

DOCUMENTATION

Rupture du barrage de l'Oued Fergoug (26 Novembre 1927)

Rapport de la Commission technique chargée de déterminer les causes de la rupture

EXPOSÉ

La Commission constituée par M. le Gouverneur Général en vue de déterminer les causes de la rupture du barrage de l'Oued Fergoug, composée de :

M. MONET, Inspecteur Général des Ponts et Chaussées, Président de la 2^e Section du Conseil Général des Ponts et Chaussées et de la Commission des Grands Barrages, *Président* ;

M. VICAIRE, Inspecteur Général des Ponts et Chaussées, *Vice-Président* ;

M. DEGOVE, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Secrétaire de la Commission des Grands Barrages ; M. CHAVANES, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, adjoint au Directeur des Travaux publics des Chemins de fer et des Mines ; M. VERGNIEAUD, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées ; M. SCOTTO DI VETTIMO, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées ; M. SCHOENBERG, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées ; M. BALENSI, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, *Membres* ;

M. BOLLARD, Ingénieur ordinaire des Ponts et Chaussées, attaché à la Direction des Travaux Publics, des Chemins de fer et des Mines, *Rapporteur* ;

M. DROUIN, Ingénieur ordinaire des Ponts et Chaussées, *Rapporteur Adjoint*, a l'honneur de soumettre ses conclusions à M. le Gouverneur Général.

La Commission a siégé du 19 au 27 décembre 1927 ; elle a procédé à la visite des lieux le 20 décembre. Elle a étudié les documents existant dans les archives et relatifs à la construction du barrage ainsi qu'à sa réparation après la rupture de 1881. Elle a reçu les dépositions des témoins oculaires de l'accident et pris connaissance des observations sur le régime des pluies et des oueds alimentant le réservoir.

Elle croit devoir faire précéder d'un historique sommaire l'exposé des causes auxquelles elle attribue la rupture du barrage.

CHAPITRE I. — HISTORIQUE SOMMAIRE.

La mise en valeur de la plaine de l'Habra et de la Macta a été entreprise vers le milieu du siècle dernier par voie de concession de terres domaniales, avec obligation pour le concessionnaire de les assainir et de les irriguer au moyen d'un barrage-réservoir à établir à ses frais, risques et périls, à l'aval immédiat du confluent de l'Oued el Hammam, de l'Oued Fergoug et de l'Oued Charzout. La construction du barrage dit de l'Oued Fergoug, ou de l'Habra, ou encore de Perrégaux, fut faite par la Société bénéficiaire de la concession, sur un avant-projet dressé par l'Administration et annexé au cahier des charges de la concession ; le projet définitif fut présenté par le concessionnaire en 1867, en application des clauses du cahier des charges.

Le barrage primitif comportait un déversoir de 125 mètres de long, un mur de 316 m. 6 dit « grand mur » et un mur dit « petit mur » de 30 mètres de long faisant avec le précédent un angle de 120° environ et formant retour vers l'amont ; l'ancrage dans la rive droite n'avait pas paru devoir être réalisé dans le prolongement du grand mur. Le déversoir était arasé à la cote 32 au-dessus de l'étiage conventionnel, situé lui-même à 2 mètres au-dessus du fond de l'Oued, le couronnement du barrage, à la cote 33.60 le couronnement du parapet, à la cote 36.

Les travaux étaient à peine achevés que le 10 mars 1872, le déversoir fut emporté sur une cinquantaine de mètres par une crue dont le débit a été évalué alors à 700 m³, la première fois semble-t-il, que le barrage était complètement mis en charge. Cet accident fut attribué à l'insuffisance des fondations du déversoir.

Le déversoir fut reconstruit dans de meilleures conditions ; après quoi, les travaux furent reçus définitivement le 7 avril 1873. Le procès-verbal de réception fut approuvé par le Gouverneur Général après avis du Conseil du Gouvernement, le 3 février 1874. Depuis sa réfection, le déversoir s'est bien comporté et n'a subi aucune avarie. Il s'agissait donc d'un accident localisé, auquel il a été remédié d'une façon définitive.

La partie du barrage voisine de l'angle du grand et du petit mur ne tarda pas à inspirer des inquiétudes en raison de fissures, peu profondes d'ailleurs, qui se manifestèrent sur le couronnement et d'une tendance au déversement du parement aval du grand mur. Ce déversement atteignait 0 m. 21 lorsque le 15 décembre 1881, à 5 heures du matin, une crue ouvrit dans le mur du barrage, une brèche d'environ 125 mètres de long, intéressant une partie du petit mur et une partie du grand mur ; cette brèche était de forme trapézoïdale en élévation ; transversalement à l'ouvrage, la ligne de rupture affectait à l'aval, l'allure générale des courbes de cisaillement. La berge, rive droite immédiatement à l'aval, fut aussi emportée.

La hauteur d'eau au-dessus du déversoir au moment de la rupture, fut évaluée à 2 m. 25, correspondant à un débit de 800 m³ sur le déversoir auxquels il faut ajouter 50 m³ passant par le seul évacuateur ouvert.

