

Progrès réalisés dans l'étude et la construction
des barrages, dans la disposition des appareils de prise
d'eau et des ouvrages de navigation accolés.

R A P P O R T P A R

F. CAMPUS,

Directeur technique adjoint des Travaux Publics de la Sarre,

ET

M. HOFFMANN,

Chef du Service de la Navigation, Sarrebrück.

Le barrage de la Sarre à Mettlach

Le barrage de Mettlach est un ouvrage de retenue construit dans le cadre du projet de canalisation de la Sarre établi par le Gouvernement allemand. La canalisation a pour but de rendre la Sarre navigable aux bateaux de 1,200 à 1,500 tonnes et d'exploiter son énergie hydraulique..

Actuellement la Sarre n'est canalisée que sur une longueur de 42 km., de Hanweiler-Sarreguemines à Ensdorf et pour des bateaux de 280 tonnes seulement. Le cours aval qui mesure 78 km. jusqu'au confluent de la Moselle n'est accessible à des bateaux non chargés que dans les circonstances les plus favorables. L'énergie hydraulique n'est exploitée jusqu'à présent que par une turbine absorbant un débit de 25 m³ par seconde sous 2 m. de chute, située près du barrage de Sarrebrück.

La construction du barrage de Mettlach a été entreprise indépendamment de la canalisation totale de la Sarre parce que, à l'inverse de la plupart des autres barrages, et par suite des dispositions très favorables de la pente et du site, il permet la transformation lucrative de l'énergie hydraulique de la chute et que son exploitation économique n'exige pas la canalisation totale de la Sarre. L'ouvrage a été construit par une société à

responsabilité limitée «Centrale hydroélectrique de la Sarre» dont le siège est à Merzig et dont les principaux sociétaires sont les administrations des cercles riverains de Merzig et de Sarrelouis. Les travaux ont été effectués dans la période de l'automne 1924 au printemps 1926.

Pour la conception d'ensemble de l'ouvrage et les dispositions particulières, la condition relative à l'écoulement des hautes eaux fut essentielle. La Sarre est une rivière à caractère torrentiel dont les eaux subissent des crues rapides et violentes, sans cependant entraîner, comme il est habituel, beaucoup de matières solides. Par conséquent, le barrage devait être d'un type permettant une manœuvre rapide et aisée. L'ouvrage doit permettre l'écoulement d'un débit total maximum de 1,280 m³ par seconde, tous pertuis ouverts, y compris l'écluse, sans produire de remous inadmissible. La réduction du débouché superficiel à environ un tiers de la section normale d'écoulement, résultant de l'emplacement choisi pour l'ouvrage a conduit à une disposition particulièrement intéressante du seuil et du radier de chute du barrage, dont le détail est exposé ci-après.

Pour la possibilité ultérieure de la navigation d'après le projet de canalisation et pour permettre la continuation de la navigation précaire actuelle, le projet prévoyait la construction d'une écluse accessible aux bateaux de 280 tonnes et susceptible d'être portée dans la suite au gabarit des nouvelles voies navigables allemandes, afin de permettre l'éclusage d'un train de 3 bateaux de 280 tonnes avec remorqueur ou d'un bateau isolé de 1,500 tonnes.

Généralités sur la retenue.

Le barrage se trouve dans la pointe extrême Nord du territoire de la Sarre. Depuis sa source au Donon (Vosges) jusqu'à ce point, la Sarre a un cours de 162,5 km. Le bassin mesure 7.100 km². dont la hauteur de pluie moyenne est de 800 mm. Le débit annuel total s'élève à environ 2.800 millions de m³, qui correspond à un débit moyen annuel de 90 m³ par

seconde. Le débit ordinaire ou minimum semi-permanent est de 50 m³ par seconde, l'étiage d'été se réduit à 10-15 m³ par seconde. Pendant neuf mois de l'année, le débit ne descend pas en-dessous de la moyenne mensuelle de 27 m³ par seconde. Le rapport de l'étendue du bassin à la longueur du cours ainsi que la grande différence entre le débit ordinaire et le débit moyen caractérisent suffisamment le resserrement du bassin ainsi que la nature des crues. Il faut ajouter encore les fortes variations de la pente superficielle qui contribuent à donner à la Sarre les caractères extérieurs d'une rivière torrentielle. La crue de novembre 1882 d'après laquelle sont effectués tous les calculs hydrauliques et sont dimensionnés tous les ouvrages correspond à un débit de 1,280 m³ par seconde à Mettlach, c'est-à-dire à environ 30 fois le débit ordinaire.

