

usines, l'une à Savines, l'autre au Sauze, chacune avec 50 m. de chute et 50 m³ de débit. La puissance totale maxima serait de 30.000 chevaux.

A deux kilomètres en aval du confluent de l'Ubaye, dans le défilé de Serre-Ponçon, une prise d'eau a été prévue pour l'alimentation d'une dérivation de 14 km. de longueur, pouvant débiter 40 m³, qui alimenterait une chute de 50 m. de hauteur, et d'une puissance de 20.000 chevaux, à Valserrès.

En sortant de l'usine de Valserrès, l'eau de la Durance serait reprise dans un canal d'irrigation en partie exécuté, le canal de Ventavon, déjà cité, dont la section serait agrandie de manière à pouvoir débiter 40 m³. Une demande de concession dans ce sens est actuellement pendante, et a pour objet la création d'une usine de 30 m. de chute et de 12.000 chevaux de puissance à La Saulce. Le canal de fuite de cette usine déboucherait à 200 m. en amont de la prise du canal de la Société de la Haute-Durance.

Dans la partie de la Durance comprise entre l'usine de Ventavon et Sisteron, il y a un projet d'usine au Poët, avec chute d'environ 25 m. de hauteur.

Au-delà de Sisteron, nous trouvons une demande de prise d'eau à Peipin, avec chute d'une trentaine de mètres à Saint-Auban.

Près de cette dernière localité est située la prise d'eau du canal de Manosque. Il est question d'augmenter la section de ce canal en vue de la création d'une usine au droit de la prise du canal de La Brillanne.

Entre l'extrémité du canal de fuite de l'usine de La Brillanne et le confluent du Verdon, il y a une cinquantaine de mètres de chute à utiliser, dont la concession a été accordée par un décret du mois d'août 1908 au *Syndicat des Forces Motrices de la Basse-Durance*.

Enfin, deux ou trois demandeurs en concession sont en concurrence pour aménager une chute totale de 30 m. entre le pont de Mirabeau et le pont de Pertuis.

Sur les affluents de la Durance, on peut encore citer une chute de 150 m. sur l'Ubaye, et une autre de 200 m. sur le Verdon, pour laquelle les travaux sont commencés.

La situation actuelle de l'industrie de la houille blanche dans le bassin de la Durance est résumée dans le tableau ci-joint sur lequel les usines projetées sont marquées par une astérique.

DÉSIGNATION des USINES	COURS D'EAU utilisés	DÉBIT maximum prévu	HAUTEUR de chute	PUISSANCE maxima de l'usine
L'Argentièrè....	Durance	20m ³	150m	30.000HP
* St-André	id.	30	75	22.500
* Savines	id.	30	50	15.000
* Le Sauze	id.	30	50	15.000
* Valserrès	id.	40	50	20.000
* La Saulce	id.	40	30	12.000
* Ventavon	id.	50	50	25.000
* Le Poët	id.	50	25	12.500
* St-Auban	id.	60	30	18.000
* La Brillanne	id.	60	23	14.000
* Basse-Durance	id.	80	50	40.000
* Meyrargues	id.	80	30	24.000
Briançon	Cerveyrette	1	60	600
Biaisè	Biaisè	3	200	6.000
* Guil	Guil	6	325	20.000
* Savines	Réalion	1	400	4.000
* Ubaye	Ubaye	8	170	12.000
* Serres	Buëch	7	7	500
Verdon	Verdon	8	200	16.000
				Total 307.000 HP

Ce tableau ne comprend pas diverses usines moins importantes qui servent notamment à l'éclairage de nombreuses

communes. Il ne comprend pas non plus certaines usines projetées, mais dont la réalisation paraît plus éloignée, notamment sur le Verdon. Nous dirons enfin que certains des chiffres de ce tableau ne sont qu'approximatifs.

On voit par l'exposé sommaire qui précède, quelle importance l'industrie des grandes chutes d'eau commence à prendre dans le bassin de la Durance. Dès maintenant, les usines en exploitation représentent une puissance de 76.000 chevaux, et celles en construction 16.000 chevaux. Parmi celles projetées, qui alignent un total de plus de 200.000 chevaux, il y en a plusieurs qui paraissent susceptibles d'être réalisées à bref délai, et le tour des autres viendra tôt ou tard. En tenant compte des chutes utilisables industriellement, mais qui n'ont encore fait l'objet d'aucune étude sérieuse, on arrive à un total général voisin de 500.000 chevaux pour tout le bassin de la Durance.

Toutes ces chutes d'eau représenteront un jour un élément important de la richesse publique. On ne saurait donc trop encourager tout ce qui pourra faciliter et développer leur utilisation.

I. WILHELM,

(A suivre.) Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

INSTALLATIONS HYDRO-ÉLECTRIQUES

LES INSTALLATIONS DE LA SOCIÉTÉ ANONYME DES FORCES MOTRICES DE BRUSIO

Les installations de la *Société anonyme des Forces motrices de Brusio*, dont le commencement remonte au mois de juin 1904, et qui furent mises progressivement en exploitation trois ans après, exactement pendant la période qui s'étend du mois de mars 1907 au milieu de l'année suivante, constituent le plus important transport de puissance à grande distance réalisé et fonctionnant à l'heure actuelle en Europe, et l'un des plus importants du monde entier.

Le but poursuivi était l'alimentation en force motrice de toute la plaine lombarde, qui s'étend au sud du lac majeur entre Milan, Novare et Lugano, région déjà sillonnée par les feeders de distribution des centrales de Vizzola, Castellanza et Turbigio appartenant à la *Société italienne lombarde « pour la distribution de l'énergie électrique »*, et où l'industrie cotonnière maintient, en pleine activité, de grandes filatures et usines de tissage.

L'entreprise fut facilitée par l'existence à 180 kilomètres de là, en Suisse, d'un réservoir naturel, le lac Poschiavo situé au sud du massif de la Bernina, à une altitude d'environ mille mètres, pouvant, grâce à sa situation remarquable entre deux montagnes, être relié par une canalisation de faible pente à un point d'où il était facile d'obtenir une chute directe de 400 mètres, ce qui permettrait, grâce à la quantité d'eau disponible, de disposer d'une puissance considérable.

Ce lac, dont la superficie est d'environ 2 kilomètres carrés, pour une profondeur variable ne dépassant nulle part 80 mètres, reçoit les eaux que lui envoient, par l'intermédiaire de petits ruisseaux, les vallées de Campo et de Teo, et les glaciers de Palu et de Cambrena. Il a, comme déversoir, le Poschiavino, qui sort par son extrémité sud et va se jeter dans l'Adda non loin de Tirano, après avoir franchi la frontière italo-suisse près de Campocologno, petit village de la commune de Brusio.

Depuis longtemps, on avait songé à créer dans cette région, une station hydro-électrique, mais sans approfondir le

problème, et surtout sans se rendre un compte exact de son importance économique. En 1899, la maison Froté et Westermann, de Zurich, avait établi un projet d'exploitation de ces forces hydrauliques après avoir acheté aux communes intéressées les concessions nécessaires. Mais cette maison ne devait pas en assurer l'exécution elle-même, car la situation géographique de la vallée de Poschiavo ne donnait aucune chance de réussite à l'introduction d'une industrie locale destinée à utiliser sur place l'énergie dont on disposait, et les transports de puissance à très grande distance étaient encore trop peu nombreux pour que l'on osât se risquer dans cette voie toute nouvelle.

les concessions que l'on pouvait abaisser le niveau du lac de 7^m/40 et l'élever de 1 mètre, ce qui permettait de compter sur une réserve d'eau de 15 millions de mètres cubes environ. Il était donc nécessaire d'établir un barrage, et une prise d'eau à une profondeur bien déterminée au-dessous du niveau du lac. Les circonstances locales conduisirent à la construction d'un canal d'amenée en tunnel, aboutissant à une chambre d'eau d'où la conduite forcée, descendant en ligne droite, arriverait à l'usine située à la frontière même, à Compocologno, et dont le voisinage du Poschiavino permettrait d'utiliser complètement la chute de 400 mètres environ.



FIG. 1. — BARRAGE DE POSCHIAVINO A SA SORTIE DU LAC (*)

Ce n'est qu'en 1904, après que la concession eût été rachetée par une compagnie anglaise, puis revendue par elle à la Société d'électricité *Alioth*, que celle-ci, de concert avec la Société italienne dont nous avons parlé, posa les bases d'une entente aux termes de laquelle cette Société s'engageait à prendre ferme, à la frontière, une puissance minima de 16 000 kilowatts qu'elle transmettrait ensuite à ses différents réseaux. En même temps, on établissait les bases financières nécessaires pour la réalisation des installations et, au mois de juin 1904, la Société anonyme des Forces motrices de Brusio était fondée.

Les travaux commencèrent aussitôt. Le projet Froté et Westermann fut maintenu en principe : il était spécifié dans

Nous nous proposons de décrire brièvement les installations hydrauliques et électriques qui sont remarquables, non seulement par leur importance, mais également par l'élégance et l'originalité avec lesquelles les constructeurs ont triomphé des difficultés, parfois très grandes, qu'ils eurent à surmonter.

Travaux hydrauliques

PRISE D'EAU. — Le barrage, particulièrement simple, ne présente rien de remarquable. Il est établi sur le Poschiavino à sa sortie du lac (fig. 1). C'est un barrage métallique, muni de quatre vannes de 4 mètres de largeur, et d'une vanne de décantation plus étroite et un peu plus profonde que les autres.

L'établissement de la prise d'eau fut beaucoup plus délicat. Le lac de Poschiavo est situé à une altitude de 963^m/40 ;

(*) Cette figure et les suivantes sont extraites de la *Schweizerische Bauzeitung*.

la concession permettant une élévation de niveau de 1 mètre et un abaissement de $7\frac{m}{40}$, le niveau de la prise d'eau se trouvait déterminé. Le fond de l'entrée de la galerie fut placé 2 mètres plus bas, exactement à 954 mètres d'altitude, à cause de la section de l'orifice. Le voisinage du lac rendant les travaux particulièrement délicats, on décida de creuser un puits à proximité, destiné à permettre le commencement immédiat de la galerie du côté amont, et à être utilisé ensuite pour la prise d'eau.

Nous n'entrerons pas, ici, dans les détails de construction de ce puits, signalons seulement que les difficultés furent grandes. Les venues d'eau étant considérables, et gênant l'exécution de la maçonnerie, il fallut avoir recours à plusieurs pompes centrifuges pour pouvoir effectuer le travail, et même à la fin à l'air comprimé. Un caisson cylindrique fut descendu dans le puits, et une chambre de travail établie à sa base pour permettre le commencement de la galerie horizontale. L'avancement se fit sous pression, la nature du terrain, plutôt rocailloux et granitique, rendant impossible l'emploi du bouclier pneumatique, surtout pratique pour la construction des tunnels sous l'eau dans un terrain homogène.

En même temps, à 60 mètres de là, un second puits était creusé. Grâce à sa distance relativement grande du lac, il ne fut pas nécessaire d'avoir recours à l'air comprimé. Rapidement terminé, ce second puits permit d'accélérer notablement l'avancement de la galerie, en même temps qu'on le reliait au premier tronçon creusé sous pression.