L'étude des causes de la rupture fut confiée d'une part, à un Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées et à un Ingénieur en chef des Mines, désignés comme experts par le Conseil de Préfecture d'Oran devant lequel l'Etat avait introduit une instance pour faire consacrer la responsabilité de la Société, d'autre part à une Commission d'Ingénieurs des Ponts et Chaussées, désignés par le Ministre de l'Agriculture ; cette Commission était présidée par M. l'Ingénieur en Chef Stoecklin.

Il fut reconnu que la cause fondamentale de la rupture a été l'insuffisance des fondations de la rive droite ; la structure du terrain comportait des bancs alternés de grès et d'argile ayant un fort pendage vers l'aval et traversés de failles, ce qui a permis d'expliquer des glissements dans le sol d'appui ; on n'avait d'ailleurs pas pris la précaution d'ancrer au moyen de redans les maçonneries assises sur les bancs de grès.

La reconstruction du barrage fut aussitôt mise à l'étude et devant le refus de la Société, l'Administration des Ponts et Chaussées en fut chargée, la répartition des dépenses étant réservée ; cette question a été ultérieurement tranchée par le Conseil d'Etat (arrêté du 6 décembre 1895).

Comme la partie du mur barrage restée intacte comportait un coefficient de sécurité du même ordre que celui des grands barrages analogues alors en service, elle fut conservée ; l'on se borna à fermer la brèche, à doubler le mur en retour par un prolongement du grand mur dans la rive droite et à protéger cette rive vers l'amont par un perré. Les ingénieurs chargés de la réparation, avaient d'abord proposé de maintenir sans changement le profil de l'ouvrage dans la partie à reconstruire ; à la suite des observations de la Commission de l'hydraulique agricole, le profil fut légèrement renforcé sur une certaine longueur dans la partie reconstruite.

Le barrage remis en service en 1885, fut soumis accidentellement en 1900, à une épreuve exceptionnelle. Des branchages et broussailles arrêtés sur le déversoir par les fermettes de la passerelle, espacées de 3 mètres seulement, relevèrent le plan d'eau à 3 m. 22 au-dessus du déversoir, sans que le barrage, qui subit seulement de petites dégradations locales, présentât des traces de fatigue.

Pour prévenir le retour de cet incident, l'on espaça les fermettes de 6 mètres ; l'engorgement du déversoir ne s'est pas reproduit.

D'après les évaluations très approximatives qui ont pu être faites, le débit maximum de l'Oued el Hammam et des autres,

oueds alimentant le réservoir, était comparable au débit constaté lors de la rupture de 1881. La hauteur d'eau sur le déversoir, s'il ne s'était pas obstrué, aurait été elle-même de l'ordre de 3 mètres, comme en 1881.

Depuis lors, le barrage n'eut pas à subir de crues élevant le plan d'eau sur le déversoir à une cote supérieure à 1 m. 20, cote atteinte en 1904.

Il ne s'est rien passé d'anormal jusqu'au 26 novembre 1927, date à laquelle le barrage a été rompu à 11 h. 20 du matin; l'épaisseur de la lame d'eau sur la crête du déversoir a atteint 3 m. 85, au moment de la rupture.

CHAPITRE II. — CRUE DES 25-26 NOVEMBRE 1927.

Le caractère anormal et tout à fait imprévu de cette crue, qui a entraîné la rupture du barrage, est bien marqué par l'importance du désastre qui a atteint toute une région de l'Algérie s'étendant sur une grande partie du département d'Oran et du département d'Alger. Sur la même rivière de l'oued el Hammam et en amont du barrage, tous les ponts sont emportés ou gravement endommagés : le pont de Dublineau, sur la route nationale N° 6 est complètement détruit; le pont des Trois rivières, sur la route nationale N° 7, entre Mascara et Sidi-bel-Abbès, a ses rampes d'accès enlevées; le pont du chemin de G. C. N° 1 entre Mercier-Lacombe et Bou-Hanifia est emporté, le pont de la Ghetna, sur le chemin de fer d'Arzew à Colomb-Béchar, entre Dublineau et Tizi, est emporté; les viaducs d'accès des deux autres ouvrages sur la même ligne subissent le même sort.

En dehors du bassin de l'oued el Hammam, des dégâts très graves se produisent. Sur la route 11 d'Alger à Mostaganem par le bord de la mer, sur plus de 200 kilomètres, la route est coupée par des ensablancements très importants, presque tous les ponts sont endommagés, 5 grands ponts s'effondrent. Sur la route 19 d'Orléansville à Ténès, un pont de 12 mètres est emporté. La route 4 entre Mostaganem et Oran est coupée par des apports de terre considérables entre Mostaganem et la Stidia, et complètement submergée au pont de la Macta. Dans la nuit du 25 au 26 la ligne de chemin de fer d'Alger à Oran a été submergée à son passage à l'extrémité de la plaine de l'Habra, près de Bou-Henni. Le train de nuit d'Oran à Alger est resté bloqué par l'inondation et les voyageurs n'ont pu être repris que le 27 novembre par un train de secours venant d'Oran.

Sur la ligne d'Orléansville à Ténès, la voie a été bouleversée sur près de 11 kilomètres, 4 ponts de 20 à 25 mètres ont été emportés.

