Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht

Band: 2 (1936)

Artikel: L'emploi du béton en Allemagne dans la construction des grands barrages

Autor: Ludin, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-2979

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.10.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

VI 5

L'emploi du béton en Allemagne dans la construction des grands barrages.

Beton im deutschen Talsperrenbau.

Use of Concrete in Dam Construction in Germany.

Dr. Ing. Dr. techn. h. c. A. Ludin,
ord. Professor an der Technischen Hochschule Berlin.

I. *Développement de l'emploi de béton dans la construction des barrages allemands.*

1) *Barrages en béton.*

Le premier barrage allemand en béton, celui du Dreilägertal, dans le massif schisteux de la rive gauche du Rhin, a été construit en 1909—11 déjà. Il ne peut cependant pas été considéré comme un précurseur des barrages modernes en béton; on n'eut recours à ce matériau qu'en raison du manque de bonne pierre de taille à proximité. On n'y trouve d'ailleurs, ni au point de vue de l'exécution, ni au point de vue de la construction, aucun des traits essentiels de la technique moderne du béton: mécanisation de l'exécution poussée à l'extrème, usage de bonnes pierres brutes concassées comme matériau additionnel, rapport eau-ciment, élevé, étanchéification et disposition des sections basées sur le caractère particulier des bétons. Ce barrage a été construit en béton armé et entièrement suivant les formes et les principes de la méthode rhénane-westphalienne de construction, en moellons, très répandue en Allemagne et originairement établie par le Prof. *Intze.* Le barrage est du type arqué; sur la face amont, il présente une couche imperméable avec enduit, au devant de laquelle se trouve encore un revêtement de 0,7 m d'épaisseur en moellons, avec remblais de terre à la base; la couronne (10 m) est entièrement construite de moellons.

En gros, l'ouvrage s'est comporté d'une manière assez satisfaisante, en dépit de quelques fissures, de la perméabilité des joints de béton damé et de la formation de concrétions stalactiques sur la face aval. Il n'eut cependant, pour les raisons énumérées plus haut, au cune influence sur la développement de la construction des barrages en Allemagne.

Ce n'est qu'en 1922, par la mise en oeuvre du barrage du Schwarzenbach (fig. 1), dans la partie septentrionale de la Forêt Noire, que commença en Allemagne la construction moderne d'ouvrages de ce genre. La présence, à proximité du chantier, d'excellents moellons de granit en aurait indiqué l'exécution suivant la méthode en usage jusqu'alors; après mure réflexion, le maître de l'oeuvre se décida cependant pour le béton. Le barrage est de dimensions remarquables pour l'époque. Le désir de réduire la durée de con-

struction, la difficulté, pour ne pas dire l'impossibilité, de recruter alors — quelques années seulement après la Grande Guerre —, un grand nombre de maçons qualifiés (400) et de les garder longtemps dans ce lieu éloigné, l'incertitude quant à une exécution en moellons, telles furent les raisons dominantes qui présidèrent le choix du béton. Enfin, l'usage de ce matériau laissait espérer une réduction du coût de l'ouvrage.

La conservation — bien compréhensible à cette époque des anciens principes de construction en moellons, méthode ayant d'ailleurs fait ses preuves depuis son introduction par Intze, empêcha le maître de l'oeuvre de tirer tout ce qu'il aurait du de ce passage à un nouveau matériau. La face amont ne fut pas seulement étanchéifiée par une couche de béton projeté (torkret) et un

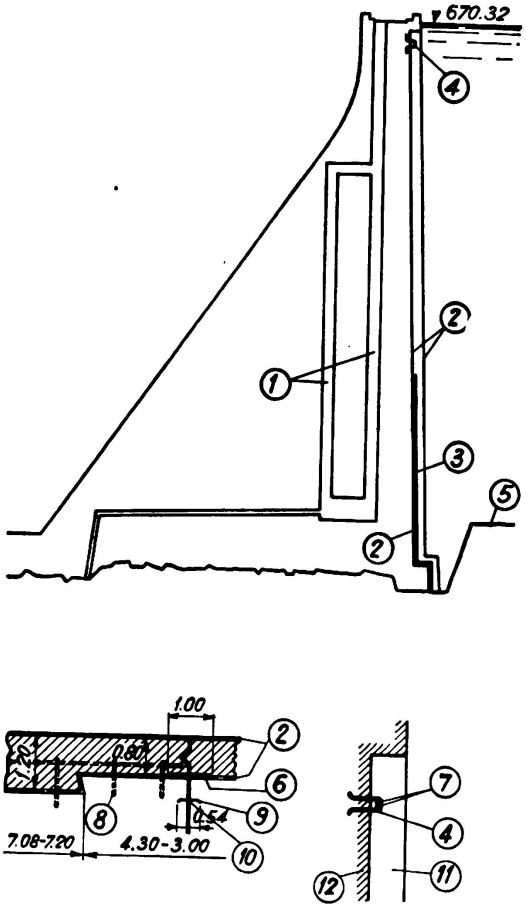

Fig. 1.
Barrage de Schwarzenbach.
1) Cheminée de surveillance.
2) Béton projeté 2,5 cm.
3) Isolation en carton bitumé.
4) Ancrage (étrier).
5) Arête du rocher.
6) 3 couches de carton bitumé.
7) 2 fers longitudinaux 20 mm.
8) Étrier (à la couronne).
9) Plaque de cuivre.
10) Corde goudronnée.
11) Revêtement.
12) Noyau du barrage.

enduit protecteur, mais on y ajouta encore un revêtement de 0,8 m d'épaisseur contre les détériorations atmosphériques et mécaniques, recouvert à son tour de béton projeté et fixé solidement en queue d'aronde au noyau. Cette mesure de protection, préconisée par Intze et appliquée par la suite avec certaines petites améliorations à la majorité des barrages allemands, fut encore renforcée sur le tiers inférieur de l'ouvrage du Schwarzenbach. On appliqua ici, à la place de l'enduit protecteur, une triple couche isolante de papier bitumé, portée à chaud sur la couche de torkret. L'eau de la Forêt Noire, très douce et parfois de haute teneur en acide carbonique et en acide des marais, ne le cède en rien aux eaux des roches primitives du Massif scandinave quant à son action destructive sur le ciment; il était justifié, dans ce premier essai avec le béton, de

rechercher toute la sécurité désirable. La nécessité d'un double coffrage, provoqué par l'application d'un revêtement protecteur, augmenta naturellement les difficultés et le coût de l'ouvrage[1].

Le revêtement de la face aval du barrage eut les mêmes conséquences; on y appliqua encore une maçonnerie de granit de 1 m d'épaisseur, dont l'objet principal était de donner à l'ouvrage un aspect agréable.

Quoiqu'il ait été construit dans une région très pluvieuse et sujette à de fortes chutes de neige (altitude de la couronne 670 m), ce barrage ne demanda pas de réparations importantes au cours de ses 10 années d'existence. Il n'y eut aucun signe de détérioration, ni sur la face amont, ni sur la face aval. Au-dessous de la couronne, il se forme quelques concrétions calcaires dues probablement à l'infiltration résultant des fortes précipitations atmosphériques; celles-ci nécessitèrent quelques petites réparations.

Lorsque le bassin d'accumulation est plein, la perte totale est de 1 l/s; pour les tuyaux de dreinage horizontaux placés près de la face amont, elle est de 0,4 l/s. Ce résultat est très satisfaisant, vu la hauteur et la longueur du barrage.

Le barrage de l'Aggertal, le premier et jusqu'ici le seul barrage de béton coulé de la Rhénanie (elle-même patrie des barrages en moellons d'après Intze) présente un grand progrès sur le barrage du Schwarzenbach, construit quelques années auparavant. La couche imperméable de la face amont y est, pour la première fois en Allemagne, exécutée en béton de protection; il n'y a pas de drainage derrière celle-ci. La face aval y est encore, comme au Schwarzenbach, garnie d'une couche de moellons (Grauwacke).

La coulée du béton s'opéra par deux tours de 76 m de hauteur et des goulottes. Le barrage présente des joints de dilatation tous les 30 m. Tous les blocs de béton se sont fissurés ils présentent en particulier sur les pentes latérales, une ou deux fissures transversales imperceptibles. Le béton de protection de la face amont est légèrement détérioré par le gel. Quelques infiltrations ont été observées dans le tunnel de service. La face extérieure présente de petites tâches d'humidité, la plupart situées à la partie supérieure et dues probablement à l'infiltration d'eau de pluie à travers la couronne: elles disparaissent en été. Le drain placé dans la semelle évacue au maximum (lorsque le bassin est plein) 1,0 l/s. Les joints de dilatation, où quelques fentes se sont présentées au début, ne laissent plus passer que de faibles quantités d'eau. Le débit d'eau d'infiltration total est de 3 l/s au plus. Aucune réparation ne fut nécessaire jusqu'ici.

Le barrage de *Zschoppau*, près de Kriebstein (Saxe), comparativement de faible hauteur, est le seul des nombreux barrages saxons, d'ailleurs presque tous assez grands, et de même âge, qui ait été construit en béton. Amené par goulottes le béton (comme pour le barrage du Schwarzenbach) est le fruit de longues études de la part du maître de l'oeuvre (Administration saxonne des Eaux.).

Le béton, spécialement gras, se composait d'une partie de ciment pour 0,38 de trass et 3,89 de matériaux additionnels (exprimés en volume). Ceci correspond, sans tenir compte du trass, à 320 kg de ciment pour 1 m^3 de béton durci.

---

[1] cf. Bautechnik du 4. 6. 1926.

Le face amont est encore recouverte d'une couche de 25 mm de béton projeté, d'enduit lisse et d'un triple enduit d'inertol; pour la première fois en Allemagne elle est drainée; l'autre face est laissée nue.

Ce barrage, quelques formations d'écoilles mises à part, ne présente aucune détérioration et n'a pas encore exigé de réparation.