Il fallait ensuite relier la galerie au lac. On y est parvenu à l'aide d'une conduite formant siphon, mais qui ne fût installée que beaucoup plus tard. La conduite, en tôles rivées, a 2 mètres de diamètre et 82 mètres de longueur. Une de ses extrémités est fixée dans le puits, la partie horizontale est suspendue, en partie, entre des pilotis, en partie à l'intérieur d'un canal muré, par des brides. Enfin, la branche terminale d'aspiration est suspendue au bout d'une estacade par deux tringles de 70 millimètres de diamètre, au moyen de pattes d'acier articulées et rivées au siphon. Une grille dont les barreaux sont distants de 27 millimètres, est placée à l'embouchure du siphon. Au-dessus de cette grille se trouve un papillon commandé par un levier extérieur et une crémaillère.

La branche verticale d'écoulement du siphon, dont la figure 2 représente le détail, montée dans le puits de départ de la galerie est identique à la branche d'aspiration, sauf en ce qui concerne le dispositif de fermeture qui comporte un disque en fonte en forme d'entonnoir renversé, recourbé

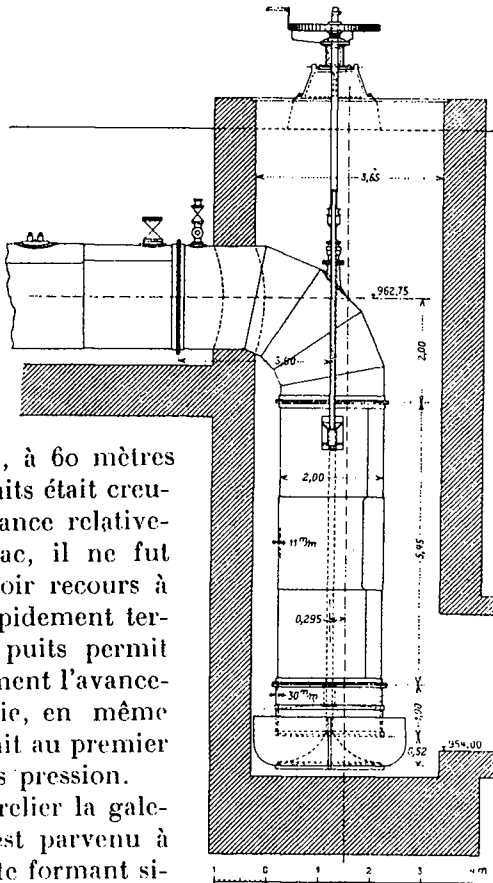


FIG. 2.
DÉTAIL DU SIPHON.

vers le haut à la périphérie, et suspendu à un arbre, de 100 millimètres de diamètre commandé extérieurement. De cette façon, les rentrées d'air sont impossibles, et l'eau ne vient pas heurter violemment les parois du puits.

La branche horizontale du siphon est inclinée vers le puits de 5 centimètres par mètre, et communique par sa partie la plus haute avec une pompe d'aspiration qui sert pour le nettoyage, et avec une pompe à piston destinée à l'amorçage, opération qui se fait simplement en fermant la soupape du siphon et ouvrant le papillon.

Nous avons dit que ce siphon ne fut installé que plus tard (en 1907 exactement), mais on construisit tout de suite une prise d'eau capable d'utiliser l'eau du lac entre son niveau normal et la hauteur maxima prévue, et destiné à permettre la mise en exploitation progressive de l'installation, au début tout au moins. Cette seconde prise d'eau fut établie sur la rive droite du Poschiavino, près du barrage, au moyen d'un tuyau de 850 millimètres de diamètre, muni d'une grille, plongeant dans une chambre d'eau latérale, et aboutissant, à 275 mètres de là, dans la première galerie latérale du tunnel d'amenée, à une profondeur suffisante pour que son extrémité soit constamment sous l'eau. Elle a d'ailleurs été aménagée définitivement depuis.

TUNNEL D'AMENÉE. — La prise d'eau située au-dessous du niveau du lac et la situation locale conduisirent naturellement à adopter un tunnel que l'on perça à une assez grande distance de la surface du terrain (30 mètres au minimum) de façon à être sûr de se trouver dans la partie rocheuse du massif traversé (1). On adopta l'écoulement libre de préférence à l'écoulement sous pression, malgré les facilités d'exploitation évidentes de ce dernier système, parce que la maçonnerie fatigue moins, et que les fuites sont évitées.

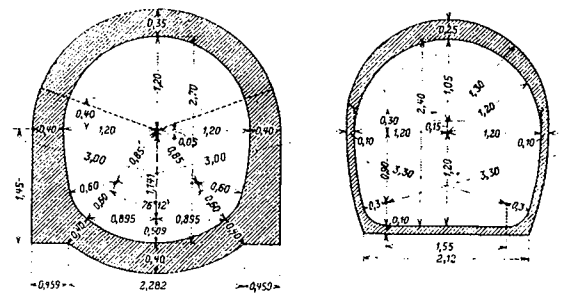


FIG. 3. — PROFILS NORMAUX DU TUNNEL.

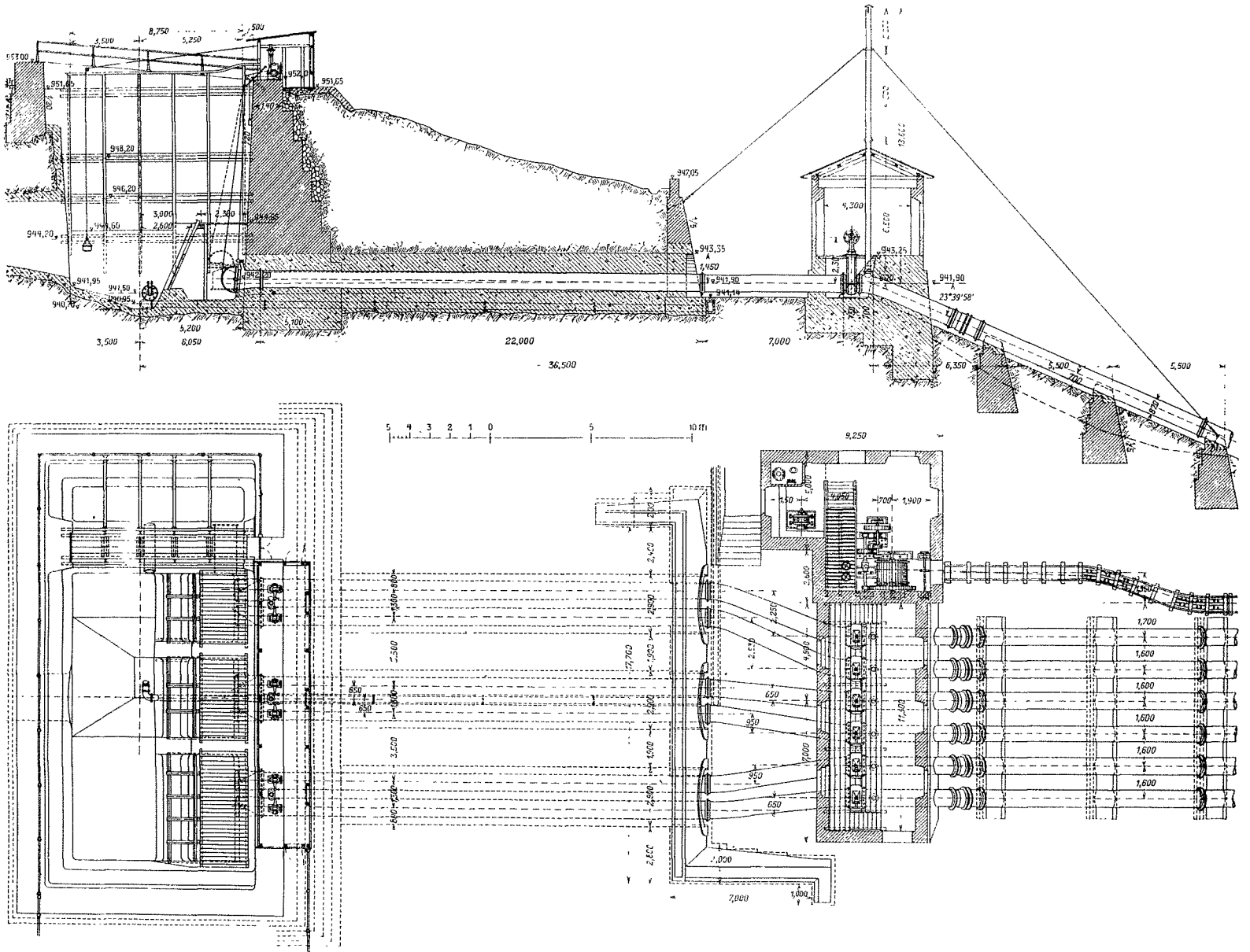
Le tunnel a une longueur totale de 5.200 mètres, une pente de 2 % (correspondant à une vitesse de 2 mètres par seconde environ), et une section minima de 5 mètres carrés (fig. 3). La voûte a été exécutée en maçonnerie, et le radier en béton. Dans les parties rocheuses, la voûte est supprimée, mais les parois sont aplanies sur toute la longueur du tunnel, au moins jusqu'au niveau de l'eau.

Onze fenêtres, ou galeries latérales, furent aménagées pour permettre de commencer le percement du tunnel sur plusieurs points à la fois. Le rocher fut attaqué à l'aide de perforatrices mécaniques à quatre forets, actionnées par des moteurs électrique alimentés par une petite station centrale qui fut aménagée spécialement dans ce but par les entrepreneurs chargés de la construction du tunnel, et sur laquelle nous reviendrons. L'avancement, naturellement variable avec la nature du terrain, fut en moyenne de $1\frac{m}{40}$ par jour dans

(1) Les expertises géologiques faisaient prévoir un terrain meuble et des éboulies sur une notable portion du parcours, ce qui fut confirmé par la suite.

chaque direction. Le tunnel commencé vers la fin de l'année 1904 dans des conditions défavorables, rendues encore plus difficiles par la situation de quelques-unes des galeries latérales qui nécessitèrent l'installation de funiculaires aériens pour établir les communications, et par l'eau que l'on rencontra en abondance dans la première partie voisine du lac, fut complètement terminé en 18 mois, sans aucun retard, ce qui fait le plus grand honneur aux entrepreneurs qui en furent chargés, MM. Froté, Westermann, Cayre et Marasi.

CHAMBRE D'EAU. — La chambre d'eau, située à 400 mètres au-dessus de la vallée, a été construite tout entière dans le rocher, ce qui lui assure une solidité plus que suffisante (fig. 4). Les parois sont en moellons cimentés, avec une épaisseur minima au sommet de 1^m40 ; le fond et le rocher sont recouverts d'une couche de béton. On y maintient un niveau assez élevé (7^m50 environ), afin de parer aux surcharges subites. Des flotteurs actionnant une sonnerie installée à l'usine permettent d'ailleurs de le contrôler. Une grille, à barreaux distants de 14 millimètres, sépare la cham-



[FIG. 4. — ELÉVATION ET PLAN DE LA CHAMBRE D'EAU ET DE LA CHAMBRE DE VANNAGE.

Un déversoir, aménagé dans une des fenêtres, à 1.200 mètres environ de la chambre d'eau, permet le réglage du niveau dans celle-ci. Un autre déversoir, placé à la deuxième galerie latérale, permet de régler l'admission de l'eau.