A Mostaganem, la petite rivière de l'Aïn-Sefra qui traverse la ville dans un aqueduc couvert, a été gonflée d'une manière telle que l'aqueduc s'est engorgé. L'eau s'est accumulée à la tête de l'aqueduc et a entraîné dans le port, dans la nuit du 26 au 27 novembre, tout un quartier de la ville. Près de 150 personnes ont péri dans cette catastrophe. Le port de Mostaganem a été partiellement ensablé.

Pour le bassin de l'oued el Hammam, on trouvera ci-dessous en millimètres les hauteurs d'eau relevées aux différents pluviomètres du 24 au 26 novembre, avec cette remarque que les mesures sont faites à 6 heures du soir et qu'ainsi la hauteur d'eau indiquée pour la journée du 26 est en réalité la hauteur d'eau tombée entre le 25 à 6 heures du soir et le 26 à la même heure. Ces chiffres ont été donnés par le Service Météorologique rattaché à l'Université d'Alger.

DÉSIGNATION	24	25	26	TOTAL	TRANCHE ANNUELLE MOYENNE DE 10 ANS, 1-9, 1914, 31-8-1924
Oued Fergoug barrage..	14	16	160	190	439
Mascara	27	42	157	226	491
Aïn-Fékan	23	23,7	149,2	195,9	385
Thiersville	17,2	20,1	69,5	106,8	446
Sidi-Ali (pr. Thiersville).	15,8	23,8	77,0	116,6	"
Mercier-Lacombe.....	7,2	19,6	61,8	88,6	437
Oued Taria	23,0	17,0	"	117	430
Franchetti	31,1	32,8	92	115,9	486
Saïda	16,4	35,4	64,2	116	433
Aïn-el-Hadjar	17,1	42,5	73,5	133,1	"
Tirman	9	26	25	51	333

Une observation supplémentaire étant faite à 7 heures du matin, on a pu avoir d'autre part les hauteurs d'eau tombées dans la nuit du 25 au 26 (période de treize heures). Les chiffres les plus intéressants sont les suivants :

Oued Fergoug	114
Mascara	132
Aïn-Fékan	113
Thiersville	67
Sidi-Ali	67
Oued Taria.....	45
Franchetti	45

On constate qu'à Mascara par exemple la hauteur d'eau tombée en 3 jours est près de la moitié de la tranche annuelle moyenne et que la hauteur d'eau tombée dans la seule nuit du 25-26, représente pour plusieurs stations près du 1/3 de la moyenne annuelle. On constate aussi que les pluies exceptionnelles se sont étendues sur la presque totalité de ce très grand bassin qui comprend environ en amont du barrage, dix mille kilomètres carrés. On s'est donc bien trouvé en présence de précipitations d'une importance absolument imprévue et d'une étendue également sans précédent depuis l'occupation de l'Algérie.

En ce qui concerne le barrage, les observations faites à partir du 25 novembre 1927, à 13 heures, heure à laquelle la crue commençant réellement, l'ordre fut donné au garde barragiste d'ouvrir en grand les vannes des évacuateurs, sont reproduites ci-après :

JOURNÉES	HEURE	COTE DU PLAN D'EAU	OBSERVATIONS
25 novembre 1927	13 h.	8 m.	
	16 h.	12 m.	
	20 h. 30	20 m. 30	
26 novembre 1927	0 h.	32 m. (1)	(1) Le déversoir commence à fonctionner.
	6 h.	32 m. 60	
	7 h.	34 m. 10	
	9 h.	34 m. 80	(2) Le barrage se rompt.
	10 h.	35 m.	
	11 h. 20	35 m. 85 (2)	

Les volumes d'eau contenus dans le réservoir à l'amont du barrage en fonction de la hauteur du plan d'eau au-dessus du thalweg au droit du barrage étant connus, on a pu établir des graphiques, qui donnent, le temps étant porté en abscisse :

Courbe I. — Les hauteurs du plan d'eau ;

Courbe II. — Les volumes d'eau contenus dans le réservoir ;

Courbe III. — Le débit total du déversoir et des évacuateurs ;

Courbe IV. — Le débit instantané des quantités d'eau, non évacuées avant la rupture du barrage.

Courbe V. — Le débit total de la crue en mètres cubes seconde.

Ces graphiques ne sont pas rigoureusement exacts à tout instant parce que les observations des hauteurs du plan d'eau ont été faites, au début tout au moins, à des intervalles de temps trop éloignés.

Ils sont cependant assez précis pour la journée du 26 novembre entre 6 heures du matin et le moment où le barrage s'est rompu.

