

Si l'on rapproche ce chiffre de celui du capital engagé 200 à 250 000 frs environ, on voit que la fabrication électrochimique des sels de cuivre est destinée à devenir entre des mains habiles une opération très avantageuse.

La simplicité de ce mode de fabrication des sels de cuivre est un avantage essentiel d'où découlent un grand nombre d'autres motifs de supériorité sur les procédés purement chimiques. On n'obtient aucun sous-produit ; une seule et même matière première facile à transporter et à conserver permet de fabriquer tous les sels de cuivre au fur et à mesure des besoins. Enfin, les solutions concentrées obtenues donnent directement et sans concentration des produits cristallisés et exempts de fer, celui-ci ayant été éliminé soit lors de l'affinage, soit ultérieurement.

Em. CAMPAGNE,  
Ingénieur-chimiste.

## USINE HYDRO-ÉLECTRIQUE DU BOURNILLON

Depuis quelques années tout le département de l'Isère se couvre, avec une surprenante rapidité, d'un vaste réseau de distribution d'énergie à très haute tension dont le centre d'utilisation semble devoir être dans la vallée du Rhône, entre Lyon et Valence. Chaque jour ce réseau s'étend davantage. Il arrive déjà à la porte de Lyon et dans un an au plus les forces motrices du Drac et de la Romanche viendront s'unir à celles du Rhône qui, par le canal de Jonage, rendent déjà de si grands services à la cité Lyonnaise. Depuis quelques semaines Annonay reçoit l'énergie hydro-électrique de l'usine d'Avignonnet, et avant quelques mois probablement le mont Pilat verra à ses pieds la puissance hydraulique des Alpes faire concurrence au charbon de la Loire. C'est, dans le Sud-Est, la substitution rapide de la houille blanche à la houille noire et sans doute bientôt nous les verrons entrer en collaboration dans les parties du réseau de distribution d'énergie qui sont sur la frontière des bassins houillers du centre.

Deux usines seulement, à l'heure actuelle, alimentent ce vaste réseau en apparence unique : l'usine d'Avignonnet sur le Drac, bien connue de nos lecteurs, et celle du Bournillon sur la Bourne. Ces deux usines, qui peuvent en outre recevoir du renfort de l'usine que la Société Electrochimique de la Romanche a construite à Livet pour alimenter Grenoble, ne marchent pas en parallèle mais fournissent chacune le courant à des réseaux qui leur sont propres. Elles peuvent d'ailleurs se suppléer partiellement en cas de besoin. Ainsi, au cours de l'hiver passé, Vienne et Beaurepaire ont été alimentés tour à tour par ces trois usines.

C'est sur l'initiative d'un groupe d'industriels de Vienne ayant à leur tête MM. Bouvier et Laurent, et avec eux comme ingénieur, M. C. Simon, que l'usine du Bournillon a été créée pour fournir l'éclairage et la force motrice à la ville de Vienne principalement. Lorsqu'un peu avant 1900 ces industriels, soucieux de trouver pour leurs usines une force motrice économique et dont ils pourraient également faire bénéficier leurs concitoyens, songèrent à suivre le mouvement qui dans nos Alpes mit en œuvre la houille blanche, leur attention se porta sur la Bourne.

Cette rivière, qui prend sa source près du village de Lans, à plus de 1 000 mètres d'altitude et se jette dans l'Isère un peu au-dessous de Saint-Marcellin, ne possède encore en fait de grandes usines hydro-électriques que celle du Bournillon que nous allons décrire. Pour l'homme d'industrie qui a visité la vallée de la Bourne, encaissée entre des murailles de rochers abruptes et inaccessible aux transports industriels, éloignée des grands centres d'habitation, il est manifeste que seules les usines de distribu-

tion d'énergie à grandes distances peuvent utiliser pratiquement le cours de cette rivière sauvage. Mais aussi ces usines pourront mettre en œuvre l'un des plus riches filons de nos mines blanches.

### I. — PARTIE HYDRAULIQUE

**Les chutes de la Bourne.** — Le bassin de la Bourne a une superficie de 27 000 hectares. Presque entièrement boisé il ne possède aucun glacier, mais le travail séculaire des eaux a creusé dans les roches calcaires d'énormes cavernes où se forment des rivières et des lacs souterrains constituant ainsi une importante réserve d'eau. Des sources jamais tarries, comme celle de la Goule Noire et d'Arbois, sortent des rochers avec un débit considérable émettant une eau toujours limpide et de température constante. C'est là surtout un avantage des plus importants car même pendant les plus grands froids la Bourne ne se glace jamais.

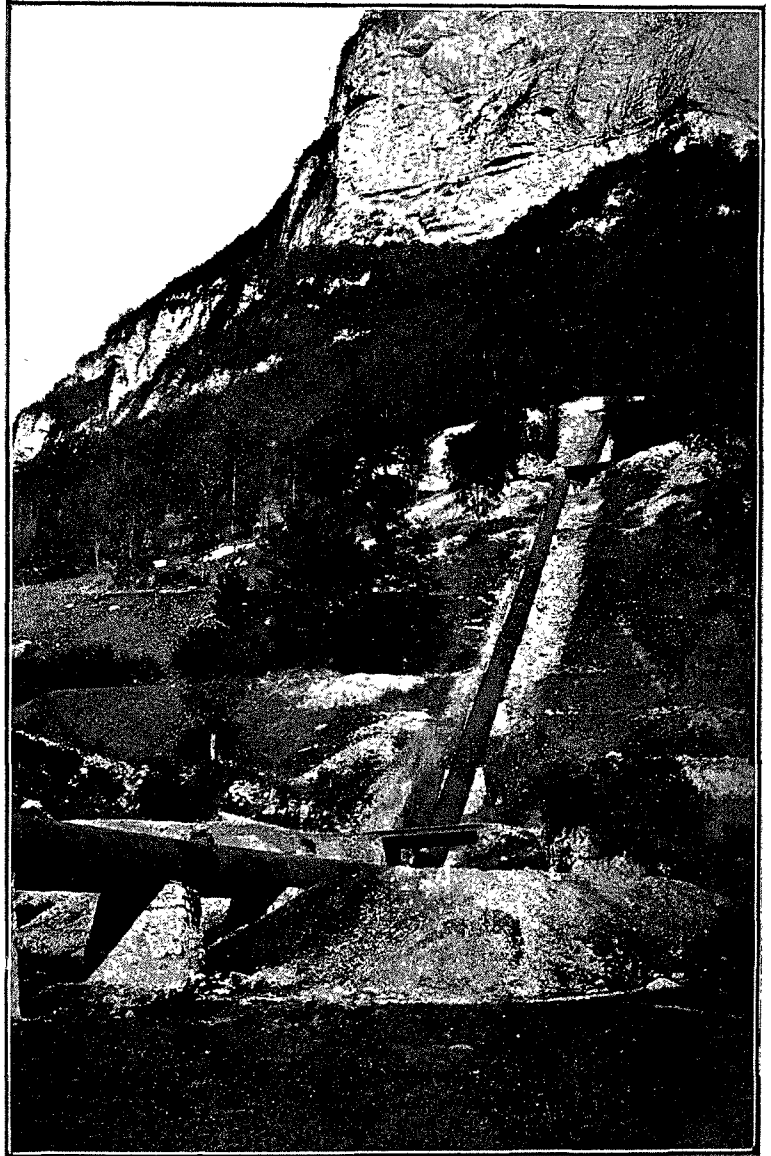


FIG. 1. — VUE DE LA CONDUITE FORCÉE

Sur un parcours de 14 kilomètres, des Jarrands à Chorange, petit village à 5 kilomètres en amont de Pont-en-Royans, la Bourne descend de 800 mètres. Sur ce court trajet plusieurs affluents viennent fournir au torrent les deux tiers de son débit moyen.

Pour utiliser la presque totalité de la différence de niveau en même temps que la majeure partie du débit du cours d'eau et de ses affluents il faudrait aménager quatre chutes,

savoir : 1° des Jarrands à la Goule Noire ; 2° de la Balme au Bournillon ; 3° d'Arbois au Bournillon ; 4° du Bournillon à Choranche.

La chute d'Arbois au Bournillon est la seule qui soit utilisée pour le moment par l'usine dite du Bournillon et ainsi appelée du nom du petit torrent qui se jette dans la Bourne devant l'usine même. La hauteur de chute est de 105 mètres environ et le débit moyen de 2 500 litres, ce qui correspond à une puissance moyenne de 2 500 chevaux. Les bâtiments de l'usine, par contre, ont été construits en prévision de l'aménagement de la seconde chute, celle de la Balme au Bournillon. Celle-ci, avec ses 300 mètres de chute et un débit moyen de 850 litres, pourrait donner 2 500 chevaux. Mais alors, le débit de la première chute étant réduit d'autant et limité à celui des sources d'Arbois, la puissance de cette chute ne serait plus que de 1 500 chx. L'aménagement de la chute de la Balme au Bournillon serait très avantageux parce qu'il permettrait à peu de frais, avec un barrage de faible importance, la création d'un vaste réservoir de plusieurs millions de mètres cubes. Ce réservoir contribuerait beaucoup à augmenter la puissance instantanée de l'usine en lui permettant de passer plus facilement les pointes et les époques de sécheresse. Cette puissance disponible avec les deux chutes aménagées et le réservoir serait d'environ 6 000 chevaux en moyenne. Pour régulariser le régime de la rivière que pourrait troubler l'emploi d'un réservoir on a prévu l'aménagement d'un autre réservoir à la sortie de l'usine. Enfin les deux autres chutes, celle des Jarrands à la Goule Noire et celle du Bournillon à Choranche, pourront donner ensemble au moins 2 000 chevaux. C'est donc 8 000 chevaux environ qu'il est pratiquement possible d'aménager en cette région.

Dans un avenir prochain toute cette énergie trouvera facilement son emploi dans un transport électrique à grande distance.

