LA HOUILLE BLANCHE

ÉDITIONS B. ARTHAUD, Succ^r de J. REY, GRENOBLE

Abonnement pour une Année { France..... 40 francs } Le Numéro : 7 francs
 { Étranger 50 francs }

Compte Chèques Postaux LYON 5-84

SOMMAIRE

LES FORCES HYDRAULIQUES. — Aménagement de la chute de Liebvillers de la Société des Forces motrices, Forges et Visseries de St-Hippolyte, par M. R. COLLE, ingénieur-directeur de la Société des F. M. et V de St-Hippolyte.

ÉLECTRICITÉ. — Les machines électriques à vitesse variable.

LÉGISLATION. — La concession hydraulique donnée en conformité de la Loi du 16 octobre 1919, est une concession de travaux publics, par Paul BOUGAULT, avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

DOCUMENTATION.

BIBLIOGRAPHIE.

LES FORCES HYDRAULIQUES

Aménagement de la chute de Liebvillers de la Société des Forces motrices, Forges et Visseries de Saint-Hippolyte

par M. R. COLLE, Ingénieur-Directeur de la Société des Forces motrices, Forges et Visseries de Saint-Hippolyte.

Dans l'article ci-dessous, l'auteur, après avoir montré les principales caractéristiques de la rivière « Le Doubs » et les causes qui ont présidé au choix de l'emplacement du barrage, décrit les différentes installations hydrauliques aménageant la chute de Liebvillers. Un prochain article sera spécialement consacré aux installations électriques : station centrale, ligne de transport à haute tension et poste de transformation et de couplage.

AVANT-PROPOS

Lorsqu'en 1918, démobilisé depuis peu, l'auteur de ces lignes prenait son niveau et allait prospecter les chutes d'eau utilisables sur le Doubs, en amont de St-Hippolyte, il ne se doutait guère que sur 4 km. de longueur du cours d'eau, il allait trouver une dénivellation de 14 m., soit 3,5 m. de pente au kilomètre. Cette pente, considérable pour un cours d'eau qui a déjà parcouru 150 km. depuis sa source, allait permettre de réaliser dans la région de St-Hippolyte, ce qu'en général on ne peut réaliser qu'en pays de montagne, une chute de 37,500 m. de hauteur en moyenne et d'une puissance de 10.000 kW.

Aux lecteurs de cette revue, nous allons d'abord présenter la rivière avec toutes ses caractéristiques; nous étudierons ensuite la section du cours d'eau à aménager et nous décrirons enfin les installations qui ont réalisé cet aménagement, dont les études, commencées réellement en 1919, aboutissaient à la mise en marche de l'Usine, le 1^{er} juin 1927.

La rivière « Le Doubs ». — Le Doubs prend sa source à 937 m. d'altitude, à proximité de Mouthe, dans la partie haute du département du Doubs.

Après quelques kilomètres de cours, il s'épanouit en deux lacs très pittoresques, ceux de Remoray et de St-Point.

En vertu d'une concession demandée, au nom du Syndicat des Usiniers du Doubs, par la Société des Forces Motrices du Refrain, ces lacs, sur levés de 2,40 m. par un barrage placé à leur sortie, servent de bassin de régularisation du cours du Doubs, au moyen d'une accumulation de 14 millions de m³ d'eau.

A sa sortie du lac St-Point, le Doubs, après avoir baigné Pontarlier, Montbenoit et Morteau, s'épanouit à nouveau dans les « Bassins du Doubs ». A partir de cet endroit, il forme frontière entre la France et la Suisse. Après avoir alimenté le Saut-du-Doubs, puis les Usines de la Rasse, du Refrain et de la Goule, il entre entièrement en Suisse et décrit la boucle de St-Ursanne. Il alimente ensuite l'usine de Bellefontaine, puis rentre en France à Bremoncourt, à 10 km. en amont de Vaufrey.

Le Doubs, à Vaufrey, a déjà parcouru environ 150 km. Son bassin versant, assez boisé et situé à une altitude moyenne de 800 m., épouse sensiblement la forme d'un rectangle allongé de 1.500 km².

Le débit d'étiage à Vaufrey est de 5 m³ à la seconde. Certaines années, la réserve de 14 millions de m³, qui, à ce moment-là, agit comme appoint, est largement suffisante pour permettre de ne pas descendre jusqu'à ce débit minimum.

Le débit de 300 jours est de 12 m³ : s. grâce à la régularisation du St-Point; le débit de 180 jours est de 25 m³ : s.

Les crues maxima constatées sur la rivière sont de l'ordre de grandeur de 5 à 600 m³ : s.; les crues moyennes sont de 100 à 200 m³ : s.

