KEMBS

premier échelon

du Grand Canal d'Alsace

De nombreuses études ont paru sur l'usine de Kembs. Cependant, il nous a semblé que la Houille Blanche, se devait de documenter ses lecteurs sur les particularités d'ordre hydraulique de ses aménagements. L'Energie Electrique du Rhin nous a aimablement autorisé à extraire de l'ouvrage remarquable qu'elle a fait paraître sur l'Usine Hydroélectrique de Kembs (1), les quelques pages qui vont suivre et nous a fourni les photographies qui les illustrent. Nous tenons à leur adresser ici nos plus vifs remerciements.

Le Rhin et son aménagement

Le Rhin, à sa sortie de Suisse, est alimenté par un bassin de 35.930 km², dont 700 km² de glaciers et 1.000 km² de lacs. Son débit est partiellement régularisé par les lacs et par les

tement en aval de Bâle de 1,1 ‰, à Strasbourg de 0,65 ‰ et à Mannheim de 0,20 ‰.

Au commencement du siècle passé, le cours du Rhin dans la plaine d'Alsace présentait encore de nombreux méandres et se

Fig 1.— La barre d'Istein le 12 décembre 1931

glaciers ; mais il présente cependant encore les variations suivantes :

Débit semi permanent (réalisé 6 mois par an)	1.000 m ³ /sec.
Débit d'étiage	380 —
Crues ordinaires (en moyenne 3 jours par an env.)	2.400 —
Crue extraordinaire maximum (1876)	6.000 —

Le Rhin, comme tous les fleuves, présente un profil en long de forme parabolique. De l'amont à l'aval, son débit augmente et le grain des alluvions diminue en même temps que la pente. Celle-ci, en amont du lac de Constance est de 1,5 ‰, immédiatement

modifiait d'année en année. Pour protéger les riverains, on avait bien construit les digues des hautes eaux, mais celles-ci étaient souvent détruites par les crues extraordinaires et le fleuve causait alors de véritables dévastations.

Pour porter remède à cet état de choses, le Gouvernement Français, en 1840, se mit d'accord avec le Gouvernement Badois pour entreprendre une correction rationnelle sur tout son parcours.

On a ainsi formé, à l'aide de deux digues, parallèles, un lit

(1) Voir notice bibliographique page 192 de ce numéro.

mineur d'une largeur de 180 à 250 mètres dans lequel coulent les eaux en temps normal, tandis que le leuve s'étale au delà de ses digues en cas de crue extraordinaire et forme un lit majeur, limité par les digues des hautes eaux situées à droite et à gauche du lit mineur.

La correction du Rhin a entraîné un raccourcissement sensible du lit du fleuve, dont la longueur entre Bâle et Mannheim s'est trouvée réduite de 354 à 275 kilomètres, soit de 23 % (le long de la frontière française cette réduction est de 14 %).

Par suite du raccourcissement provenant de la correction, la pente par kilomètre du fleuve a été augmentée et l'équilibre du fleuve a été rompu : le Rhin se trouve avoir un excédent de force vive qu'il emploie à creuser son lit, et à se donner un nouveau profil en long d'équilibre, dont la pente est plus faible que la pente actuelle. Il s'en suit un approfondissement du lit allant en augmentant de l'aval à l'amont. C'est ainsi qu'à Kembs, un peu en amont de Mulhouse, le Rhin s'est creusé depuis la correction d'environ 4 mètres, tandis qu'à l'aval de Brisach l'approfondissement est encore nul.

L'influence de cette érosion remontante est toutefois nettement délimitée par la barre rocheuse d'Istein, située à environ 9 kilomètres en aval de la frontière suisse et à 5 kilomètres en amont de Kembs. Dans une conférence que M. René Koechlin a faite à la Société Industrielle de Mulhouse en 1906, il avait déjà signalé l'existence de cette barre rocheuse, dont on pouvait constater la présence au fond du lit du Rhin, et il prévoyait que, par suite de l'approfondissement graduel de celui-ci, il se formerait en cet endroit des rapides qui deviendraient plus tard un obstacle à la navigation.

A ce moment là, le banc de calcaire était encore en moyenne au-dessous du lit du Rhin et sa présence passait presque inaperçue. On remarquait seulement, à cet endroit, un léger accroissement de la vitesse du courant. Aujourd'hui, après 26 ans, les rapides sont déjà considérables comme on peut le voir par la fig. 1.

