

demande indéterminée (Voir article de la *Revue Elect.* du 9 juin 1911, N° 179, page 541). Or, si cette demande est soumise au juge de paix, celui-ci doit se déclarer incompétent, alors même que l'abonné aurait joint une demande de dommages-intérêts rentrant dans sa compétence, à cause des principes qui sont d'ordre public. (Voir Tribunal Civil de la Seine, 30 juillet 1911, *Gaz. des Tribunaux* du 5 mars 1911 ; Comparer Sirey 1893, 1, 297).

D) *Les consommateurs peuvent valablement faire une association sous forme de Société civile* ayant la personnalité morale et par conséquent pouvant agir en justice par l'intermédiaire de son président, aux fins de défendre leurs intérêts sociaux, obtenir la réalisation des réformes utiles et partager le bénéfice à réaliser par les indemnités à obtenir. (Cassation, Ch. des Req., 25 avril 1910, *Gaz. Trib.*, 27 avril 1910, et R. des C., Vol. IX, p. 370 ; Synd. d'Aubenas).

Paul BOUGAULT,
Avocat à la Cour de Lyon.

HYDRAULIQUE

RUPTURES DE BARRAGES AMÉRICAINS

Le début de l'automne 1911 restera désormais néfaste dans les annales du Génie civil américain, car il a été marqué par la rupture des barrages d'Austin et de Macdonalton dans la Pensylvanie, de Hatfields et de Dells dans le Wisconsin. Ces quatre ruptures paraissent d'ailleurs toutes dues, autant du moins que les premières constatations semblent le laisser croire, à cette hardiesse et à ce manque de précaution qui caractérisent trop souvent les Américains du Nord.

Rupture du Barrage d'Austin

Le 30 septembre dernier, un barrage de 14 m. de hauteur, construit sur le Freeman's Run, petite rivière de la Pensylvanie, s'est rompu vers les deux heures et demie du soir, livrant brusquement passage aux 800 000 m³ d'eau qu'il contenait. Cette énorme masse d'eau, balayant toute la vallée du Freeman's Run, dévastait la petite ville d'Austin, de 2 300 habitants, située à 2 400 m. à l'aval, et causait d'importants ravages au bourg de Castello, situé à 5 km. d'Austin. Plus de cent personnes furent noyées.

Ce barrage avait été construit en 1909 par la *Bayless Pulp and Paper Co.*, pour assurer la quantité d'eau nécessaire aux besoins d'une fabrique de pâte à papier installée un peu en amont d'Austin, station du Buffalo & Susquehanna Railway, dans le comté de Potter. Il remplaçait un petit barrage de 6 m. de hauteur, construit 250 m. en amont il y a une douzaine d'années, et dont la capacité n'était que de 115 000 mètres cubes.

Commencé en mai 1909, il était fini le 1^{er} décembre de la même année, et aussitôt mis en eau. Le 23 janvier 1910, le barrage ayant subi un glissement vers l'aval, on vida le réservoir et l'on consulta un spécialiste sur ce qu'il y avait à faire, mais, le premier moment d'émotion passé, on remit le barrage en charge sans procéder à aucun renforcement, ni faire aucune réparation. Il arriva donc ce qui devait fatalement arriver dans un temps plus ou moins rapproché : la rupture complète, et ses désastreuses conséquences.

Nous allons décrire rapidement les caractéristiques de ce barrage, puis nous indiquerons les modifications qui avaient été proposées. Nous exposerons ensuite les circonstances de la catastrophe, et les résultats des investigations faites par les experts, nommés par les Autorités pour en définir les causes et rechercher les responsabilités.

DESCRIPTION DU BARRAGE. — Le profil du barrage d'Austin est représenté sur la figure 1 ci-jointe. Il est établi en plan suivant une ligne droite, et sa longueur est de 165 m. Sa hauteur est de 13^m56 au-dessus du lit de la rivière, et sa largeur est de 9^m15 à la base. Le parement amont est vertical sur toute la hauteur ; celui d'aval est incliné jusqu'au niveau du sol, puis devient vertical en dessous. Le corps du barrage est prolongé à l'amont par un petit mur de garde destiné à arrêter les infiltrations qui pourraient se produire par-dessous.

Le terrain de la vallée du Freeman's Run est composé de bancs alternés de grès fissuré et d'argile schisteuse, de 0^m20 à 1 m. d'épaisseur, sur lesquelles repose une couche de 1^m50 à 2^m50 de terre et de gravier assez compacts, et qui, pendant les fouilles, parut assez étanche. C'est dans un pareil terrain qu'on descendit les fondations ; jusqu'à 2 m. environ de profondeur, de manière à rencontrer un banc d'au moins 0^m60 d'épaisseur.

Le mur de barrage est en béton, avec incorporation dans la masse de gros blocs de pierre, formant ainsi un genre de maçonnerie très employé aux Etats-Unis sous le nom de béton « cyclopéen ». Ces blocs avaient un volume variant de 0,4 à 1,5 m³, et étaient disposés de manière à laisser entre eux au moins 0^m15 de béton. Celui-ci était dosé à raison de 1 partie de ciment portland, 3 parties de sable, obtenu par broyage des roches, et 6 de pierres cassées.

Pour augmenter la résistance au glissement à la base, on renforça le béton, à 1^m55 du parement amont, au moyen de barres d'acier torsadées, de 32 mm. de diamètre et de 7^m60 de longueur, et espacées de 0^m81 d'axe en axe, qui pénétraient dans des trous de 2 m. de profondeur creusés dans le terrain de fondation, où elles étaient scellées. La partie supérieure du barrage reçut également, près du parement amont, un renforcement vertical, composé de barres de 12 mm. de diamètre et de 2^m15 de longueur, espacées de 1^m22, et un renforcement horizontal, composé de barres de même diamètre, espacées de 0^m61, et descendues jusqu'à 3^m60 au-dessous du sommet du mur.

Enfin, pour diminuer encore les chances d'infiltration, on établit un remblais contre la base amont, composé de couches de débris schisteux et d'argile, pilonnées soigneusement. Ce remblais formait du côté de l'eau un talus incliné à 3 de base pour 1 de hauteur, qui rencontrait le parement amont à 9 m. au-dessous de la crête.

A peu près au milieu du barrage, et sur 15^m50 de longueur, la crête du mur avait été abaissée de 0^m76 pour former un déversoir de crues. Sous ce déversoir, et au niveau du sol, on avait établi une conduite de vidange, en fonte, de 915 mm. de diamètre, qui était obturée à l'aval au moyen d'un chapeau en bois maintenu en place par un dispositif approprié. Sur cette conduite de vidange était branchée une conduite en bois, de 460 mm., qui amenait l'eau à la fabrique de pâte de bois.

PREMIER ACCIDENT. — Le barrage était à peine achevé, que l'on constata qu'il s'était produit, sur le côté droit, une légère fissure s'étendant sur toute la hauteur du mur ; quelques jours après, une autre fissure analogue se produisit de

l'autre côté du déversoir ; elles furent attribuées au retrait du béton, et on les boucha sans y attacher d'importance.

Le 17 janvier 1910, il commença à pleuvoir abondamment, en même temps que la neige précédemment tombée se mettait à fondre, aussi le réservoir ne tarda-t-il pas à se remplir en peu de jours, et le 21 janvier le déversoir fonctionnait déjà.

