'est ainsi que, pour la Marne et pour la Seine, on a trouvé une moyenne de 70 à 80 grammes de dépôts par m³ d'eau. Au contraire, les torrents qui descendent des régions montagneuses et dénudées charrient énormément. C'est ainsi que pour le Var, on a trouvé une moyenne de 3 à 4 kgs de dépôts par m³, le maximum ayant lieu avec 11 kgs. D'après M. Quinette de Rochemont, le Rhône déverserait dans la Méditerranée environ 39 000 millions de m³ d'eau, et le volume total des matières solides entraînées serait de 18 millions de m³, soit une proportion de un deux millième. A Toulouse, la Garonne charrie de 3 à 25 kgs de dépôts par m³. En Espagne, les eaux du Guadalentin sont parfois chargées à 40 kgs. On voit donc quel cube considérable de matériaux peut envahir les réservoirs. Au barrage de Saint-Denis du Sig, l'apport est de 100 000 m³ par an, au barrage la Djidiouia (**) les vases s'accumulent annuellement de 250 000 m³. Le barrage du Verdon, établi pour la prise d'eau du canal d'Aix, créait un réservoir d'une capacité de 1 325 000 m³, ce réservoir a été comblé en cinq ans par les graviers et dépôts de limon.

Les galets et graviers, qui sont les plus lourds, puis les sables, se déposent les premiers, tout d'abord à l'entrée du réservoir, où ils créent un exhaussement qui a une pente assez faible suivant le sens du courant, mais se terminant brusquement à la manière d'un remblais exécuté par décharges successives. Si l'on n'intervient pas, ils progressent peu à peu en comblant le réservoir. Mais il est un moyen relativement facile de les arrêter, c'est d'établir à l'entrée du réservoir un petit barrage noyé de faible hauteur. Les graviers et les gros sables viennent alors s'entasser contre son parement amont; quelques dragages opérés de temps en temps les empêcheront de passer par dessus le barrage et de venir se déverser dans le réservoir.

Mais les dépôts les plus gênants proviennent surtout des limons et sables fins tenus en suspension dans l'eau. Ceux-ci se déposent dans le réservoir dès que la vitesse y devient très faible, c'est-à-dire vers le haut lorsque le réservoir est plein; puis, au fur et à mesure que celui-ci se vide, les apports se déposent de plus en plus bas, et finissent par arriver jusqu'au pied du mur lorsque le réservoir est vide. Le problème de l'évacuation de ces dépôts est plus compliqué que celui de l'évacuation des crues, et il est loin d'être rationnellement résolu.

Tous les anciens barrages espagnols étaient munis d'un évacuateur, ou *desarenador*. Le barrage d'Elche, notamment, est muni d'une galerie voûtée de 2 m. de hauteur sur 1m 80 de largeur. Cette galerie est fermée à l'amont au moyen d'une porte constituée par des poutrelles verticales, qui peuvent tomber vers l'aval, et sont maintenues en place, malgré la pression de l'eau, par trois traverses horizontales en bois. Lorsque les vases accumulées contre les poutrelles ont acquis une certaine consistance, on enlève les deux traverses supérieure et inférieure, et l'on place deux étais provisoires contre la traverse centrale que l'on scie en son milieu. Puis l'on place un étai sur le trait de scie, et l'on enlève les étais provisoires. Un ouvrier monte alors dans une seconde galerie située au-dessus et, par un trou ménagé dans ce but, il fait tomber l'étai ainsi que les deux moitiés de la traverse. Il fait aussi tomber la porte, qui n'est plus retenue à l'aval, en tirant sur une corde accrochée à la partie supérieure de celle-ci. Pour provoquer l'évacuation, on descend sur le devant du barrage une lourde barre à mine avec laquelle on désagrège le dépôt des vases. Sous la pression de l'eau, celles-ci se mettent peu à peu en mouvement, très lentement d'abord, puis, tout à coup, la débâcle se produit, et un mélange d'eau et de boue se précipite en pleine galerie et s'évacue au dehors.

Ce système de barrage est quelque peu barbare, et le curage une fois commencé ne peut plus être arrêté ; tout le volume d'eau emmagasiné au début de l'opération est forcément perdu. De plus, cette opération n'est possible que lorsque les vases ont acquis une certaine consistance, c'est-à-dire au bout de 4 ou 5 ans seulement (*).

