

Auteur ou collectivité : Pacoret, Etienne

Auteur : Pacoret, Etienne

Titre : La technique de la houille blanche. Usines hydroélectriques. Transport de l'énergie électrique. Electrometallurgie - Electrochimie.

Auteur : Pacoret, Etienne

Titre du volume : La technique de la houille blanche. Usines hydroélectriques. Transport de l'énergie électr...

Adresse : Paris : H. Dunod et E. Pinat, 1920

Collation : VI-1662 p. : pl. et fig. ; 24 cm

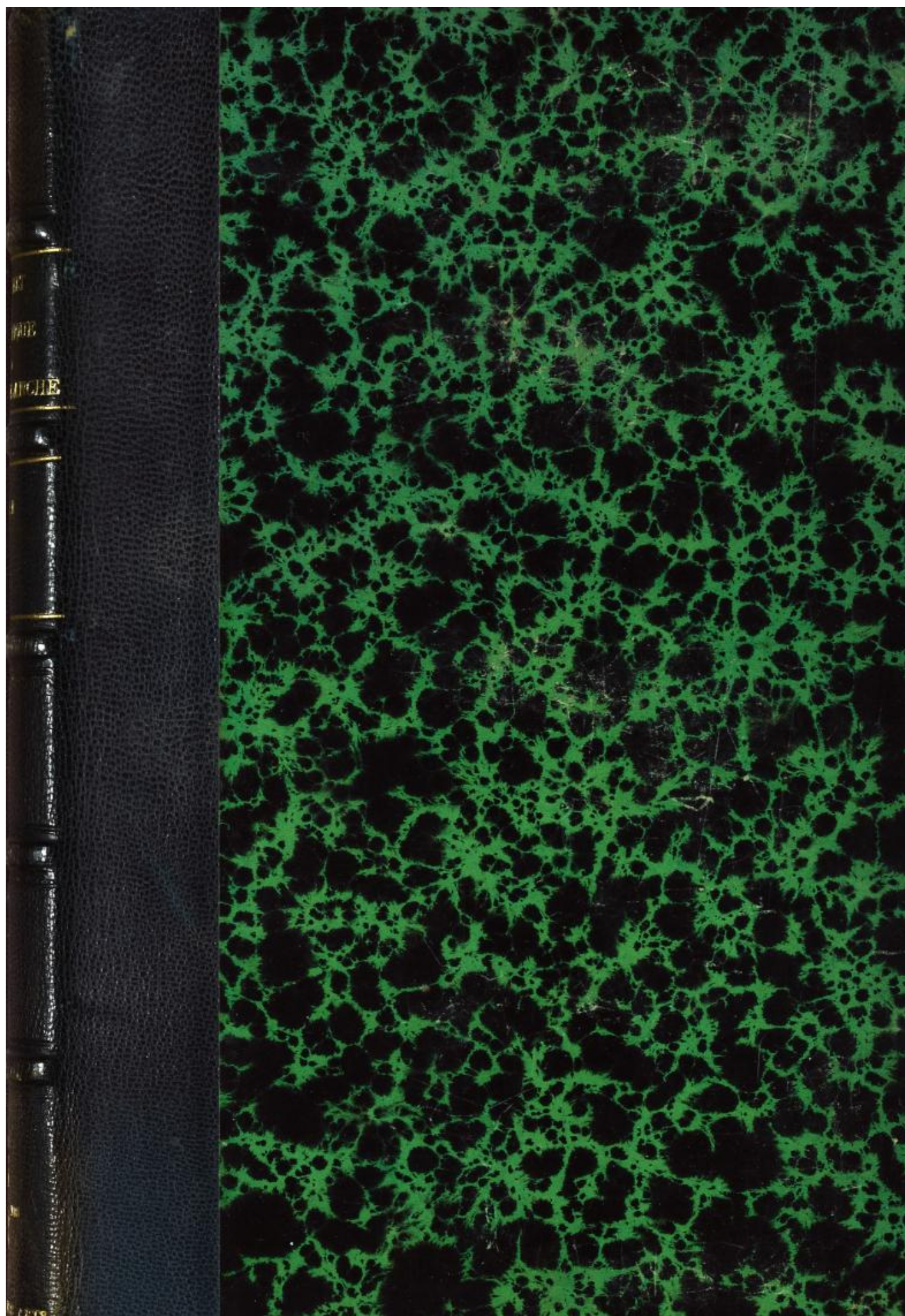
Cote : CNAM-BIB 8 Di 68 II (2)

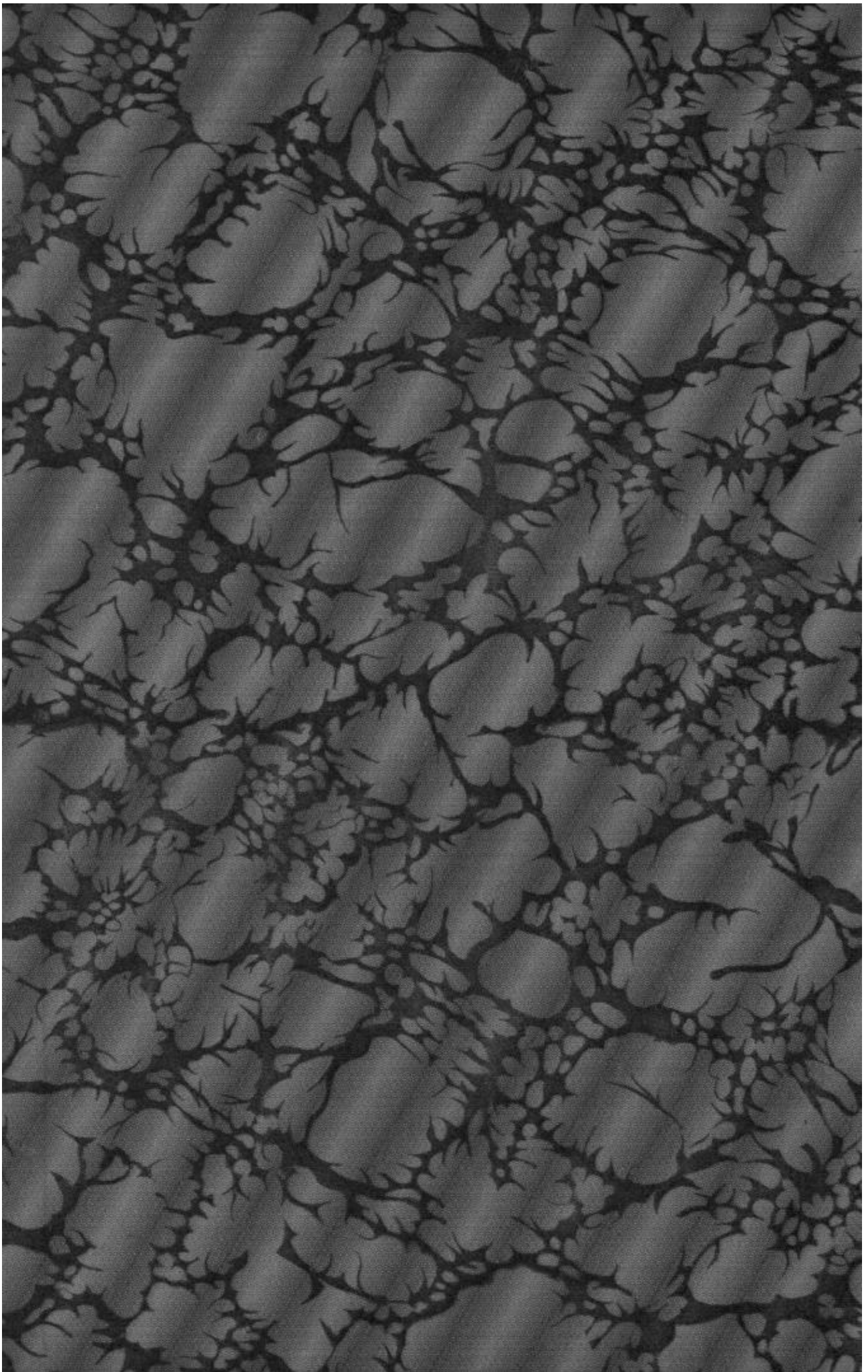
Sujet(s) : Centrales hydroélectriques

Date de mise en ligne : 08/11/2016

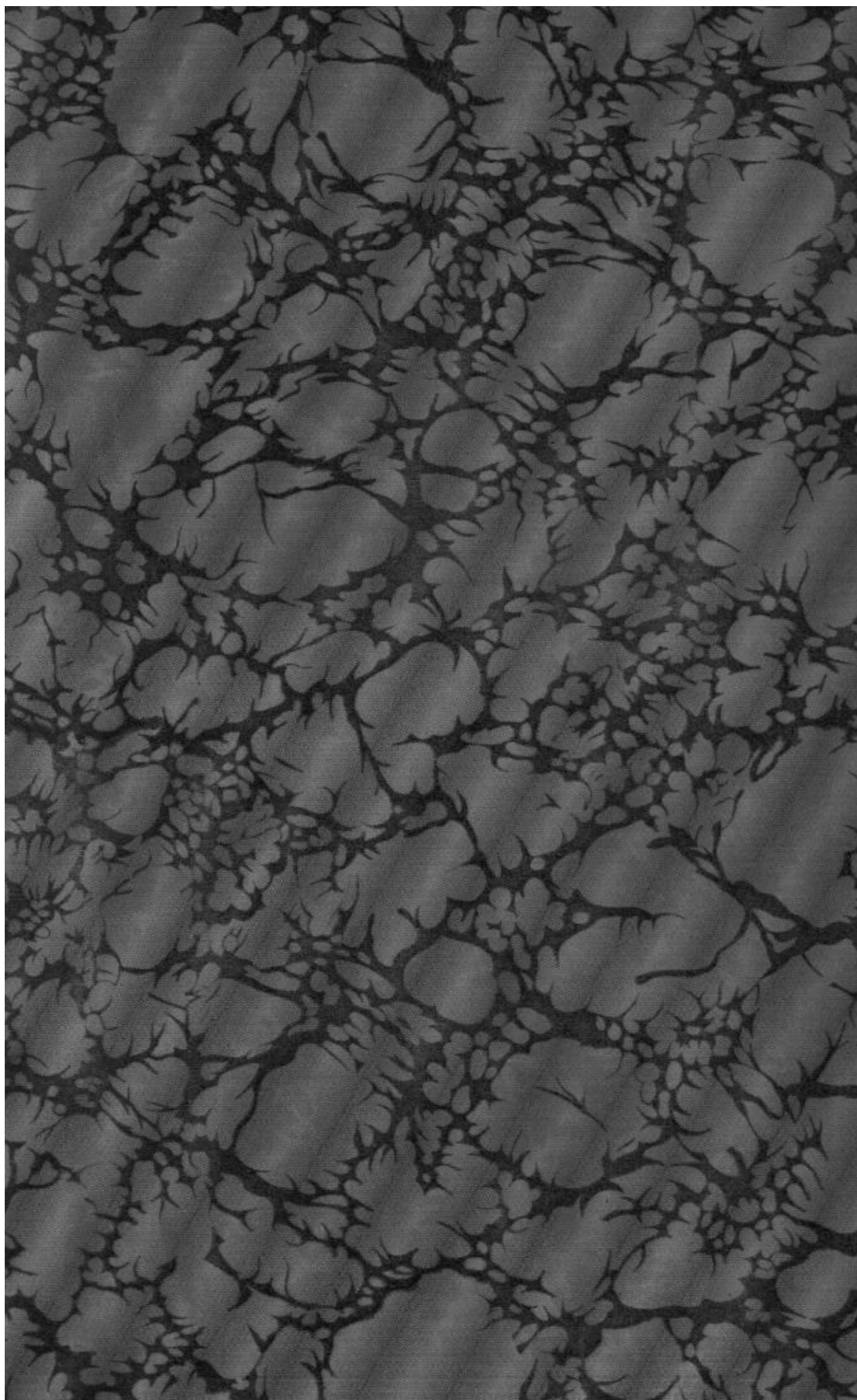
Langue : Français

URL permanente : <http://cnum.cnam.fr/redir?8DI68II.2>

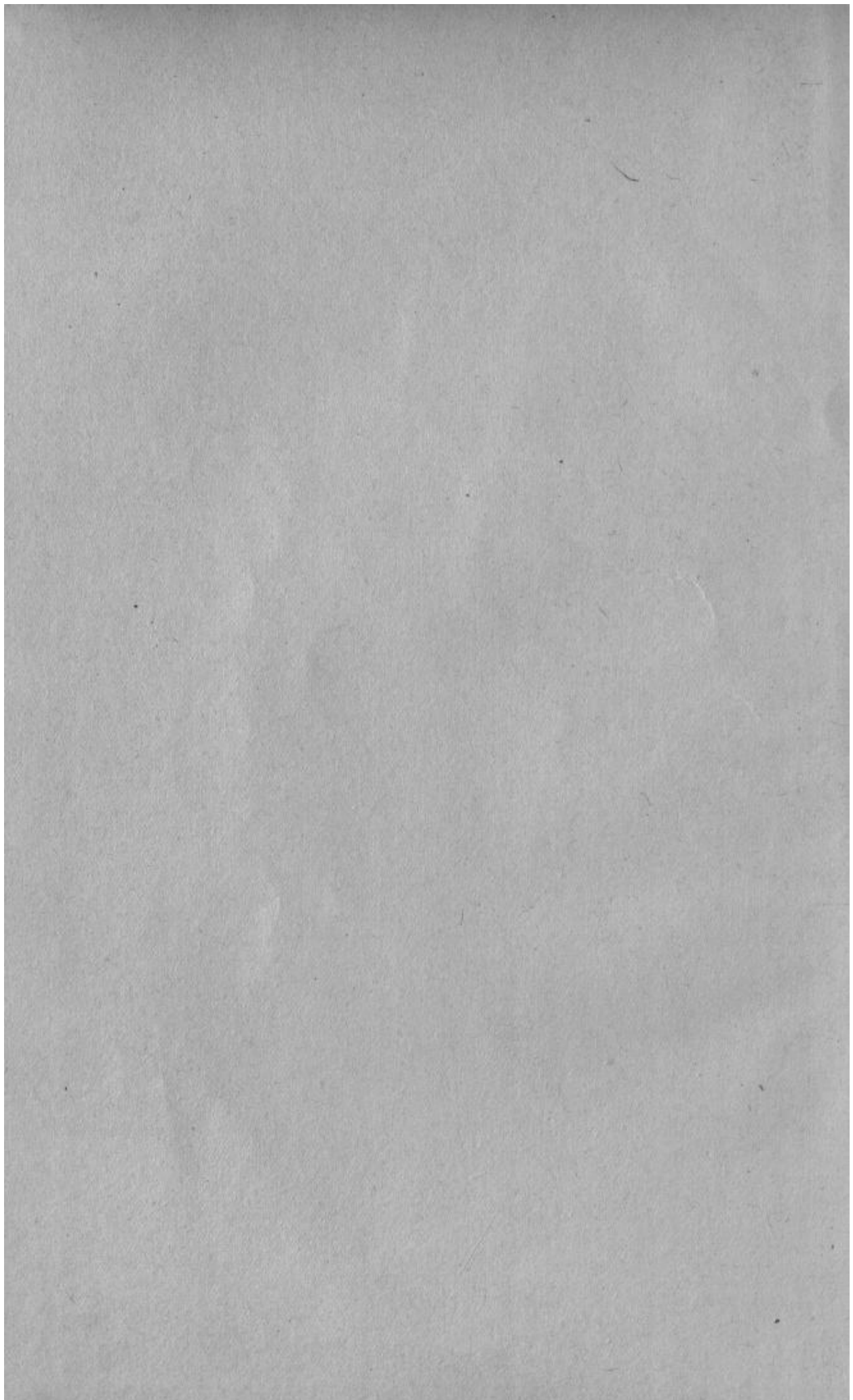




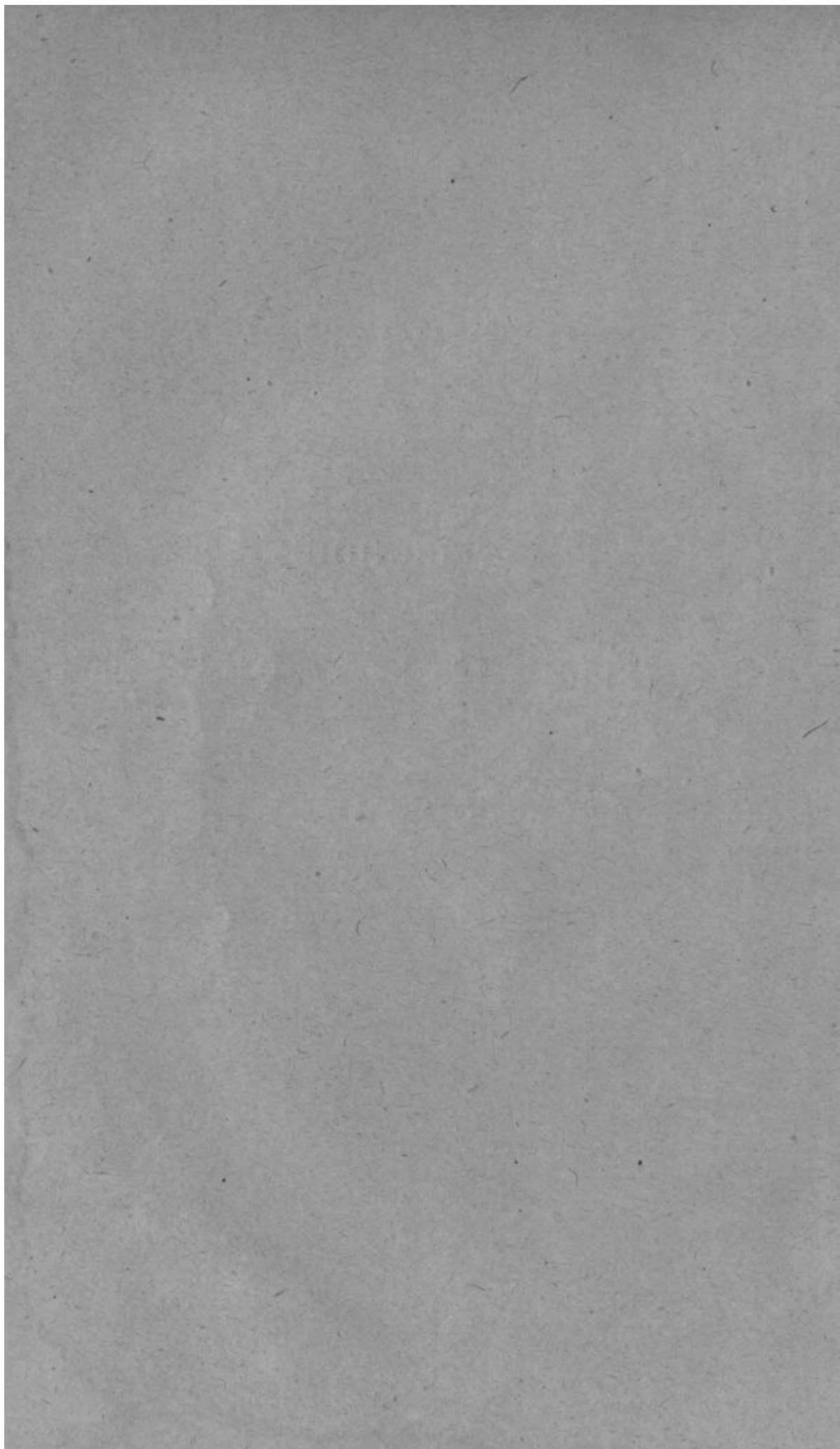
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



LA TECHNIQUE
DE LA
HOUILLE BLANCHE
—
TOME II



8^e Di. 68

80 Di 68⁽²⁾

LA TECHNIQUE

DE LA

HOUILLE BLANCHE

USINES HYDROÉLECTRIQUES

TRANSPORT DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

ÉLECTROMÉTALLURGIE — ÉLECTROCHIMIE

TOME II

DESCRIPTIONS ET ÉTUDES D'USINES HYDROÉLECTRIQUES

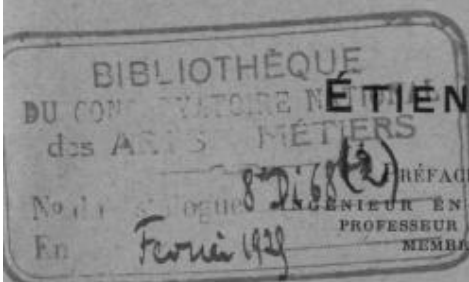
AMÉNAGÉES OU PROJETÉES

FRANCE

ITALIE — NORVÈGE — SUÈDE — DANEMARCK
SUISSE — ESPAGNE — ANGLETERRE — RUSSIE
ALLEMAGNE — AUTRICHE-HONGRIE
ÉTATS-UNIS — MEXIQUE — CANADA — BRÉSIL
PÉROU — CHINE — JAPON — AUSTRALIE
AFRIQUE

OUVRAGE COORONNÉ PAR LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE
PAR LA SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE D'AMIENS ET PAR LA SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DE ROUEN

PAR



ÉTIENNE PACORET

INGÉNIEUR CIVIL

PRÉFACE DE M. A. BLONDEL

INGÉNIEUR EN CHEF DES PONTS ET CHAUSSEES
PROFESSEUR A L'ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSEES
MEMBRE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES



TROISIÈME ÉDITION COMPLÈTEMENT REFOUDUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE

DUNOD, ÉDITEUR

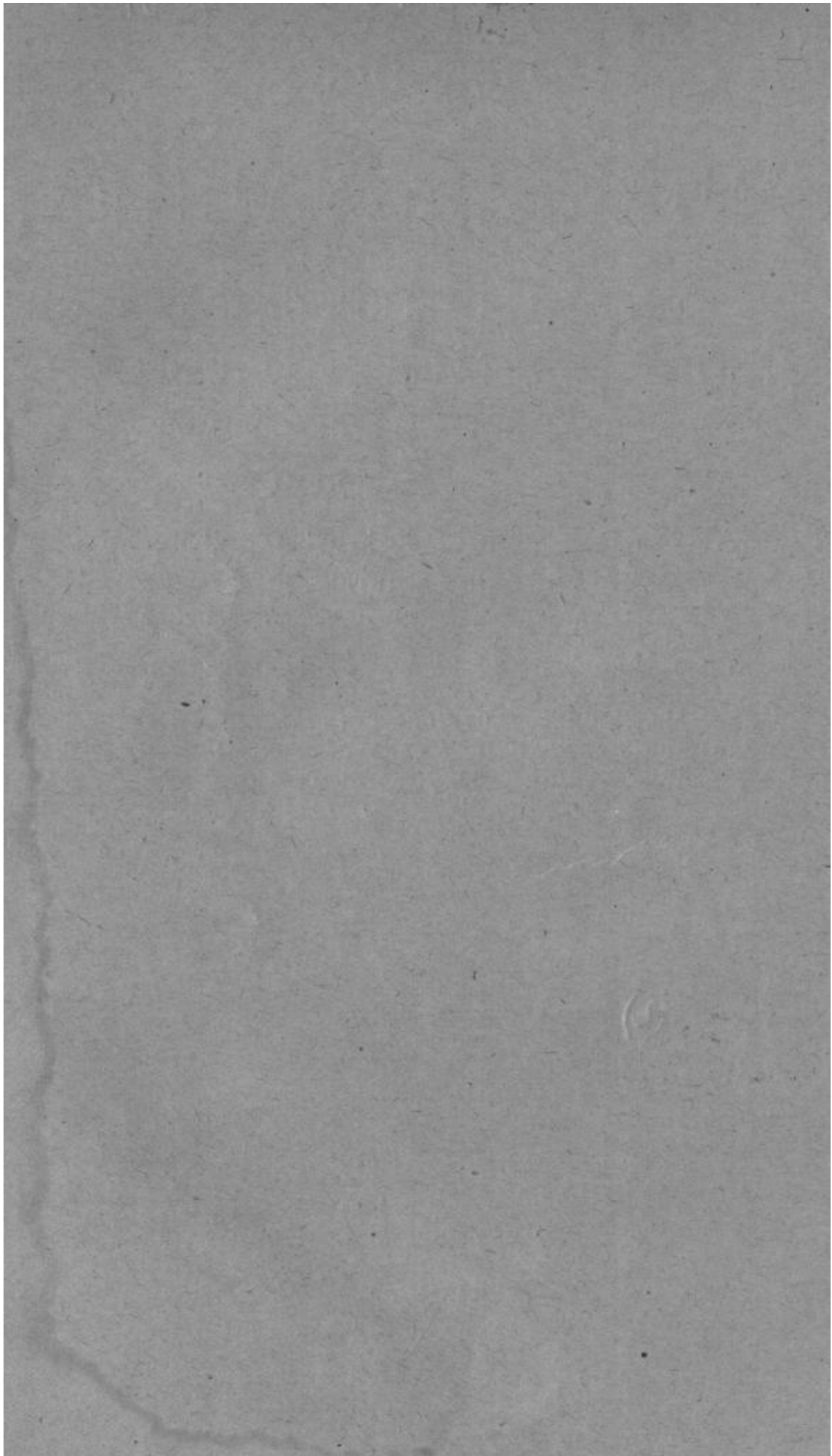
Successeur de H. DUNOD et E. PINAT

47 ET 49, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS

PARIS

1920

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés pour tous pays.



PRÉFACE

Par suite d'un malentendu, la préface que j'ai écrite pour le premier volume du bel ouvrage de M. Pacoret et qui avait été remise à la fin de décembre 1918, a été tirée sans que j'aie pu relire les épreuves⁽¹⁾; si je l'avais fait, j'aurais eu plaisir à signaler quelques publications nouvelles venues à ma connaissance dans l'intervalle et les importants projets de loi qui ont abouti récemment, et qui sont une des meilleures œuvres du Parlement.

Je tiens à réparer, au moins en partie, ces lacunes involontaires en indiquant tout l'intérêt que présente pour les sujets traités l'article si compétent et si documenté consacré (dans le *Génie civil* des 8, 15 et 25 octobre 1918) à l'aménagement des chutes d'eau en France pendant la guerre, par M. Tribot-Laspière, et la remarquable étude présentée à la Société d'encouragement pour l'Industrie nationale (dans son bulletin de décembre 1918) par M. V. Sabouret, sur l'électrification partielle d'un grand réseau de chemin de fer, et les résultats publiés par M. Mauduit de l'importante mission envoyée aux États-Unis. pour l'étude de l'électrification des chemins de fer par M. le ministre des Travaux publics.

J'aurais voulu également rendre hommage aux hautes initiatives de MM. Claveille et Loucheur, les deux ministres *techniciens* qui ont fait faire un grand pas en avant à la mise en œuvre de nos forces hydrauliques et au problème plus complexe de l'utilisation totale du Rhône; c'est aux études qu'ils ont fait faire, aux comités qu'ils ont constitués, et aux remarquables projets

⁽¹⁾ Pour ce motif, il est resté dans le texte quelques petites erreurs typographiques ou de style, peu importantes, dont je décline la responsabilité, et que les lecteurs auront eux-mêmes facilement corrigées.

de loi qu'ils ont présentés et défendus devant le Parlement, que l'on peut attribuer pour une large part le vote de ces deux projets par les Chambres avant la fin de la dernière législature.

Un vaste programme de travaux se trouve ainsi dressé, avec des plans financiers répondant, en partie, aux desiderata que j'avais suggérés dans la préface précitée.

Il reste maintenant à *réaliser* ce programme, c'est-à-dire à obtenir de l'épargne publique les nombreux milliards nécessaires, à appeler en France la main-d'œuvre suffisante pour que l'exécution puisse être menée rapidement et sans frais excessifs, à créer aux environs des chutes d'eau la clientèle industrielle nécessaire pour absorber à des prix rémunérateurs les énormes quantités d'énergie électrique que l'on veut jeter sur le marché, à donner enfin aux Compagnies de chemins de fer que l'on veut électrifier les moyens financiers, nécessaires pour entreprendre les coûteuses installations et le matériel roulant exigé pour cette transformation.

Nous aimons à espérer que notre pays conservera ou trouvera les hommes qui lui sont nécessaires pour mener à bien toute cette grande tâche. Elle eût peut-être été facilitée si l'on eût fait un plus pressant appel aux Sociétés privées ⁽¹⁾ et à l'esprit d'entreprise par l'attrait de bénéfices spéculatifs que les lois récentes réduisent malheureusement au minimum. La préoccupation, bien légitime en soi, de réserver à la communauté la plus grande partie du bénéfice des richesses nationales, ne doit pas faire perdre de vue que l'intérêt national est également engagé dans la prompte exécution des entreprises et dans le développement de l'esprit d'initiative individuelle. J'ai dit d'autre part, précédemment, ce que je pense de l'opportunité qu'il y aurait à importer en France non pas des machines étrangères, mais du capital américain, et à mettre en mesure nos amis d'outre-Atlantique d'expérimenter par eux-mêmes ce que peuvent donner leurs méthodes industrielles ou financières dans notre pays pour que cette expérience profite aussi bien à nous qu'à eux-mêmes.

André BLONDEL

de l'Académie des Sciences.

(1) Les entreprises de trop grande envergure ne sont pas toujours celles qui aboutissent le plus rapidement et le plus sûrement, surtout en France.

TOME II

TABLEAU SYNOPTIQUE

DES USINES HYDROÉLECTRIQUES

DÉCRITES DANS CE VOLUME

TABLEAU SYNOPTIQUE DES DÉCRITES DANS

USINES HYDROÉLECTRIQUES CE VOLUME

NUMÉROS des paragraphe	DÉSIGNATION DES USINES	NATIONALITÉ	HAUTEUR DE CHUTE	PUISANCE MAXIMA DE L'USINE	GÉNÉRE DE TURBINES
295	Mazarin (Ardennes).....	France	Mètres 3	HP 360	Centrifète à axe vertical
296	Poses (Eure).....	—	4	30	Fontaine
297	Rheinfelden	Allemagne	4,30	32.000	Francis double
298	Chievers	Suisse	4,50 à 8	15.000	Centrifète à 3 étages
299	Bréme.....	Allemagne	5	12.000	Francis radiale
300	Angst et Wilhem	Suisse	6	60.000	Francis quadruple
301	Bezanon.....	Allemagne	6	15.000	Centrifète à 3 étages
302	Hegnack	—	5,8 à 7,30	6.700	Centrifète à 4 couronnes
303	Hautfort	Etats-Unis	6,30	20.000	Francis triple
304	Tuilère (Dordogne).....	France	8 à 12	20.000	Francis double
305	Uppemborn.....	Bavière	8,50	5.600	Francis jumelle
306	Wangen.....	Suisse	8,80	10.550	Francis double
307	Canal Guhlari.....	Italie	10	10.000	Francis double
308	Jonage (Rhône).....	France	11	20.000	Centrifète à 3 étages
309	Station de Chicago.....	Amérique	11	20.000	Mac-Cornick
—	Winnipeg (Canada).....	—	12,20	20.000	d*
—	Callerville	—	11	—	Centrifète double
—	Mac Call Perry	—	13,80	120.000	Francis
—	Taylor's Falls.....	—	17	13.000	Francis double
310	Keebuck	Etats Unis	11	300.000	Francis double
311	Cook.....	Michigan	12	11.000	Francis double
312	Albi et Rungtalen.....	Suède	15,83 et 22	15.000	Francis
313	Ael Karlshy.....	Suède	16,50	43.000	Francis quadruple
314	Pont de Claux (Isère).....	France	17	20.000	Francis double
315	Saint-Felix (Savoie).....	—	18	8.000	d*
316	Vinca Pyrenes Orientales)	—	18	1.000	Centrifète
317	Saut-Mortier (Jura).....	—	18,40	7.000	Centrifète double
318	Pier (Haute-Savoie).....	—	18,50	2.000	d*
319	Kikkelsrud.....	Norvège	19	15.000	Francis
320	Usines Littoral Médit.....	France	Divers	Divers	Divers
321	Guispang	France	20,50	16.500	Francis double
322	Entraygues (Var).....	Suède	20,35	3.000	d*
323	Great Falls	Amérique	22	33.000	d*

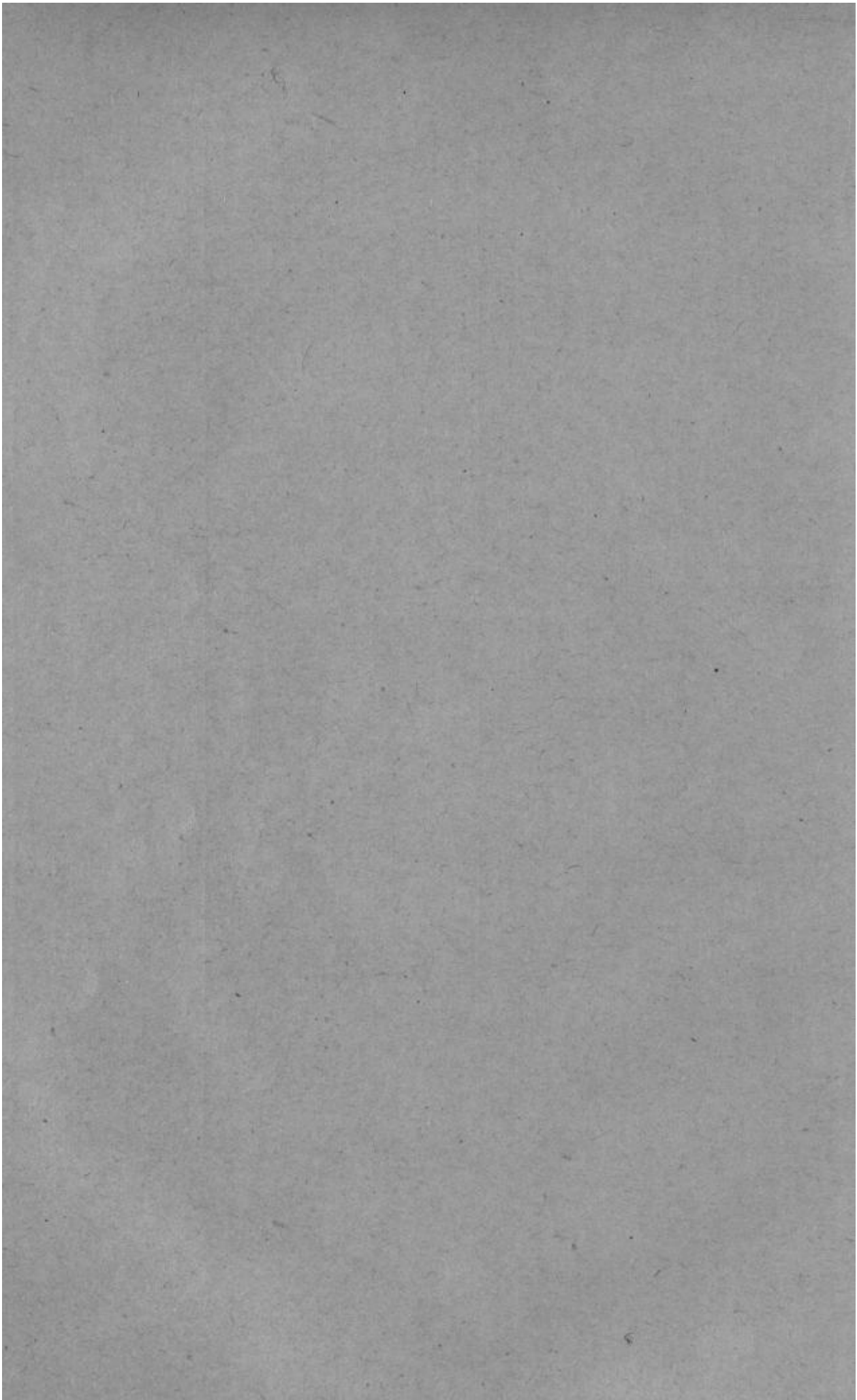
COURS D'EAU	NATURE DU COURANT ÉLECTRIQUE ET DÉMONTAGE	TENSION A L'USINE	NATURE DE L'INDUSTRIE	OBSERVATIONS
Meuse	Triphasé 50 P	Volts 2.100	Métallurgie	
Seine	Continu	110	Eclairage	
Rhin	Continu	140	Electrochimie	
Rhône	Triphasé	6.800	Transport d'énergie électrique	
Weser	Mono-diphasé 45 P	2.750	Distribution d'énergie	
Rhin	Triphasé 50 P	7.000	Electrochimie et Eclairage	
Aar	50 P	7.000	Electrochimie et Transport	
Aar	50 P	8.000	Transport à 37.000 volts	
Aar	40 P	8.000	Transport d'énergie électrique	
Prieto Rapids	60 P	2.200	Transport à 22.000 volts	
Dordogne	50 P	3.500	Transport à 35.000 volts	
Isar	50 P	5.000	50.000 —	
Aar	50 P	11.000	25.000 —	
Adige	42 P	3.300	40.000 —	
Ebroe	60 P	3.500	Distribution d'énergie électrique	
Canal	50 P	6.600	Transport à 44.000 volts	
Winnipeg	60 P	2.300	60.000 —	
Susquehanna	25 P	2.300	16.500 —	
St-Croix-River	25 P	11.000	Distribution d'énergie électrique	
Mississipi	60 P	2.200	Transport à 50.000 volts	
Au Sable	25 P	11.000	Electrochimie	
Ljungan	25 P	10.000	Electrometallurgie	
Dalalf	Monophasé	2.000	»	
Drac	Continu	2.230	Transport à 70.000 volts	
Arc	Triphasé 50 P	11.000	Transport à 8.700 volts	
Tet	50 P	»	Transport à 8.500 volts	
Ain	50 P	8.300	Transport à 26.000 volts	
Pier	Triphasé 50 P	210	Distribution à 50.000 volts	
Gloemen	50 P	5.000	Transport à 50.000 volts	
Divers	Divers	Divers	Divers	
Lac Skogen	Triphasé 50 P	11.000	Transport à 70.000 volts	
Argens	25 P	3.500	30.000 —	
Catania	60 P	2.200	44.000 —	

NUMÉROS des paragrapbes	DÉSIGNATION DES USINES	NATIONALITÉ	HAUTEUR DE CHUTE	PUISSANCE MAXIMA DE L'USINE	GENRE DE TURBINES
			Mètres	HP	
324	Avignonet (Isère).....	France	23	10.000	Centripète double
325	La Brillanne (Bas.-Alpes)...	—	23,50	15.000	Francis double
326	Queille (Puy-de-Dôme)....	—	25	6.000	d°
327	Marklissa (Silésie).....	Allemagne	26	3.500	Francis
328	Teillet Argenty (Cher).....	France	26,44	10.000	Francis
329	Tre Monte et Piano d'Orte.	Italie	27 et 71	30.000	Francis double
330	Vizzola.....	—	28	20.000	d°
331	Sauviat.....	France	29	3.500	Francis
332	Paderno et Brembo.....	Italie	30	15.000	Francis jumelée
333	Valteline.....	—	30	7.000	Francis
334	Saint-Maurice.....	Suisse	32	10.000	d°
335	Trollhåtan.....	Suède	32	40.000	Francis jumelée
336	La Vézère (Limoges).....	France	43	4.000	
337	Massaboden (Suisse).....	Suisse	43,20	9.000	Francis double
338	Truscas (Hérault).....	France	48	3.300	Francis
338 bis	La Praz (Savoie).....	—	38 et 78	13.270	d°
339	Niagara.....	Amérique	48 et 63	600.000	Francis double (12.000 HP)
	Ontario Power Co.....	Amérique	53,40	184.000	Francis jumelée
340	Eymoutiers (H.-Vienne)...	France	50	3.000	Francis aspiration
341	Ventavon (Basses-Alpes)...	—	50	40.000	Francis double
342	Swalgfos.....	Norvège	50	50.000	
343	Brigue.....	France	55	2.500	Pelton
344	Porjus (Suède).....	Suède	57	125.000	Francis double
345	Ponsonnas (Isère).....	France	52	15.000	
346	Canadian Niagara.....	Amérique	51	»	Francis double
347	Cellina.....	Italie	57,50	25.000	Francis centripète
348	Séchilienne (Isère).....	France	58,80	8.000	Francis
349	Livet (Isère).....	—	60	35.000	Girard à libre déviation
350	Le Refrain (Doubs).....	—	60	11.500	Francis spirale
351	Bucay.....	Etat équateur	60	6.500	Francis horizontale
352	Mordane (Ardèche).....	France	60	4.800	Francis double
353	La Kander.....	Suisse	64	10.000	Girard à injection partielle
354	La Pomblière (Savoie).....	France	65,90	6.000	Turbines à réaction
355	Molinar.....	Espagne	66	5.000	Francis jumelle
356	Saint-Jean-de-Maurienne (Savoie).....	France	66,35	22.000	Centripète à réaction
357	Genissiat (Ain). Projet....	—	69	150.000	Turbine double
358	Giffre (Haute-Savoie).....	—	71	11.500	Centripète
359	Subiaco.....	Italie	75	6.300	Francis centripète
360	Ulu Guroh.....	Malaisie	100	»	Pelton
361	Jajce (Bosnie).....	Autriche	80	10.000	Francis à réaction
362	Trenton-Falls.....	Amérique	80	23.000	Centrifuge Fourneyron
363	La Vallée d'Areuse.....	Suisse	32, 60, 63 et 97	383, 588, 1.315 et 270	Divers
364	Fersina et Sarca.....	Italie	88	5.000	Girard et Francis jumelle
365	Thuisis (Grisons).....	Suisse	90	7.500	Girard et Francis
366	Kubel.....	—	100	10.000	Francis
367	Banca (Basses-Pyrénées)...	France	100	4.000	Francis
368	Ruezbach (Autriche).....	Autriche	92	6.000	Pelton
369	Heimbach.....	Allemagne	96,50	8.000	Francis
370	Pescara.....	Italie	99	11.000	d°
371	Saint-Georges (Aude).....	France	101,40	6.000	Pelton
372	Bournillon (Isère).....	—	102	3.500	Pelton à libre déviation
373	Hofenfurt (Bohême).....	Autriche	103	7.500	Francis
374	Chutes du Zambèze.....	Afrique	106	30.000	
375	Madières (Hérault).....	France	107	5.000	Turbine à réact.-aspirat.
376	Darfo.....	Italie	117	10.000	
377	Calypso (Savoie).....	France	135	4.500	Centrifuge, libre déviation
378	Gaucin.....	Espagne	137	4.700	Pelton

COURS D'EAU	NATURE DU COURANT ÉLECTRIQUE ET PÉRIODICITÉ	TENSION A L'USINE	NATURE DE L'INDUSTRIE	OBSERVATIONS
		Volts		
Drac	Triphasé 50 P	2.200	Transport à 26.000 volts	
Durance	— 25 P	7.500	Transport 55.000 volts	
Sioule	— 50 P	1.000	Transport à 20.000 volts	Cette usine est aussi dénommée usine de la Sioule.
Queis	— 25 P	10.000	— 30.000 —	
Le Cher	— 50 P	3.850	— 20.500 —	
Pescara	— 45 P	6.000	— 25.000 —	Tre Monte : 8.000HP Pianod'Orte : 22.000HP
Tessin	— 50 P	11.000	Distribution d'énergie électrique	
Dore	— 50 P	11.000	Transport à 20.000 volts	
Adda	— 42 P	13.500	— 13.500 —	
Adda	— 45 P	20.000	— 20.000 —	
Rhône	Continu (Thury)	2.250	— 27.000 —	
Gota	Triphasé 25 P	10.000	— 50.000 —	
Vézère	Triphasé 50 P	8.000	— 20.000 —	
Rhône	Triphasé	11.000	— 77.000 —	
Hérault	Triphasé 50 P	1.500	— 16.000 —	
Arc	Continu et triphasé	100	Electrometallurgie	
Niagara	Triphasé 25 P	12.000	Transport à 60.000 volts	
Niagara	— 25 P	12.000	Transport à 60.000 volts	
La Vienne	Monophasé 25 P	850	Transport 110.000 à 132.000 volts	Turbines 12.000 HP
Isère-Durance	Triphasé 25 P	7.500	Transport 320.000 volts. Traction	
	— 50 P	10.000	Transport à 55.000 volts	Turbines 6.200 HP
Rhône	— 45 P	3.300	Electrochimie (Nitrales)	Turbines 13.000 HP
Lule	»	3.800	Transport 35.000 volts	Usine pour les travaux du percement.
Drac		10.000	Transport à 77.000 volts	2 chutes
Cellina	Triphasé			
Romanche	Triphasé 42 P	4.000	Transport à 36.000 volts	
—	— 50 P	2.200	— 26.000 —	
—	— 50 P	3.000	— 26.000 —	
Doubs	— 50 P	5.200	— 35.000 —	
Rio Chimbo	— 45 P	»	— 52.000 —	
Doubs	»	800	— 35.000 —	
Kander	— 40 P	15.600	Réseau mixte	
Isère	Continu	14.000	Transport à 57.000 volts	
Molinar	Triphasé 50 P	7.000	Transport à 70.000 volts	Turbines 7.200 HP
Arc	»	»	Electrometallurgie-Electrochimie	
Rhône	Triphasé 25 P	12.000	Transport à 150.000 volts	
Giffre	Alternatif 50 P	210	Electrometallurgie	
Anienne	Triphasé et Monophasé			
Kampar	Triphasé 40 P	30.000	Transport 30.000 et traction	
Pilva	Triphasé	135	Electrochimie	
Canada Creek	—	»	Transport à 23.000 volts	
Creuse	Divers	Divers	Divers	
Ferizat et Izarat	Triphasé 50 P	5.250	Transport à 20.000 volts	
Rhin	Bi et Monophasé	»	Electrochimie	
Sitter	Triphasé	10.000	Transport à 10.000 volts	
Batzan	Triphasé 50 P	5.000	— 30.000 —	
Ruetzbach	Monophasé 45 P	3.000	Transport à 50.000 volts	
Urft	Triphasé 50 P	5.000	— 35.000 —	
Pescara	Triphasé	»	— 25.000 —	
Aude	Triphasé 50 P	2.900	— 20.000 —	
Bourne	— 50 P	3.800	— 35.000 —	
Moldau	Triphasé	15.000	Distribution d'énergie électrique	
Victoria	Triphasé 12,5 P	»	Transport à 150.000 volts	
La Vis	Triphasé 50 P	3.000	— 33.000 —	
Dezzo		8.000	Electrochimie	
Valloirette		»	»	
Guadiaro	Triphasé 40 P	5.000	Transport à 52.000 volts	

NUMEROS des paragraphes	DÉSIGNATION DES USINES	NATIONALITÉ	HAUTEUR	PUISSANCE	GENRE DE TURBINES
			DE CHUTE	MAXIMA DE L'USINE	
			Mètres	HP	
379	Venthon (Savoie).....	France	140		
380	Somport.....	—	150	4.000	Pelton
381	Tivoli.....	Italie	160	8.000	Girard et Francis
382	Rutz.....	Autriche	167	4.000	Roue tangentielle
383	Empreza.....	Portugal	168	4.500	Pelton
384	Bex.....	Suisse	170	2.400	»
385	Fontpédrouse (Aveyron)...	France	175	4.400	Francis
386	L'Argentière (Basses-Alpes)	—	175	46.230	Francis
387	Chedde (Haute-Savoie)....	France	180	14.000	Girard, libre déviation
388	Montana Power.....	Amérique	180	200.000	Francis doubles
389	Erges (Isère).....	France	180	2.000	»
390	Gesse (Aude).....	—	184	9.000	»
391	Gampel (Valais).....	Suisse	226	7.000	Girard
392	N.-D. de Briançon.....	France	230	4.500	Centrifuge
393	Caffaro.....	Italie	250	10.000	Pelton
394	Soulom (H.-Pyrénées)....	France	250	10.500	Pelton et Francis centripète
395	Kern River.....	Amérique	264	43.000	Pelton
396	Tusciano.....	Italie	274	7.300	Centrifuge libre déviation
397	Amsteg.....	Suisse	276	35.000	Pelton
398	Engins (Isère).....	France	282	1.600	Girard, libre déviation
399	Rjukamfos.....	Norvège	282	300.000	Pelton double
400	Look Leven.....	—	285		
401	Los Angeles.....	Californie	287	120.000	Roue à double impulsion
402	Kandergrund.....	Suisse	300	28.000	—
403	Rio-de-Janeiro.....	Brésil	310	50.000	Pelton
404	Obermatt.....	Suisse	312	10.000	Pelton
405	Flums.....	Suisse	326	2.500	—
406	La Siagne.....	France	350	5.500	Pelton
407	Farettes.....	Suisse	350	8.500	—
408	Snowdon.....	Gde-Bretagne	360	»	—
409	La Règeat.....	France	362	11.350	—
410	Auzat (Ariège).....	—	420	23.000	—
411	La Cassagne (Aveyron)....	—	420	3.500	Pelton double
412	Campocologno.....	Suisse	440	40.000	Pelton
413	Stanislauss (Californie)...	Amérique	450	30.000	Pelton et Girard
414	Adamello (Espagne).....	Espagne	470	35.000	Pelton
415	Lancey (Isère).....	France	500	5.400	»
416	Vernaraz.....	Suisse	500	6.000	Pelton
417	Porte.....	France	500	7.500	Pelton double
418	Boulder.....	Colorado	556	15.000	Turbines à action
419	Barker.....	États-Unis	550	21.000	Pelton
420	Chippis.....	Suisse	600	18.000	»
421	Cernon et Bréda (Isère)....	France	612	2.000	Centrifuge
422	Viège (Valais).....	Suisse	700	11.000	Pelton
423	Eget (Hautes-Pyrénées)...	France	710	36.000	Pelton
424	Riton.....	Suisse	800	50.000	—
425	Capdella.....	Espagne	800	53.000	—
426	Orlu (Ariège).....	France	940	12.500	—
427	Vouvry.....	Suisse	950	6.600	—
428	Fully.....	Suisse	1650	12.000	—

COURS D'EAU	NATURE DU COURANT ÉLECTRIQUE ET PÉRIODICITÉ	TENSION A L'USINE	NATURE DE L'INDUSTRIE	OBSERVATIONS
		Volts		
Doron	Triphasé 40 P		Electrochimie	
Gave d'aspic	Triphasé 25 P	5.500	Traction	
Amiéne	Triphasé	10.000	Transport à 10.000 volts	
Ruetgbach	Monophasé 15 P	3.000	Transport à 50.000 v. Traction	Turbine 3.080 HP
Alva	Triphasé 50 P	5.000	Transport à 120.000 volts	
Avançon	»	»	»	
Têt	Monophasé 16 P	13.000	Traction	
Durance et Gyrade	Continu et triphasé	»	Electrometallurgie	
Arve	Continu	700	Electrochimie	
Missouri	Triphasé	6.600	Transport 110.000 volts	
Adrets	Continu	35	Electrometallurgie	
	Triphasé	10.000	Transport à 57.000 volts	
Lonza	Diphasé	»	Electrochimie	
Eau Rousse	Monophasé 60 P	Basse tension	—	
Caffaro	Triphasé 50 P	10.000	Transport à 46.000 volts	
Gaves de Pau et de Caunterets	Monophasé 16 2/3	6.000	Transport à 60.000 v. Traction	Turbine 3.500 HP
	Triphasé 50 P	2.300	Transport à 100.000 volts	
Tusciano	Triphasé 50 P	3.000	Transport à 30.000 volts	
Reuss	Monophasé	8.000	Traction	Turbine 8.000 HP
Furon	Triphasé 50 P	125	Transport à 15.000 volts	
Maana	Monophasé 50 P	11.000	Electrometallurgie	Turbine 19.500 HP
Blackwater	—	—	—	Réservoir de 100 mil- lions de m. c.
Aqueduc	—	6.600	Transport à 106.000 volts	Turbine 14.000 HP
Kander	Triphasé	16.000	—	
Rio des Lages	Triphasé	6.000	— 80.000 —	
Erlembach	Mono et Triph. 50 P	6.000	— 27.000 —	
Schilsbach	Triphasé	5.000	Transport à 5.000 volts	
Siagne	Triphasé 25 P	11.000	— 20.000 —	
	—	»	»	
Lydaw	— 50 P	10.000	Electrochimie	
Belleville	— 42 P	11.300	Transport de force	
Viedessos	Triphasé 50 P	7.000	Transport et Electrometallurgie	
Têt	Continu	600	Traction. — 20.000 volts	
	Triphasé	3.800	Electrochimie	
Stanislauss	Triphasé	4.000	Transport à 50.000 volts	Turbine 5.200 HP
Oglio	Triphasé 42 P	12.000	Transport à 72.000 volts	
Lancey	»	»	— 114.000 —	
»	»	»	»	
»	Monophasé 16 2/3	13.500	Traction	Turbine 10.500 HP
Boulder	Triphasé 60 P	4.000	Transport 100.000 volts	Turbine 10.500 HP
»	»	»	»	
Navizance	»	»	Electrochimie	
Bréda	Monophasé 50 P	6.000	Distribution d'énergie électrique	
Viège de Saas	Triphasé	15.500	Transport et Electrochimie	
Lac d'Oule	Monophasé 16 2/3	6.000	Transport 60.000 v. Traction	Turbine 50.000 HP
Fuss	— 16 2/3	6.000	— —	Turbine 7.900 HP
Flamisell	Triphasé 50 P	12.000	Transport à 55.000 volts	
Ariège	— 50 P	5.000	— 55.000 —	
Tanay	— 50 P	7.500	— 22.000 —	
Fully	Triphasé	10.000	Transport	



CHAPITRE XVI

USINES DE 1 A 50 MÈTRES DE HAUTEUR DE CHUTE

295. Usine Mazarin à Mézières (Ardennes) (chute, 3 mètres). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Cette usine est une des rares installations hydroélectriques de la région du Nord, où les chutes sont de faible hauteur et en très petit nombre.

La dénivellation utilisée est située sur un canal latéral à la Meuse, au lieu dit Mazarin : elle est de 3 mètres en eaux ordinaires, et le débit utilisable varie de 18 à 20 mètres cubes par seconde. La Meuse étant navigable, on a dû recourir à un vannage spécial permettant d'absorber le complément du débit, alors que la turbine marche à admission partielle.

A cet effet, la vanne constituant ledit vannage est fixée à une tige accrochée à l'extrémité d'un balancier relié à l'arbre du moteur hydraulique (*fig. 753*),

le point fixe de cet organe se trouvant entre l'axe de suspension de la turbine et celui de la vanne de décharge. Celle-ci se compose d'une cloche fixe, fermée à sa partie supérieure, et d'une partie mobile qui, dans son mouvement de levage, laisse passer l'eau par en bas et par en haut ; l'eau entre dans la cloche pour redescendre dans le tuyau de décharge. On se trouve ainsi en présence d'un dispositif qui exige, pour un débit déterminé, une hauteur de levée de vanne deux fois moindre que pour une vanne ordinaire, ce qui, ici, a permis d'accoupler directement la turbine au balancier.

La Meuse ayant un débit essentiellement variable et des crues fré-

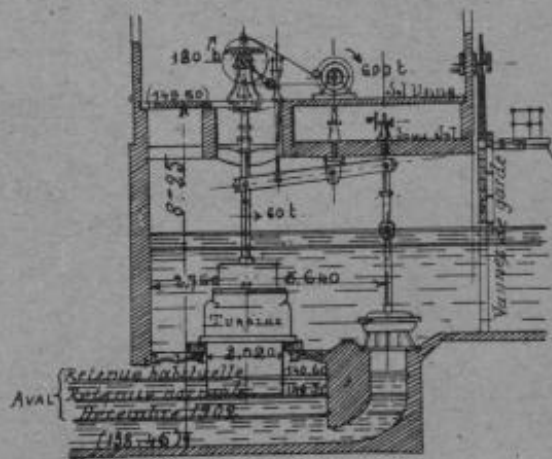


FIG. 753.

quentes, on a été obligé de prévoir l'adjonction d'un moteur thermique de réserve pour chaque unité.

TURBINES. — Elles sont du type centripète, à axe vertical, tournant à 60 tours et développant chacune 187 HP. Chacune d'elles se compose d'une roue mobile calée sur un arbre creux, lequel porte à sa partie supérieure le pivot avec graissage à huile ; le poids de tout le système mobile est reporté, au moyen d'une aiguille fixe en acier, à la partie inférieure. La vanne de la turbine interposée entre la roue et le distributeur se déplace verticalement en découvrant les orifices partiellement ou en totalité. L'eau, après avoir traversé la turbine, descend par le tube de succion dans le canal de fuite de l'usine. Chaque turbine (il y en a trois qui forment une puissance totale de 560 HP) actionne par une paire d'engrenages d'angle un arbre dont la vitesse est ainsi portée à 180 tours.

Pour diminuer le plus possible la longueur de l'arbre, on a placé les turbines à un mètre au-dessus du niveau normal ; pour cela on les a munies de tubes de décharge dont l'extrémité inférieure plonge dans l'eau d'aval. Pour actionner la vanne de la turbine en laissant fermée la vanne de décharge ou de débit, — en été où le débit de la rivière est très restreint, — on abaisse l'axe de suspension du balancier de la quantité nécessaire pour que les deux vannes soient toutes deux fermées à fond de course. Dans ces conditions, on peut faire le désaccouplement des deux vannes. La régulation de la vitesse des moteurs hydrauliques est obtenue au moyen d'un régulateur Ribourt.