Le 22 janvier, il se produisit un glissement d'une partie de la colline servant d'appui sur la rive gauche, en même temps que d'abondantes venues d'eau apparaissaient à l'aval du barrage, à une distance variant de 4^m50 à 15 mètres.

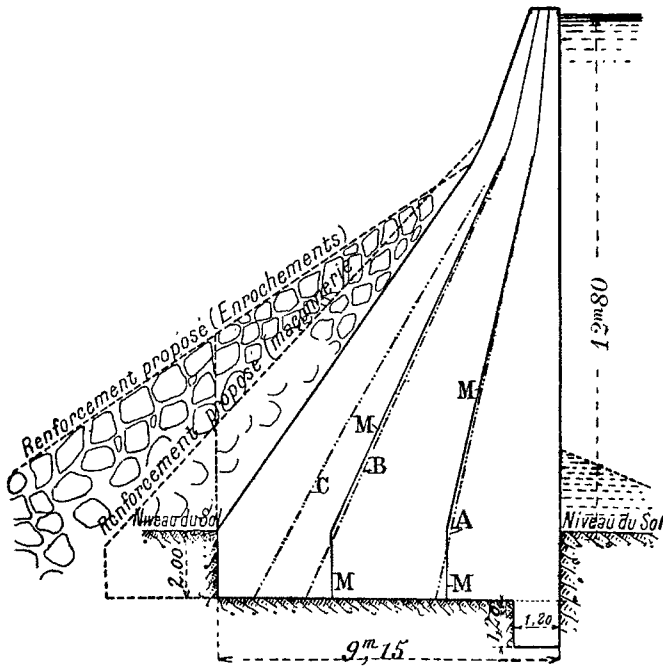


FIG. 1. — Coupe transversale du barrage d'Austin avec indication du renforcement proposé.

Le lendemain 23 janvier, il se produisit un glissement du barrage. Ce glissement s'étendait sur toute la longueur du déversoir, et en plus, sur 12 m. du côté gauche. Le maximum du glissement se produisit à 8 m. du déversoir et y provoqua un déplacement de 457 mm. à la base, et de 787 mm. au sommet. Ce déplacement parut se produire dans l'espace de 8 heures, puis s'arrêter.

On constata en outre que 5 fissures s'étaient produites dans le mur du barrage. La plus importante, se trouvant précisément au point de glissement maximum, présentait une ouverture de 114 mm., à la base. Toutes ces fissures paraissaient se refermer à l'amont.

Devant un pareil mouvement, on résolut de vider le réservoir. Mais on s'aperçut alors de la faute commise en plaçant la conduite de vidange sous le déversoir, sans commande à distance. En effet, par suite des quantités d'eau débitées par le déversoir, il était impossible de déboucher l'obturateur de cette conduite de vidange. On se décida alors à ouvrir avec la dynamite une brèche au sommet du barrage sur la rive droite, de manière à mettre le déversoir à sec. Mais cette brèche étant insuffisante, et les habitants de la ville d'Austin réclamant la vidange immédiate du réservoir, on descendit une charge de dynamite contre l'extrémité de la conduite de décharge. On put ainsi déboucher celle-ci, et vider le réservoir en 16 heures.

Une fois le réservoir vide, on put constater qu'une partie du remblais avait été emportée, soit par affouillement sous le barrage, soit à travers la conduite de vidange. On constata

aussi que le parement amont présentait quelque fissures, mais en général peu importantes.

Cet accident survenu au barrage fut attribué à deux causes par son auteur, M. Hatton : d'abord, à l'insuffisance de prise du béton, qui avait été mis en place par un temps très froid, très peu de temps avant la mise en charge maxima ; ensuite, et surtout, aux infiltrations sous le barrage, infiltrations qui devaient créer une sous-pression, et réduire la résistance au glissement.

M. Hatton consulta alors M. Wegmann, dont le nom fait autorité sur cette matière en Amérique, sur ce qu'il y aurait à faire pour éviter le retour d'un nouvel accident.

M. Wegmann déclara que si le barrage eût été admissible dans le cas d'une fondation étanche, il n'en était plus de même dans le cas actuel, à cause de la fissuration et de la perméabilité nettement accusée du sous-sol. Il convenait donc de tenir compte des sous-pressions à la base que cette fissuration et cette perméabilité devaient entraîner, et par suite de renforcer le barrage. En effet, si l'on dresse l'épure de stabilité du barrage (fig. 1), on voit que les courbes des pressions à vide A, et en charge B, coïncident à peu près avec celles M de l'un et l'autre tiers, amont et aval, des divers joints horizontaux du mur. Mais si l'on fait entrer en ligne de compte les sous-pressions, la courbe des pressions en charge C se rapproche beaucoup trop du parement aval (1).

M. Wegmann conseilla d'augmenter l'épaisseur du barrage, ou bien de provoquer une contrepoussée en établissant à l'aval un remblais avec talus incliné à 3 de base pour 2 de hauteur. Il conseilla aussi de creuser en avant du mur une tranchée descendant jusqu'au rocher non fissuré, et de la garnir, soit avec du béton, soit avec de l'argile ou tout autre matière imperméable, de manière à arrêter les infiltrations sous le barrage.

Bien que M. Hatton fut tout à fait d'accord avec M. Wegmann sur l'opportunité des travaux qu'il recommandait, aucun de ceux-ci ne fut exécuté. La *Bayless Pulp and Paper Company* se contenta de boucher les fissures, de remettre à nouveau le barrage en eau, et... de s'endormir dans une douce quiétude.

Et cependant, si le barrage ne bougeait plus, ce n'étaient pas les avertissements qui continuaient de lui manquer. Dans les premiers jours de mars 1910, on pouvait observer 3 sources sortant presque sous le barrage, et débitant ensemble jusqu'à 600 gallons (2 270 litres) par minutes, soit à peu près 38 litres par seconde !

Dans de pareilles conditions, il eût été bien extraordinaire que quelque catastrophe ne vînt pas à se produire un jour ou l'autre ; aussi, ce qui ne pouvait manquer d'arriver n'arriva que trop.

RUPTURE DU BARRAGE. — Le 30 septembre 1911, à 2 h. 20' de l'après-midi, le barrage se rompit brusquement en 7 morceaux principaux, qui glissèrent sur leur fondation. Un cinquième environ du barrage resta seul debout sur la rive droite. Le flot s'échappant brusquement du réservoir dévasta d'abord la fabrique de pâte à papier, et emporta les pièces de bois disposées aux alentours, ce qui aggrava les effets destructeurs. En quelques minutes, il submergea Austin, dont

(1) La courbe C est établie en supposant qu'il y a une sous-pression, non seulement à la base, mais encore sous tous les joints. On a admis que cette sous-pression est égale, à l'amont, aux 2/3 de la pression de l'eau sur le parement amont, et qu'elle décroît ensuite uniformément jusqu'à 0 à l'aval.

la plupart des maisons se trouvaient construites sur le bord de la rivière et furent détruites. La vallée s'élargissant au-delà d'Austin, la violence du flot diminua, mais, malgré cela, plusieurs maisons du village de Castello, situé à 5 km. d'Austin, furent encore submergées.