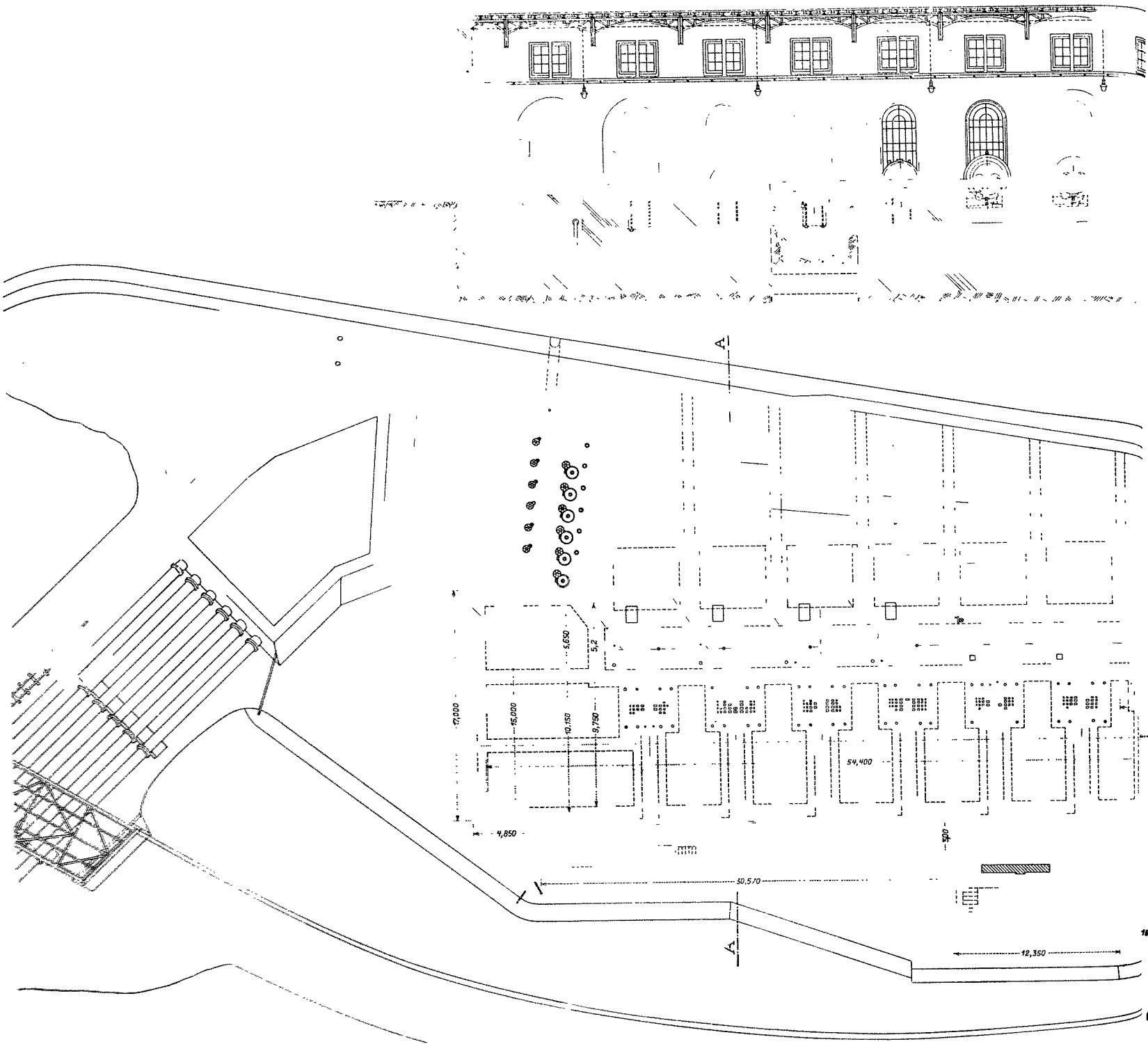
La centrale auxiliaire, destinée à fournir l'énergie électrique à tous les chantiers, a été construite au pied du Sajento, aux deux tiers environ du tunnel. Elle comprend une turbine Girard de 500 chevaux, à injection partielle, tournant à la vitesse de 600 tours par minute, et actionnant un alternateur qui produit des courants triphasés à 4.000 volts, 50 période par seconde. Une fois l'installation terminée, elle a été englobée dans le service régulier des usines.

bre d'eau de trois cellules d'où partent deux par deux les conduites forcées.

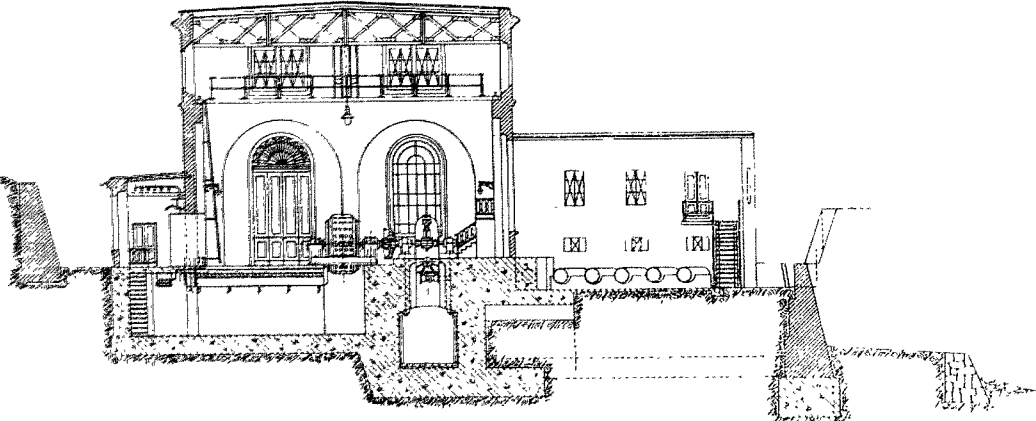
Chaque conduite peut être fermée instantanément par un clapet à la charnière, en forme de capot, de façon à éviter les inondations en cas de rupture de l'une des conduites.

La fermeture des clapets peut être produite à la main par un gardien qui reste constamment à la chambre d'eau, ou automatiquement par le déclenchement d'un cliquet actionné par un solénoïde commandé par l'usine.

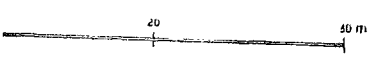
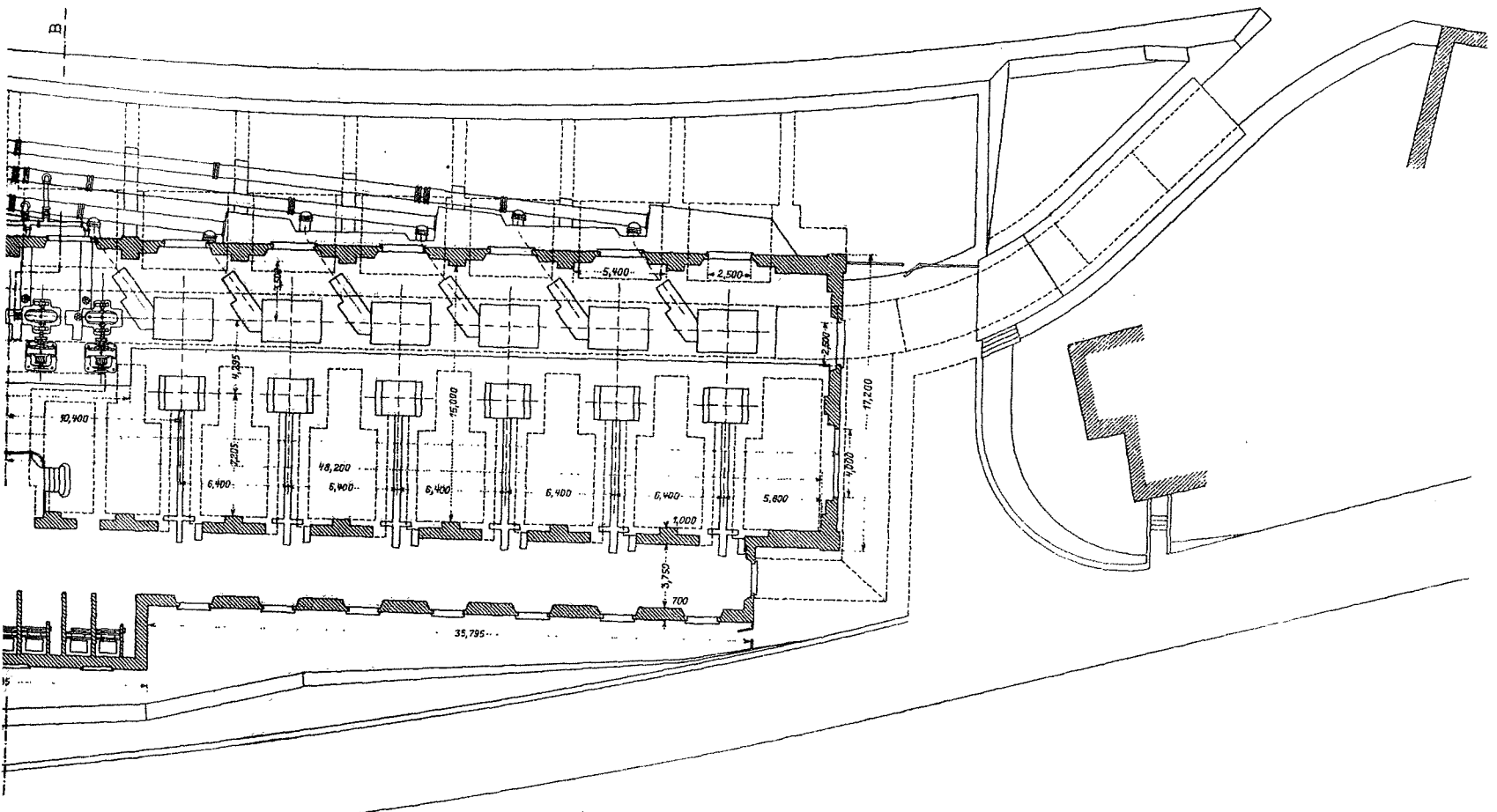
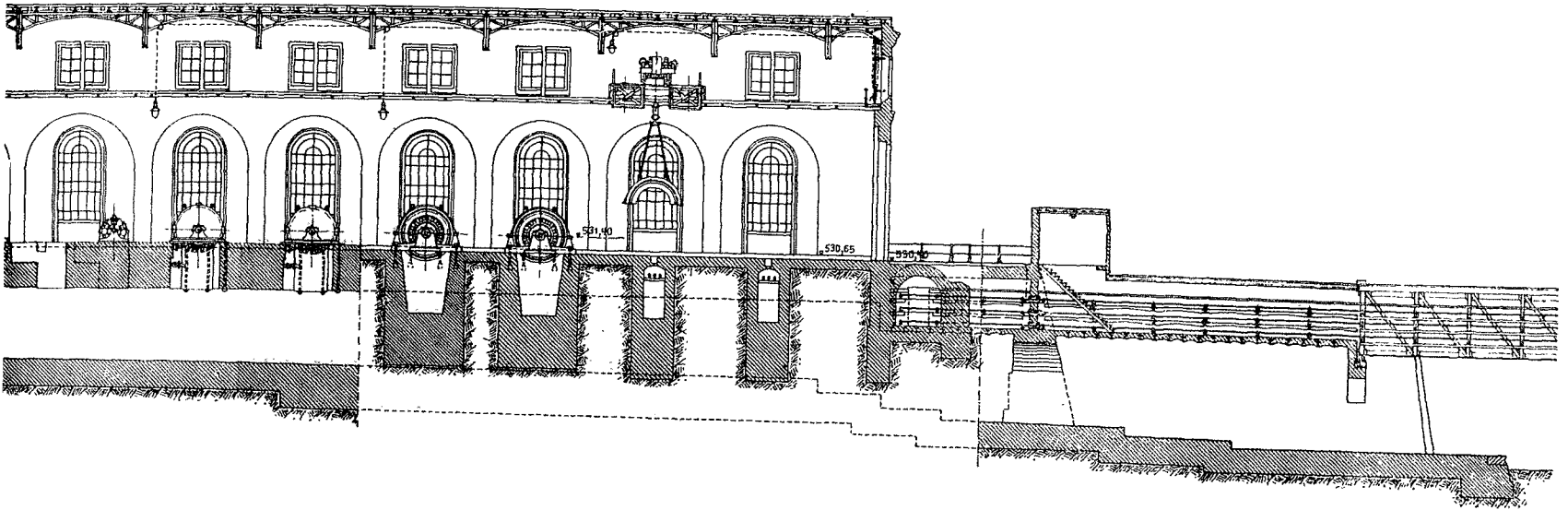
Les conduites sont noyées dans trois galeries en béton à faible pente, aboutissant au flanc de la montagne à la chambre des vannes, qui comporte une vanne en fer forgé pour