ALTERNATEURS. — L'arbre horizontal de la transmission mécanique actionne un alternateur tournant à 600 tours par l'intermédiaire d'un enrouleur Lenix. Chaque groupe électrogène donne, en courant triphasé, 150 kilowatts à 2.100 volts et 50 cycles. Les excitatrices, de 3,5 kilowatts, sont placées en bout des arbres des alternateurs. La station réceptrice (usine de la Macérienne) comporte trois commutatrices de 100 kilowatts chacune, alimentées par le courant alternatif, dont la tension a été préalablement abaissée à 70 volts. Ces machines, qui débitent du courant continu à 115 volts, fonctionnent à 50 périodes et 750 tours. Les transformateurs monophasés sont groupés ensemble pour former un transformateur triphasé, disposition qui, comme l'on sait, est très commode et avantageuse en cas d'avarie à l'un des appareils, celui-ci pouvant être rapidement remplacé sans entraîner l'immobilité complète d'une unité.

Les machines hydrauliques de cette usine ont été construites par la maison Teisset, Chapron et Brault frères ; les machines et le matériel électriques, par la Compagnie Westinghouse.

296. Usine de Poses (Eure) (chute, 4 mètres). — **AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES.** — Cette installation est une application intéressante de

l'utilisation des barrages sur les voies navigables pour produire l'éclairage et la force motrice dont on peut avoir besoin pour la navigation d'un poste déterminé. A cet effet, à Poses, dans le département de l'Eure, on a installé un barrage à aiguille sur le bras navigable d'Anfreville (*fig. 754*), entre la petite écluse et l'ancienne écluse.

La puissance ainsi obtenue peut atteindre 30 HP sous la chute de 4 mètres, et 12 chevaux sous la chute minima de 0^m,80, cette dernière encore suffisante pour assurer l'éclairage et les manœuvres du barrage de Poses et de la grande écluse.

La construction de l'usine repose, à l'amont, sur le radier du barrage, et, à l'aval, sur pilotis coiffés d'un grillage en chêne noyé dans une couche de béton (*fig. 755*).

Barrage. — Il est du système Caméré, quise compose de cadres en fer légèrement inclinés sur la verticale, mobiles autour d'un axe fixé sous un pont supérieur et butant par le pied sur un seuil. Contre ces cadres s'appuient des rideaux étanches en bois, en forme de stores. L'ouverture du barrage s'obtient en enroulant les rideaux au-dessus de la retenue, puis en relevant les cadres horizontalement sous le pont.

A Poses, deux treuils électriques à vis sans fin de 3 HP chacun commandent les rideaux; et un treuil électrique de 7 HP est mis en action pour le relèvement des cadres.

La grande écluse est seule manœuvrée électriquement. Pour la manœuvre des chalands, quatre cabestans sont actionnés par l'électricité, dont l'un établi sur le bajoyer de rive gauche, et les trois autres aux extrémités et vers le milieu du bajoyer central. Ils absorbent chacun près de 7 HP. Un moteur électrique de 2 HP met en marche diverses machines dans l'atelier de réparation. Enfin, le barrage est éclairé, pendant les manœuvres, par des lampes à incandescence de 32 bougies placées dans des lanternes à chaque pile, et dans les bâtiments A (maison des éclusiers), B (maison du conducteur), C (maison barragiste) sont des lampes de 5 à 20 bougies, soit 70 lampes en tout.

TURBINE. — Les conduites de prise d'eau et de fuite sont en fonte, de 1^m,20 de diamètre, avec robinets-vannes permettant d'isoler la turbine

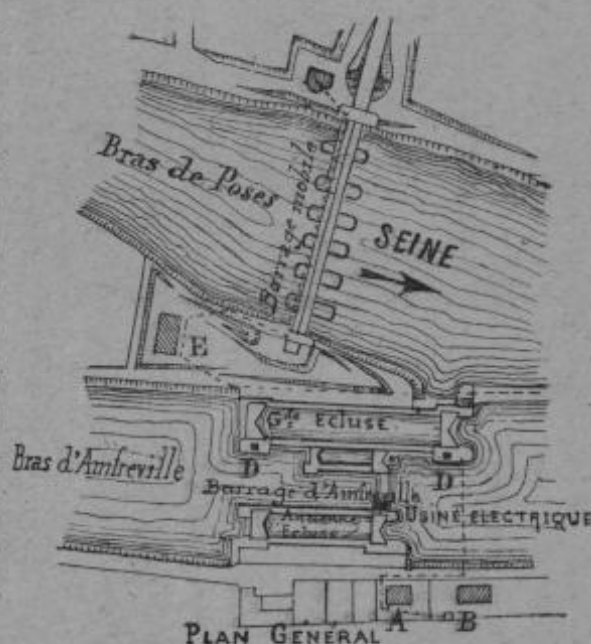


FIG. 754.

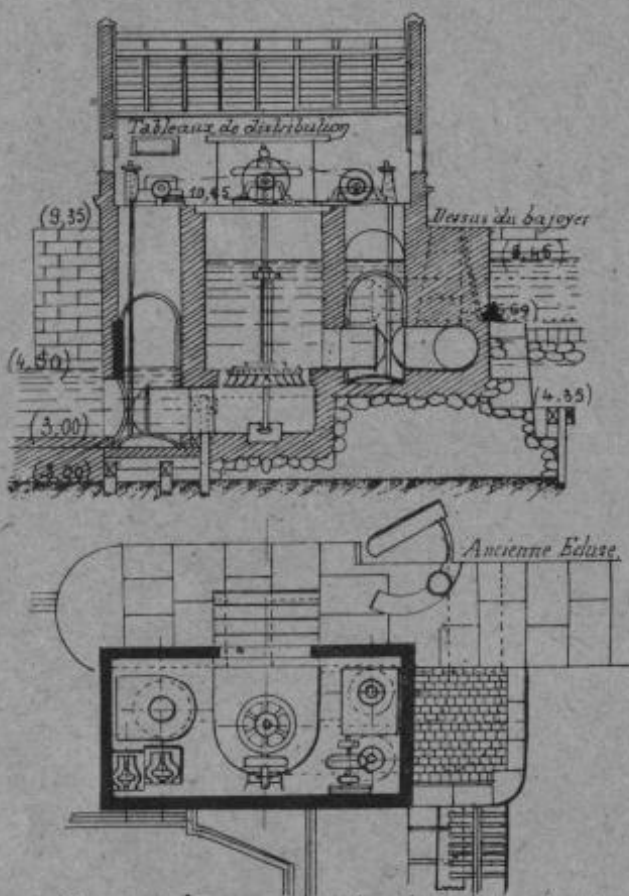
Celle-ci est du type Fontaine, à pivot rehaussé et à chute variable, avec vannage à rouleau.

L'étage supérieur de l'usine contient la transmission entre la turbine et les dynamos (dont une de réserve), ainsi que les organes de manœuvre des vannages et les tableaux de distribution.

Le mouvement de la turbine à la dynamo est opéré à l'aide d'une roue

de 1^m,50 de diamètre avec denture en bois engrenant avec un pignon d'angle actionnant à son tour deux courroies avec poulies de renvoi permettant de multiplier la vitesse de rotation entre la turbine et la dépense de 25 à 900 tours par minute. Le courant fourni par la génératrice est continu, sous 275 volts. Le vannage de la turbine est actionné à bras, au moyen d'un volant agissant sur l'arbre vertical commandant le rouleau, ou automatiquement par un moteur électrique série pouvant être embrayé sur la vis sans fin commandant l'arbre vertical.

L'usine est complétée par une batterie d'accumulateurs assurant la régularité de



Coupe et plan au niveau du sol de l'usine électrique

FIG. 755.

l'éclairage et le fonctionnement des moteurs, en dehors des heures de marche de l'usine.

Ce qu'il faut retenir de cette installation, c'est qu'au barrage la manœuvre a notablement gagné en rapidité, soit 10 fois plus grande qu'avec les treuils à bras pour la manœuvre des cadres, 1 fois 1/2 pour la manœuvre des rideaux. De plus, le treuil électrique des cadres exige deux hommes de moins (5 au lieu de 7) que le treuil à vapeur, et les treuils électriques des rideaux permettent à un seul barragiste de suffire au réglage journalier de la retenue, au lieu de quatre hommes pour relever à bras le rideau d'une passe profonde. Les frais d'installation n'ont pas dépassé 2 0/0 de la valeur des ouvrages de la retenue.

297. Usine de Rheinfelden (Allemagne) (chute, 4^m,50). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Le Rhin, alimenté l'été par des glaciers et l'hiver par les régions basses de la Suisse et de la forêt Noire, présente un régime régularisé participant à la fois du régime alpestre et de celui des rivières de plaine. La puissance de l'usine est sensiblement constante, et l'aménagement de la chute a pu être fait à peu de frais.

Barrage. — Le barrage établi en travers du fleuve a 197^m,50 de longueur, formant déversoir et relevant le plan d'eau de la quantité voulue pour assurer la prise du canal de dérivation de 1 kilomètre de long. Celle-ci est commandée par huit grandes vannes à glissière laissant passer aux basses eaux une lame d'eau de 1 mètre d'épaisseur sur 22 mètres de largeur. Le canal, large de 80 mètres, présente une pente régulière avec une dénivellation de 60 centimètres sur la totalité de sa longueur, qui est de 1.000 mètres ; une digue en maçonnerie le sépare du Rhin.

Chambre de décantation. — Entre le barrage et l'entrée du canal se trouve une chambre de décantation dont les vannes de purge permettent la chasse des apports dans le fleuve.

A l'extrémité aval du canal, une grille formée de barreaux règne en avant de l'usine sur une longueur de 165 mètres. Du canal, l'eau passe dans vingt chambres renfermant chacune deux turbines.

TURBINES. — L'installation comporte 20 turbines doubles de 840 HP. Chacune d'elles se compose de deux turbines Francis calées sur le même arbre vertical et de chacune quatre couronnes, séparées deux à deux par le disque du moyeu. Elles travaillent sous une chute maximum de 4^m,50 à la vitesse de 68 tours par minute ; le débit est alors de 18^m³,660, et il atteint 28^m,930 à la chute de 3^m,20. A la plus haute chute, la turbine inférieure fonctionne seule, au rendement maximum de 0,75.

Vannages. — La vanne extérieure, d'une seule pièce, ouvre et ferme en même temps les quatre couronnes. Elle est suspendue par quatre tiges et manœuvrée par un servo-moteur à un seul arbre. Les deux vannes de la turbine supérieure sont de même manœuvrées par ces quatre tiges.

Tant que la turbine inférieure suffit, les vannes supérieures restent fermées. Elles sont ouvertes successivement à mesure que la crue réduit la chute.

Les deux turbines sont réglées en même temps et automatiquement par l'appareil régulateur centrifuge, qui fait 100 tours par minute. Les pompes à l'huile pour le pivot et le servo-moteur débitent 60 litres à la pression de 25 à 30 kilogrammes.

ALTERNATEURS. — L'usine comprend, pour l'électro-chimie, 6 génératrices à courant continu de 90 volts et 6.000 ampères à 55 tours (fabrication de l'aluminium et du carbure de calcium), 4 génératrices de 130 à 140 volts et 4.500 ampères, 68 tours (fabrication de l'hypochlorite de

chaux et du carbure de calcium), et 2 génératrices de 155 volts et 4.000 ampères, 68 tours, pour la fabrication de la soude électrolytique.

Pour le transport de force, il existe 3 génératrices triphasées donnant 6.800 volts et 60 ampères à 55 tours, du type à induit tournant, aujourd'hui abandonné ; 5 génératrices triphasées de 6.800 volts, 60 ampères, 68 tours, avec inducteur tournant. L'excitation des alternateurs est obtenue à l'aide de deux groupes moteurs-générateurs dont les moteurs triphasés sont alimentés par du courant pris à 6.800 volts sur les bornes



FIG. 756. — Vannes réglant le débit du Rhône à la sortie du lac de Genève et usine de la Coulouvrenière.

collectrices et transformé à 500 volts. La tension d'excitation est de 155 à 170 volts.

Tous les alternateurs travaillent en parallèle sur les barres omnibus, qui sont rangées par groupes, de telle manière qu'on puisse faire toutes réparations nécessaires sans déranger la marche de cette partie de l'usine.

Celle-ci possède deux groupes électrogènes à vapeur de réserve, formés chacun d'une turbine à vapeur Brown-Boveri-Parsons accouplée directement à une génératrice triphasée de 1.400 kilowatts donnant 6.800 volts à 1.500 tours à la minute. La vapeur leur est fournie surchauffée et à 12^{kg},500 de pression. Ces unités de réserve sont utilisées aux époques de hautes eaux, et pendant l'hiver, quand les glaciers encombrant le canal,

ou enfin aux moments où des charges maxima des réseaux de force et de lumière coïncident.

EXPLOITATION. — Le courant est fourni sous forme de lumière, de force motrice pour des tissages, des imprimeries, teintureries, brasseries, ateliers de construction de machines, fabriques de pâtes de bois, ainsi que pour la petite industrie, l'atelier familial étant très répandu dans le pays. L'électro-chimie absorbe 7.000 kilowatts. Le courant triphasé est fourni à 28 sous-stations d'une capacité totale de 3.800 kilowatts, transformant le courant à 500 volts, et à 23 autres d'une capacité totale de 970 kilowatts, le transformant à 220 volts. Le réseau possède en outre quatre sous-stations plus importantes qui sont : Rheinfelden (175 kilowatts), Schopfheim (86 kilowatts), Wehr (46 kilowatts) et Zörrach (200 kilowatts). Dans ces dernières, le courant triphasé est converti en courant continu et emmagasiné dans des accumulateurs pour la production de la lumière et l'alimentation des tramways de la ville de Bâle.

Les dividendes aux actionnaires ont suivi une marche régulièrement ascendante, passant de 4 0/0 en 1897 à 8 0/0 en 1906, 1907 et 1908. En 1907, la puissance totale de l'usine de Rheinfelden a atteint 94 millions de kilowatts-heures, dont 54 absorbés par l'électrochimie et les 40 millions restants distribués par les réseaux de lumière et de force. Mais il a fallu se procurer encore 24 millions de kilowatts-heures tant au moyen de la réserve à vapeur qu'auprès de l'usine hydroélectrique de la Beznau sur l'Aar (§ 301).

En 1908, l'usine de Rheinfelden a été encore obligée de faire appel à l'usine de Wangen, aussi sur l'Aar (§ 306).

L'usine de Rheinfelden a aménagé une nouvelle installation à 5 kilomètres en aval de la station actuelle, avec un barrage pouvant alimenter deux usines d'une puissance de 15.000 HP chacune, l'une sur la rive suisse pour le transport de force de Rheinfelden et l'autre sur la rive badoise pour le transport d'énergie à Bâle (usines d'Augst et de Wylhem, § 300). La puissance totale est ainsi de 32.000 HP.

298. Usine de Chèvres (Suisse) (chute, 4^m,30 à 8^m,50). — **AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES.** — Cette usine, qui supplée à l'usine de la Coulouvrenière, établie à la sortie du lac de Genève, est située sur le Rhône à 7 kilomètres aval de sa jonction avec l'Arve ; elle permet d'arrêter au besoin le fonctionnement de celle-ci pour ménager l'approvisionnement d'eau du lac, lorsque le débit de l'Arve suffit à l'alimentation de ses turbines. Elle distribue la force motrice et l'éclairage à la ville de Genève, aux communes environnantes, et fabrique du carbure de calcium, de la soude par les procédés Outhenin-Chalandre, ainsi que des parfums par l'électrochimie. La puissance de cette usine se trouvant réduite au mo-

ment des crues par le remous d'aval, dans une proportion tout à fait excessive qui nuit à la bonne utilisation de la force de l'eau, et l'usine étant déjà, d'autre part, trouvée insuffisante, on a reconnu la nécessité d'en établir une autre à l'aval, à la frontière.

La puissance moyenne de l'usine est de 12.000 à 15.000 HP.

Barrage. — Le barrage, de 75 mètres de longueur (fig. 757), est entièrement bâti en béton, au dosage à peu près uniforme de 200 kilogrammes de chaux par mètre cube (pour le radier et le sommet des piles, 200 kilogrammes de ciment portland). Il comporte 6 vannes métalliques de 10 mètres d'ouverture chacune, séparées par des piliers de 3 mètres d'épaisseur, et une digue longitudinale longue de 137 mètres. Le radier

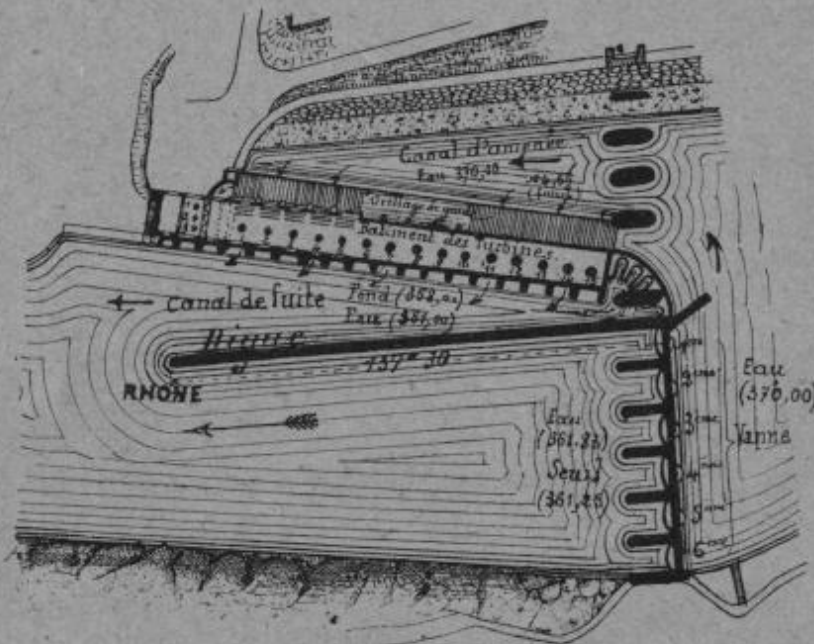


FIG. 757.

sur lequel repose le barrage a 16 mètres de large et 1^m,10 d'épaisseur il est revêtu de madriers protecteurs contre les galets qui s'échappent entre les piliers.

La pente par mètre du Rhône entre l'usine de Chèvres et la jonction de l'Arve était de 0,00118 ; elle a été réduite par l'établissement du barrage à 0,000098 en basses eaux et 0,00061 en hautes eaux. Le débit du Rhône à Genève est régularisé par le lac Léman, tandis que l'Arve conserve tous ses caractères de torrent.

Le canal d'amenée aux turbines sur la rive droite a 40 mètres de largeur à l'entrée et 14 mètres à l'extrémité.

La digue qui sépare les eaux sortant des turbines de l'eau du fleuve a pour effet de préserver l'usine contre le courant du fleuve.

Vannes. — La manœuvre des vannes, du système Stoney, se fait à la

main au moyen de treuils ; chacune d'elles supporte en charge une pression de 300 tonnes et est équilibrée sur 4 câbles en acier de 33 millimètres de diamètre.

Deux hommes exerçant un effort de 17 kilogrammes relèvent les 6 vannes, de 0^m,75 par heure, ou une seule vanne, de 3^m,70 en quarante-cinq minutes.

TURBINES. — Cette usine possède 18 turbines, dont 3 pour les excita-

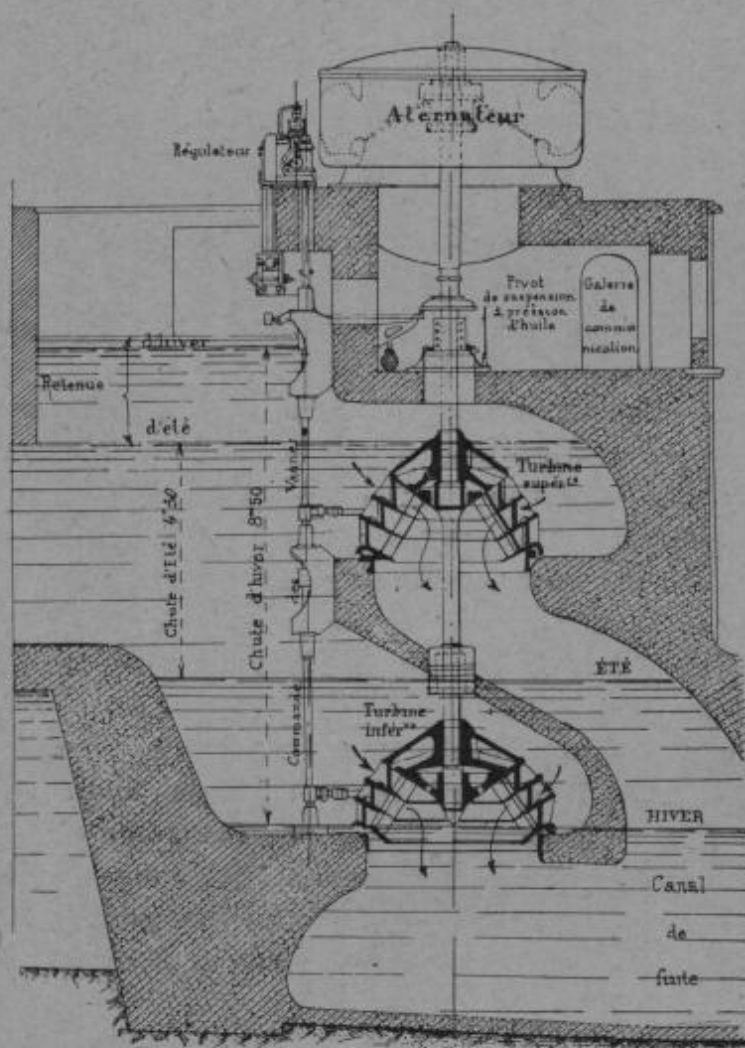


FIG. 738.

trices et les autres pour les génératrices. Celles des excitatrices donnent une puissance de 150 HP chacune à 150 tours et les autres une puissance moyenne de 1.000 HP à 80 tours, et ont été construites par la maison Escher-Wyss. La hauteur de chute est très variable, 8^m,50 en basses eaux et 4^m,30 en hautes eaux.

Les turbines de 800 à 1.200 HP sont en partie des récepteurs coniques, centripètes, à admission supérieure, à trois étages, et calées sur le même

arbre vertical conduisant en tête la dynamo. L'autre partie est représentée par des turbines cylindriques, centrifuges, avec axes en trois tronçons guidés par quatre paliers, la charge étant équilibrée par la sous-pression. Elles tournent à 120 tours. La turbine supérieure des turbines coniques (*fig. 758*), dite d'été, ne fonctionne qu'à l'époque des hautes eaux avec un volume d'eau facultatif, et la turbine inférieure marche au moment des basses eaux, cette dernière conjointement avec la précédente de façon à donner par cette marche en commun à la chute minima une puissance de 800 HP.

Cette disposition a été adoptée pour avoir une puissance à peu près constante, malgré les variations considérables de la chute suivant les saisons.

Les canaux directeurs sont à section constante, de telle façon qu'à l'extérieur l'espace entre deux canaux est un peu plus grand que la largeur d'un canal.

L'axe du groupe des turbines est entièrement suspendu par un pivot circulaire à sa partie supérieure.

Vannages. — Chaque turbine possède son vannage avec sa commande en connexion avec le régulateur correspondant. La vanne de réglage des turbines coniques, extérieure aux couronnes directrices, est percée de lumières correspondant aux canaux-directeurs. Il suffit donc d'imprimer à cette vanne un mouvement de rotation égal à la largeur d'un canal plus le recouvrement, pour fermer et ouvrir toute la vanne. Le vannage des turbines est cylindrique, à mouvement vertical indépendant, commandé par le servo-moteur à huile.

Régulateurs. — Chaque régulateur est actionné par l'arbre de la turbine correspondante. Il agit sur l'appareil à pression hydraulique (à pression à huile à 15 atmosphères) d'une façon très prompte, et les organes de réglage suivent instantanément les indications du tachymètre. Avec une variation brusque de 300 HP dans le travail des résistances, le nombre de tours varie de 30 0/0 pendant quelques secondes et revient à la vitesse normale.

ALTERNATEURS. — Les alternateurs de l'usine de Chèvres fournissent à volonté du courant mono ou diphasé par un déplacement peu compliqué des organes. Ils ont été fournis par la Compagnie de l'industrie électrique et par la maison Brown, Boveri et C^{ie}, et ils marchent à la tension de 2.750 volts à 45 périodes. Ils ont leur induit extérieur fixe et l'inducteur intérieur tournant sur couronne conique.

Les excitatrices à courant continu, qui sortent des ateliers d'Oerlikon, débitent 150 ampères sous 115 volts ; ce sont des machines à 6 pôles avec armature en tambour.

EXPLOITATION. — Les dépenses d'établissement de l'usine se sont éle-

vées à 8.500.000 francs. Le prix de revient du kilowatt-heure à l'usine (sans intérêt ni amortissement) est de 0 fr. 0047. Le prix de vente est de 0 fr. 08 l'hectowatt-heure pour l'éclairage et 0 fr. 08 à 0 fr. 25 le kilowatt-heure pour la force motrice, ou 150 à 750 francs le cheval-an suivant l'importance des abonnements.

299. Usine de Brême (Allemagne) (chute, 5 mètres). — La chute utilisée sur le Weser, pour l'édification de cette usine n'est que de 4^m,50 en été et 5^m,50 en hiver.

L'usine d'énergie construite en prolongement du barrage avec un léger décrochement vers l'aval est placée dans un emplacement assez abrité des glaces. Elle comporte seize turbines dont la moitié sont à trois étages pour forte chute et les autres à deux étages pour faible chute.

Le premier stade a comporté cinq turbines à faible chute de 750 che-

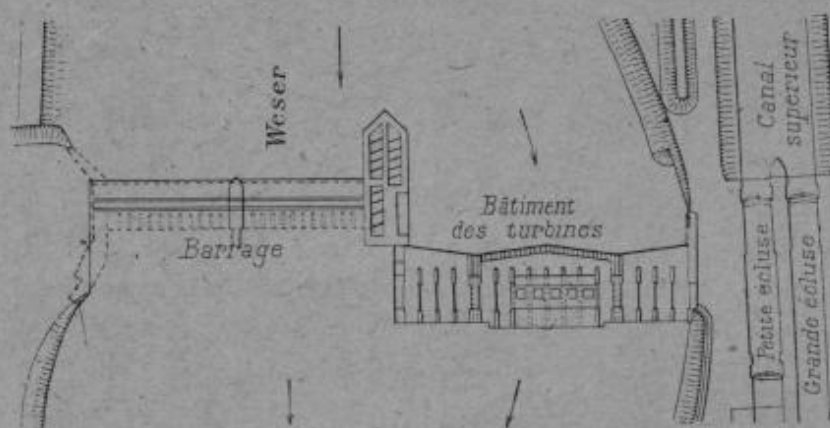


FIG. 759. — Plan du barrage.

vaux pour une chute de 3^m,13, le second six turbines moitié de chaque type et le dernier les six turbines restantes.

La grille qui doit arrêter à l'amont les corps flottants et les glaces est tracée en chevron de manière à conduire les matières arrêtées vers les exutoires de 2 mètres de débouché.

Les vannes d'entrée sont de simples vannes glissantes en bois formées de deux panneaux de 5^m,20 de hauteur et 3 mètres de largeur, séparées par un plateau intermédiaire. Elles sont manœuvrables à la main ou électriquement.

Les turbines sont du type Francis à action radiale ; le régulateur de vitesse maintient le nombre de tours à 40, nonobstant les variations de hauteur de chute.

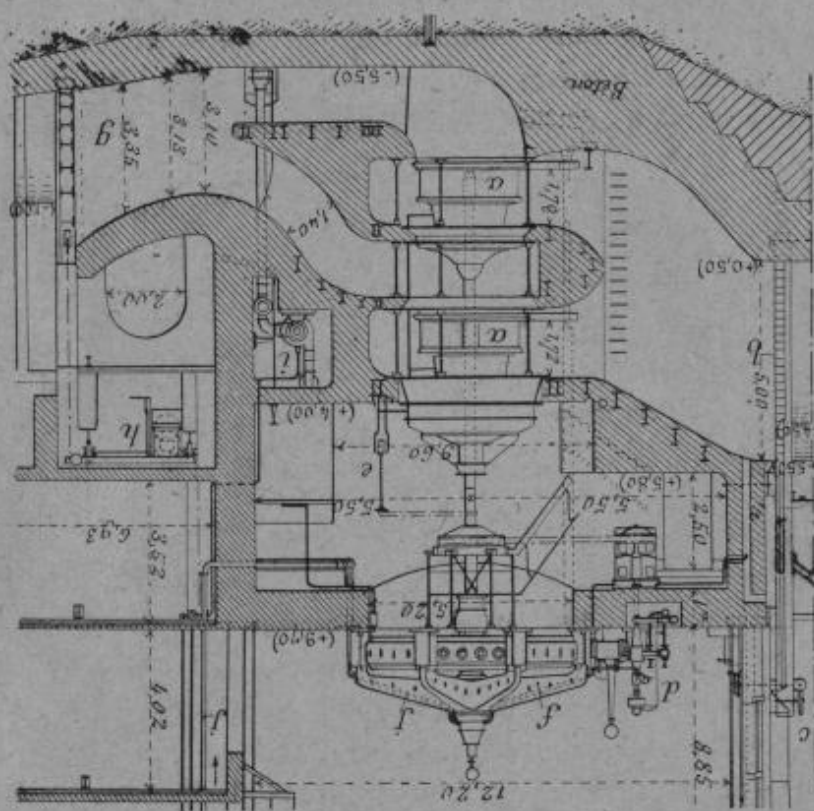
A chaque turbine est associée une pompe à huile comprimée mue par un moteur électrique ; la pression en service est de 20 atmosphères.

Les chambres des turbines peuvent être isolées du bief d'aval au moyen

d'une vanne métallique de $6 \times 4^m,30$ suspendue à un treuil mobile qui permet de la placer au droit d'une chambre quelconque, et la vidange se fait au moyen de deux pompes spéciales. L'alimentation en eau est obtenue à l'aide de deux puits dont l'eau sert aussi au refroidissement des alternateurs.

Les tableaux de distribution sont complètement séparés de l'usine et reportés sur la rive droite.

Barrage. — Le barrage (fig. 759) employé est du type mobile à secteur employant la puissance fournie par la chute pour faciliter la manœuvre des engins de barrage. Ce système de barrage très utilisé en Amérique où



Chacune des deux portées est formée d'un secteur mobile en tôle d'acier pouvant tourner autour d'un arbre de rotation en acier coulé de 50 milli-

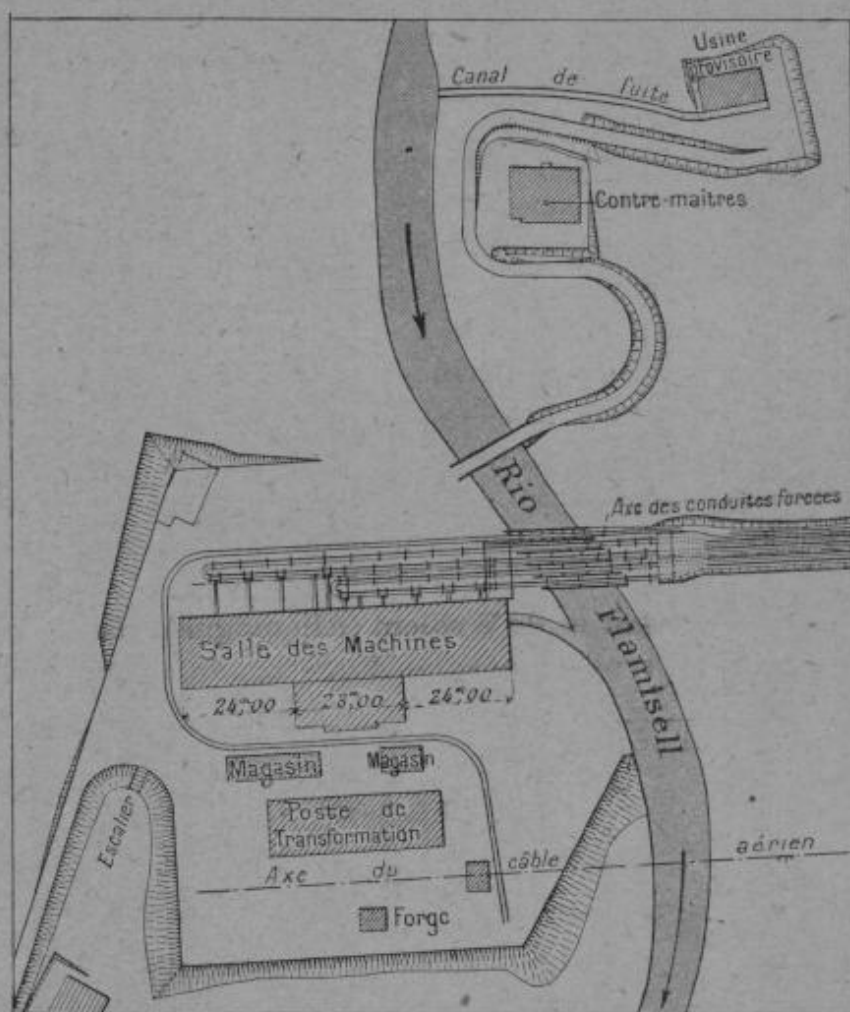


FIG. 760 bis. — Usine de Brême. — Plan d'ensemble.

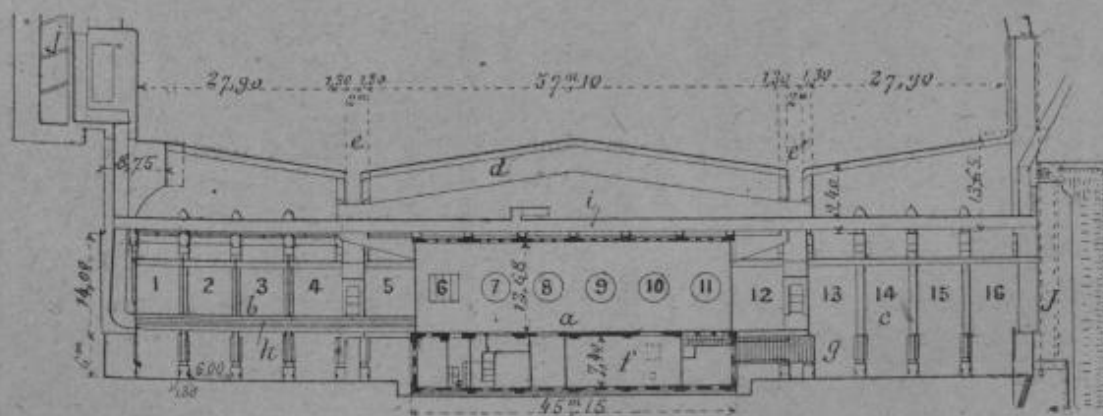


FIG. 761. — Plan de l'usine.

mètres de diamètre. La pression de l'eau prise dans le bief d'amont suffit pour relever le secteur. Les mouvements du tuyau mobile, dit tuyau-vanne,

règlent le niveau de l'eau à l'intérieur du secteur et font varier la pression et commandent finalement les manœuvres de relèvement et d'abaissement au moyen d'un moteur électrique. Un système de verrouillage correspondant aux diverses fermes du secteur permet d'arrêter les secteurs à leur élévation maximum. L'une des deux parties mobiles doit être constamment en mouvement pour suivre la variation du volume déversé par le barrage, par correspondance au débit des turbines.

Pour relever le barrage lorsqu'il est abaissé à fond, on ne peut utiliser une charge d'eau qui n'existe pas, le départ doit être obtenu au moyen de l'air comprimé. Une pression initiale correspondant à une charge d'eau de 50 centimètres suffit pour mettre en marche le secteur.

Des barrages auxiliaires à aiguilles du type à fermettes mobiles, de 4^m,25 de hauteur, sont établis à l'aval et à l'amont du barrage à secteur (aiguilles de 4^m,80 × 0^m,20 × 0^m,20).

Les dépenses d'établissement de tout l'ouvrage se sont élevées à 2 millions de marks, dont 800.000 pour les fondations.

300. Usines d'Augst et de Wyhlen (Allemagne) (chute, 6 mètres).

— AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Entre la partie inférieure de la

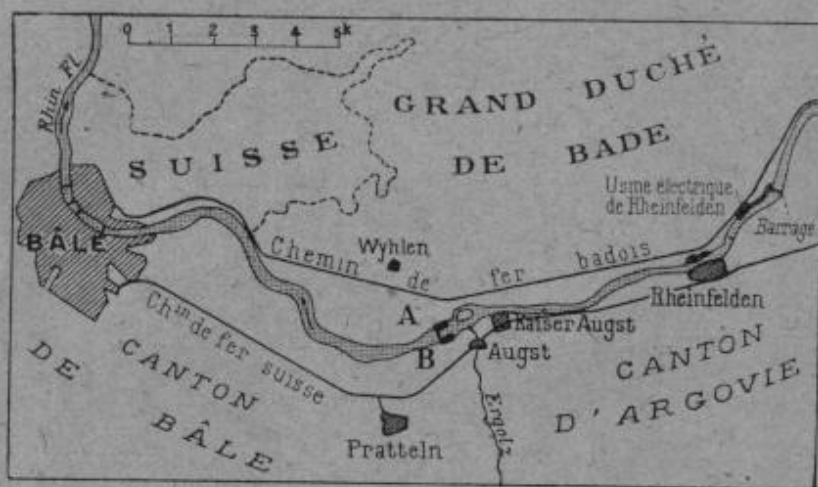


FIG. 762. — Plan de situation des usines hydroélectriques d'Augst (A) et de Wyhlen (B) sur le Rhin.

chute de Schaffhouse et le pont de Kiel, sur le Rhin, soit sur 120 kilomètres de distance, la puissance hydraulique utilisable à l'aide de barrages appropriés a été évaluée à 600.000 chevaux. Deux des barrages créés et les usines qu'ils desservent sont en fonctionnement, savoir l'usine de Rheinfelden, et celle d'Augst. Le troisième barrage est à Lauffenburg, à 30 kilomètres amont de Rheinfelden.

Le barrage d'Augst a été établi pour desservir à la fois, par la création d'une chute de 7 mètres, deux usines distinctes, mais fonctionnant en

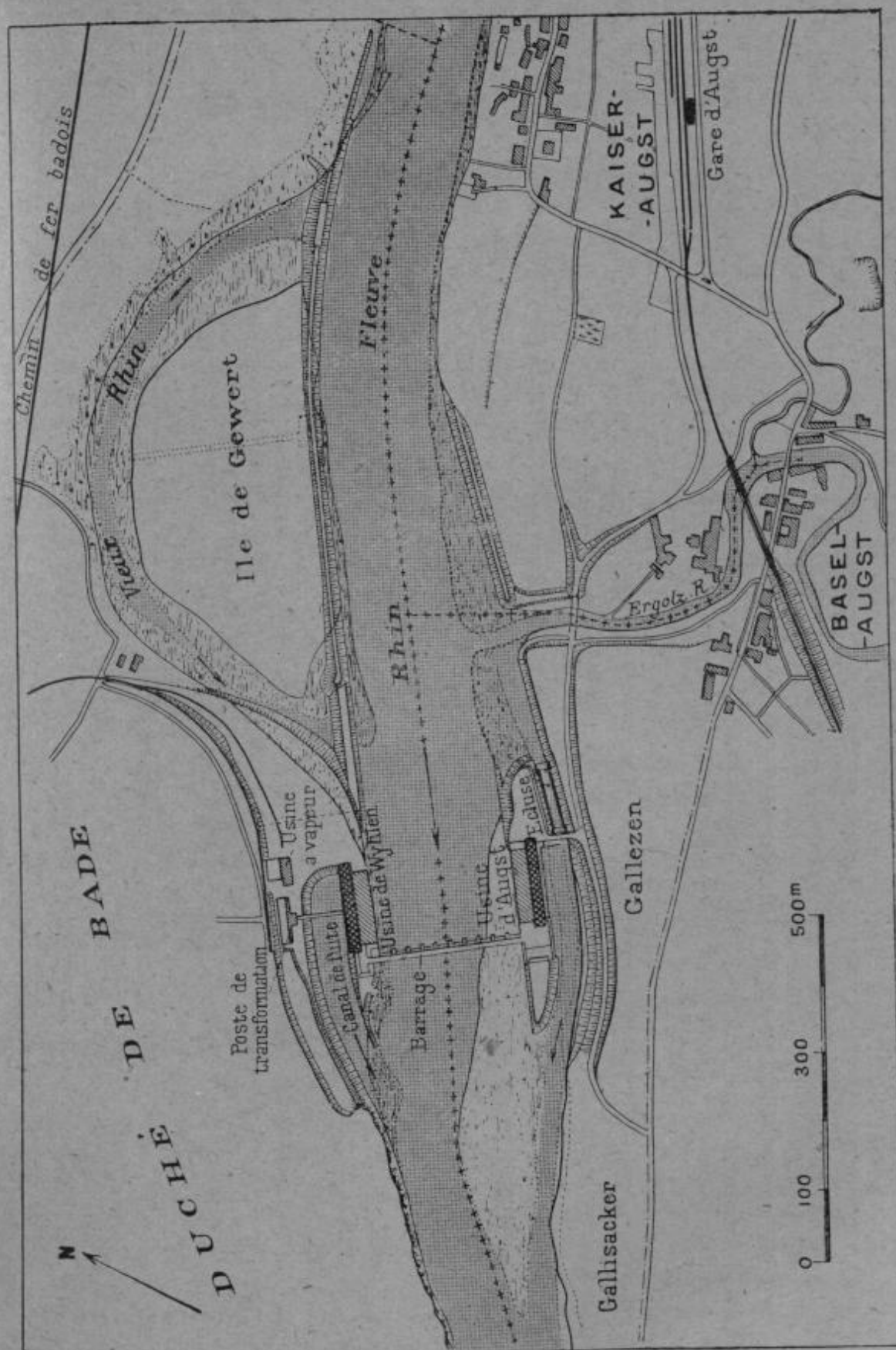
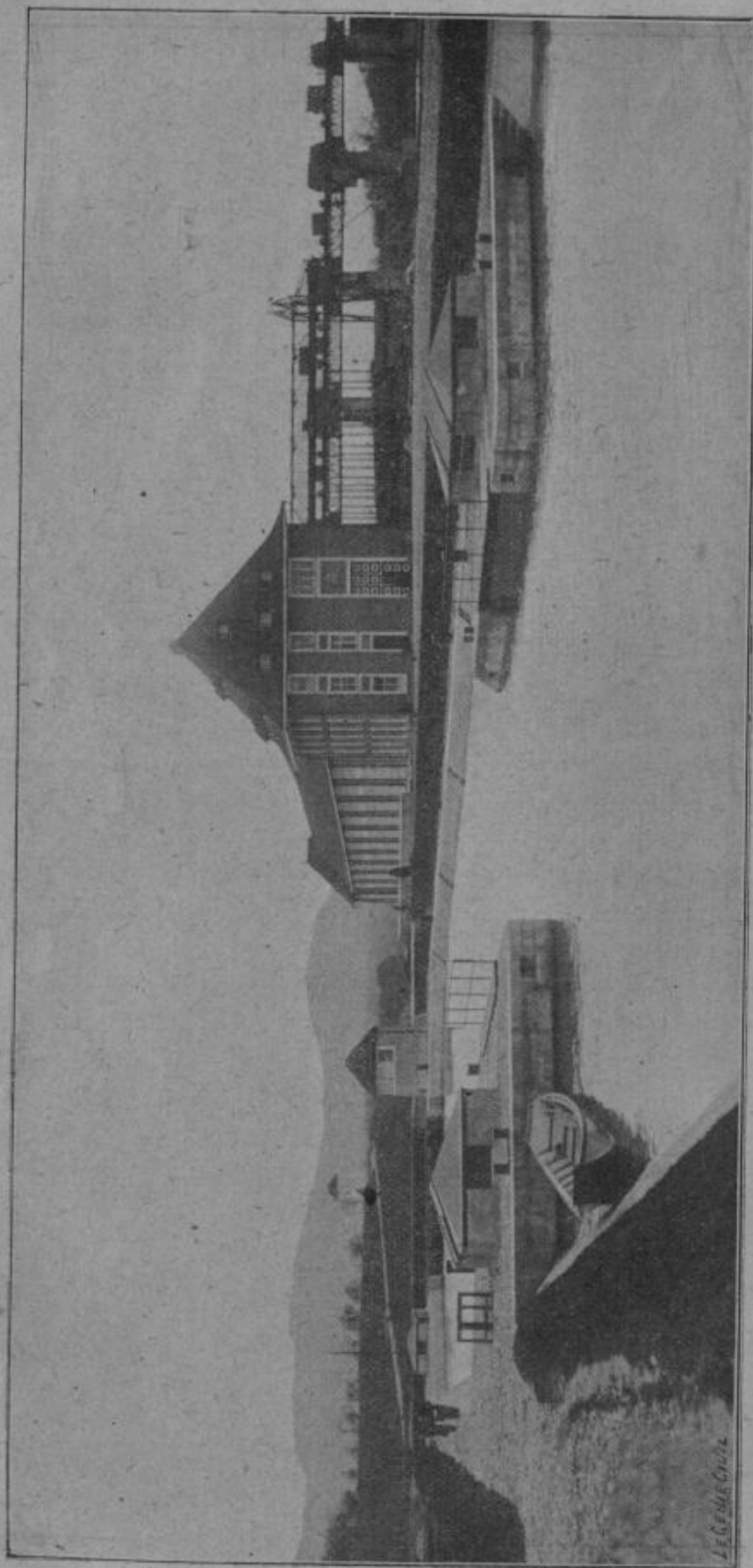


Fig. 763. — Plan d'ensemble des usines hydroélectriques d'Augst et de Wyhlen, sur le Rhin.



[FIG. 764. — Vue d'ensemble prise de l'amont (Usine d'Augst.)]

parallèle à celle d'Augst (Suisse) 15.000 chevaux, et celle de Wyhlen (rive badoise), également de 15.000 chevaux.

Le barrage commun aux deux usines a été édifié sur le Rhin, à 100 mètres en amont de l'embouchure de l'Ergolz et à 8 kilomètres de la ville de Bâle. Il a été établi pour une retenue de 5 à 8 mètres et le niveau de la retenue a été fixé à la cote 263^m,50 au-dessus du niveau de la mer. Les deux usines sont installées de part et d'autre du barrage, en amont et perpendiculairement à celui-ci, c'est-à-dire parallèlement au Rhin ; chacune d'elles est séparée de la rive par un canal de fuite, disposition qui a évité de construire deux canaux d'amenée.

A l'extrémité du canal de fuite de l'usine d'Augst se trouve une écluse de 90 mètres de longueur et 12 mètres de largeur, permettant le passage de chalands de 100 tonnes.

Le barrage a été construit à frais communs par les concessionnaires (la ville de Bâle et la Société de Rheinfelden), et l'écluse, en outre des concessionnaires, par les cantons suisses voisins, la Confédération suisse et les Sociétés de navigation.

Les deux usines ont été mises en marche en 1912.

Barrage. — Cet ouvrage comporte 11 piles et les ouvertures ont 17^m,60 de largeur, munies de vannes levantes. Les piles sont arrasées à 11^m,90 au-dessus du niveau de la retenue et portent une passerelle de manœuvre et un pont de 6 mètres de largeur, disposé du côté amont.

Les piles ont, à hauteur des vannes, une largeur de 4^m,20, de sorte que la longueur totale du barrage est de 221^m,20. Les vannes ont 9 mètres de hauteur et la partie inférieure des vannes relevées doit être à 1^m,50 au-dessus du niveau de la retenue.

Le seuil des vannes arrasé à la cote 254^m,50, en amont de celles-ci, présente ensuite un déversoir. Toute la construction est en béton armé. Les treuils pour la manœuvre des vannes et des hausses mobiles, spécialement décrites au « chapitre X », sont manœuvrés électriquement, et peuvent l'être au besoin à la main. Comme dans les cas des vannes munies d'une hausse mobile, ce n'est que tout exceptionnellement que l'on relève les vannes, les hausses étant rabattues. Les moteurs, les appareils, les treuils sont disposés sur la passerelle de manœuvre. Les moteurs actionnant les vannes ont une puissance de 50 chevaux et ceux actionnant les hausses mobiles, 10 chevaux.

Les poutres-vannes pour l'obturation temporaire d'une ouverture du barrage, au nombre de huit, ont une largeur qui varie suivant la pression d'eau qu'elles ont à supporter.

Sur les becs amont des deux piles de l'ouverture que l'on veut obturer au moyen desdites poutres, on installe un dispositif de mise en place que l'on apporte au moyen d'un pont roulant. La mise en

place d'une vanne formée de poutres se fait à l'aide d'un dispositif spécial.

Turbines. — Les chambres de chaque turbine sont munies d'une première grille verticale, à barreaux écartés et, en arrière de cette grille, chaque ouverture de la chambre peut être fermée par une vanne manœuvrée soit électriquement, soit à la main. En avant de chaque turbine est disposée une seconde grille inclinée, à barreaux rapprochés. Une conduite, dont l'ouverture située en dessous du pied de la grille inclinée peut être obturée par une vanne, fait communiquer directement la moitié correspondante de la chambre d'eau avec l'aval. Chacune de ces moitiés peut être fermée à l'amont, disposition adoptée pour le nettoyage des grilles, au moyen du jeu de ces vannes.

Les turbines sont du type Francis horizontales recevant en bout l'alter-

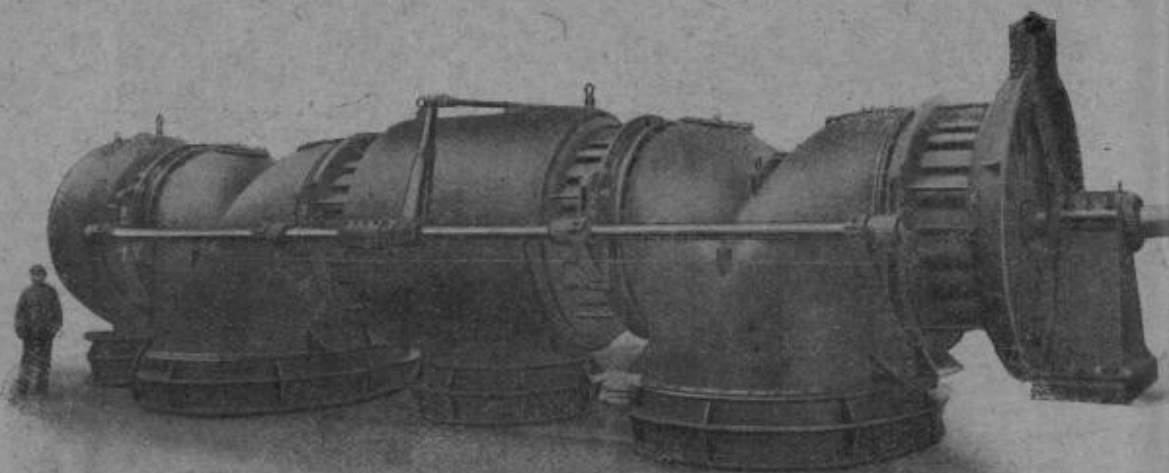


FIG. 765. — Turbine quadruple Francis Escher-Wyss, 2.000-2.500 chevaux.

nateur correspondant. Chaque turbine à 107 tours consomme 27 mètres cubes sous une chute de 6 mètres. Ces turbines, qui sont au nombre de dix, sont des récepteurs quadruples Francis, construites par la maison Escher Wyss, de Zurich (*fig. 765*). Sous 5 mètres de chute, elles donnent 2.200 chevaux et atteignent leur puissance maximum de 3.000 chevaux sous 7^m,50 de chute. Leur vitesse est de 107 tours-minute.

Leur partie mobile est constituée par quatre roues calées sur le même arbre et dans lesquelles l'eau arrive par l'extérieur, l'enveloppe entière de la turbine étant noyée dans la chambre d'eau. Trois conduits évacuent l'eau qui sort des aubages vers le canal de fuite.

Les régulateurs hydrauliques automatiques dont sont munies les turbines fonctionnent à l'huile sous pression.

Alternateurs. — Les alternateurs peuvent fournir en service permanent

2.500 chevaux sous forme de courant triphasé à 7.000 volts, 50 périodes. Les excitatrices de 272 kilowatts chacune fournissent du courant continu à 220 volts.

Le courant à 7.000 volts est envoyé directement sans transformation à Bâle et aux environs. La commande à distance des interrupteurs, des appareils de réglage, des alternateurs et des turbines a lieu à partir d'un poste central au milieu de la salle des machines, où sont installés les appareils des départs.

USINE DE WYHLEM. — Le bâtiment principal, symétrique de l'usine d'Augst, ne contient que les turbines et les générateurs; les appareils de

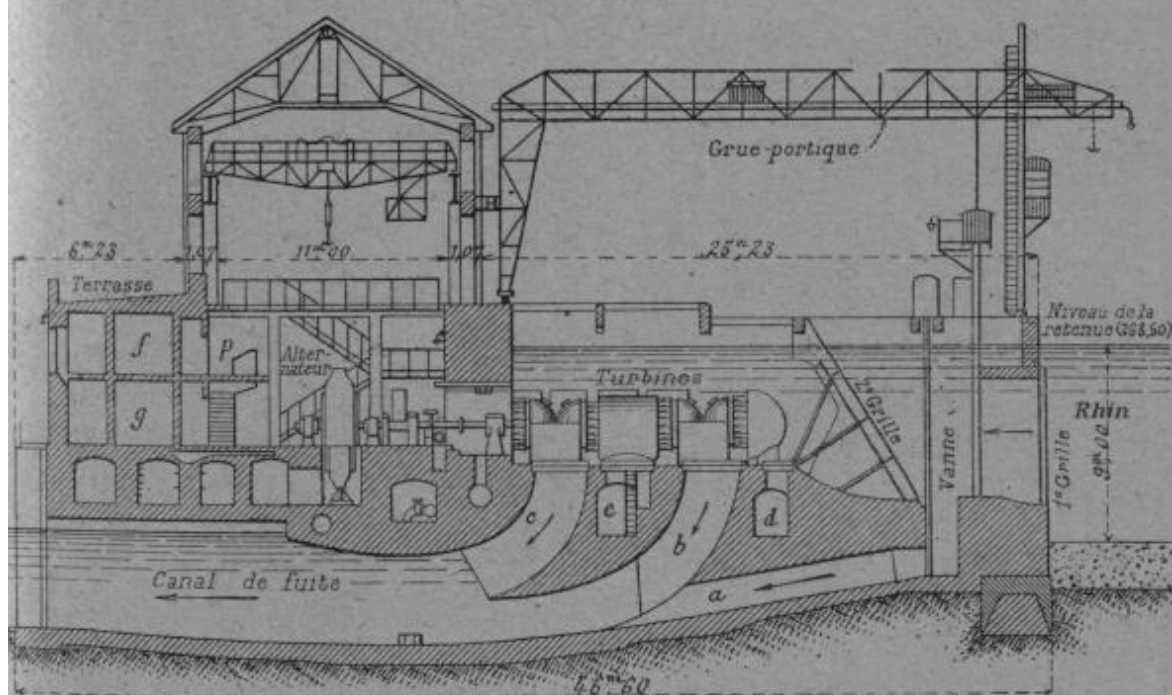


FIG. 766. — Coupe transversale de l'usine d'Augst.