Le débit de l'eau d'infiltration, déjà très faible au début, n'a fait que décroître depuis la mise en service (0,14 l/s en 1930, 0,026 l/s en 1935, auto-étanchéification).

Les barrages du *Schluchsee* et de la *Schwarza* (au sud de la Forêt Noire) ont été construits par la même maison (Badenwerk), le même entrepreneur (Siemens-Bauunion) et en partie par les mêmes ingénieurs que le barrage de Schwarzenbach.

Le mode de construction de ces ouvrages est cependant très différent et montre bien l'évolution rapide des idées. Ici, on utilisa du béton «mou» au lieu de béton fluant, et la coulée s'opéra, non plus par goulottes, mais au moyen d'un tapis roulant et de bennes, à partir de 3 derricks.

Les deux faces sont garnies de béton de protection (resp. 0.7 et 1,00 m d'épaisseur) et pourvues d'un revêtement de 1,50 m; la face amont est en outre recouverte d'un couche de 25 mm de torkret et d'un double enduit d'inertol porté à la truelle. En arrière, on a disposé un système de drainage. L'intervalle des joints de dilatation est réduit à 12—15,5 m (Schluchsee) à 10—20 m (Schwarza).

Les deux faces ne présentent pas de dommages graves. Les joints de dilatation, disposés primitivement jusqu'au couloir de révision, se sont prolongés d'eux-mêmes en fissures jusqu'à la semelle:

Le barrage de la vallée de la *Saale*, près du *Kleines Bleiloch*, construit à peu près en même temps que les barrages du Schluchsee et de la Schwarzach, est aujourd'hui de plus haut de l'Allemagne (70 m). Au contraire de ces derniers, le béton y a été coulé à partir de passerelles fixes et par des tubes articulés verticaux, munis d'ailettes de choc travaillant d'après le système des malaxeurs à declice, auxquelle est fixé un système de goulottes sur rouleaux du type courant.

Les deux faces ne sont pas garnies, ni de béton de protection ni d'enduit; la section du barrage forme un seul bloc compact de béton, composé de ciment portland mélangé de "thurament"[2] et de matériaux additionnels concassés, avec un très fort apport d'eau, de 240 l env. par m^3 de béton.

Le barrage, soumis à l'observation continue quant à son dégagement de chaleur, ses variations de volume et les mouvements de ses blocs, présente des nombreuses fissures; 4 sur 8 des blocs se sont fissurés dans le sens radial avant le premier remplissage du bassin. Des mortaises en queue d'aronde furent creusées sur la face amont et murées avec des klinkers, le tout recouvert d'un enduit d'amiante bitumée. Cette mesure fut couronnée de succès. L'étanchéité du barrage laisse cependant encore à désirer; le drainage de la face amont a encore un débit de 25 l/s lorsque le bassin est plein.

[2] Le «thurament» est un matériau additionnel formé de laitier de haut-fourneau basique moulu; son action de liant est faible et ne se manifeste qu'en présence de chaux ou de ciment; il est produit en Thuringe près du chantier.

Dans l'un des blocs ayant déjà subi une réparation, la fissure s'est prolongée vers le haut; l'eau y passe directement dans le drain (16 l/s). L'étanchéification de cette fissure est envisagée avec l'espoir de réduire encore le débit des fuites.

Depuis son achèvement (1932), le barrage du Bleiloch n'a présenté aucune détérioration à sa surface.

Le barrage du *Zillierbach* dans le Harz, a été achevé à la fin de 1935. Malgré l'absence d'expériences acquises, cet ouvrage mérite tout de même un examen approfondi; il peut être considéré comme un exemple typique du développement le plus récent de la construction des barrages en Allemagne.

Ce barrage, haut de 47 m et long de 172 m, présente, pour la première fois en Allemagne, un tracé rectiligne. La couronne est remarquable par sa faible épaisseur de 2 m seulement.

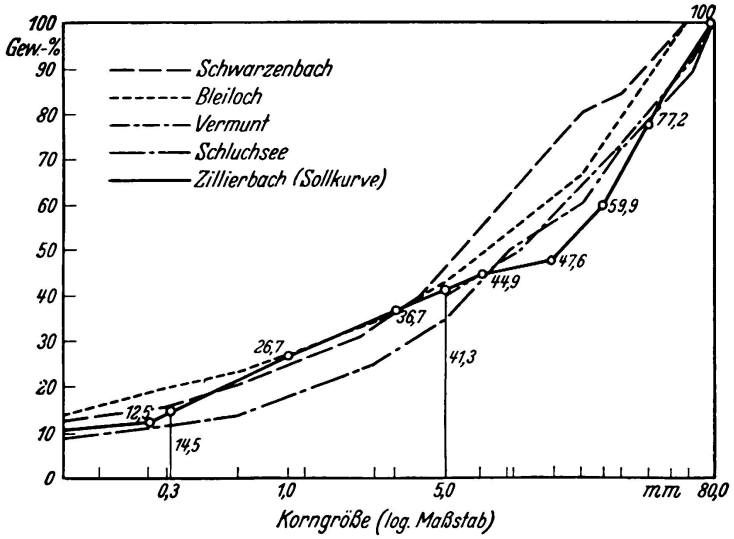

Fig. 2. Comparaison des courbes de tamisage de quelques nouveaux barrages (y compris les liants). Korngröße (log. Maßstab) = grandeur du grain (échelle logarithmique), Gew.-% = poids en %. Zillierbach (Sollkurve) = Zillierbach (courbe proposée).

Le béton est d'un mélange de granit-porphyre et de diabase concassés, choisis soigneusement et dont la granulation a été controlée (fig. 2); le dosage de 200 kg/m³ de ciment pour le noyau est de 300 kg/m³ pour le béton de protection des faces, épaisses de 1,0 m et de 1,2 m respectivement. Le coffrage, sur les deux faces, a été exécuté en acier.

L'apport d'eau a été dosé de façon à obtenir un béton plastique et facile à mettre en oeuvre; 160—170 l par m³ de béton ont été mélangés aux autres matériaux, chiffres correspondant à un rapport eau-ciment de 0,8 à 0,85 pour le noyau. En premier lieu, on utilisa un ciment portland au trass (30%) et plus tard, un ciment de haut-fourneau d'égale qualité. La coulée s'opéra en partie au moyen de wagonnets basculants, vidés dans des goulottes ou des tuyaux en Y, le plus souvent cependant (pour le béton de protection en particulier) à partir de derrick et au moyen de bennes. A l'intérieur des coffrages, le béton mou fut encore bourré et pilonné; il en résulte une masse très homogène.

Les joints de dilatation sont ici espacés de 12 m. La face amont est drainée par un système de tuyaux de ciment très poreux, placés horizontalement.

Dans ce barrage, le plus récent de l'Allemagne, ont s'engagea donc, pour le travail de la surface, dans des voies conduisant à une simplification extrême et

à une forte réduction du coût de la construction. En même temps, on améliorait encore la qualité du béton, au point de vue de son homogénéité et de sa résistance aux intempéries.

Les barrages de la Hohenwarte (en contre-bas du barrage de la Saale) et du Lütschetal, près de Oberhof, en Thuringe, sont les plus récents ouvrages allemands de ce genre; les travaux sont encore en cours.

Le barrage de la *Hohenwarte* aura une hauteur de 170 m (mesurée à partir de la semelle) et une longueur de 450 m à la couronne. On utilise le même mélange pour tout le barrage. Le liant est un mélange de 60% de ciment portland au trass 40/60 et de 40% de thurament, au taux de 285 kg/m³ de

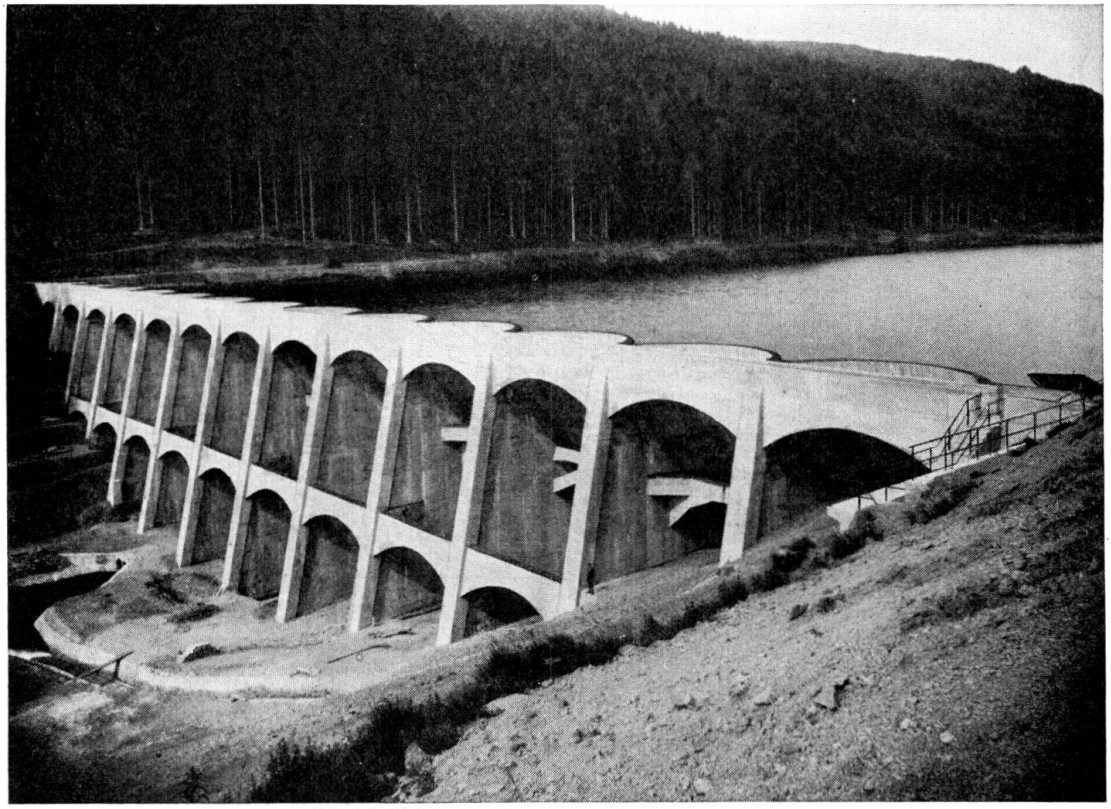

Fig. 3.
Barrage de Linachtal près de Vöhrenbach

béton durci. Le matériau additionnel est du granit de la plus forte granulation admissible 100 mm. Le béton est travaillé jusqu'à former une masse plastique (béton mou), et coulé par des grues à cables. On envisage l'introduction d'un réfrigérant à l'intérieur du béton, afin d'absorber la chaleur dégagée lors de la prise. Les travaux de bétonnage n'étaient pas encore commencés lorsque ces lignes ont été écrites.