La partie aménagée. — La partie de ce cours d'eau dont l'aménagement était projeté, est comprise à peu de chose près entre le village de Vaufrey, limite extrême que l'on ne pouvait dépasser sans risquer de noyer ce village et l'emplacement actuel de la nouvelle station centrale, située à 2 km. en aval du confluent du Doubs et du Dessoubre, à Liebvillers.

Le profil en long de la rivière, de Vaufrey à la station de Liebvillers, peut se diviser en trois parties :

1° *De Vaufrey à Soultz-Cernay.* — Si nous descendons le Doubs au fil de l'eau, du pont de Vaufrey à celui de Soultz, nous trouvons d'abord un rapide d'environ 1 m. de dénivellation, puis, nous arrivons à l'extrémité du remous de la station hydro-électrique de Montjoie, petite usine utilisant un débit de 15 m^3 : s. sous une chute de 4 m. environ. Ce remous s'étend sur environ deux kilomètres. Viennent ensuite quelques rapides de peu d'importance, qui nous amènent au groupe des rapides de Longues-Planches et de Grosbois.

Le Doubs coule ensuite sur une pente relativement faible jusqu'au Pont de Soultz.

La longueur de cette partie du cours d'eau, depuis la limite du remous, située à 600 m. en amont du pont de Vaufrey, jusqu'au pont de Soultz, est de 7.600 m. La dénivellation y est de 14,25 m. Nous voyons donc que la pente moyenne dans cette zone est de moins de 2 m. : km.

2° *De Soultz au confluent du Doubs et du Dessoubre à St-Hippolyte.* — Dans cette partie du cours d'eau, d'une longueur de

vation (qui sera souterraine), avec sa perte de charge obligatoire, qui ne sera jamais que de 6 m. au maximum quand on travaillera à plein débit.

Choix de l'emplacement du barrage. — L'emplacement même du barrage a été déterminé en partant des considérations suivantes :

Il fallait d'abord constituer une réserve suffisante pour accumuler en période de sécheresse l'eau de la nuit pour le jour et l'eau des 24 heures creuses qui s'étendent du samedi au lundi, pour la répartir sur la semaine suivante.

Il fallait en outre trouver un emplacement à seuil imperméable et ne nécessitant pas un trop grand développement de barrage.

Enfin, le barrage ne pouvait être placé qu'en amont du village de Soultz-Cernay, qui ne pouvait être noyé.

L'emplacement qui a été retenu est celui de Grosbois, à 2 km. en amont du village de Soultz.

A cet endroit, les marnes compactes du Lias, dans le Jurassique inférieur, étaient apparentes, ce qui donnait la certitude d'un seuil pratiquement imperméable.

FIG. 1. — Plan d'aménagement de la chute de Liebvillers, sur le Doubs.

4 km., le Doubs roule de rapide en rapide, avec une dénivellation de 13,50 m., ce qui fait une pente de 3,375 m. par km.

3° *Du confluent du Doubs et du Dessoubre à l'emplacement actuel de la centrale.* — Sur ce parcours, de 2 km., on rencontre la chute existante du Moulin-Neuf, de 2,30 m. de hauteur, puis la chute proprement dite de l'Usine des Forges, de 6,65 m. Ces deux chutes, ainsi que l'ancien barrage en ruine de la Brasserie, appartiennent à la Société concessionnaire de la chute de Liebvillers.

La dénivellation de cette partie du cours d'eau est de 10,75 m., soit une pente de 5,375 m. : km.

Au delà de ce point, le Doubs court à faible vitesse dans une vallée qui va en s'élargissant et sa pente moyenne n'est plus que de 1,20 m. : km. Il ne peut plus être utilisé dans cette zone que sous la forme de barrages-usines de faible hauteur, 4 à 5 mètres tout au plus.

La section du cours d'eau à aménager se présentait donc dans les conditions les meilleures pour une utilisation aussi rationnelle que possible.

1° Section amont, de Vaufrey à Soultz : faible pente, interdisant la dérivation, mais permettant par contre une forte accumulation au moyen d'un barrage pas très élevé.

2° Section aval, de Soultz à l'emplacement projeté de la station centrale : pente très forte, pouvant supporter une déri-

La hauteur du barrage n'était que de 11 m.

Son développement en couronne n'était que de 65 m., depuis le plan des ouvertures d'introduction jusqu'au chemin de grande communication n° 40, de St-Hippolyte à St-Ursanne.

Son ancrage rive gauche, destiné à éviter le contournement des eaux, n'était que de 40 m., en raison du redressement rapide des couches de marne de ce côté.