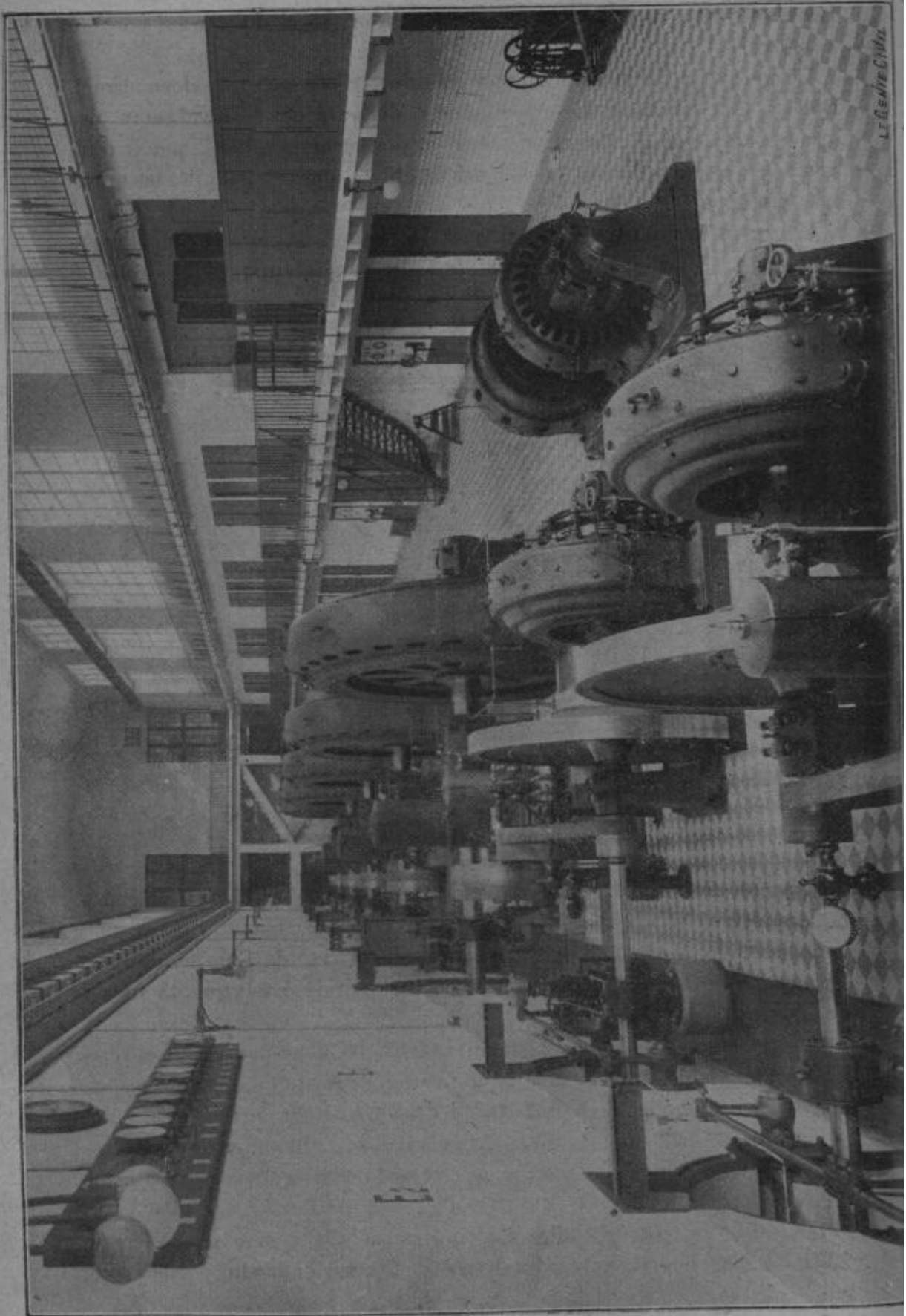
réglage, de distribution et les transformateurs sont placés dans un bâtiment construit sur la rive même.

La longueur de l'usine parallèlement au Rhin est de 130 mètres et sa largeur, aux fondations, de 43^m,20. Le canal de fuite a environ 45 mètres de largeur.

Comme le sol de la salle des machines est à 4^m,30 au-dessous de la retenue, on a pris des précautions pour assurer l'étanchéité, notamment en disposant des feuilles de plomb dans les murs en béton armé.

Turbines. — Les chambres des dix turbines sont distantes de 10 mètres les unes des autres. Les vannes ont la même disposition qu'à l'usine d'Augst.

Les turbines, du type Francis, horizontales, ont une puissance de 2.200 à 3.000 chevaux suivant la hauteur effective de la chute. Elles sont



constituées de trois turbines élémentaires dont nous donnons la description au chapitre XII.

La régulation de la vitesse a lieu par déplacement des aubages d'admis-

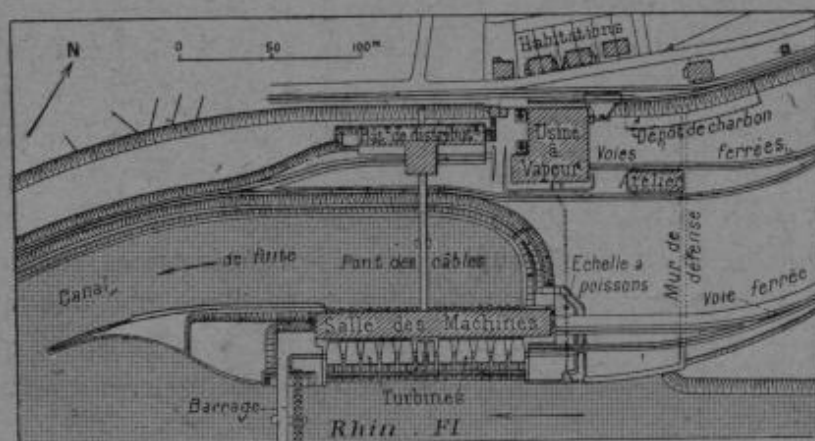


FIG. 768. — Plan général de situation, usine de Wyhlen.

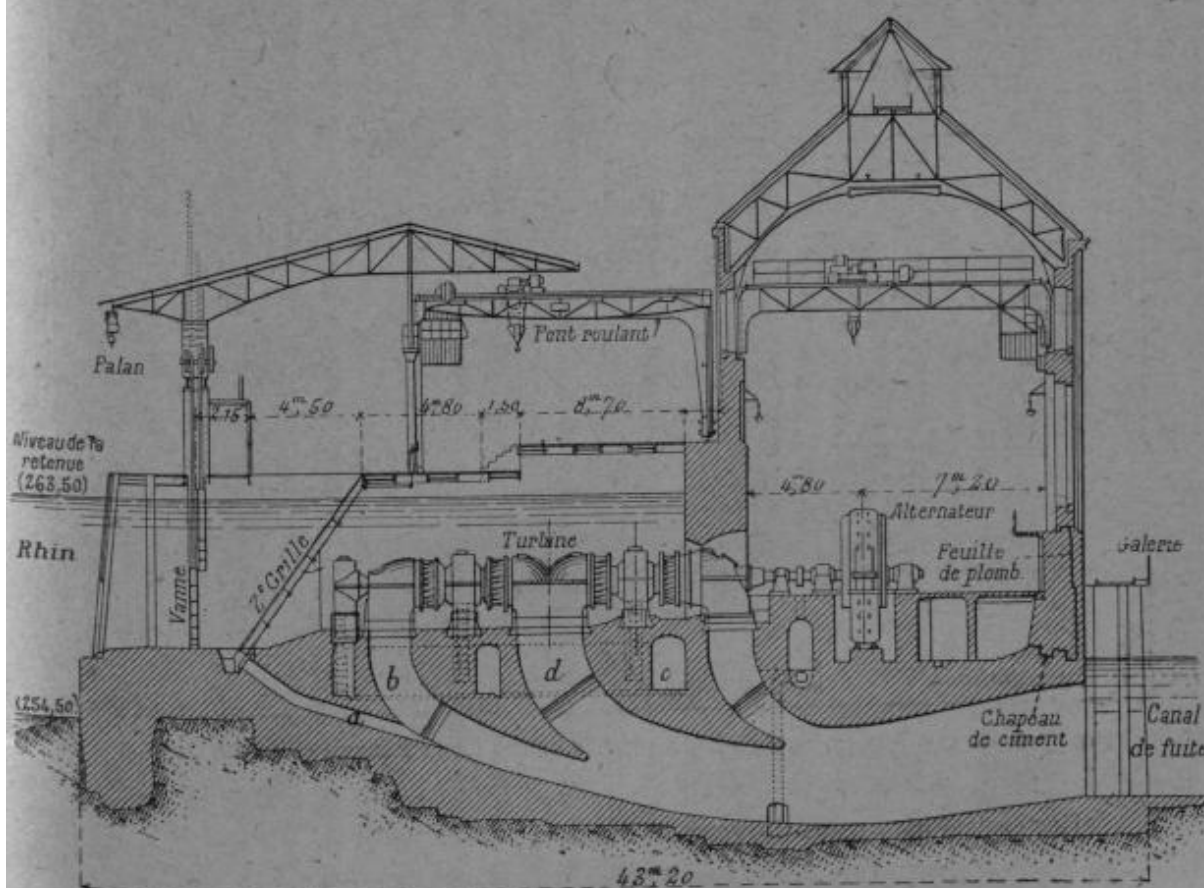


FIG. 769. — Coupe transversale, usine de Wyhlen.

sion actionnés par deux arbres que commande le servo-moteur du régulateur placé dans la salle des machines. L'huile, à la pression de 15 kilogrammes, est comprimée par une pompe à deux cylindres.

Alternateurs. — Comme à l'usine d'Augst, les alternateurs sont montés en bout d'arbre des turbines et fournissent 2.600 K. V. A. avec un facteur de puissance de 0,8. La tension normale est de 6.800 volts à la vitesse de 107 tours-minute.

Usine de réserve thermique. — Elle est installée à proximité de l'usine hydraulique et à côté du bâtiment de distribution. Elle renferme deux turbo-alternateurs de 4.500 à 5.000 kilowatts-ampères chacun, alimentés par sept chaudières tubulaires fonctionnant à 12 kilogrammes de pression et à 300°. Les turbines tournent à 1.500 tours.

Distribution. — On peut coupler toutes les génératrices, même celles de l'usine de réserve, et desservir les réseaux par l'une quelconque ou par plusieurs de ces génératrices. Les lignes doubles de transport qui desservent les localités voisines et les usines d'électrochimie sont à 25.000 et 44.000 volts.

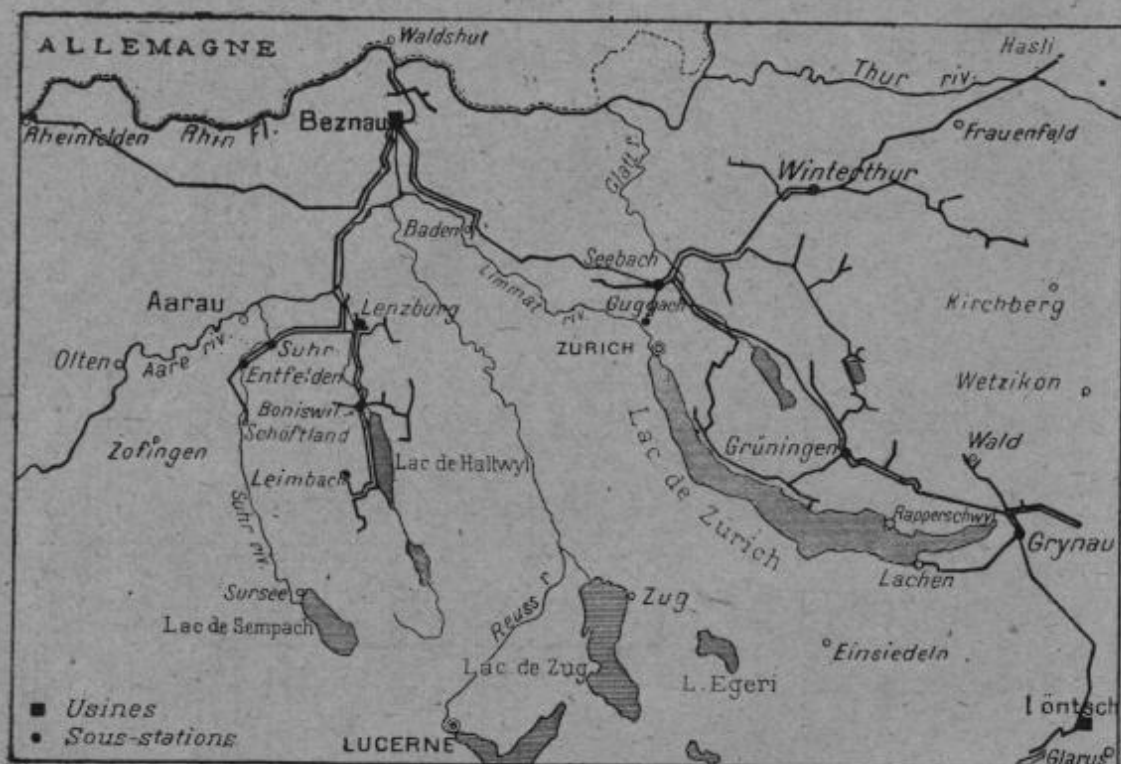


FIG. 770. — Carte du réseau desservi par les usines de la Beznau et du Lontsch.

Les transformateurs élevant la tension de 6.800 à 44.000 volts ont une puissance chacun de 2.600 kilowatts-ampères.

Les dépenses de construction et d'installation payés par la Société Badoise se sont élevées à environ 13.500.000 francs dont 3.900.000 francs pour les travaux de terrassement de l'usine et de ses abords, 3.800.000 francs pour la moitié du barrage concernant l'usine de Wyhlen, 1.550.000 francs pour les turbines et 2 millions pour l'ensemble de l'usine à vapeur.

301. Usine de la Beznau (Suisse) (chute, 6 mètres). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Cette usine est située au bord de l'Aar (fig. 770

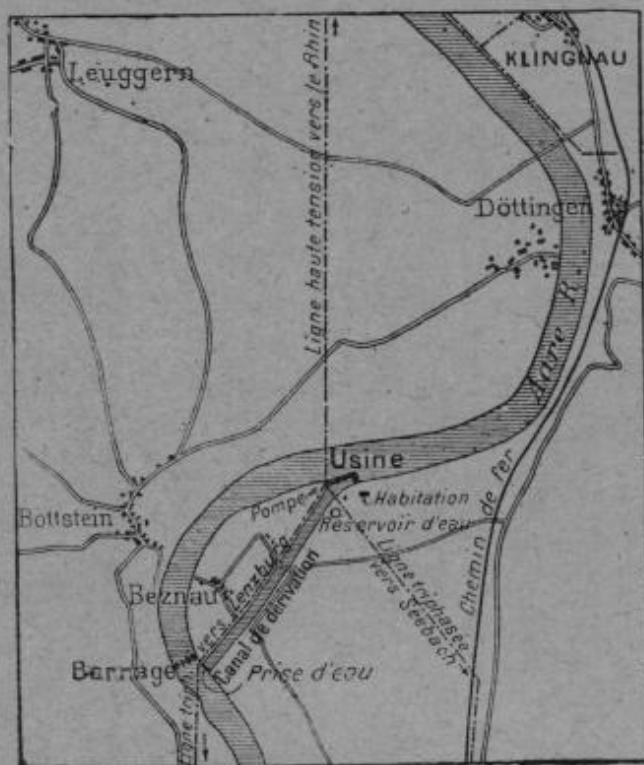


FIG. 771. — Plan de situation de l'usine.

et 771), environ à 7 kilomètres de son confluent avec la Limmat. Le niveau de l'eau est maintenu à la cote 327 au barrage de prise d'eau, sauf pendant

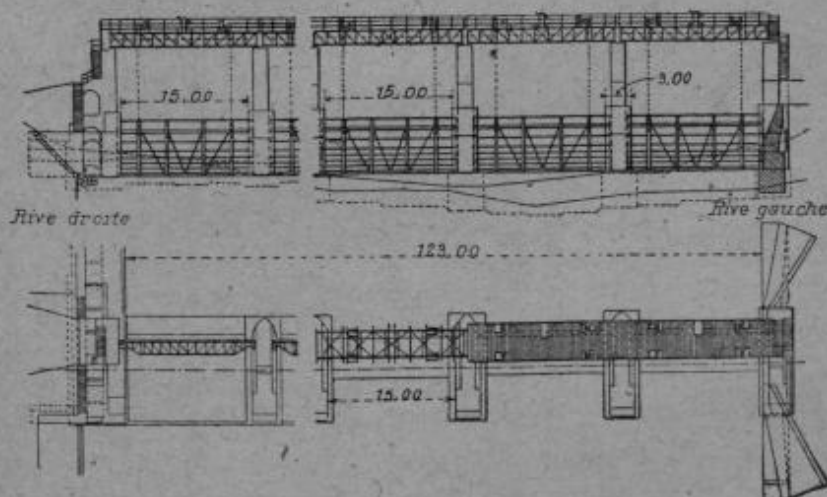


FIG. 772. — Élévation et plan partiels du barrage sur l'Aar.

les périodes de crues où il est abaissé pour éviter les effets du remous dans la région en amont. Une autre installation, sur le Löntsch, torrent

du canton de Glaris, est couplée électriquement avec l'usine de la Beznau.

Barrage. — Cet ouvrage (fig. 771 et 773) est constitué par 6 piles formant 7 pertuis de 15 mètres chacun

qui sont fermés par des vannes métalliques Stoney de 6^m,30 de hauteur qui s'appuient sur des plaques de fonte protégées par une rangée de pierres de taille. Le pont de service, dont le plancher est à 11 mètres au-dessus du niveau de retenue, est à travées indépendantes. Chaque vanne, construite en treillis mécanique, suspendue par des chaînes Galle et équilibrée par un contrepoids, est manœuvrée soit à bras, soit par un moteur triphasé de 8 HP. Les dimensions des vannes étant de 6^m,60 × 3^m,20 doivent supporter une pression de 75 tonnes quand le niveau des eaux est maximum, aussi leur manœuvre a lieu par l'huile sous pression de l'installation générale de graissage des machines et elle est commandée de la grande salle même par un simple jeu de robinets. Une échelle à poissons de 2 mètres de largeur est ménagée sur la culée de la rive droite.

Prise d'eau. — Elle est presque perpendiculaire à l'Aar ; son radier en béton supporte quatorze fermettes métalliques espacées de 3^m,75 et munies de vannes levantes légères, analogues à celles du barrage. Ce radier est arasé à 1^m,45 au-dessus de celui du barrage, pour éviter l'introduction des graviers dans le canal. En outre une digue en terre de 600 mètres de longueur a dû être construite sur la rive gauche, en amont du barrage.

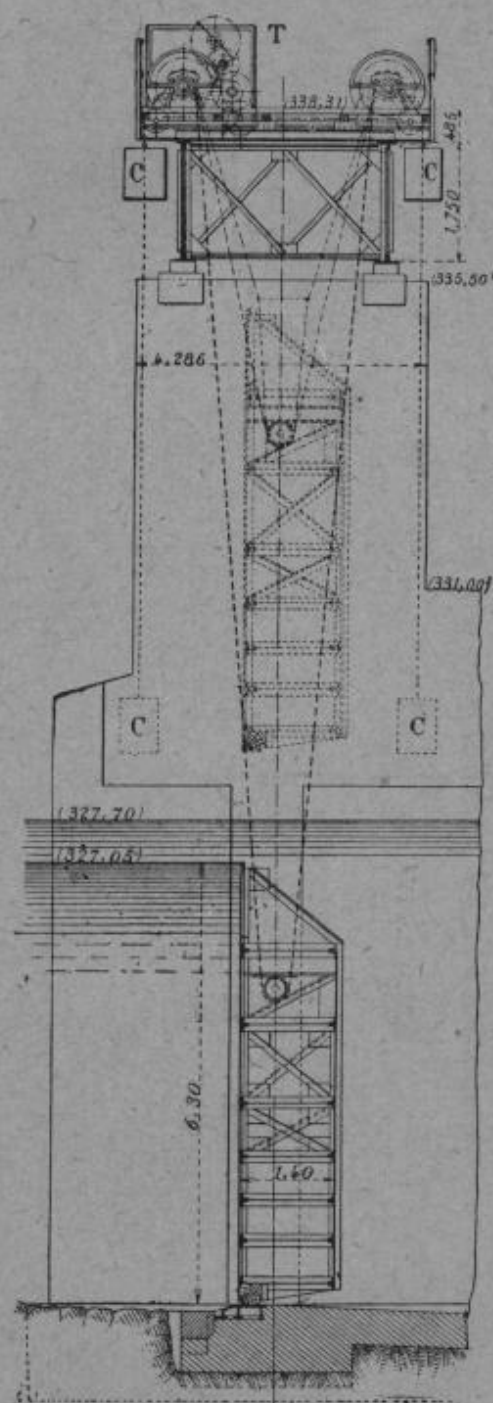


FIG. 773. — Coupe transversale du barrage sur l'Aar, montrant une vanne Stoney et son treuil.

Le canal d'amenée a 1.180 mètres de longueur et une pente de 0^m,15 par kilomètre. Il a été creusé à sec, et ses extrémités ont été protégées par des batardeaux en maçonnerie jusqu'au moment de la mise en eau.

L'usine du type « usine-barrage » termine le canal d'amenée et se trouve immédiatement au bord de la rivière, de sorte qu'il n'y a pas de canal de fuite pour ainsi dire.

La grille de protection disposée en amont de l'usine a 90 mètres de longueur ; l'intervalle entre les barreaux est de 30 millimètres.

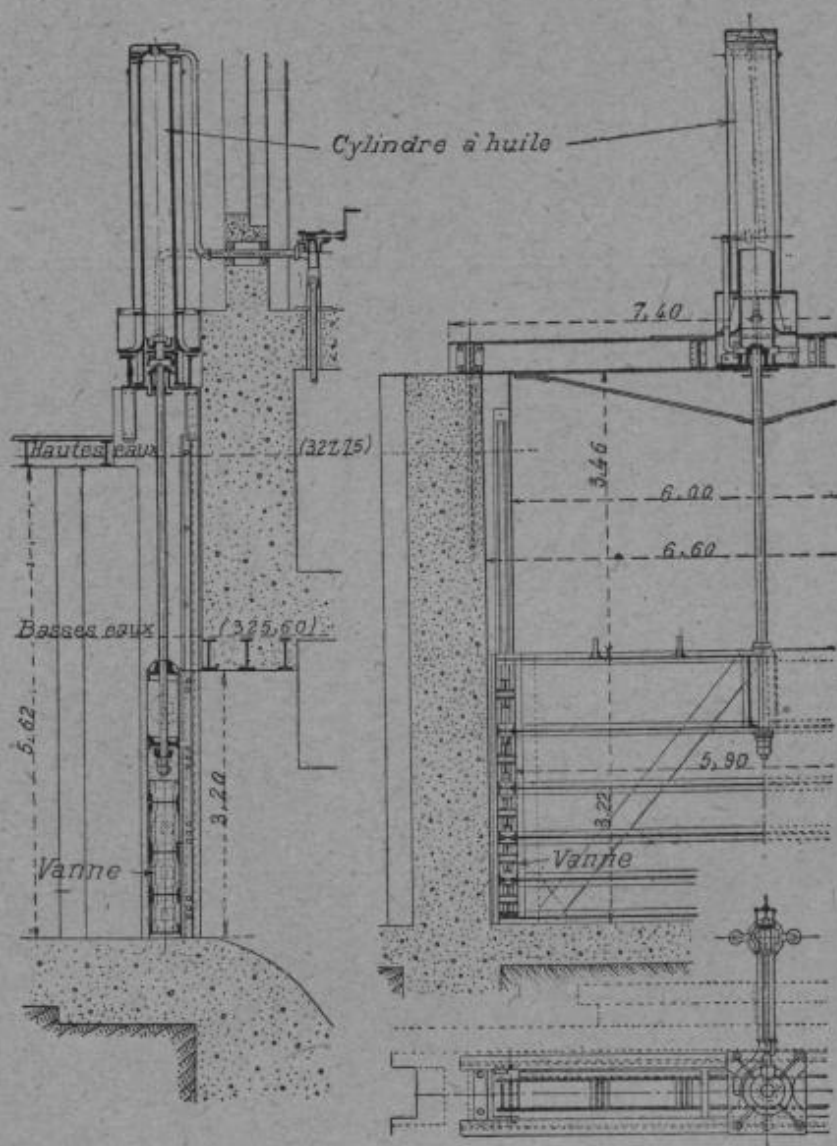


FIG. 774. — Coupe verticale et élévation partielle du vannage des chambres d'eau des turbines principales.

TURBINES. — Les onze turbines principales, qui ont chacune trois étages d'aubages montés sur l'axe vertical et tournent à 66,6 tours par minute, ont été construites par la société Th. Bell. Le premier de ces aubages, de 780 à 1.000 HP (chute de 3^m,30 à 3^m,90) est destiné à utiliser de préférence les pressions maxima (basses eaux) ; le second, de 900 à 1.200 HP, est mis en œuvre pendant les crues (chute de 3^m,20 à 3^m,70).

Le réglage s'effectue simultanément sur les trois étages d'aubages au moyen d'un axe vertical et de bielles qui font pivoter les aubages directeurs (*fig. 774*).

Les régulateurs, placés dans la salle des machines, sont commandés par des servo-moteurs à huile sous pression (20 à 25 kilogrammes), qui fonctionnent soit à la main, soit par la force centrifuge. Les chambres des turbines peuvent être mises entièrement à sec en fermant, d'une part, les vannes d'amont, et d'autre part, des vannes mobiles qu'un transporteur permet de descendre devant chaque chambre, du côté aval, entre les piliers. Les turbines sont ainsi entièrement accessibles pour les réparations, après épuisement des chambres par deux pompes spéciales.

ALTERNATEURS. — Les machines électriques montées sur les axes ver-

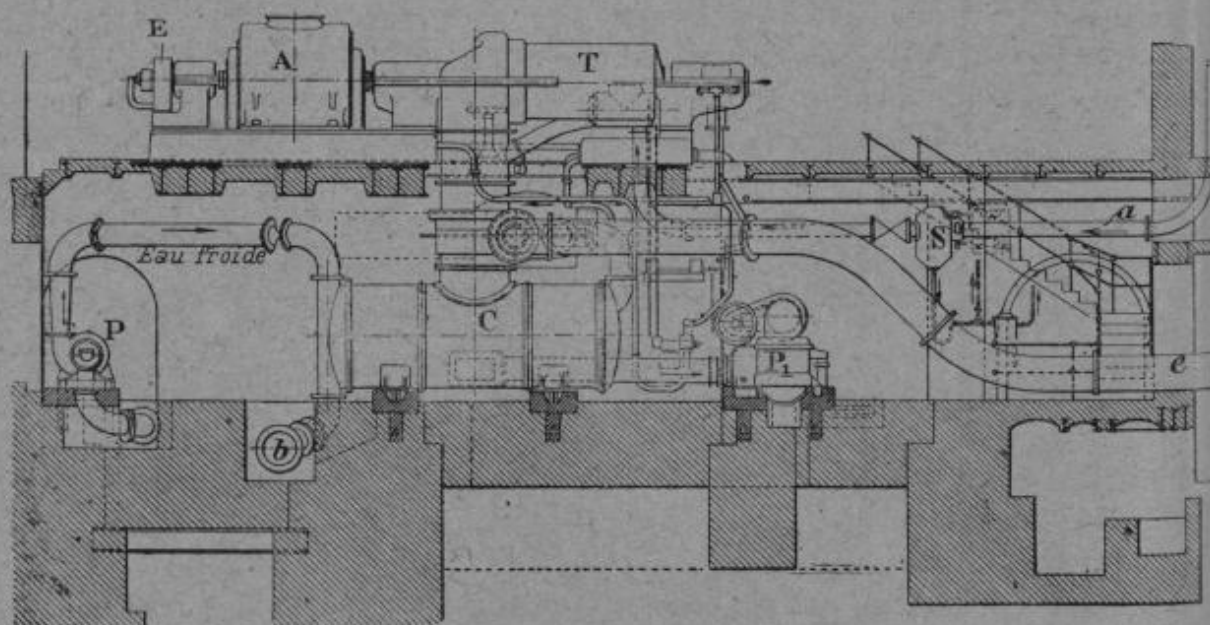


FIG. 775. — Usine de la Beznau. Turbo-alternateur Brown-Boveri-Parsons.

tiques des turbines hydrauliques, de 900 kilowatts de puissance, sont à 90 pôles et donnent du courant triphasé à 8.000 volts, 50 périodes. Celles calées sur les arbres des turbines à vapeur dont il sera parlé plus loin, peuvent fournir chacune 2.400 kilowatts avec du courant de la même forme. Deux excitatrices (courant à 150 volts) ont une puissance unitaire de 300 kilowatts. Toutes ces machines proviennent des ateliers Brown, Boveri et Cie.

TURBINES A VAPEUR (*fig. 775*). — Pour parer aux insuffisances de débit pendant les basses eaux ou à la réduction de la chute disponible pendant les crues, l'installation ne comportant pas de réservoir, on a installé deux turbines à vapeur de 3.500 HP chacune ; les groupes forment réserve à la fois pour l'usine et pour l'installation de l'usine établie sur le Löntschi.

La chaufferie comprend une batterie de 6 chaudières aqua-tubulaires système Durr à foyers mécaniques avec surchauffeurs et tirage artificiel par aspiration. La caractéristique de ces générateurs est une grande rapidité de mise en pression et une souplesse remarquable de variation d'allures, qualités nécessaires pour remédier à toute défaillance des turlines à eau et pour répondre aux besoins irréguliers en vapeur.

Chaque chaudière, timbrée à 13 kilogrammes, a 350 mètres carrés de surface de chauffe mouillée et est surmontée d'un surchauffeur de 110 mètres carrés. Chacune contient 260 tubes de vaporisation, longs de 4^m,30. Aux essais on a obtenu de 22 à 28 kilogrammes de vapeur par mètre carré de surface de chauffe et par heure ; 7^{kg},6 à 7^{kg},9 de vapeur par kilogramme de charbon (6.600 à 6.900 calories). Les foyers ont des grilles à chaînes, avec mouvement continu, et sont alimentés par des goulottes descendant des trémies ; ces chaînes sans fin, montées sur chariots, peuvent être entièrement retirées des chaudières pour les réparations.

Le tirage forcé a été installé pour activer la mise en route des chaudières et faire varier plus facilement les quantités de vapeur produites. Les ventilateurs aspirants sont installés au-dessus des chaudières et envoient les gaz dans deux cheminées en tôle de 1^m,50 de diamètre et 15 mètres de hauteur. Les carnaux de fumée sont aussi en tôle, à double enveloppe et à couche d'air formant isolant. Chaque chaudière peut être séparée des ventilateurs au moyen de vannes. Ces derniers, de 35 HP chacun, tournent à 355 tours et sont commandés électriquement. Ils sont établis pour donner une dépression de 40 millimètres d'eau dans les conduites de gaz.

Enfin chaque groupe de trois chaudières peut travailler sur l'une ou l'autre des turbines Parsons au moyen de tuyauteries appropriées. Le charbon est pesé automatiquement, et un appareil Ados sert au contrôle des gaz de combustion. Les deux turbo-alternateurs de 2.400 kilowatts fonctionnent avec la vapeur de 12 kilogrammes surchauffée à 300°. La consommation aux essais a été de 6^{kg},36 de vapeur par kilowatt-heure à puissance normale et de 7^{kg},4 à demi-puissance. Les conduites de circulation d'eau froide dans les condenseurs des turbines à vapeur sont reliées, d'une part, au canal d'amenée, d'autre part, aux eaux de l'Aar, dans laquelle s'écoule l'eau de réfrigération sous la simple action de la différence des niveaux amont et aval. Les turbines peuvent marcher à échappement libre si les condenseurs se trouvent indisponibles.

BÂTIMENTS. — Le bâtiment des turbines hydrauliques comprend onze compartiments principaux pour les turbines d'alternateurs et deux plus petits pour les turbines des excitatrices. Les fondations en béton sont prolongées à l'amont et à l'aval par des becs munis de rainures pour l'ins-

tallation éventuelle de barrages en poutrelles, en outre des vannes installées à poste fixe du côté amont.

Au bout du bâtiment se trouve le pavillon des tableaux et de départs de lignes. De l'autre côté, la salle des alternateurs se prolonge par le bâtiment des turbines à vapeur et la chaufferie, en retour d'équerre sur la rive droite du canal. Un déversoir, une écluse pour barques et l'échelle à poissons sont ménagés entre le canal et l'Aar, sous le bâtiment.

La salle des machines a 12 mètres de largeur, 127 mètres de longueur et 10 mètres de hauteur, avec toiture en terrasse.

Le pavillon des tableaux et départs de lignes est construit sur la rive gauche du canal et divisé en deux compartiments, l'un communiquant avec la galerie des canalisations qui forme sous-sol de la grande salle des machines, l'autre constituant la salle des transformateurs dont nous parlons ci-après. L'atelier de réparation est attenant à ce pavillon.

L'eau pour les chaudières, et accessoirement pour le refroidissement des transformateurs et pour les usages divers, provient d'un puits situé entre l'Aar et le canal ; c'est l'eau de la rivière filtrée à travers le sol et par conséquent très pure. Une pompe électrique la refoule dans un réservoir en béton armé.

Quelques maisons pour le personnel ont été construites aux abords de l'usine qui se trouve assez éloignée de tout village. Les travaux de fondations de la partie principale de l'usine, celle qui forme barrage, ont été exécutés à l'air comprimé avec des caissons fixes, flottants ou mobiles.

LIGNES A HAUTE TENSION (27.000 VOLTS). — Le réseau de distribution de l'usine (disposant de 20.000 HP) est actuellement très étendu et comprend douze sous-stations dans lesquelles le courant est ramené, suivant l'importance de chaque sous-station et l'étendue de son réseau secondaire de 27.000 à 8.000, ou 6.000, ou 500, ou 250 volts. Il est relié à la station centrale du Löntsch.

Les transformateurs à l'usine, qui élèvent à 27.000 volts le courant fourni par les alternateurs, sont au nombre de sept et de 2.000 kilovolts-ampères chacun. Quatre autres transformateurs de faible puissance débitent du courant à 250 volts pour les besoins de l'usine. Ces transformateurs sont placés dans le sous-sol du pavillon des tableaux de distribution.

Les conducteurs sont installés dans une galerie au premier sous-sol de la salle des machines, longeant la façade aval de l'usine ; ils sont nus et montés sur charpentes métalliques. Les conducteurs des deux turbo-alternateurs à vapeur sont sous forme de câbles armés. Le tableau est agencé avec des conducteurs en forme de boucles de façon à pouvoir séparer les parties en service et les parties en vérification sans gêner l'exploitation et brancher chaque appareil sur une partie ou sur l'autre. Il y a deux séries

de barres omnibus, les unes à 8.000 volts, les autres à 27.000 volts, l'énergie étant distribuée à la première de ces tensions pour la région voisine de l'usine et à la deuxième pour les régions plus éloignées. Les appareils de commande et de mesure du courant ainsi que ceux de protection sont installés sur les deux étages du tableau, dont le supérieur seul est accessible en service normal et comporte à la fois des panneaux verticaux et des pupitres à hauteur d'homme.

Les lignes à haute tension sont montées soit sur poteaux métalliques, soit sur poteaux en bois ; la ligne sur Reinfelden a 46 kilomètres, celle sur Enfelden 34 kilomètres et les trois lignes sur Seebach, 35 kilomètres. Elles sont toutes constituées à l'aide de fils de 7 à 8 millimètres de diamètre.

302. Usine de Hagneck (Suisse) (chute, 5^m,80 à 7^m,30). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Cette installation est située sur le parcours du canal de dérivation de l'Aar au lac de Bienne, près du village de Hagneck.

Barrage. — C'est un barrage métallique construit en trois parties, d'une longueur totale de 63^m,40. La partie centrale contient un déversoir que l'on peut obturer au moyen de deux portes mobiles de 10 mètres de largeur chacune et actionnées par un moteur triphasé, ou à la main à l'aide d'un treuil. Le barrage de la rive droite a aussi un déversoir pourvu d'une porte à manœuvre verticale donnant pas-

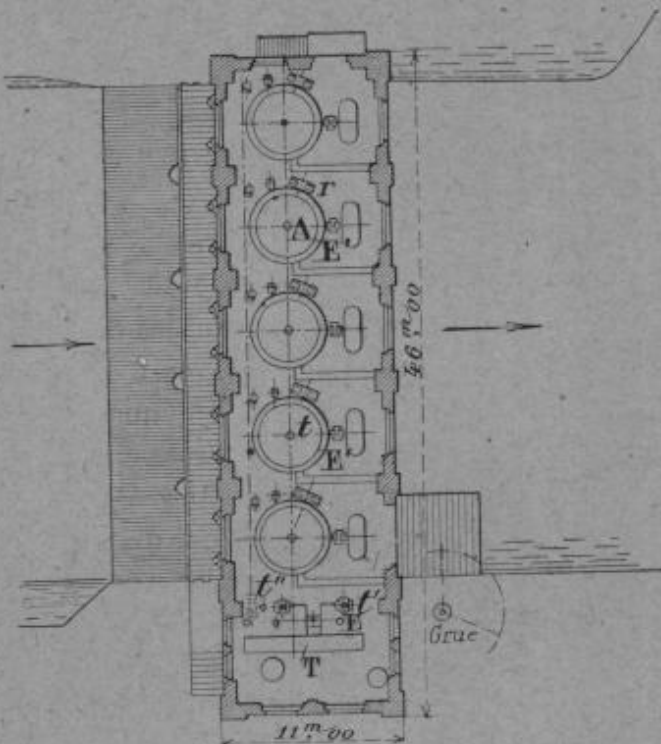


FIG. 776. — Usine de Hagneck. Coupe en plan de l'usine.

sage à des trains de bois et aux glaçons. Le barrage de la rive gauche est à hausses mobiles, relevées au moyen d'un treuil électrique pouvant se déplacer sur un chemin de roulement en charpente métallique. Les trois barrages sont séparés par de fortes piles en béton.

Canal. — Le canal alimentant l'usine, d'une longueur de 200 mètres, prend naissance à quelques dizaines de mètres en amont du grand bar-

rage. A l'entrée du canal, une digue transversale en charpente sert de barrage aux glaces flottantes pour les empêcher d'arriver à l'usine.

TURBINES. — Au nombre de cinq (*fig. 776*), elles sont verticales, du type centripète, l'échappement de l'eau se faisant parallèlement à l'axe ; il y a deux bâches d'échappement pour quatre couronnes mobiles. L'échappement de deux couronnes mobiles se fait de haut en bas, tandis que l'échappement des deux autres se fait en haut ; il en résulte un équilibre presque complet du poids de l'inducteur de l'alternateur et des couronnes mobiles. L'arbre vertical, reposant dans une crapaudine, est guidé par deux paliers noyés dans le bief d'amont et un autre en dehors de l'eau ; ils sont lubrifiés par de l'huile sous pression.

Les conduites de chaque turbine provenant de deux bâches d'échappement se réunissent ensuite dans un corps cylindrique de 2^m,40 de diamètre dont l'ouverture est constamment noyée dans le bief d'aval. La puissance de chaque turbine est de 1.300 HP dont le nombre de tours est de 100 à la minute. Trois turbines secondaires, dont deux de 20 HP, commandent les excitatrices (120 ampères sous 120 volts), et une de 45 HP actionne la transmission, permettant la manœuvre des portes des chambres d'eau ainsi que des pompes des régulateurs des turbines principales. Les turbines proviennent de la Société Bell et C^{ie}.

ALTERNATEURS. — Ils sont du type à inducteur mobile et induit fixe. L'inducteur en forme de parapluie porte 48 pôles et l'induit, alésé à 5^m,52, a ses enroulements connectés en étoile. Le courant est produit sous la forme triphasée, à 8.000 volts et 40 périodes. L'excitation de chaque alternateur est obtenue par une dynamo à axe vertical commandée par la turbine au moyen d'engrenages coniques. Les petites excitatrices sont à excitation indépendante.

RÉSEAU A HAUTE TENSION. — Il y a actuellement huit lignes constituées chacune par trois fils ayant des diamètres variant de 6, 7 et 8 millimètres. Elles sont placées, parties sur poteaux en bois et parties sur poteaux métalliques jumelés avec deux mâts en bois. Les barres collectrices de chaque réseau sont à circuits fermés au moyen de sectionneurs, qui permettent la visite et les réparations sans arrêter la centrale.

La salle de départ, située au-dessus de la salle de distribution, comprend les parafoudres à cornes dont les fils de terre sont placés en série avec des résistances liquides renfermées dans des tuyaux en poterie. L'usine a été fondée en 1901.

EXPLOITATION. — *Force motrice.* — Les prix de vente de l'énergie au cheval-an sont de 570 francs, 210 francs, 185 francs et 145 francs pour des unités respectives de $\frac{1}{10}$, 1, 10 et 100 HP. Ces prix subissent une réduction

de 30 0/0 lorsque le consommateur s'engage à ne faire usage du courant qu'en dehors de la période d'éclairage.

Éclairage. — Prix par lampe et par an :

10 b. = 13 fr. 50 ; 16 b. = 21 fr. ; 25 b. = 33 fr. ; 32 b. = 42 fr.

au-dessus de 1.000 heures de lampe-an ;

10 b. = 10 fr. 50 ; 16 b. = 16 fr. ; 25 b. = 25 fr. ; 32 b. = 32 fr.

de 400 à 1.000 heures ;

10 b. = 7 fr. ; 16 b. = 10 fr. 50 ; 25 b. = 16 fr. 50 ; 32 b. = 21 fr.

au-dessous de 400 heures.

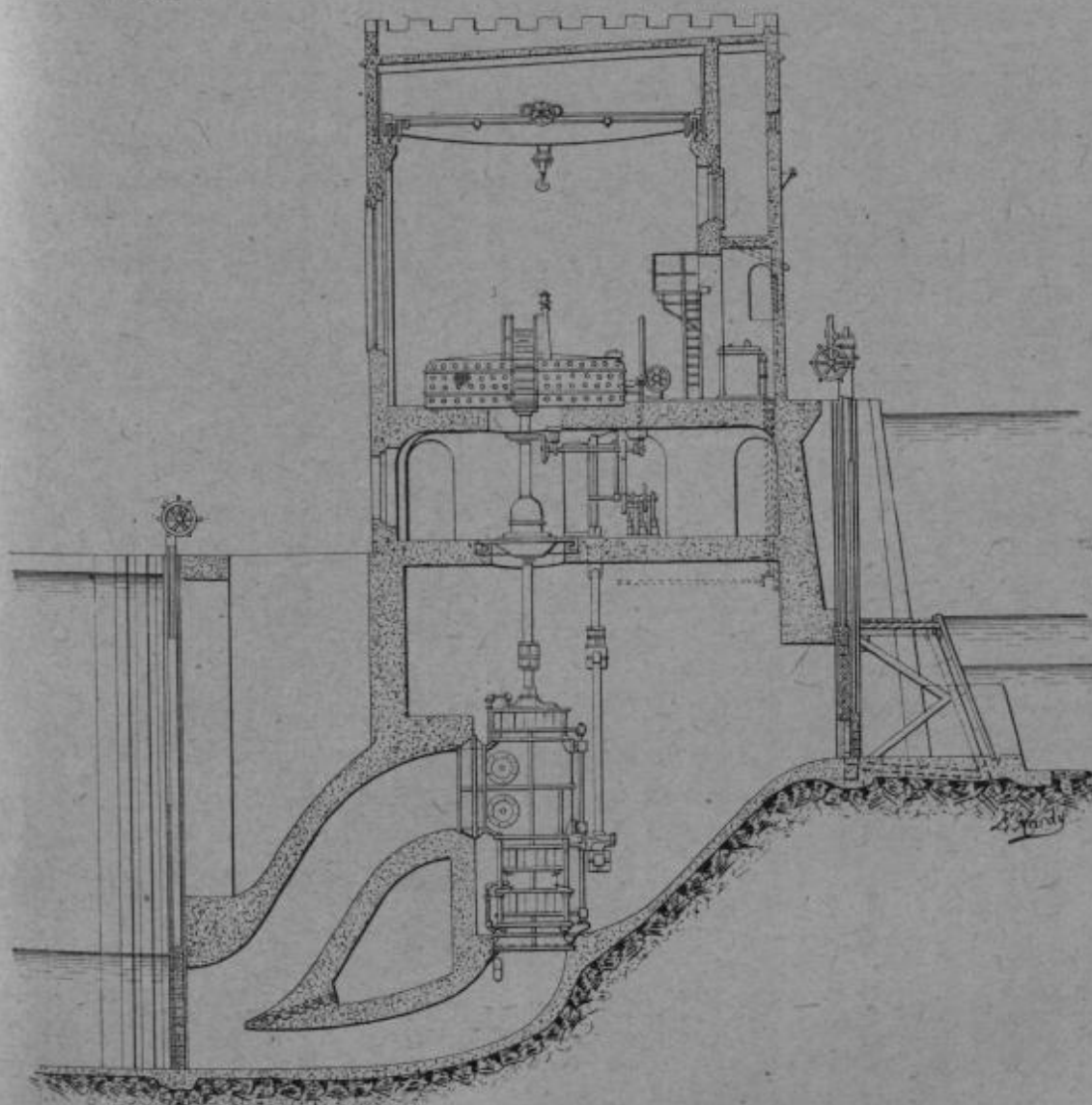


FIG. 777. — Usine hydroélectrique de Hanford. Coupe verticale sur une turbine.

303. Usine de Hanford (États-Unis) (chute moyenne, 6^m,80). — Cette installation offre ce caractère particulier qu'elle utilise de basses chutes et

qu'elle assure un service d'irrigation par application de la transmission électrique, l'arrosage ne pouvant être résolu par gravitation en raison de la configuration de la région.

L'usine est établie sur les Priets Rapids. La figure 777 en donne la coupe verticale.

La hauteur de chute utilisée varie entre 5^m,40 et 8^m,30. Afin de pouvoir placer les génératrices au-dessus du niveau supérieur de l'eau, on a adopté des turbines Francis triplex, couplées directement aux alternateurs. La puissance disponible est de 90.000 chevaux.

Les turbines (*fig. 777*) tournant à 150 tours ont une puissance unitaire de 2.000 chevaux, actionnant chacune un alternateur triphasé de 900 kilowatts à 60 périodes. Un groupe moteur-générateur de 60 kilowatts, formé d'un moteur fournissant 2.300 volts à 875 tours et d'une dynamo à 120 volts, sert seulement pour l'excitation.

Une pompe spéciale sert à l'amorçage des turbines et une autre fournit l'eau de réfrigération pour les transformateurs monophasés de 400 kilovolts ampères montés par trois en triangle et élevant la tension des générateurs de 2.200 à 22.000 volts.

De l'usine, l'énergie est transmise à 25 kilomètres de distance à une sous-station de pompes actionnées par moteurs à induction de 450 chevaux chacun.

La ligne de transmission est portée par des poteaux de cèdre de 12 mètres de hauteur moyenne. Elle est formée de trois fils en cuivre placés à 0^m,135 l'un de l'autre, en triangle équilatéral. La portée normale est de 43 mètres. Les bâtiments de l'usine principale et de la sous-station sont construits en béton armé.

304. Usine de Tuilière (Dordogne) (*chute moyenne, 8 mètres*). —

AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Cette remarquable et importante installation a été conçue et étudiée par l'éminent ingénieur M. Claveille. Elle appartient à la société l'Énergie Électrique du Sud-Ouest. L'aménagement de l'usine de Tuilière est plus spécialement décrit au (§ 186). Pour cette installation on voit, ainsi que le montre la (*fig. 778*), que l'on a eu recours à un barrage mobile (*fig. 779*), un des plus importants du continent, au moyen de vannes métalliques pouvant se replier en partie ou en totalité sur le tablier du viaduc-barrage. La crête de ces vannes se trouve, lorsqu'elles sont normalement fermées, à 12 mètres au-dessus de l'étiage en ce point, soit à l'altitude 32,24. Au niveau des hautes eaux, le débouché linéaire du barrage est de 84 mètres et de 77 mètres à l'étiage. Le barrage a une longueur de 137 mètres.

TURBINES. — La chambre d'eau des turbines principales a 6 mètres de longueur ; sa hauteur à l'entrée est de 4^m,50 et sa hauteur intérieure de

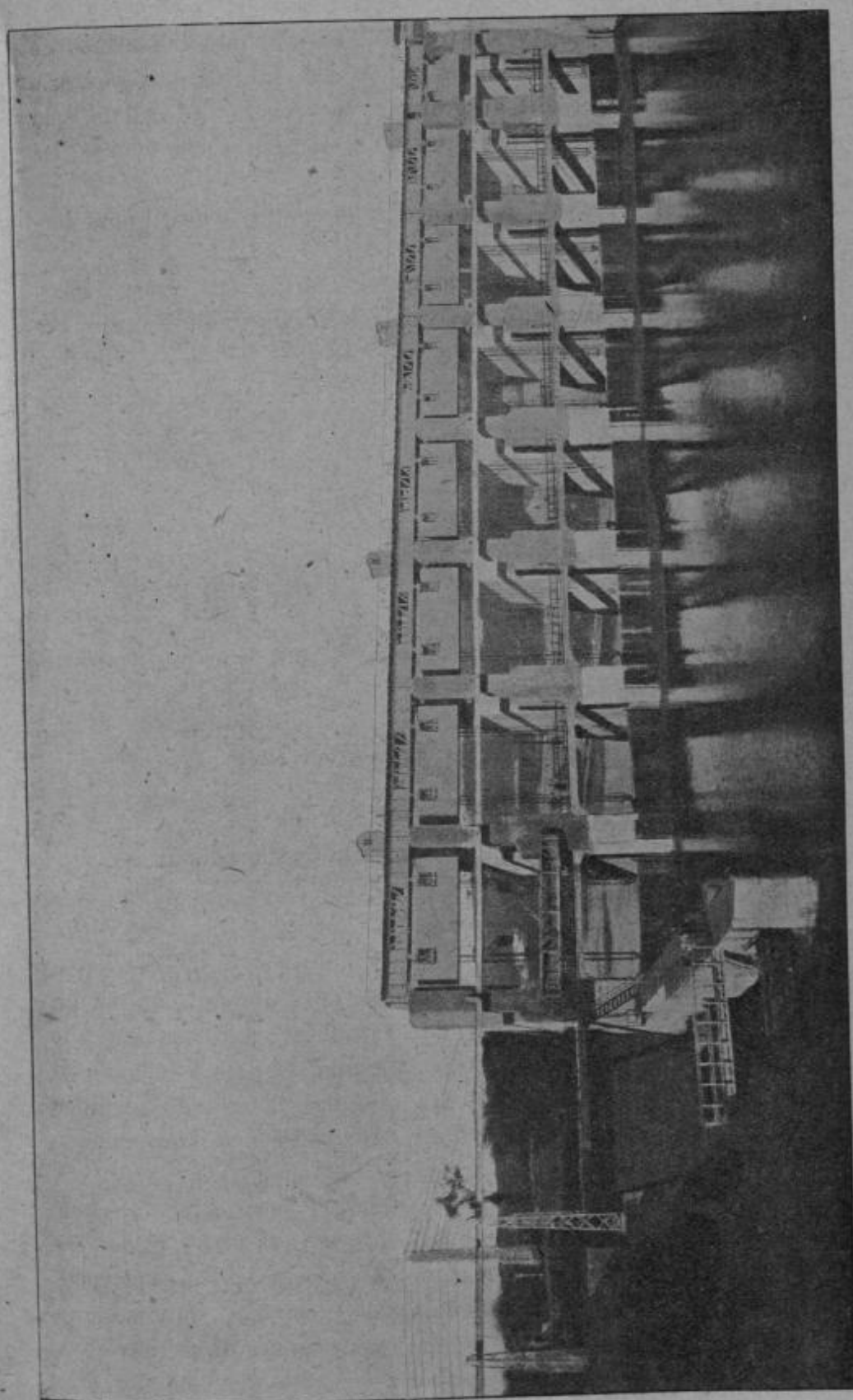


FIG. 779. — Usine de Tullière. — Vue générale du barrage.

10^m,50. L'espace réservé entre l'extrados des voûtes et le niveau de la salle des machines forme un vaste sous-sol comprenant 9 chambres de service. Ces chambres contiennent les pivots des turbines, la tuyauterie d'huile sous pression nécessaire au graissage des pivots, des paliers, à la manœuvre des servo-moteurs, des presses de manœuvre des vannes, les commandes des régulateurs, etc.

Les cloisons séparatives sont prolongées à l'amont et à l'aval pour former les avant et arrière-becs.

L'usine comporte neuf turbines principales, dont une de réserve. Elles sont à chambre d'eau ouverte, à axe vertical, établies pour fonctionner normalement avec une aspiration d'environ 5^m,50 à 6 mètres. Chaque

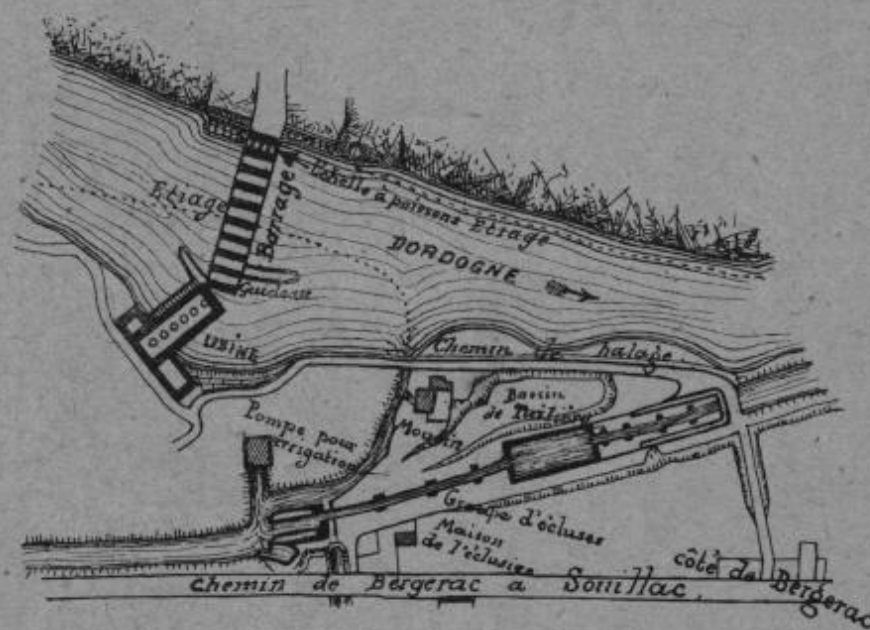


FIG. 778.

turbine est double et du type Francis, commandée à la main, ou par un régulateur de vitesse. L'arbre en acier, de 300 millimètres de diamètre, de chaque moteur hydraulique, a 16 mètres de longueur ; il a été exécuté en deux pièces, la première portant les roues mobiles, la seconde terminée par une bride d'accouplement servant à la transmission de la puissance de la turbine à l'alternateur.

Les deux parties sont assemblées par manchon d'accouplement.

Chaque turbine se compose de deux roues directrices de 3^m,48 de diamètre munies d'aubes fixes combinées avec des clapets mobiles permettant de faire varier l'admission de l'eau dans la turbine, en donnant une ouverture plus ou moins grande à ces clapets. Ces roues directrices sont fixées sur deux couronnes en fonte supportées par quatre colonnes prenant appui sur le radier des chambres d'eau.

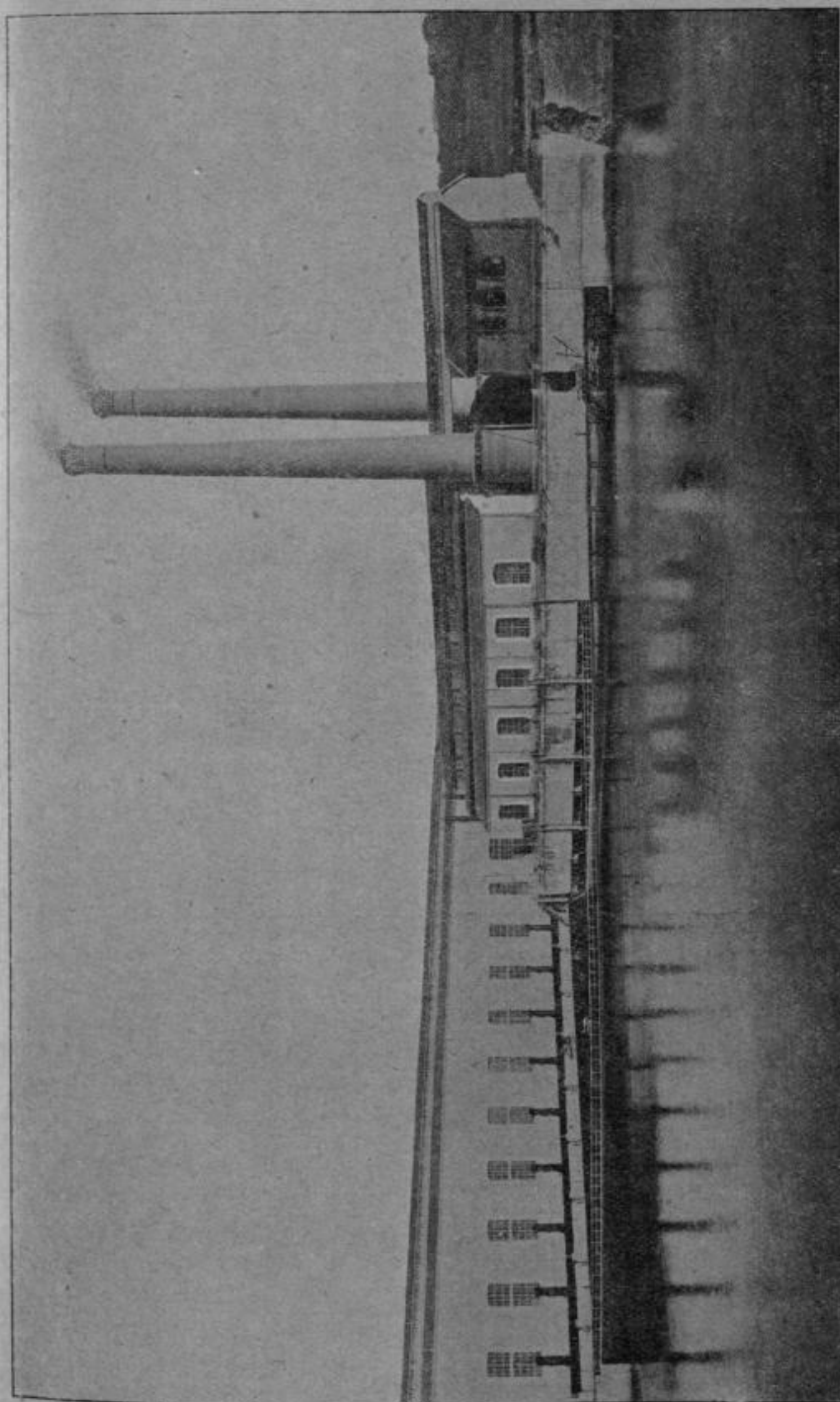


FIG. 780. — Usine de Tuilière. — Vue de l'usine en amont.

