L'usine hydroélectrique de Vogelgrün

Vogelgrün hydro-electric power station

PAR

M. LOUBATON

ET

R. SCHAFFER

DIRECTEUR-ADJOINT
DE LA RÉGION D'ÉQUIPEMENT HYDRAULIQUE NORD
D'ÉLECTRICITÉ DE FRANCE

INGÉNIEUR A LA RÉGION D'ÉQUIPEMENT HYDRAULIQUE NORD
D'ÉLECTRICITÉ DE FRANCE

L'usine hydro-électrique de Vogelgrün, dont la puissance installée sera de 156 000 kVA et la production annuelle, moyenne de 720 millions de kWh en situation définitive, comprend quatre groupes et quatre déchargeurs qui seront mis en service dans le courant de 1959.

Les turbines sont du type Kaplan, les alternateurs du type parapluie. Les trois pertuis de l'entrée de chaque groupe sont obturés chacun par une vanne à manœuvre automatique.

Le schéma électrique de la centrale est du type bloc : alternateur et transformateur étant reliés sans interposition de disjoncteur.

L'usine a été fondée à l'intérieur d'une cuvette étanche. Cette cuvette a été réalisée par injections d'argile et de ciment dans les alluvions. Dans la construction l'emploi de ciments à fort pourcentage de laitier a été généralisé et la proportion d'aciers durs crénelés augmentée.

The Vogelgrün hydro-electric power station, which will ultimately have an installed power output of 156 000 kVA and an annual output of 720 000 000 kWh, is equipped with four units and the necessary by-passing devices, which are expected to be put into service some time in 1959.

The turbines are Kaplan units, with the alternators mounted above the turbines. The three intake sluices for each unit are each fitted with an automatic gate.

The electrical circuit in the power station is of the block type in which the alternator and transformer are directly connected together with a circuit breaker between them.

The power station is built in a sealed basin formed by grouting clay and cement into the alluvial ground. Cement with a high slag content was generally used in the construction work, as well as a large amount of irregular surface hard steel than is usually the case.

La chute de Vogelgrün comprend essentiellement :

- un canal d'aménée et de navigation de 12 400 m de longueur;
- des écluses (deux importantes pour les besoins de la navigation internationale rhénane, une troisième de moindre importance raccordant le Grand Canal d'Alsace au canal du Rhône au Rhin pour les besoins de la navigation intérieure);
- un garage à l'amont et un garage à l'aval des écluses de 1 000 et 600 m de longueur;

- une usine hydro-électrique;
- un canal de fuite de 1 500 m de longueur (comportant un quai pour la Chambre de Commerce de Colmar en prolongement de l'écluse de raccordement du canal du Rhône au Rhin).

Nous nous limiterons dans cet article à l'étude de l'Usine, dont nous traiterons des chapitres suivants :

- hydrologie et production,
- description des ouvrages,
- conduite des travaux.

I. — HYDROLOGIE ET PRODUCTION

La chute de Vogelgrun étant située sur le Grand Canal d'Alsace et réalisée conformément au projet de 1925, son débit d'équipement est limité à celui dérivé à l'origine du canal à Kembs. Le bassin versant intéressé a pour surface 35 930 km² dont 1 000 km² de lacs et 700 km² de glaciers, le module est de 29,5 l/s, le débit du canal de 1 080 m³/s et le coefficient d'utilisation du canal par rapport au Rhin de 0,84 environ. Lacs et glaciers régularisent le régime du fleuve de manière fort appréciable puisque, pour le débit moyen de 1 060 m³/s à Bâle (calculé sur 55 années), le débit moyen d'hiver se situe à 800 m³/s et celui d'été à 1 300 m³/s; le débit d'étiage dans les années sèches ne descend pas au-dessous de 400 m³/s pendant 10 jours par an. Les crues annuelles normales du fleuve oscillent autour de 3 000 m³/s, la crue exceptionnelle de 5 500 m³/s

ne s'étant pas reproduite depuis 1876.

A noter que le retour au lit du Rhin, pour les aménagements qui seront réalisés à l'aval de Vogelgrun, permettra d'accroître le débit d'équipement en le portant de 1 080 m³/s à 1 400 m³/s, débit qui sera atteint en moyenne 90 jours par an.