Au barrage de l'Habra, on disposa deux évacuateurs à 35m 70 de distance l'un de l'autre, et présentant chacun une surface de 2,24 m². A leur extrémité d'amont, ils étaient obturés par une vanne mobile, en tôle de blindage, de 8 centimètres d'épaisseur, glissant sur des coulisseaux en fonte rapportés à l'entrée de l'orifice, dont la largeur était de 1m20. La tige de la vanne était filetée à sa partie supérieure, et le déplacement vertical de celle-ci était obtenu au moyen d'une roue-écrou de 1m50 de diamètre, sur laquelle

(*) En arrondissant l'angle du seuil avec le parement amont, on diminue le coefficient de contraction, ce qui a pour effet d'augmenter le débit. En arrondissant l'angle d'aval, on augmente aussi le débit, mais il est plus prudent de n'en pas tenir compte, en cas d'imprévu.

(**) Barrage construit en Algérie, sur la rivière de ce nom, et qui a 17 m. de hauteur au-dessus des fondations et 8m50 au-dessus du sol. Sa largeur est de m. au sommet, de 11m 50 au niveau du sol et de 16 m. sur les fondations. La capacité du réservoir créé est de 2 millions de mètres cubes.

(*) Au nouveau barrage des Puentès, on a établi des vannes métalliques à commande hydraulique.

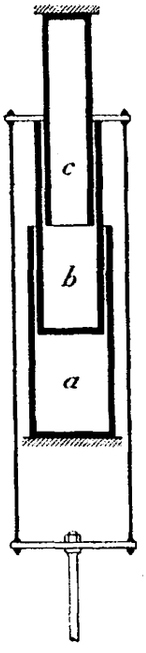


Fig. 81.

on agissait au moyen d'un système d'engrenages. Pour lever complètement la vanne (2 m.), il fallait 5 heures et demi avec 4 hommes; aussi M. Pochet pensait que, pour vaincre l'effort considérable développé par la vanne sur son siège, il serait préférable d'installer une double presse hydraulique dont les pistons seraient montés sur l'axe même de la tige verticale (*).

Un premier type d'appareil de chasse moderne, basé sur ce principe, a été établi par la Cie de Fives-Lille au barrage des Cheurfas, précédemment décrit. L'évacuateur a la forme d'un rectangle, de 1m50 de haut sur 1m60 de large, surmonté d'un demi-cercle de 0m80 de rayon ce qui correspond à une section de 3,4 m². La vanne est rectangulaire, elle est en fonte avec des nervures, et recouvre l'orifice de 0m10 sur chaque côté, de 0m10 en haut et 0m08 en bas. L'effort nécessaire pour monter la vanne est de 70 tonnes lorsque le réservoir est plein, il est de 50 tonnes pour la descendre. Cet effort considérable est produit par une presse spéciale, schématiquement représentée sur la figure 81, et installée au niveau du couronnement dans le prolongement de la tige de la vanne.

La presse se compose de 2 cylindres fixes, *a* et *c*, entre lesquels coulisse un piston creux *b*, relié à la tige de la vanne. Si l'on veut faire monter celle-ci, on envoie l'eau sous pression en *a*, et, inversement, si l'on veut faire descendre la vanne, on envoie l'eau en *c*.

Aux barrages de la Djidiouïa et du Hamiz, on a installé un évacuateur d'un autre système, dû à M. Jandin, et dont la principale caractéristique consiste dans l'emploi d'un conduit à double tronc de cône, ressemblant quelque peu à un tube de Venturi; la vanne est installée un peu en avant de la partie rétrécie C. Grâce à l'évasement progressif de la partie AC, et à l'ajutage divergent CB qui lui fait suite, l'effet dû à la contraction est à peu près anihilé, et la valeur du débit est sensiblement égal à la valeur-limite $\Omega\sqrt{2gH}$. L'effet de l'évacuateur peut être ainsi augmenté de 20 pour 100. Toutefois, le rapport des sections ω et Ω, en C en B (voir figure 82), doit être tel que la pression ne devienne jamais théoriquement négative en C, sinon il se produirait des oscillations dans le débit, ce qui entraînerait des ébranlements de l'évacuateur (**).