La surface du barrage ne sera garnie ni de torkret ni d'enduit. Le béton utilisé doit être suffisament étanche. Un système de drainage du côté amont, doit évacuer l'eau d'infiltration.

Le barrage du *Lütschetal* atteindra une hauteur de 35 m, de la semelle à la couronne, celle-ci a une longueur de 210 m. Le liant est ici en ciment portland, sans addition de liants hydrauliques, tels que du trass, du thurament

etc., pour le noyau, le dosage en ciment sera de 240 kg/m³ et pour le béton de protection, de 300 kg/m³. Le matériau additionnel est du porphyre, en grains de 70 mm. Comme pour le barrage de Hohenwarte, le béton sera coulé à l'état mou, au moyen de grues à cable et ultérieurement pilonné et bourré.

Le béton de protection mi à part, la surface ne sera pas garnie contre les infiltrations, un réseau de drainage, du côté amont, servira à évacuer les eaux.

Le barrage du *Linachtal* près de Förenbach (Forêt Noire badoise) (fig. 3) est le seul ouvrage allemand à piles (avec voûtes) en béton armé. Il a été exécuté en béton damé mou, de qualité adaptée à l'armature très serrée. Le dos des voûtes, du côté amont, est recouvert d'une couche de béton projeté et enduit plusieurs fois.

L'ouvrage est très étanche dans toutes ses parties et ne présente aucune détérioration. En Allemagne, ce mode de construction n'a guère trouvé d'écho jusqu'ici; par suite de son haut prix de revient unitaire et de certaines difficultées d'exécution, l'économie réalisable est limitée.

2) *Digues en terre battue avec noyau de béton.*

Par la suite, on reconnut que les digues en terre et gravier cylindrées, avec noyau étanche en béton, dont on peut trouver quelques exemples en Amérique, offraient certaines possibilités d'économie, ce mode de construction a été récemment appliqué par la mise en oeuvre de plusieurs ouvrages.

Fig. 4.

Barrage de Sorpetal, coupe (cf. Deutsche Wasserwirtschaft mars 1932, p. 42, fig. 1).

La digue du *Sorpetal* (fig. 4) dans la Ruhr, celles du Sösetal et de l'Odertal, de même que la digue récemment achevée du Kalltal (fig. 5) sont des exemples de la forme originale de ce mode de construction. Le noyau élancé est divisé en bloc de 24 m (Sorpetal) à 20 et 15 m (Kalltal) par des joints de dilatation (l'intervalle plus grand paraît admissible, car le noyau est entouré de terre).

Le noyau de la digue du Sorpetal est en béton formé d'un mélange de 180 kg de ciment de haut-fourneau, 60 kg de chaux trassique artificielle et 1890 kg de matériau additionnel en grains de 0—60 mm (pour 1 m³); le rapport eau-ciment est de 1,0. La face amont est protégée par une couche de 0,5 m de béton, au dosage de 225 kg de ciment de haut-fourneau, 75 kg de chaux trassique et de la même quantité de matériaux additionnels. Pour le remplissage des joints, opéré au moyen de prismes, on ajouta au béton 250 kg de ciment de haut-fourneau et 85 kg de chaux trassique par m³. Le béton de protection est recouvert encore d'un revêtement de torkret et de pluisieurs couches d'enduit: A l'intérieur du noyau est disposé un réseau de drainage à tuyaux verticaux, ceux-ci aboutissant au tunnel de surveillance placé en avant de la semelle sur la face avale. Cette digue se distingue par son étanchéité; le bassin n'a cependant jamais encore été tout à fait rempli (accumulation annuelle).

La difficulté essentielle dans ce mode de construction réside dans la nécessité de soutenir le noyau relativement faible par la poussée passive du remblais de terre de la face avale, afin de contre-balancer la poussée de l'eau et celle de la

terre de l'autre face. L'entrée en jeu de cette poussée passive suppose cependant un certain déplacement du noyau, qui à ce qu'il paraît ne peut guère s'effectuer sans une fatigue excessive du matérieau.

On a essayé de parer à ce phénomène en aménageant des joints à la semelle (digues du Sösetal, du l'Odertal, du Kalltal). Ces joints sont soit du type à renversement, soit du type à glissement, soit une combinaison des deux. L'exécution se borne à leur donner une forme légèrement incurvée et inclinée, avec l'adjonction d'une couche intermédiaire d'asphalte très dense, en liaison aussi avec des tôles de glissement (digue Kalltal). Il est encore impossible de juger de l'éfficacité de cette mesure.[3] Le dernier progrès dans le domaine des digues à noyau tend à remplacer, — du moins à titre d'essais — le mur de béton

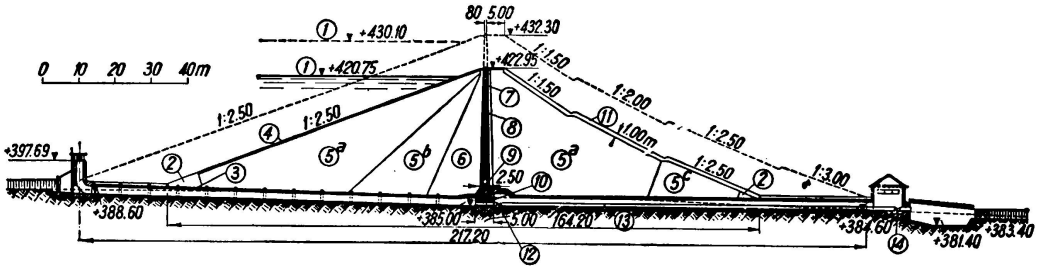

Fig. 5.

Barrage de Kalltal, coupe dans l'axe de la décharge de fond.

1) Déversoir superficiel pour hautes eaux.
2) Empierrement de moellons.
3) Roc.
4) Empierement 0,60 m.
5a) Remblai à pierres grosses.
5b) Remblai à pierres fines.
5c) Remblai à pierres très grosses.
6) Argile.
7) Pierraille.
8) Noyau en béton.
9) Joint de glissement.
10) Passage de contrôle.
11) Gazon.
12) Papillon (se ferme automatiquement par rupture du tuyau).
13) 2 tuyaux 650 et 1100 mm diam.
14) Tiroir rond.

rigide par une paroi d'acier élastique; Le bétonnage se bornera alors à une semelle de quelques mètres de hauteur, reliant la paroi au roc. La paroi d'acier de la digue du Ruhrtal (près de Schwammenauel) est parallèle au remblais de crue et formé de palplanches horizontales. Lors de la construction de la nouvelle digue de Bevertal (Rhénanie), on a exécuté la paroi en tôles d'acier ondulées de 8 m, soudées et placées verticalement.

Nous ne possédons encore aucune information quant à l'expérience acquise avec ces nouvelles digues, en partie encore inachevées.

II. *Expérience acquise et conceptions au sujet des problèmes en suspens de la technique allemande des barrages.*

Remarques préliminaires.

L'expérience pratique, dans le domaine des barrages, est plus que partout ailleurs, liée à l'époque et au lieu où elle a été acquise. Le climat, les conditions hydrologique, géologique et morphologique varient d'un endroit à l'autre et

[3] La Commission des barrages du Reichsverband der Deutschen Wasserwirtschaft prépare un mémoire à ce sujet.

ont une influence marquée sur ce qu'on peut exiger du béton, sur sa composition et sur sa mise en oeuvre. Des facteurs économiques, tels que le tarif des salaires, le recrutement d'ouvriers, le prix des matériaux peuvent avoir une influence variable avec le temps. Ces remarques s'appliquent à tout ce qui va suivre.

1) *Préparation et mise en oeuvre du béton.*

En Allemagne, *les matériaux additionnels* ne sont, dans la plupart des cas, autre chose que de la pierre brute concassée; les difficultés qui se sont parfois présentées à cet égard eurent leur cause dans l'insuffisance de production des carrières ou la rencontre de mauvaises couches au cours de l'exploitation.

En raison de leur influence sur la résistance, la compacité et la densité apparentes du béton, la forme et la grosseur du grain ont été depuis longtemps l'objet d'une attention spéciale. La régularité de la courbe de granulation (dans le cas particulier, celle de Graf, fig. 2) sert de critère; les dimensions du grain le plus gros sont telles qu'on puisse encore l'introduire dans les machines; elles n'ont fait que croître avec le temps. (Barrage du Bleiloch 60, Schluchsee et Zillierbach 80, soumissions pour le barrage de la Saale près de la Hohenwarte, en construction, 100 mm).