La hauteur de chute variera entre 11,60 m et 15,50 m en fonction du niveau du Rhin à la restitution. Les valeurs moyennes de cette hauteur en situation provisoire et en situation définitive, c'est-à-dire avant et après exécution du barrage de Marckolsheim, seront respectivement de 13,40 m et 11,80 m environ.

La puissance installée sera de 140 000 kW, la production annuelle moyenne de 814 millions de kWh en situation provisoire et de 720 millions de kWh en situation définitive.

II. — DESCRIPTION DES OUVRAGES

A) Génie civil

L'usine de Vogelgrun comprend quatre groupes Kaplan, constituant chacun un bloc indépendant sur un radier général très faiblement armé, et un déchargeur formant un cinquième bloc au centre de l'usine; des locaux administratifs lui sont en outre adjoints sur la rive gauche (fig. n° 1). Ces cinq blocs sont séparés les uns des autres par des joints de dilatation simplement badigeonnés au goudron et dont l'étanchéité est assurée à l'amont et à l'aval par une garniture waterstop type A.

Les bâches spirales, en béton armé, ne supportent que partiellement les étages supérieurs; en effet, les aubes directrices fixes, étant mises en place lors de l'exécution des premiers bétons et non après achèvement du gros œuvre, encaissent une grande partie du poids de ces étages pour le transmettre sur les fondations (fig. n° 4). Ce mode de construction permet d'alléger le ferrailage du plafond des bâches, mais demande en contrepartie un soin particulier dans la mise en place des bétons pour éviter tout déréglage des aubes fixes.

Deux grilles de 46,45 m × 15,70 m chacune et situées de part et d'autre du déchargeur, l'une au droit des groupes I et II et l'autre au droit des groupes III et IV, protègent les entrées des bâches spirales. Elles sont composées de barreaux en fer plat entretoisés de 14 mm d'épaisseur, 140 mm de largeur et écartés les uns des autres de 118 mm.

Pour assurer la continuité du débit du canal et ne pas perturber la navigation en cas de baisse de charge ou d'arrêt des groupes, un déchargeur a été prévu (fig. n° 1 et 3). Il comprend deux passes rectilignes, chacune étant divisée à l'amont en deux pertuis. Chaque pertuis, de 4,10 m de large et de 5,60 m de haut, est capable d'évacuer normalement 300 m³/s c'est-à-dire le débit correspondant à celui de chaque turbine, et 250 m³/s environ en cas de très fortes crues du Rhin. La dissipation de l'énergie de l'eau évacuée (190 000 ch) est assurée par un ressaut hydraulique contrôlé et stabilisé à l'intérieur de chaque passe par un obstacle constitué d'une grille de barreaux de 0,30 m de diamètre. En outre, pour éviter tout affouillement possible du fond du canal de fuite non revêtu, on a disposé sur une centaine de mètres à l'aval un lit d'enrochements de dimensions décroissantes jusqu'à la granulométrie naturelle du fond du canal. Enfin la concentration du déchargeur au centre de l'usine empêche la dégradation des berges revêtues du canal de fuite.

B) Electro-mécanique

a) GROUPES GÉNÉRATEURS :

L'usine de Vogelgrun est équipée, comme celles d'Ottmarsheim et de Fessenheim, de quatre groupes générateurs. Son exploitation est prévue

Fig. 2.
Coupe transversale de l'usine
dans l'axe d'un groupe.

Fig. 1.
Plan de l'usine.

Fig. 3.
Coupe transversale de l'usine
dans une passe du déchargeur.

FIG. 4.

Mise en place des aubes directrices fixes et de la couronne supérieure d'entretoises de ces aubes.

pour le débit concédé de $1\,080\text{ m}^3/\text{s}$; cependant, pour donner suffisamment d'élasticité aux programmes d'entretien des groupes en raison de leur grand nombre d'heures d'utilisation (7 000 à 8 000 heures effectives par an à charge variable), le débit maximum de chaque turbine a été porté à $290\text{ m}^3/\text{s}$, correspondant à un débit total d'équipement de $1\,160\text{ m}^3/\text{s}$.