DÉSIGNATION	PROJET de 1867	PROJET de 1883	MONTÉE ANORMALE du plan d'eau dû à un engorgement du déversoir provoqué par un espacement trop faible des fermettes de la passerelle (1900).
Crête du déversoir.....	32 m.	32 m.	32 m.
Lame d'eau déversante...	1 m. 60	2 m. 25	3 m. 22
Cote maximum du plan d'eau	33 m. 60	34 m. 25	35 m. 22
Débit correspondant des ouvrages d'évacuation.	570 m ³ seconde	900 m ³ seconde	1.450 m ³ seconde

De ces graphiques on déduit :

- 1° Que la très forte crue a commencé pratiquement à 20 h. 30 ;
- 2° Que le réservoir a été rempli au-dessus de la cote (20,30) jusqu'à la cote (35,85) en 15 heures ;

3° Qu'entre le 25 novembre 1927, à 20 h. 30 et le 26 novembre 1927, à 11 h. 20 (rupture du barrage) il est passé en 15 heures au droit du barrage 55 millions de mètres cubes d'eau dont 20 ont été emmagasinés dans le réservoir avant la rupture de l'ouvrage ;

4° Que dans cette même période de 15 heures le débit moyen a été de 1.000 mètres cubes seconde, le débit maximum vraisemblablement atteint au moment de la rupture du barrage étant de 2.300 m³ seconde.

Ici encore on constate une crue exceptionnelle, notablement plus forte que celles qui correspondent aux plans d'eau maxima prévus en 1867 et en 1883 ou observées en 1900. Les caractéristiques de ces crues sont données par le tableau de la page 104.

CHAPITRE III. — CAUZES ET CARACTÉRISTIQUES DE LA RUPTURE.

I. — *Etat du barrage avant la rupture du 26 novembre 1927.*

Si on suit le couronnement du barrage dans sa longueur de 334 mètres, depuis la rive droite jusqu'à la rive gauche, on rencontre successivement une série de tronçons qu'on peut distinguer soit par leur orientation en plan, soit par leur profil transversal.

1^{er} tronçon. — Sur 30 mètres environ règne un mur en retour dit « petit mur », dirigé vers l'amont pour atteindre une zone résistante du terrain d'appui. L'arête amont du couronnement de ce mur faisait en plan, un angle de 120°, avec l'arête amont du couronnement du « grand mur ». Ce petit mur, atteint par l'accident de 1881, avait été détruit sur une hauteur qui décroissait de 8 m. 60 au sommet de l'angle à 0 à 9 mètres environ de ce sommet ; il avait été rétabli, mais épaulé à l'aval en prolongeant le grand mur jusqu'à la rive droite où il était profondément ancré.

2^e tronçon. — Sur 129 mètres au delà de ce sommet, le grand mur du barrage était formé d'un soubassement exécuté avant 1870, surmonté d'un massif reconstruit de 1883 à 1885, sauf sur quelques mètres à partir du sommet où l'ouvrage avait été reconstruit intégralement y compris la fondation emportée en 1881.

La section longitudinale de la brèche de 1881 montre que la profondeur maximum de cette brèche se trouvait au voisinage immédiat de la rive droite, qu'elle décroissait très légèrement sur près de 90 mètres, à mesure qu'on se rapprochait de la rive gauche, pour diminuer ensuite très rapidement et se réduire à 0 à 129 mètres du sommet de l'angle du grand et du petit mur.

L'ouvrage avait été rétabli à sa hauteur primitive ; les maçonneries du soubassement conservé avaient été taillées en redans, de manière à assurer l'accrochage de la superstructure nouvelle sur la base ancienne. Pour renforcer la reprise entre des massifs superposés d'âge différent, on avait exécuté au mortier de ciment toutes les maçonneries de liaison jusqu'à un niveau correspondant sensiblement, pour chaque profil, au point culminant de la brèche : il existait donc, dans chaque profil, au-dessus de la surface de reprise entre la maçonnerie ancienne à la chaux et la maçonnerie nouvelle au ciment, une surface sensiblement horizontale suivant laquelle se faisait le raccord entre la maçonnerie nouvelle au ciment et la maçonnerie nouvelle à la chaux hydraulique qui montait jusqu'au couronnement.

On avait profité de la reconstruction pour améliorer la stabilité de poids du barrage, non seulement en augmentant légèrement sa section transversale, mais encore en redressant le profil vers l'amont, de manière à déplacer de ce côté, le point d'application de la résultante des forces sur une section horizontale, par suite à réduire le taux de travail à la compression du parement aval et à augmenter celui du parement amont. Ce redressement avait été effectué en atténuant le fruit amont, à partir de la cote 8 sur la plus grande longueur de la superstructure nouvelle et à partir d'une cote supérieure croissante, à mesure qu'on se rapprochait de la rive gauche et que la hauteur de la brèche diminuait ; il avait été limité au pilastre qui créait un décrochement en plan au droit de l'évacuateur rive gauche. Au delà, le barrage avait été reconstruit avec son profil primitif.

3^e tronçon. — A la suite de la zone séparée, sur 175 mètres et jusqu'au déversoir, subsistait l'ouvrage ancien ; l'accident de 1881 ayant été attribué principalement à la fondation défectueuse du barrage vers la rive droite, on n'avait pas jugé nécessaire de renforcer systématiquement le profil de l'ouvrage dans toute la partie qui n'avait pas été profondément réduite par l'ouverture de la brèche.

En plan, ce 3^e tronçon se compose de deux alignements droits formant un angle de 176°30' saillant vers l'amont, à 125 mètres de la naissance du déversoir.