**Barrage de prise d'eau.** — Entièrement en maçonnerie, il est établi sur la rivière, immédiatement après les sources d'Arbois et dans un endroit pittoresque et resserré que domine à pic la grande route de Pont-en-Royans au Villard de Lans. Ainsi que tous les ouvrages de ce genre il comporte comme accessoires : la vanne de chasse pour l'évacuation des sables et des graviers ; la grille empêchant l'entrée des feuilles et des corps flottants dans le canal d'amenee ; enfin la vanne commandant l'entrée de ce canal et permettant de le mettre à sec en cas de réparations.

**Canal d'amenee et Chambre de mise en charge.** — Les gorges de la Bourne, très resserrées et dont les flancs sont presque à pic, ne se prêtaient pas à l'établissement d'un canal à ciel ouvert ou de conduites en ciment armé. On dut creuser dans le rocher un tunnel d'une longueur totale de 1 800 mètres. Sa section est de 1<sup>m</sup>80 × 2,00. Elle a été imposée surtout par l'espace nécessaire au travail des ouvriers pendant le forage.

La chambre de décantation a dû être également creusée dans le rocher sur le parcours du tunnel et c'est à cet endroit que fut ménagé l'emplacement du déversoir, car la disposition des lieux rendait impossible son emplacement vers la chambre de mise en charge trop éloignée de la rivière. Les eaux en excédent ou provenant des chasses s'échappent par un tunnel de fuite pour retomber dans la Bourne en une magnifique cascade de plus de 50 mètres de hauteur.

La chambre de mise en charge dominant l'usine est placée au pied de rochers qui se dressent en une muraille gigantesque ; elle possède des murs suffisamment élevés pour qu'en cas d'arrêt des turbines le plan d'eau puisse s'y élever de 1<sup>m</sup>50 environ. Cette précaution était nécessitée par la position du déversoir assez éloigné de cette chambre. Celle-ci est divisée en deux parties séparées par une grille.

C'est de la seconde partie entièrement couverte que part la conduite forcée.

**Conduite forcée.** — La conduite forcée a été construite pour débiter 3 000 litres à la seconde et réaliser la hauteur de chute de 105 mètres. Sa longueur totale est d'environ 350 mètres.

Pour le calcul du diamètre on a admis que la perte de charge totale due au frottement ne dépasserait pas 2,5 pour 100 de la chute brute.

Etant donné qu'on avait imposé des coudes arrondis d'un diamètre moyen au moins égal à celui de la conduite, on a pu ne pas tenir compte des pertes de charge créées par ces coudes, qui en effet dans ces conditions n'augmentent pas d'une manière appréciable la perte de charge totale. Sur toute sa longueur la conduite a un diamètre uniforme.

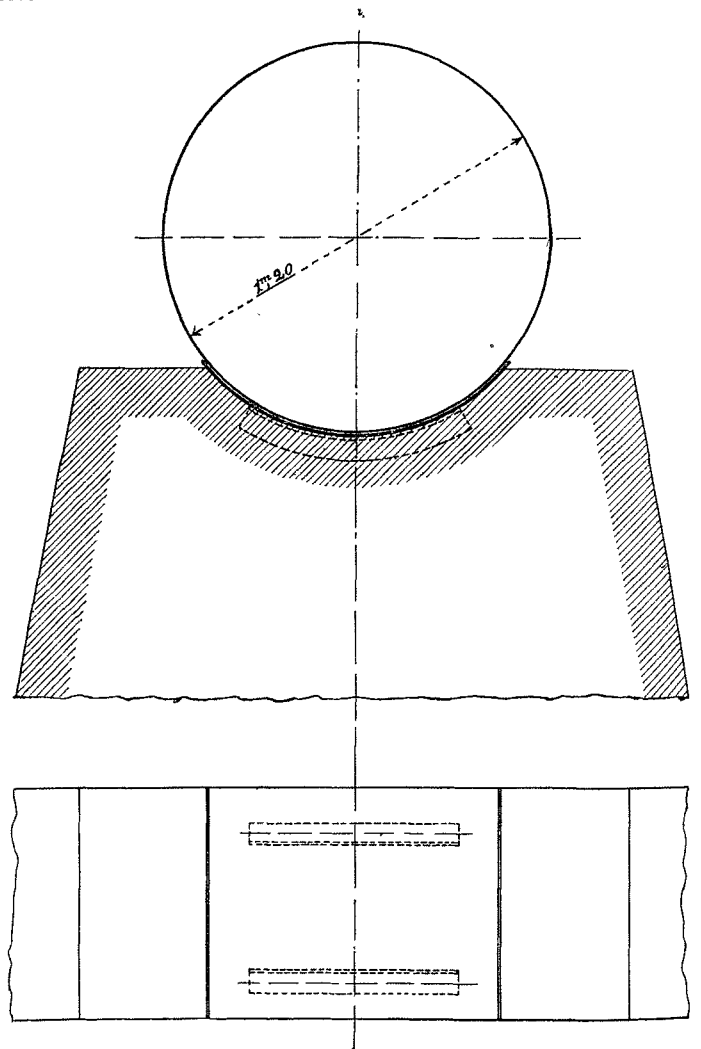


FIG. 2. — PLAN ET COUPE VERTICALE D'UN PILIER SUPPORTANT LA CONDUITE FORCÉE

Les tubulures de prise d'eau pour les turbines sur le collecteur sont coniques et leur forme a été étudiée de façon à ne créer qu'une perte de charge si faible qu'elle puisse être également négligée dans l'évaluation de la perte de charge totale.

De récentes expériences ont d'ailleurs montré que les formules usuelles par lesquelles on calcule les pertes de charge dues au frottement, donnent des résultats un peu supérieurs à la réalité. Aussi, lorsqu'on prend de semblables précautions pour l'établissement des coudes et des changements de sections, on peut être assuré que le calcul donne une marge supérieure à celle indiquée par les expériences qu'on peut faire sur cette même conduite quelques années après son installation, c'est-à-dire quand elle est chargée de dépôts.

La chute brute étant de 105 mètres, la perte de charge totale due au frottement ne devait donc pas dépasser 2<sup>m</sup>60, soit environ 8 mms par mètre, ce qui a conduit à prendre le diamètre de 1<sup>m</sup>20 et à admettre une vitesse de la veine liquide égale à 2<sup>m</sup>67.

La conduite a été construite en tôles d'acier Martin-Siemens provenant du bassin de la Loire, dénommées « Tôles

l'accroissement de travail occasionné par cette surpression limite.

Ces calculs ont conduit à établir la partie amont de la canalisation en quatre tronçons de 49 mètres de longueur chacun qui sont: le premier formé de tôles de 5 mms d'épaisseur, le second de tôles de 6 mms, le troisième de 7 mms, et le quatrième de 8 mms; la partie aval qui aboutit au col-

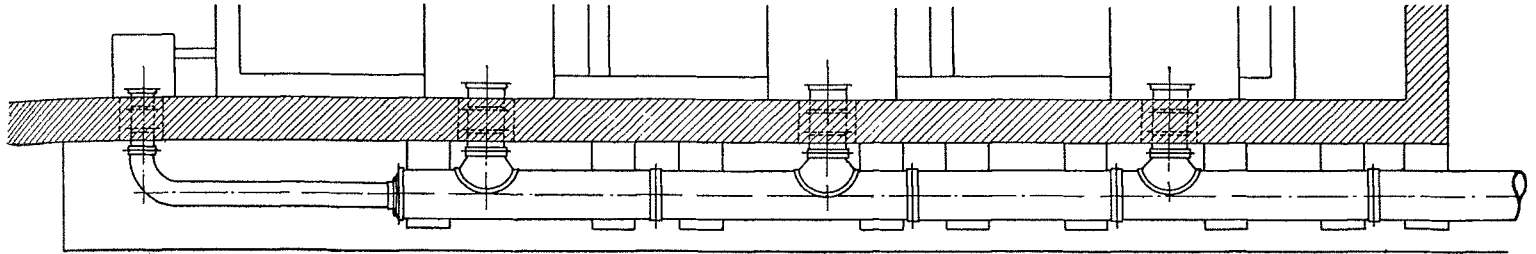


FIG. 3. — PLAN DU COLLECTEUR MONTRANT LES RACCORDS DES TUBULURES D'ALIMENTATION DES TURBINES

construction 1<sup>re</sup> qualité acier extra doux », donnant aux essais une résistance à la rupture :  $R = 38$  kilos, et un allongement  $A = 26 \%$ , avec une tolérance de 2 kilos en moins compensée par 2 % en plus à l'allongement, la somme  $R + A$  restant égale à 64. Après laminage ces tôles ont subi un recuit parfait en vase clos.

Le calcul des épaisseurs a été fait en se donnant comme condition que la fibre la plus fatiguée ne devait pas travailler à un coefficient supérieur à la moitié de la limite d'élasticité de la tôle; on a tenu compte non seulement de la pression statique de l'eau mais encore du travail de flexion, car la conduite est posée sur des piliers espacés de

lecteur, a été, sur une longueur de 178 mètres, formée de tôles de 9 mms. Le collecteur étant une pièce plus délicate a été construit avec 10 mms d'épaisseur.

La canalisation a été expédiée de l'usine en tronçons de 6<sup>m</sup>50 de longueur environ, obtenus à l'aide de grandes et de petites viroles rivées longitudinalement par des doubles clouures et transversalement par une simple rangée de rivets. Les bords des tôles ont été extérieurement chanfreinés et matés, les rivets passés à chaud et à la machine. Les deux extrémités de chacun des tronçons étaient percées d'une rangée de trous permettant l'assemblage des tronçons entre eux par un rivetage fait sur place à chaud

et à la main. Les extrémités des tôles étaient chanfreinées d'avance pour permettre sur place le matage qui doit assurer l'étanchéité des jonctions.

Etablie de cette façon, la conduite est de construction homogène sur toute sa longueur. Elle possède de distance en distance des trous d'homme permettant de pénétrer à l'intérieur pour les visites.