La rupture du barrage s'étant produite à 2 h. 20 m^{tes} exactement, et les horloges d'Austin s'étant arrêtées à 2 h. 31, on en déduit que l'eau a mis 11 minutes pour parcourir les 2 400 m. qui séparent le barrage de la ville d'Austin. On se figure aisément ce dont était capable ce mascaret de 800 000 mètres cubes, lancé à la vitesse de 4 m. à la seconde, cette charge de plusieurs millions de chevaux, subitement lancés, et se ruant tous à la fois dans une vallée étroite.

Plusieurs millions de dégâts, plus de 100 morts, tel est le bilan de cette revanche de la Nature contre les maladroits qui avaient voulu se mêler de la régenter.

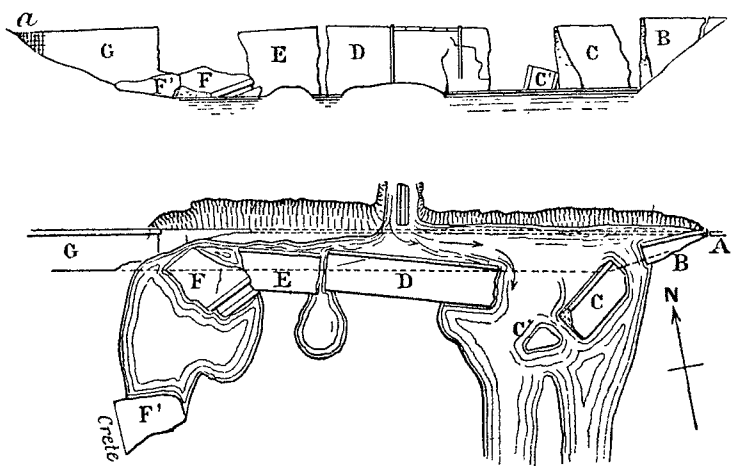


FIG. 2. — Dispositions respectives des divers tronçons du barrage après la rupture.

La figure 2 indique schématiquement la position respective des ruines du barrage. Les photographies des figures 3 et 4 en montrent des vues partielles. Le principal tronçon D, qui contenait le déversoir, s'est déplacé à peu près suivant le sens du courant, ainsi d'ailleurs que son voisin de droite E. De part et d'autre se trouvent deux larges brèches par où le flot s'est précipité, entraînant avec lui les blocs C et F qui se sont rompus dans ce mouvement. Le tronçon G, à l'ouest, est resté seul intact sur une assez grande longueur. C'est sur ce tronçon, en a, que se trouve la brèche faite en 1910. On était précisément en train de la reboucher lorsque l'accident s'est produit. De l'autre côté, le tronçon A resté debout est de peu d'importance.

On a reconnu que le béton, dans son ensemble, était par lui-même d'assez bonne qualité. Aussi, le barrage s'est-il rompu en tronçons d'assez grandes dimensions, découpés pour ainsi dire dans le barrage dont ils comportent toute la section, sauf le tronçon F qui s'est rompu en deux. Les tronçons sont en général exempts de fissures, sauf le tronçon D, qui présentait plusieurs fissures s'arrêtant près du sommet.

La cassure entre le tronçon G et le tronçon F, s'est faite d'abord verticalement jusqu'à 3 m. environ de la fondation, puis brusquement s'est étendue horizontalement. Les barres de renforcement qui émergent de la fondation y sont tordues.

Le bloc F' a été entraîné à l'aval, où il repose couché sur sa face amont. Le bloc C' a été arraché à la base du tronçon C, et est retourné, l'assise de fondation devenue verticale.

En face de la brèche qui sépare les tronçons D et E, brèche qui a environ 3 m. de largeur, on a constaté dans le sol de fondation la formation d'une excavation de 9 m. de longueur.

Il est à remarquer que le tronçon F est le seul qui se soit renversé, tous les autres blocs, sauf le fragment C', sont restés debout, ce qui montre qu'il y a eu surtout glissement, et non pas renversement. Le mur était plus résistant que le sous-sol sur lequel il reposait.

D'après les témoins de l'accident, la rupture débuta par le côté ouest, en F, mais le reste suivit immédiatement après. Rappelons que le maximum de glissement observé lors du premier accident eut lieu à l'Est, à peu près à l'emplacement de la brèche CD.

RAPPORT DES EXPERTS. — La rupture du barrage d'Austin ayant entraîné mort d'hommes, le coroner et l'attorney du district de Coudesport ouvrirent une enquête officielle pour établir les responsabilités. A cet effet, ils nommèrent deux experts : M. Mac Kibben, professeur à la Lehigh University, et M. Alfred Flinn, ingénieur au Service des Eaux de New-York, avec mission de rechercher les causes probables de l'accident.

Ces deux experts ont remis séparément leur rapport, mais leurs conclusions sont identiques : La rupture du barrage est due au glissement de cet ouvrage sur sa fondation.

Les experts n'hésitent pas à dire que l'on a commis une erreur grossière en fondant le barrage sur un sol composé de couches minces et fissurées. Sur l'un des blocs renversés, dont la base émergeait hors de l'eau, ils ont remarqué une couche de schiste de un pouce d'épaisseur, qui était encore adhérente à cette base, ce qui montre le peu de résistance du terrain de fondation. Il eût été nécessaire de descendre les fondations jusqu'à ce qu'on eût trouvé le rocher solide.

Il y a eu aussi des fautes commises pendant la construction. C'est ainsi que l'on a eu tort de bétonner par tranches horizontales et verticales s'étendant sur toute la largeur du mur, et de placer sans précautions spéciales du béton frais sur du béton ancien ayant déjà fait prise. Il s'est formé ainsi des joints de moindre résistance intéressant toute la section transversale du barrage. D'ailleurs, sur les faces latérales des divers tronçons, on a nettement observé les traces très marquées laissées par les formes transversales lors du bétonnage du mur.

Sur les faces latérales des sections de rupture, on a observé des différences de coloration du béton, ce qui montre nettement qu'il y avait des fissures déjà anciennes par où l'eau avait pénétré depuis longtemps déjà à l'intérieur du mur, diminuant ainsi la stabilité du barrage.

On a aussi incriminé les gros blocs de pierre noyés dans le béton, et trop rapprochés les uns des autres. Il est fort possible qu'ils aient favorisé la formation de surface de moindre résistance, à cause du manque d'homogénéité qu'ils introduisaient dans la masse, et à cause de leur mauvaise qualité comme matériaux. Toutefois, on a remarqué que, si ces blocs apparaissaient sur les sections de rupture récentes, notamment sur celles de la brèche entre les tronçons F et G, on n'en voyait pas sur les sections passant par des fissures déjà anciennes.

Enfin, les propriétaires du barrage ont commis une faute impardonnable en ne faisant faire aucune réparation sérieuse après l'accident de janvier 1910.

REMARQUE. — Il ne faut pas confondre la rupture du barrage d'Austin, en Pensylvanie, dont nous venons de parler, avec celle d'un autre barrage portant le même nom, mais

situé dans le Texas, qui a péri dans des conditions et pour des causes tout à fait analogues.