4^e tronçon. — Le 4^e tronçon comprend le déversoir qui fait en plan avec le barrage un angle de 145° environ, saillant vers l'aval ; le déversoir est tel qu'il a été rétabli en 1872.

Depuis la réparation de 1883-1885, le barrage n'avait manifesté aucune trace de fatigue anormale. Le parement aval était recouvert de dépôts calcaires provenant de l'entraînement de la chaux par les eaux d'infiltration. Dans le 2^e tronçon du barrage, la limite supérieure de cette couche blanche paraissait correspondre sensiblement au niveau supérieur des anciennes maçonneries conservées ; à partir du pilastre, elle montait beaucoup plus haut et suivait une ligne horizontale vers la cote 25. De la notice de Pochet sur la construction du barrage, publiée par les *Annales des Ponts et Chaussées* de 1875, il résulte que dès la mise en eau du réservoir, des suintements abondants s'étaient produits provoquant la formation d'une couche calcaire sur le parement aval.

L'affaiblissement des mortiers dû à une action prolongée des eaux d'infiltration, n'avait pas été sans inquiéter l'Administration qui avait approuvé un projet comportant : d'abord, l'exécution d'injections de ciment à partir du parement amont pour apprécier l'importance des vides existant dans l'ouvrage et pour les boucher éventuellement, ensuite, la pose d'un enduit sur ce parement pour empêcher les infiltrations de continuer. Les travaux d'injections en cours sur la rive gauche au moment où l'accident s'est produit et comme la quantité de coulis absorbée était partout relativement faible, on pouvait en déduire que le massif n'était intérieurement ni fracturé, ni caverneux.

On n'avait jamais signalé de fissure sur le parement amont ; celui-ci était d'ailleurs depuis longtemps caché sur une partie de sa hauteur par les apports solides qui s'étaient déposés au pied du barrage. Ces dépôts sont constitués par une vase sablonneuse très compacte qui tient naturellement avec un talus presque vertical lorsqu'on l'entaille dans les parties découvertes par l'eau. Cette vase, par conséquent, exerçait sur le pied du barrage une poussée inférieure à la poussée de l'eau.

En reportant sur l'élévation du barrage, les niveaux approximatifs des dépôts à l'amont et du terrain à l'aval, on se rend compte que la hauteur de la tranche supérieure du barrage soumise aux efforts dus à la poussée liquide diminuait rapidement à mesure qu'on s'éloignait de l'évacuateur rive gauche, tandis qu'augmentait celle de la tranche inférieure dont la stabilité de poids était améliorée, d'une part, à cause de la diminution de poussée due à la vase sablonneuse et d'autre part, à cause de l'augmentation de charge verticale due au poids de cette vase sur le talus amont du barrage.

Le soulagement dû à l'amoncellement de vase était d'autant plus sensible que celle-ci était plus sèche. Or, pendant tout l'été 1927, qui a été excessivement chaud, le plan d'eau du réservoir n'a pas dépassé la cote 20 et depuis le milieu d'octobre, il a été maintenu aux environs de la cote 8. Comme la fin du mois d'octobre et le début du mois de novembre ont été marqués par des températures élevées, non seulement, le fond de la cuvette aux abords du barrage était desséché, sauf dans la zone des évacuateurs, mais encore les maçonneries de la tranche supérieure du barrage exposées pendant plusieurs mois au soleil sans être immergées avaient sans doute perdu la plus grande partie de leur eau d'imbibition. Il est difficile de se faire une idée précise de l'allègement qui a pu résulter de cette dessiccation ; si on tient compte de ce que les mortiers étaient revenus plus poreux à la suite des infiltrations qui les avaient altérés et que les pierres de grès employées à la maçonnerie étaient considérées comme notablement poreuses, ainsi que l'indique Pochet dans sa notice, on peut en conclure que, surtout dans la zone amont de l'ouvrage exposée au sud, la diminution du poids unitaire des maçonneries et par conséquent de la stabilité de l'ouvrage a pu être sensible.

II. — *Circonstances ayant précédé la rupture.*

Les courbes de la crue pendant les journées des 25 et 26 novembre accusent sa violence exceptionnelle qui se traduit pour le barrage par une ascension extrêmement rapide et anormale du plan d'eau, qui est monté en 11 heures de la cote 8 à la cote 32, crête du déversoir ; dès que celui-ci a fonctionné, la montée a été plus lente, mais on peut remarquer qu'entre le moment où le remplissage du réservoir a vraiment commencé (25 novembre, 13 heures), et le moment où le barrage s'est rompu (29

novembre, 11 h. 20), le plan d'eau s'est élevé en 22 h. 20, de 27 m. 85.

Du fait de cette montée extrêmement rapide, les maçonneries baignées par l'eau n'ont pas eu le temps de s'imbiber de nouveau. En outre, dans toute la matinée du 26 novembre et surtout avant la rupture, le débit évacué par le déversoir a été si élevé qu'il a dû régner près du barrage un courant qui a contrarié la décantation de la vase, de telle sorte que pendant cette période la tranche supérieure du barrage située au-dessus des dépôts était soumise, non pas à la poussée de l'eau, mais à celle, plus forte, d'un liquide plus lourd. On n'a pas pu déterminer sa teneur en vase, mais d'après les renseignements qu'on possède sur le débit solide de l'oued el Hammam et d'après les résultats de prélèvements qui ont été opérés les 27 et 28 novembre, il n'est pas exagéré d'admettre qu'aux abords du barrage, l'eau contenait au moins 30 % de vase ce qui donne pour le liquide exerçant la poussée, une densité voisine de 1,3.