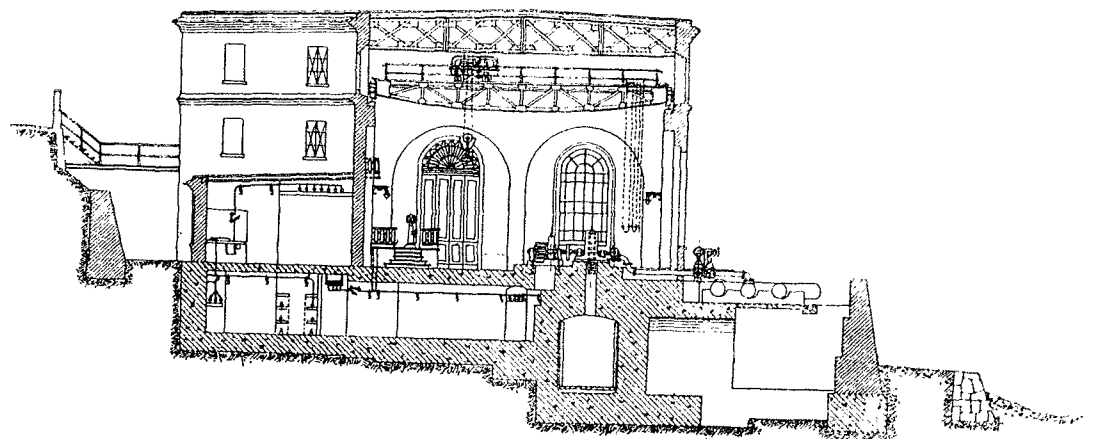
A - A



CENTRALE
Plan, coupe



B - B



CAMPOCOLOGNO
lineales et transversales

chaque conduite. En outre, pour éviter la formation du vide par suite du fonctionnement du clapet à fermeture rapide, des reniflards ont été prévus immédiatement après les vannes principales

du développement progressif des installations, et permettait un transport plus commode sans augmenter notablement les frais d'installation. Au début, 5 conduites seulement furent installées (fig. 5), la sixième ne fût montée que beaucoup

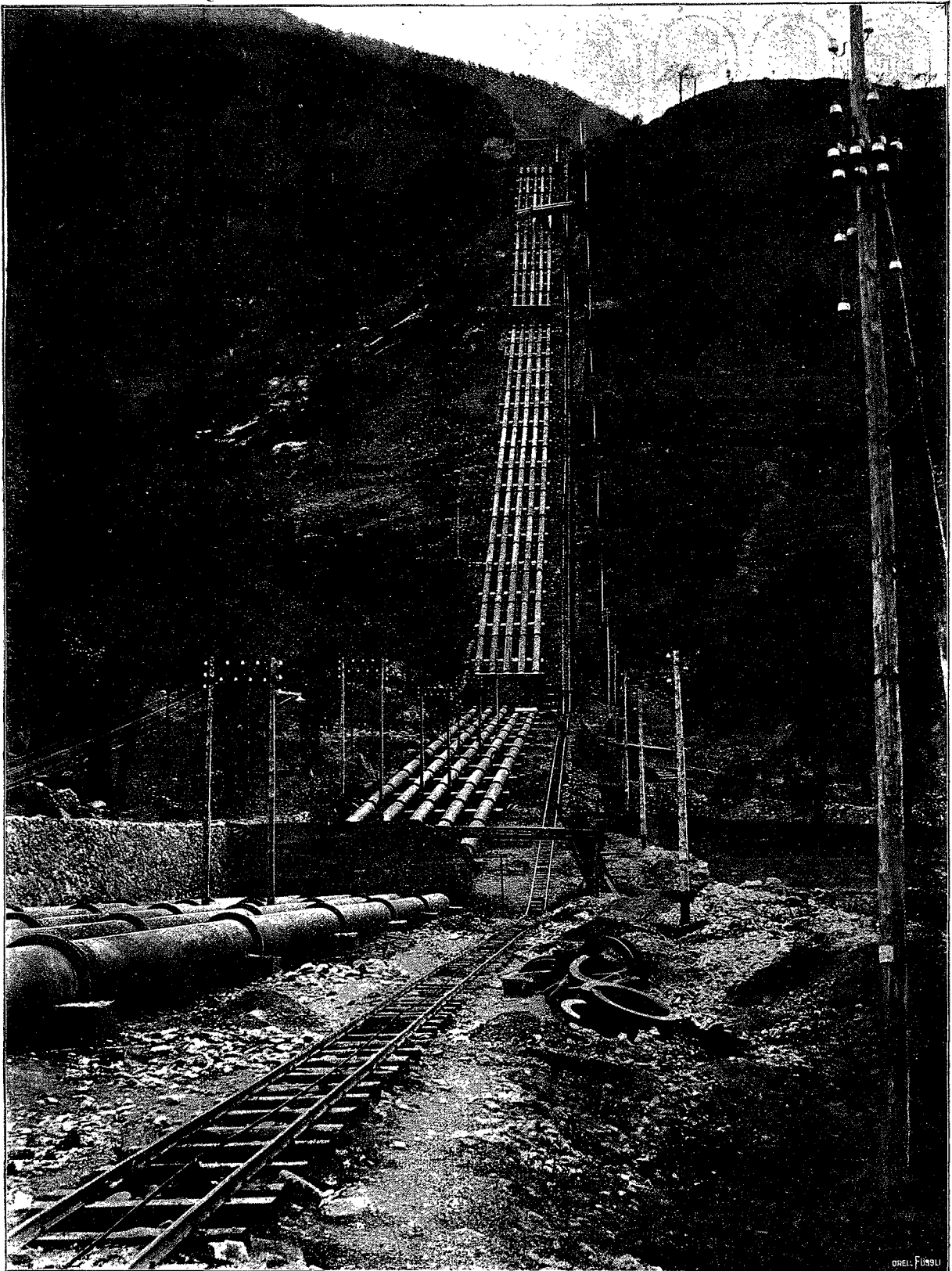


FIG. 5. — VUE D'ENSEMBLE DES CONDUITES FORCÉES.

CONDUITES FORCÉES. — Les conduites forcées ont été établies par la *Société anonyme Escher Wyss et C^{ie}*, qui en exécuta le montage complet avec tous les accessoires nécessaires. On avait hésité au début entre quatre et six conduites, mais on adopta le dernier nombre qui tenait mieux compte

plus tard. Leur diamètre est de 850 millimètres à la partie supérieure, et de 750 millimètres à la partie inférieure. Le premier tiers est formé de tubes en acier rivés à chaud, le reste est constitué par des tubes d'acier soudés, d'une épaisseur maxima de 22 millimètres, chaque tube comportant trois

viroles de 4 mètres soudées à la main. Les conduites sont à l'air libre, conformément aux indications du cahier des charges, ce qui a, d'ailleurs l'avantage de faciliter la surveillance et l'entretien. Les conditions du terrain ne permettaient, d'ailleurs, pas de les recouvrir.

comme on le sait, varie peu avec les saisons. Mais, quand elles sont vides, ce qui se produit forcément au moment du nettoyage, il n'en est plus de même, et les changements de température produisent des dilatations appréciables. Les joints de dilatation ont été placés aux angles principaux,



FIG. 6. — VUE D'ENSEMBLE DE L'USINE DE CAMPOCOLOGNO.

La canalisation étant ainsi exposée aux variations de température, il était prudent de prévoir des joints de dilatation. En fait, quand les conduites sont pleines et en fonctionnement, les variations de température sont de peu d'importance, car la canalisation est à la température de l'eau qui,

immédiatement après les supports d'ancrage. Ceux-ci, au nombre de dix, sont en béton, et ont été calculés très largement en tenant compte des circonstances les plus défavorables. Leur volume varie de 300 à 1.400 mètres cubes. Tous, sauf le dernier, qui est construit sur des éboulis, et est ren-

forcé par une armature métallique formée par des rails, s'appuient sur le rocher.

Le tracé, entre la chambre d'eau et l'usine, est rectiligne, les pentes sont variables, mais ne dépassent nulle part 45 %. En plus des supports d'ancrage, des piliers en maçonnerie supportent la canalisation sur toute sa longueur. Ils sont placés à 6 mètres les uns des autres dans la partie supérieure, un peu moins rigide, et à 12 mètres dans la partie inférieure. Un funiculaire de 0^m60 d'écartement a été construit à côté des conduites pour le montage et les besoins postérieurs de l'exploitation. Il est actionné par un treuil électrique placé dans une annexe de la chambre des vannes.

Les 6 conduites forcées aboutissent dans une chambre de vannage, voisine de la station génératrice, et munie de tous

Usine génératrice

L'Usine génératrice est située dans la vallée du Poschiavino, au village de Campocologno, à quelques centaines de mètres de la frontière, entre la rivière et la route, en partie sur un emplacement occupé par un ancien lit de la rivière (fig. 6).

L'emplacement choisi, sur un terrain formé d'éboulis et qu'il fallut remblayer en partie, était évidemment peu favorable à une construction de cette importance, mais il permettait l'utilisation complète de la chute. On en fut quitte pour soigner particulièrement les fondations. De plus, un mur en béton, de 3^m20 d'épaisseur, atteignant une profondeur de 2 mètres au-dessous du lit de la rivière, fut cons-

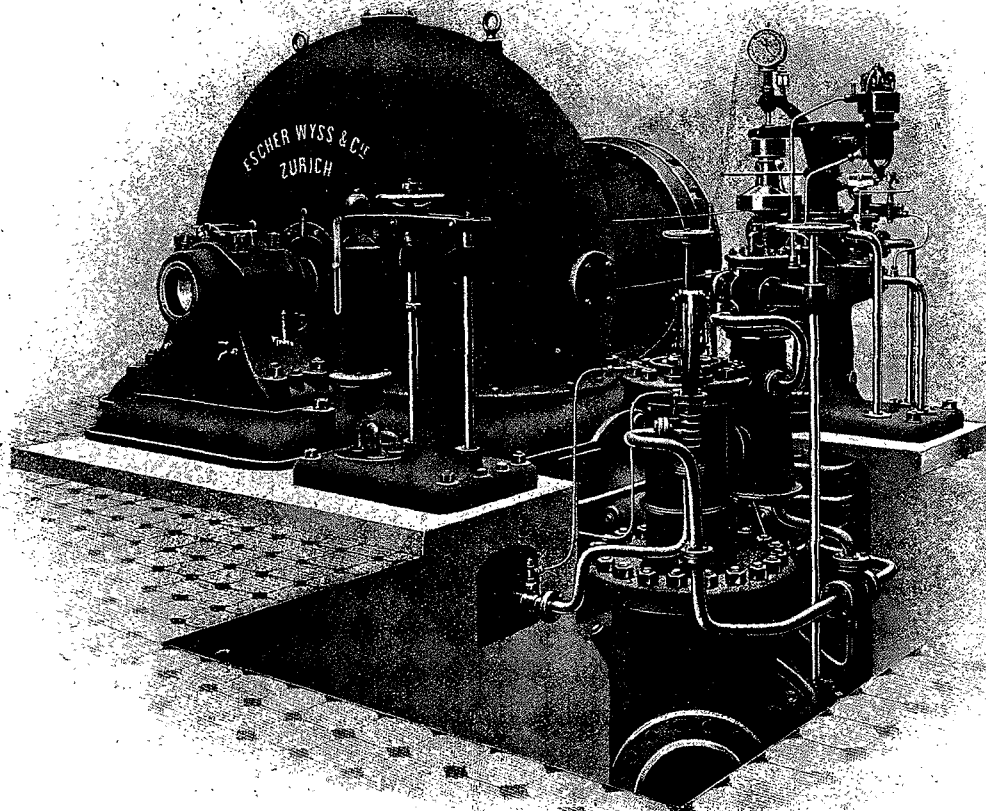


FIG. 7. — VUE D'UNE TURBINE PELTON.