Ce barrage noyait de deux mètres la crête du barrage de Montjoie existant antérieurement ; cette usine dut être rachetée et démolie.

La réserve d'eau utile derrière le barrage ainsi choisi, correspondant à une tranche de 4 m. de profondeur, était en chiffres ronds de 1 million et demi de mètres cubes, représentant une énergie utilisable de 100.000 kWh.

Cette réserve permettait d'accumuler, du samedi à midi au lundi à 6 h. la totalité du débit du Doubs quand celui-ci est de 10 m^3 : s., cette eau accumulée pouvant être ensuite répartie sur les 48 heures ouvrables du reste de la semaine.

Cette réserve permettait, en outre, de reporter sur le jour, l'eau de la nuit, pendant les périodes où le débit de 40 m^3 : s. n'était pas atteint.

Exécution des travaux. — Les travaux de génie civil de l'installation ont été faits en régie directe par la Société concessionnaire, qui confiait à la Société Alsacienne de Constructions

mécaniques la fourniture de tout l'équipement électrique et mécanique.

La concession hydro-électrique datait d'avril 1923 et les travaux commençaient immédiatement.

Les travaux du barrage étaient entrepris dans le courant de la même année, à la fin de laquelle les terrassements étaient

FIG. 2. — Vue d'ensemble du barrage de Grosbois.

déjà bien avancés et les batardeaux et passerelles en place, prêts à être utilisés pour la campagne 1924.

Fin 1924, les fondations du barrage étaient entièrement terminées et celui-ci affleurait l'eau sur toute la traversée de la rivière.

Fin 1925, la prise d'eau, l'usine de hautes-eaux qu'on avait décidé d'accoler au barrage, les murs bajoyer rive gauche, ainsi que l'ancrage rive gauche sous la route étaient très avancés; le barrage arrivait à la cote de retenue normale.

L'année 1926, fut l'année des montages et des enduits. Fin 1926, le travail du barrage était pratiquement terminé.

Le cube de béton que ce travail avait absorbé atteignait 28.000 m³, ayant nécessité 180.000 sacs de ciment.

Le souterrain de dérivation, d'une longueur de 6.000 m., constituait, à n'en pas douter, la partie la plus importante du travail.

Les travaux préparatoires : installations de compresseurs et de conduites d'air comprimé, chemins d'accès, chemins de ronde, commençaient en avril 1923. En même temps, l'attaque se faisait par huit fenêtres qui, au 1^{er} août 1923, arrivaient au contact du souterrain. Le 1^{er} août 1924, c'est-à-dire 300 jours ouvrables après le commencement des galeries d'avancement, on faisait pour la première fois et sans sortir, le trajet complet par la galerie d'avancement, qui était terminée.

Sauf quelques petits accidents locaux, arrivées d'eau, failles de peu d'importance, les indications des géologues étaient confirmées.

Le 1^{er} août 1925, la galerie était à sa section définitive sur une longueur de 5.600 m. Les 400 derniers mètres, dans les marnes du Lias, ne devaient d'ailleurs être ouverts qu'immédiatement devant la maçonnerie. Celle-ci avait commencé en juin 1925.

En mars 1927, le revêtement, les injections et l'enduit de l'ensemble de la galerie étaient terminés.

La perforation de cette galerie de 6 km. avait nécessité l'emploi de 130.000 kg. de dynamite.

Son revêtement avait absorbé 300.000 sacs de ciment; pendant une grande partie de l'année 1926, la consommation journalière de ciment était de 2.100 sacs; un chantier de bétonnage de 110 hommes arrivait à établir le record de 18 m. courant de revêtement de galerie en 24 heures.

Pour des raisons de main-d'œuvre, les travaux de la station centrale ne furent attaqués qu'au printemps 1925.

En raison de la nature géologique du sol, de la déclivité de talus, de l'obligation de maintenir sur la route la circulation normale, de grosses difficultés durent être vaincues dans l'exécution de ce travail.

Le terrassement prit tout l'été 1925.

En octobre, on commençait à bétonner les fondations des aspirateurs. Au 1^{er} janvier 1926, profitant d'un hiver beaucoup plus pluvieux que froid, on coulait le plancher armé des alternateurs.

A Pâques on était au toit. A la Pentecôte, le bâtiment était couvert et au mois d'août commençait le montage de la première turbine.

Pendant cette année 1926, on construisit le bâtiment des transformateurs et de l'appareillage.

Le montage de celui-ci commençait en décembre.

En mai 1927, le premier groupe électrogène démarrait et au 1^{er} juin, l'exploitation industrielle commençait.