Ainsi, à cause de la violence exceptionnelle de la crue survenant brusquement après une période sèche, la stabilité du barrage au moment où s'est produite la rupture était amoindrie parce qu'en même temps que la charge verticale résultant du poids de maçonneries supérieures était réduite, particulièrement vers l'amont, la poussée horizontale était notablement augmentée du fait de la quantité de vase en suspension près du barrage.

III. — Conditions suivant lesquelles s'est produite la rupture.

Il est rappelé que la rupture s'est produite le 26 novembre

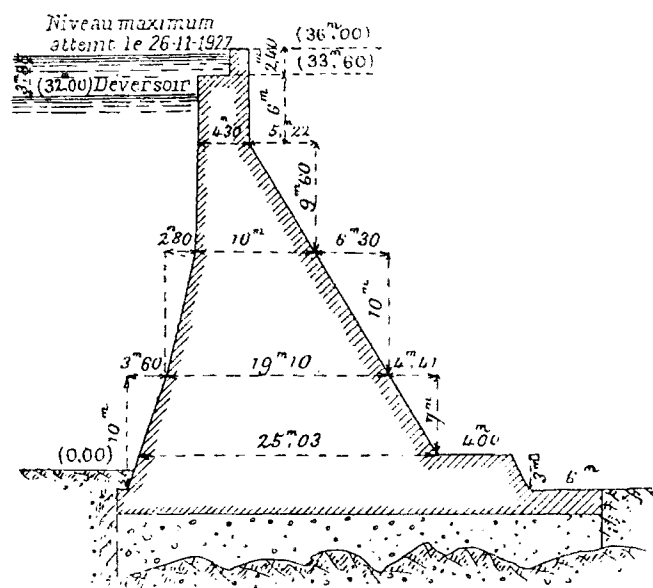


Fig. 1. — Profil-type avant la rupture de 1881.

Fig. 1 et 2. — Coupes transversales du barrage de l'Oued Fergoug.

teste près de l'évacuateur rive droite et un second plus faible dix mètres au delà; ensuite le talus de la brèche est plus rapide jusqu'à la rencontre du petit mur en retour où la cassure est à peu près verticale.

Vers la rive gauche la profondeur de la brèche diminue d'abord très peu sur 60 mètres environ, approximativement jusqu'au point où l'arête amont de la brèche rencontre la couche de vase déposée à l'amont, et où apparaît un décrochement assez brusque de plus de 5 mètres; ensuite la pente est faible jusque vers le sommet de l'angle de 176° formé en plan par le barrage, où existe un décrochement d'environ deux mètres; au delà la coupure amont, sensiblement horizontale sur 38 mètres environ, se prolonge dans la partie conservée de l'ouvrage par une fissure qui règne sur 35 mètres dans le parement amont.

En dressant plusieurs profils en travers de la brèche existante et en les rapprochant de ceux qui sont relatifs à la brèche de 1881, on est tout d'abord frappé de ce que, dans la zone de l'évacuateur de gauche où s'est amorcée la brèche, la ligne de rupture de 1927 est un peu en dessous, mais très voisine, de celle de 1881; cette coïncidence donne à penser que le barrage a d'abord cédé vers la reprise des anciennes et des nouvelles maçonneries, peut-être au voisinage du pilastre dans la partie où on avait maintenu l'ancien profil.

On constate en outre que la brèche au droit du dernier échelon qui s'étend sur la rive gauche et la fissure qui lui fait suite sont ouvertes à un niveau qui correspond à peu près au sommet de l'angle formé sur le parement aval à l'origine du fruit.

Enfin on remarque que d'une manière générale la brisure

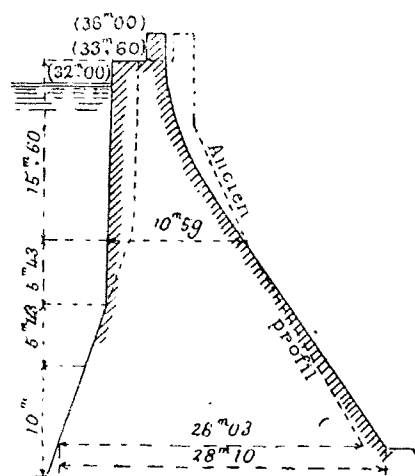


Fig. 2. — Profil de la partie reconstruite après 1881.

1927, à 11 h. 20 minutes, alors que le plan d'eau atteignait dans le réservoir au droit du barrage environ la cote 35,85.

MM. AVARGUES, Ingénieur des Travaux publics de l'Etat; BUCHER, Barragiste; GRISONI, Surveillant des travaux d'injections et de dévasement, témoins oculaires de la rupture, se trouvaient tous les trois sur la rive gauche, la passerelle surmontant le déversoir ayant été emportée, il leur était d'ailleurs impossible d'accéder sur le barrage et ils n'ont pu observer sa ruine que de loin.