Les turbines sont du type Kaplan; elles ont une puissance maximum de 48 000 ch correspondant à $290\text{ m}^3/\text{s}$ sous 13,50 m et une vitesse de rotation de 83 tr/mn. La bêche spirale comprend trois pertuis d'entrée et l'aspirateur deux passes. L'avant-distributeur fixe est constitué de douze aubes directrices en acier moulé. La roue motrice (125 t) de 6,90 m de diamètre comporte quatre pales orientables de 7 t chacune (fig. n° 5).

Les alternateurs sont triphasés et du type « parapluie ». Chacun, accouplé directement à la turbine, a une puissance de 39 000 kVA sous 10,3 kV. Ils sont montés et bobinés sur le chantier, la carcasse du stator étant amenée en quatre éléments. Le stator (123 t) a un diamètre extérieur de 11,10 m. Le rotor (213 t) a un dia-

mètre de 9,57 m et présente un PD^2 de $11\,500\text{ t.m}^2$. L'arbre principal du groupe (26 t), constitué d'une seule pièce, a une longueur de 6,90 m et un diamètre de 0,85 m.

Le pivot du groupe, situé immédiatement sous

FIG. 5. — Roue de turbine.

l'alternateur, prend appui par l'intermédiaire d'une chaise sur le couvercle de la turbine solidaire des aubes directrices fixes. Les efforts dus au poids des parties tournantes du groupe (398 t) et à la poussée hydraulique (515 t) sont donc reportés sur ces aubes.

Pour le montage, deux ponts roulants de 130 t chacun permettent l'amenée du matériel nécessaire du hall de déchargement à la plage principale de montage située au centre de l'usine au-dessus du déchargeur (fig. n° 1).

b) VANNES ET BATARDEAUX :

À l'amont, au droit de l'entrée de chaque bêche spirale, sont installées à demeure trois vannes-wagons de 5,60 m × 10,40 m, composées chacune de quatre éléments articulés et qui peuvent jouer un double rôle : un rôle de batardeaux en cas d'entretien ou de réparation du groupe, un rôle de vannes de sécurité en cas d'emballement de la turbine. Dans ce dernier cas, ces vannes descendent en trois minutes à l'aide d'un treuil mis en marche soit automatiquement par la turbine lorsque la vitesse de celle-ci dépasse une certaine valeur, soit manuellement.

À l'aval, la sortie des aspirateurs peut être

obturée par de simples batardeaux de 9 m × 8,40 m stockés en rive droite et communs aux deux usines de Fessenheim et de Vogelgrun.

Les quatre vannes-secteurs obturant les pertuis du déchargeur ont chacune 6,35 m de longueur développée au bordé et 4,10 m de largeur. Elles peuvent s'ouvrir en 6 secondes soit automatiquement par asservissement à la turbine correspondante, soit manuellement par bouton-poussoir.

c) CIRCUITS DE PUISSANCE :

Chaque alternateur débite directement sur un transformateur donné (schéma bloc) lui-même relié au réseau général d'interconnexion à 220 kV ou au réseau régional de 150 kV par l'intermédiaire d'un disjoncteur haute tension.

Les liaisons entre alternateurs et transformateurs sont réalisées par des barres en aluminium enfermées dans des gaines cylindriques.

Les transformateurs triphasés sont du type extérieur à refroidissement par circulation naturelle de l'huile dans des radiateurs à ventilation forcée. Ils offrent la particularité d'avoir un enroulement secondaire permettant de sortir la pleine puissance du groupe, soit à la tension de 150 kV, soit à la tension de 220 kV.

III. — CONDUITE DES TRAVAUX

A) Travaux préparatoires.

Comme à Fessenheim, en raison de l'implantation de l'usine dans les anciennes alluvions perméables du Rhin dont la hauteur atteint ici près de 200 m, nous avons procédé au préalable à la constitution d'une cuvette étanche à l'intérieur de laquelle l'usine fut ensuite fondée.

Cette cuvette, de 175 m de longueur maximum, 115 m de largeur et 42,50 m de profondeur maximum, comprend une enceinte verticale de 14 900 m² de surface totale et un fond de 16 500 m² de surface et 5 m d'épaisseur (fig. n° 6, 7 et 8). L'enceinte verticale a été constituée à l'aide de trois lignes parallèles de forages distantes de 2 m l'une de l'autre, le fond à l'aide d'un quadrillage dont la maille avait 10 m d'écartement.