La barre d'Istein se compose de deux bancs de calcaire parallèles et distants de 400 mètres environ, qui traversent le lit du fleuve. La différence entre le plan d'eau au-dessus de la barre et celui en aval du banc de rocher inférieur est d'environ 2 mètres. La vitesse du courant à la barre d'Istein est de 4 à 5 mètres à la seconde.

Si la navigation en aval de Strasbourg dans le Rhin régulé est déjà très difficile, elle l'est incomparablement davantage entre Strasbourg et Bâle. Sans parler de la barre d'Istein, qui constitue déjà un obstacle très sérieux à la navigation, il est clair qu'avec les vitesses de courant de 3 à 4 mètres par seconde que l'on rencontre en aval de Bâle, la navigation ne peut plus être économique. Même en employant des remorqueurs de 800 à 1.000 CV, on ne peut remorquer jusqu'à Bâle que deux chalands chargés au maximum de 500 tonnes chacun, alors que les mêmes remorqueurs amènent jusqu'à Strasbourg deux chalands chargés de 1.000 à 1.200 tonnes chacun, et, jusqu'à Mannheim, deux chalands de 2.500 tonnes chacun. Pour passer la barre d'Istein, le remorqueur montait d'abord seul, s'amarrait et tirait ensuite chaque chaland séparément à l'aide de cabestans, opération très délicate et très dangereuse (1).

Si l'on ajoute à tous ces inconvénients que le Rhin, entre

Strasbourg et Bâle, n'est navigable ni en périodes de basses eaux, ni en périodes de hautes eaux, et que le service ne peut donc se faire qu'à certaines époques réparties inégalement dans l'année, en tout pendant 100 à 200 jours, on voit combien cette navigation sur le Rhin libre est précaire et peu économique, et combien la régularisation du Rhin entre Kembs et Bâle serait un mode d'aménagement incomplet même pour la navigation.

L'aménagement du Rhin, en amont de Bâle, s'est fait par chutes successives (Rheinfelden, Augst-Wyhlen, Laufenbourg, Eglisau, Rybourg-Schworstadt, Dogern), uniquement pour l'utilisation de la force motrice, sans tenir compte des besoins de la grande navigation.

Pour la partie du Rhin en aval de Strasbourg, au contraire, on a régularisé le Rhin en enlevant toute possibilité d'utiliser sa force motrice.

L'idée d'aménager le Rhin entre Strasbourg et Bâle n'est venue que plus tard. A ce moment-là, il n'était plus possible, comme le voulaient les partisans du Rhin libre, d'envisager le problème uniquement au point de vue de la navigation, sans

Fig. 2.— Vue générale des aménagements de Kembs. Au premier plan, à gauche, le canal de fuite. Au centre, le canal de navigation avec les écluses, la centrale et le canal d'alimentation des turbines. En arrière, le canal d'amenée. Au second plan, le Rhin.

tenir compte de l'utilisation de la force motrice. La puissance réalisable sur le Rhin entre Bâle et Strasbourg, est, en effet, considérable.

La chute disponible sur ce parcours est de 108 mètres. Pour un débit moyen de 850 m³ par seconde, la puissance réalisable est en aval de Bâle de 9.300 CV par kilomètre de fleuve. A Strasbourg, elle est encore de 5.500 CV. La puissance disponible entre Bâle et Strasbourg est donc en moyenne d'environ 7.300 CV par kilomètre ; en basses eaux, elle est encore de 5.800 CV. par kilomètre.

L'idée d'utiliser la force motrice du Rhin entre Bâle et Strasbourg avait déjà été émise, en 1837, par M. Fourneyron, en collaboration avec M. Emile Koechlin. Plusieurs projets d'aménagement ont été présentés avant la guerre ; mais ils n'ont pu aboutir, car ils étaient entravés par des groupements ayant des intérêts contraires.

C'est le 9 juillet 1919 que M. René Koechlin et la Société des Forces Motrices du Haut-Rhin, formée le 1^{er} août 1910 à Mulhouse, déposèrent le projet du canal latéral au Rhin, appelé

(1) Il est hors de doute que sans la dérivation, aujourd'hui effectuée, du canal de Kembs, qui permet aux bateaux de contourner la barre d'Istein, celle-ci aurait, en peu d'années, rendu toute navigation impossible.

ensuite Grand Canal d'Alsace. Ce projet fut combattu tout d'abord par les partisans du Rhin libre, mais fut finalement accepté à l'unanimité par la Commission Centrale pour la Navigation du Rhin, par ses résolutions du 16 décembre 1921 et 10 mai 1922, pour l'échelon de Kembs, et par sa résolution du 29 avril 1925 pour le reste du Grand Canal d'Alsace.