les organes accessoires nécessaires. Chaque conduite est munie d'une vanne, d'un tuyau de décharge, et d'une vanne spéciale pour l'écoulement direct dans le canal de fuite. Un tuyau transversal, situé sous la canalisation, avant les vannes principales, permet d'établir une communication au moyen de vannes entre les différentes conduites, et de provoquer une circulation d'eau dans toutes les conduites, quand la charge est faible et que la température extérieure est basse, ce qui empêche le gel. Il porte à l'une de ses extrémités une vanne munie d'un disque de rupture pour parer aux coups d'eau.

Le montage des 5 conduites qui furent installées tout d'abord, et dont le poids total dépasse 2.000 tonnes, fut exécuté sans accident.

truit comme protection contre les eaux. Nous donnerons une idée du travail nécessité par l'établissement des fondations en disant qu'on y a employé 10.000 mètres cubes de béton.

La station centrale est un vaste bâtiment rectangulaire, de 104 mètres de longueur sur 21 mètres de largeur (25 au centre), construit en moellons et en briques, et recouvert d'un toit en béton armé. L'usine est divisée en trois parties: la salle des machines, la salle des appareils et des barres omnibus, et le poste de départ.

La salle des machines, de 100 mètres sur 15, comporte 12 groupes générateurs hydro-électriques, de 3.000 à 3.500 chevaux, 4 groupes d'excitation de 250 chevaux, et un pont roulant de 25 tonnes (fig. 7 et 8).

Les barres omnibus et les appareils accessoires, transformateurs de mesure, interrupteurs et rhéostats, se trouvent dans un long couloir distinct de la salle des machines.

Enfin, le poste de départ, communiquant par un tunnel avec la station de transformation située à 500 mètres, se trouve en sous-sol. On remarquera que, contrairement à ce qui a lieu dans toutes les stations centrales de distribution d'énergie à haute tension, les transformateurs sont séparés de l'usine principale. Cette condition avait été imposée par la *Société Lombarde pour la distribution de l'énergie électri-*

à-coups, qui nécessitent l'installation d'un régulateur de pression pour chaque turbine. Ce régulateur, qui peut être constitué simplement par un orifice compensateur, dont l'ouverture est commandée par le régulateur proprement dit, et par où une certaine quantité d'eau peut passer directement au canal de fuite chaque fois qu'une variation de charge se produit, a l'inconvénient d'entraîner des pertes d'eau. Cette disposition n'est donc pratique que dans le cas d'un régime régulier. Le deuxième système est préférable quand les variations de charge sont fréquentes, à condition que la partie

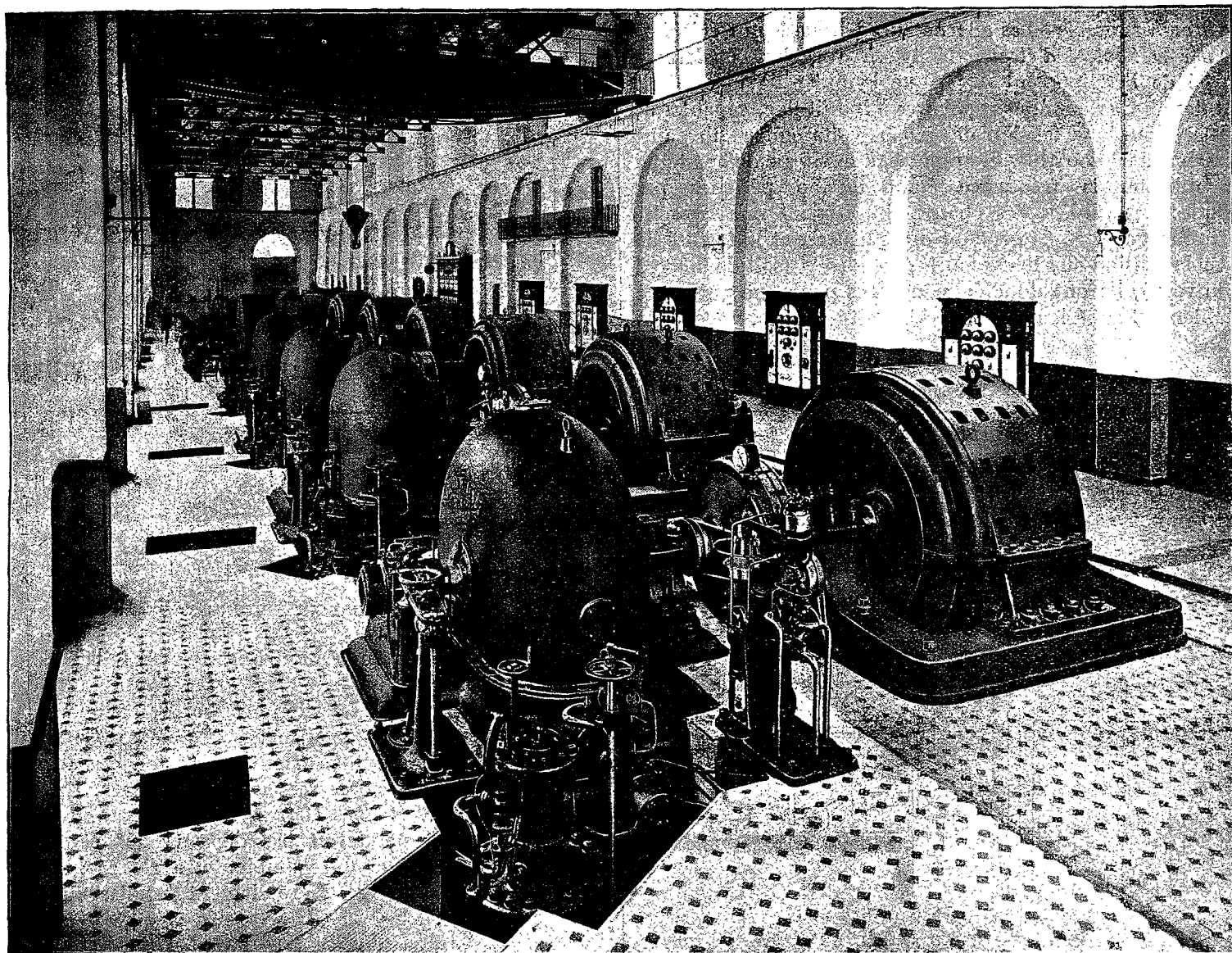


FIG. 8. — VUE DES GROUPES ÉLECTROGÈNES.

que qui devait recevoir le courant de l'autre côté de la frontière à la tension même où il est produit, et le transformer elle-même avant de le distribuer à son réseau.

TURBINES HYDRAULIQUES. — Deux systèmes différents pouvaient être adoptés en présence des conditions imposées : haute chute alimentée par un réservoir de très grande capacité. Ou bien choisir des turbines à régulateur instantané, modifiant l'ouverture du distributeur à chaque variation de charge, ou bien adopter des turbines à régulateur lent.

Le premier système est à recommander dans les centrales où les variations de charge sont peu sensibles. En effet, le réglage instantané donne lieu à des surpressions et à des

lourdeurs, qui nécessitent un moment d'inertie suffisant, de façon à permettre un bon réglage de la vitesse, absolument nécessaire dans le cas des alternateurs.

Le régime futur de l'installation ne pouvant être prévu, on a adopté primitivement deux types de turbines : des turbines Pelton, avec régulateur à servo-moteur hydraulique rapide, et injecteur à orifice circulaire, et des turbines Girard, à injection partielle et régulateur lent. Les premières (fig. 9) ont été fournies par la maison Escher Wyss et C^o, de Zurich, les secondes par la maison Piccard, Pictet et C^o, de Genève. Les premiers mois d'exploitation ayant montré que les variations de charge étaient de peu d'importance, on a complété l'installation avec des turbines Pelton. Les excitatrices sont

également commandées par des turbines du même type. Toutes sont accouplées à leurs machines par un manchon élastique. Les manchons des groupes générateurs sont en acier coulé de façon à leur permettre de résister facilement à la force centrifuge au cas d'emballement.

Les figures 7, 9 et 10 donnent le détail du régulateur et du vannage des turbines principales.

Les conduites d'amenée arrivent aux turbines par le sous-sol ; quant au canal de fuite, il est placé au-dessous de la salle des machines, qu'il traverse dans toute sa longueur avant d'aller se jeter dans le Poschiavino.

ALTERNATEURS. — Les alternateurs triphasés ont été fournis par la *Société d'électricité Alioth* qui s'est également chargé de l'équipement électrique complet de l'usine. Ce sont des alternateurs hétéropolaires à induit fixe, capables de donner, sous une tension de 7.000 volts entre fils, une puissance de 3.000 kilovolt-ampères, à la vitesse de 375 tours par minute, la fréquence étant de 50 périodes par seconde. Les cahiers des charges imposaient une capacité de surcharge de 25 % pendant deux heures, et la faculté de régler la tension aux bornes à + ou - 10 % (soit de 6.300 à 7.700 volts), ils ont donc été construits pour une puissance notablement supérieure à 3.000 kilovolt-ampères.

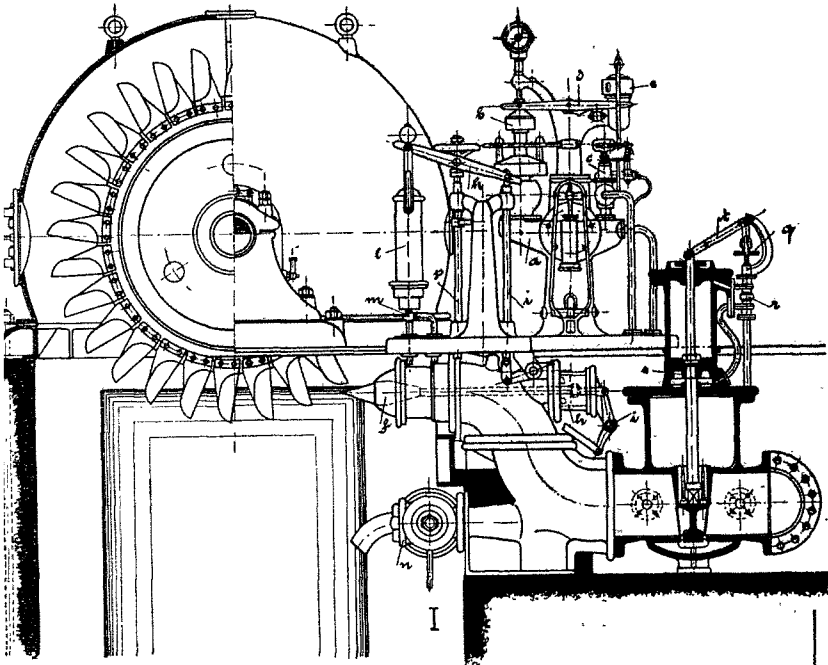


FIG. 9. — TURBINE PELTON
COUPE ET DÉTAILS DU RÉGULATEUR

Ainsi que le montrent les figures 15 et 16, le stator est constitué par une carcasse extérieure en fonte, en deux pièces, renfermant l'induit proprement dit, en deux pièces également, formé par des tôles empilées, serrées entre des joues mobiles fixées à la carcasse, et munies de nombreux canaux de ventilation.