Le mouvement de rotation est centré par les paliers de la turbine et de l'alternateur. Le rendement maximum est prévu pour une chute comprise entre 7 mètres et 7^m,50 et pour fonctionner à la vitesse constante de

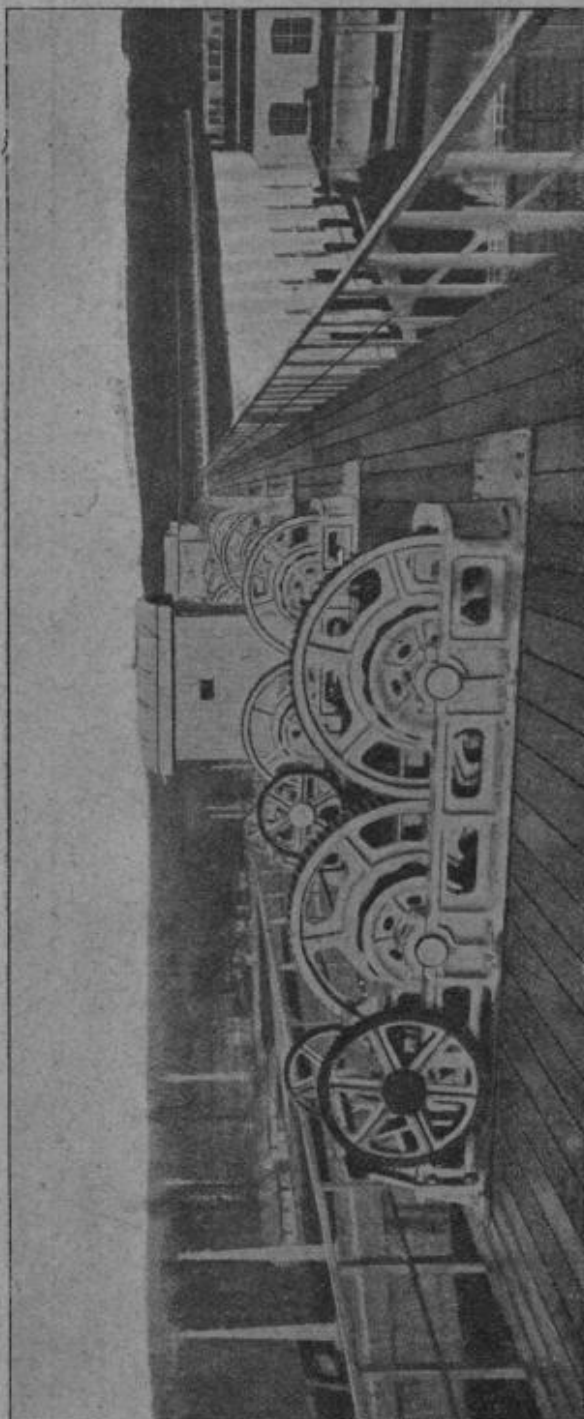


FIG. 781. — Usine de Tuilière. — Vue générale d'un treuil de manœuvre.

107 tours pour toutes les hauteurs de chute comprises entre 6 mètres et 12 mètres; il est supérieur à 0,75 à pleine charge.

Le débit de chaque turbine est d'environ 25 mètres cubes sous 10 mètres de chute; leur puissance unitaire dans ces conditions est de 2.700 HP, laquelle s'élève à 3.000 HP sous 12 mètres de chute et descend à 2.000 HP quand la chute n'est que de 8 mètres.

Ces turbines sont munies de régulateurs automatiques de vitesse agissant sur les vannages par l'intermédiaire d'un servo-moteur à pression d'huile. La puissance du servo-moteur est suffisante pour obtenir une fermeture et une ouverture rapides des vannages et éviter toute variation nuisible de la vitesse en cas de variation brusque de la charge.

Trois pompes à huile à simple effet assurent un débit de 900 litres sous 25 kilogrammes de pression; elles sont reliées à

deux collecteurs et deux autres collecteurs, l'un pour l'huile des turbines, l'autre pour l'huile des presses de manœuvre, aboutissant à des bâches à filtres, recueillent l'huile usagée, laquelle est ensuite aspirée par les

pompes. Trois accumulateurs d'huile sous pression peuvent assurer le service en cas d'avarie à une pompe.

ALTERNATEURS. — Les alternateurs triphasés, de 1.750 kilowatts pour $\cos \varphi = 0,9$, sont à induit fixe et inducteur tournant, à 56 pôles fixés à la périphérie d'un volant en acier coulé magnétique, dont le diamètre est de 4^m,590 et le PD² de 320.000 kilogrammètres carrés : ils fournissent du courant à 5.500 volts, 50 périodes, lequel est porté à 55.000 volts sur la ligne de transport au moyen de 15 transformateurs monophasés de 1.200 kilowatts chacun, connectés en triangle aux circuits de 5.500 volts et en étoile aux circuits de 55.000 volts. Il y a en outre trois transformateurs monophasés de 600 kilowatts montés en triangle, tant au primaire qu'au secondaire, qui élèvent la tension de 5.500 volts à 13.500 volts.

Les alternateurs ont un rendement à pleine charge de 94 0/0 et à demi-charge de 91 0/0.

Les services auxiliaires comportent quatre groupes moteurs-générateurs constitués chacun par un moteur d'induction de 220 chevaux commandant par accouplement direct une dynamo de 150 kilowatts. Ces groupes sont eux-mêmes alimentés par un groupe triphasé de trois transformateurs à courant alternatif et 225 kilowatts abaissant la tension de 5.500 à 220 volts. En plus de ces machines, est installé un groupe à vapeur auxiliaire, dans l'usine thermique ; ce groupe comprend une machine tandem de 75 chevaux, tournant à 390 tours et actionnant par accouplement direct une dynamo à courant continu de 50 kilowatts sous 125 volts.

Tous ces groupes auxiliaires sont d'ailleurs aussi bien destinés à assurer les services accessoires et l'excitation des alternateurs de l'usine thermique que de l'usine hydraulique.

Usine thermique. — Une usine à vapeur de secours complète cette belle installation, laquelle comporte deux unités de 6.000 HP chacune, constituées par des turbo-alternateurs système Curtis.

La chaufferie est composée de seize chaudières multitubulaires système Buttner, de 260 mètres carrés de surface de chauffe, produisant de la vapeur à 16 kilogrammes, surchauffée de 100°.

Les foyers des chaudières sont automatiques, du type « Underfeeld », c'est-à-dire à alimentation par dessous.

Les chaudières sont installées sur deux rangées de huit, et sur le carneau de fumée correspondant à chacune de ces rangées est un économiseur Green de 560 mètres carrés de surface de chauffe permettant d'augmenter de 60° environ la température de l'eau d'alimentation. Deux ventilateurs permettent la marche en surcharge des chaudières et le refroidissement des grilles.

Un convoyeur à godets assure la manutention des charbons et des cendres.

La salle des turbines à vapeur, placée en prolongement de l'usine hydraulique, contient, avec une annexe adjacente, le tableau général de distribution, de la passerelle duquel il est possible de surveiller tout l'ensemble des machines.

Les turbo-alternateurs ont une puissance unitaire de 5.000 kilowatts à la vitesse de 750 tours et fournissent du courant triphasé sous 5.500 volts 50 périodes.

La turbine proprement dite est alimentée à la pression de 12 kilogrammes et est chauffée à 175° et fonctionne avec un vide de 95 0/0 à la pression atmosphérique. La consommation de vapeur est à pleine charge de 7^{kg},5 par kilowatt-heure, 8 kilogrammes à demi-charge et 7^{kg},75 à 60 0/0 de surcharge.

L'écart de vitesse entre la pleine charge et la charge à vide n'excède pas 2 0/0. En outre du régulateur et pour faciliter la marche en parallèle, un dispositif spécial muni d'un servo-moteur électrique commandé du tableau permet de faire varier la vitesse de régime de ± 5 0/0. Enfin un dispositif de sécurité coupe automatiquement l'arrivée de vapeur au cas où la vitesse viendrait à dépasser 10 0/0 de la vitesse de régime. Chacun des groupes est complété par un condenseur à surface de 1.000 mètres carrés de surface réfrigérante et dont le service est assuré d'une part par une pompe à air humide Edward's combinée avec une petite pompe à eau condensée, actionnées toutes deux par un moteur synchrone triphasé d'une puissance de 55 kilowatts et, d'autre part, par une pompe de circulation type turbine double, débitant 2.200 mètres cubes à l'heure actionnée directement par un moteur triphasé d'une puissance de 30 kilowatts. Les pompes de circulation aspirent dans des puisards en relation avec la Dordogne.

Pour parer aux cas de crues ou de basses eaux qui pourraient empêcher l'alimentation des pompes du condenseur, on a installé une station de pompage qui aspire l'eau dans le canal de fuite, d'une puissance de 200 kilowatts à la vitesse de 750 tours.

Enfin l'installation des turbines à vapeur est complétée par deux pompes à huile sous pression, destinées à assurer le service du graissage. Chacune de ces pompes à trois corps, commandée par engrenages par un moteur à courant continu 125 volts 10 kilowatts, peut débiter 130 litres à la minute sous une pression au refoulement de 50 kilogrammes par centimètre carré. Cette pression nécessaire pour le service des pivots est abaissée par des détenteurs pour le service supérieur et du milieu des turbines hydrauliques ainsi que pour l'alimentation du servo-moteur du régulateur. De plus l'installation du graissage est complétée, comme pour les turbines à eau, par un accumulateur à air sous pression, permettant de passer de l'une à l'autre des pompes à huile sans interruption des

services d'huile sous pression indispensables au fonctionnement des turbines.

En raison des besoins de la Défense nationale, on a installé en plus 10 chaudières et une turbine à vapeur de 10.000 kilowatts.

Tableau de distribution et transformateurs. — Le tableau commun aux deux usines, thermique et hydraulique, comprend les panneaux pour services accessoires et excitation, transformateurs de service intérieur, alternateurs hydrauliques, alternateurs thermiques, couplage des barres omnibus, panneaux correspondant au poste, ces derniers comprenant les panneaux des transformateurs élévateurs de tension à 13.500 et 50.000 volts, panneau de couplage des barres à 50.000 volts et panneau de départ à 13.500 et 50.000 volts.

Tous les appareils de mesure, de contrôle et de réglage sont alimentés par des transformateurs de mesure placés en arrière du tableau, dans des emplacements dont l'accès est interdit.

Les interrupteurs principaux sont à double rupture dans l'huile et commandés à distance par servo-moteur électrique. La distribution comporte : 1^o deux séries de barres omnibus à 5.500 volts disposées en boucle, logées dans des niches en maçonnerie et munies d'interrupteurs de sectionnement ; 2^o une série de barres omnibus à 50.000 volts également logées dans des alvéoles en maçonnerie et pouvant être divisées en trois tronçons distincts au moyen d'interrupteurs de couplage (tripolaires à huile, et 3^o une série de barres omnibus à 13.500 volts disposées en boucle, logées dans des niches et munies d'interrupteurs de sectionnement permettant de les diviser en six tronçons distincts. Ces deux dernières séries de barres sont situées dans le poste élévateur de tension.

La tension au départ est réglée en fonction de la tension en bout de ligne au moyen de régulateurs Tirill, alimentés par l'intermédiaire de « compensateurs de perte en ligne » dont le principe consiste à créer sur le circuit secondaire des transformateurs de mesure, une ligne fictive ayant une self, une capacité et une résistance proportionnelles à celle de la ligne principale.

Le bâtiment des transformateurs est complètement isolé du bâtiment principal. Au rez-de-chaussée, sont les transformateurs et les barres omnibus et, au premier étage, les interrupteurs à huile, les parafoudres et les départs de lignes aériennes.

Les transformateurs à 50.000 volts, de 1.200 kilowatts chacun, sont au nombre de quinze ; ils sont du type monophasé à bain d'huile et à refroidissement par circulation d'eau. Ils sont montés par trois en triangle du côté basse tension et en étoile du côté haute tension.

Les transformateurs élevant la tension à 13.500 volts sont au nombre de trois. Ils sont connectés en triangle au primaire et au secondaire et leur

puissance unitaire est de 600 kilowatts. Leur rendement est de 97 0/0 à pleine charge et 96 0/0 à demi-charge. Les postes de transformation principaux sont situés à Cenon (desservant Bordeaux), à Soyaux (desservant Angoulême) et à La Font-Pinguet (desservant Périgueux).

EXPLOITATION. — L'usine de Tuilière, créée sous les auspices de la Société des grands travaux de Marseille et qui appartient à la Société « Énergie électrique du Sud-Ouest », a pour but la distribution de l'énergie électrique dans toute la région du Sud-Ouest et notamment aux villes de Bordeaux et de Périgueux : deux artères se dirigent sur Bordeaux par la Dordogne (95 kilomètres) et par la Garonne (116 kilomètres) et une autre sur Angoulême par Périgueux (99 kilomètres).

Les lignes à 13.500 volts partant de l'usine au nombre de cinq sont placées sur les mêmes pylônes que les lignes à 55.000 volts ; elles alimentent de petits kiosques de transformation qui abaissent la tension à 216-125 volts pour la distribution de la force motrice et de la lumière aux localités situées sur le parcours des lignes principales. Sur le parcours des lignes à 50.000 volts et 13.000 volts, deux postes de coupure et de bifurcation ont été établis ; ils permettent de couper le courant sur chacun des deux circuits. La disposition bouclée du réseau de Tuilière, avec ses deux artères doubles à 50.000 et 13.500 volts et ses postes de coupure est remarquable ; elle permet d'effectuer toutes les réparations nécessaires sur un tronçon quelconque, sans qu'il soit nécessaire d'interrompre le courant sur les deux sections y aboutissant.

Des postes de transformation, situés aux extrémités des artères, à Bordeaux, Angoulême et Périgueux cités ci-avant, ramènent le voltage à 13.500 volts. Toute la partie électrique de cette installation a été confiée à la Compagnie Thomson-Houston, et les travaux de captage, à MM. Giros et Loucheur et A. Palaz, par la Société exploitante dont le siège est à Paris, 92, rue de la Victoire.

305. Usine Uppenborn (Bavière) (chute, 8^m,50). — **AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES.** — Environ à 55 kilomètres au-dessous de la ville de Munich, l'Isar fait un grand crochet vers l'ouest, dont on a utilisé la chute en réunissant les deux extrémités supérieure (altitude à l'étiage, 410^m,30) et inférieure (402 mètres) par une prise d'eau constituée par un barrage, un canal d'amenée et un canal de fuite dessinant la corde de la boucle. Le débit maximum de l'Isar est de 70 mètres cubes et de 30 mètres cubes à l'étiage.

Barrage. — Par l'intermédiaire de cet ouvrage, le niveau des eaux aux basses eaux est relevé à la cote 412 et la chute utile est ainsi de 8^m,50 aux basses eaux et 7^m,58 aux eaux moyennes. Le barrage comporte quatre ouvertures fermées par des vannes, un déversoir et une échelle à poissons

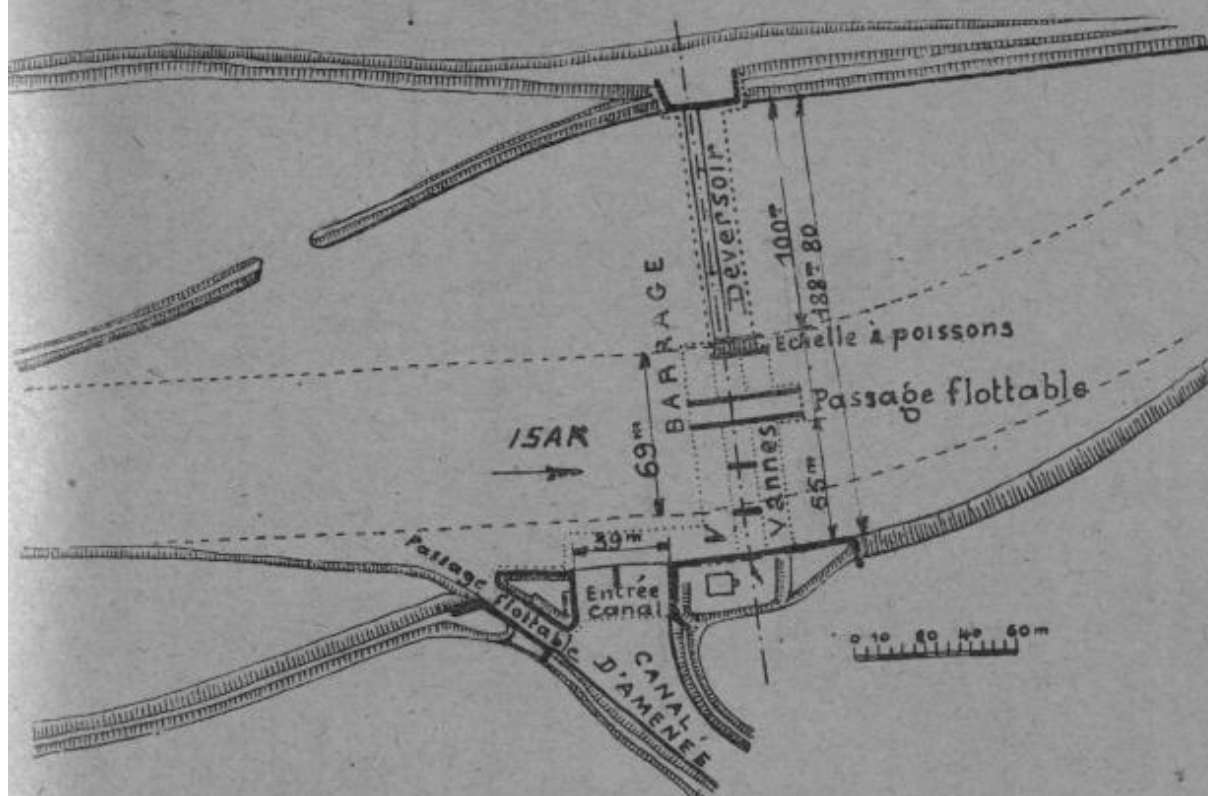


Fig. 782. — Usine de Uppernborn. Plan des ouvrages hydrauliques à la prise d'eau.

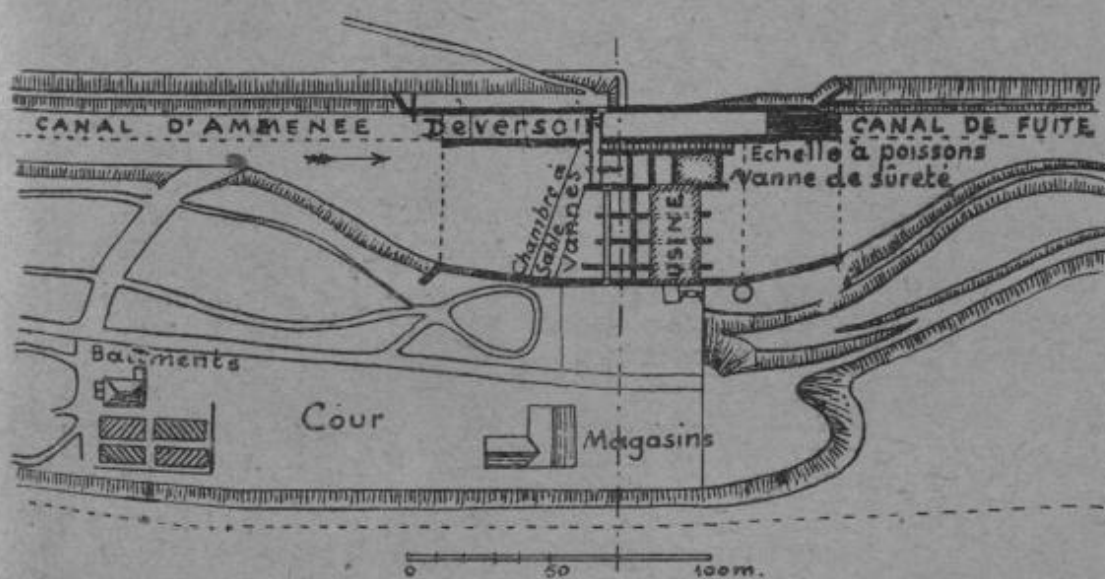


Fig. 783. — Usine de Uppernborn. Plan des ouvrages hydrauliques à l'usine centrale.

(fig. 782 et 783). En outre, entre la troisième et la quatrième ouverture, on a ménagé un passage flottable. A l'endroit du barrage, le lit du cours d'eau a été porté de 69 mètres à 188^m,80 par l'élargissement des deux rives. Les vannes commandant les ouvertures sont gouvernées électriquement ; leur manœuvre demande

dix minutes. Cette opération exige cinq fois plus de temps quand elle est exécutée à la main.

Canaux d'amenée et de fuite. —

Le seuil du canal d'amenée se trouve à 2^m,17 plus haut que le sol des vannes (fig. 784). Audessus de ce dernier, l'eau atteint un niveau de 1^m,50. La tête du canal a un débouché libre de 38 mètres assurant un débit de 70 mètres cubes à la vitesse de 1^m,20 par seconde ; elle est commandée par une vanne dont la manœuvre est faite à la main au moyen d'un treuil double.

La longueur du canal d'amenée est de 2.100 mètres, sa profondeur de 1^m,80, la pente de 1 : 3.000, et la vitesse de l'eau 1^m,20. Le canal, sur son parcours, rencontre un ruisseau, le Trefenbach, que l'on a capté ; ses eaux sont renvoyées dans le canal d'amenée par des pompes centrifuges, installées dans une petite tour spéciale.

Le canal de fuite de l'usine a 1.900 mètres de longueur ; il possède la même pente, la même profondeur d'eau, la même vitesse de courant que le canal

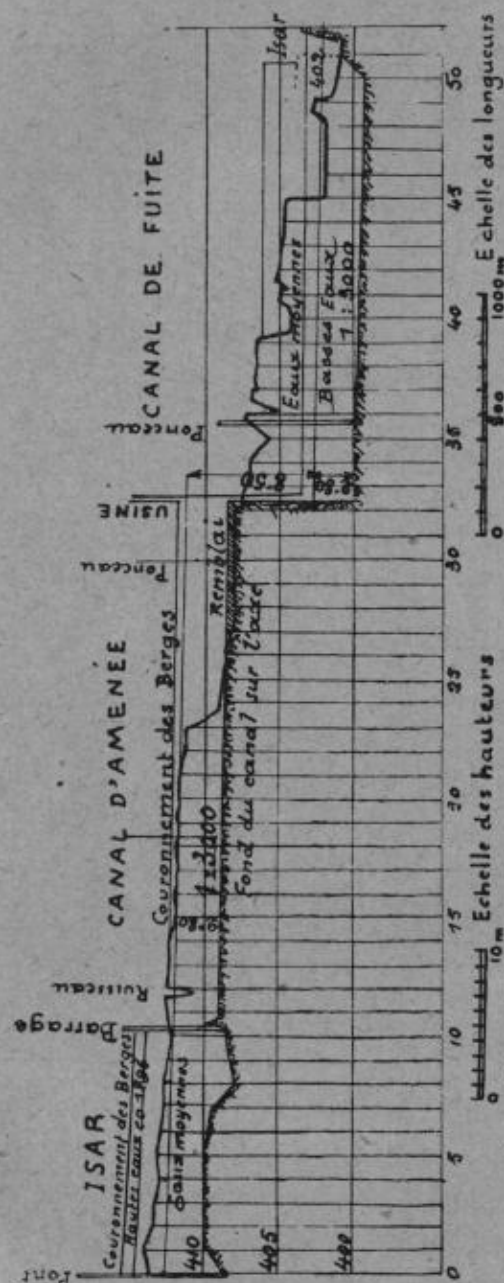


FIG. 784. — Usine de Uppemborn. Profil en long des canaux d'amenée et de fuite.

d'amenée. La pente des talus est de 1/2. Dans les derniers 150 mètres de son parcours, où il est plus susceptible d'être endommagé par les crues, le canal de fuite a reçu une protection spéciale ; les berges sont revêtues d'un clayonnage et de fascines. Trois ponts en bois et un sentier traversent ce canal.

Deux cents mètres avant l'usine génératrice, la largeur du canal a été portée à 53 mètres, la rive gauche continuant en ligne droite. La rivière est barrée à l'emplacement de l'usine par un déversoir de trop-plein, une échelle à poissons et le bâtiment de l'usine, avec ses vannes de réglage et de décharge. Le déversoir est muni d'une vanne de décharge pour l'écoulement des détritiques arrêtés en arrière. Au-devant des vannes existe, parallèlement à la grille, une chambre à sable bétonnée. La grille forme un angle de 72° avec le sens du courant ; ses barreaux sont écartés de 25 millimètres.

Les vannes d'admission et de vidange sont commandées électriquement et à la main, en cas de nécessité. Celles de vidange ont 4^m,54 de hauteur et 4 mètres de largeur.

TURBINES. — L'installation comporte trois turbines Francis jumelées, de la maison Voith, de 1.800 HP chacune et une turbine double de 224 HP. Les grosses unités débitent individuellement 22 mètres cubes et fournissent 1.887 chevaux à 150 tours sous une hauteur de chute de 7^m,90. Chaque turbine porte 20 aubes de 450 millimètres de hauteur et dont la plus grande ouverture a 90 millimètres. L'eau quittant la roue motrice passe dans deux conduites métalliques coudées et, de là, dans deux grands couloirs en béton avant de tomber dans le canal de fuite.

Les turbines ont leur axe situé à 3^m,49 au-dessus du niveau moyen des basses eaux, et le graissage de leur arbre se fait à l'aide de graisseurs disposés hors de l'eau par leur aménagement dans des chambres réservées dans la masse bétonnée de la construction. Le réglage des turbines a lieu par l'intermédiaire d'un arbre parallèle à celui des turbines et placé au-dessus. Cet arbre est en communication avec le servo-moteur du régulateur de vitesse. De chaque turbine dépend une petite pompe qui fournit de l'huile comprimée à 20 atmosphères, nécessaire aux appareils régulateurs.

ALTERNATEURS. — Le sol de la chambre qui reçoit les génératrices d'électricité est à 6^m,39 au-dessus du sol extérieur. Les alternateurs, fournis par la maison Siemens et Halske, débitent du courant triphasé à 5.000 volts, 50 périodes. Leur puissance individuelle est de 1.400 kilovolts-ampères pour $\cos \varphi = 1$. Les excitatrices sont à enroulement compound ; leur puissance est de 7 kilowatts et la tension du courant de 110 volts. Les trois alternateurs travaillent en parallèle et leur courant est reçu dans des transformateurs statiques qui élèvent la tension à 50.000 volts avant d'être lancé dans la ligne de transport.

USINE. — Le bâtiment des génératrices d'électricité est accolé à celui des turbines. Pour tenir étanches les fosses des alternateurs, on a doublé les parois d'un revêtement en tôle ; pour la même raison, les câbles qui réunissent les génératrices à la ligne de transmission passent à 2 mètres du sol pour de là être enfermés dans une colonne creuse en fonte en rela-

tion avec les conduits étanches pratiqués dans le plancher de la salle. Tous les appareils de commande du circuit à 5.000 volts sont réunis sur une table, en relation avec un tableau comportant les appareils de mesure. La commande des vannes des turbines se fait d'une autre table située à proximité. Chaque panneau de commutation correspondant à un alternateur comprend un interrupteur, un relais et deux tableaux de distribution commandant le courant par la génératrice et celui transformé.

Chaque transformateur élévateur a une capacité de 2.000 kilowatts. Leur effet utile à pleine charge est de 98 0/0. Ils sont refroidis par un courant d'eau passant dans un serpentin en cuivre (débit de l'eau, 1m³,7 à l'heure) ; les couches d'huile supérieures ont au plus 35°C. au-dessus de la température de l'eau. L'isolement est obtenu avec de la fibre comprimée et de l'huile spéciale à point d'inflammation très élevé. La chaleur produite par la transformation est utilisée à chauffer de l'eau qui sert au chauffage de l'usine.

Un transformateur de 30 kilowatts, placé dans la cabine du surveillant préposé aux vannes, fournit le courant qui alimente les moteurs actionnant les vannes et la pompe qui exhausse les eaux du Trefenbach. L'eau des réfrigérants et l'eau potable sont fournies par une pompe centrifuge à haute pression de 5 HP.

LIGNE DE TRANSPORT D'ÉNERGIE. — La ligne de transport triphasée à 50.000 volts est constituée par deux canalisations complètement distinctes portées par des mâts en fer de divers modèles. La distance entre l'usine génératrice et Munich est de 53 kilomètres et la puissance transportée 4.000 kilowatts. Le fil de ligne, en cuivre, a une section de 16 millimètres carrés formée de sept fils de 2mm²,29. L'éloignement des trois conducteurs l'un de l'autre est de 1m,40. À pleine charge la perte par résistance ohmique est de 1.000 volts et celle par induction de 430 volts.

Les mâts sont généralement espacés de 50 mètres et la flèche des conducteurs à + 15° est de 88 centimètres. Ceux-ci sont croisés trois fois sur leur parcours, de façon que chaque phase agisse de la même façon sur la ligne téléphonique. La ligne ne comporte pas de filets de protection ; seulement, aux traversées des routes, on a disposé des mâts assez hauts pour protéger les passants en cas de chute des fils.

Vers le milieu, à Achering, existe un poste de transformation, divisé en deux parties, réservées chacune à une des lignes. Sur chaque prise de terre du parafoudre se trouve une résistance de 5.000 ohms constituée par une conduite métallique plongée dans l'huile. Des coupleurs triples permettent de mettre la ligne à la terre. Le bâtiment est ventilé avec soin au moyen d'ouvertures *ad hoc*, grillagées pour éviter l'introduction des insectes. Dans un vestibule spécial se trouvent deux postes téléphoniques, un pour chaque ligne.

Au départ de l'usine génératrice sont installés les parafoudres pour protéger l'installation de toute atteinte directe ou de toute décharge par choc en retour. Des résistances hydrauliques assurent le bon fonctionnement de la ligne : la perte provenant de l'emploi de ces dernières est de 36 kilowatts, soit un peu moins de 1 0/0 de la puissance totale.

La turbine de 224 HP, du type jumelé, que nous avons signalée plus haut et qui est accouplée à une génératrice de 210 kilowatts fournissant du courant à 5.000 volts, 50 périodes, sert à l'alimentation de la petite ville voisine de Moosburg. Elle est reliée aux barres collectrices pour pouvoir être branchée sur la ligne principale en cas de nécessité. Le service de ladite ville est assuré par trois transformateurs de 120 kilowatts, 5.000/120 volts.

La station réceptrice de Munich, où la tension du courant est ramenée à 5.000 volts, possède des transformateurs semblables à ceux de l'usine génératrice. Sur le même réseau travaillent l'usine hydraulique du Sud-Urbain de la ville de Munich et, en cas de nécessité, celle à vapeur de la Isar-Alstrasse.

306. Usine hydroélectrique de Wangen (Suisse) (chute, 8^m,80).

— Cette usine, installée sur l'Aar, dessert les localités voisines du canton de Soleure et fournit de l'énergie à la ville de Bâle et à l'usine de Rheinfelden. A Wangen, le débit minimum de l'Aar est de 75 mètres cubes et celui maximum, 1 464 mètres cubes ; la régularisation du cours d'eau est assurée par les lacs de Brienz, de Thoune et de Bienne, situés sur son parcours. L'usine, avec une chute utilisable variant de 6^m,31 à 9^m,27, dispose d'une puissance sur l'arbre des turbines s'étageant de 6.400 HP à 10.550 HP.

AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Un barrage de 120 mètres de longueur a été établi à environ 1 kilomètre de Wangen ; il comporte une ouverture de 15 mètres pour le flottage et une de 23^m,60 pour les vannes de fond. Au-dessus de la digue sont fixées seize vannes, chacune de 4^m,70 de largeur et 2^m,15 de hauteur. A l'aide d'un wagonnet électrique, courant sur la digue, un homme seul peut relever toutes les vannes de la digue en quarante minutes. Quand toutes les vannes sont levées, on a une section d'écoulement de 395 mètres cubes, auquel débit il faut ajouter celui de 120 mètres cubes provenant du déversoir du canal de dérivation.

Sur la rive gauche est installée une échelle à poissons de 1^m,20 de large, et directement en amont de la digue ; en faisant avec celle-ci un angle de 70° environ, est la prise d'eau de 30 mètres de large, comprenant cinq piliers entre lesquels sont disposées les vannes pour éviter l'accession des graviers dans le canal de la dérivation ; la prise d'eau a son seuil à 1 mètre au-dessus du fond de l'Aar, dont le niveau est maintenu constant

en procédant à des chasses fréquentes. En arrière de la prise d'eau, est une chambre de décantation de 70 mètres de longueur qui communique avec le canal d'amenée par une seconde série de vannes, dont le seuil est de nouveau élevé à 1 mètre pour retenir les graviers. Ceux-ci sont renvoyés dans l'Aar lorsque l'on ouvre les vannes de chasse du bassin de décantation. Toutes ces vannes sont mues comme celles des barrages par des moteurs électriques montés sur des wagonnets.

Le canal d'amenée, d'une largeur de 25 mètres et d'une longueur de 8^{km},5, suit à peu près la rive gauche de l'Aar. Sa pente totale est de 1 mètre.

TURBINES. — Elles sont constituées chacune (*fig. 785*) par deux groupes de doubles roues du type Francis; elles ont une puissance individuelle de 400 HP, sous une chute de 6 mètres, à la vitesse angulaire de 150 tours par minute. Chaque groupe de deux roues déverse son eau dans un tuyau aboutissant au-dessous du niveau des basses eaux, dans le canal de fuite, qui a une longueur de 70 mètres. Le réglage de la vitesse est obtenu au moyen d'un régulateur à ressort dont la sensibilité peut être contrôlée du tableau par l'intermédiaire d'un petit moteur électrique; le régulateur agit sur des soupapes de réglage laissant pénétrer plus ou moins d'eau sous pression dans un servo-moteur. La variation est garantie inférieure à 5 0/0 de la pleine charge à la marche à vide; avec ce système qui permet de fermer instantanément les turbines, on n'a pas à craindre de coups de bélier qui pourraient se produire dans les conduites sous pression.

INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES. — Les alternateurs triphasés ont chacun une puissance de 1.280 kilowatts pour $\cos \varphi = 1$, à la tension de 11.000 volts et à la fréquence de 50. En porte-à-faux, à l'extrémité libre de chaque alternateur, est une excitatrice à courant continu de 20 kilowatts, 110 volts, qui normalement fournit 17^{kw},5 pour l'excitation. La régulation se fait en agissant sur l'excitation en dérivation de l'excitatrice. On peut nettoyer les parties non accessibles des alternateurs au moyen d'air comprimé provenant d'une canalisation en sous-sol.

De l'usine partent deux canalisations à 10.000 volts sans transformateurs et deux lignes à 25.000 volts branchées sur les secondaires de transformateurs d'une puissance totale de 3.500 kilowatts. Quatre transformateurs d'une puissance totale de 120 kilowatts fournissent du courant triphasé à 2.000 volts aux environs de Louterbach, localité qui était anciennement desservie par une usine spéciale fournissant du courant diphasé. A Soleure est également installée une sous-station avec transformateurs diphasés pour remplacer une usine centrale.

La région desservie par l'usine de Wangen s'étend à environ 65 kilomètres du nord au sud et à 30 kilomètres de l'est à l'ouest.

Le tableau de distribution est installé au niveau du sol et comporte un

panneau pour chaque alternateur et pour chaque départ. A côté sont disposés quatre compartiments pour le couplage de quatre lignes à haute tension, avec interrupteurs à huile automatiques, à relais de temps. Les arbres des régulateurs sont couplés au besoin, de sorte que la régulation peut se faire du panneau du courant de départ. Des lampes de signal permettent immédiatement de reconnaître si les appareils automatiques ont fonctionné.

307. Usine Canal Guiliari (Italie) (*chute, 10 mètres*). — La Société « Canale Milani » co-proprétaire du canal Guiliari, qui alimente le réseau agricole de la région de Vérone, a utilisé cette situation pour la création d'une usine générale hydraulique.

Aménagements hydrauliques. — L'eau du fleuve Adige est amenée à l'usine par un canal de 6 km,5 dont la première section est constituée par le canal Guiliari. Ce canal d'amenée s'élargit à son extrémité pour former un vaste réservoir sur les bords duquel est édifiée l'usine et où sont établis les appareils de régulation hydraulique et les canaux de décharge. Les appareils de régulation sont constitués par des siphons système Gregoli qui maintiennent le niveau constant à 7 centimètres près. La décharge est produite par deux bouches prévues au fond du canal et fermées par des vannes ; ces bouches de décharge ont également pour but de nettoyer le fond du bassin en provoquant un courant rapide qui entraîne les dépôts.

Turbines. — L'installation comprend cinq turbines doubles de la Société Riva Monneret de Milan. Le débit de chacune est de 19 mètres cubes sous une hauteur de chute moyenne de 10 mètres, et leur puissance est de 1.900 chevaux, à la vitesse angulaire de 181 tours.

Deux autres turbines de 330 chevaux entraînent directement à la vitesse angulaire de 320 tours des excitatrices de 160 kilowatts.

Alternateurs. — Ces machines d'une puissance de 1.500 k. v. a., fournis par la Société Westinghouse, donnent des courants triphasés, 42 p. s. ; 3.300 volts. La carcasse de l'induit est constituée par une couronne de 500 millimètres de largeur en tôles d'acier doux, isolées entre elles, pourvues de canaux de ventilation et placées à l'intérieur d'une carcasse de fonte. L'inducteur est constitué par un volant d'acier de 2 m,60 de diamètre, sur lequel sont boulonnés 28 pôles d'acier pleins, venus de fonte avec épanouissements polaires.

Les bobines inductrices sont faites avec des barres de cuivre méplat de 2,8 × 28 millimètres enroulées sur champ, et isolées les unes des autres par des feuilles de mica ; chaque bobine est faite de 53 spires.

La longueur de l'entrefer est de 2 mm × 8 mm dans l'axe des pôles et de 2 mm × 12 mm à leurs extrémités. L'ensemble de la partie tournante et de la partie fixe est monté sur une base en fonte, encastrée dans la

magenerie et présentant des crans pour le déplacement latéral du stator, ce qui facilite beaucoup les réparations des bobinages induit et induit.

Ces alternateurs ont été établis pour fonctionner avec un facteur de puissance égal à 0,8

et pour fournir une puissance effective aux bornes de 1.200 kilowatts. Ils peuvent supporter leur pleine charge de 1.500 kilowatts-ampères sous 3.300 volts d'une façon continue, sans que l'élévation de température des enroulements dépasse de plus de 45° C. la température ambiante; une surcharge de 25 0/0 soit 1.875 kilowatts-ampères, pendant six heures, sans que l'élévation de température des enroulements dépasse de plus de 60° C. la température ambiante; et une surcharge de 50 0/0 soit 2.250 kilowatts-ampères, pendant une heure, sans danger.

Les garanties de rendement qu'ils présentent, y compris les pertes par frottement dans les deux paliers, sont : pour la pleine charge, 93,5 0/0; pour trois quarts de charge 92,3 0/0; pour une demi-charge, 90 0/0.

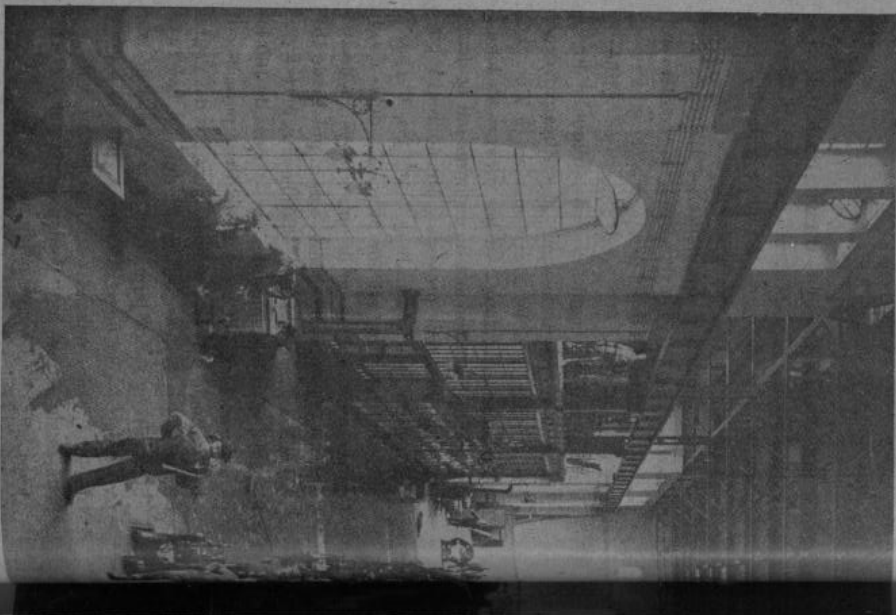


FIG. 785. — Usine de Wangen

Comme puissance d'excitation, ils absorbent, en pleine charge et avec un facteur de puissance égale à 0,8, 312 ampères sous 125 volts.

Le poids total d'un alternateur est de 40 tonnes.

Chaque groupe d'excitation comprend une génératrice courant continu,

8 pôles, à excitation shunt, de la puissance de 160 kilowatts, tournant à 320 t. m. Ces génératrices sont du type normal multipolaire Westinghouse montées sur une base à deux paliers et accouplées à la turbine hydraulique au moyen d'un accouplement flexible Zodel.

Ces excitatrices ont été prévues largement pour faire face à la nécessité d'une excitation supérieure à celle prévue, si la valeur du facteur de puissance du réseau atteignait une valeur inférieure à 0,80. Leur rendement y compris les pertes par frottement dans les paliers est : pour la pleine charge 90 0/0; pour trois quarts de charge 89 0/0; pour une demi-charge 86 0/0. Ces deux excitatrices sont reliées électriquement à un jeu de barres collectrices, où sont connectés les câbles d'excitation des 5 alternateurs. L'énergie fournie par les alternateurs à 3.300 volts est amenée au



FIG. 786. — Anciens quadruples Escher-Wyss.



tableau de distribution par des câbles armés, sous plomb, fixés sur des porcelaines au plafond du sous-sol de la salle des machines.

TRANSFORMATEURS. — L'énergie produite à 3.300 volts par les alternateurs, devant être distribuée sur un rayon de 71 kilomètres, est élevée à la tension de 40.000 volts au moyen de trois transformateurs statiques Westinghouse, triphasés, 42 périodes, 3.300 à 40.000 volts, d'une puissance de 2.500 kilovolts-ampères chacun.

Ces transformateurs sont du type à noyau, c'est-à-dire que les bobines sont disposées sur trois colonnes placées dans le même plan; l'enroulement basse tension est intérieur et l'enroulement haute tension est extérieur et concentrique au premier.

Le refroidissement des enroulements est obtenu par bain d'huile et circulation d'eau; la circulation d'eau se fait dans un serpentín placé à la partie supérieure de l'appareil, au contact duquel l'huile, où se produisent des mouvements de convection, vient se refroidir. La consommation d'eau est d'environ 18 litres : m.

Les points neutres des enroulements haute et basse tension sont sortis; on a alors, sur le couvercle du transformateur, 4 bornes haute tension et 4 bornes basse tension.

Le serpentín de circulation d'eau est placé de telle sorte qu'il est inutile de le déplacer pour sortir ou entrer le noyau des transformateurs.

Les trois transformateurs peuvent supporter leur pleine charge de 2.500 k. v. a. d'une façon continue, sans que l'élévation de température des enroulements surpasse de 50° la température ambiante.

Leur rendement est : pour la pleine charge 98,4 0/0; pour trois quarts de charge 98,35 0/0; pour une demi-charge 98 0/0. La chute de tension est de 0,8 0/0 pour $\cos \varphi = 1$, et de 3,5 0/0 pour $\cos \varphi = 0,80$. Les pertes à vide sont de 19.000 watts.

Ces trois transformateurs sont installés dans les sous-sols du bâtiment de l'appareillage, chacun d'eux dans une niche spécialement aménagée, avec cloisons en briques creuses; ils sont montés sur des rails de glissement, prolongés jusqu'à la sortie des niches et accédant dans une large galerie sur une voie ferrée, qui permet de transporter les transformateurs, sur un petit chariot, jusqu'à l'atelier de réparation.

Pour permettre le couplage de l'usine avec une usine hydroélectrique voisine on a installé, dans la station principale, un transformateur triphasé, 42 p : s, puissance de 1.900 k. v. a., qui abaisse à 3.300 volts l'énergie amenée à 10.000 volts de la station hydroélectrique ancienne. Ce transformateur, du même type que les précédents, est à bain d'huile et refroidissement par circulation d'eau. Il peut être connecté du côté basse tension, indifféremment sur l'un ou l'autre des jeux de barres omnibus, à 3.300 volts.

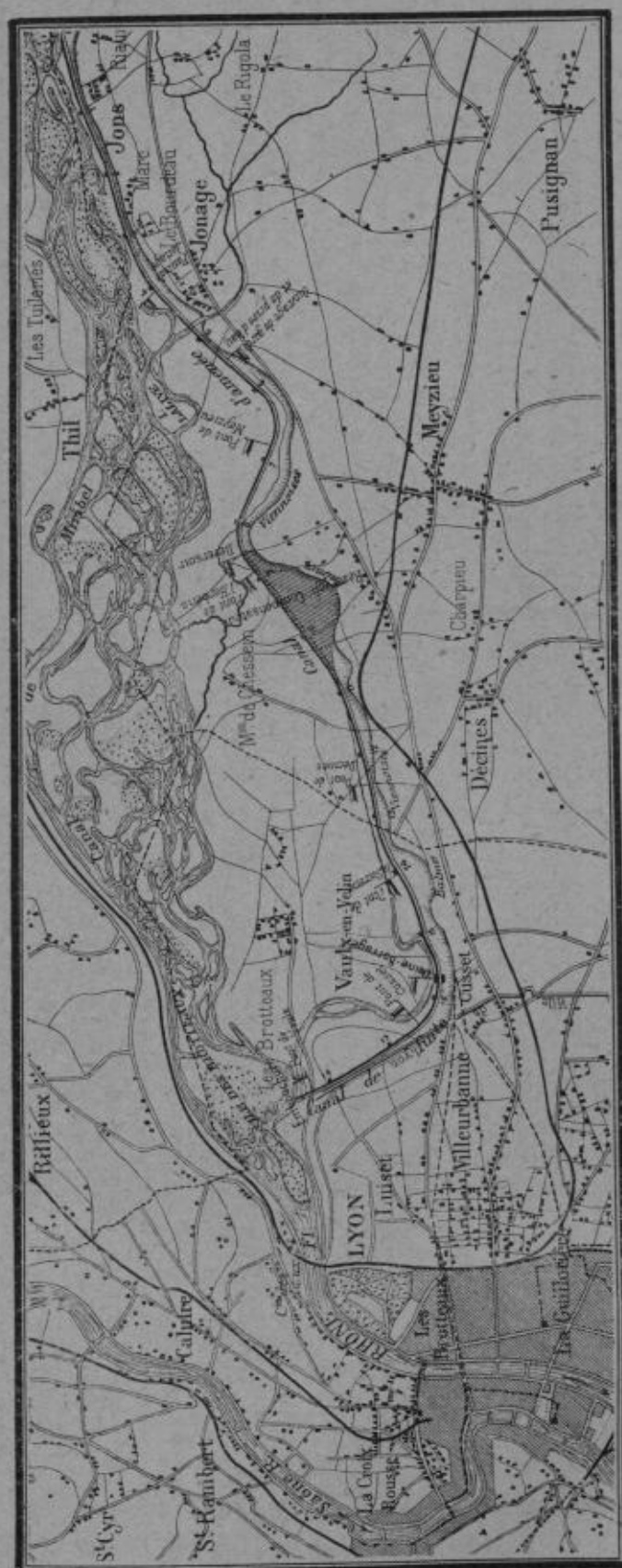
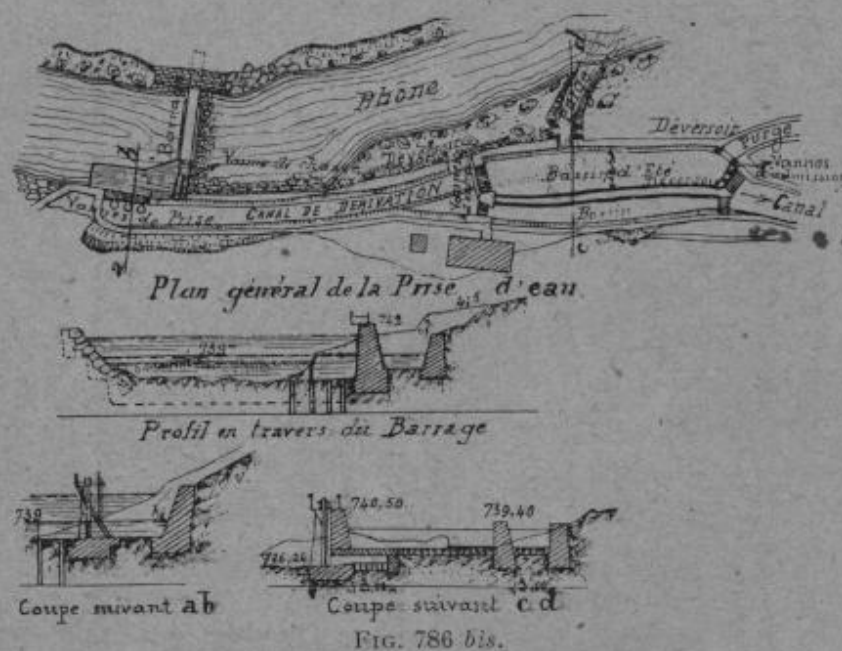


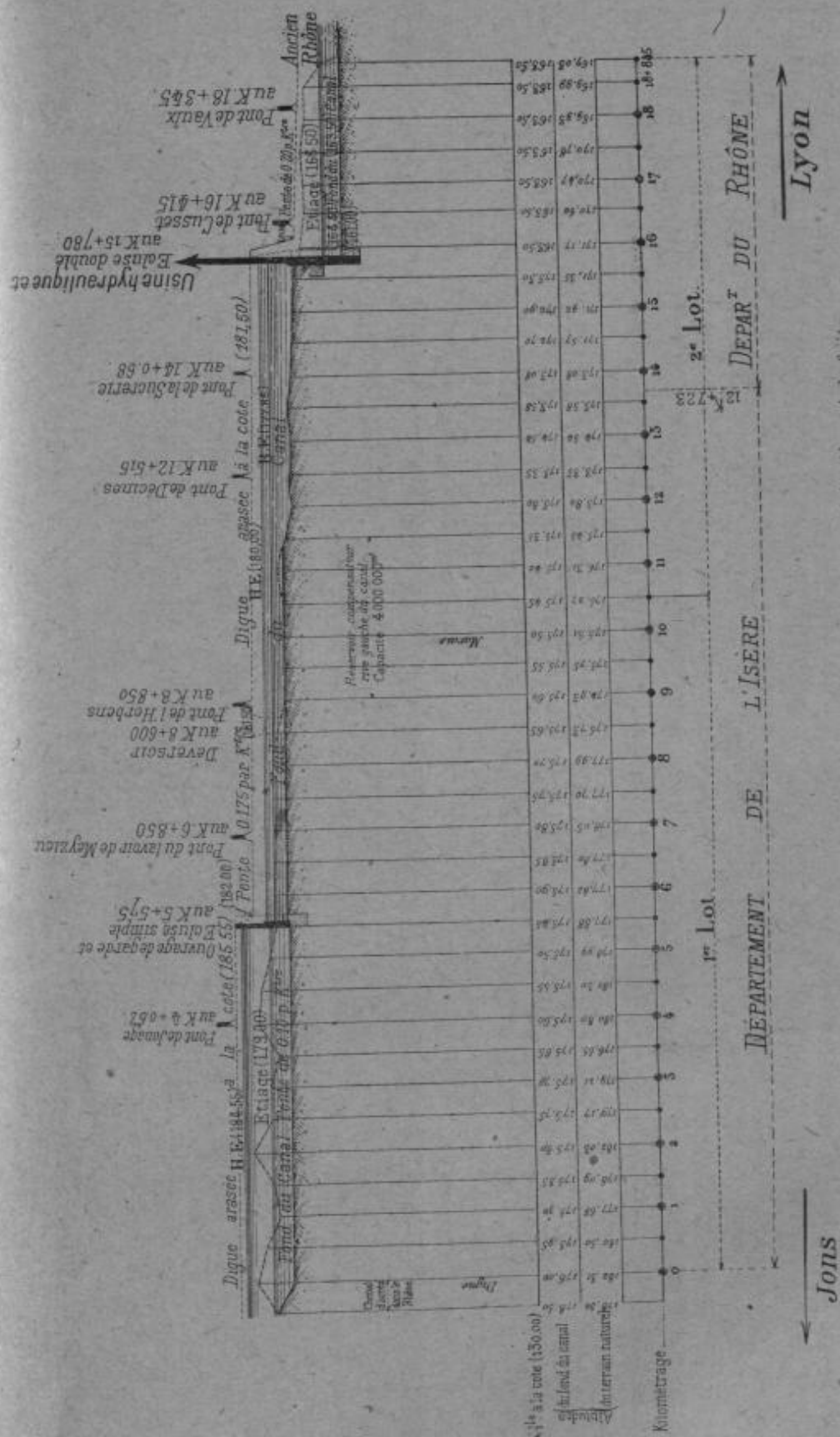
Fig. 786. — Usine de Jonage, Carte de la région.

308. Usine de Jonage (Rhône) (*chute, 11 mètres*). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — La dérivation du Rhône à Jonage a été établie en vertu d'une loi (9 juillet 1892), qui a décrété l'opération comme étant d'utilité publique. C'est donc une usine concédée. Quant aux travaux, en raison des difficultés d'exécution considérables que l'on a eu à vaincre, ils ont atteint un chiffre de dépenses bien supérieur aux installations hydro-électriques du même genre. Cette grande œuvre est celle des administrateurs de la Société des forces motrices du Rhône dont la confiance et la fermeté allèrent en grandissant avec les difficultés. Au point de vue technique, il convient de retenir les noms des ingénieurs Raclet, Gotte-land et Chauvin, dont les efforts et le talent ont doté notre pays d'une



grande installation, par la captation des forces naturelles d'un de nos plus puissants fleuves.

L'usine a été établie à Cusset, sur la commune de Villeurbanne (*fig. 786*), d'où part le réseau de lumière et de force qui dessert la ville de Lyon et sa banlieue ; elle est placée en travers du canal de dérivation. La Société lyonnaise des forces motrices du Rhône, propriétaire de l'usine de Jonage, peut mettre à la disposition de ses clients 15.000 à 20.000 HP, dont l'installation n'a pas coûté moins de 40 millions, le canal de dérivation ayant absorbé à lui seul plus de 22 millions. Ce canal, qui est enfermé entre un coteau naturel et une digue artificielle, a une longueur totale de 18.850 mètres, dont 15.750 mètres pour la partie affectée au canal d'amenée et 3.100 mètres pour le canal de fuite. Le débit dérivé pouvant gêner la navigation du Rhône, en basses eaux, on a dû établir le canal de façon qu'il fût navigable en tout temps,



En basses eaux (trois cent quarante-trois jours par an et dix-neuf heures par jour), la puissance brute est de 16.000 HP ; mais l'établissement d'un réservoir compensateur de 4 millions de mètres cubes d'eau installé vers le milieu du canal d'aménée, permet d'avoir un supplément de 4.000 HP pendant quatre ou neuf heures, suivant l'état du Rhône.

Les travaux relatifs à la construction du canal comprennent : la dérivation proprement dite, un ouvrage de garde et de prise d'eau, une écluse de garde, un déversoir, un barrage et une usine formant une seule et même construction, une écluse double, sept grands ponts, des ponceaux aqueducs et autres ouvrages secondaires.

Dérivation proprement dite. — De l'origine au point 5^{km}575, le canal (fig. 787) est en communication directe avec le Rhône, et les digues ont été arasées sur toute cette partie à 1 mètre au-dessus des plus hautes eaux à l'origine du canal, soit à la cote 185,55. En aval de l'ouvrage de prise

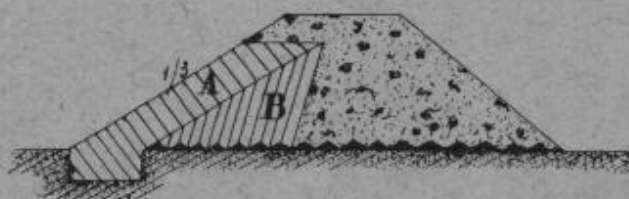


FIG. 788.

d'eau, les digues sont arasées à 4^m,05 plus bas que cette cote et le niveau des eaux dans le canal a été prévu à 1^m,50 au moins en contre-bas des digues. Immédiatement à l'aval de l'ouvrage de garde, la digue est surélevée de 0^m,50 pour parer à l'éventualité d'un accident ou d'une fausse manœuvre aux vannes en temps de hautes eaux et écouler le trop-plein jusqu'à un déversoir qui le conduit au Rhône. Le plafond du canal d'aménée est établi sur toute sa longueur sur une pente réelle ou théorique de 0^m,10 par kilomètre. Le plafond du canal de fuite est horizontal sur toute sa longueur.