Les délais prévus à l'acte de concession pour la terminaison des travaux étaient de 5 ans; en fait, la station débitait sur le réseau au bout de 4 ans et 2 mois.

Nous allons décrire successivement les différentes installations hydrauliques aménageant la chute de Liebvillers : barrage et prise d'eau de Grosbois avec son usine de hautes-eaux, souterrain de dérivation, cheminée d'équilibre, conduites forcées, puis la station centrale de Liebvillers et enfin le poste de transformation extérieur de Bourogne qui distribue la plus grosse part de l'énergie produite et, en outre, relie la nouvelle

FIG. 3. — Vue des deux vannes Stoney et de la vanne de passe à gravier.

station au réseau de la Société des Houillères de Ronchamp.

I. — INSTALLATIONS HYDRAULIQUES

Barrage. — Pour un observateur placé sur la rive gauche de la rivière, à l'aval du barrage, celui-ci se compose d'abord d'une partie fixe insubmersible, formant ancrage sur la rive gauche et allant rechercher, pour assurer l'étanchéité parfaite, le banc

de marne qui, sous une couche d'alluvions, remonte très fortement.

Entre cette partie fixe insubmersible et le barrage proprement dit, se trouve la pile culée, qui se prolonge le long de la rive par un mur en pierres sèches de 100 m. de longueur.

Vient ensuite le barrage fixe, formant déversoir, d'une longueur de 27 m. Ce barrage est arasé à la cote 396 du nivellement général de la France.

Puis, séparées par leurs piles respectives, viennent deux

FIG. 4. — Vue des crics actionnant les vannes Stoney et la vanne de passe à gravier (les capots du moteur du premier plan et de son rhéostat de démarrage ont été enlevés).

vannes Stoney de 7,50 m. de largeur sur 6 m. de hauteur.

Ces vannes sont surmontées de vannettes de 0,50 m. de hauteur utile, servant à évacuer aussi bien les corps flottants que des crues légères ne nécessitant pas la manœuvre de la vanne elle-même; ces vannettes servent également en hiver à évacuer les glaces au moment du dégel.

A gauche de ces deux vannes vient la vanne dite de passe à gravier. Celle-ci, plus profonde que les précédentes, puisqu'elle mesure 5 m. de largeur sur 8 m. de profondeur, sert, comme son nom l'indique, à évacuer les graviers roulants qui, en raison des apports solides de la rivière en temps de crue, tendraient, au bout d'un temps plus ou moins éloigné, à venir s'accumuler devant le barrage et la prise d'eau. Cette vanne comporte, à sa partie supérieure, une vannette de 2 m. permettant d'évacuer les débris flottants qui s'accumulent à cet endroit. Devant cette vanne de passe à gravier et parallèlement aux ouvertures d'introduction de la prise d'eau, un radier, de pente assez rapide dans le sens de la rivière, crée, quand la vanne de passe à gravier est en partie ouverte, un courant tel qu'il entraîne tous les graviers qui auraient pu arriver jusque-là en roulant au fond de la rivière.

Les tabliers et chemins de roulement de ces vannes ont été étudiés, exécutés et montés par les Etablissements Joya, de Grenoble.

Tous les crics à crémaillère actionnant les vannes ont été construits par l'usine de Graffenstaden, de la Société Alsacienne de Constructions mécaniques. Les crics à commande électrique méritent une mention spéciale en raison de la nouveauté des intéressants dispositifs qu'ils comportent.

Tant en ce qui concerne les vannes Stoney que la vanne de

passer à gravier, les crics à commande électrique sont accouplés deux par deux à une cage permettant la commande, soit par le moteur soit par mouvement à bras. Cette cage a été étudiée spécialement pour l'accouplement des crics à crémaillère qui exigent, vers le bas ainsi que vers le haut, des arrêts précis. Ceux-ci ne peuvent, en effet, être obtenus par des interrupteurs électriques à fin de course, doublés d'un électro-aimant commandant un frein, car la chute de ce dernier serait trop lente; le moteur restant accouplé au mécanisme, sa force vive serait à freiner, ce qui, pour le cas d'un moteur tournant rapidement, représenterait un travail assez important; on désire d'ailleurs éviter la surveillance qu'auraient pu nécessiter des interrupteurs de fin de course et des électro-aimants de frein.

La cage en question a donc un double but :

- a) Permettre de débrayer le moteur;
- b) Permettre de bloquer le mécanisme.