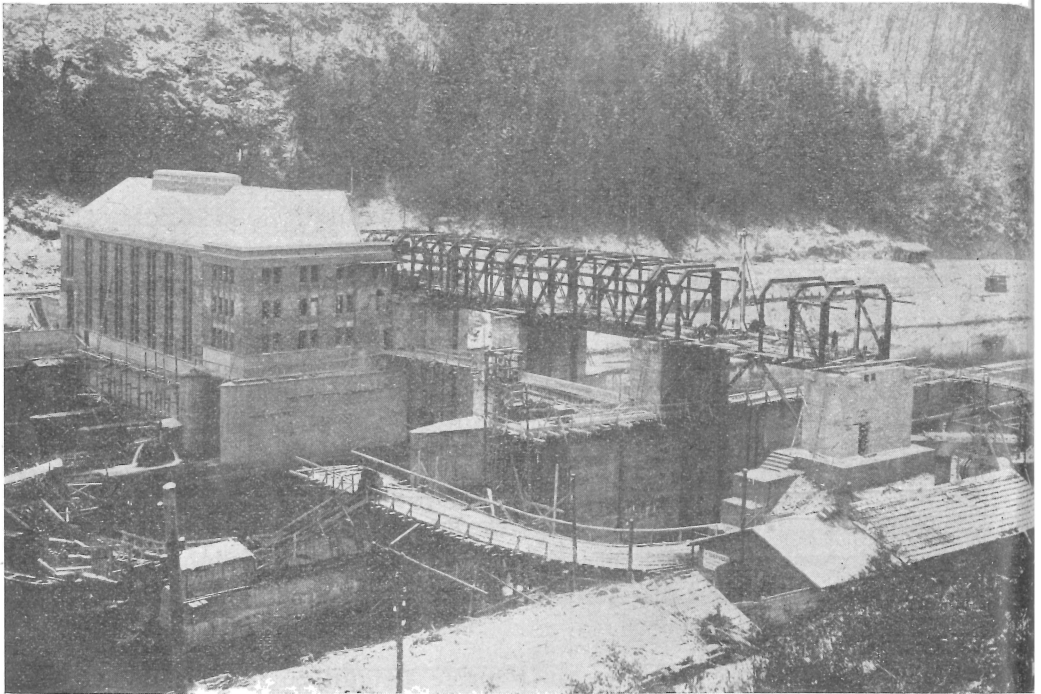
Le barrage est situé à environ 400 m. en amont de la localité de Mettlach au km. 71,8. Il constitue en quelque sorte l'obturation d'une percée de la Sarre à travers un contrefort du massif schisteux rhénan. Cette percée constitue une vallée très étroite de 7 km. de développement, avec une chute de 6 m. Les circonstances très défavorables à l'exploitation agricole et à l'habitat créent les conditions les plus avantageuses pour l'utilisation de la vallée comme réservoir. Le fond et les flancs sont constitués jusque bien au-dessus du niveau de la retenue par des quartzophyllades dévoniens dont les couches dressées s'élèvent du sous-sol de la vallée et constituent un terrain très favorable pour l'ouvrage ainsi que pour le réservoir.

En amont de la percée, la retenue s'étend encore sur une longueur de 4 km. dans une vallée particulièrement large creusée dans des couches très friables de grès bigarré (Buntsandstein). La flottaison reste cependant à l'intérieur du lit ancien et n'influe que dans une très minime mesure sur les cultures riveraines.

Le barrage.

Le barrage est rectiligne et perpendiculaire à la rivière. Il

crée une chute de 9,50 m., la retenue étant à la cote Z N 166 m. L'ouvrage comporte, comme l'indique la première planche, l'usine hydroélectrique à la rive droite, ensuite un pertuis de fond (passe à gravier), ensuite deux pertuis barragés et enfin l'écluse à la rive gauche. L'espace disponible est réservé dans cette rive pour permettre la construction d'une seconde écluse accolée.



Vue du barrage.

A la rive droite, en aval de l'usine se trouve le bâtiment des transformateurs et des tableaux où sont effectuées la transformation et la distribution du courant électrique. A hauteur de l'ouvrage, au flanc gauche de la vallée sont accrochées quelques maisons servant au logement du chef de la centrale et de 3 machinistes.