Quelques fois on enroba des bloc de pierre dans le béton mou — au Schwarzenbach les plus grands mesuraient jusqu'à 2 m^3 (pratiquement et le plus souvent jusqu'à 1,6 m^3 seulement; au minimum 0,1 m^3) — en moyenne 20% du volume. D'après Heintze[4], ce rapport est de 30% au maximum et présente la plus grande économie à 25%. Cette introduction de blocs de pierre, appliquée aussi au Schluchsee et au Schwarzenbach, réduit la quantité du liant, augmente l'étanchéité, la stabilité de volume et la densité apparente du béton, d'où la nécessité de moindres sections. Elle améliore la cohésion dans les joints horizontaux et permet d'éviter la dentelure toujours coûteuse. Elle permet aussi de réduire le nombre des machines à bétonner et à concasser, mais exige cependant une installation de lavage; l'économie réalisée dépasse, tout compte fait, les frais supplémentaires. Par contre, la disposition des blocs de pierre augmente les difficultés d'exécution dans une certaine mesure. A tout prendre, et dans les conditions rencontrées au Schwarzenbach, ce procédé s'est avéré très avantageux et peut être recommandé. Une forme appropriée et l'absence de fissures sont cependant les critères essentiels pour l'usage de ces pierres. En Allemagne du Nord, ces conditions ne sont pour ainsi dire jamais réalisées.

Dans le même ordre d'idées, mais dans un sens différent, on peut ranger l'usage des résidus de matériaux additionnels[5], à courbe de granulation irrégulière, tel qu'il est proposé par l'"Ecole autrichienne" en particulier. Sous une forme quelque peu mitigée, mais cependant facile à reconnaître, cette idée a trouvé son application au barrage du *Zillierbach,* pour la première fois en Allemagne[6] (fig. 2).

---

[4] cf. Bautechnik du 26. 11. 1926.

[5] cf. *O. Stern:* dans „Neue Grundlagen der Betonzusammensetzung", dans Z. Oe. I. A. V. 1930, N° 31/32.

[6] cf. *Forner:* dans Bauingenieur du 29. 5. 1936.

Ici, on a divisé en premier lieu le matériau concassé en 5 groupes de granulation: 0—3, 3—7, 7—15, 15—40, 40—80 mm, ensuite on concassa la plus grande partie du groupe 7—15 mm de façon à obtenir 17% de sable régulier; le reste du besoin fut couvert par du sable naturel transporté par chemin de fer. Les différents groupes de granulation n'ont été mélangé qu'immédiatement avant de charger la bétonneuse. Des essais préliminaires ont établi que les plus gros grains admissibles étaient de 80 mm; avec les mélanges plus grossiers, la présence d'une grande quantité d'éclats de pierre réduisait la résistance du béton.

Deux théories sont en présence, traitant de la teneur en particules du grain le plus fin.

Jusqu'à présent, on a surtout insité sur l'effet de remplissage des pores par la poussière de pierre; on a même attribué à cette propiété une valeur telle, qu'on n'hésitait pas à ajouter de la poussière moulue lorsque le besoin paraîssait s'en faire sentir. Cependant certains ingénieurs allemands avaient reconnu longtemps auparavant l'effet «amaigrissant» de la poussière de pierre, dû à la grande surface spécifique de ces particules. Cet effet a été reconnu le plus clairement par l'"Ecole autrichienne" et traité en conséquence. Spindel (Vienne) insiste depuis longtemps sur l'effet dangereux et rompant la cohésion des particules de poussière plus petites que 5 à 7 fois le grain du ciment[7]. L'application de ce principe fondamental du résidu de tamisage au mélange: liant + sable (d = 0,7 — 7 mm) a fait ses preuves dans les essais de laboratoire complets ayant trait à la confection d'un béton compact et résistant aux intempéries, mais surtout lors de l'application de ce procédé à de nouveaux barrages dans les Alpes autrichiennes (Spullersee, deux barrages à plus de 1800 m d'altitude mis en service en 1925, barrage du Vermunt à plus de 1700 m d'altitude, climat rude)[8].

Liants: La stabilité de volume, la compacité, la résistance aux intempéries et la résistance aux agents chimiques, déterminent le choix et le dosage des liants dans la technique allemande des barrages. Ceux-ci sont en général de faible hauteur et la résistance mécanique des liants est suffisante. Ces conditions varient quelque peu dans le cas de digues à noyau. Au début, on a essayé d'obtenir un béton bon marché et cependant riche en liant, en y mélangeant du ciment portland, de la chaux et du trass (suivant en cela les propositions d'Intze et de ses collaborateurs, concernant les mortiers de chaux chaux grasse et de trass appliqués aux barrages en moellons). Lors de la construction du barrage du Schwarzenbach, on a renonçé à l'emploi de chaux, probablement parce qu'il était peu pratique et prolongait la prise. La chaux n'a plus été employée dans la construction des barrages allemands[9]. Par contre, on a continué à utiliser le trass seul (qui n'a pas de pouvoir liant) pour améliorer et rendre le ciment meilleur marché. Au point de vue économique, le succès

---

[7] cf. *Spindel:* „Wasserdichte und beständiger Beton für Sperrmauern. Beton und Eisen. 5. 10. 1932, voir aussi Tonindustriezeitung 1913, N° 66 et Wasserwirtschaft (Vienne) 1933, N° 17/19 et 1935 N° 14/15.

[8] cf. *B. Widmann:* (Berlin) dans Deutsche Wasserwirtschaft du 1. 7. 1935.

[9] Par contre dans la construction des écluses, voir aussi *K. Ostendorf* dans Bautechnik 1927, N° 39.

dépend de la facilité des transports (régions d'exploitation: Rhénanie et Bavière) et même dans le cas le plus favorable, le gain n'est pas très grand. En ce qui concerne l'amélioration de la qualité du béton, les essais de laboratoire ont prouvé que l'augmentation de l'élasticité du mortier et de sa résistance à la traction n'avait pas une importance décisive dans les barrages à gravité. L'expansion du béton augmente avec l'addition de trass, le retrait ne diminue pas, il s'accroît même, car il demande un plus fort apport d'eau. Les avis sont partagés quant à la diminution de la chaleur de prise. On reconnait généralement que le trass a l'heureuse faculté de lier la chaux libre contenue dans le ciment; il permet en outre la préparation plus facile du béton.

La pratique actuelle de l'addition de trass varie dans la construction des barrages allemands (même quand les conditions de transport sont identiques). Le "thurament", employé lors de la construction du barrage du Bleiloch, n'est autre chose qu'un succedanné de trass, une poudre de laitier basique.

Le mélange, préliminaire et nécessaire, des liants, effectué lors de l'emploi de trass ou de matériaux analogues, a été de plus en plus remplacé par la fabrication commerciale de ciment portland au trass (Trapo) de meilleure qualité.

Lorsque l'eau (très douce) contient des principes nocifs on employe souvent du ciment de haut fourneau (Schluchsee, Schwarza); d'après les observations faites jusqu'ici, il donne entière satisfaction; les eaux d'infiltration du barrage du Schluchsee ont cependant une forte teneur en calcaire; les recherches entreprises ne sont pas terminées et ne permettent pas un jugement définitif.

On a utilisé du ciment alumineux pour réparer un petit barrage au Sud de la Forêt Noire, dont le béton de ciment portland utilisé en premier lieu avait été attaqué par l'eau douce pendant 4 ans. Mais, peu après, les phénomènes d'expansion se manifestèrent (écaillement continuel). Entre temps des recherches scientifiques, entreprises ailleurs ont confirmé l'instabilité de volume du ciment alumineux dans l'eau.

Au point de vue de la finesse du grain du liant, les dernières exigeances tendent à remplacer le tamis de 900 par celui de 3600 mailles. On peut affirmer que ce progrès, en relation avec la limitation appropriée du grain le plus fin du matériau additionnel, aura comme effet la fabrication de mortiers et de bétons plus compacts et plus résistants aux intempéries.

Apport d'eau.

La technique allemande des barrages a reconnu de bonne heure le danger que présentent un trop fort apport d'eau, en tant qu'abaissant la résistance à la formation de fissures et la compacité du béton coulé.

Depuis la construction des barrages de Schluchsee et de la Schwarza, la pratique générale tend à n'utiliser que du béton "mou" ("plastique"); les avis sont cependant encore partagés quant à la teneur en eau la plus favorable, celle-ci pouvant varier dans d'assez larges limites correspondant au béton coulé et au béton damé humide. Dans une récente prescription, on préscrivit l'usage du béton mou dans une goulotte incliné à 27^0 au moins (1:2); par contre un autre groupe d'ingénieurs allemands est d'avis de limiter la teneur en eau à une mesure adaptée aux circonstances et ne s'oppose pas à un damage modéré;

le barrage du Vermunt (Alpes autrichiennes) a été construit suivant ce principe par ces mêmes ingénieurs; l'application, au noyau, de béton "moyennement humide" (C. 150 kg/m³) et, pour la protection, de béton "suffisamment plastique pour être damé" (C. 250 et 300 kg/m³) a été couronnée de succès.

En dépit des avis encore partagés, on est d'accord cependant pour reconnaître que la consistence du béton n'est pas assujettie au type des mélangeurs, mais que ceux-ci, au contraire, doivent s'adapter à la consistence du béton, déterminée elle-même par les exigences de la construction.