L'enroulement comporte trois encoches par pôle et par phase, soit 144 encoches en tout (l'inducteur portant 16 pôles), contenant chacune un caniveau de mécanite complètement fermé.

Les encoches sont du type semi-fermé (généralement adopté par la *Société Alioth*), ce qui a permis d'employer des pôles massifs ; on sait de plus que les encoches mi-fermées permettent d'obtenir une force électromotrice plus sinusoidale que les encoches complètement ouvertes

L'inducteur, dont le poids total est de 18 tonnes (1) est en acier coulé. La roue polaire et les pôles sont venus de fonte en une seule pièce, et fixés à la presse hydraulique sur l'arbre de la machine. Pour faciliter le refroidissement, chaque pôle est formé de deux pôles juxtaposés faisant face aux deux parties de l'induit. L'enroulement inducteur, constitué par des bandes de cuivre plat enroulé sur champ, est maintenu en place par les pièces polaires vissées.

La force électromotrice est à peu près rigoureusement si-

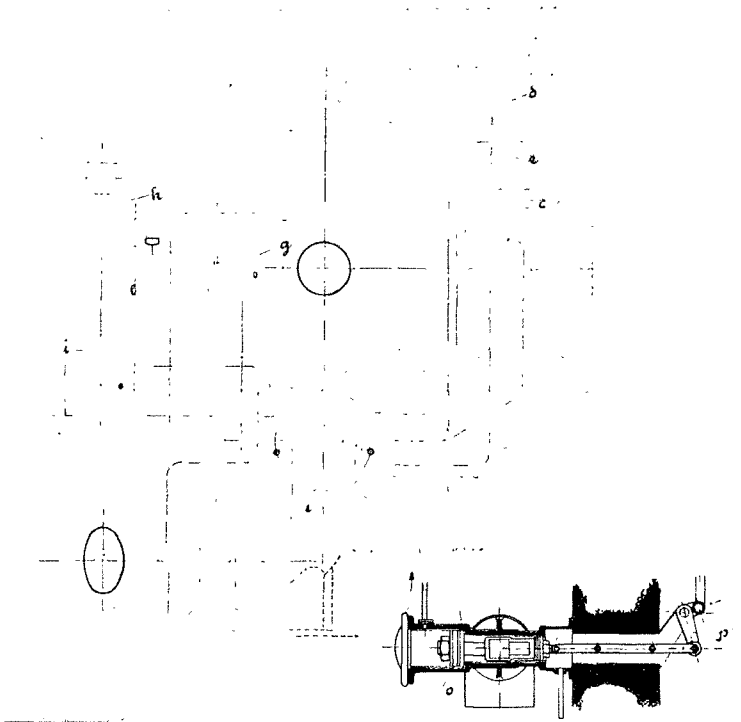


FIG. 10. — TURBINE PELTON : VANNAGE

nusoidale, ainsi que l'ont montré les relevés faits à l'ondographe (fig. 12).

On a prédéterminé l'excitation nécessaire en adoptant pour valeur du facteur de puissance : $\cos \varphi = 0,70$. Ce nombre un peu faible s'explique aisément par ce fait que l'on prévoyait de nombreux petits moteurs asynchrones. Le cahier des charges imposait un certain nombre de garanties :

L'échauffement ne devait pas dépasser 45° centigrades au-dessus de la température ambiante, après 24 heures de marche en pleine charge. Le rendement devait avoir les valeurs suivantes :

Charge.....	1/4	3/4	4/4	5/4
$\cos \varphi = 1...$	93,5 %	95 %	96 %	96,5 %
$\cos \varphi = 0,7.$	92 %	93,5 %	94,5 %	95 %

Toutes ces garanties furent facilement maintenues, et même dépassées. Les figures 13 et 14 représentent les caractéristiques et les courbes de rendement des alternateurs.

EXCITATRICES. — Ce sont des machines shunt, de 150 kilowatts, tournant à la vitesse de 430 tours, et donnant une tension aux bornes de 115 volts. Chacune d'elle peut suffire pour assurer l'excitation de quatre alternateurs surchargés de 25 %, avec un facteur de puissance $\cos \varphi = 0,7$.

TABLEAUX. — Chaque alternateur est pourvu d'un tableau indépendant, placé en face de lui, à faible distance, ce qui a l'avantage de raccourcir les canalisations, d'augmenter la

(1) C'est la pièce la plus lourde à soulever. L'alternateur complet pèse 56 tonnes.

sécurité en évitant l'enchevêtrement qui serait forcément résulté de l'emploi d'un tableau unique pour les douze machines, et de limiter les dégâts matériels à un seul tableau au cas où un accident viendrait à se produire. Chaque électricien de service peut, d'ailleurs, facilement surveiller trois ou quatre machines en temps ordinaire, et n'a besoin d'être devant un tableau qu'au moment de la mise en route ou de l'arrêt d'un groupe.

D'ailleurs, le service de surveillance est centralisé, car une colonne centrale, montée devant le tableau des excitatrices, au milieu de l'usine, permet de contrôler, par l'emploi de

neau, dans un local spécial où passent également les barres omnibus. Tous sont placés dans une cellule cloisonnée, fermée par une devanture métallique, et divisée elle-même en deux cages : celle de droite qui contient les appareils à haute tension, interrupteurs à huile, transformateurs, et celle de gauche destinée aux appareils à basse tension :

L'ensemble du tableau comporte pour chaque alternateur :

Deux voltmètres, avec transformateurs de tension ;

Un voltmètre synchroniseur, avec lampes de phase en parallèle pour le couplage de l'alternateur sur les barres générales ;

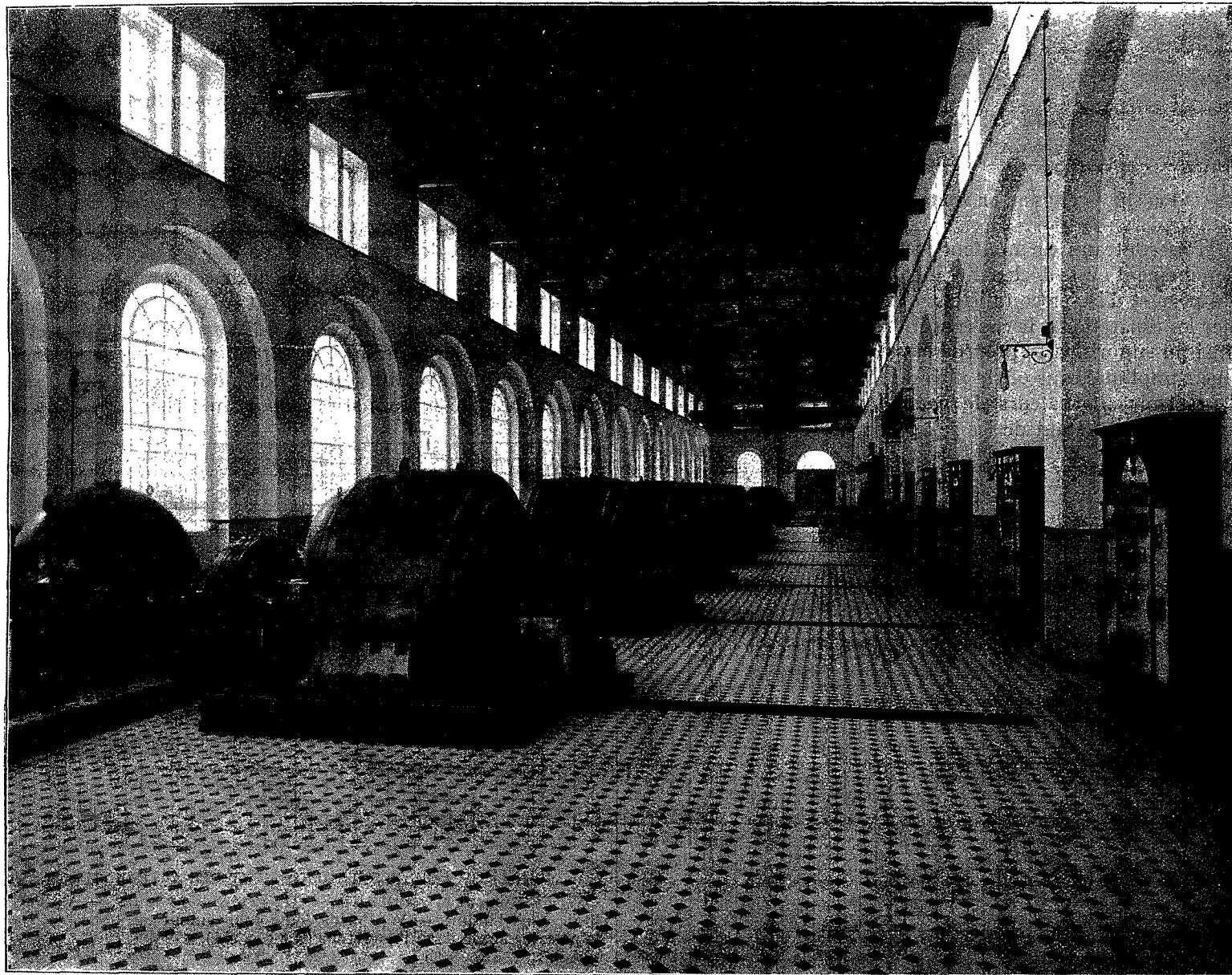


FIG. 11. — VUE DES ALTERNATEURS ET DE LEURS TABLEAUX.

commutateurs convenables, la marche de toute l'installation, de toutes les génératrices, et même de régler la tension de la centrale au moyen d'un volant général d'excitation.

Le tableau de chaque alternateur, représenté schématiquement figure 17, comporte :

1° Un panneau de marbre, dressé verticalement en face de l'alternateur, et portant les appareils de mesure, les lampes de phase, les leviers des interrupteurs, et les volants de manœuvre des rhéostats.

2° Les appareils de transformation, les commutateurs et interrupteurs, les rhéostats qui se trouvent derrière le pan-

Trois ampèremètres avec transformateurs d'intensité, dont un sur chaque phase ;

Un interrupteur tripolaire dans l'huile, actionné par un relai à action différée, mais que l'on peut également manœuvrer à la main ;

Un transformateur d'intensité pour l'ampèremètre de contrôle, placé sur la colonne centrale, et muni d'un commutateur à douze directions ;

Un rhéostat d'excitation ;

Un ampèremètre d'excitation ;

Un déclancheur automatique d'excitation relié à l'inter-

rupteur tripolaire principal de façon à couper le courant inducteur, quand celui-ci fonctionne automatiquement, ce qui supprime tout danger de surtension en cas d'emballément par suppression de charge.

Deux lampes indiquant à distance si les interrupteurs sont ouverts ou non.