Le jonctionnement des tronçons du collecteur a été obtenu à l'aide de brides, de joints spéciaux et de boulons, ceci pour permettre un démontage facile en cas de réparation de ce collecteur.

Pour assurer à la canalisation une parfaite stabilité sous l'effet des variations de température, celle-ci a été établie de la façon suivante :

Aux points fixes, c'est-à-dire à la chambre d'eau et au collecteur, la conduite est

munie d'ancrages spéciaux qui ont été calculés pour résister aux variations de température et cela sans l'aide de joints glissants, lesquels permettent dans certains cas aux conduites de se dilater librement et sans reporter leur effort de contraction sur les murs de la chambre d'eau. Ces sortes de joints ayant produit des accidents dans quelques installations, on a préféré les supprimer complètement et calculer les maçonneries pour résister aux efforts de traction dus à la dilatation. Le travail du métal sous l'effet des variations de température a été prévu pour ne pas dépasser 5 kilos par m<sup>2</sup> de section, ce qui donne donc toute sécurité.

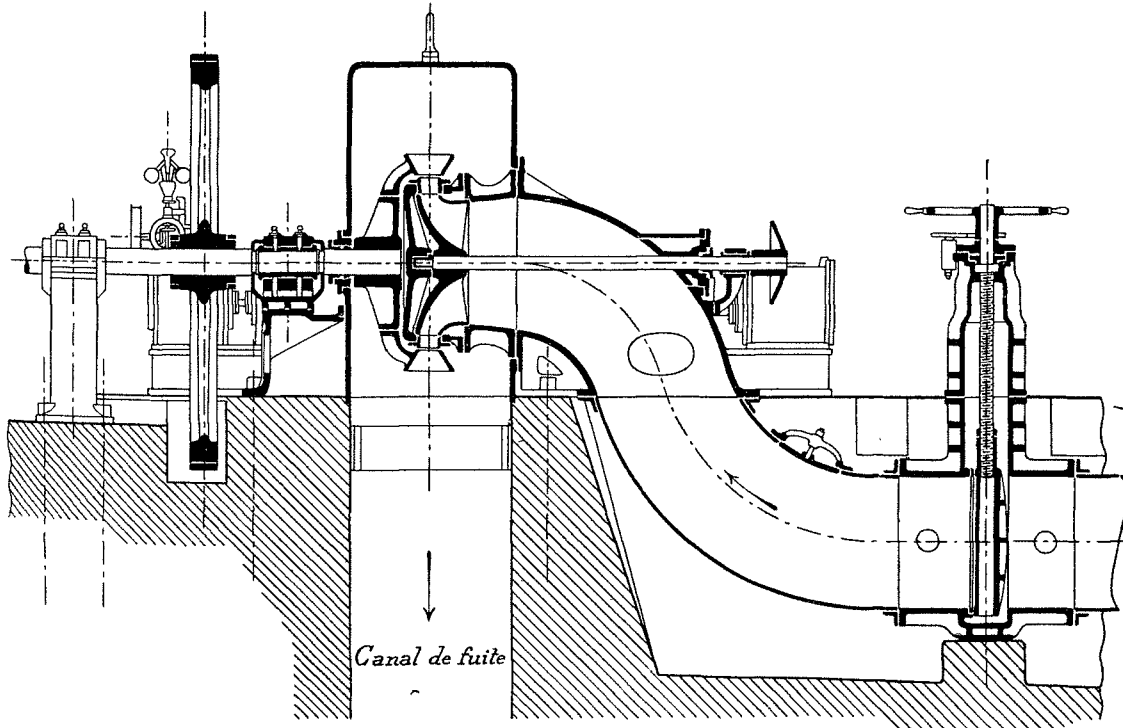


FIG. 4. — COUPE VERTICALE DE L'UNE DES TURBINES DE 1250 HP

6<sup>m</sup>50 environ. De plus, on a vérifié que les épaisseurs obtenues par ce mode de calcul étaient suffisantes pour résister à la flexion dans le sens transversal sous des efforts provenant du poids propre du tuyau et du poids de l'eau, ce travail étant maximum au remplissage, c'est-à-dire avant que la pression intérieure n'agisse.

Les moteurs placés aux extrémités de la conduite sont munis de limiteurs de pression qui empêchent les surpressions de dépasser 10 % de la pression totale supportée par la canalisation; on a néanmoins donné des surépaisseurs à ses parois pour lui permettre de résister sans fatigue à

Les amarrages et massifs de butée qui sont établis aux points fixes ont été déterminés en tenant compte, non seulement des efforts de tension et de compression provenant d'une différence de température de 50°, mais aussi comme devant résister au poids propre des canalisations et de l'eau qu'elles contiennent, et en considérant que ces canalisations reposent sur le sol ou sur des supports, puis en faisant intervenir dans le calcul l'angle de pente de la conduite.

Le sol a été préparé pour la pose de cette conduite, de manière à réduire dans toute la mesure du possible le nombre et l'importance des angles.

Cette assise préparée, on a fait reposer les tuyaux sur le sol par l'intermédiaire de trois sortes de piliers: piliers d'assise, piliers support, piliers d'ancrage. — Les piliers d'assise sont ceux qui, dans les passages où la canalisation est très rapprochée du sol, ont pour but de l'en tenir à 20 centimètres et permettre son entretien facile, en particulier de la recouvrir tous les cinq ans environ d'une nouvelle couche de peinture. — Les piliers supports font passer la canalisation à une certaine hauteur au-dessus du sol; cette hauteur pouvant aller jusqu'à 5 mètres les parements ont un fruit de 20 cms par mètre pour leur assurer une bonne stabilité (fig. 2).

La tuyauterie repose sur les uns et les autres de ces piliers par l'intermédiaire de plaques de sûreté en tôle d'acier de 5 mms d'épaisseur rivées sur deux cornières qui s'encastrent dans le massif comme l'indique la figure 2. Entre les tuyaux et la plaque de sûreté on a interposé un corps gras (de la mine de plomb), de telle sorte qu'un glissement puisse se produire sous l'effet de la dilatation, sans que le massif ou le support soit ébranlé.

Les piliers d'ancrage sont ceux qui amarrent les conduites aux points fixes; ils ont été calculés pour chacun des ancrages et liés aux tuyaux d'une façon parfaite par l'intermédiaire d'un appareillage spécial.

Cette canalisation a été calculée, construite et mise en place par MM. BOUCHAYER ET VIALLET, les constructeurs de Grenoble, bien connus dans l'industrie des forces hydrauliques par les nombreux travaux de ce genre — et dont quelques-uns très remarquables — qu'ils ont déjà exécutés tant en France qu'à l'étranger.

**Bâtiment de l'Usine.** — Ce grand bâtiment, dont la photographie de la figure 10 montre l'aspect général, constitue, avec l'habitation du personnel, les seules constructions de cet endroit désert, au confluent du Bournillon, à 9 kilomètres environ en amont de Pont-en-Royans. On y accède en venant de ce village par un mauvais chemin dont les fortes rampes et les descentes rapides et dangereuses créèrent pour le transport du matériel de très grandes difficultés. Une vaste salle des machines, de 63 mètres de long sur 16 mètres de large, a été prévue pour recevoir six groupes électrogènes de 1 250 HP chacun. Trois seulement sont installés et fonctionnent en ce moment, les trois autres seront placés lors de l'aménagement de la chute projetée de la Balme au Bournillon.

**Turbines.** — Construites par les habiles ingénieurs A. et II. BOUVIER, de Grenoble, elles sont du type centrifuge à libre déviation. La distribution se fait symétriquement par deux distributeurs en bronze; on évite ainsi toute réaction sur l'arbre. Pour permettre la marche à libre déviation tout en utilisant la presque totalité (80 %) de la hauteur de chute existant entre la sortie de la turbine et le canal de fuite, on a eu recours à l'hydropneumatisme en disposant un appareil chargé d'introduire une certaine quantité d'air dans le tube de succion. La figure précédente, qui en montre une coupe verticale, permet de se rendre compte de leur dispositif.

Ces machines possèdent un régulateur central (des mêmes constructeurs) commandé par un moteur synchrone de 50 HP et agissant par l'intermédiaire de servo-moteurs hydrauliques sur les vannages des trois turbines à la fois. Ce régulateur, qui est parmi les plus parfaits des nouveaux appareils de ce genre et dont on peut voir une autre très importante application à l'usine de Livet sur la Romanche, a déjà été décrit en détail dans cette Revue (1). Rappelons sommairement que son principe est le suivant: une pompe à débit pratiquement constant refoule un liquide (huile ou glycérine) dans la conduite alimentaire des servo-moteurs de vannage; une soupape interposée entre la pompe et l'origine de cette conduite laisse fuir du liquide par son