Mélange et mise en oeuvre du béton:

Pour ses opérations de mélange, la technique allemande des barrages a adapté depuis longtemps un système à mécanisation très poussée; on y utilise des dispositifs de pesage et de mesure, automatiques et réglables, pour le dosage

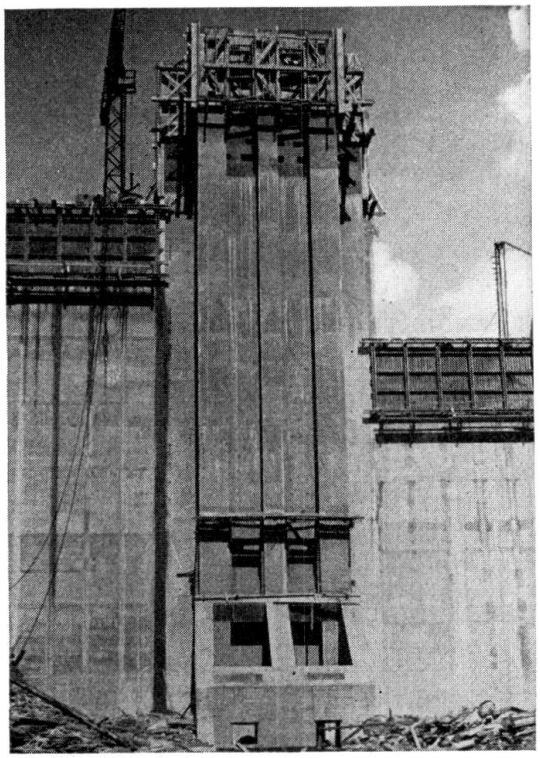

Fig. 6.
Barrage de Zillierbach, vue de côté aval,

du liant, des matériaux additionels et de l'eau d'apport[10]. Les mélangeurs à fonctionnement ininterrompu sont souvent défendus. La durée du mélange est réduite au minimum. Au barrage du Zillierbach, elle n'était que de $^3/_4$ à une minute. (Durée totale de l'opération: 3 minutes); le béton ainsi produit répondait à toutes les exigences (fig. 6, barrage du Zillierbach, vu sur la face aval). La liaison entre l'installation de mélangeurs et le chantier s'opèrent aujourd'hui par téléférique (barrage du Schwarzenbach, plus récemment encore à la Hohenwarte et à la Lütsche), par tapis roulant ou par convoyeur; ceux-ci peuvent être disposés sur des pilônes à hauteur de la couronne (Bleiloch[11],

[10] *O. Graf:* dans Bautechnik. 10. 5. 1929.
[11] cf. *W. Kesselheim:* dans Bauing. 1932, N° 13/16.

Zillierbach), ou servent à l'alimentation de monte-charges disposés en avant de la face aval, eux-mêmes munis de courtes goulottes ou de tapis roulant, tournants et pouvant être déplacés dans le sens de la hauteur (Vermunt); on utilisa aussi des derricks avec bennes (Zillierbach). La place nous fait défaut pour une description détaillée de ces dispositifs variés et nombreux; nous contenterons de citer ici les tubes verticaux articulés[12], utilisés au barrage du Bleiloch; on para ici au danger de séparation du matériau (la hauteur de chute atteignait 40 m) par la disposition d'ailettes de choque, travaillant comme mélangeur à déclic. Ces tubes alimentaient un système de goulottes, à deux ou trois tronçons, fixées aux piles de la passerelle de service (fig. 7).

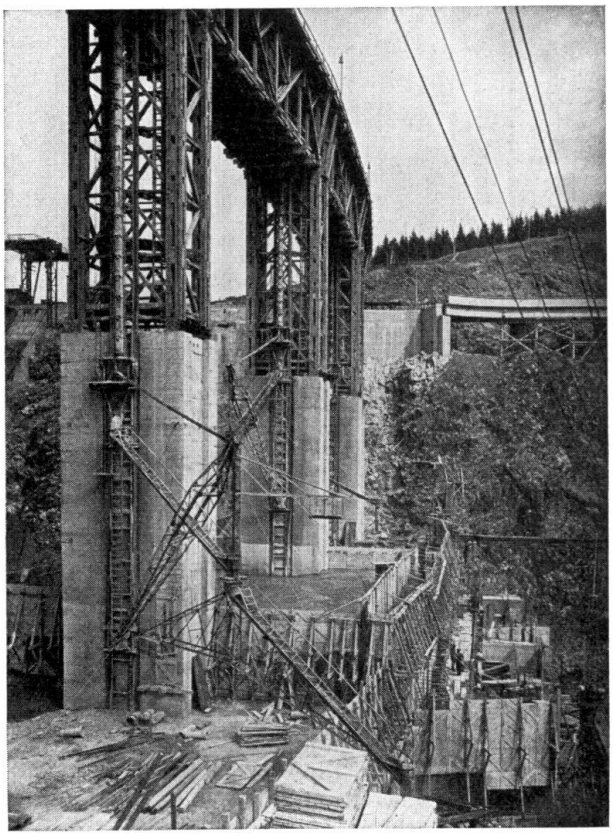

Fig. 7.
Barrage de Saaletal, installation de coulage avec tuyaux de chute et de coulage.

La pompe à béton n'a pas encore été utilisée dans la construction des barrages allemands, quoique son application ait été couronnée de succès dans d'autres cas; le plus gros grain utilisable est celui de 80 mm[13]. L'apport d'eau doit être mesuré de manière à obtenir un béton "plastique" à la sortie du tuyau. Une installation horizontale de 250 m a fonctionné parfaitement.

Ces nouveaux dispositifs donnèrent à l'avance des travaux une impulsion remarquable. Au Bleiloch par ex. (210 000 m³ de béton) l'avance mensuelle (y compris la construction de la centrale) a été de 29 600 m³, la plus forte journée de 1540 m³ (deux équipes de 9 heures). Au barrage du Vermunt (145 000 m³

[12] cf. *Habild:* dans Z.V.D.I. 20. 6. 1931 et *Widmann:* dans Deutsche Wasserwirtschaft 1935, N° 7.

[13] cf. *Heidorn:* dans Bauing. 1930, N° 22.

de béton damé) on attaignit le chiffre de 28 600 m³ par mois, avec un maximum journalier de 1960 m³ (en 20 heures de travail).

En Allemagne, *la disposition des blocs,* la dentelure et la hauteur des coulées des blocs est entreprise de la même façon qu'à l'étranger. Il est intéressant de noter ici le cisaillement des arêtes, lorsque la dentelure présente un profil rectangulaire dans le plan horizontal (on peut le remarquer à la face aval, où les arêtes se décollent). La préconisation d'un profil en trapèze pour la dentelure semble ainsi appuyée.

L'intervalle entre les *joints de dilatation* permanents, de 30 ou 25 m (Aggertal, Schwarzenbach, Bleiloch) a été abaissé à de moindres valeurs (Schluchsee: 15,5—12 m; Schwarza 20—10 m; Zillierbach 12 m). Il s'est produit des fissures aux barrages de l'Aggertal et du Bleiloch. La formation de fissures est incertaine au Schwarzenbach (à cause du revêtement); on ne sait si l'amélioration prêtée à l'enrobage de blocs de pierre dans le béton (20% de béton économisé) a eu un effet quelconque.

Les joints de dilatation du barrage du Schluchsee, qui n'étaient pas disposés jusqu'à la semelle, se sont prolongés en fissures jusqu'à celle-ci. Dans le même ordre d'idées il est remarquable que les fissures (fig. 8) du barrage de l'Aggertal, partant de la semelle, ne se sont pas prolongées jusqu'à la couronne. Ce phénomène, en contradiction avec la loi de la formation des fissures dans les murs rectilignes, est sans doute dû à la forme arquée de ce barrage, et au dégagement de chaleur plus élevé de l'épaisse partie inférieure, accompagné d'une transmission plus faible. Il est intéressant de noter, et aussi facile à expliquer, que les fissures ont leur origine de préférence dans les vides et les couloirs de service dirigés perpendiculairement à l'axe du barrage (Dreilägertal). Il ne faut pas oublier cependant que certains barrages en moellons, même parmi les plus récents, présentent aussi des fissures et d'autres fuites assez considérables[14]. A une exception près, ces barrages n'ont cependant rien d'autre que leur forme arquée en fait de protection contre le fissurage.

Nous ne pouvons ici qu'effleurer le problème de l'étanchéification des joints de dilatation; ils ne présentent en général rien de bien différent de ce qui se fait à l'étranger.

La garniture de cuivre, avec robe d'asphalte, a été souvent utilisée, soit sous forme de lyre, soit sous forme de Z (Schluchsee). Parfois, on appliqua encore une poutre de béton armé, de section trapèzoïdale, posée en avant comme seconde garniture. Les difficultés inhérentes à l'emploi des garnitures de cuivre ont parfois provoqué des fuites dans le béton environnant. En suite des observations faites au barrage du Zillierbach, les constructeurs de cet ouvrage ont proposé l'emploi d'un coffrage de puits perdus (en tôles et cornières) en liaison avec la garniture[15].

Ce dispositif doit écarter les difficultés lors de la pose de la garniture (fig. 9). Un mémoire complet concernant la question des joints de dilatation a été présenté par Link au Congrès international des barrages, lors de la Conférence mondiale de l'énergie, à Washington (1936).

---

[14] cf. *Ludin:* Mémoire sur les surfaces extérieures des barrages allemands, Conférence mondiale de l'énergie, Washington 1936. Congrès des barrages.

[15] Deutsche Wasserwirtschaft, août 1936.