L'évacuateur est, en réalité, fermé par deux vannes. La vanne proprement dite est placée immédiatement en avant de la section rétrécie, ainsi que nous l'avons déjà dit, et elle est composée d'un disque sphérique de 1m25, obturant un orifice de 1m20 de diamètre. A l'entrée de l'évacuateur, se trouve une vanne de garde contre laquelle s'accumulent les dépôts; elle est également sphérique, et a 1m70 de diamètre. Cette vanne ne peut être déplacée que lorsque l'on a introduit l'eau sur sa face arrière, et, à cet effet, elle est percée de deux orifices que l'on peut découvrir ou obturer à volonté. Ces vannes reçoivent leur mouvement au moyen de tiges reliées à deux pistons se déplaçant dans deux cylindres. Les corps de l'évacuateur est constitué par des anneaux en fonte.

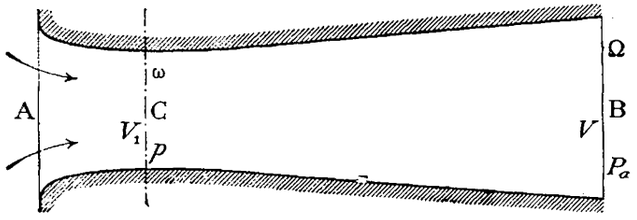


Fig. 82.

Au barrage de la Djidiouia, ces deux cylindres sont placés à la partie supérieure du barrage; ils ont respectivement 0m70 et 0m40 de diamètre avec 1m25 et 1m70 de course, et reçoivent l'eau sous pression d'un petit réservoir, situé à flanc de coteau, à 50 m. de hauteur, et alimenté par une petite pompe à bras. L'effort nécessaire pour soulever la vanne proprement dite est de 19 tonnes. Quant à celui de la vanne de garde, il est plus faible.

Au barrage du Hamiz, le cylindre qui commande la vanne principale est installé un peu au-dessus de l'évacuateur, dans une petite chambre ménagée dans le corps du barrage. Cette disposition a l'avantage de raccourcir la longueur de la tige, mais, par contre, elle a l'inconvénient d'affaiblir le mur en ce point Cette disposition se justifie ici par ce fait que ce système n'a été appliqué à ce barrage que longtemps après sa construction; le premier dispositif prévu étant analogue à celui du barrage d'Elche. La disposition la plus rationelle consisterait à placer cette chambre et cet évacuateur dans le rocher de l'un des flancs de la vallée.

Les dispositifs précédents présentent cet inconvénient que, si les limons sont bien entraînés par les chasses dans le voisinage immédiat de l'évacuateur, l'influence de cet appareil se fait de moins en moins sentir au fur et à mesure qu'on s'en éloigne. Il se forme une espèce d'entonnoir devant l'évacuateur, entonnoir dont les génératrices sont inclinées sur l'horizontale suivant une pente qui varie avec la consistance des dépôts. L'eau s'écoule dans cet entonnoir pour se rendre à l'évacuateur sans produire grand effet (*).

Pour remédier à cet inconvénient, M. Jandin, ingénieur à Lyon, déjà cité, qui s'était chargé en 1891 de l'entreprise du dévasement du réservoir de la Djidiouia, a employé un système qui a donné d'assez bons résultats (**). Il consiste à

(*) Actuellement, la manœuvre des vannes est faite au moyen d'un système hydraulique.

(**) Si le mélange d'eau et de limon s'écoule en B à gueule bée, la loi de Bernoulli donne :

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p}{k} = \frac{V^2}{2g} + \frac{P_a}{k} = H + \frac{P_a}{k}$$

d'autre part, on a $\omega V_1 = \Omega V$, de sorte que la pression p a pour valeur :

$$\frac{p}{k} = \frac{P_a}{k} - \left(\frac{\Omega^2}{\omega^2} - 1\right) H$$

La plus petite valeur que puisse prendre p étant zéro, la plus grande valeur que l'on puisse donner à Ω est :

$$\Omega = \omega \sqrt{1 + \frac{10^m33}{kH}}$$

(*) Pour y remédier, M. Calmels a proposé, en 1881, de se servir de l'air comprimé pour dégager les vases, les remettre en suspension, et faciliter leur entraînement. Ce système n'a pas donné les résultats qu'on en attendait, il ne fait qu'augmenter les dimensions de l'entonnoir, et, lorsqu'on s'éloigne de l'évacuateur, la vitesse de l'eau devient très faible, de sorte que les vases se redéposent presque en partie, sans être entraînées.