Entre l'origine et l'entrée du réservoir que nous avons signalées plus haut, la largeur minima du canal au plafond théorique est de 60 mètres ; entre la sortie du réservoir et de l'usine, elle est de 105 mètres et la digue de rive droite sert de chemin de halage. Le canal de fuite présente une largeur normale de 70 mètres avec des talus à 2 de base pour 1 de hauteur ; une risherme de 0^m,50 est réservée au niveau des basses eaux.

La section type du canal d'aménée, entre l'origine et le réservoir, a été établie de façon à débiter 120 mètres cubes par seconde avec la hauteur d'eau de 2^m,50 ; entre le réservoir et l'usine, elle a été calculée de façon à débiter 208 mètres cubes, dans les mêmes conditions. Nous avons donné

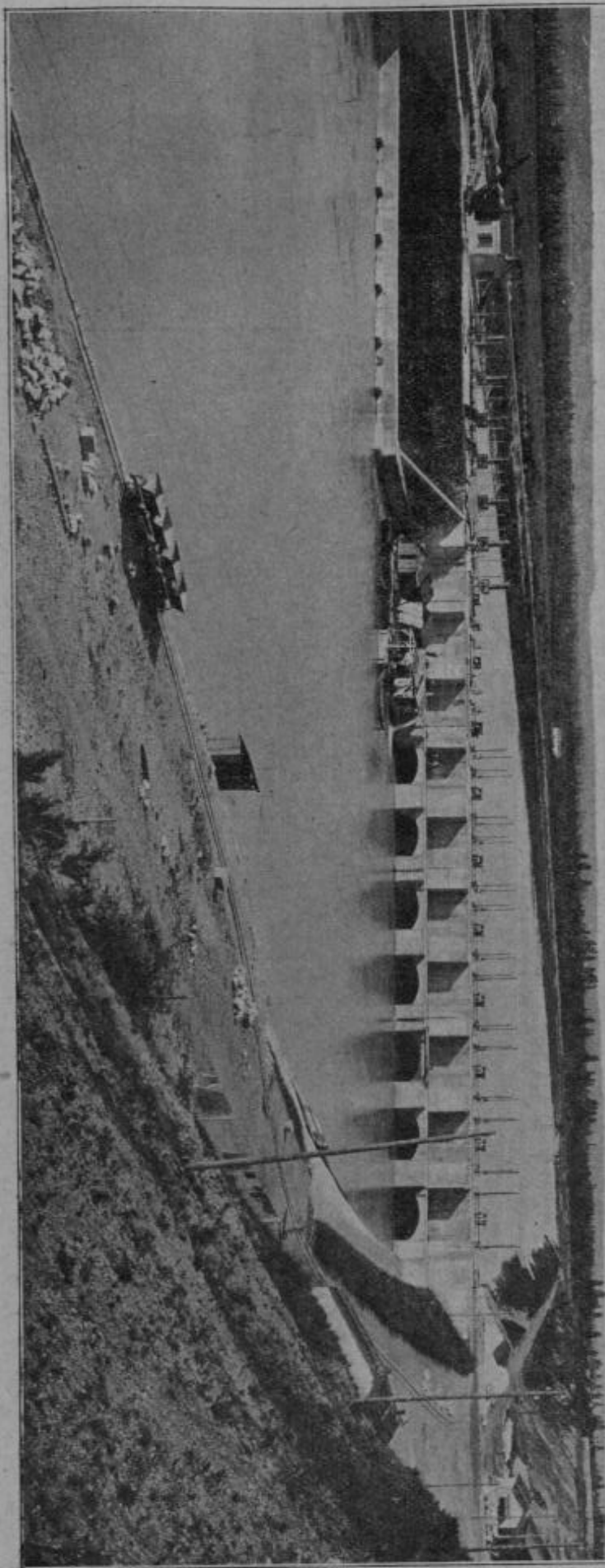


FIG. 789. — Usine de Jonage. Vue aval du nouvel ouvrage de garde.

au (§ 52) le calcul de la perte de charge opérée par l'eau dans le canal, d'après la belle monographie consacrée à cette installation par M. René Chauvin.

Le montant total des déblais et dragages a atteint 4.950.000 mètres cubes ; les frais d'extraction et de charge des matériaux se sont élevés à 28,08 0/0, ceux de transport à 35,96 et ceux de décharge aussi à 35,96.

Digues. — Elles se composent de trois parties différentes : celle A (fig. 788) est formée d'un corroi comportant 1 partie d'argile et 2 parties de sable, construit par couches de 0^m,10 saupoudrées de chaux hydraulique (16 litres par mètre cube). Le corroyage a été fait en grande partie au moyen de rouleaux cannelés à vapeur système Résal dont l'effet était de réduire de moitié, par l'effort de la compression, l'épaisseur résultant de l'épandage. Le prix de revient de ces corrois a été de 1 fr. 30 le mètre cube, pour ceux faits avec le système Résal. Entre ce corroi protecteur et la digue proprement dite, on a interposé un prisme B de terre argileuse mêlée de gravier disposé par couches stratifiées de 0^m,20 de hauteur. La compression était obtenue par le seul passage des trains. Enfin le corps principal de la digue a été fait avec du gravier répandu par couches de 0^m,60 d'épaisseur.

Ouvrage de garde et de prise d'eau. — Cet ouvrage (fig. 789), établi au point 5^{km},575, est destiné à fermer la communication avec le Rhône en cas d'accident ou de réparation, à mesurer le débit des eaux introduites dans le canal et à régler ce débit suivant la hauteur des eaux dans le Rhône et dans le canal. Le travail a comporté la construction d'un mur de retenue, de six conduites de forme ovoïdale traversant un massif de béton placé à l'aval du mur, d'un remblai adossé au mur au-dessus des conduites et de vannes adaptées au mur de retenue à l'amont des conduites (ces vannes sont spécialement décrites au § 191) et enfin d'un barrage, composé de neuf piles et de deux culées en béton de ciment. Les vannes du barrage sont du même type que celles du mur de retenue. Des batardeaux métalliques servent à fermer les chambres en cas d'accident aux vannes, ou à les isoler en cas d'épuisements et de réparation.

Écluses de garde. — Les écluses du canal de Jonage sont du type de Sault, construites sur le haut Rhône en 1888, ayant une longueur de 105 mètres et une largeur de 16 mètres. L'écluse de garde, attenante au barrage de prise d'eau, rachète à l'époque des plus hautes eaux navigables une différence de niveau de 4 mètres au plus. L'ouvrage est édifié sur un radier général de 3 mètres d'épaisseur normale ; la longueur totale des bajoyers est de 136 mètres, dont 90 mètres affectés au sas courant ; leur hauteur est de 9^m,55 avec une largeur au couronnement de 3^m,50 ; les chambres aval et amont ont 9^m,40 de longueur. La vidange et le remplissage du sas se font par des vannes cylindriques basses, de 1^m,60 de dia-

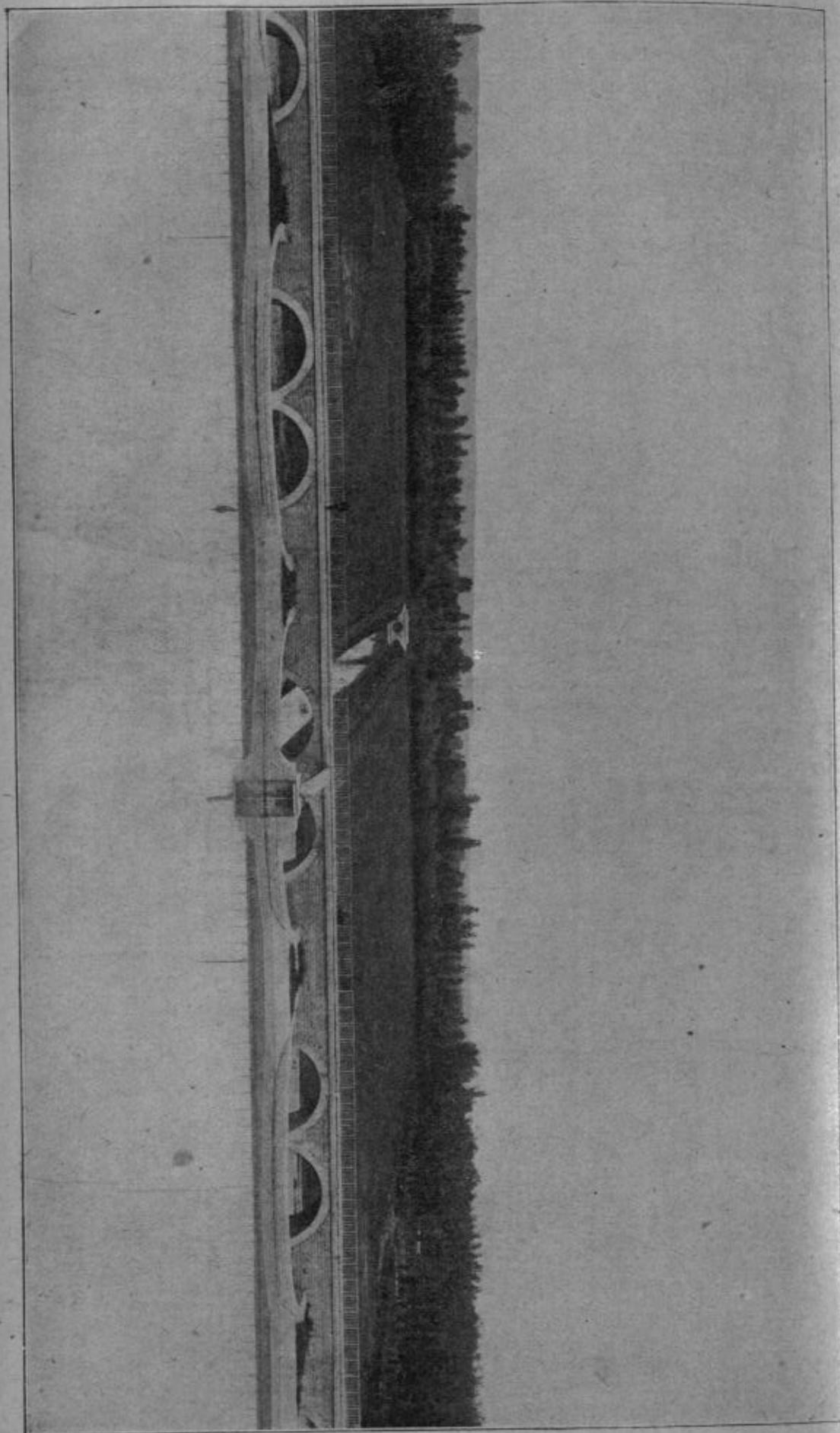


FIG. 790. — Usine de Jorag. Vue amont du déversoir.

mètre, du type Fontaine ; le remplissage s'effectue sur toute la longueur du sas à la fois. La maçonnerie des bajoyers est mixte (moellons ordinaires et béton) avec mortier de chaux hydraulique, travaillant à la base au maximum à raison de 5 kilogrammes par centimètre carré. Les fouilles ont été faites à l'excavateur dans une profondeur d'eau de 3^m,50. Enfin les portes d'écluses manœuvrables à la main sont des portes en acier busquées, à deux vantaux ; l'angle formé par ceux-ci est de 143°12'58".

Déversoir. — Cet ouvrage (fig. 790), placé à l'aval de la prise d'eau au point 8^{km},600, a pour fonction de ramener au Rhône une partie des eaux en excès qui peuvent accidentellement traverser la prise d'eau. Il présente un développement très voisin de 160 mètres et est arasé à 1^m,50 au-dessous de la digue ; entre l'ouvrage de garde et le déversoir, en supposant que l'eau s'élève à la cote 181,50 à l'origine du déversoir et qu'elle s'écoule avec une pente de 0^m,175 par kilomètre, on trouve que le canal débite en cette partie 694 mètres cubes, à la vitesse de 1^m,53 à la seconde.

Le déversoir est du type appliqué au canal de l'Est ; il se compose de cinq bassins formés chacun d'un mur à deux étages en forme de demi-cercle de 20 mètres de diamètre.

Pour conduire au Rhône les eaux de déversement, deux digues se raccordent avec les digues du canal, laissant entre elles un chenal de fuite évasé vers le fleuve, d'une largeur moyenne de 180 mètres.

Usine-barrage (fig. 791). — C'est un mur de retenue à l'abri duquel est construit un bâtiment à deux étages qui constitue l'usine ; celle-ci repose par des voûtes sur des piles qui servent de contrefort au barrage. Des aqueducs pratiqués dans le mur de retenue amènent l'eau dans les bâches des turbines, établies à l'étage inférieur du bâtiment. L'étage supérieur est un vaste hall de 152^m,40 de longueur et de 10 mètres de largeur où sont installées les génératrices électriques. Les piles divisent l'étage en autant de chambres de sortie d'eau qu'il y a de turbines, tandis qu'à l'amont, des avant-becs séparent les orifices d'entrée des aqueducs.

En raison de la profondeur d'eau (8 mètres en pleine fouille et 9 mètres dans les garde-radriers), les fouilles, faites par un excavateur se déplaçant dans le sens de la longueur du barrage, ont présenté de très grandes difficultés. Les fondations ont été exécutées à sec par l'emploi de l'air comprimé. Le mur-barrage mesure une hauteur de 17^m,30 au-dessus de la fondation ; son épaisseur est de 4^m,40 au niveau de la prise d'eau et 2^m,40 au couronnement, arasé à 1^m,50 au-dessus des plus hautes eaux du canal. En plan le mur se raccorde par des arcs de cercle avec les piles et forme ainsi une suite de voûtes surbaissées, à génératrices verticales, qui reportent leurs pressions sur des contreforts calculés pour résister par leur seul poids à la poussée du barrage. Cet ouvrage, construit entièrement en maçonnerie de moellons bruts avec mortier de chaux hydraulique du

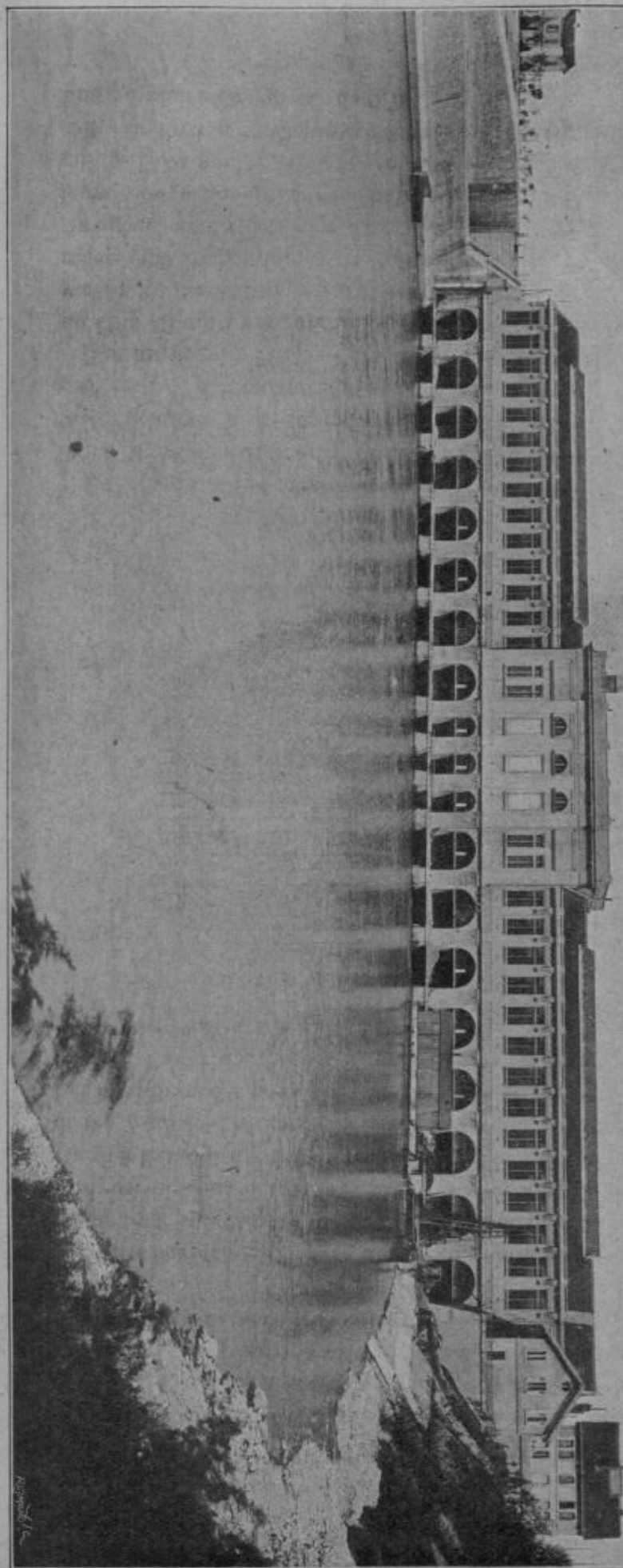


Fig. 791. — Usine de Jonage. Vue aval de l'usine-barrage.

Teil, a été calculé de façon à résister comme mur droit aux charges maxima. A la suite des essais de mise en charge, on reconnut la nécessité d'établir un mur garde-radier de 4 mètres de largeur, qui fut descendu à 10 mètres au-dessous du plafond du canal, soit à 13^m,50 au-dessous de l'écluse.

Écluse double. — L'écluse double, d'une longueur totale de 254^m,30, du même type que l'écluse de garde, est attenante à l'usine-barrage. Elle se compose de deux sas dans le prolongement l'un de l'autre : le premier sas établi à l'amont du mur-barrage rachète une différence de niveau variable de 6 à 7 mètres; le deuxième, situé à l'aval, une différence de 7 à 4 mètres. Les chambres des portes ont 9^m,50 et 9^m,40; le mur de chute, immédiatement à l'aval des portes intermédiaires, mesure 5^m,80 de hauteur, les bajoyers 11^m,30 (amont) et 9^m,60 (aval).

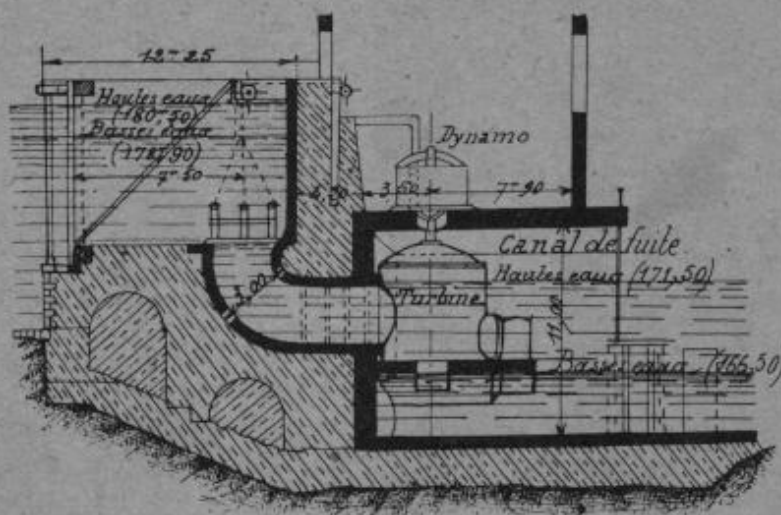


FIG. 792.

Le cube total des maçonneries du canal de Jonage a atteint le chiffre de 382.370 mètres cubes dont 275.230 de béton. Celui-ci a été fabriqué par le mélange direct de la chaux avec le sable et gravier tout-venant, tels qu'ils provenaient de l'extraction, selon la coutume lyonnaise.

TURBINES (fig. 792). — La chute dont dispose l'usine de Jonage varie de 10 à 12 mètres et alimente 16 turbines de 1.250 HP à réaction, à axe vertical, radiales, coniques et centripètes, tournant à 120 tours, plus trois récepteurs hydrauliques de 250 HP pour les machines excitatrices. Ces turbines, construites par la maison Escher-Wyss, sont suspendues par leurs axes verticaux sur un bain d'huile sous pression qui en équilibre le poids. Elles sont à trois couronnes, en appareil à tronc corrique comme celles de l'usine de Chèvres, décrites au (§ 298). Le rendement de ces turbines à pleine charge est de 0,76.

Chaque couronne directrice des turbines est munie d'une vanne cylindrique pour la couronne inférieure et pour la moyenne, et d'une autre pour la couronne supérieure. Ces vannes portent des tiges à crémaillère commandées par un même pignon. Les deux couronnes inférieures sont toujours en activité et plus ou moins ouvertes, suivant le niveau des eaux. L'arbre de commande est mû par un servo-moteur à huile sous pression et, après chaque variation, le régulateur ramène immédiatement et automatiquement la vitesse à son régime normal ; cette variation de vitesse ne dépasse pas 1 0/0.

L'admission de l'eau dans la conduite d'amenée est réglée au moyen de vannes placées au-dessus de la conduite dans les chambres d'amont. Ces vannes offrent une large section à l'entrée de l'eau, pour réduire les chocs et les tourbillonnements. Elles permettent d'isoler la conduite, de visiter et de réparer la turbine. On les manœuvre de l'intérieur de l'usine, à l'aide de treuils fixes installés sur la passerelle de service du mur-barrage.

En vue d'augmenter la capacité productrice de l'usine par l'amélioration de son rendement général, on a décidé le remplacement des roues Jonval (8) par des turbines Francis simples. Ce travail est en cours d'exécution, l'usine ne comprendra plus que huit unités Francis doubles et huit unités Francis simples.

Les turbines Francis doubles sont à deux roues motrices placées l'une au-dessus de l'autre dans une huche. L'eau y pénètre de l'extérieur et s'échappe par le centre de la huche. Elles sont munies d'un vannage circulaire à directrices mobiles, genre Finck, qu'un système de leviers et de roues dentées met sous la dépendance du régulateur. Le réglage obtenu par ces derniers atteint 0,25 0/0. Le rendement de ces turbines est supérieur à 80 0/0. Comme pour les turbines Jonval, le poids des pièces tournantes est partiellement compensé ; le soulagement obtenu est d'environ la moitié du poids total.

La substitution des turbines Jonval par des turbines Francis simples porte simplement sur les roues motrices et leur vannage. Le conduit d'adduction d'eau, la huche et la conduite d'aspiration des groupes Jonval sont conservés. La substitution doit produire un gain de 12 à 15 0/0, tant sur le rendement que sur la puissance maximum.

ALTERNATEURS. — Ces machines sont du type à induit fixe, donnant du courant triphasé sous une tension de 3.500 volts à 50 périodes, d'une puissance unitaire de 900 à 1.100 kilowatts. Ils peuvent débiter 3×200 ampères avec $\cos \varphi = 0,74$ à la vitesse de 120 tours.

L'inducteur est du type ombrelle et l'induit est constitué par une couronne de fonte circulaire bombée. Le rendement des alternateurs, garanti par les constructeurs, était de 95,2 0/0 pour $\cos \varphi = 1$ et 94 0/0 pour $\cos \varphi = 0,74$. Aux essais, il a été trouvé supérieur ; aux enroulements

induits primitifs on a substitué des bobinages Haefely, qui font passer la puissance de chaque machine de 1.500 à 1.750 k. v. a. De ce fait le rendement des alternateurs ressort à 96 0/0.

- Les trois excitatrices peuvent débiter chacune 1.533 ampères sous 120 volts et 250 tours à la minute. Elles sont du système Brown.

Toute la canalisation à haute tension est entièrement souterraine ; elle a été établie à l'aide de câbles armés Berthoud-Borel, posés dans des tranchées.

Les transformateurs abaisseurs sont logés dans des kiosques sur la voie publique.

Usine thermique. — Une usine à vapeur de 16.000 chevaux complète cette grande installation ; elle comprend cinq turbo-alternateurs : un vertical de 2.200 kilowatts, type Curtis Thomson ; quatre horizontaux de 3.000, 5.000, 5.000 et 5.000 kilowatts, type Zoelly. La vapeur nécessaire est fournie à 14 kilogrammes et 350° de surchauffe, par deux batteries de chaudières Babcock et Wilcox, d'une surface de chauffe totale d'environ 5.900 mètres carrés. Les chaudières sont à grilles mécaniques ; certains foyers sont soufflés.

EXPLOITATION. — La Société des Forces motrices du Rhône livre le courant électrique pour la lumière à la ville de Lyon et à certaines communes voisines à raison de 6 1/2, 6 et 5 1/2 centimes l'hectowatt-heure, suivant les catégories, et la force depuis 21 centimes le cheval-heure pour des forces de 1/10 de cheval jusqu'à 7 centimes le cheval-heure pour des forces de 50 HP.

De plus, pour la petite industrie en chambre, elle a un tarif à forfait de 75 francs par an et par métier. La moyenne du coût du cheval-an est de 500 francs.

Les vitesses généralement admises pour les moteurs sont de : 1.500 tours pour les moteurs de 1/4 cheval à 10 chevaux, 1.000 tours pour les moteurs de 10 à 30 HP et 750 à 600 tours pour les moteurs de puissance supérieure. Les rendements de ces moteurs varient entre 60 0/0 pour les petites unités et 90 0/0 pour les moteurs de grande puissance. Les installations de moins de vingt lampes sont branchées sur un seul pont.

Les compteurs Thomson à deux fils, le compteur Hummel et le compteur Blathy sont employés dans les installations de lumière peu importantes, tandis que les compteurs triphasés Thomson et Aron sont utilisés dans les autres installations d'éclairage et dans toutes les installations de force motrice.

Toutes les canalisations sont souterraines ; vingt feeders, mesurant 120 kilomètres, distribuent le courant à 3.500 volts à un réseau primaire de 300 kilomètres de développement dont dépendent 900 postes de transformation. Une moitié de ceux-ci alimente un réseau de distribution à

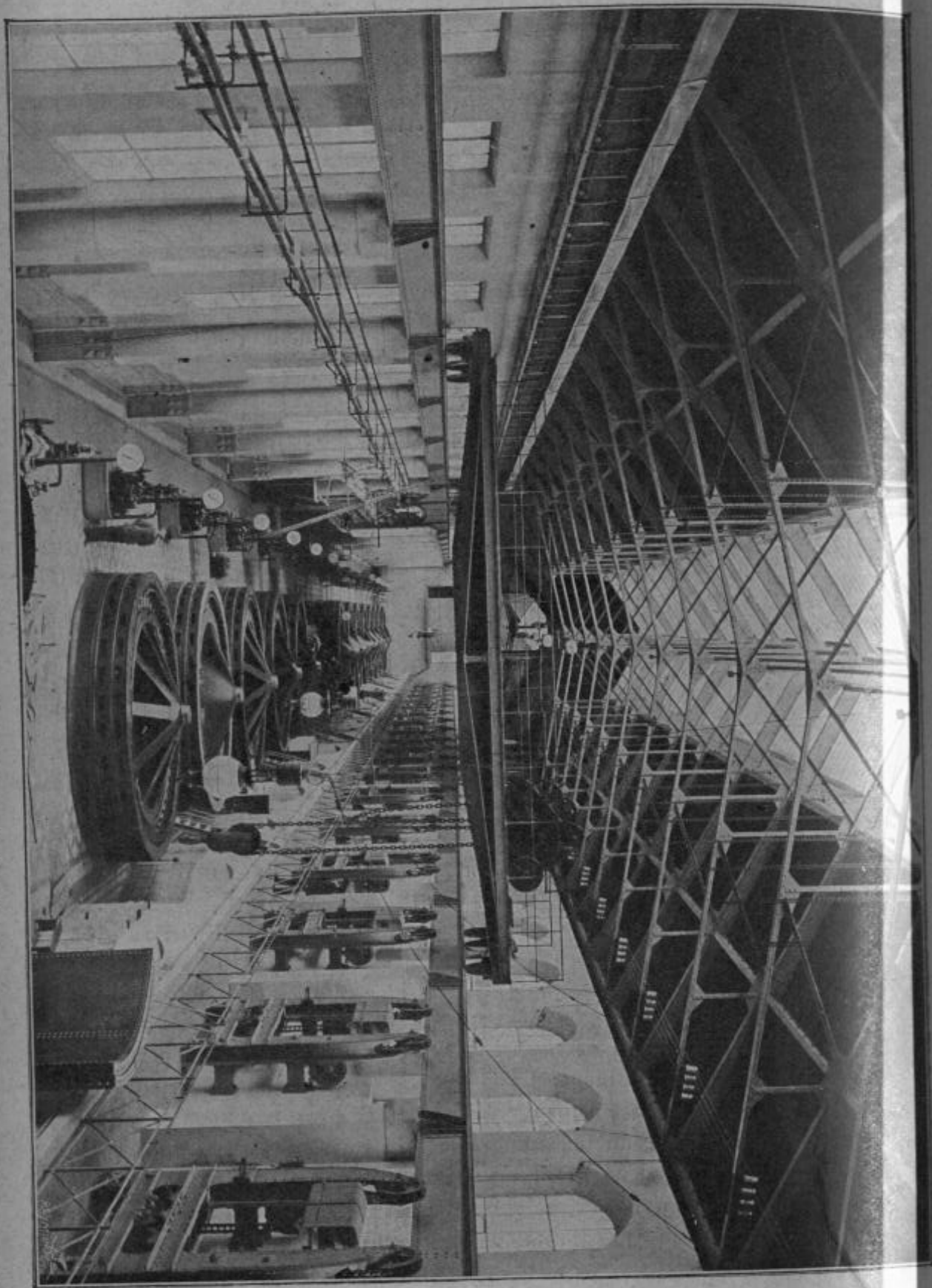


Fig. 793. — Usine de Jonage. Vue intérieure de l'usine.

110 volts sur lequel est branchée directement la clientèle groupée de force et de lumière, l'autre alimente les abonnés importants ou dispersés. Sur chaque feeder à 3.500 volts, est installé un survolteur qui maintient constante la tension à son extrémité. Un poste de 8.000 kilowatts à 10.000 volts dessert le centre de consommation de Saint-Fons où le courant est abaissé à 3.300 volts, en partie utilisé à cette tension et en partie abaissé à nouveau à 207,5 volts. Éventuellement ledit poste sert à l'échange de courant entre les usines de la Société des Forces motrices du Rhône et de la sous-station voisine sise à Vaulx en Velin, de la Société générale de Force et de lumière.

309. Usines américaines. — 1^o STATION CENTRALE DU CANAL DE DÉCHARGE DE CHICAGO (*chute*, 10^m,20). — Cette installation, établie en travers du canal de décharge de Chicago, est entièrement édifiée en béton ou en blocs artificiels. En outre du barrage, un déversoir permet d'évacuer les glaces arrêtées et déviées par la grille. La station centrale comprend huit groupes électrogènes, dont chacun comporte un alternateur de 6.500 HP, 60 périodes, monté par groupe de deux sur un même arbre horizontal. La charge d'eau normale est de 10^m,20 ; elle peut varier entre 9 et 11^m,40, et les turbines sont du type à aspiration Jolly-Mac Cormick et tournent à 165 tours. Le rendement prévu pour ces turbines est de 0,80 au moins, entre l'admission totale et l'admission de 75 0/0. Le courant électrique, qui a un voltage de 6.600 volts aux alternateurs, est ensuite élevé à 44.000 volts au moyen de transformateurs et envoyé à cette tension aux lignes de distribution partant de l'usine et se rendant à des sous-stations où la tension est ramenée à 9.000 et 11.000 volts.

2^o USINE DE WINNIPEG (CANADA) (*chute*, 12^m,20). — Le canal destiné à dériver les eaux du fleuve Winnipeg, pour l'alimentation en énergie électrique de la ville du même nom, a une longueur de 13 kilomètres. L'usine centrale renferme quatre groupes électrogènes de 1.000 kilowatts et cinq de 2.000 kilowatts produisant du courant triphasé à 2.300 volts et à la fréquence de 60 périodes par seconde. Avec les machines excitatrices, la puissance de l'usine atteint 20.000 HP.

La tension du courant des alternateurs est élevée à 60.000 volts par quinze transformateurs, dont trois d'entre eux ont 1.800 kilowatts chacun. Les enroulements de ceux-ci se trouvent arrangés de telle sorte que les primaires reçoivent une tension de 2.200, 2.300 et 2.400 volts et que les secondaires fournissent 40.000, 50.000 et 60.000 volts. La ligne, sous cette dernière tension, jusqu'à la sous-station située à Winnipeg, a 105 kilomètres. Les rendements à pleine charge des alternateurs sont de 95,5 0/0, et ceux des transformateurs, 97,7 à 98,2, selon leur force.

3^o USINE DE COLLIERTVILLE (*chute*, 11 mètres). — Le Barrage creux

est en ciment armé du type de la Amburten Hydraulic Construction and Co. Les cinq vannes de prise d'eau dont est muni le barrage, de 3^m,05 de largeur, sont composées chacune de poutres en bois de 203 × 203 millimètres, assemblées les unes à la suite des autres dans un cadre en fer. Le canal d'amenée est terminé par un réservoir de superficie.

Turbine double à axe horizontal, centripète, parallèle, à décharge centrale dans un tube d'aspiration. Groupes électrogènes de 1.000 kilowatts. Alternateurs triphasés, 2.300 volts, 25 périodes, 184 tours par minute. Ligne de transmission, 15.500 volts, 30 kilomètres de longueur. Transformateurs monophasés connectés en triangle.

4^o USINE DE MAC CALL FERRY (*chute*, 15^m,80). — Cette énorme installation, dont nous avons donné spécialement la description du barrage, est élevée sur la rivière Susquehama, qui a un parcours de 640 kilomètres. Le bassin de ce fleuve a 71.000 kilomètres carrés de superficie ; en raison de la nature accidentée et dénudée de celui-ci, le fleuve a des crues soudaines et irrégulières. Le débit moyen est de 800 mètres cubes à la seconde et il atteint 14.000 mètres cubes en hautes eaux, soit 225 fois celui de l'étiage.

L'usine génératrice renferme dix paires de turbines Francis à arbre vertical (*fig.* 795) ; chacune des unités, sous une chute utile de 15^m,80, peut développer 13.500 HP à 94 tours par minute ; au moment des crues, avec une charge minimum de 12^m,90, la vitesse étant maintenue par une plus grande ouverture du vannage, chaque unité peut encore donner 12.000 HP, fournissant ainsi une puissance totale de 120.000 HP. Les conduites d'aspiration sont quadruples. Les paliers des arbres verticaux ont leur graissage assuré par une turbine de 50 HP actionnant une pompe qui refoule l'huile à la pression de 17^k,5 par centimètre carré.

Chaque turbine est couplée directement à un alternateur à courant triphasé de 9.500 kilowatts à 11.000 volts, 25 périodes ; l'excitation des inducteurs est indépendante ; elle s'effectue au moyen de deux dynamos de 1.000 HP, à 220 volts, faisant 250 tours par minute.

5^o USINE DE TAYLOR'S FALLS (*chute*, 17 mètres). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — La Minneapolis General Electric Co a aménagé une chute sur la Saint-Croix River, à Taylor's Falls, qui délimite en cet endroit les deux États du Wisconsin et du Minnesota.

Barrage. — Cet ouvrage est établi, sur une moitié de sa longueur, en forme d'arc de cercle qui se continue sur l'autre moitié par une ligne droite, oblique à la rivière, qui vient s'appuyer contre l'usine génératrice. Le barrage forme déversoir sur toute sa longueur, qui est de 195 mètres ; il crée une retenue de 17 mètres. Il est construit en béton, composé de 1 partie de ciment, 3 de sable et 5 de pierres cassées. Dans ce béton, on a intercalé quelques blocs de pierres provenant des fondations et on les a

placés à 30 centimètres les uns des autres et des parois. Le barrage, ainsi que cela est assez courant en Amérique, forme en même temps l'usine génératrice (fig. 796). Les murs du bâtiment proprement dit sont en ciment armé.

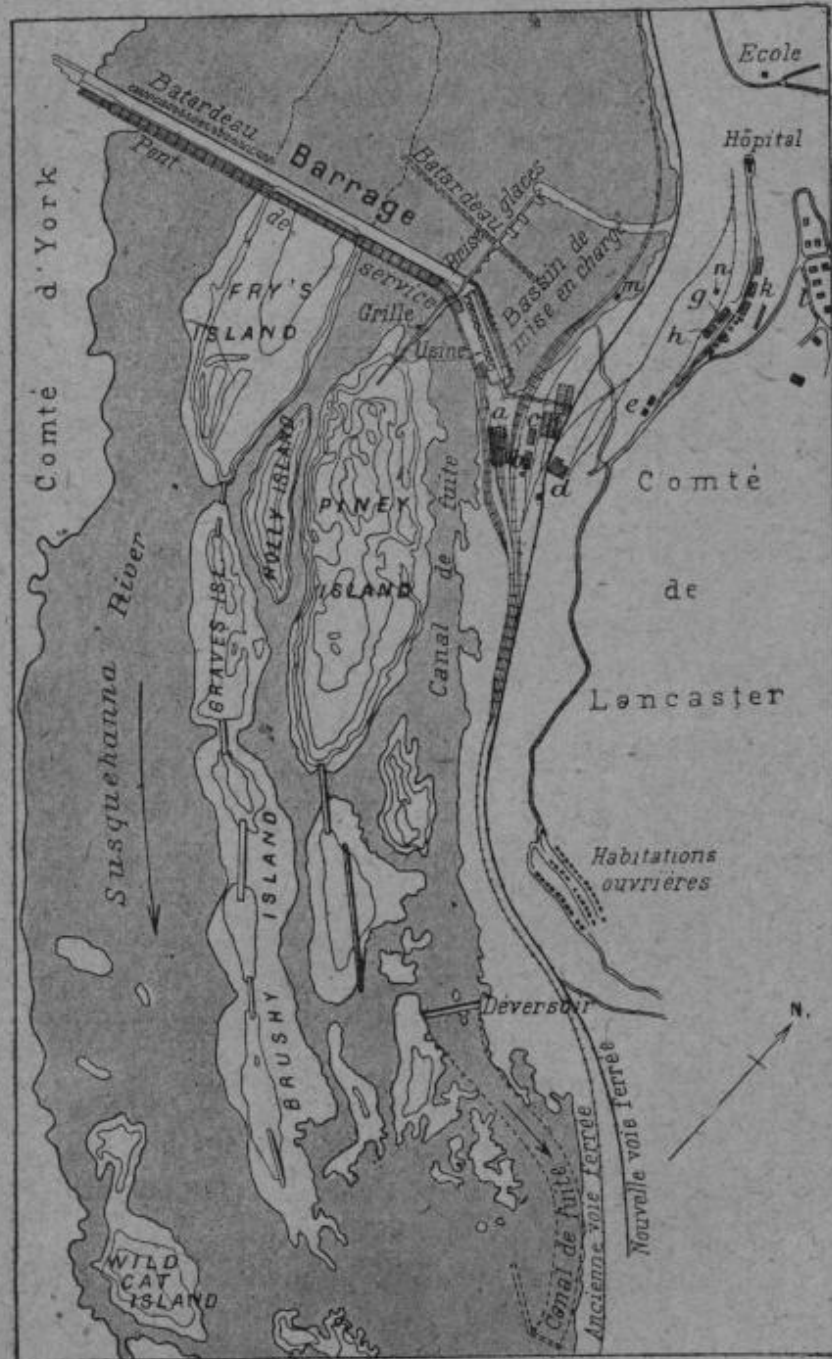


FIG. 794. — Usine de Mac Call Ferry. Plan des ouvrages hydrauliques.

La conduite d'amenée est munie d'un reniflard qui débouche à l'air libre au-dessus du niveau de l'eau d'amont, ainsi que de vannes en bois mues électriquement.

TURBINES. — La station centrale comprend actuellement huit groupes turbines-alternateurs et deux groupes turbines excitatrices. Les grosses turbines des alternateurs sont constituées par deux roues de

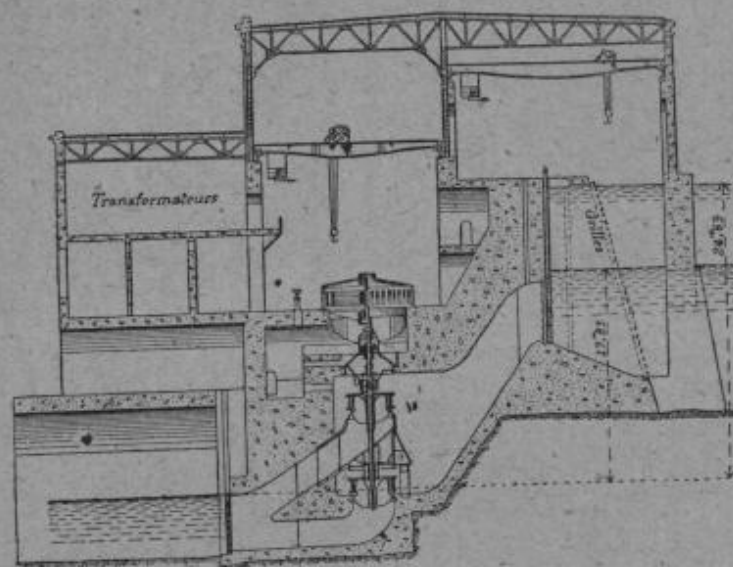


FIG. 795.

0^m,915 de diamètre, tournant à 277 tours par minute dans une huche commune en tôle, de 3^m,36 de diamètre. Elles marchent à aspiration,

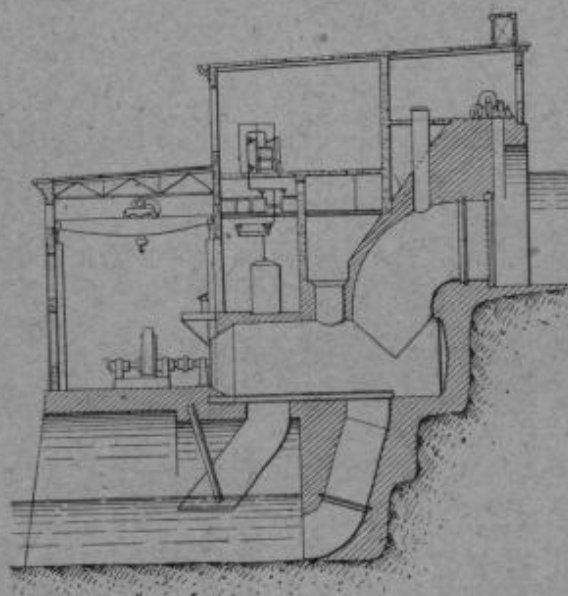


FIG. 796.

avec deux tubes de décharge de 2^m,28 de diamètre. Les petites turbines des excitatrices sont du même type, mais à simple roue de 0^m,46 de diamètre, tournant à 500 tours par minute.

ALTERNATEURS. — Ils ont une puissance individuelle de 2.500 kilowatts ; ils sont bobinés en étoile et produisent du courant triphasé à 60 périodes. Ils peuvent être surchargés de 25 0/0 sans échauffement très sensible. Le courant d'excitation est produit à 125 volts par deux excitatrices de 100 kilowatts.

LIGNE A HAUTE TENSION (50.000 volts). — Les transformateurs sont du type monophasé, à bain d'huile et circulation d'eau. Ils sont groupés par trois et sont invariablement reliés au circuit de l'alternateur correspondant. Bobinés en triangle, ils élèvent la tension de 2.200 à 50.000 volts, mais grâce à des prises de courant établies sur la basse tension, on peut utiliser des degrés moindres de transformation, ce qui permet de les employer aussi bien pour la sous-station de Minneapolis. La ligne de transport d'énergie a 65 kilomètres de longueur. Elle est constituée par trois fils de cuivre, s'appuyant sur des isolateurs en porcelaine montés en forme de triangle équilatéral de 1^m,83 de côté. Les poteaux sont en cèdre de l'Idaho ; ils ont 13^m,70 de hauteur et sont distants les uns des autres de 43 mètres. Au passage des cours d'eau, on s'est servi de poteaux métalliques à treillis, qui ont permis de franchir des distances atteignant jusqu'à 183 mètres.

Le courant produit à l'usine génératrice est transmis à une sous-station située sur les limites des villes de Minneapolis et de Saint-Paul. Les transformateurs abaissent la tension de 50.000 volts à 13.500 volts.

310. Usine de Keokuk (États-Unis) (chute, 11 mètres). — La Missi-

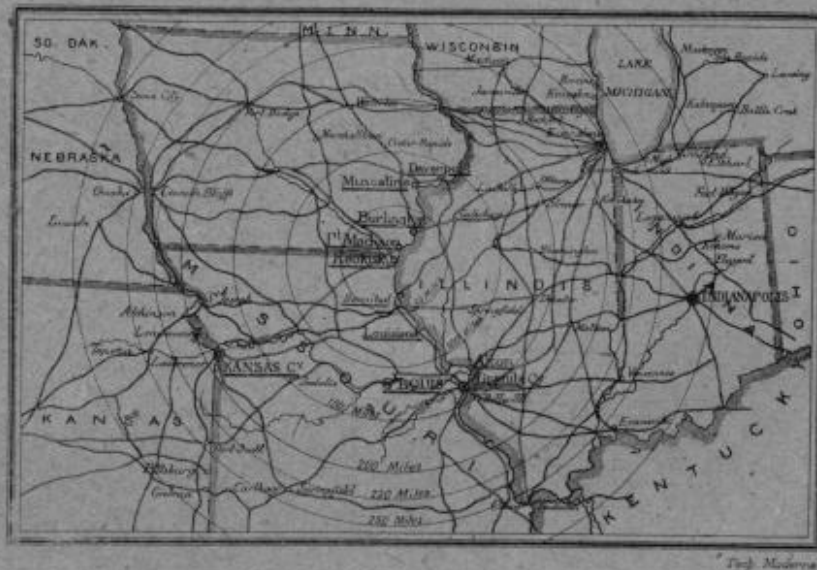


FIG. 797. — Situation géographique de Keokuk, et des villes pouvant être desservies par l'usine.

sipi River Power et C^{te} a établi sur le fleuve Mississippi une usine monstre,

non seulement par l'importance de sa puissance (300.000 HP) mais surtout par la grandeur des travaux d'exécution. Dans la partie de Montrose à Keokuk appelée les Rapides des Moines les travaux s'étendent sur

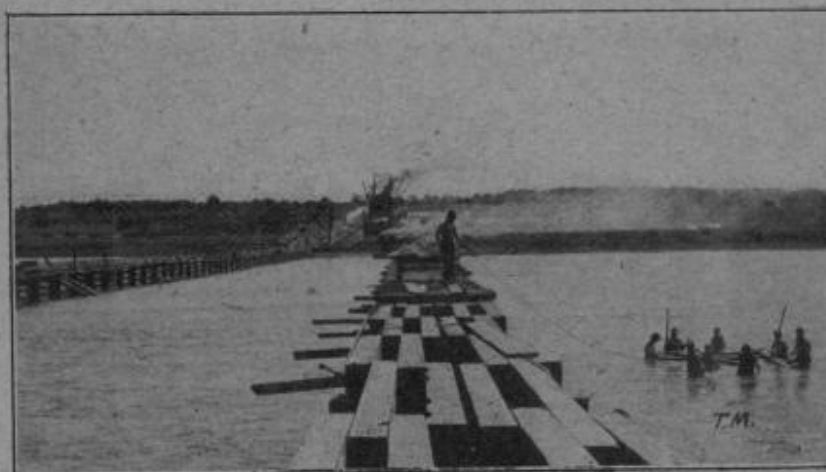


FIG. 798. — Usine de Keokuk. — Établissement et mise en place des batardeaux pour la construction du barrage.

20 kilomètres, et déterminent une différence de niveau de 7 mètres (fig. 797). La navigation y est rendue possible par le canal du Gouvernement, et par trois écluses. La largeur du fleuve à l'emplacement de l'usine

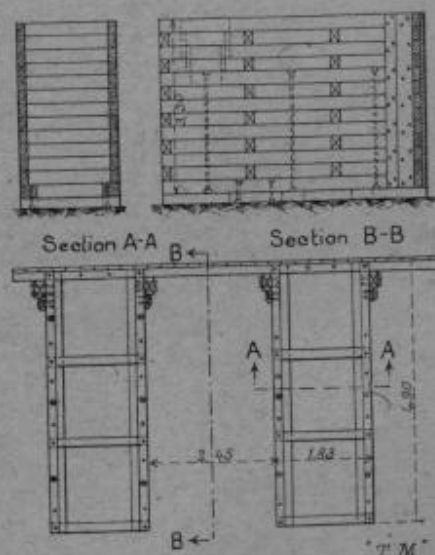


FIG. 799. — Usine de Keokuk. — Batardeaux pour la construction du barrage.

est de 1.600 mètres ; il débite 566 mètres cubes par seconde en basses eaux et 10.500 en temps de crues.

Si l'on envisage un rayon de transmission de 350 kilomètres, la popula-

tion desservie par cette usine atteint le chiffre de 4.570.000 habitants.

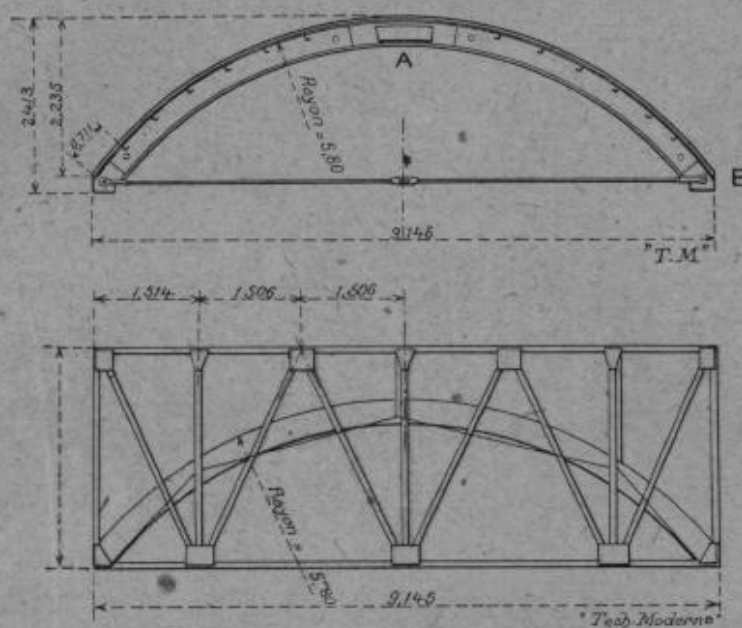


FIG. 800. — Usine de Keokuk. — Moules pour les arches du pont de service au-dessus du barrage.

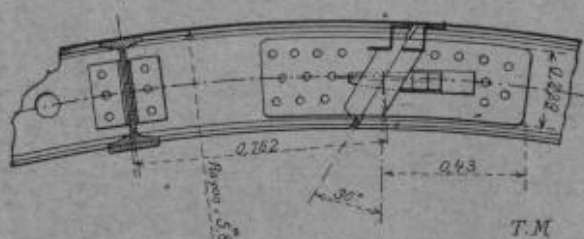


FIG. 801. — Usine de Keokuk. — Moules pour les arches du pont de service au-dessus du barrage. — Détail au point A de la figure 800.

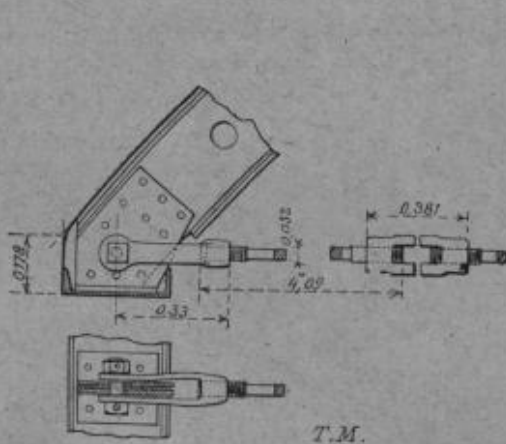


FIG. 802. — Usine de Keokuk. — Moules pour les arches du pont de service au-dessus du barrage. Détail au point B de la figure 800.

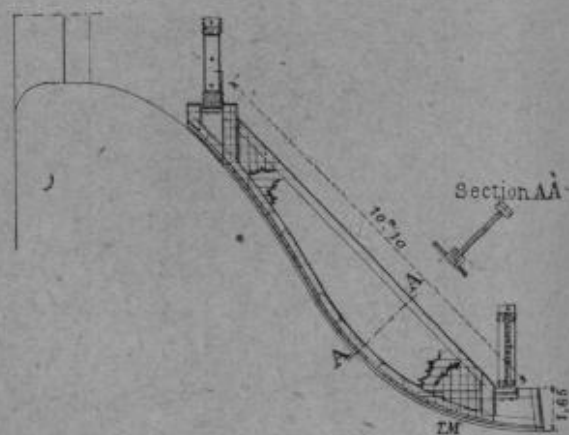


FIG. 803. — Usine de Keokuk. — Moules pour le déversoir.

Barragé.—Cet ouvrage, long de 1.305 mètres, permet d'avoir une chute de 11 mètres; il donne naissance à un lac de près de 200 kilomètres carrés

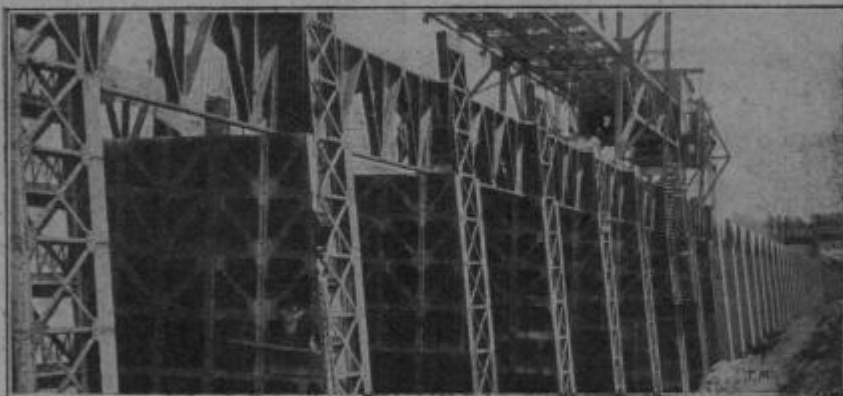


FIG. 804. — Usine de Keokuk. — Vue des moules d'acier mis en place pour la construction du barrage.



FIG. 805. — Usine de Keokuk. — Les moules des tubes d'aspiration mis en place.



FIG. 806. — Usine de Keokuk. — Vue de l'intérieur d'un tube d'aspiration.

et de 96 kilomètres de longueur, qui a nécessité le surélévement sur

une distance de 14 kilomètres de la voie du « Chicago and Burlington and Quincy Railway ».

En aval du barrage et à une distance de 300 mètres de l'écluse du Gouvernement se trouve le pont de Keekuk.

Pour l'établissement du barrage, on a entrepris de nombreux sondages qui ont atteint 10^m,70. Deux sondages de 30 mètres et 244 mètres ont été faits pour s'assurer de la non-existence de puits artésiens. Le barrage construit en ciment a la forme parabolique des barrages-déversoirs.

Afin de pouvoir utiliser une surélévation de niveau, la crête du barrage est surmontée de 119 vannes de décharge, pouvant être ouvertes en temps de crue. Ces vannes ont une largeur de 9^m,15 et sont dominées par un pont de service.

Les piliers de ce pont de service ont été construits en premier lieu et on a utilisé à cet effet des grues spéciales et des moules en acier.

Écluse. — Cette écluse, imposée à la Compagnie pour le service de la navigation, mesure 132 mètres de longueur et 33^m,55 en largeur, et elle est destinée à racheter une différence de niveau de 13 mètres. Elle comporte une cale sèche de 141 mètres de longueur et 45^m,75 de largeur.

Usine génératrice. — Elle est construite à l'extrémité du barrage et parallèlement au fleuve et a 534 mètres de longueur sur 37^m,50 de largeur. La salle des machines se trouve à 13^m,70 au-dessus du lit rocheux de la rivière.

Au rez-de-chaussée sont : la salle des machines, pouvant contenir 30 alternateurs et la salle des transformateurs. L'étage supérieur contient l'appareillage et les interrupteurs électriques.

La *chambre d'alimentation* occupe toute la longueur, elle contient les grilles de nettoyage, et l'admission de l'eau est réglée par des vannes au nombre de quatre pour chaque turbine.

Deux canaux de purge destinés au libre passage des corps flottants et de la glace sont munis d'une vanne à leur entrée ; ils sont situés au milieu et à l'extrémité de l'édifice qui est proche de l'écluse.

L'usine est reliée à l'écluse par un mur qui porte un système de vannes de purge. Un mur ayant l'aspect d'un pont dont les arches seraient noyées relie le barrage à la rive ; un espace libre d'une largeur de 91^m,50 permet le passage des bateaux.

Turbines. — Le diamètre de la roue mobile est de 4^m,75 et l'eau décharge dans un tube d'aspiration de 5^m,50 de diamètre. Le poids des parties tournantes est de 230.000 kilogrammes, poids équilibré par un pivot combiné fonctionnant soit par pression à huile, soit par des rouleaux, le premier dispositif n'étant qu'occasionnel.

La vitesse de la couronne mobile est de 57,7 tours-minute ; elle est assurée par vingt aubes directrices, manœuvrées par des cylindres hydrauliques.