Ceci est obtenu très simplement à l'aide d'un double cône A (voir le schéma de la fig. 5) calé sur l'arbre du premier pignon d'entraînement et qui peut coulisser dans les deux sens, sous l'action respective de deux contre-poids; l'un de ces contre-poids, B, est accroché à la main, dans le cas de la commande à pied d'œuvre des vannes du barrage (nous verrons que les vannes d'entrée des conduites forcées comportent un mécanisme du même genre, mais le contrepoids correspondant à B y est soulevé par un électro-aimant commandé depuis la station centrale).

Le contrepoids B étant accroché, son action est annulée et l'autre contrepoids C pousse le double cône dans le volant D calé sur l'arbre du moteur, qui alors entraîne le cric.

En fin de course, le contrepoids B est décroché de son cliquet de retenue, qui est soit fixe, soit accroché à l'électro-aimant de relevage du contrepoids. Ce contrepoids B étant plus fort que l'autre C, repousse le double cône A, ce qui produit le débrayage du moteur et le freinage du mécanisme à l'intérieur d'un cône

FIG. 5. — Schéma de la cage d'accouplement des crics à commande électrique.

femelle fixe E. Le fonctionnement est précis, car le décrochage se produit brusquement.

Pour les vannes Stoney, la commande des vannettes servant de table de glace se fait par les crémaillères des crics de levage; à ces crémaillères sont articulés des balanciers, qui font descendre

la vannette lorsque le cric monte. A fin de course des tables de glace, la crémaillère attaque directement la vanne Stoney par sa tête.

Les dimensions de la vannette de la vanne de passe à gravier étaient trop importantes pour qu'on puisse lui appliquer le système de commande adopté pour les vannes Stoney; cette vannette a donc été commandée par des crics fixés à demeure sur la vanne.

Prise d'eau. — La prise d'eau a été établie en vue d'éviter sur les grillages l'accumulation des corps flottants et des graviers roulants ou en suspension.

Les ouvertures d'introduction, au nombre de 4, sont disposées parallèlement au lit de la rivière. La surface de chacune de ces ouvertures est de 20 m² et elles sont protégées par une grille à pas large composée de barreaux amovibles espacés les uns des autres de 30%.

Le seuil de ces ouvertures est surélevé de 1,50 m. par rapport au radier en pente dont il a été parlé précédemment à l'occasion de la vanne de passe à gravier.

Elles sont en outre fermées à leur partie supérieure par un masque en béton armé plongeant dans l'eau de 2 m. au-dessous du niveau normal de marche.

Un approfondissement du bassin de décantation entre les ouvertures d'introduction et les grilles à pas fin, réalise une diminution de vitesse suffisante pour provoquer le dépôt des graviers en suspension.

Trois vannes de fond, dites vannes suceuses, dont les crics de commande sont visibles sur la vue de la fig. 6, permettent, par des chasses exécutées au moment des grandes eaux, d'évacuer les graviers déposés au pied du massif des grilles. Après le passage des grilles, nouvel approfondissement et nouvelle diminution de vitesse qui provoque le dépôt d'une grande partie des boues en suspension.

Ces boues sont, elles aussi, évacuées par une vanne de chasse

lique du type ordinaire. Elle n'a de remarquable que ses dimensions de 5 × 4 m. et la puissance des crics destinés à la commander. Ces crics sont chacun de 40 t.; ils sont visibles sur la vue de la fig. 6, près du personnage situé au deuxième plan.

Ces crics sont couplés par deux, à l'aide d'un mouvement central à deux vitesses, qui permet à un seul ouvrier d'exercer un effort de traction ou de poussée de 80 t.

Pour pouvoir remplacer les seuils de ces vannes, où l'érosion est inévitable, ceux-ci ont été munis de grosses pièces en fonte,

FIG. 6. — Vue de la prise d'eau.

fixées aux profilés du seuil par des écrous en bronze noyés dans la pièce; ces pièces pourraient donc être remplacées en cas d'usure trop importante.

Usine des hautes-eaux. — En raison de la hauteur de chute, 11 m., relativement importante au droit du barrage, de la faible dépense occasionnée par cette installation supplémentaire, du nombre relativement important de jours dans l'année où le barrage déverse de l'eau, il a été créé au droit du barrage une usine

FIG. 7. — Coupe axiale de la turbine double de l'usine de hautes-eaux

latérale, que l'on aperçoit à gauche de la fig. 6, dans un plan perpendiculaire à celui des grilles.

La partie du bassin de décantation placée à l'arrière des grilles est couverte par une dalle en béton armé, supportée par des piliers reposant sur le fond de la chambre.

Pour faciliter le passage de l'eau dans le souterrain et faire que l'augmentation de vitesse et le passage de la section rectangulaire à la section ovale du souterrain s'effectuent sans trop de tourbillons, il a été prévu une trompe en béton armé, placée devant la vanne de tête du souterrain.