(**) Au barrage de la Djidiouia, la pente de l'entonnoir formé devant l'évacuateur était de 20 pour 100 environ, les dépôts étant constitués par des limons argileux. M. Jandin avait entrepris le dévasement au prix forfaitaire de 0 fr. 20 par m³ jusqu'à 1 200 000 m³ et 0 fr. 15 au delà. Dans l'espace de 3 ans, M. Jandin a dévasé 2 millions de m³ de dépôts.

draguer les dépôts limoneux par aspiration, à la manière des dragues suceuses des ports maritimes; mais, au lieu d'employer une énergie étrangère pour produire l'aspiration, M. Jandin a utilisé celle de la chute créée par le barrage de la Djidiouia.

Lorsque les dépôts sont peu consistants, l'aspiration naturelle suffit pour provoquer leur entraînement (20 à 25 pour 100 de vase molle, pour 75 à 80 d'eau). Pour les dépôts ayant acquis une certaine consistance, M. Jandin a disposé, à l'entrée du tuyau, une petite turbine qui entraîne une scie circulaire hémisphérique qui découpe des copeaux dans la vase; ceux-ci sont entraînés dans le tuyau d'évacuation par le courant d'eau, et rejetés en dehors (dans la proportion de 10 à 15 pour cent pour les dépôts récents de 1 à 3 ans de date, mais pouvant tomber à 6 et même à 4 pour les vieux dépôts). Le draguage complet s'est effectué jusqu'à 300 m. du barrage; la conduite flottante d'évacuation comportait des joints flexibles, et était soutenue par des flotteurs.

Pour entretenir le dévasement, M. Jandin a préconisé l'emploi de tubes suceurs, de petit diamètre, répartis en divers endroits, et reliés à la conduite générale d'évacuation. C'est à notre avis une excellente solution.

En général, le ou les usagers de l'eau emmagasinée dans un réservoir artificiel, doivent restituer à l'aval une certaine quantité d'eau fixée par les règlements. Lorsque cette quantité d'eau n'est pas trop faible, et que l'apport de la rivière n'est pas trop grand, on peut évacuer les dépôts d'une manière continue, en disposant l'une des prises d'eau correspondantes assez près du fond, au moyen d'un petit siphon par exemple. Le courant d'eau continu qui se forme devant cet orifice entraîne les dépôts au fur et à mesure qu'ils viennent se former dans son voisinage. Ce dispositif est actuellement employé au barrage du Gouffre d'Enfer; toutefois, pour qu'il soit réellement efficace, il faudra disposer plusieurs prises en différents endroits, de manière à réaliser les suceurs de M. Jandin.

Nous avons dit plus haut, à propos des évacuateurs de crues, que l'on pouvait, dans certains cas, être conduit à employer des siphons s'amorçant automatiquement, et débitant sous la hauteur totale de la retenue. Au lieu de faire déboucher ces siphons presque au niveau de leur point le plus élevé, on peut les faire déboucher près du fond, de la sorte, les crues qui amènent les dépôts se chargent elles-mêmes de les évacuer en partie. Dans ce cas, il est bon, pour s'éviter toute surprise en cas d'obstruction intempestive de l'orifice d'entrée du bas du siphon, de ménager un second orifice vers la partie supérieure, cet orifice, obturé en temps ordinaire, ne servant que d'orifice de secours. D'autre part, le siphon peut se terminer, à sa partie inférieure amont, par plusieurs orifices disposés en des endroits différents, de manière à opérer successivement des chasses en divers points,

Pendant longtemps, le barrage en maçonnerie a été considéré comme quelque chose de mystérieux, qu'on ne devait aborder qu'avec beaucoup de prudence. Nous espérons que nos articles, un peu longs peut-être au gré du lecteur, montreront qu'il est possible de construire des murs réalisant le minimum de maçonnerie, tout en possédant une stabilité qu'on ne saurait mettre en doute.