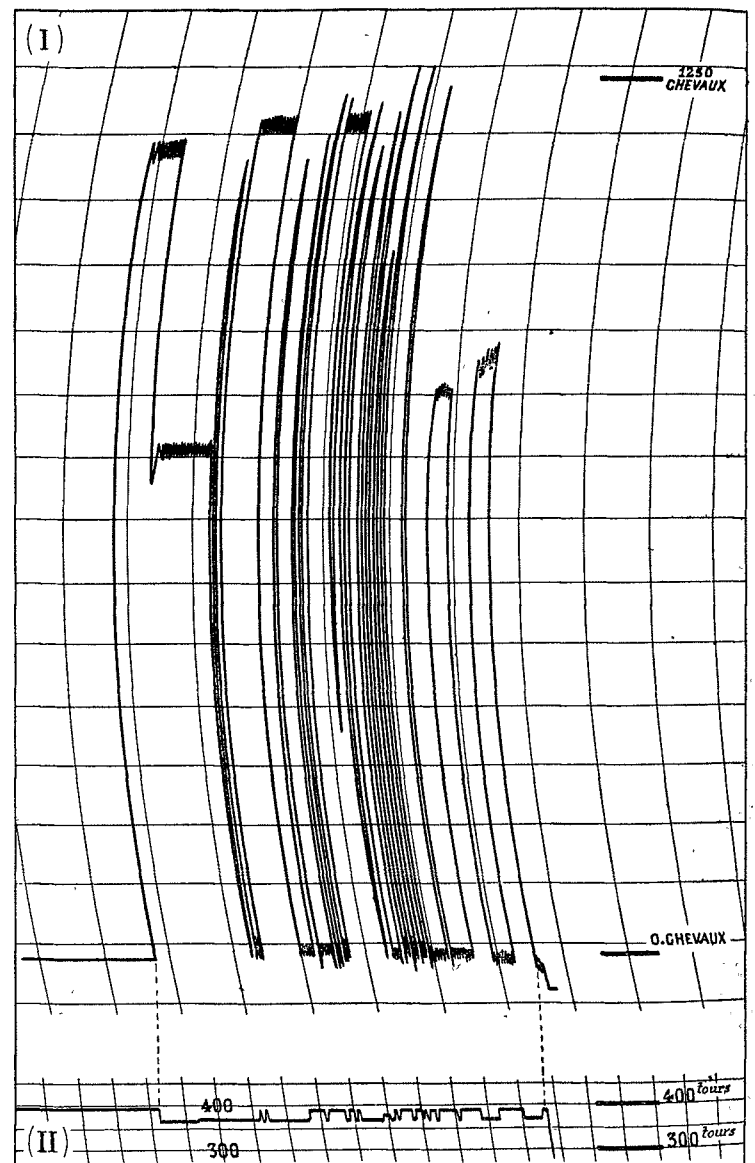


FIG. 5. — DIAGRAMME DE RÉGULATION RELEVÉ PENDANT LES ESSAIS

orifice dont la section est dépendante d'un tachymètre à force centrifuge. Pour chaque position de la soupape il s'établit dès lors une pression déterminée dans la conduite: lorsque la vitesse du tachymètre va en augmentant, la section de l'orifice diminue progressivement et la pression augmente d'une façon continue; lorsque la vitesse cesse de croître, la douille du tachymètre cesse de monter et la pression au refoulement de la pompe cesse de croître et conserve une valeur déterminée qui correspond à la position de la soupape. Par des tubulures convenablement disposées, cette pression se transmet aux servo-moteurs de

(1) Voir *La Houille Blanche*, n° de juin 1903. Régulateur de vitesse A. et H. BOUVIER, par J. Debauge.

vannage des turbines, essentiellement formés de cylindres où se meut un piston recevant sur une face la pression du liquide et sur l'autre le contre-effort d'un ressort antagoniste. De ce mécanisme il résulte qu'à chaque position du tachymètre correspond une position bien déterminée des pistons des servo-moteurs.

Un seul tachymètre et une seule pompe peuvent donc commander simultanément autant de vannages différents qu'on le désire et, en somme, tout se passe comme si chacun de ces vannages était manœuvré directement par la douille du tachymètre pendulaire.

Ce système s'applique donc particulièrement à la régulation simultanée de moteurs hydrauliques actionnant des alternateurs mis en parallèle. Il évite d'une façon complète

riences ont été ensuite renouvelées en coupant le courant ou en mettant brusquement la charge au moyen de l'interrupteur de ligne. Malgré les variations totales instantanées et répétées qui furent ainsi réalisées, les variations de vitesse n'ont en aucun cas dépassé 5 %, et dans cet intervalle elles ont été approximativement proportionnelles aux variations de puissance. Le graphique de la figure 5 traduit ces résultats.

Pour éviter les coups de bélier qui pourraient être très dangereux pour la conduite forcée, car en passant de la marche à pleine charge à la marche à vide le vannage se ferme presque complètement en quelques secondes, MM. Bouvier ont installé un régulateur de pression essentiellement composé d'une soupape qui s'ouvre brusquement lorsque la

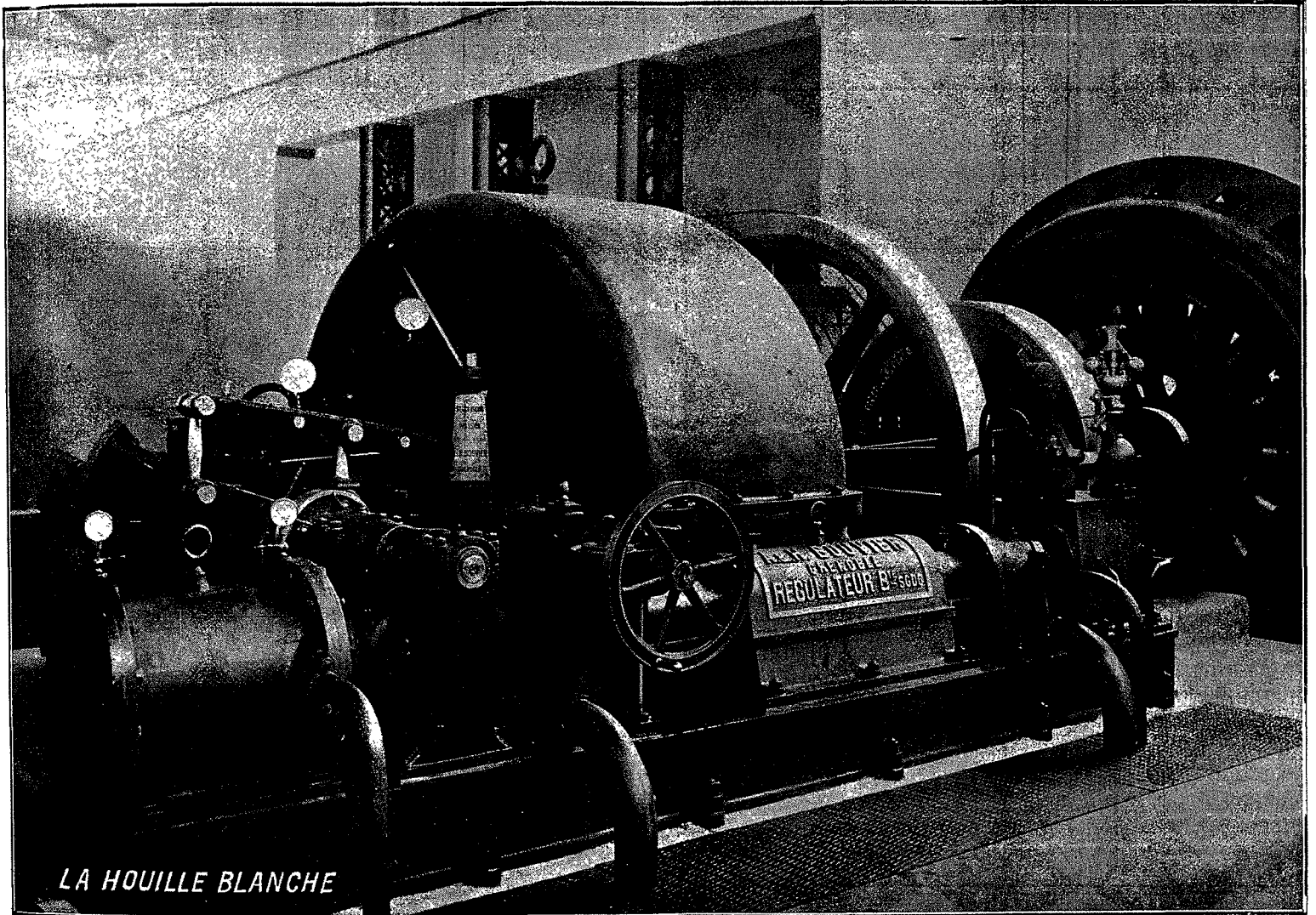


FIG. 6. — VUE D'UNE TURBINE AVEC SON RÉGULATEUR DE VITESSE ET SON COMPENSATEUR DE DÉBIT

les oscillations qu'on a tant de peine à amortir lorsqu'on passe brusquement d'un régime de charge à un autre et rendent si difficile la marche en parallèle des alternateurs. La figure 6 représente une turbine avec son servo-moteur de régulation et son compensateur automatique de débit dont nous allons parler.

On a procédé l'an dernier à des essais sur ce régulateur lors de la réception officielle des travaux de l'usine du Bourmillon. Un grand nombre d'ingénieurs hydrauliciens et électriciens ont été invités à y assister. Voici les résultats qu'ils ont constatés :

Les variations de puissance ont été provoquées tout d'abord en plongeant dans le canal de fuite ou en retirant brusquement des résistances électriques susceptibles d'absorber l'énergie totale d'un groupe électrogène. Les expé-

pression tend à augmenter et se referme ensuite très lentement, conforme d'ailleurs à la description du brevet qui a été donné dans la Revue (n° d'octobre 1903).

Chacune des turbines, dont l'axe est horizontal, commande un alternateur Schneider auquel elle est liée par un manchon d'accouplement élastique.

## II. — PARTIE ÉLECTRIQUE

**Alternateurs.** — Les alternateurs, du type SCHNEIDER (dont la vue ci-jointe prise aux nouveaux ateliers du Creusot à Champagne-sur-Seine donne une idée des dimensions), sont de 1 000 KVA chacun avec  $\cos \varphi = 0,8$  sous 3 800 volts composés. Leur vitesse est de 375 tours par minute à 50 périodes.