La vanne de tête du souterrain est une vanne plate métal-

de hautes-eaux. Cette usine a l'avantage, tout en permettant de fournir certaines pointes accidentelles, de remédier au déficit de puissance occasionné pendant les crues par le relèvement aval du niveau d'eau à la station centrale principale.

Une surélévation de 3 m. du niveau aval donne une perte sèche de 8 % de la puissance totale, perte qui peut être compensée par la mise en marche au barrage d'un groupe de 1.120 kW. La vue d'ensemble de la fig. 2, montre, à gauche du barrage proprement dit, les chambres d'eau de la turbine, puis le bâtiment de l'alternateur, du transformateur et du tableau de cette usine de hautes-eaux.

Turbine. — Cette turbine est destinée à utiliser les hautes eaux et par ce fait, elle n'est en service que périodiquement.

C'est une turbine centripète à réaction, type Francis, à axe horizontal. Elle est constituée par deux turbines simples, disposées dans deux chambres d'eau séparées et calées sur le même arbre.

La turbine jumelée est calculée pour une puissance de 1.620 ch., sous 10 m. de chute utile, avec un débit de 15.000 l. à la seconde, à une vitesse de 250 t. : mn. La vitesse d'emballlement est de 500 t. : mn. La disposition décrite permet de marcher avec un seul distributeur, la roue mobile de l'autre tournant dans le vide, après avoir mis à sec la chambre d'eau en fermant sa vanne d'entrée. Ce dispositif, appliqué à une turbine appelée à travailler à des débits très variables, de 0 à 15 m³ : s. permet de travailler avec un rendement très satisfaisant à partir du débit de 3 m³ : s. La roue mobile du côté du barrage est calée en porte à faux, tandis que du côté de la station, l'arbre moteur traverse le coude d'évacuation. Afin d'équilibrer les poussées axiales des deux roues mobiles, les chambres entre les couvercles, presse-étoupe et les roues mobiles sont reliées par un tuyau d'équilibre.

La poussée axiale en cas de marche d'une seule roue, est sup-

Son rendement, aux différentes charges et pour $\cos \varphi = 1$ et 0,8 est le suivant :

Charges :	1/1	3/4	1/2
Rendement en % pour $\cos \varphi = 1 \dots$	93,1	92,4	91 %
Rendement en % pour $\cos \varphi = 0,8 \dots$	90,8	90,6	88,5%

L'alternateur est à deux paliers indépendants, à graissage automatique par bagues, montés sur un socle commun en fonte.

La carcasse, en fonte, est en deux pièces et porte des ouvertures de ventilation à la périphérie. L'armature de l'induit est formée par un assemblage de tôles au silicium de haute perméabilité magnétique et de faible coefficient d'hystérésis. Les encoches sont ouvertes et les bobines sont maintenues en place par des cales en bois.

Le rotor est formé par un tambour en acier claveté sur l'arbre, les noyaux polaires sont rapportés et fixés sur ce tambour au moyen de vis. Le rotor porte sur chacune de ses faces latérales une série d'ailettes de ventilation ; l'air aspiré par ces ailettes est guidé par les couvre-enroulements et refroidit les têtes de bobines de la machine ; l'air aspiré par les pôles saillants jouant le rôle de ventilateur, traverse le paquet de tôles et le refroidit en passant par les événements de ventilation ménagés à cet effet ; tout

FIG. 8. — Groupe électrogène de l'usine de hautes-eaux.

portée par le palier de butée se trouvant dans l'ouverture du mur de la station.

Le palier graisseur à longue portée et graissage par bagues mobiles, disposé entre les deux roues mobiles, est logé dans une caisse murale facilement accessible depuis l'extérieur.

Les distributeurs, avec réglage intérieur, sont manœuvrés par le régulateur, au moyen d'une timonerie simple et robuste. Les supports de réglage dans les chambres d'eau sont garnis d'anti-friction. Le régulateur de vitesse est du même type que ceux des turbines de la station centrale de Liebvillers, mais sans le dispositif électrique de mise en parallèle. La variation de la vitesse se fait à l'aide d'un dispositif à main. Le P D², de 22.000 kgm², est logé dans le rotor de l'alternateur. Le temps de fermeture du régulateur est de 3 s. environ.

Cette turbine double est logée dans deux chambres d'eau ouvertes. Un mur sépare ces chambres du local de l'alternateur. L'arbre horizontal traverse ce mur au moyen d'un presse-étoupe et attaque directement par accouplement rigide, à plateau venu de forge, l'alternateur à axe horizontal.