L'axe de l'usine hydroélectrique est perpendiculaire à la rivière. Les fondations reposent à la profondeur voulue sur du rocher ferme. La salle des machines contient 4 turbines d'une puissance totale de 12,150 CV à la vitesse de 125 tours par minute. Cette puissance, correspond à un débit absorbé de 117 m³ par seconde. En temps normal fonctionnent trois turbines Francis à axes verticaux, d'une puissance individuelle de 2.700 CV et d'un débit de 26 m³ par seconde. La quatrième turbine est à hélice, elle fonctionne comme turbine de crue en temps de fort débit, elle possède un rendement encore élevé sous faible chute. Elle peut développer 4.050 CV pour un débit de 39 m³ par seconde. Les génératrices verticales directement accouplées aux turbines développent respectivement 2.250 et 3.375 KVA, sous la tension de 6.300 V et à la fréquence de 50. Les axes des machines sont distants de 8,50 m., de sorte que la longueur totale de la salle des machines y compris un emplacement de montage, est de 39 m.; sa largeur est de 10,50 m.

L'eau pénètre par un canal d'entrée évasé dans un distributeur spiral en béton qui la répartit uniformément sur les aubes de la turbine. L'eau descend ensuite par un tube plongeant dans les canaux de fuite. Les plafonds des canaux de fuite sont respectivement aux ordonnées Z. N. + 151,25 et Z. N. + 150,75. Les vannes de manœuvre sont divisées en vannes de remplissage et vannes principales, elles peuvent être mues de la salle des machines, électriquement et manuellement. En cas d'avarie, des rideaux de poutrelles peuvent suppléer aux vannes.

Pour la protection des turbines, une grille est disposée en amont des vannes; son nettoyage est mécanique. Devant la grille, un seuil oblique de 1,5 m. de hauteur est disposé sur le plafond de la rivière suivant une direction inclinée de 30° sur l'axe de la salle des machines, elle a pour objet de diriger les matières solides charriées par le courant vers le pertuis de fond accolé à la salle des machines. Au-dessus de ce pertuis se trouve la tribune de manœuvre des machines, qui est en communication avec la salle et contient les tableaux de manœuvre et de mesure.

Le pertuis de fond sert principalement à l'évacuation des matériaux solides entraînés par le courant. En cas de crue, il apporte un concours appréciable aux deux grands pertuis pour l'évacuation des hautes eaux. Le débouché du pertuis de fond est de 4,50 m. Son plafond est à 11,50 m. sous le niveau de la retenue, à la côte Z. N. + 154,50 et se raccorde à l'affleurement supérieur du roc compact dans le lit du cours d'eau, à 1,50 m. en dessous de l'ancien plafond de gravier. Cet approfondissement a pour but de renforcer l'action de la chasse. La vanne est divisée en deux parties d'après le système M. A. N. de la Maschinenfabrik Augsburg-Nuremberg. La vanne supérieure peut être descendue dans la grande vanne inférieure. La manœuvre de la vanne s'effectue comme celle des vannes des pertuis du barrage et de l'écluse d'une passerelle franchissant tout l'ouvrage. Elle peut être faite électriquement ou à la main. En cas de réparation des vannes, tous les pertuis peuvent être fermés isolément et sans gêne pour l'usine hydroélectrique par des rideaux de poutrelles dont la manœuvre s'effectue à l'aide d'un pont roulant se déplaçant sur la passerelle de manœuvre.

Les deux passes du barrage ont une ouverture de 14 m. Elles sont situées entre le pertuis de fond et l'écluse.

Les seuils sont à la cote Z. N. + 158,65, soit à 7,35 m. sous le niveau de la retenue et à 2,65 m au-dessus du plafond de la rivière. Le barrage sert à maintenir le niveau de la retenue et doit permettre l'écoulement des hautes eaux, la manœuvre rapide du barrage est donc une condition essentielle. La fermeture des passes est réalisée comme celle du pertuis de fond, par des vannes M. A. N. divisées, la hausse supérieure est descendue dans la partie inférieure lorsque l'on veut baisser le niveau de la retenue.

La conformation des piles, des seuils et radiers à éperons pour les passes du barrage comme pour le pertuis de fond a été déterminée d'après les résultats d'essais sur modèles à échelle réduite dont il est question dans le dernier paragraphe du rapport. Les passes sont franchies à l'aval du barrage par

une passerelle de circulation de 1,50 de largeur réunissant l'écluse au plancher supérieur de la grille.