Ce barrage avait été construit sur le Colorado, en 1893, pour assurer le service des eaux de la ville d'Austin (Texas), et en même temps produire de la force motrice. Sa hauteur était de 20^m13 au-dessus du rocher et de 18^m30 au-dessus du sol. Sa largeur à la base était de 20^m12. Son parement amont était vertical, celui d'aval présentait la forme d'une courbe à double courbure, de manière à faciliter l'écoulement de l'eau, car il formait déversoir sur toute sa longueur qui était de 332 mètres.

Ce barrage s'est rompu le 7 avril 1900, alors que l'eau s'élevait à une hauteur de 3^m37 au-dessus de la crête. 150 m. de longueur du mur glissèrent littéralement et furent transportés en deux tronçons, sans être renversés, jusqu'à plus de 18 m. de leur position primitive. 40 minutes après la rupture, l'un des tronçons tourna sur lui-même et fut emporté ; l'autre tronçon se démolit peu à peu, à l'exception d'un énorme bloc qui resta en place, en conservant la forme du profil. L'usine génératrice fut détruite.

Ce barrage avait été fondé sur du calcaire qui, en certains points, était fissuré, et friable à tel point qu'on pouvait le travailler à la pelle, sans le secours du pic. L'enquête ordonnée à la suite de la rupture a montré qu'il s'était produit un véritable déchaussement du mur à l'aval. En 1896, c'est-à-dire quatre ans avant l'accident, on avait déjà signalé un commencement de déchaussement.

Comme pour le barrage de Pensylvanie, ce barrage était à peine terminé, que l'on constatait déjà que l'eau passait sous la partie Est du mur, en s'infiltrant dans une veine du calcaire, et venait miner le terrain de fondation de l'usine hydro-électrique, alors en construction. Diverses autres infiltrations vinrent contrarier les travaux d'aménagement de l'usine. On finit par les arrêter, en établissant un puisard relié à un tuyau dont le débit a oscillé de 130 litres en 1895, à 283 litres en 1897. Quelque temps avant la rupture, ce débit était redescendu à 226 litres par seconde.

Au printemps 1899, une fuite se déclara dans les fondations du corps du barrage. On put l'aveugler au moyen d'un remplissage d'argile. A la fin de la même année, on constata une autre fuite en un autre point, et on l'aveugla par le même moyen.

Ce barrage a été reconstruit en 1909. Il relève le niveau de l'eau de 20 m. et est en ciment armé, avec dalle inclinée de 45° à l'amont et contreforts intérieurs. L'usine génératrice est disposée à l'intérieur de ce barrage.

Il semble que la rupture de ce barrage du Colorado eût dû servir de leçon et que désormais on ne dût plus se hasarder à construire un barrage sur un sous-sol douteux. Et cependant il n'en a rien été. Mais l'histoire n'est-elle pas un éternel recommencement !

En commentant la rupture du barrage d'Austin en Pensylvanie, les journaux techniques américains ont dit que cette rupture était tout à fait analogue à celle survenue en 1895 au barrage de Bouzey. Ceci n'est qu'en partie exact.

En effet, le barrage de Bouzey était bien fondé comme celui d'Austin sur un grès très fissuré, et, comme lui, il a bien subi un premier accident consistant en un glissement du mur sur sa fondation (1), mais des travaux importants furent exécutés pour renforcer ce barrage à sa base et arrêter les infiltrations, ce qui n'est pas du tout le cas ici. En

(1) Pour plus de détails sur la rupture du barrage de Bouzey, voir *La Houille Blanche* de décembre 1905.

outre, sa rupture n'est pas du tout due à un nouveau glissement de la base, qui n'a pas rebougé, mais bien à un renversement de la partie supérieure du mur. Le barrage de Bouzey s'est en effet rompu à mi-hauteur, et dans une région qui travaillait normalement à la traction, sans que l'on ait à faire intervenir les sous-pressions.

Rupture des Dignes de Dells et de Hatfield

Les réservoirs de Dells et de Hatfield, dans le Wisconsin, ont été créés par la *La Crosse Water Power Co* pour régulariser un peu le débit de la Black River, affluent du Mississipi supérieur. Tous deux ont été constitués de la même façon, au moyen d'un barrage en maçonnerie formant déversoir, établi au travers du lit de la rivière, et se prolongeant sur les côtés au moyen de digues en terre avec âme centrale en béton.

Le barrage de Hatfield avait été construit en 1907, et celui de Dells en 1910.

A la suite de pluies torrentielles et continues, le débit de la rivière vint à dépasser de beaucoup les limites prévues, aussi, le déversoir de Dells étant devenu insuffisant, l'eau envahit la crête de la digue, et, en se déversant par-dessus, ne tarda pas à provoquer sa ruine. En effet, le 6 octobre au matin cette digue était emportée, livrant ainsi passage aux 14 millions de mètres cubes emmagasinés dans ce réservoir.

Le flot produit par cette rupture vint se précipiter dans le réservoir de Hatfield, situé 10 km. plus bas, et comme son déversoir débitait déjà au maximum de ses capacités, les digues furent à leur tour emportées, et les 10 millions de mètres cubes de ce second réservoir se trouvèrent à leur tour subitement lâchés dans la rivière.

Ce nouveau mascaret vint s'abattre sur la ville de Black River Falls, située 26 km. en aval, et y fit remonter l'eau de 8 m. Trois usines et une soixantaine de maisons furent emportées et plusieurs autres sérieusement endommagées. Tout le bas quartier fut détruit, et, à sa place, la rivière s'y est creusé un nouveau lit. Les dégâts sont estimés à 1 500 000 dollars.

Comme on avait prévenu la ville six heures à l'avance qu'une catastrophe était imminente, on eut le temps d'évacuer le quartier menacé, de sorte qu'il n'y a eu que des dégâts matériels, mais heureusement pas de victimes.

BARRAGE DE DELLS. — Le barrage de Dells se composait d'un barrage en béton formant déversoir, établi sur la rive gauche et sur une moitié de la rivière. Sur la rive droite, et sur l'autre moitié de la rivière, il était constitué par une digue en terre, avec âme centrale en béton. Entre ces deux éléments différents se trouvaient 4 vannes de chasse, de 1^m22 de largeur sur 1^m52 de hauteur.

Le barrage-déversoir, en béton « cyclopéen », est du type trapézoïdal, avec parement amont vertical et parement aval incliné à 3 : 2. La crête est horizontale sur 1^m22, puis se raccorde au parement aval par un arc de cercle de 3^m05 de rayon. A la base du parement aval, un autre arc de cercle de même rayon, mais courbé en sens inverse, renvoie l'eau horizontalement. La hauteur maxima au-dessus du lit de la rivière est 9 m. et la longueur de 79 m. Il a été prévu pour supporter en période d'étiage des hausses mobiles de 0^m915 de hauteur.

Ce barrage-déversoir en béton est resté intact, ainsi que les vannes, mais les quatre cinquièmes de la digue en terre ont été emportés.

Cette digue avait une hauteur maxima de 8 m. et une longueur de 160 m. Sa largeur à la crête était de 3^m05. Son parement aval était incliné à 1 de hauteur pour 2 de base ; et celui d'amont, également incliné à 1 : 2, avec une berme de 2^m44 de largeur, et portait un revêtement perrayé. A l'intérieur, on avait construit un mur mince en béton, de 0^m915 d'épaisseur, encastré dans le rocher de fondation, et s'élevant jusqu'au niveau du déversoir.