Alternateur. — Cet alternateur, à courant triphasé, fonctionne sous 5.350 V., à 50 p. : s. Sa puissance disponible en marche continue est de 1.400 kVA, soit 1.120 kW pour $\cos \varphi = 0,8$.

l'air est évacué par les ouvertures situées à la périphérie de la carcasse.

L'excitatrice est montée en bout d'arbre du côté opposé à l'accouplement. Un transformateur élévateur, dans l'huile à refroidissement naturel, de 1.500 kVA, au rapport 5.000/15.000 ± 5 % V., ainsi que l'appareillage correspondant complètent cette station des hautes-eaux.

En dehors des avantages énumérés ci-dessus, cette station permet, aux heures creuses ou à l'occasion d'un dimanche ou d'un pont, d'arrêter complètement la centrale de Liebvillers pour réparation ou nettoyage dans les connexions ou les rails. Elle permettrait, en outre, de réparer, si le besoin s'en faisait sentir, le souterrain, sans être privé pour cela de la puissance entière de l'installation.

Souterrain. — La liaison entre la retenue d'eau et la station centrale de Liebvillers se fait au moyen :

- 1° D'un souterrain de 6 km. de longueur ;
- 2° D'une cheminée d'équilibre ;
- 3° De quatre conduites forcées alimentant chacune un groupe turbine-alternateur.

Afin d'utiliser intégralement la tranche d'eau accumulée en

amont du barrage et d'éviter d'autre part, un réglage de débit à la prise, avec les pertes d'eau que cela entraîne, le souterrain réunissant la prise d'eau à la cheminée d'équilibre fonctionne en charge.

Cette charge est de 3,5 m. à la voûte du souterrain, à l'entrée, quand le niveau de marche est la cote 396.

Le tracé en plan de ce souterrain (voir fig. 1) est une ligne brisée, raccordée bien entendu par des courbes à rayons relativement importants. Cette ligne suit les sinuosités du cours d'eau en coupant toutefois les becs rocheux trop accentués qui peuvent se présenter.

Ce souterrain a été attaqué, en dehors des deux extrémités, par huit fenêtres réparties sur l'ensemble du parcours. Il a une section de 17,10 m² et sa forme est indiquée par le profil de la fig. 9.

Il a été creusé, pendant les cent premiers mètres, dans un cône de déjection où on rencontre des roches isolées, des marnes oxfordiennes et des tufs descendus avec les eaux des étages supé-

FIG. 9. — Coupe en travers du souterrain réunissant la prise d'eau de Grosbois à la station centrale de Liebvillers.

rieurs. Il entre ensuite dans les différentes couches du Bajocien, assez tourmenté et fendillé, jusqu'au moment où il rencontre un dos d'âne de marnes du Lias de 300 m. de longueur.

A partir de ce moment, c'est-à-dire au deuxième kilomètre, et sauf à la sortie, où on retrouve les couches du Bajocien se redressant sensiblement, le souterrain court pendant 4 km. dans le Bathonien inférieur, sensiblement horizontal et absolument en place. Ce souterrain a été entièrement revêtu de béton de ciment portland. Un enduit intérieur, à trois couches, fait au canon à ciment, en assure l'étanchéité et des injections, généralisées sur toute la longueur du souterrain, remplissent les vides et crevasses que le retrait du béton aurait pu créer entre le revêtement et la roche.

La pente du souterrain est de 1 m. : km. pendant les cinq premiers kilomètres et de 3,50 m. pendant le dernier. Ce changement de pente n'a pas d'autre raison que de permettre aux conduites forcées de passer à la sortie du souterrain sous les arches du pont de la ligne de chemin de fer de Montbéliard, à St-Hippolyte. Le souterrain est relié aux quatre conduites forcées par une quadruple culotte, en tête de laquelle se trouve une cheminée d'équilibre.

Cheminée d'équilibre. — Celle-ci est du type à expansion sans déversement.

Elle est composée d'un puits vertical de 5 m. de diamètre, creusé dans le rocher. Entre la galerie d'amenée et le niveau dynamique inférieur, on a creusé une galerie horizontale, dite de démarrage, destinée à éviter des rentrées d'air dans les conduites forcées à l'occasion du démarrage d'un groupe, l'eau n'ayant pas encore pris dans le souterrain une vitesse suffisante. Cette galerie a la section du souterrain lui-même, c'est-à-dire un peu plus de 17 m² et une longueur de 80 m.

Légèrement au-dessus du niveau statique, deux autres galeries, de même section et de 110 m. de longueur chacune, servent de galerie d'expansion du coup de bélier, celui-ci étant limité à 8 m.