La conduite d'amenée de l'eau à la turbine est pourvue de quatre ouvertures munies chacune d'une vanne. Il est à remarquer qu'une de ces quatre vannes commande un canal spécial qui peut recevoir un quart du débit d'eau nécessaire et le distribuer au quart sur la circonférence de la turbine.

Cette manière de faire a été suggérée par ce fait que, dans d'autres installations du même genre, on a observé la formation de tourbillons ; un quart du débit au lieu de se diriger sur la turbine, s'en éloignait, donnant naissance à un déséquilibre d'action sur la turbine, avec une usure marquée de l'arbre.

Les *alternateurs* à induit fixe, de 7.500 kilowatts, sont directement accouplés sur les turbines de 10.000 HP. Ils débitent du courant triphasé, 25 périodes à 11.000 volts. Leur diamètre est de 9^m,60 et leur hauteur au centre, de 3^m,45. Le courant d'excitation est fourni par quatre excitatrices qui sont, chacune, directement accouplées à une turbine de 2.200 HP.

La *ligne de transmission* a 220 kilomètres de longueur et la tension 110.000 volts ; elle est montée sur pylônes d'acier. Le courant est fourni aux clients en blocs de 200 kilowatts ou plus sous 13.200 volts, 25 périodes. Le prix de vente est 100 francs par kilowatt-an.

Le rayon de distribution est à cheval sur les États d'Iowa, d'Illinois et de Missouri. En 1914, plus de 150.000 chevaux étaient déjà mis en service.

311. Usine Cook (Michigan) (*chute, 12 mètres*).— Cette centrale est la première d'une série de quatre ou cinq centrales projetées pour utiliser les forces disponibles sur la rivière « Au Sable ».

L'usine des chutes de Cook, d'une puissance de 9.000 kilowatts à 24 kilomètres d'Au Sable, dessert une ligne de transport de force à 135.000 volts, alimentant Flint à 200 kilomètres, puis Battle Creek à 100 kilomètres plus loin ; cette ligne se raccorde en d'autres points au réseau à 44.000 volts, qui couvre la partie méridionale et centrale du Michigan.

Aménagements hydrauliques. — L'usine de Cook utilise une chute de 12 mètres environ. La Rivière Au Sable a un débit remarquablement uniforme, s'élevant en moyenne à 31 mètres cubes par seconde : une statistique de dix années montre que jamais le débit des crues ne dépasse quatre fois le débit minimum.

Le barrage comporte une ouverture nette totale de 21^m,88, fermée au moyen de 3 vannes de 7^m,20 × 3^m,95. Cet ouvrage, de 12 mètres de hauteur, crée un lac d'une superficie de 800 hectares, qui est utilisé comme réservoir pour parer aux variations journalières de la charge.

Alternateurs et appareillage. — L'équipement de l'usine comprend 3 alternateurs de 3.000 kilowatts, à 60 périodes, à arbre horizontal.

Le courant produit par ces alternateurs est élevé à la tension de 135.000 volts par des transformateurs connectés en triangle, installés à une extrémité de la salle des machines.

Ligne de transport de force. — Cette ligne comprend un simple circuit triphasé, constitué par 3 fils de cuivre de 8^{mm},25 de diamètre, supportés au moyen d'isolateurs suspendus par les consoles de pylônes en acier, à section triangulaire, de 16^m,70 de hauteur.

Ces pylônes sont généralement semblables à ceux du transport de force à 110.000 volts des Grands Rapides. Ils comportent deux consoles d'un côté, une console du côté opposé, et les fils sont placés aux sommets d'un triangle isocèle ayant une base de 3^m,65 et des côtés de 5^m,17. Le fil le plus bas est à 12 mètres au-dessus du sol. Les isolateurs suspendus se composent de 8 disques en série, chaque disque étant établi pour supporter, d'une façon permanente, la tension de 75.000 volts et, pendant une courte période, la tension de 100.000 volts. Chaque isolateur complet, formé de 8 disques, mesure une hauteur de 1^m,32.

C'est seulement après une étude attentive et la constatation de l'excellent fonctionnement de la ligne à 110.000 volts des Grands Rapides, qu'on a décidé d'adopter la tension de 135.000 volts sur la ligne de Cook à Flint. Dans des expériences préliminaires, la tension de la ligne des Grands Rapides a été portée à 125.000 volts pour déterminer les pertes par fuites et par effluves aux tensions dépassant la tension normale de service. D'après les résultats sur cette ligne de 80 kilomètres de longueur, constituée par des conducteurs de cuivre de 6,54 millimètres de diamètre, on a estimé que, sur une ligne à 135.000 volts composée de conducteurs de 8^{mm},25 de diamètre, la perte par effluves serait d'environ un kilowatt par mille (1.600 mètres). La puissance apparente de la ligne à 135.000 volts est estimée devoir atteindre 10.000 à 12.000 k. v. a. pour la première section de 200 kilomètres de longueur.

La ligne alimente des sous-stations situées à Flint et à Saginaw. Celle de Flint occupe une partie de la centrale à vapeur de 9.000 kilowatts, qui avait été établie hâtivement pour satisfaire à la demande d'énergie, en attendant l'achèvement de la centrale hydro-électrique.

Un des murs de pignon de la sous-station est situé à une assez grande distance, en recul de l'extrémité des murs de façade : on a ainsi formé une sorte de porche protégeant contre les intempéries les fils de ligne qui traversent ce mur horizontalement.

Les transformateurs sont connectés en triangle.

L'emploi de parafoudres sur cette ligne est encore problématique : son isolement très élevé l'expose peu aux effets destructeurs de la foudre.

En fait, la ligne à 110.000 volts des Grands Rapides subit moins d'avaries que plusieurs autres fonctionnant sous des tensions beaucoup moins élevées, et, bien qu'elle ne soit pas munie de parafoudres, elle a travaillé sans interruption, malgré les plus violents orages.

312. Usines d'Albi et de Ringdalen (Suède) (*chutes, 15^m,85 et 22 mètres*). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — 1^o USINE D'ALBI. — L'énergie provient de la rivière Ljungan. La première portion du canal d'amenée est construite en terrassement ordinaire, tandis que la partie située plus près de la station est en maçonnerie de pierre. Ce canal a 640 mètres de longueur; la vitesse de l'eau, qui est de 0^m,30 par seconde dans la partie en terrassement, atteint 0^m,49 dans la partie maçonnée. Près de l'usine le canal se termine par un grand bassin de décantation, et sept conduites forcées amènent l'eau aux turbines; cinq ont un diamètre de 1^m,80 et deux un diamètre de 2^m,45.

TURBINES. — Parmi les cinq plus petites conduites, trois alimentent les turbines des génératrices à courant continu de 1.000 chevaux à 220 volts pour la fabrication du chlorate par électrolyse; deux alimentent les turbines des alternateurs monophasés de 500 chevaux et des excitateurs pour la production de carbure de calcium. Les deux plus grosses turbines alimentent des génératrices diphasées de 2.000 chevaux, 26 périodes, aussi pour la production du carbure de calcium. Les génératrices à courant continu pour l'excitation ont une puissance unitaire de 360 chevaux. Toutes les turbines travaillent sous une hauteur de chute de 21 mètres à 22^m,85, dont 4^m,50 en aspiration.

La longueur du canal de fuite est de 140 mètres et la vitesse de l'eau y est de 0^m,70 à 1 mètre par seconde.

FOURS ÉLECTRIQUES. — L'usine possède en outre quelques groupes auxiliaires pour les services intérieurs; la puissance totale est de 9.760 chevaux.

Le courant des génératrices diphasées est débité sous 2.000 volts et est transformé au voltage ordinaire pour les fours à carbure par des transformateurs placés immédiatement derrière ces fours. Chaque grand four absorbe 1.000 chevaux et est alimenté par une des phases des génératrices de 500 chevaux, qui débitent du courant à basse tension, marchent en parallèle et alimentent directement trois fours de plus faibles dimensions.

2^o USINE DE RINGDALEN. — Elle est de création plus récente et alimente en énergie l'usine d'Albi pour la fabrication du carbure de calcium. Elle est située à environ 2^{km},5 en aval de cette dernière usine.

AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — La longueur du canal d'amenée est de 410 mètres et la vitesse de l'eau y atteint 30 centimètres par seconde. Six conduites forcées en tôle d'acier de 2 mètres de diamètre par-

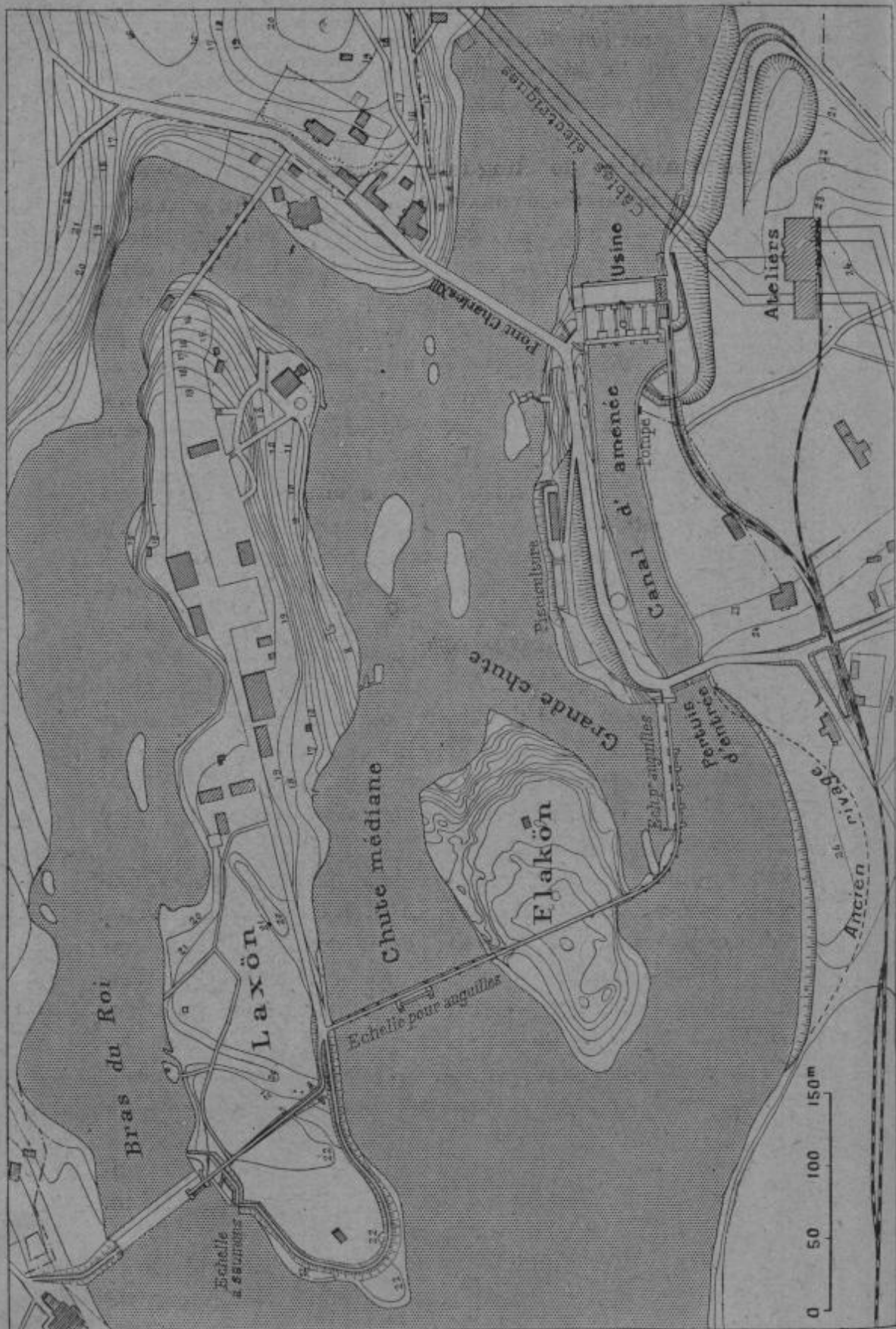


FIG. 807. — Usine d'Aeltikarloby. Plan d'ensemble de la retenue.

tent d'une grande chambre de décantation et amènent l'eau aux turbines. Il y a une conduite pour chacune des génératrices.

La chute est de 15^m,85.

GÉNÉRATRICES. — La station comprend cinq génératrices monophasées de 1.100 chevaux, une génératrice triphasée de 600 chevaux destinée à l'alimentation des moteurs et de l'éclairage et deux excitatrices de 200 chevaux. Toutes les génératrices débitent directement à 10.000 volts et le courant est transmis à l'usine d'Albi, qui a ainsi augmenté d'autant sa capacité de production. Chaque *génératrice de 1.100 chevaux* alimente un four à carbure et possède sa propre ligne de transmission, avec transformateurs réducteurs de sorte qu'il y a cinq unités complètes et absolument distinctes. Toutes les génératrices sont accouplées directement à des turbines à roue unique et à axe horizontal.

313. Usine de Aelfkarleby (Suède) (chute, 16^m,50) — Cette usine, située à 135 kilomètres de Stockholm, a été édifiée par l'État suédois ⁽¹⁾.

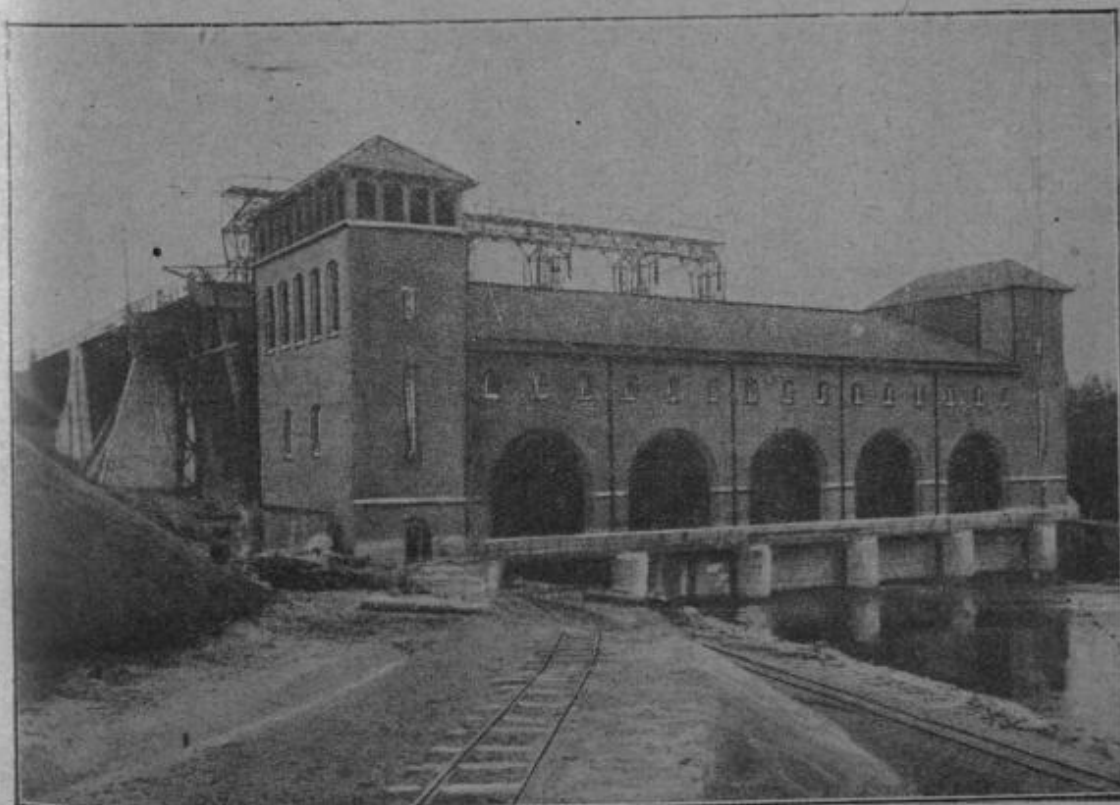


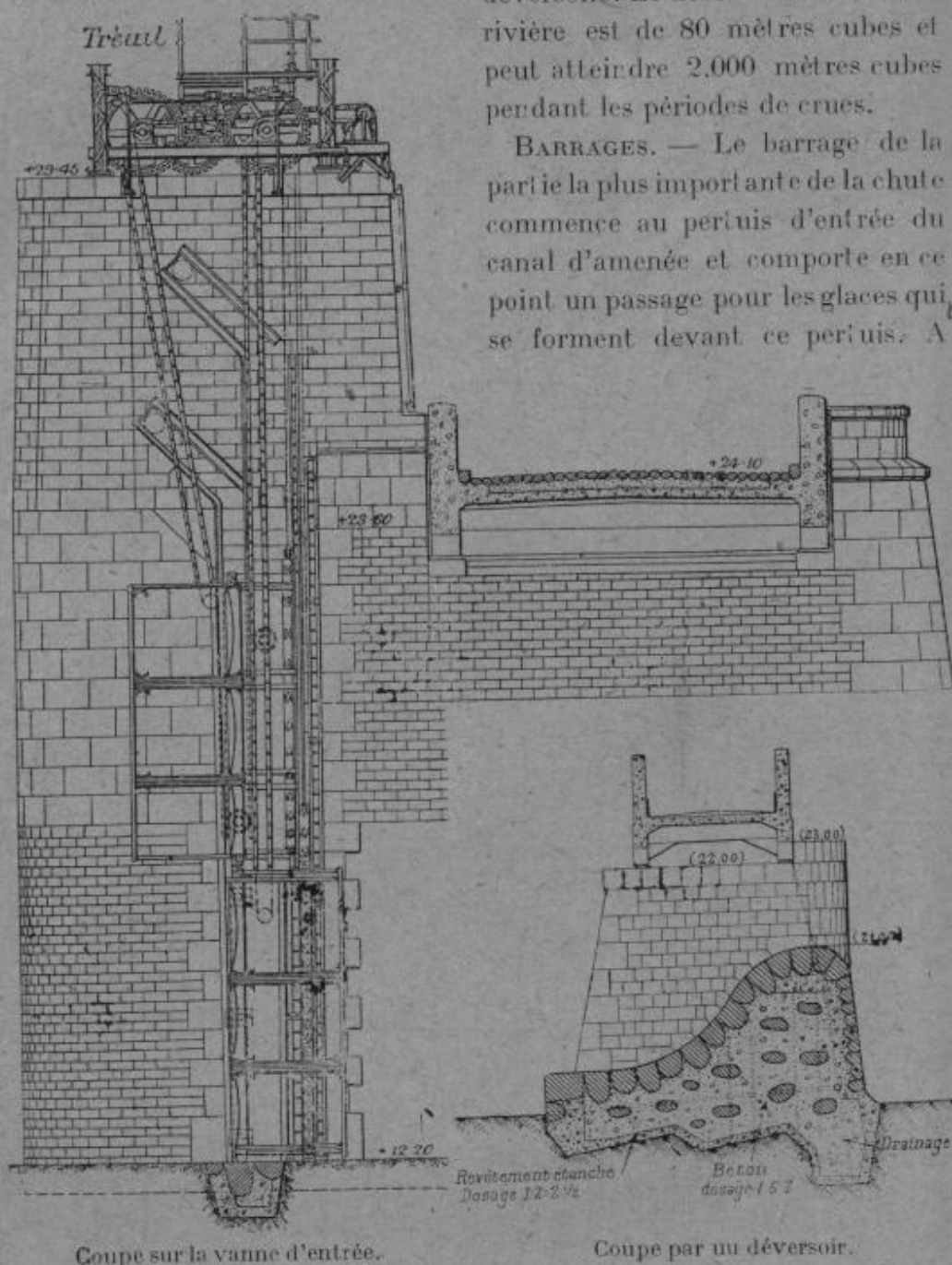
FIG. 808. — Vue de l'usine prise d'aval.

Elle peut développer une puissance totale de 45.000 chevaux. Elle est située sur la rivière Dalälfl formant une chute brute de 18^m,30, par une

⁽¹⁾ Les autres grandes usines construites par l'État Suédois sont celles de Trollhattan et de Borjus.

succession de rapides (fig. 807 et 808). Les trois bras que forme la rivière à l'emplacement de l'usine ont été terminés par des barrages à déversoirs. Le débit minimum de la rivière est de 80 mètres cubes et peut atteindre 2.000 mètres cubes pendant les périodes de crues.

BARRAGES. — Le barrage de la partie la plus importante de la chute commence au puits d'entrée du canal d'amenée et comporte en ce point un passage pour les glaces qui se forment devant ce puits. A



Coupe sur la vanne d'entrée.

Coupe par un déversoir.

FIG. 809. — Coupe par l'ouvrage de prise d'eau.

côté de ce passage on trouve deux déversoirs fixes, puis quatre ouvertures pour le passage des bois flottés. Le reste du barrage est constitué par six ouvertures à déversoirs fixes se raccordant par une courbe à l'île Flakon. Il est en outre pourvu d'échelles à saumons (fig. 809).

Dans le barrage de la partie médiane de la chute sont placées de chaque côté quatre ouvertures avec déversoirs fixes et au centre une ouverture de 20 mètres de largeur de passage, que l'on peut fermer avec un « barrage mobile à rouleaux » et qui est destiné à donner passage aux glaces (*fig. 810*).

Les barrages sont construits en béton massif dosé à 1,5, 7, dans lequel on a enrobé des gros blocs dans la proportion de 20 0/0.

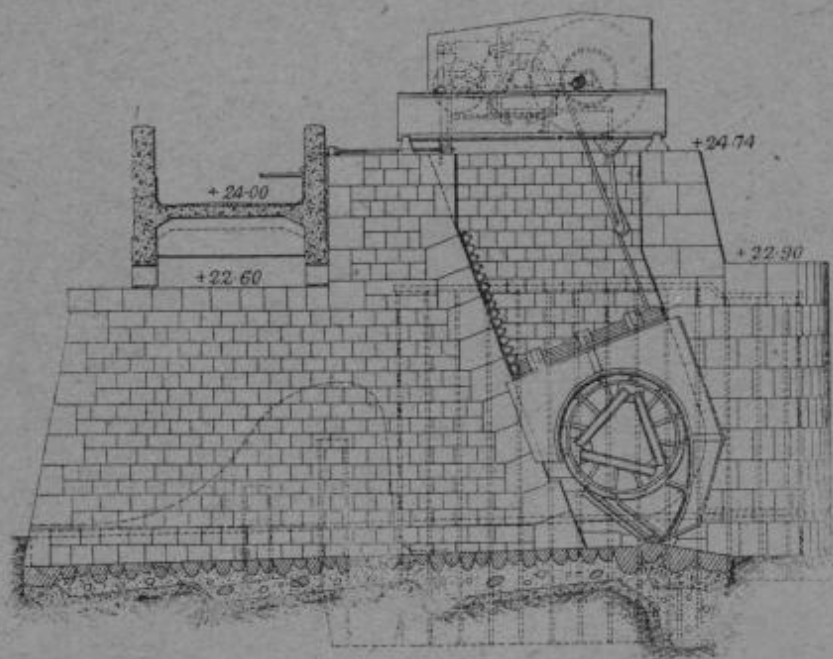


FIG. 810. — Coupe du barrage à rouleaux.

L'ouvrage principal du Bras du Roi est formé d'une série d'arches avec remplissage en pierrailles.

CANAL D'AMENÉE. — Il a 16 mètres de largeur au plafond, une profondeur de 12 mètres et l'eau y coule normalement à la vitesse de 1^m,10. Le bassin distributeur qui continue le canal immédiatement, en avant de l'usine, aboutit d'un côté de l'usine à une ouverture pour l'évacuation des glaces.

TURBINES. — Elles sont au nombre de huit formant deux groupes enfermées dans des chambres spéciales (*fig. 811*). L'eau y entre par-dessus des seuils et traverse une grille inclinée à 45°. Les turbines, du type horizontal, sont installées au-dessous de la grille et montées par deux groupes sur un même arbre. À pleine charge chaque groupe consomme 80 mètres cubes d'eau. Ce sont des récepteurs Francis quadruples avec aubes directrices mobiles. Les roues de ces turbines ont 2^m,05 de diamètre et leur arbre est guidé par trois paliers.

Chaque groupe de turbines est complété par deux arbres parallèles à

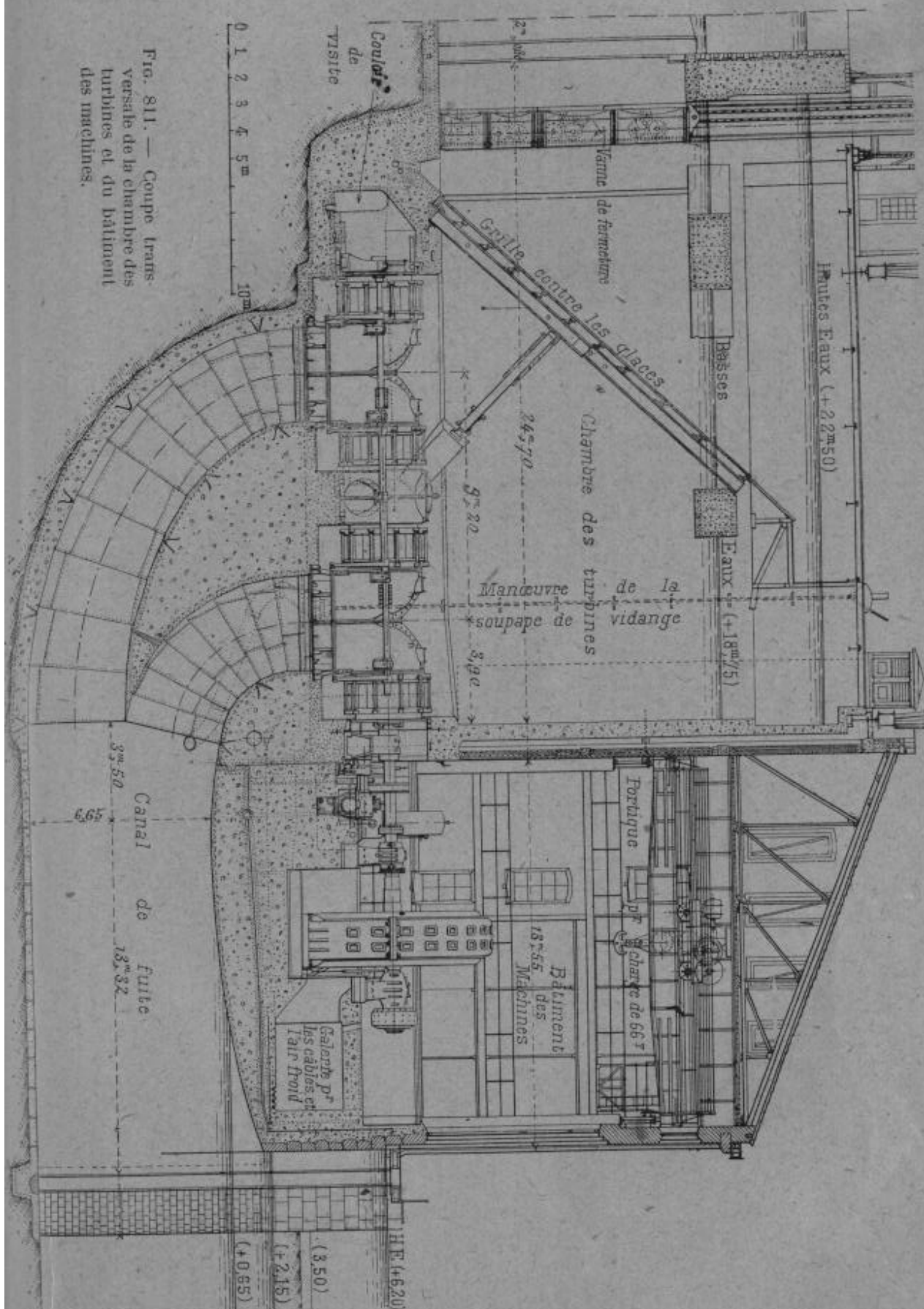


FIG. 811. — Coupe trans-
versale de la chambre des
turbines et du bâtiment
des machines.

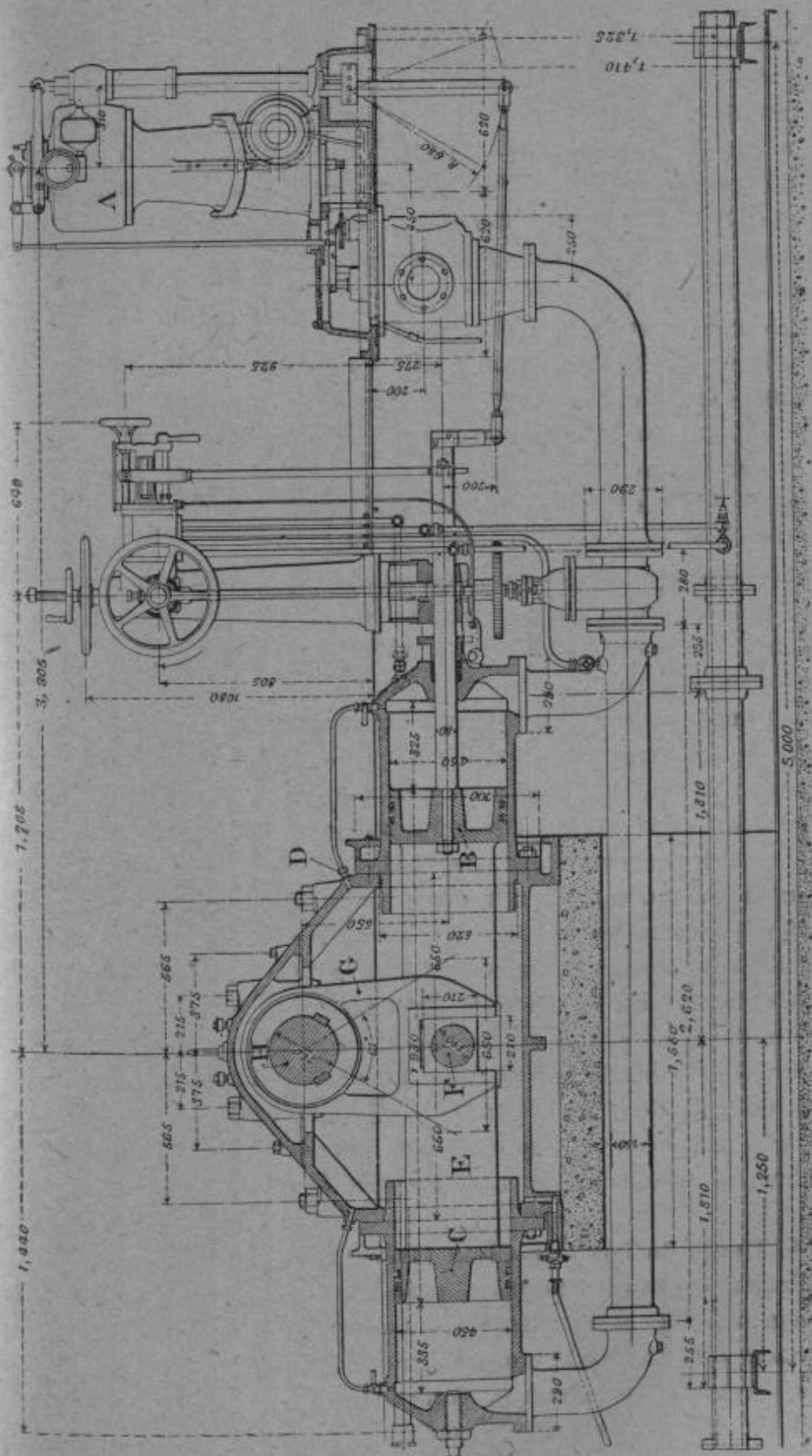


FIG. 812. — Coupe de l'appareil régulateur de groupe électrogène.

l'arbre principal, commandés directement par le servo-moteur hydraulique du régulateur servant à manœuvrer simultanément les aubes directrices des quatre turbines du groupe (*fig. 812*).

ALTERNATEURS. — Les cinq alternateurs installés actuellement dans l'usine développent chacun 11.250 chevaux à 150 tours avec une chute de 16^m,50, commandés par un groupe de deux turbines. Ils sont du type triphasé, 11.000 volts, 50 périodes-seconde.

Chacun d'eux est accompagné d'une excitatrice à courant continu de 220 volts montée en bout d'arbre.

TRANSFORMATEURS. — Ils sont logés dans un bâtiment spécial et distinct, situé à 100 mètres de l'usine génératrice. Il y a trois transformateurs de 4.500 kilowatts qui élèvent la tension de 11.000 volts à 20.000 volts, permettant d'alimenter immédiatement les districts les plus voisins de l'usine. Quatre groupes, formés chacun par trois transformateurs monophasés de 4.500 kilowatts, servent pour un d'eux à élever la tension à 40.000 volts et les deux autres à 70.000 volts.

Tous les points neutres des alternateurs et des transformateurs qu'ils relient sont connectés à la terre par l'intermédiaire de résistances. Le bâtiment des transformateurs contient un laboratoire d'essais à haute tension des isolateurs, câbles, etc., pouvant fournir une tension de 300.000 volts.

Les groupes générateurs de l'usine sont commandés par un régulateur indépendant, de façon que leur vitesse reste à peu près constante à toutes les charges. Il peut être réglé à la main pour différentes vitesses en pleine charge et son servo-moteur développe une puissance de 120 chevaux suffisante pour la manœuvre des aubes de la turbine correspondante.

LIGNES DE TRANSPORT D'ÉNERGIE. — Les longueurs des lignes à 70.000 volts varient entre 100 et 200 kilomètres. Les lignes à 20.000 volts et 40.000 volts sont montées sur poteaux en bois et celles à 70.000 volts sur pylônes à treillis. Les lignes à 40.000 volts sont composées de trois fils de 35 millimètres carrés et un fil de terre de même section; celles à 70.000 volts comportent six conducteurs de 70 millimètres carrés de section et deux fils de terre. Les lignes à 20.000 et 40.000 volts sont montées sur tiges simples avec isolateurs de grandes dimensions; celles à 70.000 volts, sur isolateurs à chapelets à six éléments chacun.

314. Usine de Pont-de-Claix (Isère) (chute, 15-18 mètres). — Cette installation, en cours d'exécution, peut être considérée comme type d'un aménagement de basse chute de montagne à grande puissance. Elle appartient à la Société hydroélectrique du Drac-Romanche.

Les travaux d'aménagement comprennent : un barrage au lieu dit « Sault du Moine » en aval du confluent de la Romanche et du Drac, où le débit d'eau varie de 30 à 100 mètres cubes à la seconde; une con-

duite forcée en ciment armé de 6 mètres de diamètre et d'une longueur de 3 kilomètres.

La hauteur de chute utilisable variera de 15 mètres en hautes eaux à 18 mètres en basses eaux et la puissance de 6.000 à 20.000 HP ; l'aménagement sera fait pour cette dernière puissance. L'énergie produite sous forme de courant triphasé, 50 périodes, sera absorbée en grande partie par les établissements Bouchayer et Viallet, par l'usine de chlore liquide installée à Pont-de-Claix, par les papeteries de Pont-de-Claix et l'excédent par les réseaux distributeurs de la région.

315. Usine de Saint-Félix (Savoie) (*chute, 18 mètres*). — Cette usine fait partie du groupe des usines pour la fabrication de l'aluminium appartenant à la Compagnie des Produits chimiques d'Alais et de la Camargue.

Elle est située sur la rivière l'Arc entre Saint-Michel-de-Maurienne et Saint-Jean-de-Maurienne.

Un canal de dérivation de 600 mètres de longueur conduit les eaux par une chute de 18 mètres de hauteur sur les turbines accouplées directement aux alternateurs. L'énergie de l'usine de Saint-Félix est transportée à l'usine de Calypso (§ 377), distante de 4 kilomètres. Une nouvelle usine a été installée à proximité de Pontamafrey au moyen d'une chute de 41^m,37 prise sur la rivière l'Arc. Les 8.000 chevaux (2 alternateurs triphasés de 1.800 kilowatts et un de 3.600 kilowatts-10.500 volts) ainsi captés sont transportés, à l'aide d'une ligne en aluminium, à l'usine de Saint-Jean-de-Maurienne où ils alimentent deux groupes de 1.850 HP et un de 3.700 HP.

Alternateurs. — Sur les arbres des 4 turbines de 1.100 chevaux qui commandaient antérieurement les dynamos d'électrolyse on a monté quatre alternateurs de 700 kilowatts ; à la vitesse angulaire de 400 tours-minute, ils donnent du courant triphasé de 600 volts à la fréquence de 53,3 périodes à la seconde. Ces alternateurs sont prévus pour une marche ininterrompue, et ne devant pas chauffer après vingt-quatre heures de marche à pleine charge plus de 40° au-dessus de la température ambiante, celle-ci étant de 35° et avec une surcharge possible de 30 0/0 pendant trente minutes.

Les alternateurs fonctionnent en parallèle deux par deux pour alimenter par chacune des deux lignes de transport les groupes moteurs asynchrones-générateurs continus de l'usine de Calypso.

Rendement : 0,935 pour $\cos \varphi = 1$ et 0,915 pour $\cos \varphi = 0,9$.

L'usine contient en outre deux excitatrices de 450 ampères, 110 volts, 750 tours, chacune accouplée par manchon à une turbine hydraulique et capable de fournir le courant nécessaire aux quatre alternateurs et à l'éclairage.

Transformateurs. — Les transformateurs élèvent la tension des alternateurs à 5.700 volts pour la transmission de l'énergie à l'usine de Calypso, par deux lignes en câble d'aluminium de 100 millimètres carrés de section.

L'usine de Saint-Jean-de-Maurienne a subi une transformation qui a consisté à remplacer trois anciennes dynamos de 2.000 kilowatts et deux de 1.000 kilowatts par trois ensembles de deux génératrices d'électrolyse à courant continu de chacune 1.250 kilowatts, 250 volts et 375 tours-minute ; deux génératrices d'électrolyse à courant continu même type que les précédentes. L'intensité peut monter à 6.500 ampères, pendant une demi-heure sans inconvénient pour aucun organe. L'usine de Saint-Jean-de-Maurienne possède 16 génératrices d'électrolyse de 1.250 kilowatts, 375 tours-minute, 5.000 ampères et 250 volts, commandées directement par les turbines hydrauliques ou accouplées aux moteurs asynchrones du transport de force de l'usine de Pontamafrey. La puissance nominale de l'usine de Saint-Jean-de-Maurienne est donc de 20.000 kilowatts.

En résumé, la Compagnie d'Alais et de la Camargue dispose dans la Maurienne d'une puissance nominale d'environ 35.000 kilowatts aux bornes des machines d'électrolyse. Toute cette énergie est concentrée pour la production de l'aluminium dans les deux usines de Calypso et de Saint-Jean-de-Maurienne ; en partie sous forme d'énergie hydraulique et en partie sous forme d'énergie électrique, au moyen d'un double transport de force : Saint-Félix-Calypso et Pontamafrey-Saint-Jean-de-Maurienne.

La puissance hydraulique des quatre usines se répartit donc comme suit :

Saint-Félix, 3.700 HP ; Calypso, 16.630 HP ; Pontamafrey, 800 HP et Saint-Jean, 22.000 chevaux.

316. Usine de Vinca (Pyrénées-Orientales) (chute, 18 mètres). — Cette usine, qui est située sur le territoire de la commune de Rodés, en aval de Vinca, utilise une chute de 18 mètres de hauteur sur la rivière la Têt.

Les travaux hydrauliques ont été aménagés pour un débit de 6 mètres cubes à la seconde.

La prise d'eau est faite à l'aide d'un barrage d'environ 100 mètres de longueur, à la crête et 10 mètres de hauteur. Des pertuis et des vannes de chasse assurent l'écoulement des hautes eaux et le nettoyage de la retenue.

Le canal d'amenée, construit à flanc de coteau, a une longueur de 1.200 mètres environ.

Turbines. — Elles sont du type centripète, à axe vertical et bêche disposées dans une galerie creusée dans le roc ; chacune d'elles est alimentée par un puits creusé dans le roc. En outre un puits permet le passage de l'arbre vertical qui commande l'alternateur, à axe vertical également, placé sur le plancher de la salle des machines.

Alternateurs. — Les groupes turbine-alternateur sont au nombre de quatre, comprenant : trois unités de 450 kilowatts à fer tournant et un de 250 kilowatts à inducteur tournant. Chaque groupe est muni d'une excitatrice commandée par engrenages.

Ces alternateurs produisent directement du courant triphasé, 50 périodes, 8.500 volts. L'usine de Vinca, qui appartient à la Société hydro-électrique roussillonnaise est soutenue par une usine thermique sise à Perpignan, comprenant : un turbo-alternateur de 1.000 kilowatts, 8.000 volts et une machine à piston de 350 kilowatts, 8.000 volts. En outre la même société reçoit du courant de la Société Méridionale de transport de force, produit par les usines de Gesse et de Saint-Georges.

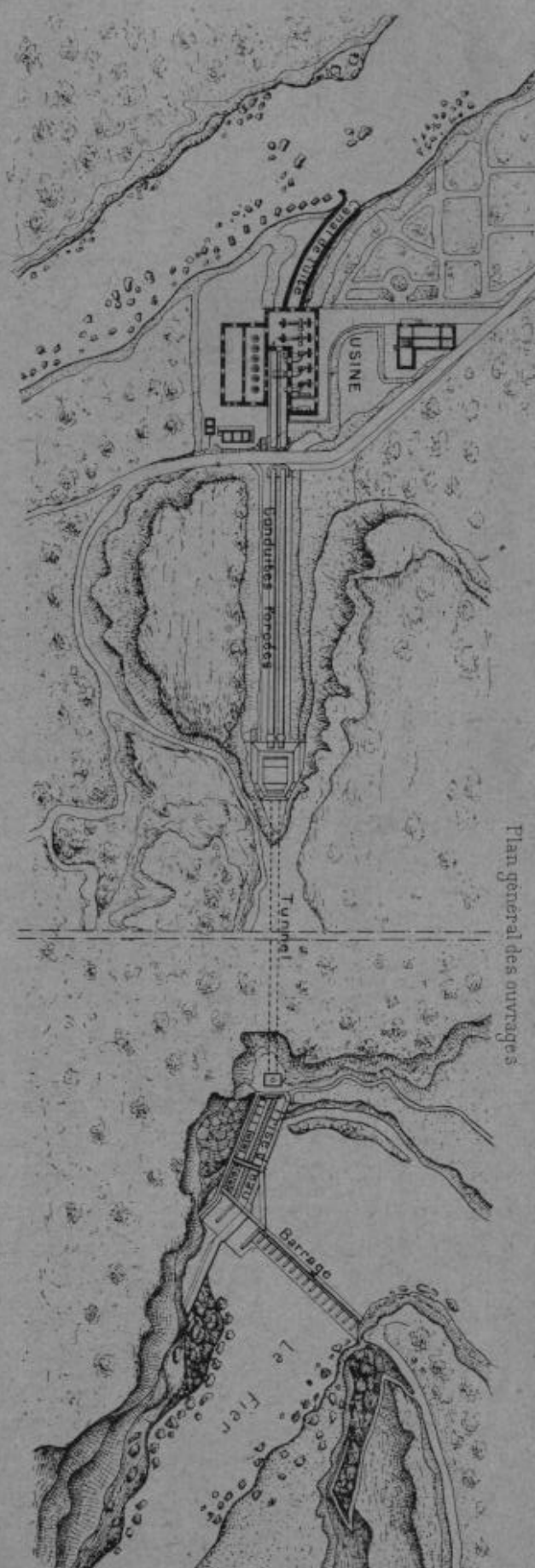
L'énergie électrique sert à l'éclairage public et privé, à la force motrice et à la traction pour les tramways électriques de Perpignan.

317. Usine de Saut-Mortier (Jura) (chute, 18^m,40). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Cette usine, située près du confluent de la Bienne et de l'Ain, est alimentée par cette dernière rivière. Nous avons dit que l'Ain s'abaisse pendant l'étiage d'été à 4 mètres cubes par seconde ; la puissance à Saut-Mortier, avec une chute de 18 à 19 mètres, n'aurait donc pas dépassé 700 HP. Pour relever le débit d'étiage de l'Ain, on a créé une réserve annuelle au lac Chalain (§ 211), situé à 35 kilomètres de l'usine. Les travaux de captation ont permis d'utiliser une variation de 10 mètres de niveau de l'eau, créant ainsi une réserve de 22 millions de mètres cubes. Le lac se remplit pendant les hautes et moyennes eaux et se vide pendant l'étiage, et l'eau qui s'échappe du lac arrive au barrage de l'usine trente-six heures environ après avoir été lâchée. Elle y est accumulée pour être ensuite distribuée rationnellement selon les besoins. Par suite, le débit de l'Ain, pendant l'étiage, s'élève à 16 mètres cubes et la puissance de l'usine portée normalement à 3.000 HP, avec une chute de 18^m,40. En hautes eaux, elle n'est plus que de 13^m,40, mais cette diminution est compensée par une augmentation du débit.

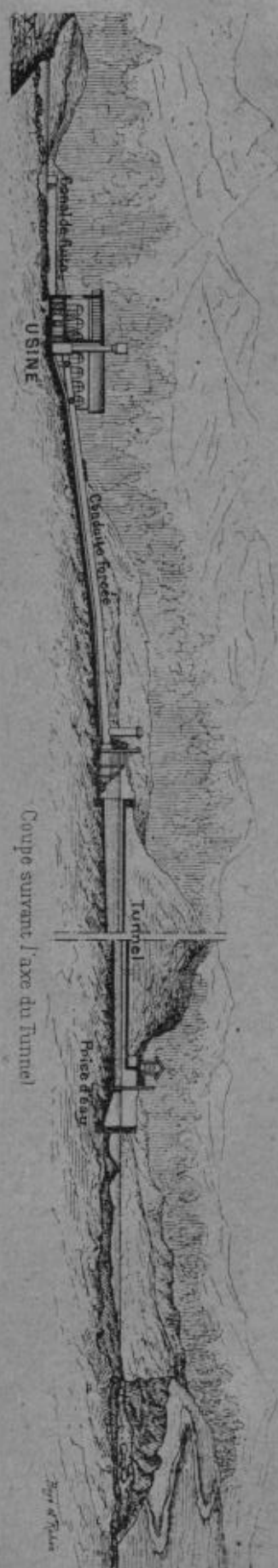
Le barrage, du type à déversoir, a 9 mètres de hauteur et 46 mètres de développement ; il est surmonté en temps d'étiage d'un barrage mobile de 3 mètres, qui retient la réserve d'eau journalière.

Un canal de dérivation fait suite au barrage ; il a 1.500 mètres de longueur, dont 125 mètres en tunnel. Il est muni en divers points de son parcours de vannes de décharge.

FIG. 813. — Usine du Fier (Brasilly). Plan général et coupe longitudinale des ouvrages hydrauliques.



Plan général des ouvrages



Coupe suivant l'axe du tunnel

TURBINES. — En première période d'installation (1901), l'usine comportait quatre groupes électrogènes de 700 HP chacun, chaque groupe composé d'un alternateur triphasé à fer tournant Oerlikon et d'une turbine centripète à axe horizontal Piccard et Pictet. Afin d'éviter que, durant les grandes crues, l'eau n'atteigne la salle des machines, l'axe des turbines a dû être placé à 7 mètres au-dessus du niveau d'aval disponible et on a muni chaque turbine d'un tuyau d'aspiration. En raison de la vitesse imposée, 250 tours, on a dû employer des turbines doubles, lesquelles ont pu fournir, dans les mêmes conditions de chute et de débit, une vitesse une fois et demie (exactement $\sqrt{2}$) plus grande qu'une turbine ordinaire.

Le *vannage* de ces turbines doubles est constitué par un cylindre en acier d'une seule pièce, tourné sur les deux faces, qui, sous l'action du régulateur, se déplace parallèlement à l'axe de la turbine, entre le distributeur et la roue, en oblitérant plus ou moins les orifices de ces deux organes. Le même vannage agit successivement sur les deux turbines juxtaposées.

Le distributeur et la roue mobile sont tous deux divisés en cinq étages juxtaposés, à l'aide de cloisons perpendiculaires à l'axe.

Lors de la seconde période (1904), on adjoignit une cinquième turbine de même système que les précédentes, mais d'une puissance de 1.250 HP.

Actuellement cette usine dispose d'une puissance de 7.000 chevaux. L'Union Électrique de Saint-Claude, propriétaire de l'usine du Saut-Mortier, possède en outre l'usine hydro-électrique de Marigny alimentée par le lac Cholin (Jura) d'une puissance de 1.300 chevaux sous une chute de 20 mètres. Deux usines à vapeur dont l'une à Vesole (1.800 chevaux) et à Villefranche (1.000 chevaux) portent la puissance totale disponible à 11.000 chevaux.

318. Usine du Fier (Haute-Savoie) (chute, 18^m,50)⁽¹⁾. — **AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES.** — Le débit du torrent le Fier (§ 39) à l'étiage est de 7.625 litres à la seconde, y compris l'apport du Thiou (le débit de ce dernier régularisé par le lac d'Annecy (§ 206) est assez constamment de 5.000 litres par seconde). Durant dix mois de l'année, l'usine dispose de 10.250 litres. Le bassin de ces deux rivières recouvre une superficie d'environ 800 kilomètres carrés. Son régime présente deux maxima, l'un à la fonte des neiges (avril et mai), l'autre essentiellement pluvial (octobre à décembre). Les minima s'observent fin septembre et en hiver, le premier étant sensiblement le plus accentué.

Barrage. — Le barrage (fig. 813), qui coupe la rivière en un endroit relativement large, mais encaissé entre des berges de 8 à 10 mètres de hauteur,

⁽¹⁾ Cette usine est aussi désignée par l'appellation « usine de Brassilly ».

a sa crête à 4 mètres environ au-dessus du plan des basses eaux ; sa description est donnée au chapitre VI.

La disposition imaginée par M. Crolard, à l'effet de garantir l'usine des graviers et des corps flottants, est des plus heureuses et offre ce caractère tout particulier que le système utilisé a été une réelle innovation, en ce sens qu'il évite l'emploi des grilles, si sujettes à s'engraver et à s'obstruer.

Chambre de prise d'eau. — Celle-ci (fig. 815), entièrement fermée du



FIG. 814. — Usine du Fier. Centrale et bâtiments d'électrochimie.

côté amont, est recouverte d'un plafond en béton armé et muni d'ouvertures par lesquelles s'introduit l'eau de surface à un niveau inférieur de 0^m,50 à celui de la crête du barrage.

Les corps flottants sont dirigés vers le déversoir du barrage, d'abord au moyen du mur AB, qui dépasse de 2^m,50 la crête du déversoir (ce mur n'est soumis à aucune poussée, puisque le niveau est le même des deux côtés), puis à l'aide du mur-écran BC (construit en bois et fer), arasé à 2^m,90 plus haut que la ligne de faite du barrage et qui plonge de 0^m,50 en contre-bas de celle-ci. De cette façon l'eau captée est obligée de s'engouffrer sous l'écran, mais débarrassée de tout corps flottant. Quant aux graviers ou autres corps lourds, ils s'échappent par la vanne de chasse pratiquée à l'une des extrémités du barrage et accolée aux murs écrans. La

chambre de décantation a son fond établi avec une forte pente pour faciliter le nettoyage, que l'on peut opérer en vidant l'ouvrage complètement et en laissant ouvert tel orifice que l'on juge nécessaire pour entraîner les dépôts. Ainsi, simplement par des obstructions appropriées, l'eau est amenée à passer sous un écran et devant une vanne de chasse, où elle se

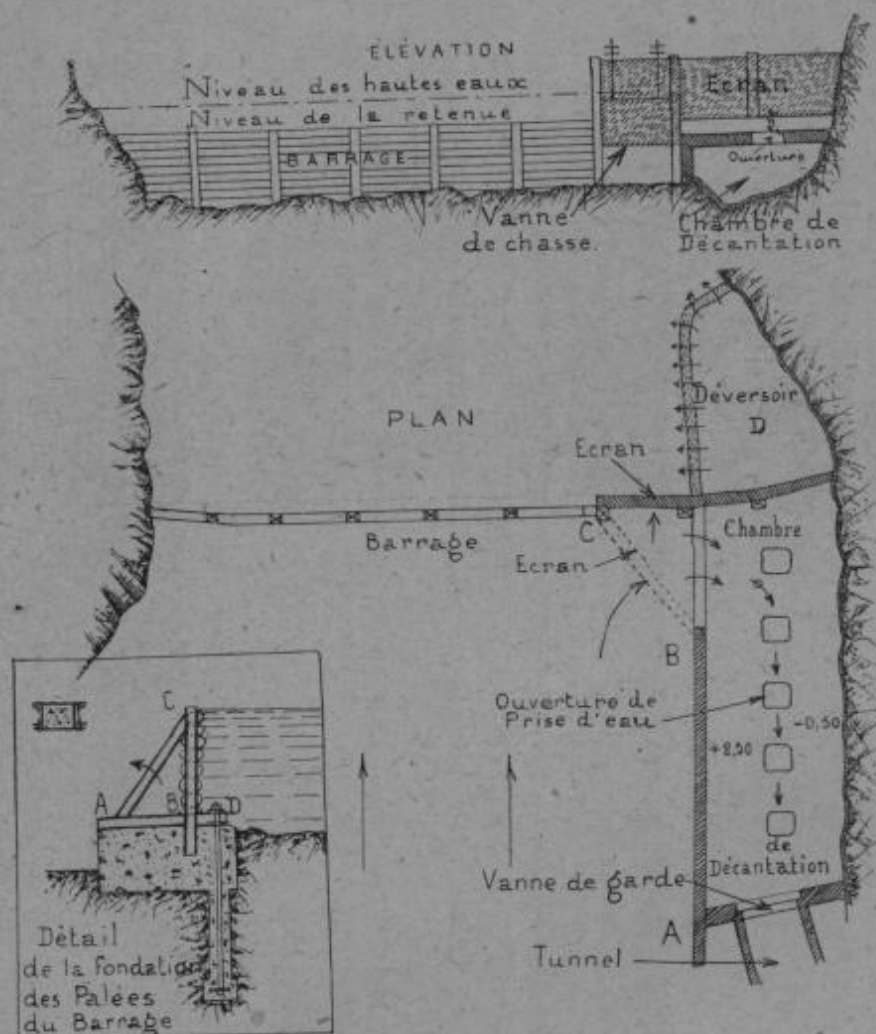


FIG. 815.

purge des corps étrangers entraînés avant de se rendre aux ouvertures de prise d'eau.

Canal de dérivation. — Le canal, entièrement en tunnel, présente une longueur de 1,050 mètres, avec une pente de 1 millimètre par mètre. Sa section mouillée est de 8 mètres carrés. Une vanne limite son débit, afin que le canal ne puisse être mis en pression lorsque, en temps de grande crue, la crête du barrage est débordée, et le déversoir D a pour but de ne pas amener de surcharge dans le tunnel.

La chambre de mise en charge est de dimensions assez réduites.



FIG. 816. — Usine de Brassilly. — Vue d'ensemble.

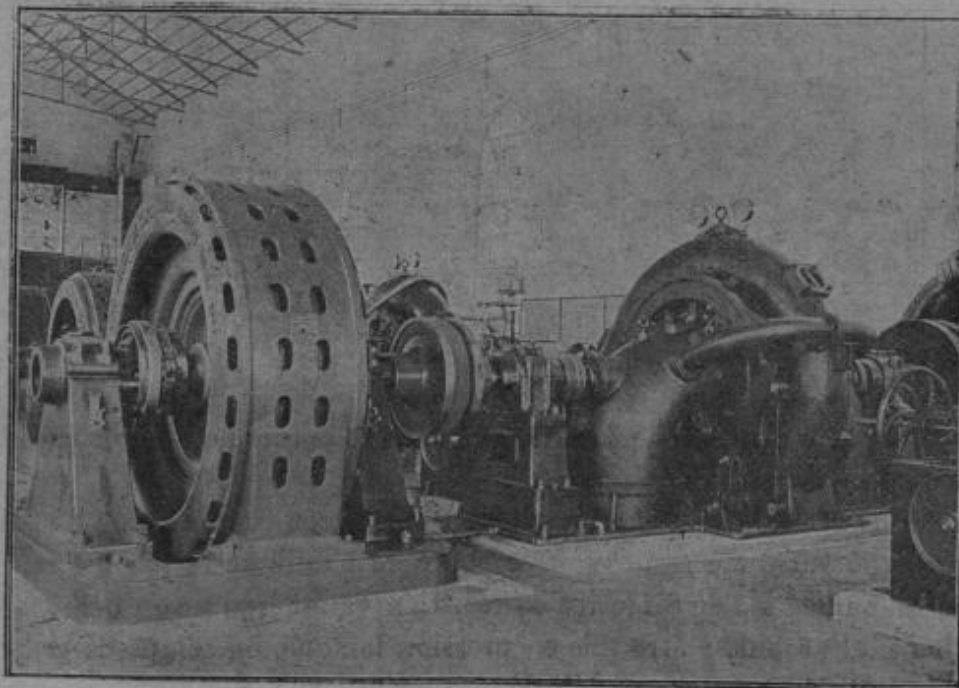


FIG. 817. — Usine de Brassilly. — Groupe de 750 chevaux.