Chaque alternateur est à induit fixe et inducteur mobile; il ne comporte pas de bâti commun pour ces deux parties;

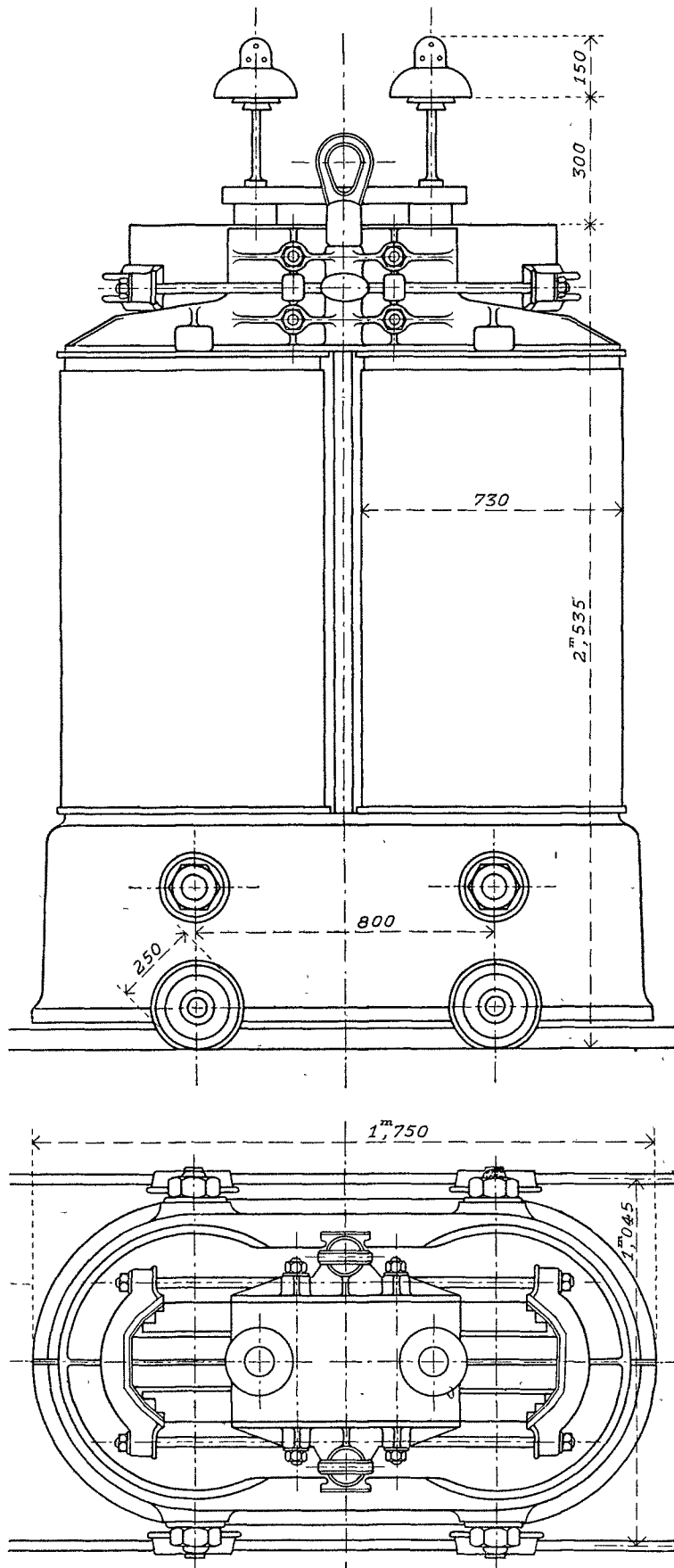


FIG. 7. — ÉLÉVATION ET PLAN D'UN DES TRANSFORMATEURS A 35 000 VOLTS

le réglage de la couronne d'induit est indépendant de celui des paliers supportant l'inducteur et l'arbre de l'alternateur.

La couronne d'induit est formée de deux parties assemblées, en fonte, portant le circuit magnétique, en tôles, qui

est fortement serré sur la couronne par des disques rapportés. Des intervalles destinés à la ventilation des tôles sont ménagés dans la masse de ces dernières, qui, en outre, portent à leur périphérie intérieure des alvéoles destinées à recevoir les bobines induites.

La couronne d'induit est fixée à deux pattes reposant sur deux caissons formant fondations et portant des vis de réglage et de rappel qui assurent le centrage de l'induit, en hauteur et latéralement, par rapport à l'inducteur.

La partie inférieure de la couronne d'induit repose sur deux galets montés sur vérins. Ces galets et les deux pattes d'attache de la couronne sur les caissons de fondations forment trois points d'appuis sur lesquels l'induit peut tourner sur lui-même, autour de l'arbre de l'alternateur comme axe. Cette rotation permet, en cas de réparation sur place du bobinage induit de l'alternateur, d'en rendre toutes les parties facilement abordables, soit la partie inférieure qui est en fosse, soit la partie supérieure.

Les bobines induites sont en cuivre de haute conductibilité; la forme des encoches du circuit magnétique qui les porte est telle que la courbe de force électromotrice de l'alternateur, est une sinusoïde parfaite. Ces bobines induites traversent le noyau de tôles dans des tubes en micanite qui assurent toute sécurité pour leur isolement à la terre; la partie extérieure de chaque bobine est à une distance suffisante des bobines voisines et de la masse, pour rendre impossible tout court-circuit entre elles et la masse.

Les trois phases de l'induit sont connectées en étoile et leurs extrémités aboutissent à trois bornes montées sur porcelaines fixées à la partie inférieure de la couronne d'induit et inaccessibles au personnel chargé de la surveillance.

L'inducteur est constitué par une couronne en acier moulé portant, venus de fonderie, les pôles au nombre de seize; cette couronne est serrée et maintenue par deux joues en fonte formant volants clavetés sur l'arbre de l'alternateur.

L'enroulement inducteur est formé d'un ruban de cuivre rouge enroulé sur champ; l'isolement entre spires n'est obtenue que par une feuille de papier, étant donnée la faible tension d'excitation.

Les bobines ainsi constituées sont fortement serrées sur l'inducteur par les épanouissements polaires rapportés et fixés aux pôles par deux fortes vis maintenues par des prisonniers.

Les extrémités de l'enroulement inducteur aboutissent à deux bagues en bronze calées sur l'arbre de l'alternateur, et recevant le courant d'excitation par des frotteurs en charbons.

L'arbre de l'alternateur repose sur deux paliers à graissage automatique à bagues; il porte, en bout, l'induit de l'excitatrice dont l'inducteur est porté par deux pattes venues de fonderies avec le palier correspondant; l'autre extrémité de l'arbre porte le plateau d'accouplement avec la turbine.

#### Constantes des alternateurs.

|   |                       |
|---|-----------------------|
| Diamètre d'alésage.....   | 2 <sup>m</sup> 200    |
| Nombre de pôles.....  | 16                    |
| Vitesse de rotation.....  | 375 tours par minute. |
| Courants fournis.....   | triphasé en étoile.   |
| Volts composés.....   | 3 800 volts.          |
| Capacité pour $\cos \varphi = 0,8$ .....  | 1 000 K V A.          |
| Fréquence.....  | 50 périodes.          |
| Rendement à pleine charge, excitation comprise pour $\cos \varphi = 1$  | 92 %.                 |
| Élévation maxima de tension entre la marche à pleine charge $\cos \varphi = 1$ et la marche à vide, la vitesse restant constante..... | 3,95 %.               |

**Constantes des excitatrices.**

|                            |                       |
|----------------------------|-----------------------|
| Volts maxima.....          | 70                    |
| Ampères maxima....         | 300                   |
| Vitesse de rotation.....   | 375 tours par minute. |
| Diamètre du noyau induit.. | 470 mms.              |
| Entrefer moyen.....        | 5 mms.                |

Ces alternateurs ont été soumis à une tension alternative de 8 000 volts entre les enroulements induits et la masse,

maire et au secondaire (1). Les figures 7 et 9 ci-jointes représentent ces transformateurs monophasés.

Ils sont installés sous la salle des tableaux de distribution, en contrebas du dallage de l'usine. Deux dégagements aboutissant dans cette salle et recouverts d'un plancher en temps normal permettent d'amener les transformateurs à l'aplomb du pont-roulant de la station pour le transbordement dans leur salle. Ils sont ensuite amenés à la place qu'ils doivent occuper ; à cet effet, le caisson inférieur de