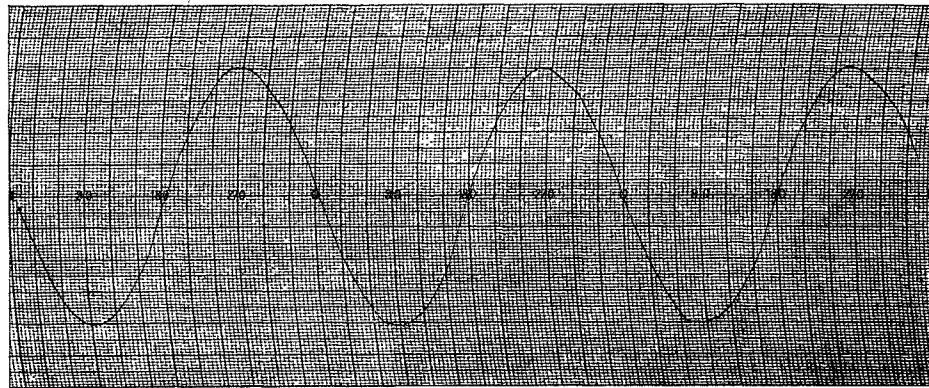


FIG. 12. — COURBE DE FORCE ÉLECTROMOTRICE DES ALTERNATEURS.

Trois couteaux surmontent le tableau et permettent l'encclenchement ou le déclenchement avec les barres omnibus, ce qui permet d'isoler complètement un alternateur, et d'effectuer les réparations, le cas échéant, sans aucun danger. On a ainsi pu supprimer le procédé classique de la boucle, qui est plus compliqué sans offrir plus de sécurité.

Les trois alternateurs de gauche sont surmontés de six couteaux permettant de les relier aux barres omnibus, ou à

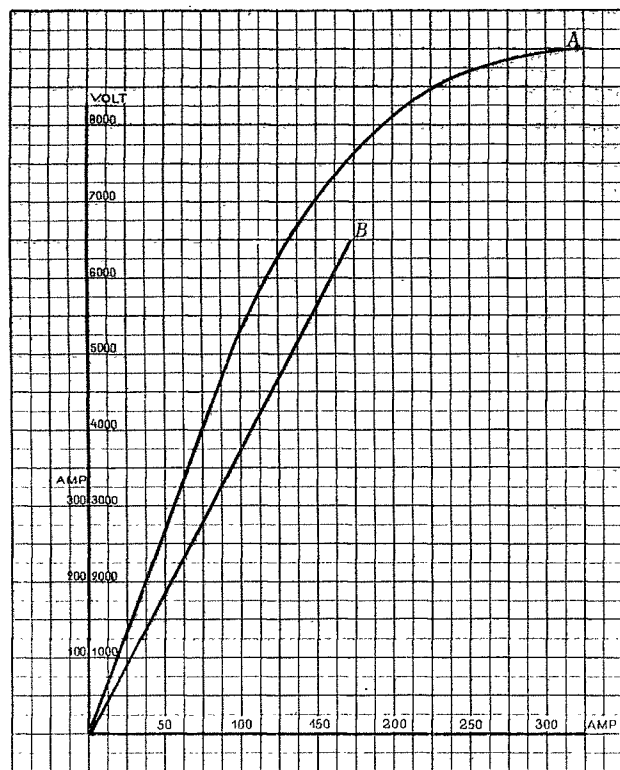


FIG. 13 / A. CARACTÉRISTIQUE A VIDE.
/ B. CARACTÉRISTIQUE EN COURT CIRCUIT.

des barres spéciales destinées à alimenter les communes concessionnaires, ainsi que le chemin de fer électrique de la Bernina. Ces réseaux haute tension étant alimentés à 4.000 volts, les courants pris à la station de Brusio dans ce but sont transformés à 4.000 volts.

Les barres générales placées derrière le tableau sont sim-

ples, toutefois leur section augmente à mesure que l'on se rapproche du centre. Elles sont formées par des barres de cuivre de 50 × 4,5 millimètres. Après chaque alternateur, on ajoute une barre par phase. Elles sont montées sur des isolateurs striés, placés au-dessus des tableaux.

TABEAU DES EXCITATRICES. — Le tableau des excitatrices, situé au milieu de la centrale, comporte pour chaque machine un voltmètre, un ampèremètre, un interrupteur à main, un déclencheur automatique à maxima, et un rhéostat d'excitation.

COLONNE CENTRALE. — La colonne centrale dont nous avons déjà parlé est placée en avant du tableau des excitatrices, et porte un ampèremètre avec commutateur à douze directions, permettant de surveiller le débit de chaque alternateur, — un voltmètre avec commutateur, — deux ampèremètres pour les lignes de départ, — un volant de manœuvre permettant de commander en même temps tous les rhé-

stats de champ des excitatrices, ce qui permet de régler la tension de l'usine depuis le panneau central.

En résumé, les constructeurs ont réalisé avec le maximum de simplicité, les meilleures conditions d'exploitation et de sécurité, tout en assurant une surveillance facile et complète de l'ensemble, et réduisant au minimum les chances d'accident et pour le personnel et pour le matériel.

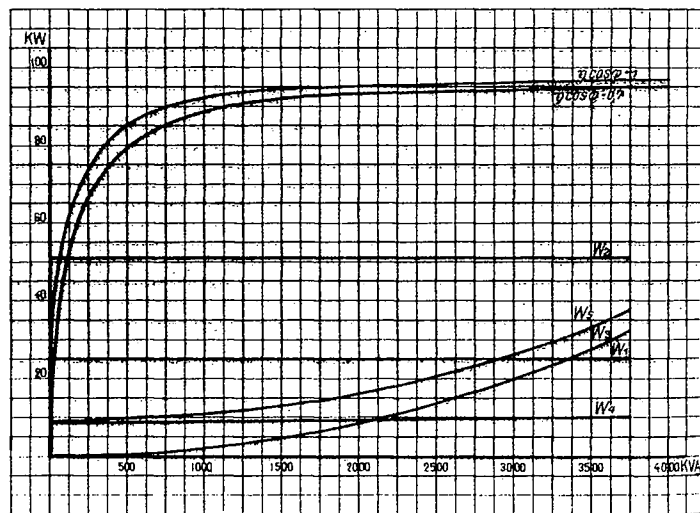


FIG. 14. — COURBES DE RENDEMENT DES ALTERNATEURS.

W_1 Frottement et ventilation. — W_2 Pertes dans le fer. — W_3 Perte Joule dans l'induit. — W_4 Pertes Joule dans l'inducteur ($\cos \varphi = 1$). — W_5 Pertes Joule dans l'inducteur ($\cos \varphi = 0,7$)

LIGNES DE DÉPART. — La Société Lombarde pour la distribution de l'énergie électrique devant, aux termes du contrat passés avec la Société Alioth et la Société Anonyme des forces motrices de Brusio, prendre livraison du courant de l'autre côté de la frontière italo-suisse dans une station de transformation où se trouveraient également les appareils de mesure, il fallait construire, à distance convenable de l'usine génératrice et en Italie, la station transformatrice dans laquelle arriveraient les câbles à 7.000 volts de l'usine de Brusio. L'importance de l'énergie transmise fit adopter deux lignes triphasées et, comme l'étroitesse de la gorge rendait délicate l'installation de deux lignes aériennes, on décida de relier la centrale à la sous-station par un tunnel creusé dans le rocher (fig. 18).

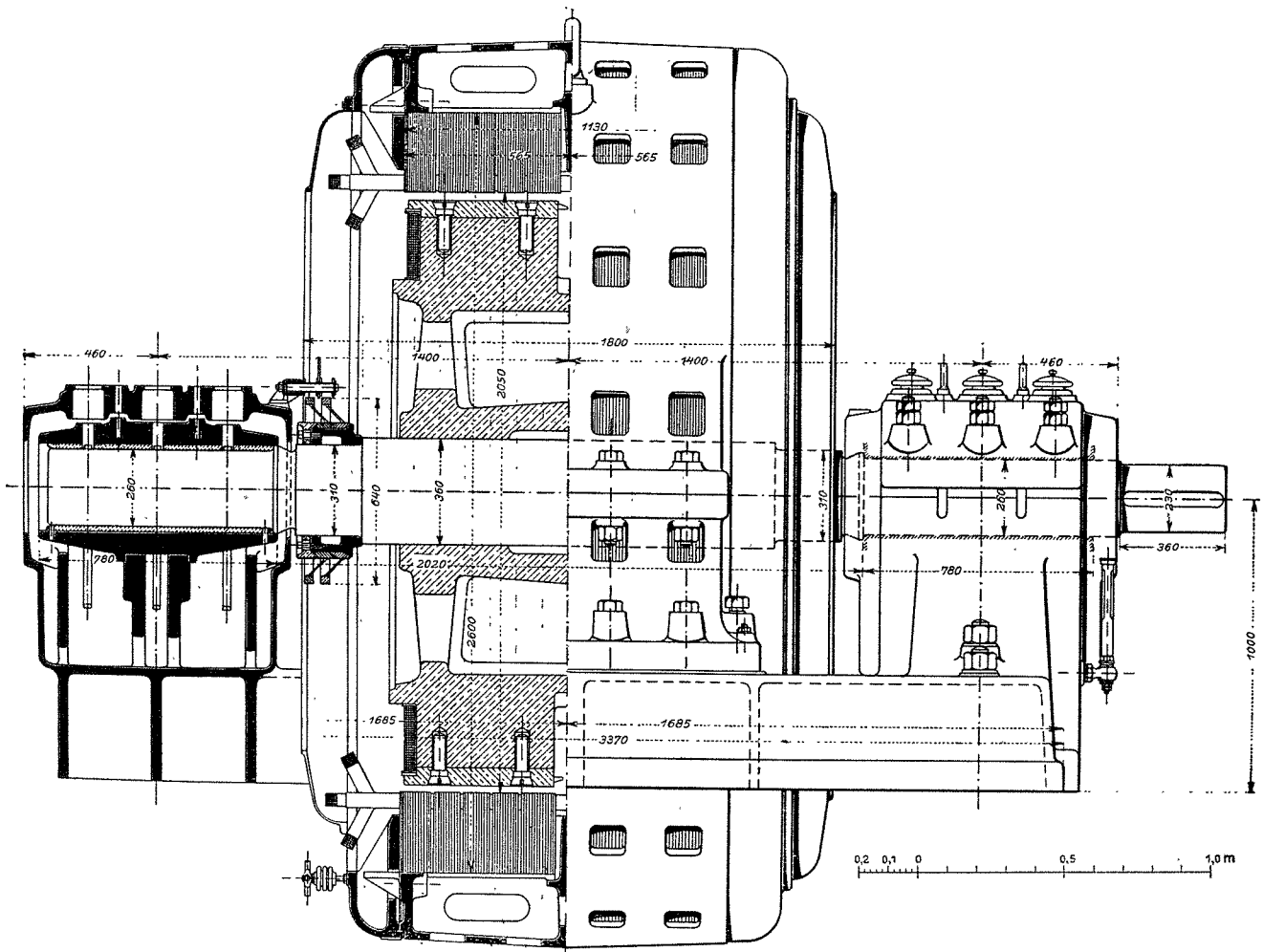
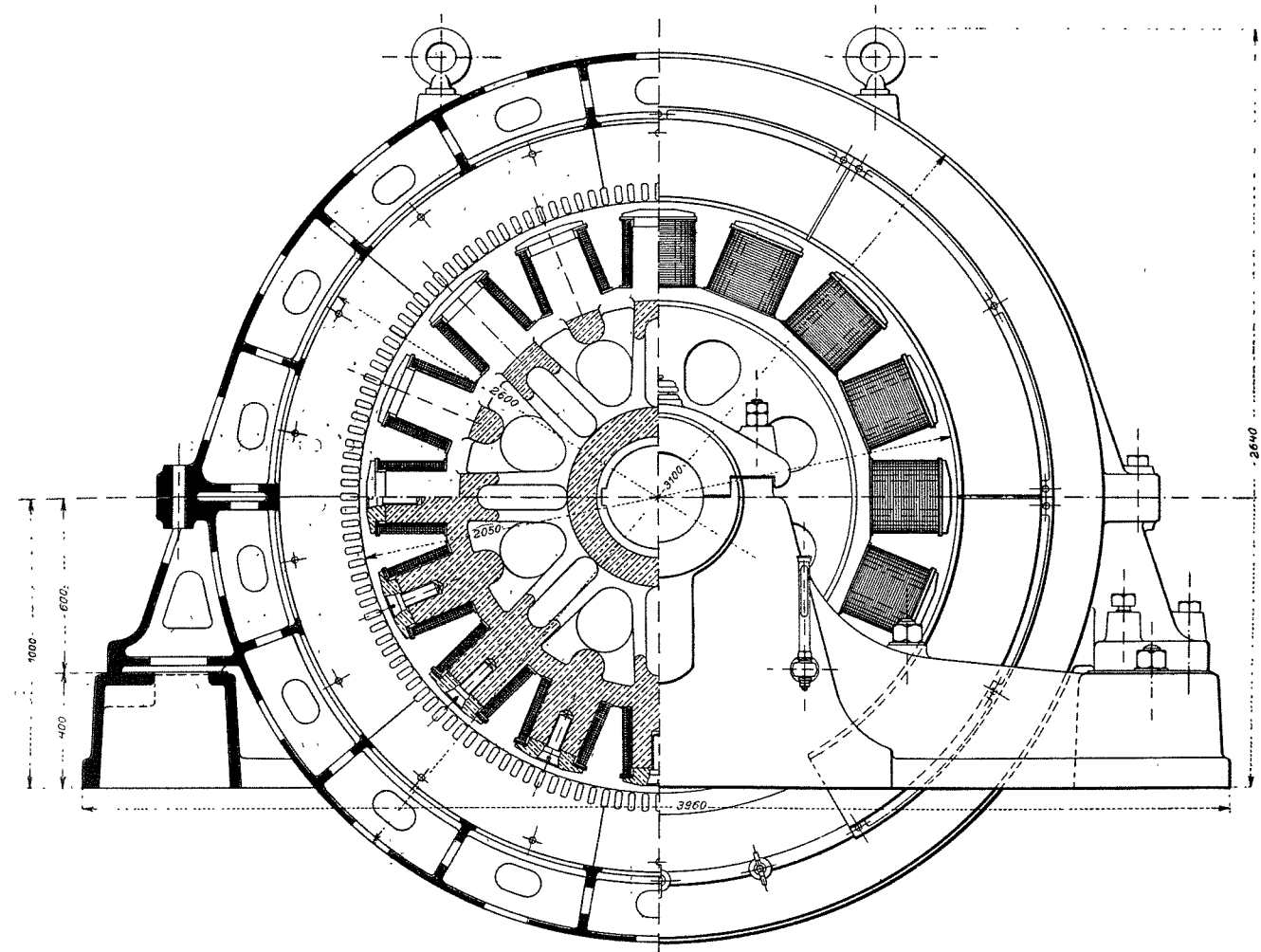