Au total, 40 500 t ont été injectées, dont 34 600 t d'argile, 3 100 t de ciment et 2 800 t de produits chimiques (alumine et silicate de soude). Les longueurs de forages ont été de 22 500 ml, dont 16 250 ml pour les écrans verticaux et 6 250 ml pour le fond.

La cuvette a limité les arrivées d'eau à une soixantaine de litres par seconde alors que sans

étanchement elles auraient bien dépassé 12 000 l/s environ d'après les estimations.

Par suite de la nature alluvionnaire du terrain et de la présence du matelas d'argile constituant le fond de la cuvette étanche sous les fondations de l'usine, on pourrait craindre des tassements inégaux du sol. Des tassements, certes, se produiront, mais l'expérience de l'usine de Fessenheim, construite dans des conditions pratiquement identiques, a montré qu'ils restent dans des limites acceptables (2 cm pendant la construction, 1 cm pendant la mise en eau). Notons que le calcul indique que la contrainte maximum sur le sol est pour les deux usines de l'ordre de 3 kg/cm².

B) Travaux principaux

630 000 m³ de déblais ont été exécutés, 178 000 m³ de béton, 3 500 t d'acier, 110 000 m² de coffrages ont été ou seront mis en œuvre à l'usine, les quantités correspondantes pour l'ensemble de l'aménagement étant de 17 millions de m³, 600 000 m³, 6 200 t, 240 000 m².

Compte tenu de la nature des différentes parties de l'ouvrage, il est fait un très large emploi (94 %) de ciments à fort pourcentage de laitier.

FIG. 6.
Plan.

- Cuvette étanche*
1. Enceinte verticale.
  2. Fond étanche.
  3. Axe des groupes.
  4. Canal collecteur du rabattement de la nappe à la cote 178,50.
  5. Niveau normal de la nappe.

FIG. 7.
Coupe
longitudinale.

FIG. 8.
Coupe
transversale.

FIG. 9.

Fouille
de l'usine

Les agrégats nécessaires à la confection des bétons de l'ensemble de l'aménagement sont tirés des déblais sablo-graveleux du canal de fuite.

Une économie sensible est réalisée sur le poids des ferrailages grâce à la substitution d'une grande partie des aciers doux par des aciers mi-durs crênelés que nous faisons travailler à des taux pouvant atteindre 21 kg/mm^2 au lieu de 14 kg/mm^2 .

L'alimentation en énergie électrique pour les besoins de l'aménagement doit être assurée en permanence pour éviter un arrêt des pompages qui entraînerait l'inondation des fouilles; elle est réalisée par une ligne à $150\,000 \text{ V}$ doublée d'une ligne de secours à $63\,000 \text{ V}$. La puissance

appelée pour les besoins de l'ensemble de l'aménagement s'est élevée à $12\,000 \text{ kVA}$, dont $1\,200 \text{ kVA}$ pour les besoins de l'usine.

Les anciennes cités, qui avaient été construites pour les aménagements précédents, sont utilisées pour loger la majeure partie de la main d'œuvre de Vogelgrun (900 ménages et 360 célibataires pour l'ensemble de l'aménagement, dont 190 et 80 pour l'usine). Le reste de l'effectif (un millier environ pour l'ensemble de l'aménagement) habite la région.

Compte tenu de l'avancement des travaux, nous pensons pouvoir mettre les quatre groupes en service au cours de l'année 1959.

FIG. 10. — Usine, vue de l'aval.

En résumé, l'usine de Vogelgrun, quatrième des huit centrales prévues dans l'aménagement hydro-électrique du Rhin, présente de grandes analogies avec les chutes amont, notamment par son canal d'amenée qui fait suite directement au canal de fuite de Fessenheim, mais elle s'en distingue par le caractère définitif de sa res-

titution au Rhin. Comme ce type de restitution sera également adopté dans les quatre chutes à construire à l'aval, l'usine de Vogelgrun réalise donc bien la transition entre les deux chaînes d'usines amont et aval; c'est la raison qui nous l'a fait traiter à titre d'exemple dans le présent article.