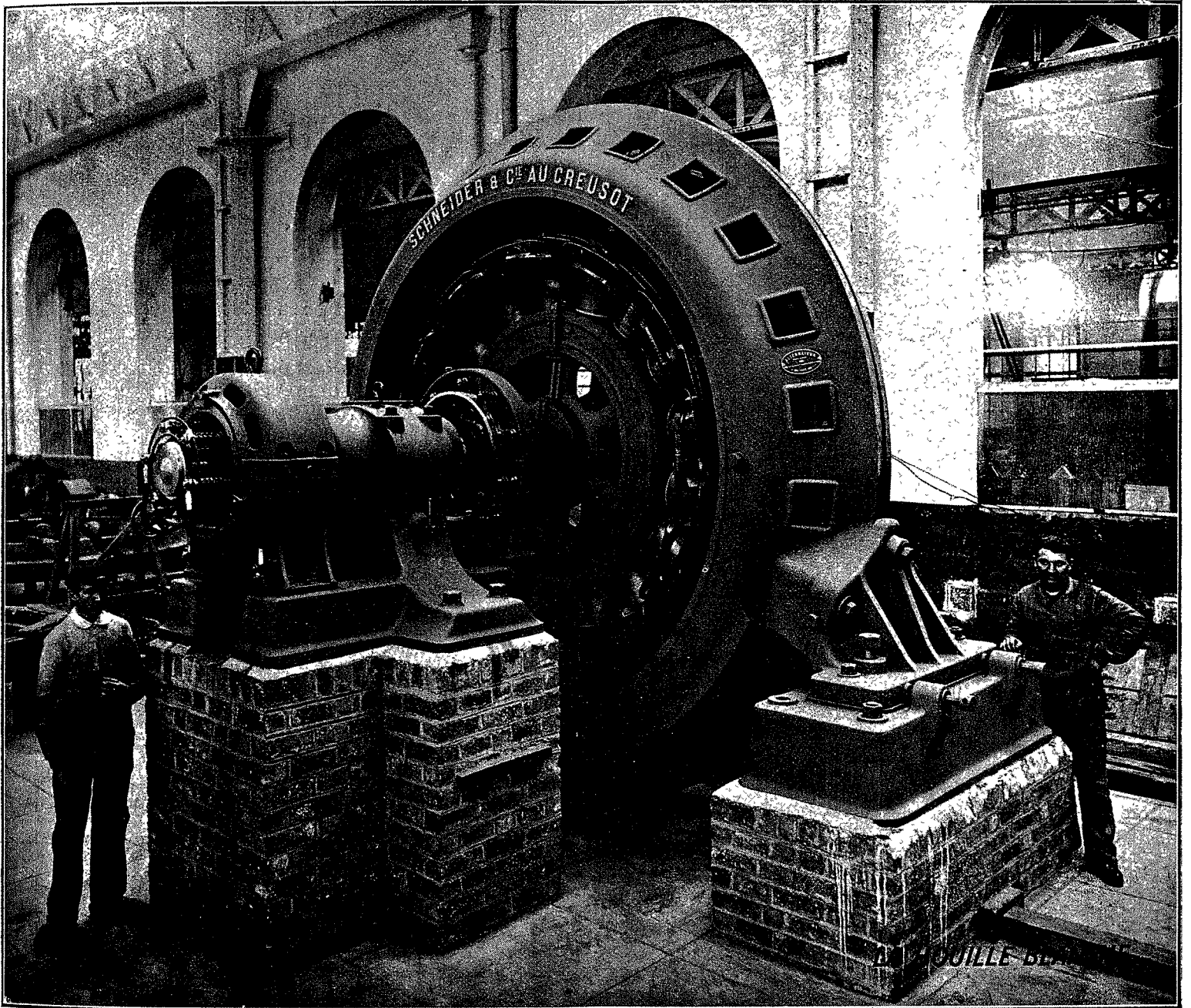


FIG. 8. — VUE D'UN DES ALTERNATEURS DE 1 000 KVA. PENDANT SA CONSTRUCTION

pendant dix minutes ; ils ont subi à plusieurs reprises une vitesse d'emballement de 600 tours par minute environ.

**Transformateurs élévateurs.** — Le courant produit par les alternateurs sous 3 800 volts est élevé à 35 000 volts à l'aide de transformateurs élévateurs, pour être distribué en ligne à cette tension.

La station électrique du Bournillon comporte actuellement six transformateurs monophasés de 580 KVA. chacun, répartis en deux batteries triphasées de trois transformateurs monophasés chacune groupés en triangle au pri-

chaque transformateur est monté sur quatre galets qui roulent sur le dallage même de la salle.

Chaque transformateur monophasé du type « SCHNEIDER » est d'une puissance unitaire de 580 KVA. à la tension de 35 000 volts. Une seule prise de courant est ménagée à l'enroulement primaire à 3 800 volts, tandis que le secon-

(1) Actuellement, pour desservir Vienne et Beaurepaire les primaires à 3 800 volts sont couplés en étoile et la tension en ligne n'est plus que de 20 000 à 21 000 volts composés. Mais pendant plusieurs mois, alors qu'elle n'alimentait que Romans, l'usine du Bournillon a marché à plus de 30 000 volts et dans d'excellentes conditions.

daire porte trois sorties donnant respectivement 35 000 volts, 32 500 volts et 30 000 volts. Cette dernière tension a été utilisée au début de l'exploitation, et les deux autres au fur et à mesure de l'accroissement de la puissance transportée, pour compenser et atténuer les pertes en ligne.

Le circuit magnétique de ces transformateurs est constitué par des tôles empilées formant deux colonnes verticales autour desquelles sont les enroulements et réunies par deux culasses horizontales; les colonnes sont du type à gradins; des intervalles sont ménagés dans les paquets de tôles pour la ventilation. La culasse inférieure portant les colonnes est maintenue dans un caisson en fonte en deux parties qui forme également chambre à air pour la ventilation et porte les galets de roulement. La culasse supérieure mobile est serrée entre deux étriers en fonte.

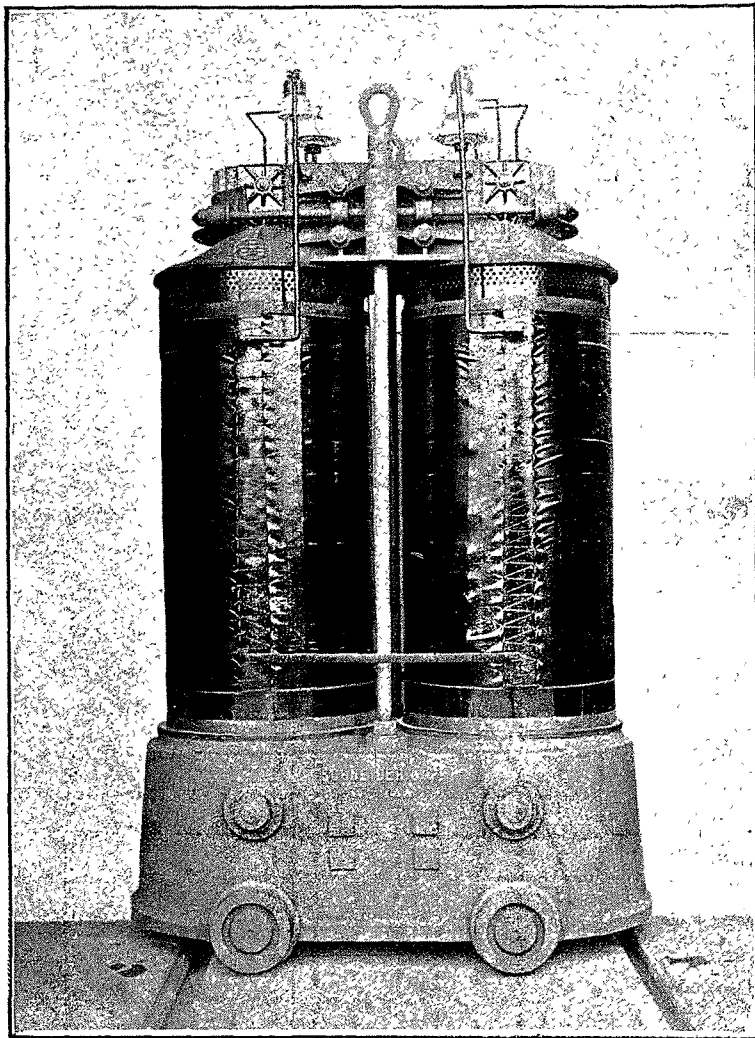


FIG. 9. -- VUE DE L'UN DES TRANSFORMATEURS A 35 000 VOLTS

qui la maintiennent fortement pressée sur les colonnes par deux boulons les reliant au caisson inférieur, les écrous de serrage forment en même temps anneaux de levage pour ces machines.

Les enroulements primaires et secondaires sont concentriques; le primaire moyenne tension est à l'extérieur, le secondaire haute tension étant à l'intérieur, pour réduire autant que possible les risques d'accidents en circulant autour de ces appareils.

L'enroulement secondaire est composé d'une série de bobines exécutées sur mandrin, en cuivre rouge guipé, de haute conductibilité; chaque bobine est soigneusement enrobée par de la micanite et de la tresse à très fort isolement. Les bobines sont superposées et séparées des

colonnes du circuit magnétique par des tubes isolants; d'autres tubes isolants les séparent d'autre part de l'enroulement primaire constitué par du ruban de cuivre rouge enroulé de champ sur mandrin; l'isolement entre spires est obtenu par un tressage du ruban. Le circuit primaire est également entouré d'une chemise isolante qui empêche tout contact accidentel extérieur et ménage, comme les tubes isolants placés entre les enroulements et les noyaux de tôles, des cheminées d'air qui facilitent le refroidissement de toutes les parties actives du transformateur par la ventilation.

Les sorties des enroulements primaires et secondaires fortement isolées, aboutissent à des bornes montées sur porcelaines et placées à la partie supérieure du transformateur.

#### Constantes des transformateurs monophasés de 580 KVA.

|  | Primaire | Secondaire |        |        |
|--|----------|------------|--------|--------|
| Volts.....   | 3 800    | 35 000     | 32 500 | 30 000 |
| Ampères.....   | 132      |            | 16,6   |        |
| Coefficient en charge  | 1        | 9,2        | 8,56   | 7,9    |
| Périodes.....  | 50       |            | 50     |        |
| Rendement en charge de 580 KVA. pour $\cos \varphi = 1$ .<br>ventilation comprise: 98 %. |          |            |        |        |
| Chute de tension pour $\cos \varphi = 1$ environ 1 %.                                    |          |            |        |        |

Les transformateurs installés à l'usine hydro-électrique du Bournillon ont été soumis chacun pendant 10 minutes à une tension alternative de 50 000 volts entre l'enroulement secondaire et la masse et entre les enroulements primaire et secondaire; une tension alternative d'environ 8 000 volts a été appliquée pendant le même temps entre l'enroulement primaire et la masse.

Ces appareils sont à refroidissement artificiel par ventilation; à cet effet on a installé un ventilateur type Mortier, de 6 HP, pour chacun des deux groupes de trois transformateurs monophasés; chaque ventilateur est actionné directement à 1 440 tours par minute environ par un moteur triphasé de puissance correspondante, avec induit en court-circuit.

Les groupes de ventilation sont placés dans la salle des tableaux au-dessus des transformateurs, de manière que leur surveillance soit facile et sans danger et qu'aucun appareil accessoire ne se trouve dans la salle des transformateurs. Une gaine en tôle, par ventilateur, conduit l'air refoulé à un caniveau passant sous les transformateurs; des orifices de section convenable débouchent de ce caniveau dans les caissons des culasses inférieures des transformateurs.

Les deux moteurs des ventilateurs sont alimentés sous 220 volts composés, par un transformateur triphasé branché sur le circuit 3 800 volts des alternateurs.

**Tableaux de distribution.** — Les tableaux de distribution desservant le matériel de la station décrit précédemment, sont installés dans un avant-corps du bâtiment de l'usine placé dans l'axe transversal de cette dernière, qu'ils laissent complètement dégagée. La passerelle de service des tableaux désaffleure seule la paroi correspondante du bâtiment et, par sa situation surélevée, permet de dominer toute la salle. Ces tableaux sont installés au-dessus de la salle des transformateurs et leur niveau est à 3 ms au-dessus du dallage de la station.