H. BELLET.

Le nouveau Projet de transport à Paris de l'Énergie du Rhône (*)

La nouvelle solution consiste dans la création d'un barrage unique, de grande hauteur, à la sortie de la partie la plus étroite des gorges du Rhône, de façon à noyer celles-ci sur toute leur longueur, et ramener ainsi le plan d'eau supérieur du fleuve au niveau qu'il devait avoir autrefois avant la corrosion de son lit. Les points qui paraissent le plus propice pour l'édification de ce grand barrage se trouvent au voisinage de la station de Génissiat (Ain), soit en amont du ravin de la Dent, soit en amont de Monthoux, soit encore un peu plus à l'aval ou à l'amont, si la suite des études en démontre l'opportunité.

Dans le précédent projet, on avait adopté la cote 330,50 pour le niveau de l'eau à la frontière suisse, et celle de 262,25 pour l'évacuation des turbines à Monthoux. La différence de niveau de 68,25 m. était réduite à 63 mètres environ par la perte de charge, et par la pente nécessaire à l'écoulement de l'eau principalement dans les tunnels.

En rapportant ces nivellements au nivellement général de la France, la cote d'eau qu'il est permis d'atteindre à la frontière suisse serait environ 332m,50, au lieu de 330,50 ; elle serait voisine de 262,50 dans la gorge de Génissiat ; d'où une différence de niveau d'environ 70 mètres (1).

Dans la nouvelle solution, qui ne comporte plus de tunnels, grâce à la section offerte au passage de l'eau, l'écoulement sera considérable ; l'écartement des roches qui limiteront le lit du fleuve varie de 100 à 150 mètres, et même en certains points à 200 mètres, et une pente totale inférieure à 0m,50 suffira à assurer le débit nécessaire jusqu'à Monthoux ; le niveau du fleuve sera en ce point à la cote 332 mètres.

Jusqu'à Grésin, le résultat serait le même que dans l'ancien projet ; le Rhône s'écoulerait suivant une nappe de 8 mètres au-dessus de la plate-forme rocheuse située en cet endroit, où le lit aurait environ 60 mètres de largeur. Il s'élèverait au bas de Bellegarde de façon à envahir le bas de la plate-forme qui forme un promontoire au confluent du Rhône et de la Valserine, et remonterait le cours de cet affluent jusqu'au niveau des vannes de décharge de la première usine située sur ce torrent. Un petit lac se formerait en cet endroit, mais il n'y aurait que quelques maisons à exproprier au bas de Bellegarde, et tout le reste de la ville n'aurait rien à en souffrir ; naturellement, l'usine de Bellegarde serait rachetée, et l'énergie serait rendue aux usines existantes dans cette localité. A l'aval de Bellegarde, les gorges sont, en général, très encaissées, avec des parois presque verticales, et il n'y aurait que le hameau d'Essertoux qui devrait aussi être exproprié.

Ainsi, dans l'ensemble, le projet ne présente pas de difficultés au point de vue de la cote supérieure des eaux, même à 332,50. Il existe dans d'autres pays, notamment en Allemagne, au récent barrage de la vallée de l'Urft, des exemples de vallées submergées artificiellement sur des étendues bien plus considérables en vue de réaliser un transport d'énergie hydro-électrique (2). Cependant, il s'agissait, pour cette entreprise, d'une puissance constante de 3.000 kilowatts, environ, alors qu'un ouvrage analogue en créera une ici 50 fois plus considérable.

D'ailleurs, les auteurs du projet sont tout prêts, si l'administration ou le Parlement le désire, à abaisser la cote du plan d'eau supérieur à 327 mètres seulement, ce qui dénoierait quelques maisons actuellement compromises à Bellegarde, et même toute la plaine de Collogny dont on n'a plus besoin pour créer une réserve d'eau. Il est bien évident, en effet, que le cube emmagasiné utilement dans le barrage unique, même à la cote 327, sera plus de dix fois supérieur à celui que l'on avait primitivement cherché à obtenir.

Ni la route de Bellegarde à Genève, ni même la ligne de chemin de fer, ne seraient compromises par la retenue.

La vitesse du courant serait tellement réduite dans la retenue (0m,05, par seconde environ en basses eaux), qu'il n'y aura pas à redouter les effets de l'érosion de la roche ni même des terres des rives.

(*) Pour le premier projet, voir la *Houille Blanche*, n° de janvier 1 07.

(1) Le 24 septembre 1906, l'eau était à la cote 332,03 à la frontière et à 262,30 vers le ravin de la Dent.

(2) Voir *La Houille Blanche*, n° de juin 1906.