FIG. 15 ET 16. — COUPES-VERTICALES ET ÉLÉVATIONS D'UN ALTERNATEUR TRIPHASÉ DE 3 000 K.V.A

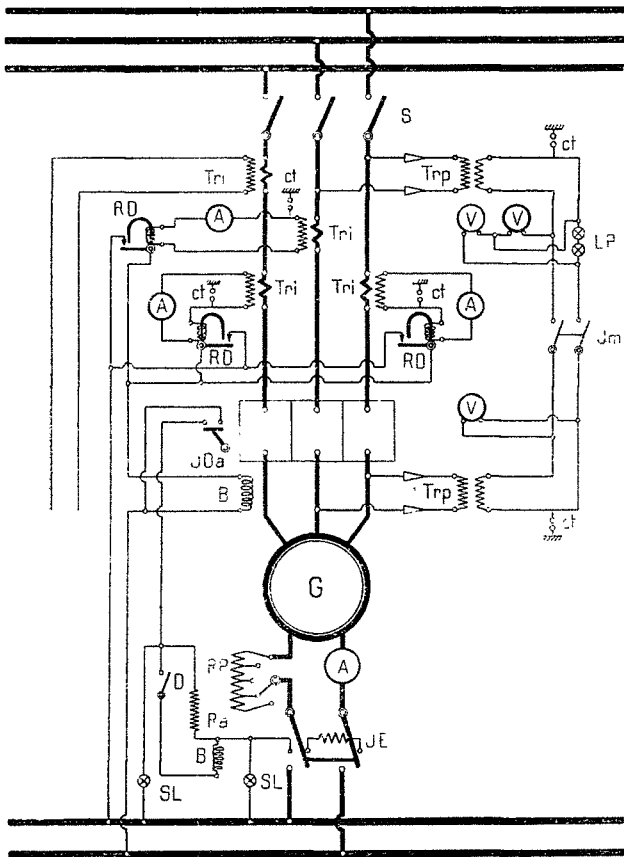


FIG. 17. — SCHÉMA D'UN TABLEAU D'ALTERNATIFUR.

LÉGENDE : A Ampèremètre. — B Bobine de déclanchement. — Ct Limiteur de tension. — G Alternateur. — JE Interrupteur d'extra-courant pour l'excitation. — Jm Interrupteur à main. — JOa Interrupteur automatique dans l'huile. — LP Lampe de phase. — Ra Résistance additionnelle. — RD Relai. — RP Rhéostat de champ principal. — S Couteau séparateur. — SL Lampe signal. — Tri Transformateur d'intensité. — Trp Transformateur de voltage. — V voltmètre.

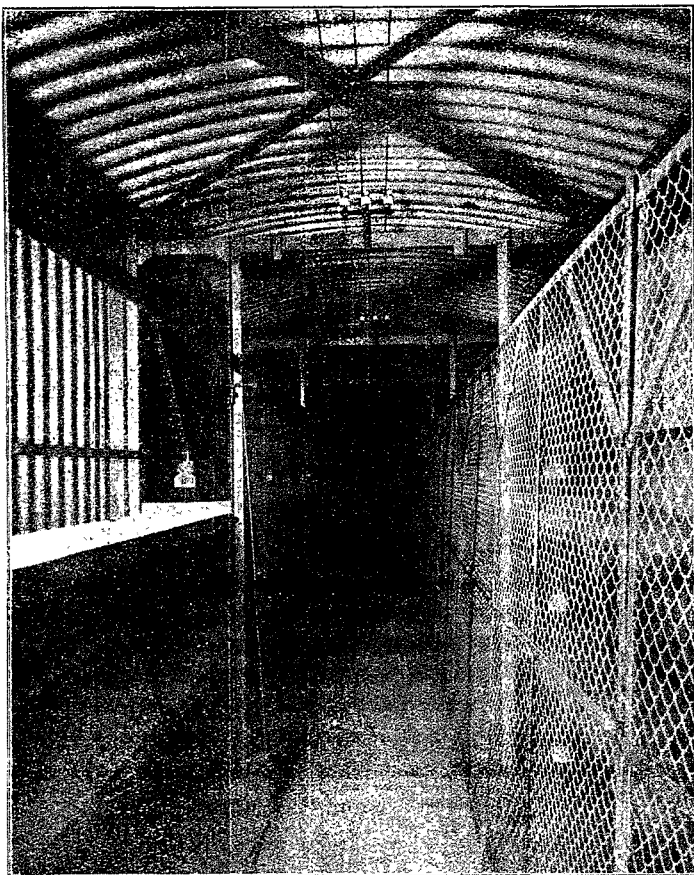


FIG. 18. — INTÉRIEUR DU TUNNEL DES CONDUITES DE DÉPART.

La canalisation, composée de six barres de cuivre de 150 millimètres carrés, part du sous-sol de l'usine, traverse le Poschiavino dans un pont métallique complètement fermé, et pénètre aussitôt après dans le tunnel qui aboutit à la station de transformation de Piattamala.

Le tunnel, d'une longueur totale d'environ cinq cents mètres, n'est pas accessible depuis la Centrale, mais uniquement par une porte située à la frontière. Cette condition fut imposée par la douane qui voulait pouvoir exercer, à tout instant, sa surveillance à l'intérieur même du tunnel. Il a une section constante d'environ 7 mètres carrés, et est revêtu ultérieurement d'une forte couche de béton.

Les six câbles de transmission, formant la continuation des barres omnibus, et constitués comme elles par des barres de cuivre, sont répartis par trois de chaque côté les uns au-dessous des autres, et sont montés sur des isolateurs à triple cloche fixés sur des cloisons horizontales en béton armé. L'humidité qui règne dans ce tunnel imposait un isolement parfait. Enfin, des grillages en fil de fer séparent complètement les conduites du centre du tunnel où l'on peut circuler librement et sans danger.

Georges FERROUX,

Charge de Conférences

à l'Institut Electrotechnique de Grenoble.

(A suivre.)

ACADÉMIE DES SCIENCES

MÉCANIQUE ET ÉLECTRICITÉ

Sur les propriétés électriques des alliages aluminium-cuivre, par M. W. BRONIEWSKI. Séance du 15 novembre 1909.

Les propriétés électriques des alliages aluminium-cuivre n'ont été étudiées que dans les limites très restreintes, ne dépassant pas une addition de 12 % d'un métal dans l'autre. La grande fragilité des portions moyennes en a été probablement la cause.

J'ai étudié la conductivité spécifique, le coefficient de température de la résistance, le pouvoir thermo-électrique et la force électromotrice de dissolution de la série complète des alliages, ce qui permet de définir leur constitution.

Les alliages étaient fondus sous une couche de chlorure de sodium et de potassium, et coulés en barres de 12 à 15 cm. de long et de 5 mm. de diamètre. Leur résistance électrique fut mesurée par un pont de Thomson à 0° et 100°. La force thermo-électrique était prise par rapport au cuivre entre 0° et + 100° et entre 0° et - 80°.

La force électromotrice de dissolution fut prise dans une solution saturée de chlorure d'ammonium par rapport à une électrode en charbon dépolarisée par du bioxyde de manganèse. La force électromotrice de dissolution variant assez sensiblement, sa valeur maxima et sa valeur limite furent notées.

La conductivité (fig. 1) y est prise comme inverse de la résistance spécifique en microhms-centimètres ; le coefficient de température (fig. 2) exprime la variation de la résistance de 0° à 100° ; la force électromotrice de dissolution (fig. 3) est donnée en volts et le pouvoir thermo-électrique calculé pour 0° est exprimé en microvolts.

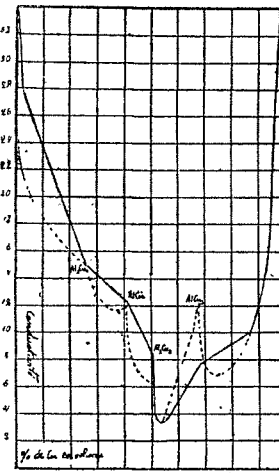


Fig. 1. — Conductivité.