Sur la passerelle de service s'appuie une charpente métallique portant les panneaux en marbre blanc où sont fixés les appareils de mesures et de réglage nécessaires au bon fonctionnement de l'installation. Ces panneaux, au nombre de huit, forment deux groupes superposés de quatre panneaux chacun destinés aux trois alternateurs, aux appareils généraux et aux transformateurs éleveurs.



Chaque alternateur est desservi par deux panneaux superposés. En arrière du panneau de marbre supérieur, porté par la charpente, se trouve l'interrupteur à 3 800 volts de l'alternateur; le levier de commande de cet appareil se trouve en avant du tableau.

Les deux panneaux non utilisés par les alternateurs portent en avant les appareils généraux de contrôle de départ de ligne, ampéremètres et voltmètres, deux interrupteurs tripolaires commandant chacun un des moteurs de ventilateurs des transformateurs. En arrière de ces panneaux sont installés les deux interrupteurs commandant les primaires de chacun des groupes triphasés de transformateurs élévateurs et un interrupteur à 3 800 volts placé sur le primaire d'un transformateur triphasé de 50 KVA. alimentant le moteur synchrone du régulateur des turbines; les manettes de commande de ces interrupteurs sont à l'avant du tableau.

Le tableau est encadré par une boiserie en moulures; un plancher isolant se trouve placé à l'avant.

En arrière de ce tableau basse tension et séparé par un couloir de 2 m environ, une double charpente métallique supporte les coupe-circuits fusibles des alternateurs et transformateurs à 3 800 et 35 000 volts; cette charpente porte également les transformateurs d'intensité et de tension des appareils du tableau. Les coupe-circuits fusibles à 3 800 et 35 000 volts sont fixés dans des niches en marbre, cloisonnées de manière à éviter tout court-circuit en cas de fusion simultanée de deux ou plusieurs fusibles. Des planchers isolants sont posés entre les tableaux et devant les fusibles pour leur manipulation.

Les interrupteurs et coupe-circuits fusibles installés ont été essayés sous leur charge normale comme coupure et fusion, à diverses reprises.

**Parafoudres.** — L'installation est complétée par deux jeux de parafoudres établis chacun dans une salle indépendante au-dessus des tableaux; le premier jeu, installé dans la première salle, est du type à champignons; il comporte un châssis métallique en cornières portant les trois parafoudres avec, en dessous, les résistances liquides dans des tubes en grès en forme d'U; sur le même plan que les parafoudres et en avant, entre la ligne et ces derniers, sont placés trois coupe-circuits fusibles de 35 000 volts, destinés à protéger l'installation en cas d'avaries aux parafoudres.

Le second jeu de parafoudres est logé dans la salle d'arrivée des fils de ligne; il est identique au précédent, sauf que les appareils sont du type à cornes.

**Canalisations.** — Tous les câbles des canalisations de l'installation ont un isolement approprié à la tension à laquelle ils sont destinés, ils sont montés sur porcelaines, ce qui donne encore une plus grande sécurité.

*Connexions à 3 800 volts.* — Les câbles à 3 800 volts reliant les bornes des alternateurs aux tableaux sont placés contre la paroi d'un caniveau souterrain de 2 m 500 de hauteur sur 1 m 600 de largeur, dimensions qui permettent d'y circuler sans danger. — Les circuits principaux d'excitation des alternateurs ne viennent pas au tableau: une notable économie a été réalisée de ce fait sur les canalisations; les bornes de l'excitatrice sont reliées directement aux bagues de prise de courant de l'alternateur; dans ce circuit est intercalé le shunt de l'ampéremètre d'excitation et seuls les deux fils souples du shunt vont au tableau. Le réglage de la tension de l'alternateur se fait par l'excitation de l'excitatrice.

Les canalisations des alternateurs arrivent, du caniveau au tableau des fusibles, dans des tubes en verre très épais et en traversant deux parquets. Des fusibles aux interrupteurs, de ces derniers aux barres omnibus, les canalisations sont aériennes, montées sur porcelaines portées par des ferrures reliant entre elles les charpentes des tableaux.

Les interrupteurs des primaires des deux groupes transformateurs triphasés de 1 500 KVA. sont reliés aux fusibles correspondants par des canalisations également aériennes. De ces fusibles les connexions traversant le plancher dans des tubes en verre se rendent en plafond aux deux sé-

ries de câbles qui desservent les transformateurs; ces câbles sont montés sur isolateurs portés par des ferrures fixées à la voûte.

*Canalisations à 35 000 volts.* — Les sorties secondaires des transformateurs aboutissent à deux séries de trois câbles chacune, montés sur isolateurs haute tension portés par des ferrures scellées à la voûte de la salle; les connexions reliant ces câbles aux fusibles secondaires des transformateurs traversent le plancher sous un double isolement formé d'un tube de verre et d'un tube de mica-nite; ces fusibles viennent se mettre en parallèle aux bornes des coupe-circuits de ligne; de ces derniers les canalisations montées sur isolateurs haute tension passent dans les transformateurs d'intensité des ampéremètres de ligne, à bain d'huile, puis se rendent aux parafoudres en formant deux jeux de bobines de self-induction intercalées entre ces derniers et le tableau; après le dernier parafoudre, les canalisations sont raccordées à l'arrivée de la ligne.