L'écluse située près de la rive droite est dimensionnée d'après les considérations déjà citées et disposée comme écluse à haute chute. Sa largeur est de 12 m., sa longueur utile provisoire est fixée à 42 m. d'après les dimensions des bateaux qui naviguent actuellement sur la Sarre. Mais l'allongement à 110 m. est prévu et peut s'exécuter en tous temps. Les dispositions spéciales ont été déterminées par la considération de la grande chute et par la nécessité de faire participer l'écluse à l'écoulement des plus hautes eaux. La porte d'aval est à vantaux busqués ordinaires munis de ventelles; la porte amont est constituée par une vanne levante double comme celle des barrages. Le seuil de la tête amont est à la même cote que celui des barrages. Le remplissage de l'écluse s'effectue par le moyen d'un aqueduc de forme très spéciale qui règne sur toute la largeur de l'écluse et partant de la partie supérieure du seuil descend jusqu'au niveau des radiers du sas. L'ouverture amont de l'aqueduc est obturée par la porte-vanne elle-même. Par un levage très lent et progressif de la vanne, l'eau se précipite dans le sas par l'aqueduc. La hauteur de l'aqueduc est faible à la partie supérieure (environ 45 cm.), elle s'élargit d'abord progressivement pour s'épanouir largement vers l'extrémité aval en un cylindre à axe horizontal perpendiculaire à l'axe de l'écluse. Cette disposition provoque la formation de deux tourbillons opposés qui anéantissent la majeure partie de la force vive de l'eau. Il en résulte un remplissage très calme du sas, sans action violente sur les bateaux éclusés. Ce dispositif a été également déterminé à la suite d'essais sur des modèles à échelle réduite. D'après les conclusions des derniers essais en janvier 1925, les sections d'entrée et de sortie de l'aqueduc sont divisées par trois parois en béton de 0,60 m. d'épaisseur. La paroi centrale règne sur toute la longueur de l'aqueduc de manière à former une pile qui sert à la fois au soutien du plafond et à augmenter la résistance du seuil contre le choc possible d'un bateau. La vanne ne s'applique pas contre l'ouverture en amont de l'aque-

duc mais se trouve à une certaine distance en arrière, de manière à permettre l'accès à sec de cette entrée de l'aqueduc. Lors de la levée de la vanne, une veine d'eau s'écoule entre sa partie inférieure et le seuil et pénètre dans l'aqueduc en aspirant de l'air jusqu'à ce que le niveau aval soit monté suffisamment pour que l'écoulement se fasse à veine noyée. La levée totale pour le remplissage est de 1 m. et s'effectue uniformément en 9 minutes environ; vers la fin, le remplissage se fait par communication directe du sas avec le bief amont. Le remplissage du sas pour bateaux de 1,500 tonnes doit s'effectuer en 10 minutes environ. Les essais permettent d'espérer que les efforts exercés sur les amarres d'un bateau de 1.500 tonnes ne dépasseront en aucun cas 4 tonnes. A l'époque de la rédaction de ce rapport, les derniers essais sont à peine terminés et les dessins définitifs de l'aqueduc ne sont pas encore établis. La distance définitive de la vanne à l'entrée de l'aqueduc n'est pas encore arrêtée, il faut vérifier encore si un espace de 0,50 à 0,60 m., qui permettrait un accès facile de l'ouverture, est admissible au point de vue de l'écoulement.

Le couronnement du sas et de la tête aval sont à 0,50 m. au-dessus de la retenue normale, le couronnement de la tête amont à une revanche de 1 m. Les têtes amont et aval sont respectivement précédée et suivie d'estacades de 50 et 45 m. de longueur provisoire, leurs parties supérieures se trouvent à 1 m. au-dessus de la retenue normale ou des plus hautes eaux navigables. L'entrée et la sortie des bateaux se font par halage mécanique. Lors de l'éclusage, la hausse supérieure rentre dans la vanne inférieure. De cette manière, la section ouverte est suffisante et comporte 3 m. de hauteur d'eau et 5,50 m. de tirant d'air entre la flottaison et la lisse inférieure de la passerelle de manœuvre. En cas de hautes eaux exceptionnelles, les deux vannes sont complètement levées après ouverture de la porte aval.

Le bâtiment des connexions contient quatre transformateurs qui élèvent la tension du courant produit de 6,300 V à 25,000 V. Il contient en outre tous les appareils de connexion

nécessaires pour envoyer le courant dans les conducteurs du réseau de distribution. Il se trouve en dehors du lit majeur de la Sarre et est donc à l'abri des inondations.

*Les dispositifs spéciaux du barrage
pour l'écoulement des hautes eaux.*

Selon l'observation déjà faite au début de ce rapport, la Sarre a un caractère torrentiel prononcé avec une grande tendance à des changements subits et violents du débit, qu'il n'est guère possible de prévoir. A cause de cette situation, de l'étroitesse de la vallée à l'emplacement du barrage et du désir de la société concessionnaire de réduire la longueur de l'ouvrage pour des raisons d'économie d'établissement, l'administration sarroise de la navigation, qui exerce le contrôle de l'exécution des travaux, fit procéder par la société concessionnaire, d'accord avec les autorités allemandes qui administrent le cours aval, à des essais sur modèles réduits, dont le résultat fut que le débit de 1.280 m^3 par seconde correspondant aux plus hautes eaux connues peut être écoulé par le barrage projeté sans dégâts pour les ouvrages et sans remous dangereux.