On avait admis que la hauteur de l'eau en temps de crues ne s'élèverait pas à plus de 1^m68 au-dessus de la crête du déversoir, et le sommet de la digue en terre n'était qu'à 1^m83 au-dessus de ce déversoir. C'était tout à fait insuffisant.

Aussi, le déversoir n'abondant pas à évacuer la crue, l'eau s'éleva jusqu'au sommet de la digue puis le dépassa. On essaya en vain de rehausser hâtivement la digue au moyen de sacs remplis de terre, mais ce fut inutile. L'eau, gagnant sur les sauveteurs, se mit à couler par-dessus la digue et à la ronger rapidement. Dès lors c'en était fait de celle-ci, car, ainsi que le fait remarquer une revue américaine, lorsqu'une digue en terre se met à fonctionner comme un déversoir, la durée de son existence peut se compter en secondes.

BARRAGE DE HATFIELD. — Le barrage de Hatfield se compose d'un barrage en béton formant déversoir, établi au travers de la Black River, et se prolongeant sur chaque rive par des digues en terre, avec âme centrale en béton.

Le réservoir ainsi créé était relié à l'usine hydro-électrique de la *La Crosse Water Power Co* par un canal d'amenée situé à flanc de coteau, long de 4 km., et constitué du côté de la rivière par une digue en terre. A l'entrée de ce canal, 3 vannes cylindriques Tainter, de 6^m10 de largeur et se levant de 2^m90, réglaient le débit de l'eau prise dans le réservoir.

L'usine génératrice avait été prévue pour pouvoir développer 9 000 kilowatts, sous une chute moyenne de 28 m., mais on n'avait encore installé que la moitié des groupes électrogènes prévus. Cette usine fut envahie par les eaux, mais, hormis les bobinages des générateurs et de l'appareillage électrique, l'ensemble de l'installation a relativement peu souffert. Aussi, aurait-elle pu être assez vite remise en marche si le canal avait pu continuer à être alimenté. Jusqu'à ce que le barrage ait été remis en état, la Compagnie est obligée d'assurer un service de fortune au moyen de ses sous-stations à vapeur installées dans les villes de La Crosse et Winona.

Le barrage-déversoir a une longueur de 150 m. et une hauteur maxima de 15 m. Il est en béton « cyclopéen », au dosage 2 : 5 : 10, avec incorporation de blocs de pierre atteignant jusqu'à 3/4 de mètre cube et entrant pour 25 p. 100

dans le volume total de l'ouvrage. Son profil est du type général trapézoïdal, avec crête en forme d'ogive pour faciliter le déversement. Sur les 10 premiers mètres, le parement amont est vertical, et le parement aval incliné à 3 : 2. Le barrage s'élargit ensuite sur le reste de la hauteur, et, à la base, la largeur atteint 15 mètres.

Comme au réservoir de Dells, ce barrage-déversoir est resté intact, mais les digues en terre qui le bordaient de chaque côté ont été en partie emportées.

Sur la rive droite, la digue avait 1200 m. de longueur, et n'a été endommagée que sur 60 m. ; sa hauteur était d'ailleurs très faible.

Sur la rive gauche, la digue avait 350 m. de longueur, avec une hauteur maxima de 8 m. A l'intérieur de la digue, on avait construit un mur mince en béton, encastré dans le rocher de fondation, et s'élevant jusqu'à 1^m83 au-dessus du niveau du déversoir. Sur un peu plus de la moitié de sa longueur, la digue était accolée à la voie du chemin de fer de Green Bay and Western Railroad.

Le sommet de la digue se trouvait à 3^m50 au-dessus du niveau du déversoir, mais cette surélévation fut insuffisante pour absorber la surcruie provenant de la vidange brusque du réservoir de Dells, aussi l'eau passa-t-elle par-dessus la digue et, sur 150 mètres, digue et chemin de fer furent emportés.

Si le barrage d'Austin péchait par la base, on peut dire que le barrage de Dells, dont la rupture a entraîné

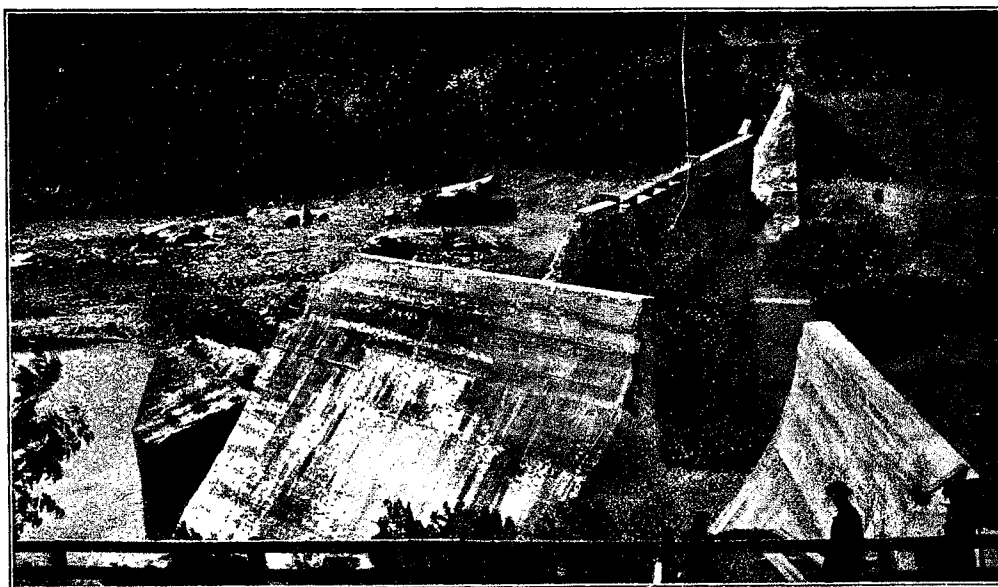


FIG. 3. — VUE GÉNÉRALE DU BARRAGE D'AUSTIN APRÈS SA RUPTURE, MONTRANT LA POSITION RESPECTIVE DES DIVERS TRONÇONS

celle du barrage de Hatfield, péchait par le sommet. En effet, le déversoir est au barrage ce que la soupape est à la chaudière, il doit donc être prévu très largement. C'est parce qu'on a méconnu cette vérité élémentaire que la ville de Black River Falls a été dévastée, et que la *La Crosse Water Power Co* a vu ses services désorganisés.

Autres Accidents

BARRAGE DE MACDONALTON. — Le 15 septembre dernier, alors qu'il venait à peine d'être mis en eau, ce barrage a subi un accident en tout point semblable au premier accident survenu au barrage d'Austin, et pour les mêmes raisons, savoir une mauvaise fondation.

Bien que pour les deux tiers de sa longueur ce barrage soit fondé sur l'argile, on n'avait pris aucune précaution pour empêcher un glissement du mur. Au premier remplissage le barrage glissa vers l'aval, ce qui provoqua la formation de fissures par où l'eau vint pénétrer à travers le mur, se faisant même jour jusqu'à l'aval, et y provoquant la formation d'une excavation à la base. Ainsi que le fait justement remarquer une revue américaine, « quand on construit

un barrage sur l'argile, il faut s'attendre à voir arriver ce qui est annoncé pour la maison bâtie sur le sable ».