Les appareils et connexions des alternateurs et des pri-

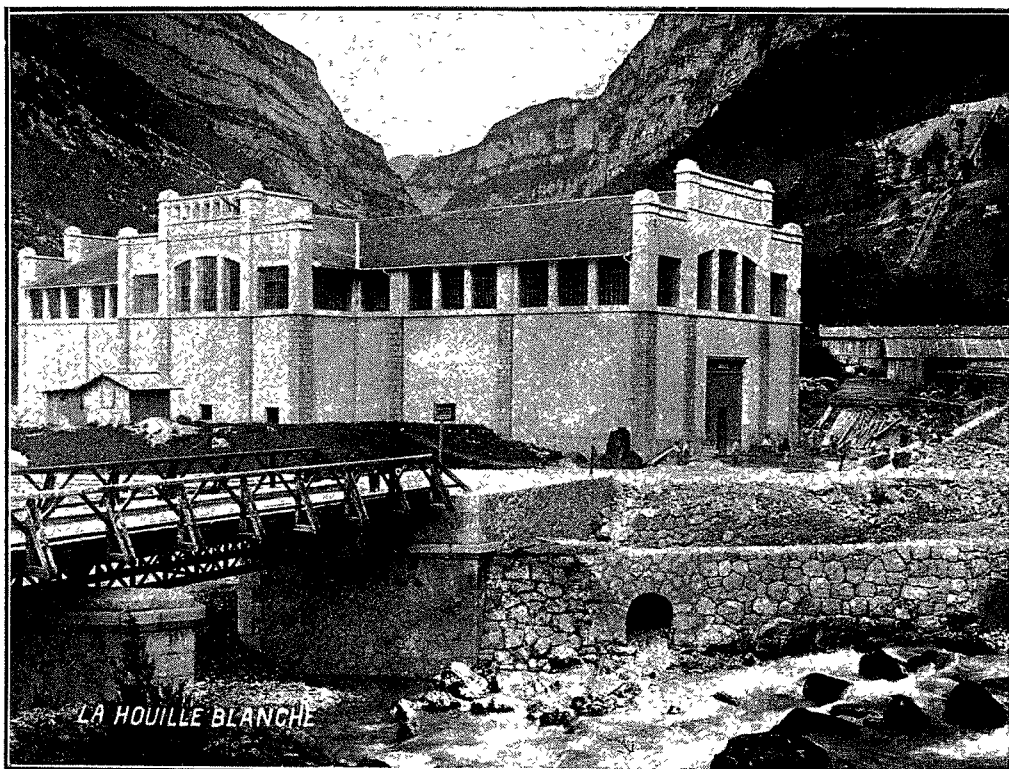


FIG. 10. — VUE GÉNÉRALE DE L'USINE DU BOURNILLON

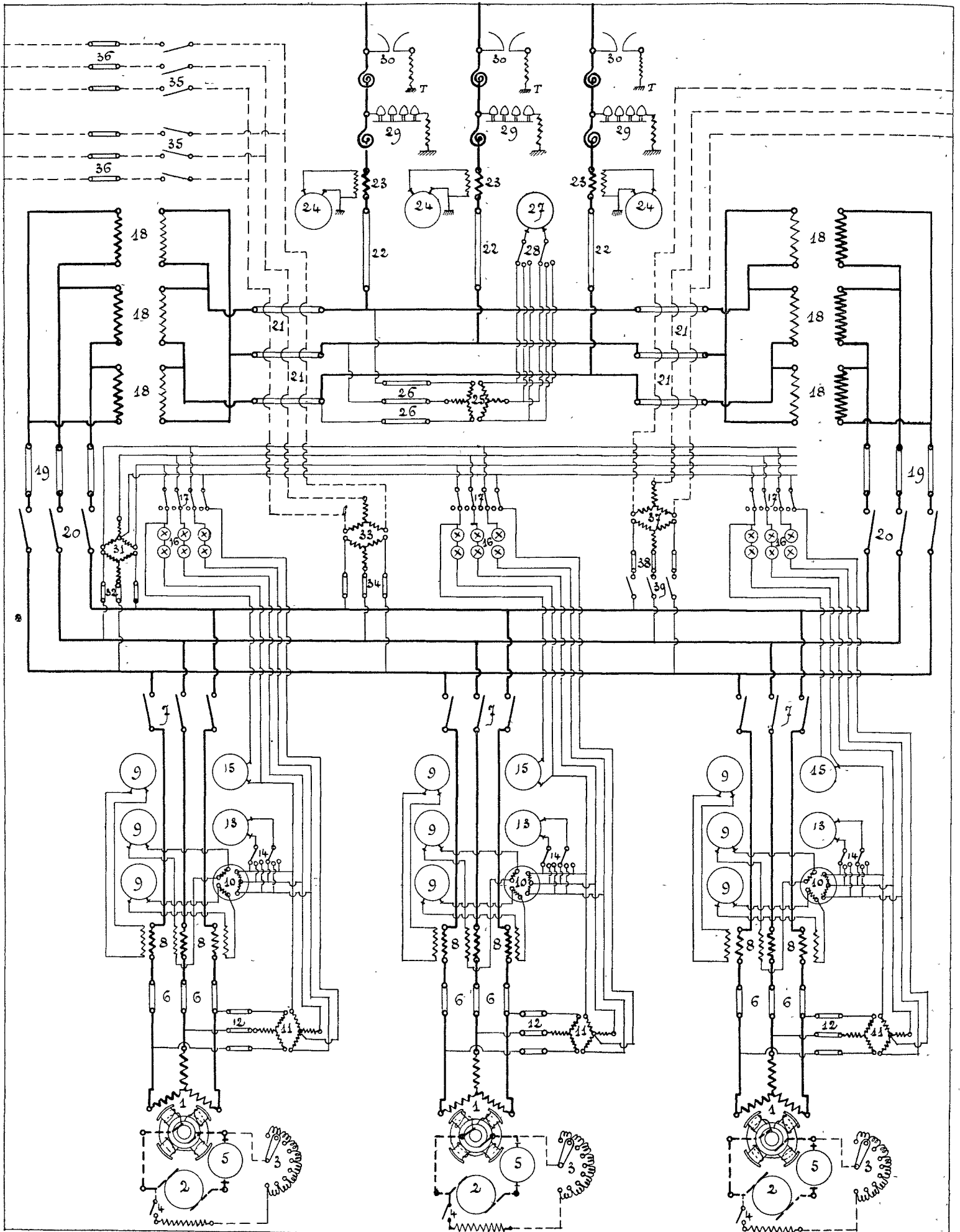


FIG. 11. — SCHÉMA GÉNÉRAL DU TABLEAU DE DISTRIBUTION DE L'USINE

## LÉGENDE

1. Alternateurs triphasés de 1000 KVA., 3 800 volts, 150 ampères.
2. Dynamos excitatrices, 70 volts, 300 ampères.
3. Rhéostats de champ des excitatrices.
4. Interrupteurs unipolaires d'excitation des excitatrices.
5. Ampèremètres d'excitation des alternateurs.
6. Coupe-circuits fusibles des alternateurs, 3 800 volts, 150 ampères.
7. Interrupteurs tripolaires des alternateurs, 3 800 volts, 150 ampères.
8. Transformateurs d'intensité pour les ampèremètres des alternateurs.
9. Ampèremètres des alternateurs.
10. Watlmètres triphasés enregistreurs à deux induits de 1000 KVA.
11. Transformateur triphasé réducteur de tension de 200 watts, 3 800/110 volts.
12. Coupe-circuits fusibles des transformateurs de tension.
13. Voltmètres des alternateurs.
14. Commutateur bipolaire à trois directions pour voltmètre.
15. Voltmètres d'accouplement.
16. Lampes de mises en phases.
17. Commutateurs des lampes.
18. Transformateurs élévateurs de 580 KVA., 3 800/35 000 volts.
19. Coupe-circuits fusibles primaires des transformateurs élévateurs, 3 800 volts, 250 ampères.
20. Interrupteurs tripolaires des primaires des transformateurs élévateurs, 3 800 volts, 250 ampères.
21. Coupe-circuits fusibles secondaires des transformateurs élévateurs, 35 000 volts, 29 ampères.
22. Coupe-circuits fusibles de la ligne, 35 000 volts, 58 ampères.
23. Transformateurs d'intensité des ampèremètres de ligne.
24. Ampèremètres de ligne.
25. Transformateur triphasé réducteur de tension de 500 watts, 35000/175 volts.
26. Coupe-circuits fusibles du transformateur de tension.
27. Voltmètre de ligne.
28. Commutateur bipolaire à trois directions du voltmètre de ligne.
29. Parafoudres à champignons.
30. Parafoudres à cornes.
31. Transformateur de 200 watts et 3 800/110 volts pour mise en phase des alternateurs.
32. Coupe-circuits fusibles du transformateur de mise en phase.
33. Transformateur d'alimentation des moteurs des ventilateurs, 3 800/220 volts, 12 KVA.
34. Coupe-circuits fusibles du transformateur des ventilateurs.
35. Coupe-circuit fusible des moteurs des ventilateurs, 220 volts.
36. Interrupteurs tripolaires des moteurs des ventilateurs, 220 volts.
37. Transformateur triphasé de 50 KVA., 3 800/220 volts, alimentant le moteur synchrone du régulateur.
38. Coupe-circuits fusibles du transformateur de 50 KVA., 3 800 volts.
39. Interrupteur tripolaire du transformateur de 50 KVA., 3 800 volts.

maires des transformateurs ont été soumis à une tension alternative de 8 000 volts pendant 10 minutes, tandis qu'un essai d'isolement de même durée a été effectué sous une tension alternative de 50 000 volts pour les appareils et connexions marchant normalement à 35 000 volts.

Outre le matériel précédemment décrit, la station du Bournillon comporte encore une génératrice à courant continu, du Creusot, pouvant donner 430 ampères sous 70 volts à la vitesse de 900 tours par minute avec tableau indépendant ; cette dynamo est commandée directement par une turbine spéciale de 45 HP environ et est destinée normalement à l'éclairage de l'usine. Elle doit également servir de secours comme excitatrice d'alternateur en cas d'avaries à l'une de ces dernières.

Nous ne saurions terminer ce chapitre sans déclarer que les ateliers d'Electricité du Creusot, qui ont construit et installé tout le matériel électrique de cette usine, ont fait preuve, en cette installation, d'un talent remarquable et justifiant bien leur grande réputation.

**Ligne de transport d'énergie.** — Une seule ligne triphasée relie l'usine à Vienne et à Romans, mais la place est prévue pour en poser une seconde. Cette ligne est montée sur poteaux en bois avec traverses pour supporter les isolateurs. En outre des parafoudres de ligne échelonnés sur le parcours, la ligne est protégée contre la foudre par du fil de fer torsadé avec ronce artificielle tendue au sommet des poteaux sur tout le trajet et mis à la terre tous les cinq poteaux. Comme toute l'installation électrique de l'usine cette ligne a été construite par MM. Schneider et C<sup>o</sup>, sauf pour la pose et la fourniture des poteaux qui furent confiées aux soins de la Société du Vercors.

Les essais de la ligne ont été effectués sous une tension de 35 000 volts en mettant une phase à la terre ; les isolateurs se sont tous très bien comportés.


\*  
\* \*

L'usine du Bournillon fonctionne déjà depuis un an environ. Dès le début de sa mise en marche elle s'était bornée à l'alimentation de Romans, mais depuis fin janvier 1905 elle dessert en plus Vienne et Beaurepaire ainsi que quelques localités de moindre importance. Malgré la très haute tension employée et la longueur de la ligne (80 kilomètres environ), cette usine n'a jamais eu que de courts et très rares arrêts.

La généreuse et si louable initiative de MM. Bouvier et Laurent secondée par la puissante intervention des Sociétés du Creusot, de la Franco-Suisse et de leurs ingénieurs, particulièrement de M. Boissonnas, procure des avantages très appréciés de tous les industriels de la région Dauphinoise qui en bénéficient et mériteraient la reconnaissance publique. Malheureusement, dans notre pays, on ne sait pas toujours assez comprendre le mérite ni l'économie des œuvres de long avenir ; on sacre grand homme celui qu'une fortune rapide favorise, tandis qu'on méconnaît, qu'on décourage même parfois en le dénigrant, le travailleur qui, voyant par de là l'heure présente, veut poursuivre, envers et contre toutes les difficultés, une entreprise jugée chimérique mais portant en elle tous les éléments d'une richesse nouvelle pour le pays.

Honneur à ceux qui ne jettent point le manche après l'outil ; tôt ou tard les détracteurs finissent par s'incliner devant leur bienfaisante ténacité. Pour notre part, nous rendons dès à présent cette justice aux créateurs des forces motrices de la Bourne qu'ils ont fait œuvre belle et ne pouvant manquer d'être féconde.

E.-F. CÔTE.



## Hygiène et Énergie

La création des stations hydro-électriques, c'est-à-dire des stations hydrauliques où l'on utilise les chutes d'eau à commander des génératrices, des dynamos, pour distribuer ensuite le courant obtenu, soit pour l'éclairage, soit pour la force motrice, constitue maintenant une préoccupation de premier ordre pour l'ingénieur et pour l'entrepreneur. Nous n'avons pas à rappeler le Congrès de la Houille Blanche, qui s'est tenu à Grenoble en 1902, et dont la bibliographie de la Revue a signalé les deux énormes et si précieux volumes de comptes rendus.

D'autre part les efforts se multiplient un peu de tous les côtés pour dresser des cartes spéciales des richesses hydrauliques dont dispose la France, afin que les stations puissent se disséminer un peu à l'envi dans toutes les parties de notre territoire.

La question est d'autant plus intéressante que, tout en se faisant assez facilement au point de vue technique, dans la majorité des cas, la captation des chutes d'eau nécessite souvent des frais considérables, et par conséquent il serait très urgent de trouver, ou de signaler, des combinaisons qui permettent de réduire ces dépenses d'installations, tout au moins de les faire supporter plus aisément, en répartissant sur une surface plus vaste (si l'on veut nous permettre cette expression figurée qui va s'expliquer dans un instant) le poids des charges d'une installation de ce genre. On dit volontiers et l'on répète souvent, même dans les milieux technique, ou quasi-technique, que la houille blanche est une puissance gratuite, qu'elle ne coûte rien ; c'est vrai si on la considère en elle-même, mais les barrages et les vastes bassins de retenue si souvent nécessaires, les conduites forcées ou les canalisations de niveau, les bassins de décantation et les canaux de fuite, les turbines, etc., tout cela coûte cher, et il en résulte que cette houille blanche gratuite entraîne un intérêt et un amortissement très élevés du capital