Les essais ont été confiés par l'entreprise au Professeur Thurnau de Darmstadt, qui les a effectués dans le laboratoire d'hydraulique appliquée de l'Ecole technique supérieure de cette ville.

Le but des essais était de rechercher les conditions pour que :

1° l'écoulement des plus hautes eaux (1.280 m^3 par seconde) s'effectue sans remous exagéré, ni contrainte excessive du barrage et du radier et sans affouillement dangereux du lit;

2° les dépôts gênent le moins possible l'écoulement du débit des turbines;

3° toutes les parties de l'installation présentent la sécurité nécessaire et n'éprouvent pas de contraintes excessives tant en exploitation normale que pendant l'écoulement des petites crues.

Les modèles pour les essais furent établis à l'échelle 1 : 33,33

l'eau traversant l'ouvrage est encore plus réduite et que la contrainte de la construction devient encore moindre.

Le dernier essai satisfaisait donc entièrement aux conditions requises et les dispositions de l'ouvrage furent déterminées d'après le résultat.

Lors d'une crue assez forte en décembre 1925 (900 m³ par seconde), l'ouvrage s'est bien comporté, bien qu'il fût encore partiellement en construction. On put constater une concordance assez nette entre la réalité et les essais sur modèles. On peut donc admettre que le barrage satisfera dans l'avenir, même lors des plus fortes crues, aux conditions qu'il doit remplir au sujet de l'écoulement des hautes eaux.

Les essais, relatifs au remplissage de l'écluse, dont il a été brièvement question, ont été effectués dans les mêmes conditions. Les résultats essentiels sont atteints et les dispositifs arrêtés dans les grandes lignes; les plans ne sont toutefois pas encore dressés à l'époque de la rédaction de ce rapport. Les résultats sont également intéressants et il faut espérer qu'ils feront l'objet de communications autorisées.

Le progrès dans l'étude et la construction des barrages qu'elle réalise l'ouvrage décrit sont:

1° la grande simplicité des dispositions générales et le groupement serré des ouvrages, qui réduit la dépense d'établissement et facilite l'exploitation;

2° La construction tout en béton des maçonneries (les seuils et les radiers des barrages seuls sont revêtus de blocs de basalte très durs). Cette méthode facilite la disposition du chantier, la mise en œuvre des matériaux et augmente la rapidité d'exécution. Le béton permet de réaliser avec sécurité des formes très compliquées telles que celles des piles qui sont très affinées et particulièrement profilées. L'avantage de ces formes est de réduire considérablement la contraction, comme l'ont montré les essais;

3° Les grands éléments métalliques d'obturation, les passerelles et les dispositifs de manœuvre, qui ne sont pas neufs, mais dont l'application est intéressante par la sûreté, la facilité et la rapidité de manœuvre;

4° La récupération de l'énergie hydraulique du barrage par une usine de disposition très simple et pratique;

5° La conformation de l'écluse et surtout de sa tête amont et du dispositif de remplissage, qui réalisent une grande économie d'installation et une grande facilité et rapidité de manœuvre;

6° La détermination des dispositions spéciales, notamment pour l'écoulement des hautes eaux et la réduction du remous par le moyen d'essais aux modèles à échelle réduits.

C'est le progrès le plus caractéristique qui apporte à l'étude des projets l'appoint d'une observation anticipée du fonctionnement de l'ouvrage et constitue un guide sans pareil pour les calculs et les tracés en révélant tous les éléments si nombreux qui échappent aux formules de l'hydraulique. Le moyen est rapide et sûr comme le montre son application à l'ouvrage décrit. Il n'a été adopté qu'après commencement d'exécution des travaux, pour concilier les exigences de l'administration chargée du contrôle et le désir du concessionnaire de réduire les dimensions de l'ouvrage en vue de diminuer la dépense d'établissement. Or, la durée d'exécution ne sera pas supérieure à un an et demi; malgré que deux fortes crues se soient produites dans cette période. La photographie représente l'état des travaux en décembre 1925, un peu plus d'un an après le commencement. Le projet qui avait fait l'objet de la concession en 1923 prévoyait 3 passes barragées de 16 m. d'ouverture et une écluse de 12 m. La réduction importante de ces dimensions reconnue possible grâce aux essais, montre que la méthode apporte un élément d'économie précieux à l'époque actuelle.

F. CAMPUS.
M. HOFFMANN.