Coffrage: Le coffrage d'acier du barrage du Zillierbach s'est avéré trop faible; l'avance du bétonnage des blocs était trop rapide et le béton mou de ciment de haut-fourneau à prise lente exerçait une poussée latérale plus grande qu'on ne l'avait d'abord prévue. Le coffrage en acier n'a été utilisé ici qu'à l'extérieur, où il est important de réaliser une surface propre et une grande compacité du béton; le succès a été complet (fig. 10). Pour les faces des blocs, à l'intérieur de l'ouvrage, on utilisa un coffrage en bois (modèle breveté par

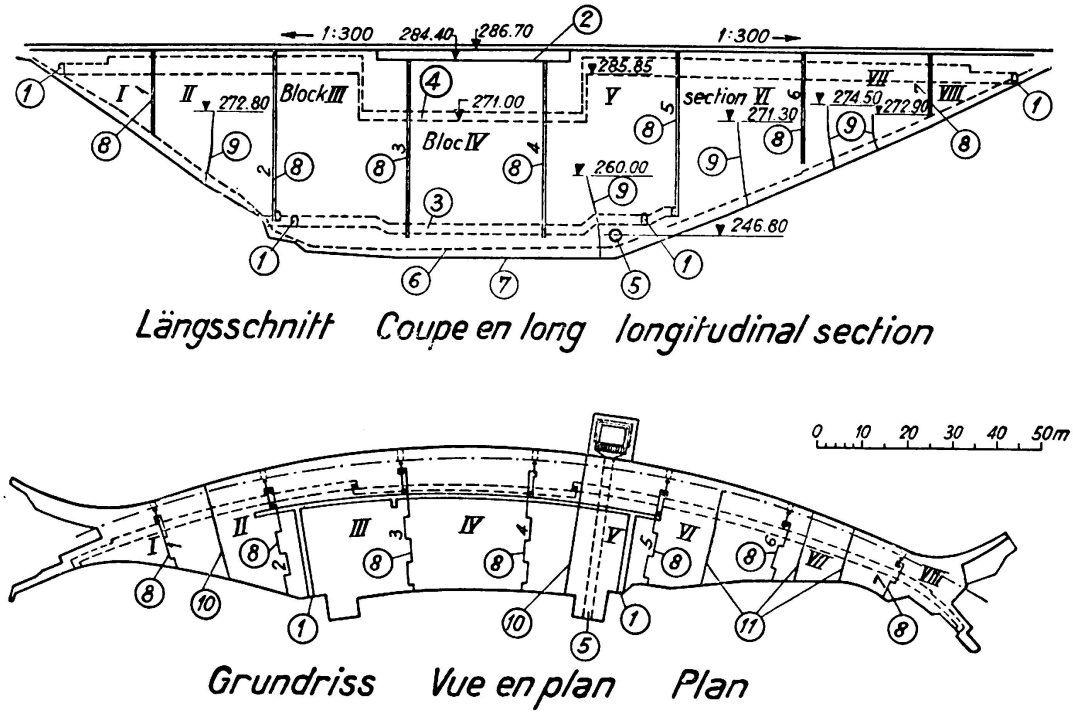

Fig. 8.

Barrage d'Aggertal, fissures et joints.

1) Entrée de la galerie.
2) Déversoir.
3) Galerie de surveillance.
4) Galerie supérieure surveillance.
5) Prise d'eau.
6) Arête supérieure du rocher.
7) Arête de la fondation.
8) Joint.
9) Fissure.
10) Allure déterminée de la fissure.
11) Allure probable de la fissure.

l'entreprise) formé d'un cadre de 3,5 . 3 m avec nervures transversales; ce coffrage a rendu de bons services et peut être rapidement déplacé. La disposition soigneuse et le contrôle des étais et ancrages du coffrage est *très importante;* ces mesures seules permettent une exécution conforme au plan, ceci en particulier pour les faces extérieures.

Le traitement ultérieur du béton — couverture humide, arrosage, etc. — a été très apprécié récemment. Lors de l'adjudication des travaux du nouveau barrage de la Saale près de la Hohenwarte, on exigea un arrosage permanent des blocs décoffrés pendant 2 à 3 mois. Les installations frigorifiques servant à abaisser la température de prise n'ont pas encore reçu d'application; elles figurent cependant au cahier des charges du barrages de la Hohenwarte, au choix de l'entrepreneur.

2) Traitement des surfaces et revêtements, protection, étanchéification et drainage du béton.

Un revêtement de la face aval en pierre naturelle, n'a plus été disposé sauf au barrage du Schwarzenbach, de l'Aggertal et du Petit Brändbach. On n'a pas non plus constaté de dommages dûs au gel et aux intempéries sur les faces

Fig. 9.

Tôle d'étanchéite avec caisson. (cf. Deutsche Wasserwirtschaft, août 1936, article Forner, fig. 2).

extérieures, non revêtues, des vieux barrages de béton (Schluchsee, Bleiloch). On n'en peut dire autant de la face amont qui, au barrage de Schwarzenbach excepté, n'a de revêtement nulle part.

Ajoutons que la température, par ex. au barrage de la Saale, peut varier de $+37^0$ à -28^0 C. Les barrages allemands ne sont donc guère moins en butte aux rigueurs du climat que ceux des Alpes autrichiennes.

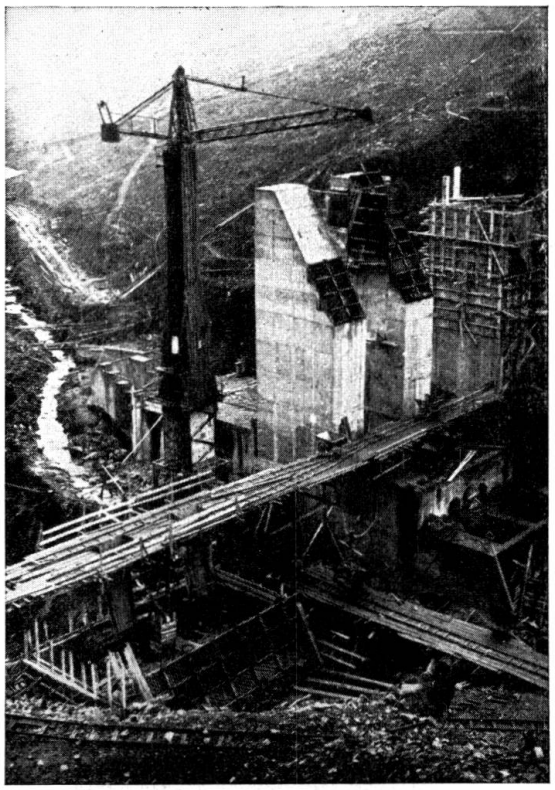

Fig. 10.
Barrage de Zillierbach, application du coffrage métallique

Le problème de la composition du béton, à savoir s'il est préférable d'employer un béton de même composition sur toute l'épaisseur du barrage, ou du béton perméable au noyau avec du béton de protection étanche sur les deux côtés, n'a pas encore trouvé de solution définitive en Allemagne, ni dans la pratique, ni au point de vue purement scientifique (voir liste 1). La préférence semble cependant aller au béton de protection. Les observations faites au Bleiloch (fissures) ne semblent pas donner raison, au point de vue technique, à l'exécution en béton à fort dosage de liant et d'eau. (Le barrage de Kriebstein, en raison de ses petites dimensions, et celui du Schwarzenbach, dont la construction repose sur la conservation d'une certaine tradition (revêtement) ne peuvent servir de référence.)

L'usage de béton de protection en liaison avec un noyau pauvre en liant paraît offrir la plus grande économie.

La possibilité de fabriquer un béton de protection imperméable et de parfaite résistance aux intempéries paraît être aujourd'hui assurée, ainsi qu'il ressort de l'examen des expériences faites (voir plus haut de résultat de l'"école autrichienne"). Les avis sont un peu partagés quant à la nécessité et la valeur réelle d'un revêtement de béton projeté (torkret). Le barrage du Zillierbach, exécuté sans revêtement sur sa face aval orientée au nord, soumettra son mode de construction à une épreuve très serrée. Les barrages du Schluchsee et de la Schwarza présentent des fuites de petits débits, mais remarquables par leur teneur en chaux. On suppose que l'eau d'infiltration passe en majeure partie par les joints. L'examen n'en est pas encore achevé.

Les enduits, doubles ou triples, destinés à protéger le barrage contre l'action d'éléments nocifs contenus dans l'eau et à remplir les pores du béton de protection, n'ont en général pas fait preuve de résistance contre les intempéries.

De nouveaux produits, semblant promettre plus, ont récemment fait leur apparition sur le marché allemand. Par exemple, on peut citer un enduit (breveté) composé d'une émulsion d'asphalte, de fibres d'amiante, et de sable, qui a été essayé au barrage (en moins long) de Neunzehnhain II près de Chemnitz, sous forme d'une couche de 2 mm. On vient aussi de faire l'essai, dans d'autres domaines de la construction en béton, d'un nouvel enduit projeté, nommé "bitukret"; il sera intéressant de suivre les résultats de ces tentatives, dans l'intérêt même de la technique des barrages. Ce produit (breveté) est composé de ciment, de sable et d'une émulsion bitumeuse, le "tunol", soluble dans l'eau; il doit être insensible à l'action des sels et acides, etc. bien mordre sur le béton, la maçonnerie etc., particulièrement lorsque ceux-ci sont encore humides, être très résistant au froid, à la chaleur et contre toutes actions mécaniques.

En premier lieu, la meilleure protection contre l'action destructrice de l'eau sera toujours la recherche d'un béton compact; il peut cependant être utile d'avoir à disposition un enduit de grande résistance chimique. Les produits bitumeux cités ci-dessus peuvent servir à cette fin. En Allemagne, il n'a pas encore été nécessaire de recourir à d'autres mesures de protection, très coûteuses, telles que le revêtement en tôle d'acier.

La couche de béton de protection est le plus souvent de même qualité sur les deux passes, mais son épaisseur est variée; elle est plus épaisse à la face amont (par ex. C. 275 et 300 kg/m^3, 0,75 à 1,00 m en aval, 1,2 à 1,5 m en amont) aux barrages du Schluchsee, de la Schwarza et du Zillierbach.

La mise en oeuvre du béton de protection s'est opérée en même temps que la confection du noyau, sans coffrage intermédiaire, ou tout au plus avec des tôles; la cohésion du béton dans les joints, par suite de la dentelure irrégulière ainsi obtenue, fut toujours parfaite. Aucune difficulté n'est intervenue au cours de ces travaux.

Drainage: Presque tous les barrages allemands ont un drainage de la face amont, en plus du drainage de la semelle indispensable du point de vue statique. Le système est formé d'un réseau de drains placés dans le plan vertical sous la surface amont, à un intervalle variant de 1,5 à 4 m; l'eau d'infiltration est généralement évacuée par les couloirs de surveillance et conduite au dehors par les couloirs d'accès. Les drains sont placés presque horizontalement, ce qui correspond le mieux à la construction en béton (autrefois verticalement dans

les barrages en moillons), et souvent réunis vers les puits d'accès dans les joints de dilatation (voir ci-dessous). On a remplacé les anciens tuyaux d'argile ou de ciment ordinaires (posés avec des joints ouverts) par des blocs de béton à grosse porosité, percés d'un canal de 10 cm, ou bien encore par des tuyaux de béton, protégés d'une enveloppe de papier destinée à empêcher l'introduction du béton au cours de la mise en oeuvre. Ils sont posés à intervalles de 1,5—5 m.