Etant donné la soudaineté de la rupture et la position qu'ils occupaient au moment où elle s'est produite, la seule constatation, unanime d'ailleurs, qu'on puisse retenir de leurs déclarations verbales et de leurs dépositions écrites est que la brèche s'est amorcée dans la zone voisine de l'évacuateur de gauche et qu'elle s'est ensuite étendue de part et d'autre dans un temps très court.

IV. — Etat du barrage après la rupture.

Le plan coté de la brèche a été établi. La section longitudinale de cette brèche au droit du parement amont reportée sur l'élévation amont de l'ouvrage montre que la profondeur de la brèche est maximum au voisinage de l'évacuateur rive gauche. Vers la rive droite un premier décrochement sensible se mani-

suivant une section transversale présente la même forme qu'en 1881; elle est sensiblement horizontale ou légèrement ascendante jusqu'à une certaine distance du parement amont et elle plonge ensuite vers l'aval avec une inclinaison croissante qui va jusqu'à atteindre par endroit celle du parement aval.

L'examen détaillé des maçonneries encadrant la brèche après les arrachements qui ont accompagné la rupture et le passage prolongé de la lame qui a surmonté l'ouvrage ne peut donner une idée précise de leur état avant l'accident; toutefois on n'aperçoit pas, entre les pierres, de vides nombreux et importants qui soient de nature à laisser supposer une exécution défectueuse.

Mais dans les coupes apparentes des couches de mortier et surtout au voisinage du parement amont près de l'évacuateur rive gauche, on distingue de multiples rides qui sont les traces de canaux par lesquels l'eau d'infiltration avait cheminé à travers l'ouvrage; des échantillons de mortier prélevés dans ces couches très délavées se réduisent en poudre si on les presse fortement entre les doigts; d'autres échantillons pris plus à l'aval sont moins appauvris et par suite plus résistants, mais paraissent aussi avoir perdu une bonne partie de leur liant. Les chlorures et les sulfates que contient l'eau de l'oued el Hammam ont pu contribuer dans une certaine mesure à cette œuvre d'altération des mortiers.

Il résulte en tout cas de ces constatations que par places et sur-

tout près du parement amont du barrage, dans la zone où s'est amorcée la rupture, les mortiers étaient notablement affaiblis.

V. — Causes de la rupture.

Si on considère même le profil renforcé au droit de la partie la plus profonde de la brèche, et si on fait le calcul des efforts qui se produisaient aux extrémités d'une section horizontale correspondant au niveau inférieur de la brèche (cote 12,30) lorsque le plan d'eau dans le réservoir a atteint la cote 35,85, en supposant que la densité des maçonneries est de 2090, sans tenir compte de la réduction résultant de leur dessiccation et la densité du liquide exerçant la poussée est seulement de 1,2, c'est-à-dire en se plaçant dans des conditions plus favorables à la stabilité que celles qui se sont effectivement réalisées au moment de la rupture, on trouve que sur le parement amont, il y avait un effort de traction supérieur à 1 kilo par cm^2 .

Le mortier étant incapable de résister à cette traction, il a dû se créer dans cette zone particulièrement affaiblie une fissure longitudinale; dès que celle-ci s'est ouverte, l'eau y a pénétré et exercé une sous-pression qui a eu pour effet de diminuer encore la stabilité de la partie supérieure du barrage; la fracture d'amont, une fois commencée, n'a pu que s'accroître sous l'action de l'effort de soulèvement qui croissait à mesure que la fissure s'étendait davantage à l'intérieur de l'ouvrage; le travail augmentant en même temps à l'aval a bientôt dépassé la limite de résistance des maçonneries et la tranche supérieure détachée a été renversée vers l'aval et emportée par le flot. La dislocation amorcée dans la zone de l'évacuateur de gauche s'est immédiatement développée de part et d'autre avec des décrochements qui correspondent sensiblement à des solutions de continuité en plan ou en profil c'est-à-dire à des changements dans les conditions de résistance et de stabilité de l'ouvrage.

D'après les résultats de l'étude des documents que la Commission a pu réunir, il ressort bien que le barrage de l'oued Fergoug a été victime d'un concours imprévisible de circonstances défavorables. Sans doute les calculs de stabilité établis pour la charge maximum d'eau qu'on pouvait considérer jusqu'à ces derniers temps comme admissible montrent que le profil de l'ouvrage, déterminé d'après les conceptions anciennes, n'offrait pas, même dans la partie renforcée, les garanties que comportent les

théories nouvelles sur les barrages poids et que procurent désormais les formes qu'on leur donne, les moyens qu'on emploie pour les construire et les précautions qu'on prend lors de leur établissement pour les conserver, notamment pour les protéger contre les infiltrations.

Si le barrage de l'oued Fergoug, comme d'ailleurs quelques autres vieux barrages encore en service, ne présentait pas un coefficient de sécurité élevé, il faut reconnaître cependant qu'il ne s'est brisé qu'après avoir été soumis brutalement à des efforts dépassant de beaucoup ceux auxquels on pouvait s'attendre.