Conduites forcées et leurs vannes de têtes. — Comme nous l'avons dit plus haut, de la cheminée d'équilibre partent quatre conduites forcées, divisées en deux groupes de deux qui, après avoir franchi le chemin de fer et la route sous des ponts voûtés, alimentent chacune un groupe turbine-alternateur.

En tête de chacune des conduites se trouve une vanne commandée par un cric placé au-dessus du niveau statique.

Ces vannes, en raison des conditions plutôt difficiles dans lesquelles elles travaillent, méritent une description spéciale.

La fourniture comprenait : les vannes avec leurs cadres et leurs trains de galets, les guidages, les crics à commande électrique et leurs sommiers. Ces vannes servant, avant tout, de protection pour les conduites forcées, devaient pouvoir être fermées d'une façon certaine, ce qui ne pouvait être obtenu que par des crics, car il n'était pas possible de faire les vannes suffisamment lourdes pour que leur propre poids les fasse descendre sous la charge d'eau de 21 m.

Les vannes et les organes assurant leur étanchéité restant sous l'eau, il convenait de simplifier ces derniers organes ; c'est pour cette raison que l'on a adopté le type de vannes représenté par le schéma de la fig. 10. C'est essentiellement une vanne-wagon pouvant se déplacer sur son train de galets ; celui-ci, arrivé en fin de course, s'efface le long des plans inclinés, de sorte que la vanne peut être poussée par l'eau et s'appliquer comme une vanne plate sur des glissières plates.

L'effort à la montée est sensiblement constant, car le cric soulève d'abord le train de galets, repousse ensuite la vanne (ce qui a rendu nécessaire le second train de petits galets g) et soulève ensuite le tout, en le faisant rouler sur les grands galets G. Or, à ce moment, la plus grande partie du frottement se fait par roulement, seuls les axes des galets glissant dans leurs portées. Il n'a toutefois pas été fait usage de cette particularité en vue de l'ouverture rapide de cette vanne. Cette ouverture aurait pu, en effet, être dangereuse pour les conduites. Pour cette opération, peu fréquente en elle-même, l'on dispose du temps voulu. Le levage de la vanne se fait donc à bras et de la façon suivante. Sur la vanne proprement dite, se trouve une petite vanne à jalousies, accrochée directement aux tiges des crics. Cette vanne est d'abord ouverte et sert à remplir la conduite. La démultiplication des crics a été choisie telle que l'ouvrier qui les manœuvre ne puisse parvenir à vaincre la résistance du poids de la vanne augmentée par les frottements produits par une différence de pression de part et d'autre de la vanne ; il est donc obligé d'attendre que cette différence de pression ait disparu. Les crics de ces vannes sont du même genre que ceux décrits plus haut, qui actionnent les vannes Stoney et de passe à gravier du barrage.

La fermeture de la vanne se fait toujours électriquement, soit depuis l'usine, soit automatiquement par un dispositif

intercalé dans les conduites. Ce dispositif se compose d'un plateau qui, lors d'une rupture de la conduite, c'est-à-dire d'une vitesse d'eau anormale, reçoit une pression suffisamment forte pour fermer un interrupteur. Les fils reliant les crics, soit au tableau, soit à ces appareils automatiques, constituent un câble armé à plusieurs conducteurs, qui est, de ce fait, protégé contre l'action de l'eau.

Pour éviter que les conduites forcées soient soumises à l'effet

Les quatre conduites forcées, de 2 m. de diamètre et de 100 m. de longueur, ont été construites par les Etablissements Joya, de Grenoble.

A leur extrémité supérieure, elles sont en forme d'entonnoir se raccordant dans le massif d'ancrage supérieur à la forme carrée des vannes de lêtes.

A leur extrémité inférieure, elles se rétrécissent et se raccordent au robinet vanne des turbines, au diamètre de 1,50 m.

2022 EM

Fig. 10. — Schéma du fonctionnement des vannes de têtes des conduites forcées.

du vide en cas de fermeture intempestive des vannes de tête, les turbines étant en marche, un évent, placé immédiatement derrière les vannes, vient déboucher dans la chambre des crics, au-dessus du niveau statique de l'installation. Comme précaution supplémentaire, les conduites sont construites pour résister au vide, au moyen de cornières raidisseuses empêchant leur aplatissement.

Ces conduites, solidement ancrées aux deux extrémités seulement dans de puissants massifs d'ancrage, reposent à frottement libre sur des massifs intermédiaires munis de berceaux métalliques. Leur forme en S permet le jeu des dilatations, sans faire travailler de façon exagérée les massifs d'ancrage.

(A suivre.)

(Extrait de la *Revue d'Electricité et de Mécanique*, septembre-octobre 1928).