On a renoncé au drainage interne du barrage de l'Aggertal; ce mode de construction paraît admissible, car le barrage est composé d'un noyau perméable, couvert de béton de protection imperméable; le noyau fait alors l'office de drain; il suffit alors de le drainer lui-même par un système de collecteurs, ou de laisser ce soin aux couloirs de surveillance.

Le drainage et l'étanchéification de la couronne ont donné lieu à des mécomptes et la question doit être reprise. Le barrage de l'Aggertal présente des infiltrations d'eau de pluie derrière le revêtement en maçonnerie de la face aval; au barrage du Schwarzenbach, on a constaté que le garniture de torkret, sur les deux faces, était imprégnée et endommagée par le gel consécutif.

L'étanchéification ultérieure n'a pas été nécessaire, sauf aux barrages du Schluchsee et de la Schwarza, où il fallut réparer les joints de dilatation par injection de ciment, sans grand succès d'ailleurs.

3) Surveillance et contrôle.

La répartition des températures à l'intérieur du barrage a été contrôlée pour la première fois au Bleiloch par la disposition de 39 thermomètres à distance, au Schluchsee il y en avait 30. Il n'existe qu'un mémoire provisoire[16] concernant ces mesures; elles correspondent à celles qui ont été effectuées à des barrages étrangers.

Les mouvements de quelques points du barrage, ceux de la couronne spécialement, sont observés depuis longtemps en Allemagne, par un simple alignement de points de repère. Récemment on a également fait des mesures trigonométriques très précises[17]. Dans le pays de Bade, les contrats prévoient régulièrement l'obligation de procéder souvent à ces mesures; les résultats en sont portés dans les actes concernant les barrages (adoptés d'ailleurs dans toute l'Allemagne).

La surveillance de la pression dans les pores du béton et de la pression des infiltrations est préparée et opérée avec beaucoup de soin depuis longtemps. On ne l'étend qu'à la semelle, la preuve ayant été faite que la pression, à l'intérieur du barrage, ne prend pas de valeur mesurable, lorsque les dispositifs de drainage et d'étanchéité ordinaires ont été adoptés. Par contre, on peut observer regulièrement une pression à la semelle, fonction de la hauteur de l'eau dans le bassin. Les observations n'ont rien fait remarquer de spécial. Des mémoires détaillés ont été dressés en ce sens pour les barrages en moellon de l'Oester, de l'Eder et de la Möhne.

Les projets et l'exécution des barrages sont soumis à un contrôle serré par l'Etat. Les directives sont données par les "Prescriptions pour la construction et le service des barrages", remises à jour il y a quelques années. Elles ont fait leur preuve.

---

[16] Voir *Probst:* dans „Deutsche Wasserwirtschaft" 1932, N° 7/8.

[17] Mémoire de *Walther:* dans „Bauingenieur" du 5. 3. 1927.

Tableau 1a. Barrages allemands en béton.

No.	Année	Endroit, cours d'eau	Hauteur de la couronne			Longueur m	Rayon m	Orientation de la face amont	Epaisseur		Pente des faces 1 vert. à ... horiz.	
			au dessus du niveau de la mer	au dessus de la semelle	au dessus du lit de la rivière				à la couronne m	à la semelle m	aval	amont
1	1909—1911	Aix la Chapelle *Dreiläger*	393,00	89,5	32	300	350	Ouest	3,00	29,00	0,591	0,10
2	1922 - 1926	Forbach *Schwarzenbach*	670,00	67	50	400	400	S. E.	6,00	39,00	0,711	0,031
3	1927—1928	Oberberg *Agger*	286,50	45	43	225	225	S.	6,50	29,00	0,647	0,05
4	1927—1929	Kriebstein *Zschopau* (Saxe)	214,25	30	23	230	225	N. N.E.	4,00	17,30	0,848	0,04
5	1929—1932	Seebrugg *Schluchsee* et Schwarza	931,50	45	35	240	rectiligne avec coude au milieu	O.S.O.	3,70	27,00	0,72	0,03
6	1928—1931	Schwarzabruch *Schwarza*	724,75	43	33	158	140	S. O.	3,70	25,50	0,72	0,03
7	1926—1932	Saalburg *Saale* au Petit Bleiloch	412,00	70	60	215	300	N. N. E.	6,70	46,15	0,69	0,02
8	1934—1935	Wernigerode *Zillierbach*	473,00	47	39	172,5	∞	N.	2,00	26,52	0,63	0,05
9	1935—	Gräfenrode *Lütsche*	583,50	35	25,10	210			3,80	16,75	0,71	
10	1935—	Hohenwarte *Saale*	306,40	75	67,20	450	400	O.	7,20	49,00	0,71	0,02

Tableau 1b. Barrages allemands en béton.

No.	Joints de dilatation		Revêtement de la face amont						Revêtement de la face aval		
	Etendue m	Intervalle m	Crepissage mm	Enduit de	Revêtement de prot.	Béton de prot. Epaisseur m	Béton de prot. Ciment kg/m³	Drainage	Pierre naturelle	Béton de prot. Epaisseur m	Béton de prot. Ciment kg/m³
1	inconnue	joint sur le côté gauche	inconnu	Pachyktit avec Siderouthen	oui	—	—	oui	oui	—	—
2	milieu du barrage 57,00 m de hauteur	bloc médian 36 m 27 et 25 m	Torkret 25	de 606 à 630 triple couche de papier bitumé	oui	—	—	oui horizontal	oui	—	—
3	de la couronne à 3 m de la semelle	30,00	—	—	—	2,0—2,50	275 C. H. F. + 83 trass	—	oui	—	—
4	de la couronne à 1,5 m de la semelle	20—25	Torkret plat	Inertol 3 fois	—	—	—	oui	—	—	—
5	de la couronne à la semelle	12—15,50	Torkret 25	Inertol 2 fois	—	1,50	275 C. H. F.	oui	—	0,75	275 C. H. F
6	de la couronne à la semelle	10—20	Torkret 25	Inertol 2 fois	—	1,50	300	oui	—	1,00 coffrage raboté	300
7	de la couronne à la semelle	25	—	—	—	—	—	oui	—	—	—
8	de la couronne à la semelle	12	—	double jusqu'à 8 m sous la couronne	—	1,20	300	oui	—	1,00	300
9	de la couronne à la semelle	12—13	—	—	—	1,00	300	oui	—	1,00	300
10	de la couronne à la semelle	15	—	—	—	—	—	oui	—	—	—

Tableau 1c. Barrages allemands en béton.

No.	Expériences faites en service							Réparations et adjonctions effectuées
	Face amont		Face aval					
	Fissures	Gel	Fissures	Taches humides	Infiltrations	concrétion	Gel	
1	2 verticales	—	2 verticales	peu	dans les joints	oui	revêtement de la couronne	nouvel enduit de la couronne et émulsion bitumeuse
2	—	au crépissage	—	—	—	—	—	au-dessous de la couronne réparation de la couche de torkret sans cela rien à signaler
3	chaque bloc 1—2 impercept.	léger	chaque bloc 1—2 impercept.	en hiver quelques unes à la couronne	oui	—	—	—
4	—	écaillures	—	—	—	—	écaillures	
5	—	au Torkret	—	à tous les joints imprégnations	oui	—	—	Injections de ciment
6	—	—	—	—	oui	oui	—	Injections de ciment
7	4 grandes	—	4 grandes	—	oui	—	—	bouché 4 fissures
8	—	pas d'observation au début de 1936						
9	—	pas d'observation, en construction						
10	—	pas d'observation, en construction						

Tableau 2. Principaux matériaux employés à la construction des barrages allemands.

No	Barrage de béton	Masse de béton m³	Genre du béton			Liant			Materiaux additionnels		Mélanges en kg/m³ ou parties	Apport d'eau l/m³	Densité γ_B t/m³
			coulé	mou	damé	Ciment kg/m³	Ciment de h.-f kg/m³	autres liants kg/m³	genre de pierre	grain			
1	Dreiläger . . .	72 000	—	—	oui		—	Trass et chaux	quarzite		½ C 2½ Trass 7 sable 9 P		—
2	Schwarzenbach .	297 000 avec 20% de pierre	oui	—	—		—	Trass et chaux			C. Ch. Tr. Sa P. volumes 1,0 0,5 1,0 4 6 „ 1,1 0,4 0,8 4 6 „ 1,0 0 0,6 5 7,5 „ 1,0 0 0,44 4,6 6,9 „	250	2,25
3	Agger	100 000	—	oui	—	—	20) 175	60 Trass 45 „	grauwacke	0—80	matériau additionnel 1850	212	2,33
4	Zschopau . . . près Kriebstein	82 000	oui	—	—	début 200 puis 180	—	Trass 75 65		0—60	matériau additionnel 1680	330	2,3
5	Schluchsee . . .	124 000	—	oui	—	—	jusqu'à 22 m au-dessous de l'eau 202 au-dessus 175	—	granite		matériau additionnel 2040	160—180	2,4
6	Schwarza . . .	52 000	—	oui	—	220	—	—	granite		matériau additionnel 1920	160—180	2,31
7	Saale . . . . . au Petit Bleiloch	210 000	oui	—	—	en bas 118 milieu 105 haut 87	—	Thurament b 229 m. 205 h. 169		0—60	C.P. Thur. 0—7 7—30 30—60 mm mat. additionnels b 118 229 804 689 459 m. 105 205 859 687 459 h. 87 169 940 678 453	236—243	2,45
8	Zillierbach . . .	58 500	—	oui	—	200	—	—	diabase et porphyre	0—80		160—170	2,4
9	Lütsche	38 000	—	oui	—	noyau 240 prot. (300)	—	—		0—70			
10	Hohenwarte . .	450 000	—	oui	—	Trapo ensemble 285		Thurament	granite	0—100	(0,6 Trapo + 0,4 Thur.) : 2.48 Sa. 0—7 mm : 1,21 E. 7—30 mm : 1,54 P. 30—60 mm : 1,48 P. 60—100 mm	185—190	

Littérature.