[EN RÉSUMÉ.

Le barrage de l'oued Fergoug, brisé une première fois en 1881, avait été rétabli peu de temps après suivant les errements de l'époque avec un profil transversal qui ne réservait pas une notable marge de sécurité; exposé depuis 45 ans à des infiltrations qui appauvrirent les mortiers, la résistance de ses maçonneries était amoindrie surtout dans la zone amont. Aussi n'a-t-il pas pu supporter sans se rompre la surcharge que lui a imposée une crue formidable trois fois plus forte que celle pour laquelle il avait été primitivement calculé, survenue après une longue période sèche et qui a provoqué une surélévation extraordinaire du niveau de la retenue avec une eau fortement chargée de vase.

Le Président de la Commission,

MONET,

Inspecteur général des Ponts et
Chaussées.
Président de la 2^e section du Conseil
Général des Ponts et Chaussées
et de la
Commission des Grands Barrages.

Les Rapporteurs,

BOLLARD,	DROUHIN,
Ingénieur des Ponts et Chaussées.	Ingénieur des Ponts et Chaussées.

(Extrait des *Annales des Ponts et Chaussées*).

Une nouvelle centrale hydro-électrique américaine (électricité et mécanique)

Cette supercentrale, située à Conowingo, sur la rivière Susquehanna, sera la plus importante d'Amérique après celle des chutes du Niagara. En effet, cette dernière, malgré ses 452.500 chevaux sera largement dépassée par la nouvelle usine dont la puissance, d'abord de 350.000 chevaux atteindra par la suite 550.000 chevaux.

L'usine de Conowingo est construite à 6 km. 500 de la prise d'eau en rivière. Un barrage de 1.464 mètres de longueur placé en travers de la vallée, réalise un immense réservoir d'eau de 3.280 hectares.

L'eau captée actionnera, dès le début, sept génératrices de 36.000 KW au moyen de sept turbines hydrauliques géantes de 50.000 chevaux et l'énergie électrique produite sera transportée à très haute tension à Philadelphie, soit à 120 kilomètres de là. Les alternateurs construits actuellement dans les ateliers de la Général Electric Company, sont prévus pour une puissance de 40.000 KV-A, avec un facteur de puissance de 0,9, une tension de 13.000 volts et une vitesse de 81,8 t/m., sous une chute de 27 mètres. La centrale de Conowingo pourra produire, d'après les estimations déjà faites, environ 1 milliard 360 millions de KW-H. par an, d'où une économie annuelle de houille de 750.000 tonnes par an. Elle viendra en aide de la Centrale de Holtwood, élevée à 24 km. en aval, qui, sous une chute de 18 m. fournit déjà 500 millions de KW-H. par an à la ville de Baltimore, située à 88 km. plus au sud.

Le lit de la rivière, étant en granit, assure un barrage de très solides fondations et permet d'envisager à 32 m. au-dessus de ces fondations la construction du pont de la route principale de Baltimore à Philadelphie. Ce pont remplacera le pont actuel qui est englobé dans l'aire du réservoir. Le réservoir sera situé dans la partie Est du barrage, tandis que le bâtiment de la centrale sera à l'ouest.

La crête du réservoir atteindra la cote de 26 m. au-dessus du

niveau de la mer : ce réservoir comportera 50 vannes mobiles en acier de 6 m. 68 de hauteur et 12 m. 20 de largeur; elles maintiendront le niveau à la cote de 33 m. Quand toutes les vannes seront ouvertes, le réservoir pourra évacuer un volume d'eau de 23 m³/sec.

Le bâtiment de la centrale aura 53 m. 40 de large sur 190 m. de long. Cette dernière dimension pourra être portée ultérieurement à 275 mètres.

Du fond des conduites forcées jusqu'au faite de la station de coupure à haute tension qui sera établie sur le toit de la centrale, on prévoit une hauteur de 70 mètres. Notons, en passant, que le fond des conduites forcées sera à 7 m. 60 en dessous du niveau de la mer.

Les génératrices produiront le courant à la tension de 13.800 v. que des transformateurs élèveront à 220.000 volts. Deux lignes alimenteront Philadelphie, mais chacune sera capable de transporter la totalité du courant. Plus tard, quand les groupes générateurs Nos 8, 9, 18 et 11 auront été installés, une troisième ligne de transport sera mise en chantier.

Le bassin de la rivière Susquehanna, dont la superficie est de 70.000 km. carrés, comprend une grande partie de l'Etat de Pennsylvanie, une portion considérable de l'Etat méridional de New-York et une fraction du nord-est de l'Etat de Maryland.

Le débit moyen de la rivière est de 1.132 litres à la seconde. L'installation hydro-électrique de Conowingo pourra fonctionner conjointement avec des centrales thermiques. En période de gros débit, Conowingo fournira la charge principale du réseau, les centrales thermiques entrant en jeu au moment des pointes, et inversement. Avec les sept premières unités, la centrale de Conowingo pourra produire une puissance hydraulique de 231.000 kw., qui formeront la partie principale de la charge. En période d'étiage, on fera appel au vaste réservoir mentionné plus haut; des statis-