Pour l'exploitation et la mise en valeur de ces concessions, la Société des Forces Motrices du Haut-Rhin et M. René Koechlin ont fondé la Société *Energie Electrique du Rhin*, qui a été définitivement constituée le 10 décembre 1927 et substituée aux Forces Motrices du Haut-Rhin.

En établissant l'avant-projet général du Grand - Canal d'Alsace, M. René Koechlin était parti des principes suivants :

1° La chute totale disponible entre l'extrémité du remous (frontière suisse) et Strasbourg devait être partagée, autant que possible, en chutes à peu près égales.

Fig. 3. — Profil du canal terminé

2° La différence de niveau entre le plan d'eau maximum dans les canaux et le sol ne devait en aucun point être supérieure à 8 à 9 mètres ; le plafond du canal devait ainsi toujours se trouver dans le terrain naturel.

3° Les bâtiments des turbines devaient être situés, autant que possible, près du Rhin, de manière à raccourcir les canaux de fuite provisoires rendant l'eau au Rhin.

Ces principes, qui ont conduit à partager la chute totale entre Bâle et Strasbourg en 8 échelons, ont été conservés dans le projet détaillé du Grand Canal d'Alsace, établi par le Consortium des Canaux d'Alsace-Lorraine (1). Les chutes successives, en aval de Kembs, varient entre 11 et 14 mètres, suivant la disposition des lieux.

(1) Les usines prévues entre Bâle et Strasbourg sont : Kembs, Ottmarsheim, Fessenheim, Vogelgrun, Marckolsheim, Sundhouse, Gerstheim, Strasbourg.

Description des installations

Le canal de Kembs, qui constitue la première des huit sections du Grand Canal d'Alsace, s'embranché sur le Rhin au kilomètre 5 de la rive française, c'est-à-dire à 5 kilomètres en aval de la frontière suisse. Un grand barrage mobile est établi au kilomètre 5,5, où il relève le niveau du Rhin d'environ 7 mètres en basses eaux, le seuil du barrage étant établi au niveau moyen du lit du Rhin. En temps de grande crue, les vannes du barrage sont complètement levées et les conditions d'écoulement du fleuve restent les mêmes qu'auparavant.

Le relèvement du plan d'eau au barrage a été calculé de manière que le remous en amont s'efface complètement au débouché de la Birse dans le Rhin.

Le canal d'amenée sert à la navigation et à l'alimentation des turbines ; avant d'arriver à l'usine, il se sépare en deux

branches, l'une réservée exclusivement à la navigation, l'autre exclusivement à l'amenée d'eau aux turbines (fig. 2).

Du côté du canal de fuite, le canal d'amenée est fermé par l'usine-barrage et le canal de navigation par les écluses. En aval de la chute ainsi formée, les biefs inférieurs des écluses et des turbines se rejoignent et le canal de fuite, qui est très court, ramène les eaux dans le Rhin au kilomètre 11,8, en attendant qu'il soit prolongé pour desservir la seconde chute.

Le Grand Canal d'Alsace doit être considéré comme une dérivation du Rhin débitant normalement 850 m³ par seconde, tandis que le reste du débit du fleuve s'écoule par le lit du Rhin. Pour maintenir ce débit dans le canal, en vue des chutes aval même quand les turbines de Kembs seraient partiellement arrêtées, un déversoir correspondant a été aménagé à travers l'usine.

C'est l'usine-barrage de Kembs qui forme l'ouvrage de garde du Grand Canal d'Alsace.

Barrage et Prise d'eau. — Le barrage, qui est établi perpendiculairement au Rhin, se compose de cinq ouvertures de 30 mètres séparées par des piliers de 5 mètres d'épaisseur et fermées chacune par deux vannes métalliques superposées, constituées par des parois verticales en tôle, garnies de poutres horizontales qui reportent la pression sur les piles ou les culées.

L'écoulement des eaux s'effectue soit en soulevant la vanne inférieure (système Stoney), — ce qui permet en même temps d'évacuer les graviers — soit en abaissant la vanne supérieure, ce qui permet de laisser passage à la glace en hiver.