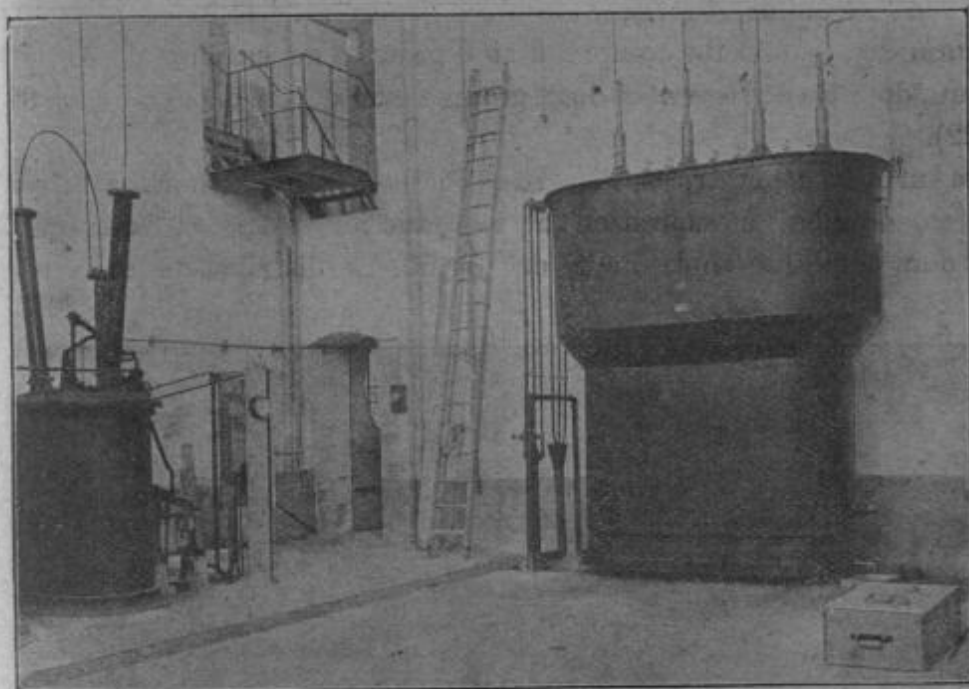


FIG. 818. — Usine de Brassilly. — Poste de transformateurs 70.000 /5.000 volts. Transformateurs 2.000 kw et partie de disjoncteurs.

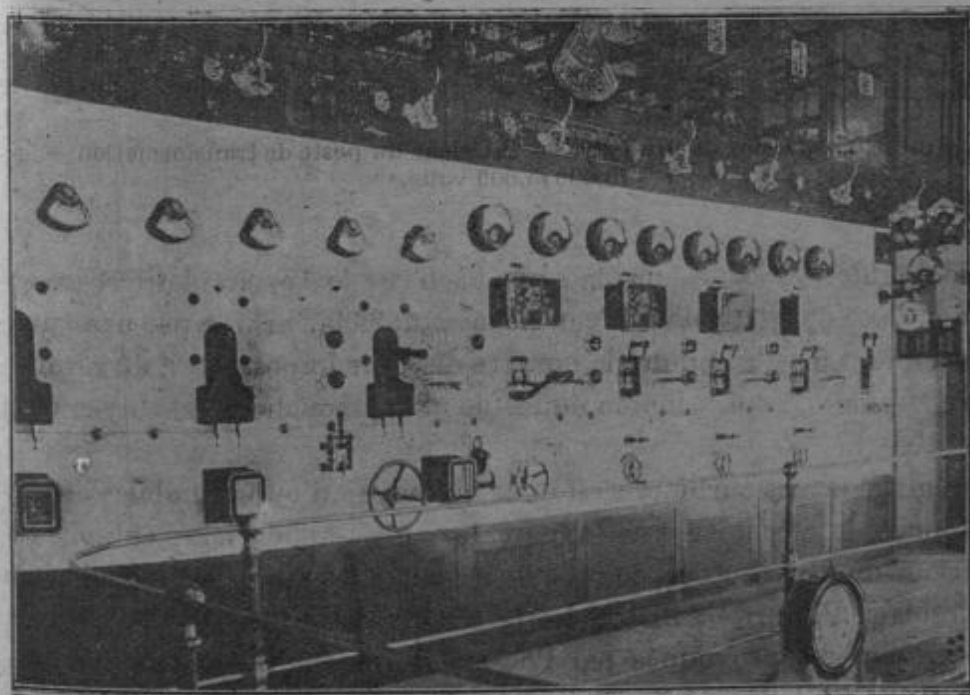


FIG. 819. — Usine de Brassilly. — Tableau des alternateurs.

Conduites forcées. — Deux conduites forcées de 1^m,60 de diamètre assurent le débit de la rivière. La chute brute est de 20 mètres.

TURBINES. — L'usine comprend cinq groupes générateurs de 370 HP chacun, dont un de réserve et deux groupes excitateurs de 20 HP (*fig. 821 et 822*).

Les turbines génératrices, Piccard et Pictet, sont à axe horizontal, centripètes, doubles, à aspiration et introduction totale et tournent à 430 tours sous une chute nette de 18^m,50. Le distributeur et la roue

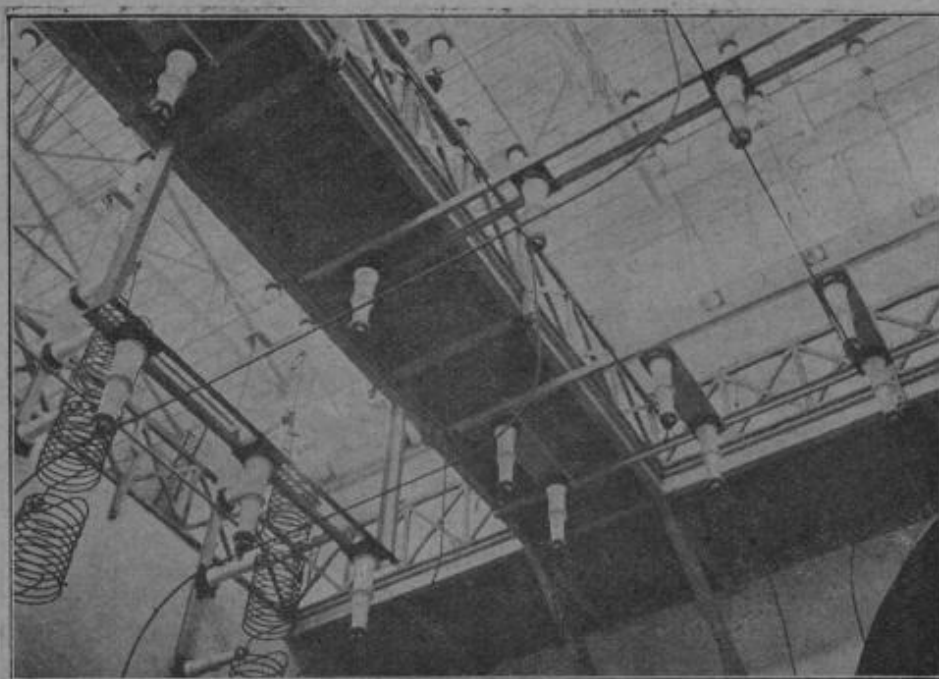


FIG. 820. — Usine de Brassilly. — Intérieur du poste de transformation 70.000 / 5.000 volts.

mobile double sont contenus dans une bêche en fonte, circulaire et excentrique à l'axe de la turbine. L'eau pénètre dans la turbine par une tubulure latérale. Afin d'atteindre le nombre de tours imposé, on a dû recourir à deux tuyaux d'aspiration coniques dont l'embouchure est noyée dans le bief d'aval.

Le réglage de ces turbines s'effectue au moyen d'aubes mobiles au distributeur et le mécanisme actionnant les aubes est entièrement placé à l'extérieur du distributeur, comme dans toutes les nouvelles installations de la maison Piccard et Pictet. La fermeture des aubes sous l'action du servo-moteur est provoquée par l'action de puissants ressorts qui préservent la turbine de tout accident, par suite de toute résistance anormale occasionnelle.

Les turbines excitatrices tournant à 800 tours, sont du type centri-

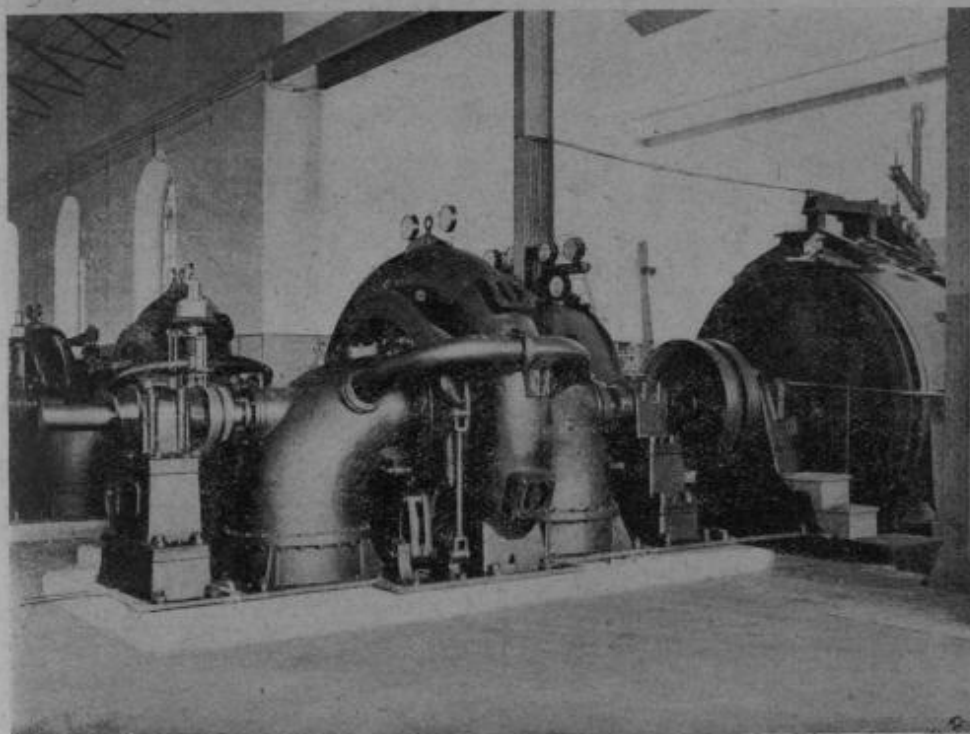


FIG. 821. — Usine du Fier. Turbine de 750 HP et alternateurs monophasés d'électrochimie, 50 volts, 1.600 ampères.

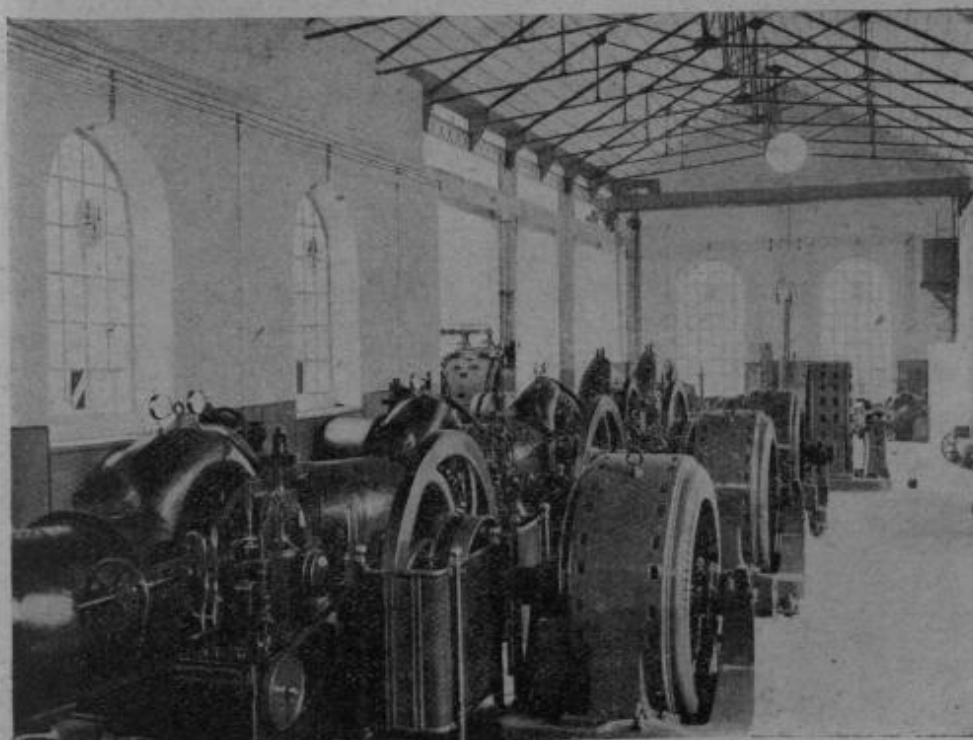


FIG. 822. — Usine du Fier. Turbines et alternateurs.

pète, simples, à aspiration, à introduction totale, mais les aubes du distributeur sont fixes. On les règle en actionnant à la main la vanne papillon placée sur la tubulure d'entrée de chacune d'elles.

Depuis, l'usine du Fier, pour renforcer son réseau, a créé une ligne de 70.000 volts la mettant en relation avec l'usine de Venthon par Brassilly-Seysell-Lyon. Cette ligne sert aussi à parer à tout aléa dans le fonctionnement de l'installation.

En outre une ligne à la tension de 20.000 volts alimente la ville d'Aix-les-Bains et deux réserves thermiques à vapeur ont été installées à Cran (Haute-Savoie), de 750 chevaux et à Aix-les-Bains, de 1.200 chevaux.

En 1915, la Société des Forces motrices du Fier a agrandi ses usines électrochimiques Coignet à Brassilly, pour la fabrication du phosphore pour la guerre. En 1916, elle a fait procéder aux études et aux acquisitions pour la réunion de deux chutes, l'une sur le *Thiou* et l'autre à *Chavaroche*. La chute du Thiou, en étude, sera aménagée en commun par la Société des Forces motrices du Fier et par la Société hydroélectrique de Lyon. Elle a pour but d'aménager considérablement l'utilisation du lac régulateur d'Annecy (§ 206). Elle sera construite pour un débit de 20 à 25 mètres cubes sous une chute de 34 mètres. La force du Thiou qui est actuellement utilisée par cinq usines serait concentrée dans la nouvelle centrale qui leur fournira électriquement les appoints correspondants.

L'*usine de Chavaroche*, en cours de construction, dérive du Fier un débit de 25 mètres cubes-seconde, entre les cotes 389 et 347, soit 42 mètres de chute, ce qui représente une puissance installée de 10.000 HP. Elle prend l'eau par un barrage mobile de 3^m,50 de hauteur et 32 mètres d'ouverture, à 700 mètres en aval du canal de fuite de l'usine de Brassilly (fig. 823).

Un canal à ciel ouvert de 1.400 mètres dans les « Iles » de Poisy et de Lovagny, puis un souterrain de 1.400 mètres également, sous le château de Montrotier, un siphon sur le Fier, de 200 mètres environ de longueur totale, un deuxième souterrain de 200 mètres sous le château de Chavaroche, puis une chambre d'eau avec déversoir et les conduites forcées de 900 mètres de développement, amèneront les eaux du Fier à la sortie des défilés nécomiens des célèbres gorges du Fier et de Chavaroche. Ces travaux sont exécutés de façon à ne nuire aucunement aux beautés du site.

319. Usine de Kikkelsrud (Norvège) (chute, 19 mètres). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — L'usine de Kikkelsrud est construite sur le fleuve Glommen, le plus important de la Norvège, dont le bassin mesure 41.400 kilomètres carrés. Un vaste lac, le Mjösen, de 359 kilomètres carrés, et beaucoup d'autres moins importants, enclavés dans son bassin, tendent

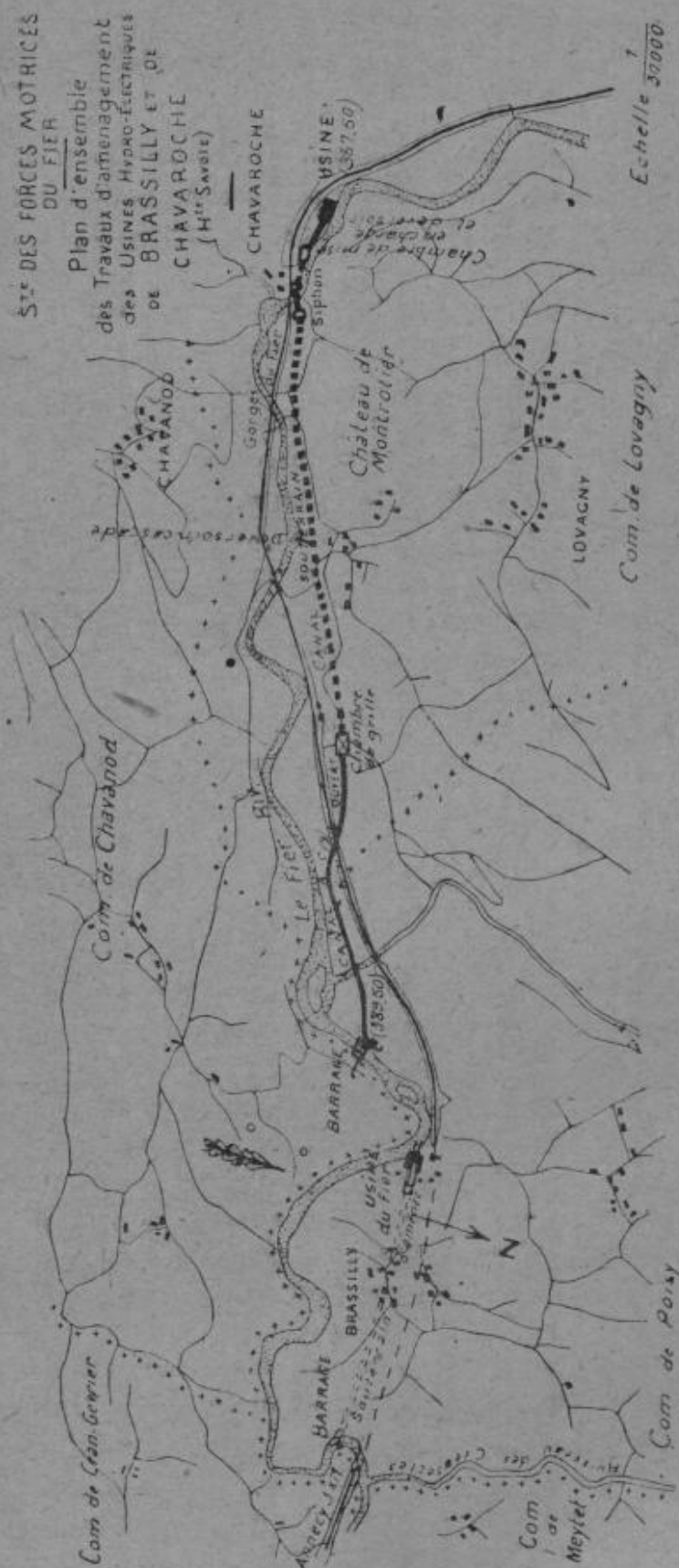


FIG. 823. — Plan synoptique des travaux d'aménagement des usines de Brassilly et de Chavaroché.

à régulariser le débit du fleuve et de ses affluents. Néanmoins, le débit d'étiage du Glommen tombe à 100 mètres cubes par seconde, alors qu'il atteint 2.000 mètres cubes en été et exceptionnellement 4.500 mètres cubes.

Les chutes de Kikkelsrud ont une hauteur utilisable de 19 mètres avec un débit moyen de 200 mètres cubes par seconde, pouvant fournir une puissance de 36.000 HP ; elles sont situées à environ 63 kilomètres au sud-est de Christiania.

TURBINES. — Primitivement, l'usine comportait deux turbines pour les machines excitatrices, de 280 HP chacune, et deux turbines de 3.000 HP pour l'actionnement des alternateurs.

Une de ces turbines de 3.800 HP, construite par la maison Voith, de Heidenheim, est du genre Francis ; les aubages mobiles sont en tôle d'acier dont le diamètre atteint 1^m,88, et les aubages fixes, de 0^m,80 de hauteur, peuvent pivoter autour d'axes verticaux. La huche, soutenue par des piliers en béton, est en tôle solidement renforcée de cornières ; la vitesse de l'eau y dépasse 6 mètres par seconde. La conduite d'évacuation verticale a 2^m,40 de diamètre au niveau du plancher, et la vitesse de l'eau y est réduite à 1^m,20.

L'arbre vertical en acier, de 0^m,39 de diamètre et 7^m,60 de longueur, porte à son extrémité supérieure l'accouplement avec l'alternateur.

Un dispositif à injection d'huile dans une cavité annulaire, sous la pression de 15 kilogrammes par centimètre carré, empêche le frottement des surfaces métalliques en regard, qui restent séparées par une couche liquide. Sur la conduite est interposée une vanne tournante, de 2^m,60 de diamètre.

Le régulateur hydraulique, actionné par l'huile sous pression, est muni d'un perfectionnement qui facilite le couplage en parallèle avec la turbine de même puissance, construite par la maison Escher-Wyss.

Cette turbine est aussi du genre Francis, et, comme celle ci-dessus, elle tourne à 150 tours et absorbe 15 à 19 mètres cubes. La huche est de forme cylindrique, mais l'admission y est radiale et non tangentielle. Cette admission est réglée par une couronne obturatrice, mobile entre les aubages fixes et les aubages mobiles. Trois cylindres, dont les pistons sont solidaires d'une couronne et de l'obturateur, servent à soulever ou à abaisser ce dernier.

Les turbines commandant les dynamos excitatrices ont leurs couronnes mobiles (0^m,80 de diamètre) avec aubages mobiles en acier. Le rendement de ces turbines, qui consomment 1^m³,75 par seconde à 325 tours, est de 76 0/0.

Les pompes qui assurent la circulation de l'huile du régulateur de toutes les turbines étant commandées par les turbines des excitatrices, on voit

qu'il est nécessaire, au début, d'opérer le réglage à la main ; on passe ensuite à la marche automatique en admettant l'huile dans les régulateurs.

Pour pouvoir alimenter en énergie électrique l'usine hydraulique de Hafslund, aussi sur le Glommen, on a installé à l'usine de Kikkelsrud deux nouvelles turbines d'un rendement de 3.750 HP chacune.

USINE. — L'usine proprement dite (*fig. 824*) est constituée par un bâtiment à deux étages ; la différence de niveau entre les planchers des deux étages atteint 10 mètres. Le bâti des alternateurs est placé à la cote 66, de façon à être au-dessus des plus fortes crues, disposition qui a nécessité des axes de turbines d'une grande longueur et d'un poids considérable.

Les alternateurs triphasés Schuckert, de 2.500 kilowatts chacun, com-

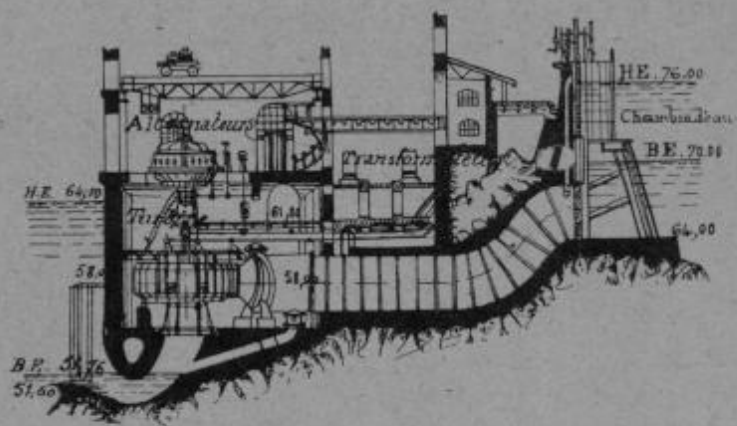


FIG. 824.

portent des couronnes inductrices à axe vertical de 5 mètres de diamètre ; les inducteurs ont 40 pôles et tournent à 150 tours ; fréquence, 50 périodes ; tension, 5.000 volts.

Les transformateurs élèvent la tension à 50.000 volts. Le réseau comporte quatre lignes, et sept sous-stations sont installées sur leur parcours, qui ramènent la tension à 5.000 volts, et d'autres, placées aux points d'utilisation, la réduisent à 150 volts.

Les alternateurs, produisant le courant pour le transport de Hafslund, sont aussi du type triphasé. Leur tension de 5.000 volts est élevée à 50.000 volts par l'intermédiaire de 4 transformateurs de 2.250 kilovolt-ampères chacun. La ligne de transmission est formée de trois fils de 64 millimètres carrés de section disposés en triangle équilatéral. Les mâts sont distancés de 31 mètres. La ligne est protégée contre les surtensions par des appareils de mise à la terre par jet d'eau et bobines de réaction à action graduelle avec plusieurs distances explosives à cornes et résistances à huile intercalées dans le fil de terre de chacun des trois conducteurs.

320. Usines de la Société « l'Énergie du Littoral Méditerranéen ».— Les usines hydroélectriques appartenant à la Société l'Énergie Électrique du littoral méditerranéen sont les suivantes par ordre de leur importance : Ventavon, Brillanne, Siagne, Largue, Foutan, Plan du Var, du Loup, Entraygues, Mescla et Aix sur le canal de Verdon.

Les usines de Ventavon, de la Brillanne, de la Siagne, d'Entraygues sont spécialement relatées dans cet ouvrage. Cette brillante énumération s'augmente encore des installations thermiques à vapeur ci-après : usines d'Arrenc (3.000 kilowatts), Saint-Giniez (9.000 kilowatts), Pont de Crau (3.000 kilowatts), de Risso (6.000 kilowatts), de Sainte-Agathe (2.000 kilowatts), de Beausoleil (1.200 kilowatts), de Mougins (600 kilowatts), de Brunet (500 kilowatts), de l'Arsenal (800 kilowatts) et de la Loubière (900 kilowatts).

L'usine de la *Mescla* utilise une chute de 10 mètres sur le Var ; sa puissance est de 2.000 HP ; elle produit du courant triphasé à 10.000 volts et 25 périodes. L'usine de *Plan du Var* (6.000 HP) avec une chute de 24 mètres fournit du courant électrique de la même nature et de la même tension que l'usine de la *Mescla* ; elle est aussi tributaire de la rivière le Var. L'usine du *Loup*, établie sur la rivière de ce nom, à l'aide d'une chute de 250 mètres avec un débit de 1.500 litres à la seconde, renferme quatre groupes électrogènes de 1.000 HP (dont un de secours) et donne du courant triphasé à 10.000 volts, 25 périodes. Les turbines sortant de la maison Escher-Wyss peuvent donner 1.000 chevaux, le débit maximum des conduites étant de 1.200 litres par seconde.

Les alternateurs Thomson-Houston fournissent directement 10.000 volts. Trois des groupes électrogènes marchent en parallèle, le quatrième servant de réserve. L'excitation est assurée par deux génératrices, courant continu 140 volts.

Outre les deux lignes d'alimentation de Grasse, une troisième rejoint à Cannes les lignes de l'usine du Plan du Var. La distribution est établie pour que ces usines puissent fonctionner aux tensions de 30.000 et 50.000 volts des usines de la Siagne, de la Brillanne et de Ventavon.

321. Usine de Gullspang (Suède) (chute, 20^m,50).— AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — La Compagnie de distribution d'énergie de Gullspang-Mumkfors a été constituée pour exploiter les chutes de ces deux régions et fournit ainsi l'énergie électrique à des villes et des usines métallurgiques.

Les rapides de Gullspang sont situés à 800 mètres environ en aval du lac de Skagen, qui a une superficie de 13 kilomètres carrés et forme un réservoir naturel de régularisation. La rivière, sur laquelle est édifiée l'usine de Gullspang, relie le lac de Skagen au lac de Varnen ; la distance

entre ces deux lacs est de 2 kilomètres et la longueur de la rivière est de 13 kilomètres.

Les rapides de Gullspang présentent une chute de 20^m,50 sur 800 mètres de distance.

Barrage. — Au préalable, on a dû dévier la rivière à l'aide d'un tunnel creusé dans le roc, que l'on combla une fois le barrage exécuté. En raison de la faible consistance du sol, dans la partie centrale du barrage, on a exécuté cette partie de l'ouvrage en forme d'arc solidement supporté à ses extrémités seulement. La partie droite, fondée sur le roc, a été poussée aussi loin que possible pour réduire au minimum la partie en arc de cercle. L'ouvrage comporte 50 vannes, disposées par groupe de cinq, en 10 ouvertures. Elles sont constituées par des madriers couissant entre des poutrelles en forme d'I. Une large ouverture ou déversoir est ménagée au centre du barrage pour l'évacuation des glaces flottantes et on a ménagé une échelle à saumons et deux échelles à anguilles, selon l'usage.

Canal d'amenée. — Il est à ciel ouvert ; la partie supérieure est en terrassement et la partie inférieure en maçonnerie de béton. Les chambres de mise en charge sont aussi établies en maçonnerie, chaque conduite forcée ayant sa chambre propre, sa grille à glace et sa vanne. Celle-ci mesure 5^m,50 de large et 4^m,60 de hauteur ; elle est d'un type breveté. En principe, elle consiste en tôles de fer courbées suivant la forme cylindrique, étagées horizontalement et munies de surfaces de glissement en chêne. Des bypass permettent de déterminer la pression d'eau contre ces vannes, avant la manœuvre qui s'effectue au moyen d'un pont roulant.

Les tubes de charge en tôle d'acier ont 13 mètres de hauteur et 5^m,60 de diamètre, chacun d'eux alimentant une paire de turbines de 4.500 à 5.000 chevaux ; ces tubes sont prévus au nombre de six.

Chambres de mise en charge. — Afin d'éviter de soumettre les matériaux aux efforts qui résulteraient de dilatations inégales, des soins spéciaux furent apportés à la construction des chambres d'eau ; ces chambres sont entièrement indépendantes les unes des autres ; elles sont isolées du roc sur leurs côtés et simplement supportées par des murs en béton construits entre les conduits de descente aux turbines. Les joints entre ces conduits d'acier et le plancher des chambres d'eau sont également du type à dilatation ; à cet effet chaque conduit a été bien graissé avant que le béton soit pilonné tout autour ; en outre, pour assurer un joint étanche entre le béton et le conduit, on a ménagé dans le béton, vers le sommet du conduit, une rainure circulaire en V servant à loger une garniture d'étoupes trempées dans de la paraffine.

Les parties arrière des chambres d'eau sont constituées par des murs en demi-cercle, de faible épaisseur, tandis que les côtés sont de construction rectiligne et plus solide. Les murs de côté sont entretoisés à leur sommet

par de fortes poutrelles d'acier ; une paire de ces poutrelles sert de voie à un pont roulant de 18 tonnes destiné au montage ou à la réparation des turbines. En avant des chambres d'eau, entre le rail gauche du pont roulant et la vanne, se trouve un fort remplissage en ballast, destiné à contrebalancer la pression de l'eau qui s'exerce contre l'arrière de la chambre d'eau. Comme on l'a dit précédemment, ces chambres d'eau sont uniquement supportées par des murs ayant leur base au niveau du sol des turbines, et le ballast a pour effet de neutraliser la poussée horizontale résultant de la pression de l'eau.

Les turbines, aussi bien que les murs en béton qui supportent les chambres d'eau, reposent sur un plancher en fortes poutrelles d'acier et béton armé construit sur le rocher. Ce plancher est d'une construction extrêmement solide, car il doit pouvoir supporter non seulement le poids des chambres de turbines, murs, etc., mais aussi le poids de l'eau.

Conduites forcées. — Les conduits ou tubes de sortie ont un revêtement de ciment qui les protège contre la rouille ; ils viennent se décharger dans un tunnel creusé dans le roc sur toute la longueur de la station ; au delà ce tunnel vient s'ouvrir dans un canal de fuite ordinaire à ciel ouvert.

Bâtiments. — Le bâtiment de la station elle-même est à trois étages ; il est construit sur le rocher, qu'il a fallu creuser sur une profondeur de 10 mètres. L'étage inférieur a été construit en béton armé, à l'effet de mieux résister à l'humidité du roc ; de plus, les murs de cet étage devaient être assez solides pour supporter les lourds transformateurs situés sur le plancher en poutrelles et béton de l'étage au-dessus. La partie supérieure du bâtiment est en briques.

Dans l'étage inférieur, dont le niveau est à peu près le même que celui du plancher des turbines, sont installées les génératrices. L'étage au-dessus comprend les transformateurs et l'installation de distribution. L'étage supérieur est réservé aux dispositifs de protection, tels que les parafoudres, et aux départs des lignes. Le plancher du local des transformateurs est au niveau du sol extérieur ; sur ce plancher est disposée une voie normale raccordée aux grandes voies ferrées. Un pont roulant de 20 tonnes peut enlever les marchandises qu'amènent les wagons et les déposer directement sur le plancher ou bien les descendre, par une trappe, à la salle des machines qui est au-dessous et qui est desservie par un autre pont roulant électrique de 20 tonnes. Un système très complet de ventilation maintient relativement basse la température de la salle des machines ; des canaux disposés sous le plancher de cette salle amènent l'air froid aux génératrices.

Turbines. — Elles sont du type à deux roues mobiles ou réceptrices constituées par des aubes en tôle cintrées à la forme voulue et montées *en fonderie* sur une couronne de fonte portée par un moyeu. Un tel genre de

construction des roues mobiles est beaucoup employé pour les turbines marchant sous chutes jusqu'à 20 mètres, et d'une puissance aussi élevée que celle dont il s'agit, à savoir 2.000 à 2.500 chevaux par roue.

Les guides qui conduisent l'eau dans la roue sont montés sur pivot, et par leur mouvement on peut faire varier les ouvertures et régler ainsi la quantité d'eau admise d'après la puissance demandée. Ce système de régulation permet à l'eau d'être toujours projetée sur les aubes de la roue avec l'angle convenable et améliore énormément le rendement aux faibles charges. La régulation de vitesse est effectuée par des régulateurs hydrauliques automatiques agissant directement sur les arbres connectés aux anneaux des guides mobiles mentionnés plus haut. Le régulateur à boules est actionné par l'arbre de la turbine. La régulation obtenue par ce système est excessivement sensible. Des relevés au tachygraphe, faits sur les turbines, ont montré qu'en passant instantanément de la marche à vide à la marche à pleine charge, ou *vice versa*, la variation de vitesse n'est que de 5,50/0 ; pour des variations brusques de demi-pleine charge, la vitesse ne varie que de 2 0/0, et, ce qui est encore plus important, on ne constate absolument aucun phénomène pendulaire même avec d'aussi grandes variations de charge.

Actuellement, la puissance totale installée, non compris l'excitation, s'élève à 16.500 chevaux ; les dépenses totales correspondantes ont été de 4.360.000 francs, soit environ 265 francs par cheval installé. Il faut observer, toutefois, que la partie hydraulique de l'installation a été établie pour un équipement définitif de 25.000 chevaux. De sorte que, lorsqu'elle sera complétée à 25.000 chevaux, la station coûtera 4.840.000 francs, soit environ 195 francs par cheval.

Tous les travaux ont été exécutés d'après les plans et sous la surveillance de l'Association hydraulique de Scandinavie.

322.- Usine d'Entraygues (Var) (chute, 20^m,35). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Cette usine est située sur la rivière l'Argens, qui coule à peu près parallèlement à la côte, à une distance d'environ 30 kilomètres de celle-ci, dans une vallée assez étroite, bordée de collines de 400 mètres à 600 mètres de hauteur.

L'aménagement de cette installation comporte un barrage, un réservoir régulateur de 60.000 mètres cubes, une prise d'eau, une chambre de décantation et des conduites de pression.

Barrage. — Cet ouvrage, en forme de V, à angle d'ouverture de 145°, dont le sommet est tourné vers l'amont, est constitué par une file de caissons foncés à l'air comprimé ; il présente un déversoir de 73 mètres, longueur reconnue nécessaire par le Service des ponts et chaussées pour évacuer les plus fortes crues connues. De part et d'autre de ce déversoir sont

établis, sur les rives, des ouvrages spéciaux pour assurer l'alimentation de plusieurs moulins, soit pour l'ensemble de ces derniers un débit de 1.600 litres à la seconde.

La chute brute produite par le barrage est de 20^m,35 à l'étiage et 15^m,60 par les grandes crues. Le débit de la rivière est de 12 à 15 mètres cubes à la seconde, et la puissance de l'usine de 2.000 à 2.500 HP.

Chambre d'eau. — On a adjoint au barrage trois pertuis de déversement, dont un spécialement affecté à la chambre de prise d'eau. De celle-ci part une conduite en ciment armé de 2^m,90 de diamètre pouvant débiter 15 mètres cubes par seconde et aboutissant à une chambre de décantation située à 70 mètres du barrage.

Conduites sous pression. — Une conduite forcée en béton armé, de 2^m,90 aussi de diamètre, amène l'eau sous pression à un collecteur en acier de 3^m,30 de diamètre, disposé parallèlement au mur de l'usine et sur lequel sont branchées trois conduites de 1^m,40 de diamètre, alimentant les turbines principales, et une conduite plus faible, pour les deux turbines auxiliaires. Une cheminée d'équilibre avec tuyaux de vidange empêche les coups de bélier.

TURBINES. — Les turbines principales, au nombre de trois, ont une puissance individuelle de 1.000 HP tournant à 300 tours et sont du type Francis double à axe horizontal et accouplé rigidement à des alternateurs ; elles possèdent deux tubes d'aspiration pour supprimer la pression axiale et elles sont munies de régulateurs Escher-Wyss à huile sous pression. Ces appareils permettent de faire varier la vitesse de régime de 5 0/0 en plus ou en moins de la vitesse normale, et ils peuvent être commandés du tableau de distribution par l'intermédiaire d'un petit servo-moteur électrique. Les turbines auxiliaires, de 75 HP chacune, à axe horizontal, entraînent les excitatrices par accouplement élastique ; à l'étiage, les récepteurs fonctionnent avec une hauteur d'aspiration de 7^m,60.

ALTERNATEURS. — Ces machines donnent du courant triphasé à 3.500 volts et 25 périodes, dont une partie est directement utilisée dans les environs de l'usine et l'autre partie transformée à 30.000 volts. Leur puissance unitaire est de 700 kilowatts et leur vitesse de 300 tours par minute. Elles sont du type à inducteur tournant et induit fixe, munies d'un volant de 5 tonnes dont la vitesse périphérique est d'environ 51 mètres.

EXPLOITATION. — La ligne, à 30.000 volts, est longue d'environ 58 kilomètres et aboutit au poste de Brunet, près de Toulon ; elle dessert en route deux autres postes (Ganfaron et Guers). Les poteaux sont généralement en sapin. Dans les trois sous-stations, la tension est abaissée à 3.250 volts ; le réseau de distribution de la sous-station terminus alimente une autre sous-station où les courants triphasés sont convertis en courant

continu à 260 volts pour l'alimentation d'un réseau à trois fils qui dessert Toulon. Une seconde sous-station fournit du courant continu à 550 volts au réseau de traction. L'équipement de cette installation a été fait par la Compagnie Thomson-Houston et l'usine appartient à la Société l'Énergie Électrique du littoral méditerranéen.

323. Usine de Great-Falls (États-Unis) (chute, 22 mètres). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — La Southern Power Co a projeté l'aménagement de trois usines, sur trois chutes successives de la rivière Ca-

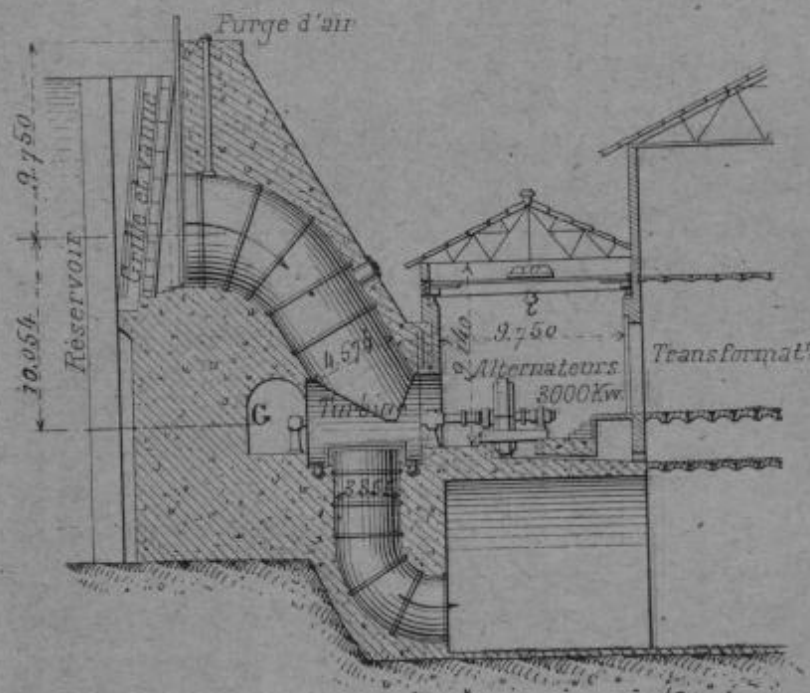


FIG. 825.

tawba, qui donneront une différence de niveau de 54 mètres, pour une longueur de 13 kilomètres et capables de produire 15.000 HP, 30.000 HP et 20.000 HP ; soit une puissance totale de 65.000 HP.

La plus importante de ces chutes, celle de Great-Falls, a 22 mètres.

Barrages. — A l'endroit choisi pour l'emplacement de cette usine, la Catawba forme plusieurs îles assez considérables. Un barrage submersible de 2^m,30 de hauteur, établi à l'entrée d'un des bras de la rivière, rejette les eaux dans le bras principal de la rivière. Un deuxième barrage en béton, de 10 mètres de hauteur, rejette les eaux dans une vallée voisine qui aboutit à un affluent de la Catawba et forme ainsi un canal naturel d'aménée long de 2 kilomètres.

Des vannes métalliques règlent la quantité d'eau qui pénètre dans ce canal. Enfin, un troisième barrage en béton, de 26^m,50 de hauteur au-

dessus du rocher, relève le plan d'eau de manière à créer une chute de 22 mètres, au-dessus du canal de fuite qui a été creusé dans le rocher au voisinage de l'usine génératrice (fig. 825).

En avant des conduites forcées se trouvent des grilles et des vannes d'arrêt, et une vanne de chasse est disposée au même niveau à chaque extrémité du barrage. Des reniflards évitent la formation du vide dans les conduites, lorsqu'on ferme les vannes d'arrêt.

TURBINES. — L'installation de ces turbines (fig. 826) offre cette parti-

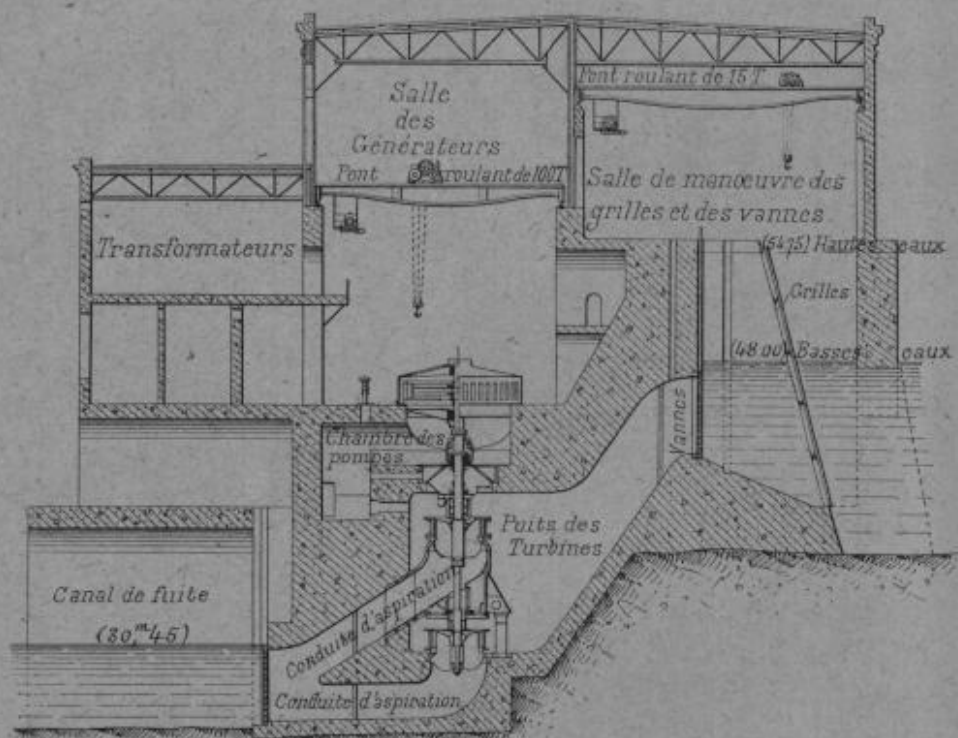


FIG. 826.

cularité qu'elles sont disposées à l'intérieur même du barrage. Elles sont au nombre de dix, doubles, à axe horizontal et à décharge centrale. Huit d'entre elles peuvent développer 5.200 HP sous 22 mètres de chute et tournent à 225 tours par minute. Les roues ont 1^m,21 de diamètre et tournent dans une huche dont l'enveloppe circulaire en tôle est rivée sur deux flasques en fonte. Les turbines des excitatrices ont une puissance de 700 HP et tournent à 450 tours par minute.

ALTERNATEURS. — Il y a huit alternateurs de 3.000 kilowatts directement accouplés à chacune des huit grosses turbines. Ils produisent du courant triphasé à 2.200 volts, 60 périodes. Les excitatrices, au nombre de deux, ont une puissance de 400 kilowatts sous 250 volts.

LIGNE DE TRANSMISSION D'ÉNERGIE (44.000 volts). — La station géné-

ratrice proprement dite se compose d'un bâtiment de 76 mètres de longueur sur 10^m,37 de largeur. Le poste des transformateurs et du départ des lignes, qui lui fait suite, est une construction à trois étages, de 26^m,35 de longueur sur 21^m,35 de largeur. Ces deux bâtiments sont en briques réfractaires. Les transformateurs sont au nombre de 12, disposés en 4 groupes de 3 transformateurs monophasés. Leur capacité unitaire est de 2.000 kilowatts et ils élèvent la tension de 2.200 à 44.000 volts. Ils sont du type à bain d'huile et à refroidissement par circulation d'eau.

Les poteaux de ligne sont en général en cyprès ou en chêne, imprégnés de coaltar. Ils ont 10^m,70 de haut et sont encastrés de 1^m,67 dans le sol. Les fils sont disposés en triangle et sont espacés de 1^m,80. Tout à fait au sommet du poteau se trouve un fil de protection contre la foudre.

Un poste de distribution est alimenté par une ligne montée sur des tours métalliques de 11 à 15 mètres de hauteur constituées par deux tours jumelles accolées. Leur moitié inférieure forme quatre pieds espacés de 4 mètres. Le projet d'installation définitive prévoit des lignes uniquement sur tours métalliques.

324. Usine d'Avignonet (Isère) (chute, 23 mètres). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Le Drac, sur lequel l'usine d'Avignonet est établie, débite en basses eaux 20 à 25 mètres cubes (exceptionnellement 17 ou 18), en eaux moyennes 35 à 40 mètres cubes pendant huit mois de l'année et plus de 1.200 mètres cubes dans les crues de printemps (fonte des neiges) et d'automne (grandes pluies). Il charrie d'énormes matériaux de toutes dimensions, et les crues sont fréquentes, d'une grande intensité et brusques. La chute utile est de 23 mètres en basses eaux, 22^m,68 en eaux moyennes et 18^m,48 en hautes eaux, ce qui correspond à une puissance disponible totale sur les arbres des turbines de 8.000 HP en eaux moyennes, 7.400 en hautes eaux et 4.700 en basses eaux exceptionnelles. L'usine est située à 30 kilomètres en amont de Grenoble et a été édifiée par la Société franco-suisse pour l'industrie électrique.

Barrage. — Les travaux d'aménagement de la chute comprennent les ouvrages suivants : le barrage A (*fig. 827*) avec le canal d'écoulement, la prise d'eau B avec sa grande vanne, la galerie d'amenée H, la chambre de distribution C, l'usine D, le canal de purge E et le canal de fuite F.

Le barrage, qui est fixe, a 20 mètres de hauteur au-dessus du fond du lit (près de 27 mètres avec les fondations) et 60 mètres de longueur. Tout le corps de l'ouvrage est en béton au mortier de ciment de la Porte de France (*fig. 828*). Son épaisseur à la crête est de 4^m,75 et de 24 mètres à la base. Sa forme en plan est celle d'un arc de cercle de 200 mètres de rayon et l'ouvrage est arasé à la cote 395,85.

Un massif d'enrochements en grès houiller sertis contre les parements

amont et aval protège le barrage contre les affouillements. Le radier se relève vers l'aval en forme de doucine pour renvoyer les eaux dans une direction parallèle à l'écoulement final et atténuer d'autant les effets d'affouillement.

Pour l'exécution des fondations, on a dû construire deux batardeaux, dont l'un, établi en travers de la vallée du Drac, dérivait toute l'eau du

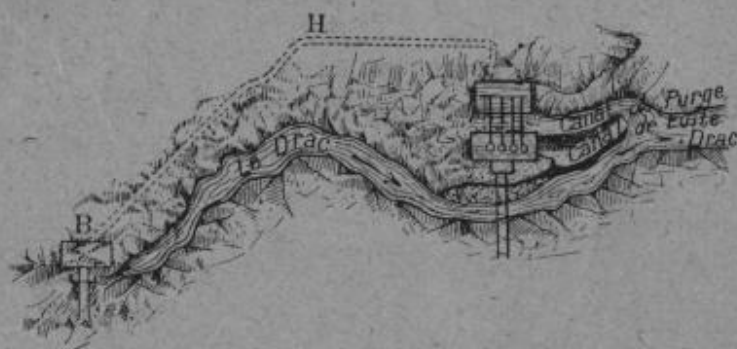


FIG. 827.

torrent par une galerie latérale de 50 mètres creusée dans le rocher, laissant ainsi entièrement libre la partie réservée aux fondations, et dont l'autre, dans l'axe du torrent, divisait cette partie en deux sections, pour permettre aux grandes crues de s'écouler par la section non utilisée.

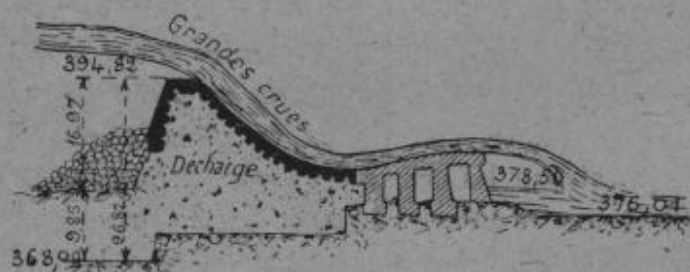


FIG. 828.

A l'extrémité rive gauche du barrage, un canal d'écoulement ou pertuis de décharge est destiné à débiter la quantité d'eau inutilisée, à livrer passage aux apports qui s'accumulent à l'amont du barrage ou contre les grilles de la chambre de prise d'eau et à prévenir l'invasion du canal d'amenée, dont le seuil est supérieur, d'environ 2^m,50, au radier du pertuis. L'entrée de ce canal est munie d'une grande vanne à contrepoids fournie par la maison Bouvier, de Grenoble. Le tablier métallique mobile de cette vanne (10^m,00 × 7 mètres de hauteur) peut résister normalement à un effort total de 370 tonnes ; l'étanchéité latérale a été obtenue au

moyen de deux cylindres en laiton, de même longueur que le tablier, disposés sur sa face amont près de chaque montant et appliqués par la pression dans des alvéoles en forme de V. La manœuvre se pratique au moyen d'un treuil fixé sur le sommier supérieur, actionné à bras d'homme ou par un moteur électrique, lequel transmet son mouvement à des poulies à gorge fixées à la partie supérieure du tablier et sur lesquelles passent les câbles de suspension par l'intermédiaire de trains hélicoïdaux à vis tangentés.

Chambre de prise d'eau. — L'immense bassin, d'une capacité de 1.500.000 mètres cubes, créé à l'amont du barrage, servant de chambre naturelle de décantation pour les eaux ordinairement boueuses du Drac, la chambre de prise d'eau a été, de ce fait, considérablement simplifiée.

La grille est placée parallèlement à l'axe du torrent et dans le prolongement du canal d'écoulement, pour jeter dans ce canal les bois, glaces et apports de toutes sortes. Cette réserve d'eau permet de disposer d'une puissance, en basses eaux, de 5.500 HP pendant douze heures.

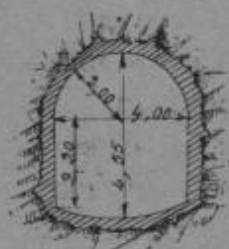


FIG. 829.

La galerie d'amenée, qui fait suite à la chambre de prise d'eau, a une section de 16 mètres carrés et une longueur de 840 mètres, avec une pente de 1/1.000, et peut débiter jusqu'à 30 mètres cubes (*fig. 829*).

Percée en souterrain dans le rocher, afin de la garantir contre des éboulements inévitables sur des parois aussi escarpées, les parois ont été revêtues d'un enduit au mortier de ciment lisse. A la tête amont de la galerie, une double vanne d'entrée permet d'en régler le débit, de mettre à sec la galerie et éventuellement la chambre de distribution, en cas de réparation. A 200 mètres de la tête aval, un déversoir régulateur long de 65 mètres, ménagé à l'intérieur du tunnel, renvoie au Drac le trop-plein du débit.

Chambre de pression. — A l'extrémité du canal est disposée la chambre d'eau, d'où partent les conduites forcées. L'ouvrage, qui a été taillé en plein dans la masse du rocher, est divisé, dans le sens de sa longueur, en deux chambres inégales par une grille reposant sur un mur d'appui. A l'extrémité aval de la plus grande de ces chambres, un canal de purge, destiné au nettoyage de la chambre de distribution et de la galerie d'amenée, a été aménagé avec vanne de réglage à son entrée. Le canal à forte pente débouche dans le canal de fuite des turbines.

De la plus étroite des deux chambres, partent sept conduites en tôle de 2^m,20 de diamètre desservant des récepteurs hydrauliques. L'admission de l'eau dans chacune de ces conduites est réglée par une vanne. Les

vannes, grilles et tuyaux, proviennent des maisons Bouvier et Joya, de Grenoble.

Le bâtiment de l'usine est divisé en trois parties principales : la salle des machines, un avant-corps où sont logés les tableaux de distribution et d'où partent les lignes électriques, une annexe dans laquelle sont situés : au rez-de-chaussée, l'atelier de réparation et le bureau du chef d'usine ; aux autres étages, les appartements du personnel de l'usine.

Les travaux d'organisation et de mise en chantier ont été particulièrement importants pour la construction d'ouvrages dans un endroit escarpé et loin de toute communication. Il a fallu créer des sentiers d'accès pour les études, des cantines et des logements pour le personnel, établir une usine hydroélectrique spéciale de 100 HP pour actionner un câble transporteur (rachetant une différence d'altitude de 300 mètres), les moteurs pour les épuisements, l'éclairage, les locomotives pour le transport des matériaux entre le pied du câble et le barrage.

TURBINES. — L'usine comporte sept groupes de 1.750 HP ; construites par la maison Piccard, Pictet et C^{ie}, de Genève, les turbines sont du type centripète, doubles, à axe horizontal, à tube d'aspiration et tournent à 250 tours. Chacune d'elles se compose de deux turbines juxtaposées dans une bêche commune où pénètre la conduite d'amenée, et l'évacuation a lieu par deux tuyaux d'aspiration séparés. Cette disposition a pour but de réduire le diamètre de la turbine et, par suite, sa vitesse angulaire. Le distributeur et la roue mobile sont tous deux divisés, par des cloisons perpendiculaires à l'axe, en cinq étages superposés, de façon qu'il n'y ait jamais qu'un étage à la fois dont le rendement soit affaibli par une oblitération partielle du vannage. On a de cette façon des turbines qui fonctionnent avec une grande vitesse de rotation et avec une bonne utilisation des débits fractionnaires. Les turbines sont munies de régulateurs servomoteurs à dé clic, système Piccard.

Vannage. — Le vannage est formé par un cylindre en fer qui glisse, sous l'action du régulateur, parallèlement à l'axe entre le distributeur et la roue mobile.

Le vannage est, par sa forme même, complètement équilibré contre la pression de l'eau et peut, par suite, manœuvrer avec un faible effort, se prêtant ainsi très bien à l'action du régulateur automatique.

ALTERNATEURS. — La partie électrique, en vue d'un transport de force à plus de 100 kilomètres, a été confiée à MM. Schneider et C^{ie} (Créusot). Les alternateurs triphasés fournissent du courant à 26.000 volts, tension composée, soit 15.000 volts par phase. Leur puissance est de 1.500 kilovolts-ampères à 250 tours, 50 périodes ; ils sont à induit fixe et inducteur mobile, sans bâti commun. Les bobines de l'inducteur, reliées en série, sont maintenues par les épanouissements polaires, au

nombre de 24, ces derniers fixés aux pôles chacun par deux forts boulons.

L'induit comprend 144 alvéoles qui reçoivent les 72 bobines formant les trois phases de l'alternateur, celles-ci pouvant être facilement groupées en triangle ou en étoile.