Ce barrage avait été construit pour les besoins de la mine de la *Brothers Valley Coal Co*, à Macdonalton, dans la Pennsylvanie. Sa hauteur maxima n'est que 4^m90 au-dessus du sol et de 6^m10 au-dessus des fondations. Son profil est celui d'un triangle avec parement amont vertical, avec épaisseur à la base égale aux 2/3 de la hauteur. Sa longueur est de 128 m. et la capacité du réservoir qu'il crée de 70 000 m³. Une dépression du mur, de 0^m305 sur 1^m83 de longueur, constituait le déversoir. A la base, 2 conduites traversaient le mur, l'une de 203 mm. de diamètre, l'autre de 406 millimètres.

Lorsque le béton des fondations eut dépassé le niveau du sol, on procéda au remblayage du vide compris entre les parements du mur et les parois de la fouille. Pour cela, par mesure d'économie, on prit n'importe quelle terre qui se trouve immédiatement sous la main.

Le barrage fut terminé le 1^{er} août 1911. Comme l'été fut sec, le barrage ne se remplit que lentement. Le 14 septembre, le niveau de l'eau était à 0^m60 au-dessous du déversoir. Mais comme il plut beaucoup ce jour-là, le niveau s'éleva rapidement.

Le 15 septembre, à 5 heures du matin, un employé vint visiter le barrage. Il constata que l'eau n'était plus qu'à quelques centimètres du déversoir. Il remarqua en outre qu'une légère fissure s'était formée sur le parement aval juste sous le déversoir, mais il ne vit aucune fuite. Il revint une heure après, et constata que la fissure s'était considérablement agrandie, et qu'une véritable source sortait à l'intersection du sol et du mur, juste à l'emplacement de la fissure. A 8 heures du matin, l'eau passait avec abondance sous le barrage, en provoquant la formation d'une excavation de 7^m60 de large sur 1^m83 de profond.

La Compagnie propriétaire fit aussitôt vider le réservoir. On constata alors que, au milieu de sa longueur, le barrage avait glissé de 20 cm., en même temps qu'il s'était affaissé de 76 mm. en penchant légèrement vers l'amont. On constata en outre la présence de nombreuses fissures.

On boucha avec du béton l'excavation produite sous le barrage par le passage de l'eau. A l'aval du mur, cette excavation fut garnie avec de la pierraille mélangée de terre. Le remblayage défectueux à l'amont fut enlevé, et remplacé par de l'argile bien pilonnée. En outre, on établit contre le parement amont un remblais argileux montant jusqu'au sommet du mur, et ayant une épaisseur de 2^m13 à la crête. avec, du côté de l'eau, un talus perrayé, incliné à 2 de base pour 1 de hauteur. Sous ce remblai, le sol fut nettoyé et décapé jusqu'à l'argile. Les conduites traversant le mur furent prolongées jusqu'à l'extrémité amont de ce remblais et chacun de leurs joints fut noyé dans du béton. Un système de drains fut établi sous l'ancien barrage en béton pour évacuer à l'aval les eaux qui viendraient à s'infiltrer sous, ou à travers le remblais.

La dépression du mur formant déversoir fut bouchée, et un nouveau déversoir, de 4^m60 de longueur, fut établi sur l'une des rives, et arrasé à 0^m38 en dessous de la crête du mur.

A l'heure actuelle, l'ancien barrage n'est plus en contact avec l'eau, mais il a à subir la poussée du massif terreux, plus ou moins humide, que forme le remblais d'amont. Il est à craindre qu'il ne soit encore insuffisant dans ses nouvelles fonctions de mur de soutènement, car il ne faut pas oublier que le coefficient de frottement de l'argile humide est très faible. Aussi, il eût été préférable de lui ac-

coler à l'aval un autre remblais, destiné à provoquer une contre-poussée. La sécurité du barrage en eût été notablement accrue.

BARRAGE DE JANESVILLE. — Ce barrage est en béton armé, et a été construit sur la Yahara River, près de Janesville, dans le Wisconsin, par la *Janesville Electric Co*. Il a une longueur de 42 m., dont 11 forment déversoir. La hauteur de la retenue d'eau n'est que de 2^m75.

A fin décembre dernier, d'importantes fuites se produisirent par dessous le barrage, sur une longueur de 15 m., au point de jonction du barrage proprement dit et du déversoir. La cause en est encore due à une mauvaise fondation, et le résultat se traduit par une désorganisation du service de distribution de l'électricité à un moment où celui-ci est le plus chargé.

BARRAGE DE SHIPPENSBURG. — C'est un petit barrage établi sur le Connedogwinet Creek, près de Shippensburg, dans la Pennsylvanie, pour créer une réserve d'eau journalière nécessaire au fonctionnement d'une petite installation hydroélectrique qui fournit du courant à la *Shippensburg Electric & Gaz Co*. Il avait été construit par un petit entrepreneur de la région, sans l'aide d'aucun technicien.

Ce barrage est en béton, au dosage de 1 : 2 : 4. Sa longueur est de 890 m. Sa hauteur est de 3^m35 au-dessus du sol, et de 4 m. au-dessus du terrain de fondation (gravier). Il est composé d'un trapèze, à parement amont vertical, de 0^m61 de largeur au sommet et de 1^m22 au niveau du sol. La courbe des pressions sort notablement du mur, aussi était-il voué à une destruction à peu près certaine, en dépit d'un remblais, de 1^m52 de hauteur, que l'on avait établi au pied de son parement amont pour soustraire celui-ci au contact de l'eau.

Terminé en septembre 1911, et à peine mis en eau, une première rupture eut lieu, de peu d'importance il est vrai. Le propriétaire du barrage fit aussitôt réparer la brèche, sans rien modifier au profil. Aussi, le 17 janvier dernier, le mur se rompit à nouveau sur 90 m. de longueur. Il n'est heureusement survenu aucun autre dommage qu'une interruption dans la distribution de l'électricité.

Il résulte de l'enquête à laquelle s'est livré un fonctionnaire du Contrôle des barrages, tout récemment réorganisé, que ce mur s'est rompu par renversement. Comme le réservoir était couvert de glace au moment de l'accident, on a admis que cette glace, par la poussée supplémentaire qu'elle a produite au sommet, a provoqué le déclenchement d'un mouvement prêt à se produire d'un moment à l'autre.

Contrôle Administratif des Barrages américains

La destruction de la ville d'Austin, suivie à peu de temps d'intervalle par une partie de celle de Black River Falls, produisit dans tout le territoire des Etats-Unis une émotion profonde, et y fit couler des flots d'encre.

La presse technique, commentant la suite pour ainsi dire ininterrompue de catastrophes qui se suivent presque journellement sur le territoire de l'Union, poussait un cri d'alarme, et faisait remarquer qu'il y allait de la réputation des ingénieurs et des constructeurs américains. Ainsi que le constatait une revue technique, la réussite d'un travail difficile laisse le public indifférent, tandis que la rupture d'un ouvrage quelconque attire son attention et provoque ses critiques.

On peut dire que la rupture des barrages précités a remis sur l'eau — si l'on peut s'exprimer ainsi — la question du

contrôle administratif des ouvrages dont la solidité intéresse la sécurité publique.

A la fin de 1911, le contrôle des barrages américains était organisé dans 27 Etats ; par contre, il était totalement inexistant dans 20 autres.