Barrages de Schwarzenbach et Schluchsee.

Eisenlohr: Das Schluchseewerk. Die Bautechnik 1930 fasc. 17.
Enzweiler: Der Bau der Schwarzenbachtalsperre. Der Bauingenieur 1925 fasc. 11.
Heintze: Einlagesteine in Gußbetontalsperren. Die Bautechnik 26 nov. 1926 fasc. 51.
Heintze: Aus der Praxis der Bauausführungen von Talsperren in Gußbeton. Die Bautechnik 4 juin 1926 fasc. 24 p. 340—344.
van Steeven: Das Schluchseewerk im badischen Schwarzwald. Tiefbau 1932 fasc. 83, 84 et 86.

Barrage de Zschopau près de Kriebstein.

Cress: Wasserwirtschaftliche Bauten im Bereiche der Sächsischen Wasserbauverwaltung. Die Bautechnik 1931 fasc. 1.
Kirsten: Das Talsperrenkraftwerk Kriebstein bei Waldheim im Tale der Zschopau. Die Bautechnik 1930 fasc. 11, 15, 16.
Sutter: Die Bauausführung der Zschopau-Talsperre bei Kriebstein. Schweizer Bauzeitung 1932 fasc. 15.
Voigt: Die Zschopau-Talsperre bei Kriebstein in Sachsen. Wasserkraft und Wasserwirtschaft 1931 fasc. 9—11.

Barrages du Petit Bleiloch et de Hohenwarte.

Braun: Der Bau der Hohenwartetalsperre. Deutsche Wasserwirtschaft 1936 fasc. 7.
Köhler: Die Bleiloch-Talsperre bei Saalburg in Thüringen. Deutsche Wasserwirtschaft 1932 fasc. 1—3.
Kyser: Die Saaletalsperre. E. T. Z. 1930 fasc. 43.
Leonhardt: Die Bleilochsperre im Thüringer Wald. Zement 1932 fasc. 46 et 47.

Barrage de Zillierbach.

Forner: Die Entwicklung des Entwurfes für die Zillierbachtalsperre. Die Bautechnik 11 janv. 1935 fasc. 2.
Forner: Von der Zillierbachtalsperre bei Wernigerode. Deutsche Wasserwirtschaft 1935 fasc. 5.
Forner: Stand der Bauarbeiten an der Zillierbachtalsperre bei Wernigerode im Harz. Deutsche Wasserwirtschaft 1936 fasc. 3.

Autriche.

Habild: Hochgebirgsbaustelle „Sperrmauer Vermunt" VDI-Zeitschrift 20. juin fasc. 25.
Mühlhofer: Die Staumauern des Spullerseewerkes. Die Wasserwirtschaft, Wien 1933 fasc. 17—19.
Widmann: Bandbetonierung beim Bau der Vermunt-Staumauer in den österr. Alpen (Vorarlberg) Deutsche Warte juillet 1935 fasc. 7.

Digues.

Lamby: Der Bau der Kalltalsperre des Wasserwerkes des Landkreises Aachen. Zentralblatt der Bauverwaltung 18 sept. 1935 fasc. 38.
Link: Die Sorpetalsperre und die untere Versetalsperre im Ruhrgebiet als Beispiel hoher Erdstaudämme in neuzeitlicher Bauweise. Deutsche Wasserwirtschaft 1932 fasc. 3 et 4.
Mahr: Die Bevertalsperre. Zentralblatt der Bauverwaltung 1935 fasc. 41.
Schatz: Die neuen Stauanlagen der Ruhr. Deutsche Wasserwirtschaft 1935 fasc. 1 et 2.
Ziegler: Von der Sorpetalsperre. Der Bauingenieur 1932 fasc. 11/12.

Béton (coulé et mou).

Forner: Entwickelung der Siebkurve für den Beton der Zillierbachtalsperre. Der Bauingenieur 29 mai 1936 fasc. 21/22.
Heidorn: Die Betonpumpe eine neue Betonierungsart. Der Bauingenieur 1930 fasc. 22.
Henninger et *Kammüller:* Voruntersuchungen für die günstigste Zusammensetzung des Betons bei den Schluchseewerkbauten. Der Bauingenieur 1929 fasc. 9/10.

Graf: Über die Bedeutung des Messens der Besandteile des Betons. Die Bautechnik 10 mai 1929 fasc. 20.

Grün et *Köhler:* Vergleichsprüfung der Abbindewärme von Zementen. Der Bauingenieur 1936 fasc. 23/24.

Ostendorf: Zweckmäßige und wirtschaftliche Betonmischungen für Wasserbauten, im besonderen der Zement-, Kalk-, Traß-Beton. Die Bautechnik 6 sept. 1927 fasc. 39.

Pogany: Vom Schwinden und Quellen des Betons. Zement 1934 fasc. 33.

Schiener: Wasserdurchlässiger Beton. Deutsche Wasserwirtschaft 1931 fasc. 11.

Sommer: Die Verwendung von Thurament beim Bau der Saaletalsperre am Kleinen Bleiloch. Die Bautechnik avril 1934.

Spindel: Wasserdichte und wetterbeständige Betonstaumauern nach versuchstechnisch und praktisch erprobten Gesichtspunkten. Die Wasserwirtschaft, Vienne 1933 fasc. 17—19.

Spindel, M: Wasserdichter und wetterbeständiger Beton für Sperrmauern. Beton und Eisen 5 oct. 1932 fasc. 19.

Spindel, M: Welche Anforderungen kann man an Zement und Beton stellen? Wasserwirtschaft und Technik 1935 fasc. 14/15.

Stern: Neue Grundlagen der Betonzusammensetzung. Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur-Architekten-Vereins 1930 fasc. 31/32.

Tölke: Über Schwinden, Rißbildung, Rißsicherung und Kühlmaßnahmen bei Massenbeton unter besonderer Berücksichtigung massiver Staumauern. Deutsche Wasserwirtschaft 1934 fasc. 7.

Palotas: Verfahren zur Verbesserung der Betonzuschlagstoffe. Zement 1936 fasc. 18.

Béton vibré.

Graf et *Walz:* Rüttelbeton. Untersuchungen über das Verdichten des Betons durch Rütteln. VDI 1 sept. 1934 N° 35.

Ottinghaus: Über den Stand der Betonverdichtung durch Einrütteln und Durchrütteln. Beton und Eisen 5 avril 1933 fasc. 7/8.

Walz: Beitrag zur Anwendung von Rüttelverfahren beim Verarbeiten des Betons. Beton und Eisen 1935 fasc. 5 et 7.

Exécution des travaux et installation du chantier.

Ascher: Erfahrungen bei der Fundierung von Staumauern im Hochgebirge. Wasserkraft und Wasserwirtschaft 1929 fasc. 23.

Kesselheim: Die Baueinrichtung und Bauausführung der Sperrmauer und des Krafthauses am Kleinen Bleiloch bei Saalburg, Thüringen. Der Bauingenieur 1932 fasc. 13/16.

Petry: Betonierungsanlagen beim Bau von Talsperren. Zement 1936 fasc. 1—3.

Contrôle, Etanchéité, résistance.

Gaede: Ein neues Verfahren zur Festigkeitsprüfung im Bauwerk. Der Bauingenieur 1934 fasc. 35/36.

Kolb: Beobachtungen bei Prüfungen von Beton auf Wasserdurchlässigkeit im Baustellenlaboratorium. Zement 1936 N° 23.

Tölke: Die Prüfung der Wasserdichtigkeit von Beton. Ingenieur-Archiv.

Surveillance.

Hoffmann: Untersuchungen über die Spannungen in Gewichtsstaumauern aus Beton mit Hilfe von Messungen im Bauwerk. Die Wasserwirtschaft, Vienne 1934 fasc. 22.

Pfeiffer: Ein elektromagnetisches Gerät zur Fernmessung von Formänderungen in Bauwerken. Der Bauingenieur 1935 fasc. 5/6.

Probst: Wege zur Klarstellung der Entwurfsgrundlagen von Gewichtsstaumauern. Untersuchungen an zwei Gewichtsstaumauern. Deutsche Wasserwirtschaft 1932 fasc. 7 et 8.

Treiber: Die Verwendung von Telemetern zu Spannungsmessungen an Bauwerken. Der Bauingenieur 1930 fasc. 37.

Walther: Die Talsperren-Feinvermessung in Baden. Der Bauingenieur 1927 fasc. 10.

Résumé.

En Allemagne la construction de barrages modernes en béton ne date que de 1922. Le matériau primitivement utilisé, le béton coulé, fit bientôt place au béton mou (plastique); le béton plastique damé, appliqué par des ingénieurs allemands à un barrage des Hautes Alpes autrichiennes, a cependant quelques partisans.

La question de l'étanchéite a trouvé deux solutions et l'unanimité n'est pas encore réalisée à cet égard. Les uns ont adopté une exécution en béton de composition unique (avec au maximum graduation du dosage en 2 ou 3 zones réparties sur la hauteur). Les autres recommandent un noyau en béton perméable, avec un revêtement de protection sur les deux faces, épais de 0,75 à 1,5 m environ et formé de béton imperméable de première qualité. La face aval reçoit souvent encore une couche de béton projeté.

Les trois premiers barrages seulement ont reçu un revêtement en maçonnerie; on y a renoncé par la suite.

Les barrages sont le plus souvent munis d'un drainage.

On attache une importance particulière au choix du grain des matériaux additionnels. Des essais tendent à introduire l'utilisation des résidus de matériau additionnel, sont à signaler.

Leere Seite
Blank page
Page vide