Un ascenseur à poissons est disposé dans la culée gauche. Un filet du genre des filets à saumon monte et descend alternativement, fonctionnant comme un véritable ascenseur. Un courant d'eau, destiné à attirer les poissons, traverse l'appareil. En outre, une échelle à poissons ordinaire est établie sur la rive gauche.

de mètres cubes de terrassements et 465.000 m³ de béton, étant donné, d'autre part, l'obligation d'exécuter ces travaux dans une période relativement courte, il a été nécessaire d'avoir recours à des procédés perfectionnés et à des engins spéciaux, construits souvent spécialement sur demande.

Les talus sont protégés et rendus étanches par un revêtement de béton, dont l'épaisseur varie suivant les cas de 12 à 20 centimètres et qui contient un treillis métallique. Ce revêtement part du couronnement et descend jusqu'en dessous des eaux souterraines. Il s'est effectué de la façon suivante :

Tout d'abord, on a réglé soigneusement le talus. Ce réglage s'est fait à la main dans une partie du canal d'amenée, et dans l'autre partie à l'aide d'un appareil conçu spécialement pour ce travail (fig. 4).

Il se compose d'une charpente métallique, embrassant tout le talus et se déplaçant sur des voies, situées l'une au pied de la digue, l'autre au couronnement de celle-ci.

Fig. 4. — Les machines à régler les talus. Dans le fond on aperçoit le talus opposé

Canal d'amenée. — Le canal d'amenée a une largeur de 80 mètres au plafond et d'environ 150 mètres à la surface d'eau maximum. La profondeur d'eau est d'environ 12 mètres (1) (fig. 3).

La vitesse moyenne de l'eau par seconde ne dépasse pas 0 m. 70 pour un débit normal de 850 mètres cubes par seconde.

Les digues du canal ont des talus de 3 à 1 et une largeur de couronnement de 15 mètres au minimum. Etant donné d'une part l'importance spéciale des travaux, qui comportaient en particulier, pour le canal, l'usine et les écluses, plus de 7 millions

Sur ce pont roulant sont disposés différents appareils permettant d'enlever les remblais aux endroits où ils sont en excédent, d'en apporter où il en manque et de pilonner ensuite tout le talus pour assurer au revêtement une bonne surface d'assise.

Le bétonnage des talus s'est effectué ensuite à l'aide de deux appareils spéciaux (fig. 5) dont la charpente métallique était analogue à celle de l'appareil servant au réglage du talus. La mise en place du béton et du treillis métallique, ainsi que le pilonnage du béton, se faisait mécaniquement à l'aide d'un chariot se mouvant le long de la charpente inclinée.

Chaque appareil pouvait mettre en place par heure environ 25 m³ de béton. Le lissage de la surface du béton s'est fait à l'aide de petits appareils rotatifs, actionnés électriquement, que l'on déplaçait à la main et dont la construction est analogue à celle des circueuses électriques.

Dans toute la partie aval du canal d'amenée, à partir de la bifurcation du canal des écluses, le plafond du canal a été revêtu

(1) A titre de comparaison le canal de Suez a une largeur de 45 à 60 mètres au plafond et de 100 à 120 mètres à la surface de l'eau. Sa profondeur est de 13 m. La pente des digues est de 3 : 1, comme celle du Grand Canal d'Alsace. Le canal de Panama a une largeur de 91 m. 50 au plafond. La pente des digues étant de 1 : 10, la largeur au niveau de l'eau est sensiblement la même. Sa profondeur est de 13 mètres. Le Grand Canal d'Alsace est donc nettement plus important que le canal de Suez et le canal de Panama.

d'une couche de béton de 0 m. 20 à 0 m. 30, de manière à éviter que l'eau ne passe par infiltration du bief amont au bief aval. de béton recouverte d'une couche protectrice de gravier de 1 m. 70 à 1 m. 80 d'épaisseur. Sur les côtés, là où les bateaux

Fig. 5. — La bétonneuse des talus. On voit la digue-bouchon séparant encore le canal d'amenée du Rhin (à droite), dont le niveau est de 3 mètres au-dessus du plafond du canal. Les eaux souterraines commencent à envahir le canal.

Ecluses. — La dérivation du canal d'amenée allant vers les écluses, a une profondeur de 7 m. 50. Vers l'écluse, le plafond peuvent accoster, les talus garnis de béton avec treillis sont recouverts de pavages en pierre.

Fig. 6. — Vue du sas de la grande écluse

s'élargit sur une longueur de 185 mètres pour former un garage pour les bateaux. Le radier du canal est constitué par une paroi Les sas des deux écluses ont chacun une largeur utile de 25 mètres ; l'un a 185 mètres de longueur, l'autre 100 mètres.