Parmi les Etats qui avaient organisé un contrôle administratif, il y a lieu de différencier ceux à contrôle actif, de ceux à contrôle plutôt passif.

Dans les Etats à contrôle actif, les plans des ouvrages à construire doivent être soumis à un fonctionnaire chargé de ce contrôle, et approuvés par lui. Ce fonctionnaire doit inspecter les travaux en cours d'exécution. En principe, ce contrôle est analogue à celui qui est organisé en France.

Dans les Etats à contrôle passif, ce sont les collectivités intéressées qui ont la charge de s'assurer de la sécurité des ouvrages. En général, ce sont à des fonctionnaires des comités, analogues à nos agents-voyers cantonaux, qu'est confié le contrôle des ouvrages.

Les Etats à contrôle actif sont ceux de : Colorado, Connecticut, Idaho, Massachusetts, Nébraska, Nevada, Nouveau-Mexique, New-York, Oklahoma, Orégon, Rhode-Island, Dakota-Sud, Utah et Wyoming.

Les Etats à contrôle passif sont ceux de : Floride, Géorgie, Indiana, Kansas, Maine, Michigan, Montana, Caroline du Sud, Tennessee, Texas et Vermont.

Jusqu'à ces derniers temps, la Pennsylvanie et le New-Jersey avaient un contrôle actif très limité, et pouvaient être classés comme intermédiaires entre les Etats à contrôle actif et les Etats sans contrôle (1).

Le 12 juillet 1911, la Législature de l'Etat de New-York votait l'établissement de la *New-York State Conservation Commission*, et chargeait cette Commission de la surveillance et de l'entretien des cours d'eau, avec mission, en particulier, de veiller à la sécurité du public en cas d'établissement de barrages-réservoirs, en prenant toutes mesures utiles. A cet effet, un « contrôleur des barrages et docks » devait être nommé incessamment.

A la suite du désastre d'Austin, la *New-York State Conservation Commission* commit aussitôt un ingénieur pour vérifier les conditions dans lesquelles se trouvaient les barrages existant dans cet Etat. Du 10 octobre au 30 novembre 1911, cet ingénieur inspecta 46 ouvrages. Or voici les conclusions de son enquête (2) :

(1) On trouvera de plus amples détails sur le contrôle des barrages américains dans l'*Engineering Record* : du 6 janvier 1912 pour l'ensemble des Etats de l'Union, et dans celui du 20 janvier pour les nouveaux règlements de l'Etat de New-York.

(2) *Engineering Record* du 23 décembre 1911.

Sur 8 barrages-caissons en bois, de 3 à 6 m. de hauteur, 1 doit être abandonné, 2 doivent être refaits, et tous les autres doivent être réparés.

Sur 19 digues en terre, de 6 à 14 m. de hauteur, 2 sont en construction. Les travaux de l'une de ces dernières doivent être arrêtés à cause de la mauvaise méthode suivie. Dans un cas, le réservoir devra être vidé complètement et sa digue reconstruite. Pour 8 digues, l'eau devra être abaissée de 1 à 3 m., et 6 autres digues devront être réparées. Enfin 8 digues avaient leur déversoir obstrué, ou n'en avait point du tout, bien qu'il ait été de tout temps reconnu comme une vérité élémentaire qu'une digue en terre ne doive jamais être surmontée par l'eau.

Sur 16 barrages en maçonnerie, de 3 à 16 m. de hauteur, 5 sont en construction ; 2 sont en si mauvais état que leurs réservoirs doivent être immédiatement vidés ; et 9 autres devront être réparés.

Sur 3 barrages en béton armé, 1 est en bon état, et 1 douteux. Le troisième devra être modifié.

La *New-York State Conservation Commission* vient d'élaborer un règlement concernant les diverses catégories de barrages en bois, terre, maçonnerie ou béton armé. Nous n'en signalerons que les parties les plus intéressantes.

Un soin tout particulier doit être apporté à l'établissement des fondations. Celles-ci doivent être descendues jusqu'au rocher solide. Pour des murs de plus de 10 m. de hauteur, on percera des trous

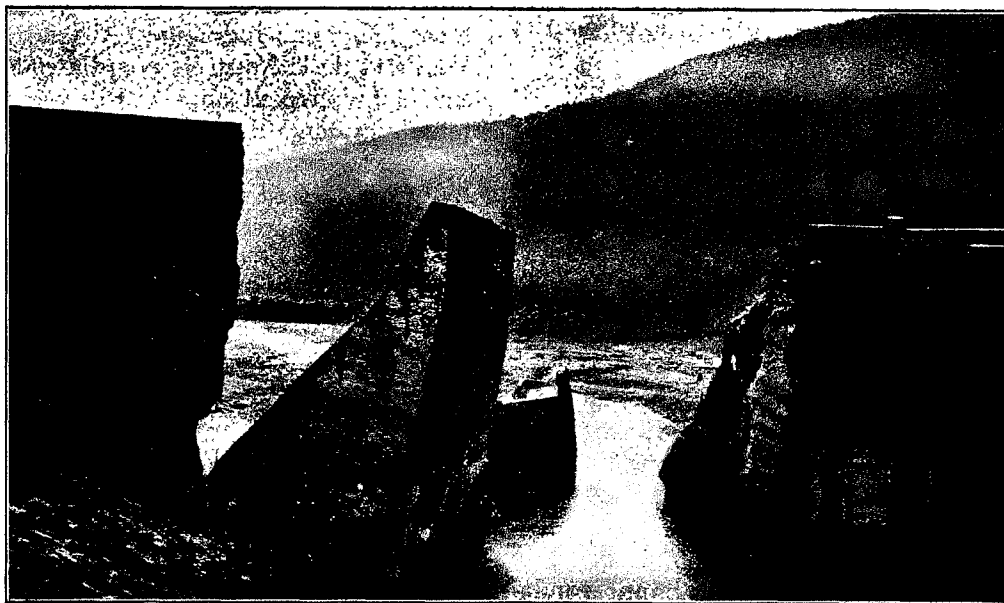


FIG. 4. — RUPTURE DU BARRAGE D'AUSTIN. VUE DE LA BRÈCHE OUVERTE ENTRE LES TRONÇONS C ET D

dans le rocher de fondation, et on y enverra de l'air comprimé pour déceler les fissures qui pourraient y exister.

La largeur sur un joint quelconque doit être au moins égale aux deux tiers de la hauteur au-dessus de ce joint (1). La largeur à la crête ne doit pas être inférieure au dixième de la hauteur totale, et en tout cas pas inférieure à 1^m22. La pression ne doit pas dépasser 11 à 20 kg. par centimètre carré à l'amont, et 9 à 15 tonnes à l'aval, suivant les cas.

Pour les barrages en béton armé, le parement amont ne doit pas être incliné à moins de 45° sur la verticale. Les contreforts ne doivent pas être espacés de plus de 6^m10 lorsque la hauteur totale est supérieure à 30 m. Enfin, aucune épaisseur ne doit être inférieure à 25 millimètres.

(1) Les ingénieurs américains, ainsi d'ailleurs que leurs collègues anglais, admettent comme suffisante la condition qu'il n'y ait jamais d'effort de traction, ce qui conduit à adopter une largeur voisine des deux tiers de la hauteur.

En France, on admet que la pression dans les maçonneries à l'amont ne soit pas inférieure à la pression de l'eau, ce qui conduit à une largeur voisine des huit dixièmes de la hauteur. Les expériences de MM. WILSON et GORE, dont nous avons parlé dans *La Houille Blanche* de janvier 1909, montrent la justesse de la méthode française.

Pour la Pensylvanie, la loi de 1907 ne prévoyait le contrôle que pour les barrages construits sur les cours d'eau qu'une loi a classés dans le domaine public, et, même dans ce cas, une fois les plans approuvés par la *State Water Supply Commission*, aucune surveillance n'était effectuée pendant la construction.

La ville d'Austin se trouvant en Pensylvanie, l'opinion publique s'est particulièrement émue dans cet Etat. Le 9 décembre 1911, le « Club des Ingénieurs », de Philadelphie, a émis le vœu que désormais tout ouvrage intéressant la sécurité publique fût soumis à l'approbation et placé sous la surveillance d'un service technique compétent, dépendant du Département d'Etat des Travaux Publics.

Le Professeur Mac Kibben, de la Lehigh University, à South Bethlehem (Pensylvanie), l'un des experts chargés de l'enquête à la suite du désastre d'Austin, a préconisé la réglementation suivante :

1° Avant la construction, approbation des plans par les Pouvoirs publics ;

2° Pendant la construction, une surveillance active. A quoi servirait en effet que le barrage fût bien proportionné, si le terrain de fondation est mauvais, ou bien encore si les maçonneries sont défectueuses ;

3° Après achèvement, acceptation des travaux par les Pouvoirs publics ;

4° Enfin, tous les deux ans, inspection du barrage.

En attendant une réglementation bien définie, la *State Water Supply Commission* vient d'être chargée de vérifier les conditions de stabilité des barrages de la Pensylvanie, comme cela s'est fait pour l'Etat de New-York.

Il est à remarquer que tous les accidents que nous avons signalés dans cet article se sont produits, soit dans le Wisconsin où aucun contrôle n'existait jusqu'à présent, soit dans la Pensylvanie, où le contrôle était très limité. Il est probable que, désormais, tous les Etats de l'Union vont assurer un contrôle effectif des ouvrages intéressant la sécurité publique, comme cela a lieu en Europe.

Nous terminerons en rappelant encore une fois que l'on ne saurait rechercher avec trop de soin une bonne fondation, et qu'il ne faut pas craindre de prévoir très largement les dimensions du déversoir. C'est pour avoir méconnu ces vérités élémentaires que l'on a à déplorer la ruine des villes d'Austin et de Black River Falls. Puissent ces catastrophes servir de leçon pour l'avenir.

H. BELLET.

LES FORCES HYDRAULIQUES EN ESPAGNE

M. A. BRILLOUIN a fait à la SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE (séance du 19 janvier 1912) une fort intéressante communication sur les *Forces hydrauliques des divers grands Rios de la Catalogne et de l'Aragon, et leur emploi en Catalogne*, dont voici l'analyse :

M. A. BRILLOUIN expose d'abord, qu'après de nombreuses excursions dans les vallées espagnoles des Pyrénées et un voyage à Saragosse, en 1907, il reçut, en 1908, les dossiers des chutes d'Espot et d'Esterra sur la Noguera Pallaresa ; puis, en 1909, ceux des chutes de Benasque et de Jésus, sur l'Esera. En novembre 1910, il accepta la mission d'aller, sous son nom personnel, examiner, à Barcelone, la situation du marché de force, et celle de toutes les concessions de chutes demandées dans les Pyrénées espagnoles. Après avoir

obtenu : 1° des options et des droits temporaires de priorité sur des concessions de chutes capables d'environ 350 000 HP, parmi lesquelles il ne restait plus qu'à choisir ; 2° des projets d'entente, prêts à signer, discutés avec trois groupements industriels importants, et pouvant former la base d'une forte clientèle (plusieurs milliers de chevaux). Il terminait sa mission en juin 1911. Depuis, sur la demande de plusieurs concessionnaires de chutes, il retournait en Espagne, en août, septembre et octobre 1911, pour étudier la simplification et l'unification de certaines demandes de concessions de chutes.

C'est donc après trois années et demie d'études qu'il vient résumer à ses collègues la question si vaste des forces motrices hydrauliques des Pyrénées espagnoles et de leur emploi en Catalogne.

Alors que dans toutes les autres parties de l'Espagne, de nombreux transports d'énergie hydraulique ont été créés depuis huit ou dix ans, il n'en a été fait aucun, ni pour Barcelone, ni pour la région si industrielle qui entoure cette ville. Ce fait, à première vue, étonnant, n'est pourtant que la conséquence naturelle de l'existence de deux Espagnes très différentes l'une de l'autre au point de vue géographique. Dans l'Espagne indolente qui comprend les plateaux de la Vieille et de la Nouvelle Castille et les plaines de l'Andalousie, et qu'on peut appeler l'Espagne Atlantique, parce que tout le système des eaux de ces régions coule vers l'Atlantique, le développement social est resté lent, et si on a, partout où cela était possible, commencé des transports d'énergie, c'est qu'ils étaient faciles à réaliser, n'étant que d'importance moyenne. Dans l'Espagne Méditerranéenne, qui comprend Alicante, Valence, et principalement la vallée de l'Ebre et la Catalogne, la vie commerciale intense, dès l'antiquité, a engendré depuis plusieurs siècles la vie industrielle et a créé actuellement, autour de Barcelone, une région industrielle plus importante que la région lyonnaise. Mais là, devant l'importance énorme des transports d'énergie qu'il fallait créer pour satisfaire l'ensemble des besoins, on a reculé pendant des années.

Entre les deux Espagnes (Atlantique et Méditerranéenne), la barrière, constituée par les sierras arides, qui les sépare, a maintenu une séparation commerciale effective bien plus profonde que celle qui semble créée par les Pyrénées. Malgré les Pyrénées, la vallée de l'Ebre est restée et reste en communication active permanente avec la vallée de la Garonne et la côte française des pays de langue d'oïl. La Catalogne, autrefois séparée des royaumes de Castille, reste séparatiste. Elle fut et reste terre d'influence française.

Individualiste pour ses affaires personnelles, comme il est séparatiste pour ses affaires publiques, très travailleur, entreprenant, le Catalan a entrevu, depuis l'origine des transports de force, des sources de bénéfices dans la concession de chutes d'eau. D'où un nombre incalculable de demandes de concessions, mais de concessions mal demandées, mal étudiées et trop morcelées pour tenter dans cet état une grande entreprise, bien que la force motrice vapeur en service actuellement fournie par de vieilles machines, revienne cher.

Mais le grand mouvement industriel s'accroît : Barcelone atteint 800 000 habitants ; Badalone, 50 000 ; Sabadell, 50 000 ; Tarrasa, 30 000 ; Manresa, 40 000. Le port de Barcelone s'accroît de nouveaux grands bassins gagnés sur la mer et prépare la création d'un port franc desservant une zone franche dans la plaine de Llobregat. Des écoles industrielles sont fondées à Barcelone, à Villanova y Geltru, à Tarrasa, à Sabadell.

Dans une région si travailleuse, si belle et si riche, dont