Ils sont constitués par des murs en béton à parois verticales de 20 m. 50 de hauteur à l'intérieur et avec gradins à l'extérieur (fig. 6).

Les portes d'écluses sont constituées par de grandes vannes en tôles garnies de poutres horizontales. Elles coulissent verticalement dans des rainures ménagées dans la maçonnerie. La vanne aval de chaque écluse a une hauteur de 19 m. 50 et son tablier seul pèse plus de 500 tonnes ; la vanne amont a une hauteur de 8 mètres et son tablier seul pèse environ 100 tonnes. Les vannes aval sont équilibrées par des contrepoids.

Pour remplir et vider les écluses, les bajoyers de celles-ci sont pourvus sur toute leur longueur, à leur partie inférieure, d'ouvertures mettant les sas en communication avec des aqueducs ménagés dans les bajoyers, un dans chaque bajoyer de rive, deux dans le bajoyer central. L'entrée de chaque aqueduc est commandée à l'amont et à l'aval des sas par des vannes. Si l'on ouvre la vanne amont, la vanne aval étant fermée, le sas

Fig. 7.— Vue amont de l'usine prise le 6 Octobre 1931. Dans la troisième travée (4 travées par turbine) la grille est posée.

Fig. 8 — Cette photographie, prise le 20 mai 1931, montre les 4 baches d'entrée d'une turbine pendant leur bétonnage. Le distributeur de la

de l'écluse se remplit ; inversement, si l'on ouvre la vanne aval, la vanne amont étant fermée, le sas se vide. Toutes les manœuvres se font électriquement et permettent d'opérer l'éclusée d'un convoi de bateaux en moins d'une demi-heure.

Usine. — L'usine de Kembs comporte 6 unités de turbo-alternateurs à axe vertical dont une de réserve. Le bâtiment dans lequel sont logés les turbo-alternateurs et qui forme séparation entre le canal d'amenée et le canal de fuite, a une longueur entre-rives d'environ 130 mètres ; la largeur des maçonneries entre la grille amont et le para-fouille du radier aval est de 96 mètres (voir fig. 9).

Le bâtiment des turbines proprement dit est divisé par des cloisons principales transversales en 6 sections correspondant aux six groupes turbo-alternateurs (fig. 7).

Trois cloisons verticales transversales et une cloison horizontale partagent chaque section en 8 canaux ; les 4 canaux inférieurs conduisent l'eau à la turbine après son passage par la grille. Les cloisons de séparation des baches spirales se terminent par des avant-becs en tôles (fig. 8).

Les quatre canaux supérieurs sont fermés par deux vannes, la vanne du haut pouvant être abaissée pour le passage de la glace, ou relevée, ainsi que la vanne inférieure, pour servir de déversoir. Le déversoir ainsi formé entre en action lorsque les turbines sont totalement ou partiellement arrêtées, de manière à maintenir constant le débit du canal. Ce dispositif très simple (1) a permis d'éviter l'établissement d'un déversoir spécial, qui aurait été très coûteux (fig. 9).

Les eaux de chaque déversoir passent dans deux galeries à droite et à gauche de l'axe du groupe, qu'elles contour-

(1) Dispositif breveté par M. René Koechlin et la Maison Lœcher et Cie.

ment, et forment, à la sortie du bâtiment, une nappe se déversant audessus de la bache d'évacuation des turbines (fig. 10).

Chaque turbine développe une puissance de 36.000 CV. sous une chute maximum de 16 m. 60 et avec un débit de $187,5 \text{ m}^3/\text{sec.}$,

Fig. 9. — Coupe à travers le bâtiment des turbines

Fig. 10. — Façade aval de l'usine prise le 6 Octobre 1931. On distingue le pont de service qui portera la grue pour la mise en place des battardeaux.

ce qui correspond pour les 6 turbines à une puissance installée d'environ 220.000 CV. La puissance des turbines diminue avec la chute, de même que le volume d'eau absorbé par chaque turbine. Lorsque la chute nette est de 15 mètres, le Rhin permet l'utilisation d'un débit normal de $850 \text{ m}^3/\text{seconde}$ et la puissance disponible est alors de 150.000 CV. Dans une année d'eaux moyennes, l'usine de Kembs pourra fournir environ 800.000.000 kilowatt-heures.

L. RATEAUX.