Chaque alternateur porte en bout d'arbre son excitatrice (dynamo hexapolaire de 500 ampères sous 100 volts).

Les transformateurs sont de 100 à 300 kilovolts-ampères, dont le primaire peut être mis en étoile ou en triangle pour recevoir 25.000 ou 14.900 volts. Le secondaire fournit, suivant le couplage, 2.200, 1.100 et 500 volts ; il est connecté en étoile. La tension de 500 volts est généralement utilisée par les moteurs en dessous de 20 HP ; celles de 1.000 et 2.000 volts, pour les moteurs de 50 HP et au delà, ainsi que pour la distribution à de petits moteurs insuffisamment groupés autour du poste et pour lesquels on consent une deuxième transformation.

EXPLOITATION. — De l'usine partent quatre lignes, dont une pour distribution à trois fils par courant continu à 2.400 volts entre les fils extrêmes et les trois autres pour le transport d'énergie à 26.000 volts. La ligne à courant continu est destinée à l'alimentation du chemin de fer de Saint-Georges à la Mure. Des trois lignes à courant triphasé, l'une dessert deux postes de transformation 26.000/500 volts pour l'exploitation des mines d'anthracite de la Mure. Les deux autres lignes se dirigent sur Grenoble, alimentant en route des postes de couplage communs aux usines de la Romanche et de Saint-Georges-de-Commiers, leur permettant de se prêter mutuellement secours, pour aboutir à la Tour-du-Pin.

Les poteaux métalliques (6, 12 et 20 fils) se composent du corps du poteau en treillis et d'un cadre supportant les isolateurs (fig. 830). Verticalement sur le plan de séparation des deux côtés du poteau, et de chaque côté, se trouve un filet en forme de trapèze permettant de travailler sur l'un des côtés des poteaux sans enlever le courant de l'autre côté.

L'installation comporte de nombreux pylônes, dont quelques-uns avec des portées de 150 à 160 mètres (traversées du Drac et de l'Isère), ainsi que des passerelles pour la traversée du chemin de fer de Paris-Lyon.

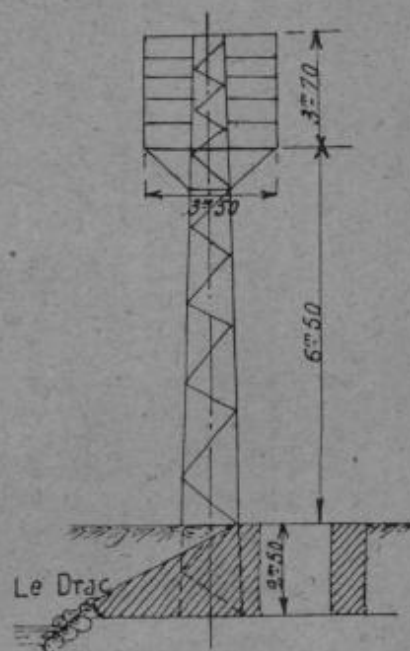


FIG. 830.

Méditerranée. L'étendue du réseau primaire de la Société grenobloise de Force et Lumière, à laquelle appartient l'usine d'Avignonet, dépasse 200 kilomètres, et le développement des lignes à trois fils est supérieur à 20 kilomètres.

Pour les postes de transformation, l'interrupteur à cornes est placé sur poteaux à l'extérieur avec les parafoudres à cornes et à résistance liquide, disposition permettant le réglage des parafoudres sans couper le courant sur la dérivation.

L'usine d'Avignonet appartient à la Société Générale de Force et Lumière.

325. Usine de la Brillanne (Basses-Alpes) (chute, 23^m,50). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Prise d'eau. — Cette usine fait partie du grand réseau de la Société l'Énergie électrique du Littoral



FIG. 831. — Plan de situation des ouvrages hydrauliques.

méditerranéen. Elle est construite sur la rive gauche de la Durance, notablement en amont du confluent du Largue et de la Durance et un peu en amont de la gare de Volx. Avec un débit de 45 à 55 mètres cubes, sous une hauteur de chute de 23^m,50, elle fournit une puissance minimum d'environ 12.000 HP, qui est transmise sous courants triphasés à 50.000 volts à deux postes de transformation installés : l'un à Allauch, dans le voisinage de Marseille, l'autre dans une usine de secours à vapeur érigée à Arles.

A l'endroit où est établie la prise d'eau, les débits aux étiages, à la fin de l'été et au milieu de l'hiver, sont à peu près égaux : 60 mètres cubes environ avec minimum assez rares de 40 à 45 mètres cubes.

Les ouvrages hydrauliques ont été terminés en 1907 ; ils occupent une surface considérable sur le territoire de la Brillanne et de Villeneuve (fig. 831). La dérivation atteint une longueur de 9 kilomètres depuis l'avant-prise jusqu'au débouché du canal de fuite (fig. 832).

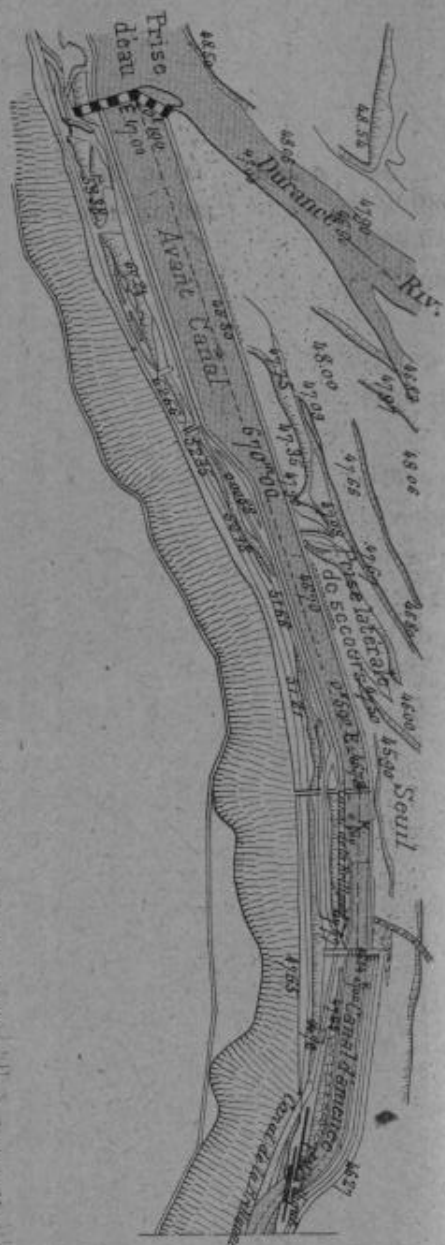


FIG. 832. — Usine de la Brillanne. Prise d'eau et canal d'amènée.

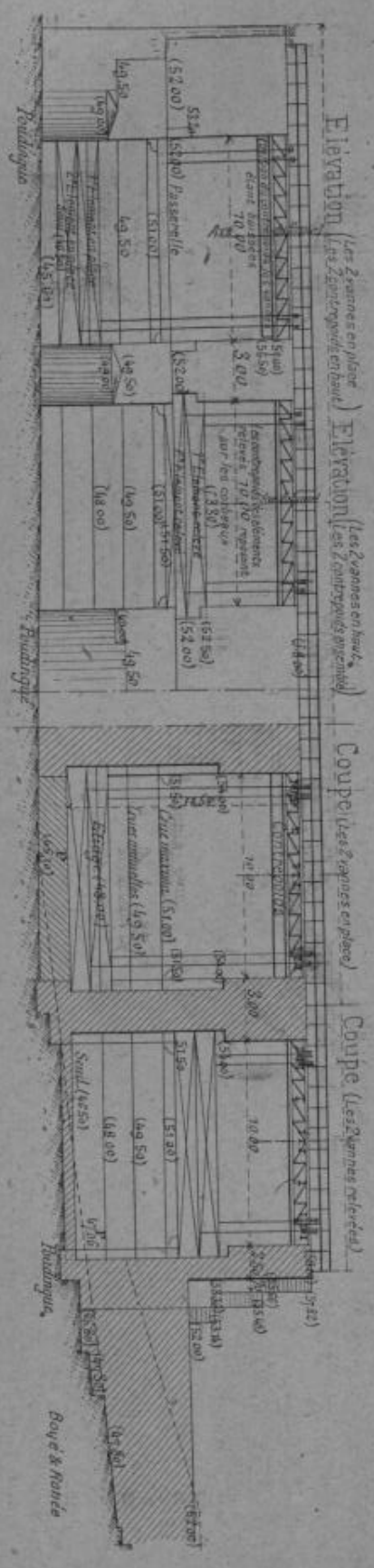
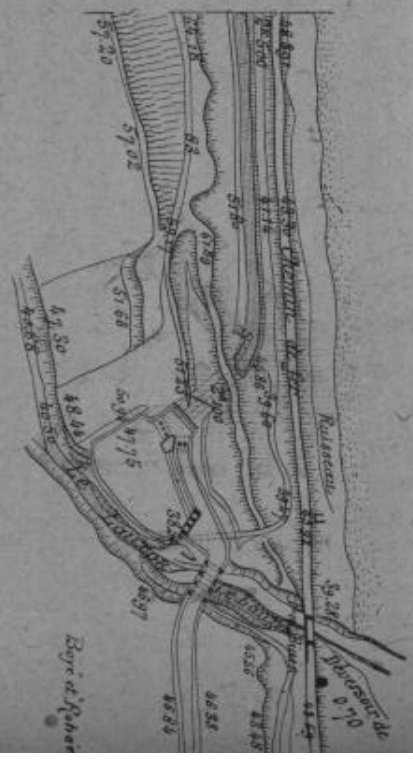


FIG. 833. — Usine de la Brillanne. Elevation générale des vannes de la prise d'eau.

La prise d'eau établie à 160 mètres environ du pont d'Oraison, au pied

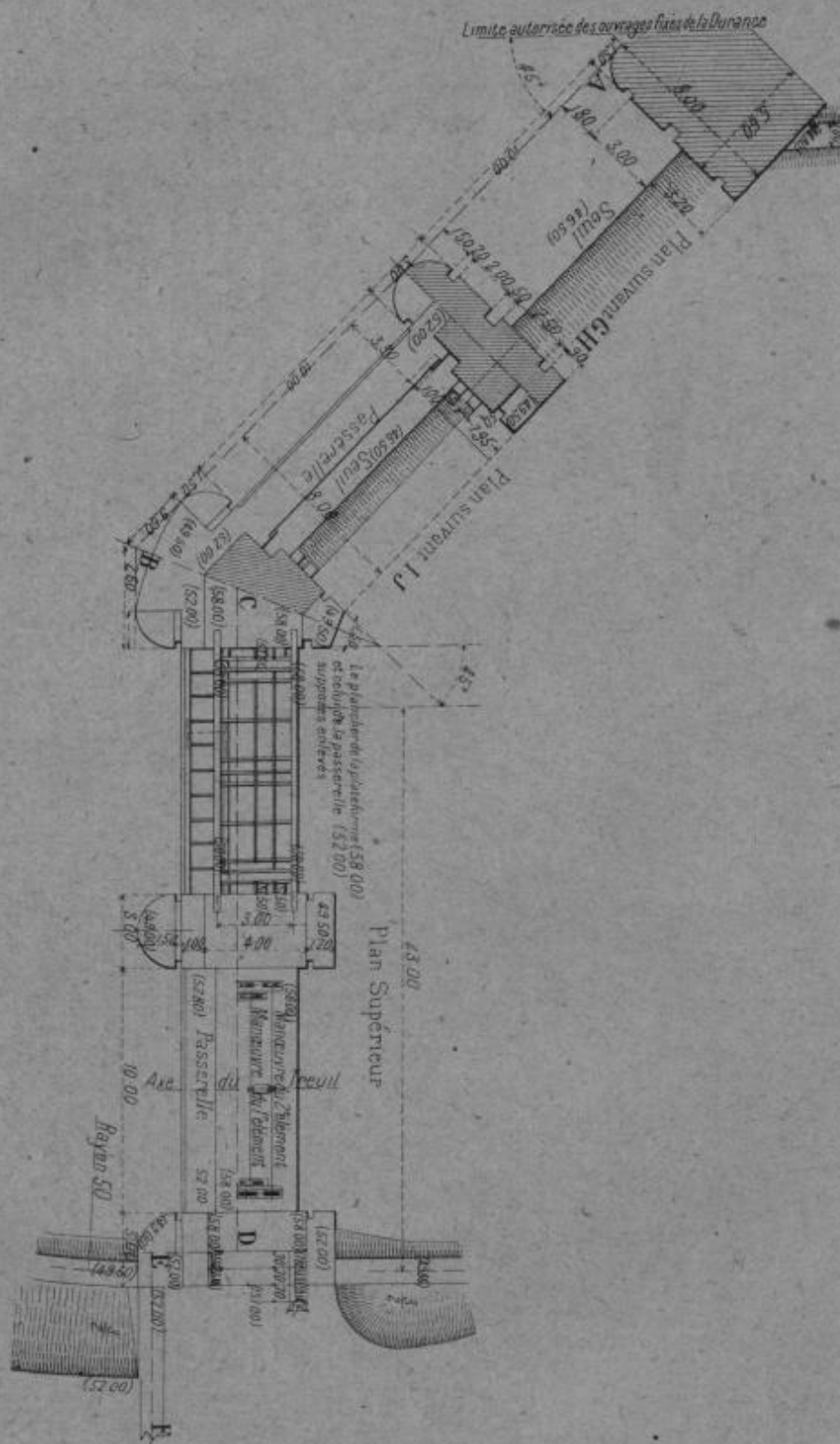


FIG. 831. — Usine de la Brillanne. Élévation générale des vannes de la prise d'eau.

d'une falaise rocheuse, ne comporte aucun ouvrage permanent en travers du lit de la rivière. Elle est constituée par un barrage partiel formant

un V très ouvert percé de quatre pertuis de 10 mètres de largeur dont deux perpendiculaires à la rivière et deux obliques aux précédents (fig. 833 et 834). Les seuils sont arasés à 1^m,50 au-dessous de l'étiage et sensiblement à la cote du fond actuel de la rivière. Le niveau de l'eau, dans l'avant-canal faisant suite aux pertuis en aval de la prise, laisse dis-

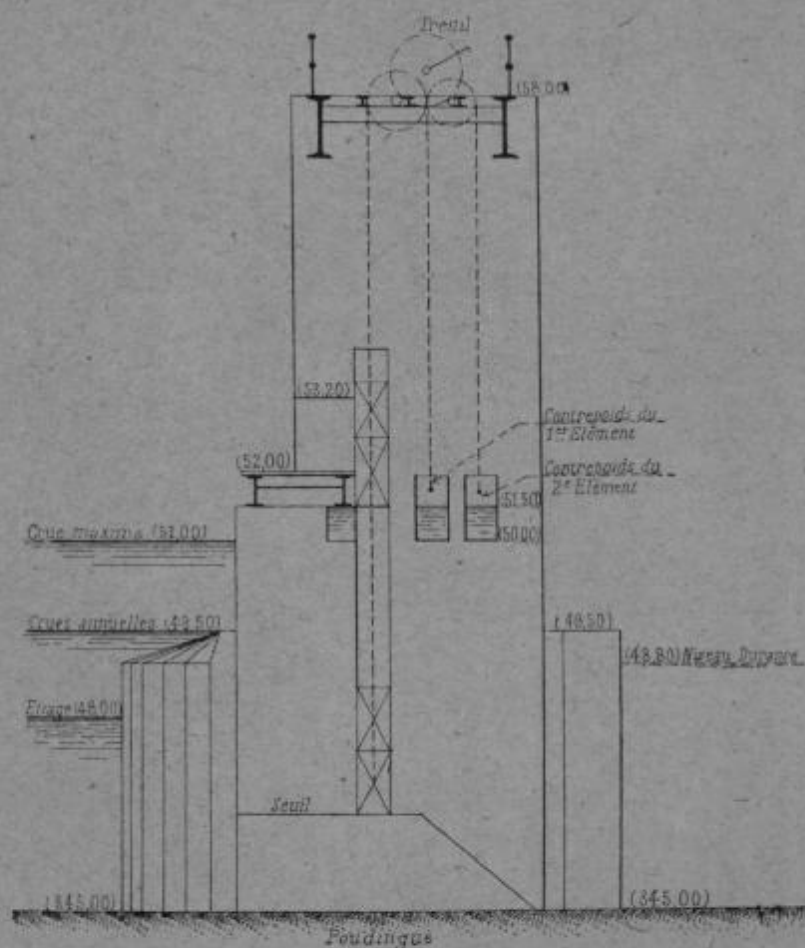


FIG. 835. — Usine de la Brillanne. Mécanisme des vannes.

ponible, à l'étiage, une chute d'environ 1 mètre destinée à déterminer l'appel des eaux et à donner un débit de 60 mètres cubes.

Les seuils des pertuis de la prise peuvent être surélevés au moyen de vannes garde-gravier formées chacune de deux éléments de 1 mètre de hauteur, qu'on abaisse successivement au moment des crues (fig. 835).

L'avant-canal a environ 670 mètres de longueur. Il est limité du côté de la berge par un mur de soutènement, et du côté de la rivière, par un mur submersible en temps de crues et dans lequel on a réservé deux prises latérales normalement formées par des barrages à poutrelles sur les premiers 250 mètres. Sa largeur est de 43 mètres. Dans cette partie il forme une vaste chambre à graviers.

L'ouvrage de garde et de réglage se compose de quatre pertuis voutés de 3 mètres de largeur ; leur fermeture est assurée par de puissantes vannes métalliques manœuvrables du haut d'une plate-forme arasée à 1^m,30 au-dessus de la plus haute crue. Deux ponts roulants munis de deux dragues, de 22 mètres de longueur, prenant appui, d'une part, sur l'un des murs latéraux, d'autre part, sur une digue construite suivant l'axe du canal, permettent d'enlever les graviers ; ponts roulants et dragues sont actionnés par des moteurs triphasés. Au delà de la chambre à graviers, la largeur de l'avant-canal diminue, sans toutefois descendre au-dessous de 20 mètres, jusqu'à un déversoir régulateur déchargeant à la Durance l'excédent des eaux captées. En face de ce déversoir se trouve l'origine d'un ancien canal d'irrigation des eaux dit canal de la Brillanne⁽¹⁾.

Canal d'amenée. — Cet ouvrage a une longueur de 6.600 mètres, depuis l'appareil de garde jusqu'à la chambre de mise en charge ; il est établi avec un tirant d'eau normal de 3 mètres et une pente uniforme de 0^m,35 par kilomètre. Avec la capacité de débit prévue, y compris les eaux pour irrigation (64 mètres cubes), la vitesse en régime normal est de 2 mètres par seconde. La largeur du canal à demi-hauteur de la section mouillée est de 10^m,50 dans la partie-amont du torrent le Lauzon et de 10 mètres dans la section aval.

Sur les 200 premiers mètres, le canal est situé dans le lit majeur de la Durance et protégé par une digue insubmersible ; il passe ensuite sous la ligne du chemin de fer par un pont biais en maçonnerie à deux travées ; puis, abrité contre les crues de la Durance par la chaussée de la voie ferrée il se développe sur 1.300 mètres de longueur au pied de la falaise rocheuse en poudingue, qu'il traverse ensuite au moyen de deux tunnels accolés ayant chacun 5 mètres d'ouverture et 53 mètres de longueur, pour déboucher dans un réservoir, dit réservoir de Lauzon. Un peu avant cet ouvrage, le canal d'irrigation dont nous avons parlé plus haut et dont le canal d'amenée a pris la place, se détache sur la droite dérivant un débit de 4 mètres cubes sur le débit normal de 64 mètres cubes du canal d'amenée.

Celui-ci, à sa sortie du réservoir dont il va être parlé ci-après, traverse

(1) L'on s'est malheureusement vite rendu compte que les dragues ne justifiaient qu'en partie les services qu'on attendait d'elles. Impropres à l'élimination des sables, ceux-ci, entraînés dans l'avant-canal, se déposent un peu partout, réduisant ainsi la section d'écoulement des eaux, déjà faible pour le volume d'eau à débiter.

D'autre part, la prise d'eau étant établie à 0^m,50 en contrebas du lit de la Durance, les graviers se rendent aisément dans l'avant-canal, qui ne se trouve pas défendu contre cet envahissement.

On eût pu remédier à ce fâcheux inconvénient en établissant une grille en lames de persiennes, orientée dans le sens du courant, servant à arrêter les graviers, puis le dragage aurait eu lieu en avant de la grille. Enfin des vannes de décharge, installées sur le parcours du canal, dans des renflements aménagés pour faciliter les dépôts, auraient permis de se débarrasser de ces derniers presque complètement.

le Lauzon au moyen d'un ouvrage en ciment armé, de cinq travées de 7 mètres de portée chacune, puis continue à flanc de coteau pour se terminer à la chambre de mise en charge.

Chambre de décantation ou réservoir de Lauzon. — Cet ouvrage, dont la capacité est de 40.000 mètres cubes et la surface de 12.000 mètres carrés, a été créé au moyen de déblais sur la rive gauche du Lauzon ; il est situé à 4.400 mètres de l'ouvrage de garde. Un barrage de 220 mètres de longueur, entièrement fondé et encastré aux deux bouts dans le poudingue, forme le bassin du ravin en constituant, par sa crête submersible, un grand déversoir régulateur. Des vannes de fond, convenablement aménagées, permettent de rejeter dans le Lauzon et de là dans la Durance les dépôts solides qui pourraient être amenés jusque-là.

Des dispositions spéciales rendent possible, à volonté, soit le passage des eaux dans le réservoir, soit la mise en dérivation.

Chambre de mise en charge. — Elle présente une surface d'environ 6.000 mètres carrés (fig. 836 et 837). Une grille, de 200 mètres carrés de surface utile, la divise en deux parties et une cloison en ciment armé empêche la rentrée d'air dans les conduites de pression, qui pourrait provenir des remous à la prise d'eau. La partie amont de la chambre formant épanouissement du canal d'amenée, comporte un déversoir de 100 mètres de longueur et trois vannes de fond, pour permettre la vidange des vases et notamment le nettoyage du pied de la grille. Les eaux tombant du déversoir ou sortant des vannes de fond sont évacuées par un aqueduc à grande pente entièrement revêtu de maçonnerie, qui débouche dans la chambre de fuite de l'usine.

Conduites forcées. — Cinq conduites, qui ont un diamètre de 2^m,70, desservent les turbines principales et une conduite de 1^m,20 amène l'eau aux turbines actionnant les groupes excitateurs et les machines auxiliaires ; chaque conduite a une longueur de 90 mètres.

Elles sont en tôle d'acier avec carapace en ciment armé et ont une épaisseur variant de 6 à 8 millimètres.

Canal de fuite. — Les eaux, à leur sortie des turbines, arrivent dans une vaste chambre creusée en déblai, puis entrent dans deux tunnels de 50 mètres de longueur chacun et se déversent dans le canal de fuite, dont le débouché en Durance est protégé par deux digues latérales insubmersibles et défendu contre les crues par des blocs artificiels et des revêtements maçonnés. Le canal de fuite a une section trapézoïdale, avec 9^m,50 de largeur au plafond et 2^m,50 de tirant d'eau normal. La pente de 0^m,50 par kilomètre y détermine une vitesse de 2 mètres à la seconde. Il s'étend sur une longueur de 1.025 mètres, de l'usine à la berge de la Durance, puis est prolongé, jusqu'au bas principal de la rivière, au moyen d'un chenal de 300 mètres, dragué dans les graviers du lit majeur.

Tous les travaux hydrauliques de cette magnifique installation ainsi

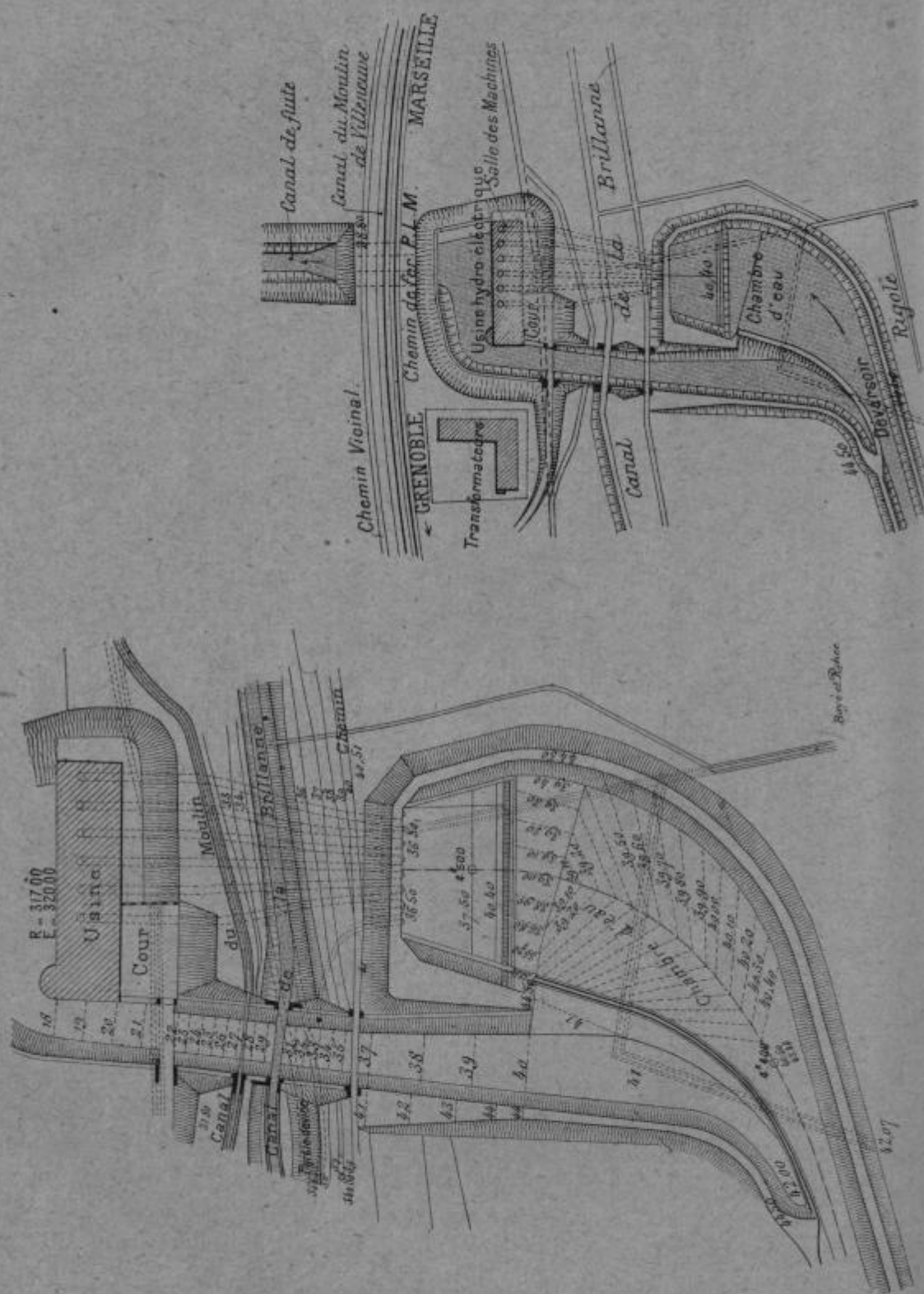


Fig. 836. — Chambre d'eau.

Fig. 837. — Chambre d'eau.

que les bâtiments de l'usine ont été étudiés et édifiés par la Société des grands travaux de Marseille.

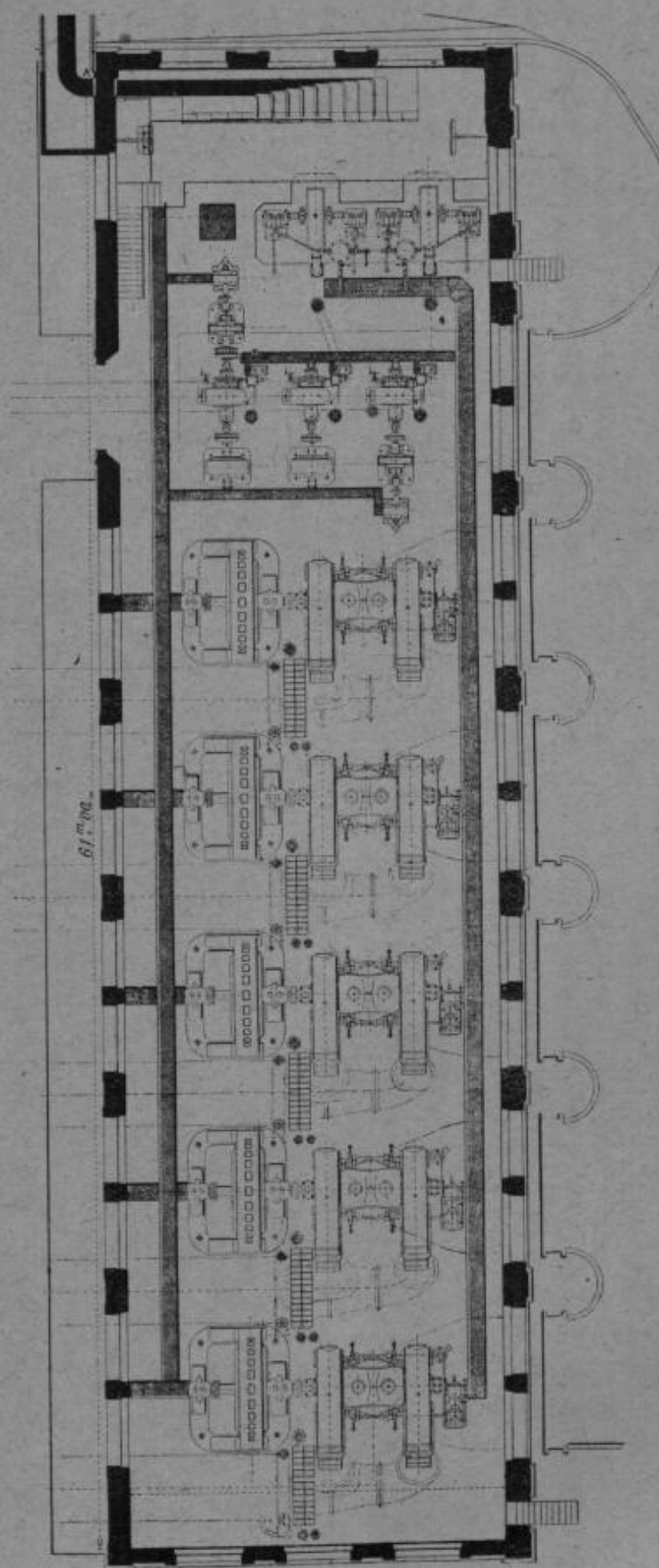


FIG. 838. — Usine de la Brillanne. Plan du bâtiment principal des machines génératrices.

par pôle et par phase, 3 ; bobines par phase, 9 ; spires par bobine, 8 ; conducteurs par encoche, 8 ; dimensions des encoches, $36,5 \times 70$; section du conducteur, câble, net, 77 millimètres carrés ; densité de courant par millimètre carré pour la pleine charge, $\cos \varphi = 1$ 2,71, $\cos \varphi = 0,9$ 3,00 ; résistance ohmique à 20°C . par phase, $0\omega,203$; diamètre intérieur de l'induit, 3 mètres ; vitesse périphérique, 39 mètres par minute ; longueur effective du noyau 500 millimètres ; entrefer minimum, 8 millimètres ; rapport de l'arc polaire au pas 0,70. Inducteurs : nombre de bobines, 12 ; spires par bobine, 95 ; section du conducteur, 90 millimètres carrés ; bobinage en série ; résistance totale à 20°C . du circuit inducteur $0\omega,4704$. Excitation : ampères à plein voltage à vide, 125 ; plein voltage, pleine charge, $\cos \varphi = 1$ 140 ; plein voltage, pleine charge, $\cos \varphi = 0,8$ 180.

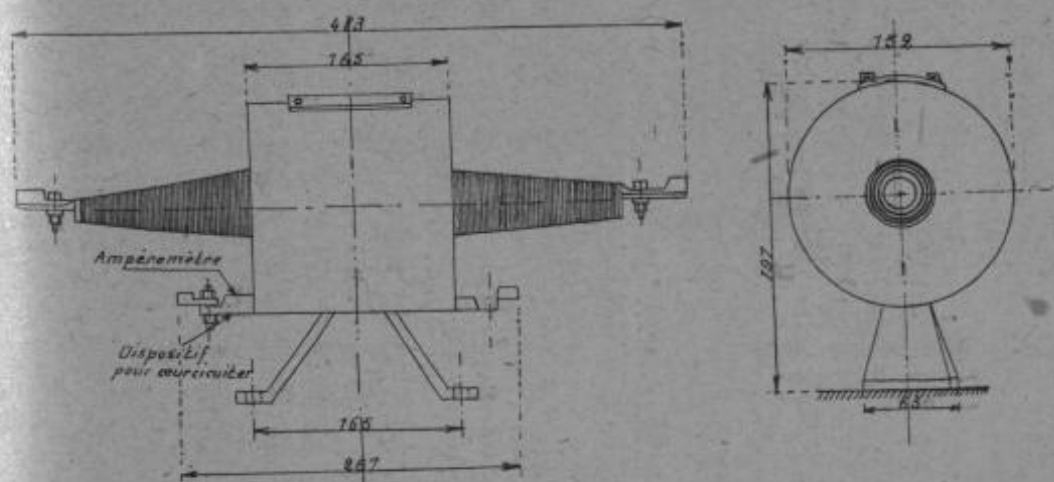


FIG. 840. — Usine de la Brillanne. Transformateur de courant. Type à air 11.000 volts.

Régulation à pleine charge non inductive : 10 0/0. Rapport du courant de court-circuit au courant de pleine charge pour l'excitation correspondant au plein voltage sous la pleine charge non inductive, 2,5 à 2,75. Rendements : 25 0/0 de surcharge, $\cos \varphi = 1$ 95,3 ; $\cos \varphi = 0,9$ 94,5 ; pleine charge, $\cos \varphi = 1$ 95 ; $\cos \varphi = 0,9$ 94,3 ; demi-charge, $\cos \varphi = 1$ 92 ; $\cos \varphi = 0,9$ 91,5.

Deux autres alternateurs de 250 kilovolts-ampères commandés par deux des turbines auxiliaires fournissent le courant pour l'éclairage des villages proches de l'usine ; ils débitent du courant triphasé à la tension de 13.500 volts, 25 périodes.

Les services accessoires de l'usine sont assurés par deux dynamos dont une de réserve, placées en bout d'arbre des excitatrices. Elles ont une puissance individuelle de 50 kilowatts et fournissent une tension variable entre 100 et 150 volts.

Transformateurs. — Le courant à 7.500 volts des gros alternateurs est recueilli dans une série de rails omnibus et dans des transformateurs monophasés, au nombre de quinze, formant cinq groupes de trois appareils ; reliés en triangle au primaire et au secondaire, ils élèvent la tension à 30.000 volts, et reliés en triangle au primaire et en étoile au secondaire, ils amènent la tension à 52.000 volts entre phases ;

Les transformateurs sont du type à bain d'huile et refroidissement par circulation d'eau ; ils possèdent une puissance unitaire de 900 kilowatts et sont branchés sur l'une ou l'autre barre omnibus à 50.000 volts alimentant les lignes de départ vers Arles et Marseille.

Le poids de chacun des appareils est de 9.775 kilogrammes pour l'huile. La quantité d'eau pour le refroidissement est d'environ 25 litres par minute. Les rendements garantis sont les suivants : pleine charge, 97,9 ; 3/4 de charge, 97,7 ; demi-charge, 97,2, et 1/4 de charge, 95,2. On a fait subir aux transformateurs les essais de rupture des isolants suivants :

10.400 volts pendant une minute entre primaire et secondaire ; 15.000 volts pendant une minute entre secondaire et masse.

Usine génératrice. — De l'usine de la Brillanne partent trois lignes à haute tension dont l'une se dirige sur Marseille pour aboutir au poste de sectionnement établi à Allauch et les deux autres alimentent le poste de sectionnement d'Arles. La longueur de la ligne alimentant Marseille a 100 kilomètres et la tension y est de 50.000 volts. Indépendamment des lignes ci-dessus, l'usine de la Brillanne possède trois prises d'arrivée à 50.000 volts, deux destinées à la relier à l'usine hydroélectrique de Ventayon (20.000 HP), sur la Durance, à 60 kilomètres en amont de la Brillanne et la troisième à la mettre en rapport avec l'usine hydroélectrique du Verdon (15.000 HP), installée à proximité d'Aiguines, dans le Var. Ces dernières usines sont destinées à suralimenter les lignes d'Arles et de Marseille. On voit ainsi que, par l'association d'usines diverses, situées à des distances considérables, on arrive à concentrer en un seul point près de 50.000 chevaux hydrauliques. L'usine de la Brillanne comporte un bâtiment principal de 61 mètres de longueur et 15^m,50 de largeur (fig. 838 et 842). Un autre bâtiment, avec aile en retour, renferme le poste des

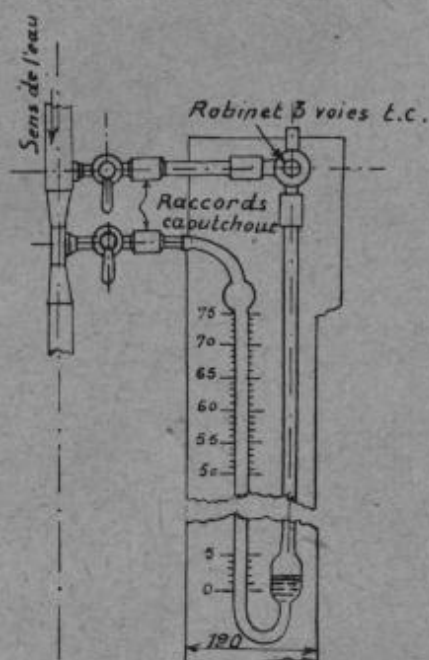


FIG. 841. — Usine de la Brillanne. Tube indicateur du débit pour la canalisation de refroidissement des transformateurs.

transformateurs éleveurs de tension et les tableaux des départs des lignes à haute tension.

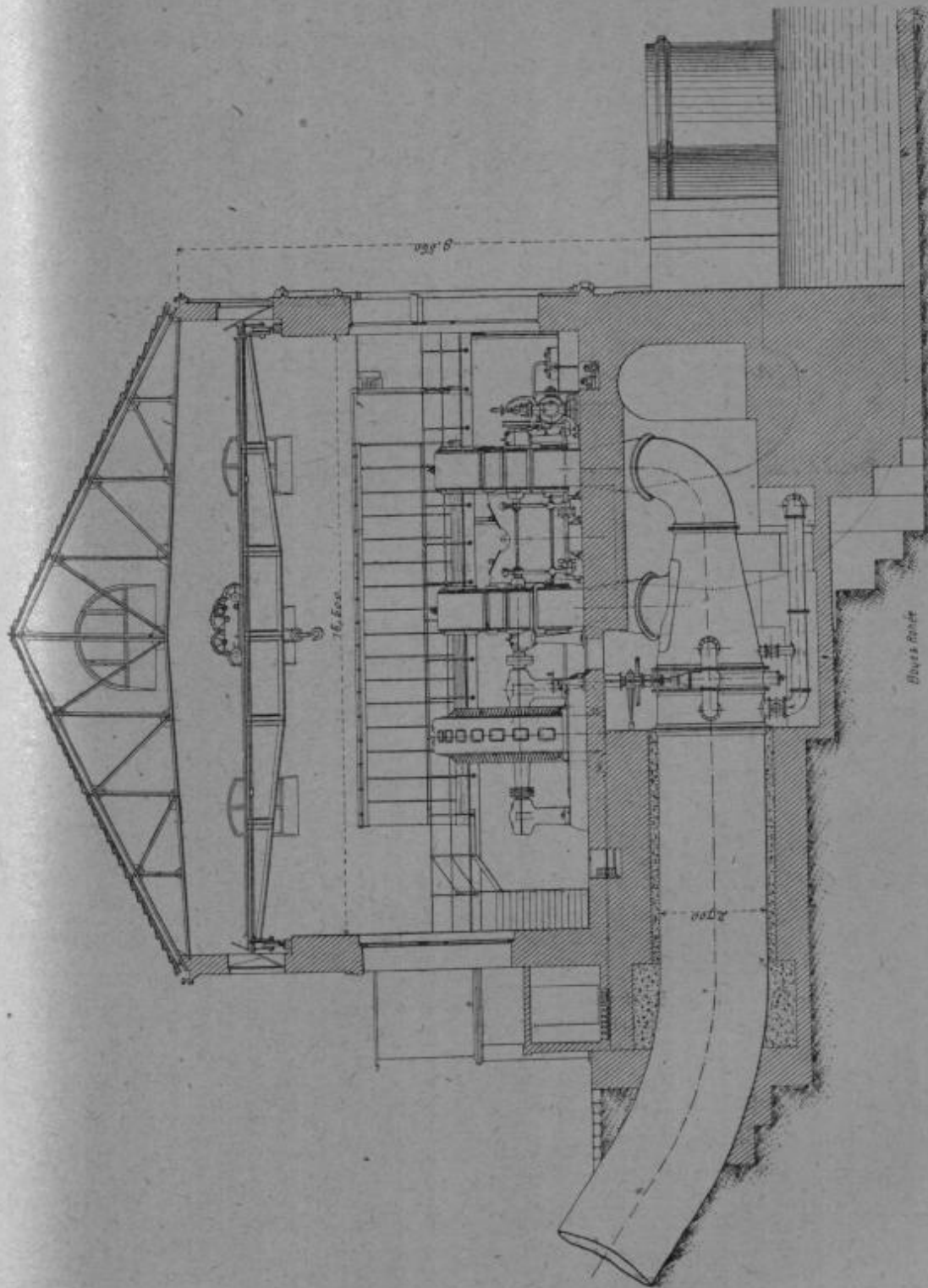


FIG. 842. — Usine de la Brillanne. Coupe transversale de l'usine centrale.

Au moyen de câbles passant dans une galerie reliant la salle des groupes électrogènes au bâtiment des transformateurs, chaque alternateur envoie

du courant triphasé à 7.500 volts soit directement au groupe de transformateurs qui lui correspond, soit à deux séries de trois barres omnibus à 50.000 volts munies d'interrupteurs et permettant d'alimenter l'un quelconque des groupes de transformation par n'importe quel transformateur (fig. 843). Les barres omnibus sont en fil de cuivre nu de 10 millimètres de

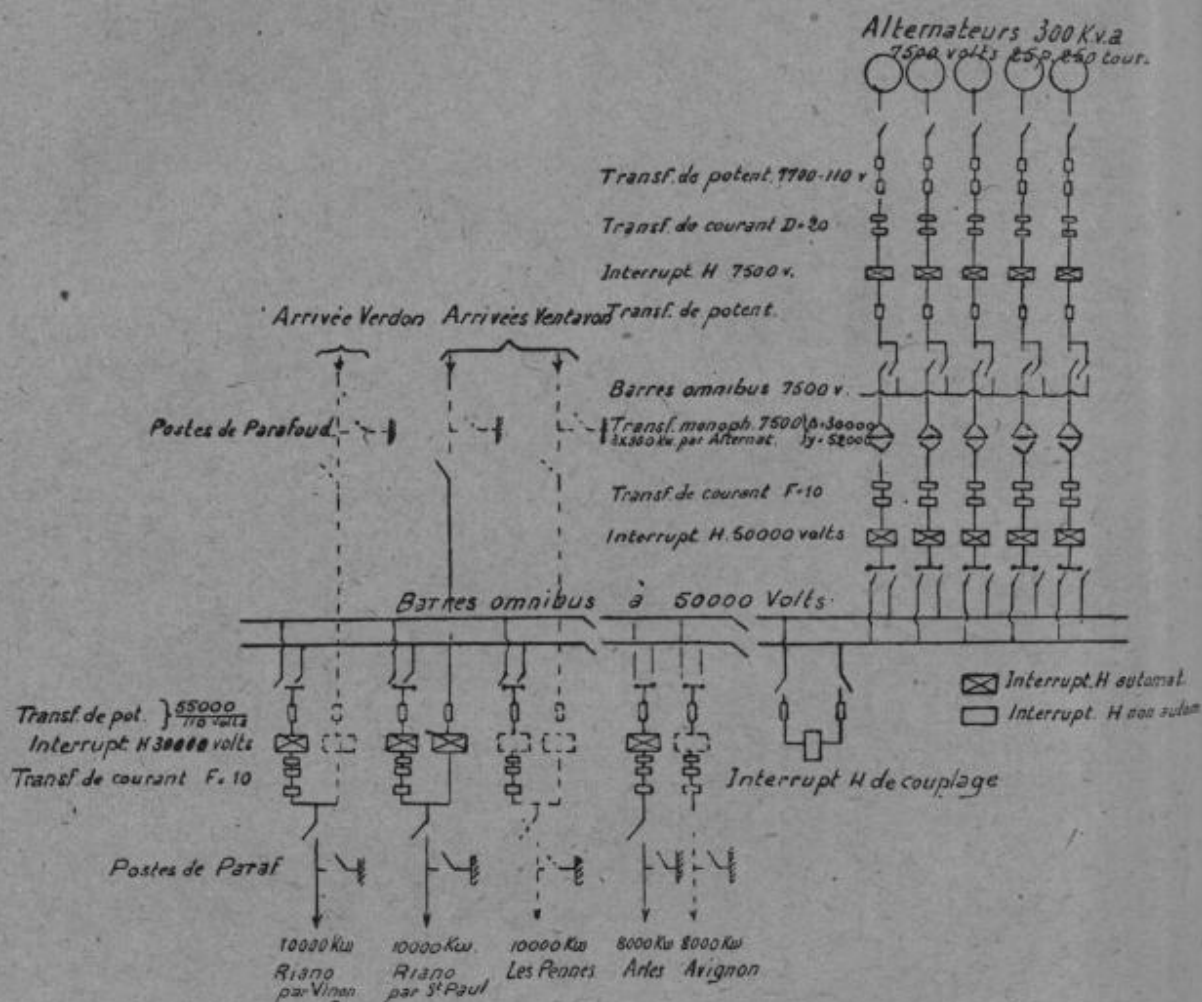


FIG. 843. — Usine de la Brillanne. — Schéma général de la distribution (les trois fils de l'installation triphasée sont représentés par un seul trait).

diamètre et reposent horizontalement sur des isolateurs en porcelaine à triple cloche. Chacune de ces barres est séparée de sa voisine par une longue dalle en ciment sur laquelle sont fixés les isolateurs.

Elles sont installées au rez-de-chaussée des deux corps du bâtiment du poste des transformateurs. Les interrupteurs qui permettent de les connecter, soit aux transformateurs, soit aux lignes de départ, soit enfin aux lignes d'arrivée des usines du Verdon et de Ventavon, sont à l'étage supérieur. La rupture double et sur chaque conducteur se produit à l'intérieur de cylindres pleins d'huile, sous l'action de ressorts qui sont ensuite armés

par des moteurs électriques spéciaux. Tous les mouvements des interrupteurs dans leurs diverses positions sont contrôlés au tableau de distribution à l'aide de signaux lumineux.

Les interrupteurs tripolaires employés pour la haute tension sont à relais à action différée et commandés à distance. Ils sont à double mouvement continu au moyen d'engrenages et d'un système de leviers articulés, transformant le mouvement de rotation du moteur en un mouvement rectiligne transmis aux tiges métalliques qui établissent ou rompent le circuit triphasé à haute tension ; des ressorts puissants assurent d'ailleurs l'ouverture brusque de l'appareil en évitant tout amorçage d'arc et permettent ainsi de couper facilement à pleine charge une ligne transmettant 10.000 kilowatts pour 50.000 volts. Le moteur électrique est mis en mouvement par simple fermeture d'un commutateur à double direction placé sur le tableau général de distribution. Des lampes de couleur indiquent à chaque instant si l'interrupteur est ouvert ou fermé ; enfin les relais, réglables à volonté, font déclancher les interrupteurs lorsque le courant qui les traverse devient dangereux. Une batterie de 300 ampères-heures sert à l'alimentation des circuits de relais ainsi que des moteurs servant à la commande des interrupteurs et ceux actionnant les régulateurs des turbines.

Des parafoudres Wirth de 20 éléments chacun sont réunis aux lignes au moyen d'interrupteurs à couteau à deux lames.

Le tableau de distribution placé au fond de la salle des machines comporte les panneaux respectivement affectés aux alternateurs, aux excitatrices, aux services accessoires de l'usine et à la commande des interrupteurs. Un tableau spécial est affecté aux alternateurs de 250 kilovolts-ampères ; il comprend deux panneaux d'alternateurs et un panneau pour les départs des lignes à 13.500 volts.

Sur la passerelle du tableau est installé un régulateur automatique Thury double de la tension au départ des feeders alimentant les postes d'Allauch et d'Arles, d'après la puissance demandée dans chacun des postes de transformation. Cet appareil produit le réglage indépendant et simultané de la tension sur chacune des séries de barres omnibus à 50.000 volts, en agissant automatiquement sur un rhéostat en série sur le circuit d'excitation de l'alternateur ou des alternateurs connectés à chaque série des dites barres.

Lignes de transport d'énergie (50.000 volts). — Les conducteurs sont montés sur pylônes métalliques de 10 à 12 mètres de hauteur et espacés de 75 mètres. Pour leur implantation on a, autant que possible, évité les tracés autres que ceux en ligne droite, les abords des routes, les traversées des grands bois.

Les connexions au tableau des transformateurs sont divisées en trois

Les lignes à 50.000 volts sont constituées par trois câbles de 63 millimètres carrés de section, en cuivre avec âmes de jute ; celles à 13.500 volts, par trois fils de 5 à 6 millimètres de diamètre. Les conducteurs à 50.000 volts sont placés l'un au sommet du pylône, les deux autres sur une traverse formant un triangle de 1^m,75 de côté. Les conducteurs à 13.500 volts sont disposés au-dessous.

Les isolateurs à 50.000 volts sont en porcelaine, à trois cloches distinctes assemblées au ciment (*fig. 845*) ; ils ont 0^m,30 de largeur et de hauteur et pèsent 8 kilogrammes sans leur support. Leur essai d'isolement a été fait à 120.000 volts.

326. Usine de Queille ⁽¹⁾ (**Puy-de-Dôme**) (*chute, 25 mètres*). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — La Sioule, affluent de l'Allier, sur laquelle est prise la dérivation qui alimente l'usine de Queille (*fig. 846*), prend sa source sur le versant nord-est des monts Dore. Son bassin comprend les nombreux ruisseaux de tout ce versant ainsi que du versant ouest des monts Dômes. Cette rivière possède un régime d'eau assez favorable, car la fonte des neiges, qui ne se fait que très tard, assure une durée convenable à la période d'étiage. Cependant elle est sujette à des crues fréquentes qui portent son débit à plus de 42.000 litres, alors que les basses eaux ne fournissent que 4.500 litres en été. Cette remarquable installation a été étudiée par la Compagnie Westinghouse, qui a construit les machines électriques ainsi que les turbines.

Barrage. — Il a été construit pour une hauteur de chute de 25 mètres en hautes eaux ; deux déversoirs, un sur chaque rive, permettent l'écoulement du surplus des eaux (*fig. 847*). Cet ouvrage, qui est en maçonnerie, a une hauteur de 32 mètres, 60 mètres de longueur, et développe 120 mètres à la crête. Le cintre qu'il forme a un rayon de 300 mètres, et l'épaisseur à la base mesure 28 mètres. Dans la confection du béton, on a employé la chaux du Teil et exceptionnellement du ciment.

Pour l'édification du barrage, on a percé dans la montagne une galerie de dérivation d'environ 80 mètres, ayant une section suffisante pour le débit de la rivière en temps de crue, et l'on a mis complètement le chantier à sec à l'aide de deux rangées de caissons à air comprimé placées l'une en amont, l'autre en aval du barrage, et distantes entre elles de 52 mètres.

La retenue d'eau forme un lac de 7 kilomètres et demi de longueur avec une largeur moyenne de 150 mètres. La Compagnie du gaz de Clermont-Ferrand, propriétaire de l'usine, a fait procéder à l'étude de deux retenues supplémentaires de 10 millions de mètres cubes d'eau en amont de l'usine,

(1) On la désigne aussi sous l'appellation de : « Usine de la Sioule ».

l'une sur la Sioule (37 mètres de hauteur) actuellement en marche et d'une puissance égale à celle de la Sioule et l'autre sur un de ses affluents.

TURBINES. — L'eau est amenée du barrage à chaque turbine par une

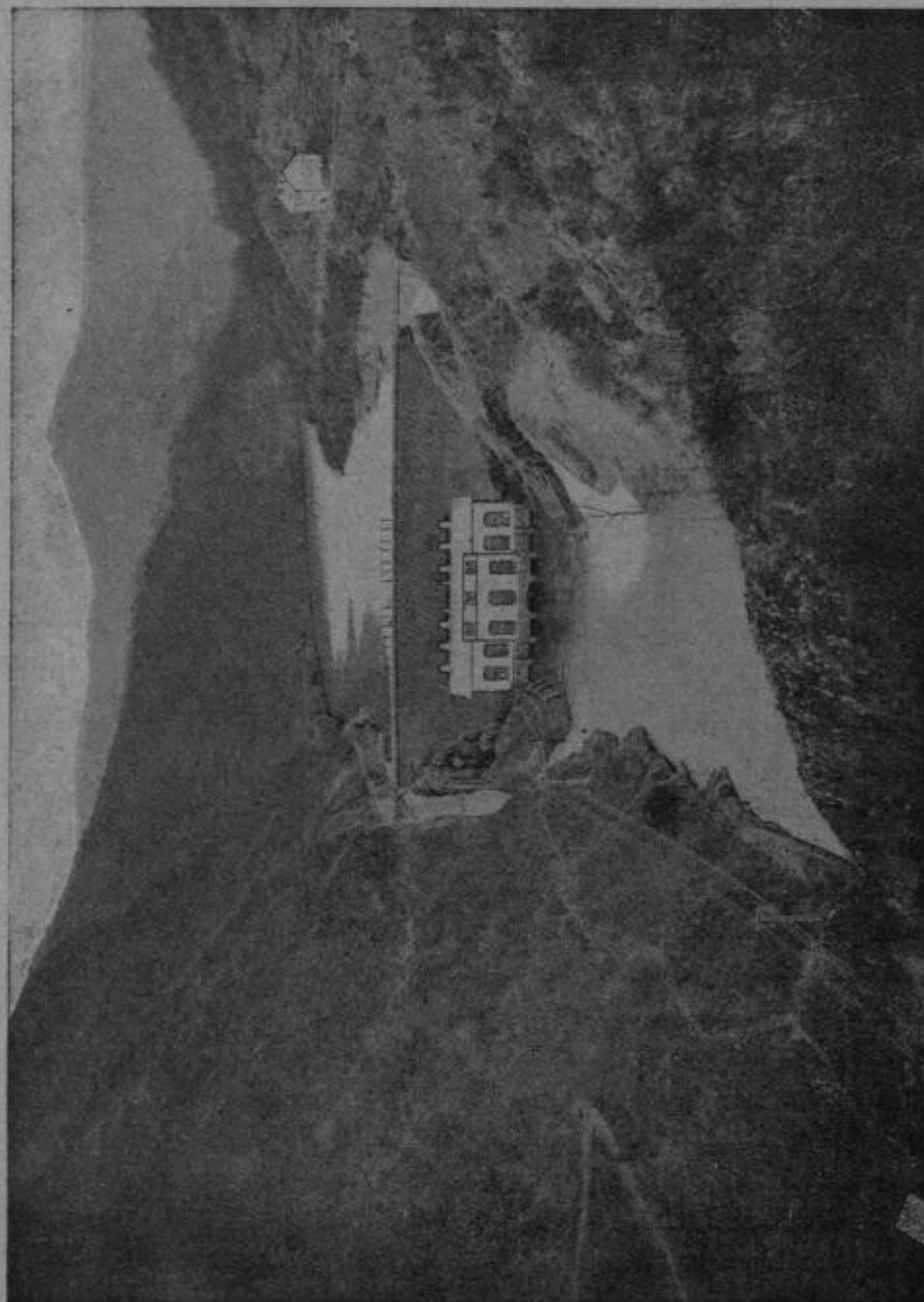


FIG. 846. — Usine de la Sioule. Vue de l'usine génératrice et de la vallée.

conduite métallique indépendante, de 1^m,60 de diamètre intérieur. Une grille verticale double, placée devant chaque prise, permet d'arrêter les corps étrangers. De plus, chaque turbine est munie de deux vannes à papillon. Les grilles sont soulevées au moyen d'un treuil roulant.

Les turbines, du système Francis, doubles, à axe horizontal, sont placées dans des bâches de tôle en spirale. Le distributeur consiste en aubes pivotantes dont le réglage a lieu par leviers et tiges actionnés par un servomoteur.

L'installation comporte six unités de 1.200 HP tournant à 333 tours avec un rendement à pleine charge de 76 0/0, et 75 0/0 à demi-charge. La variation du nombre de tours de pleine charge, à vide, est de 2 0/0 au maximum et pour 100 0/0 de charge, 7 0/0.

Les turbines commandant les excitatrices sont identiques à celles des

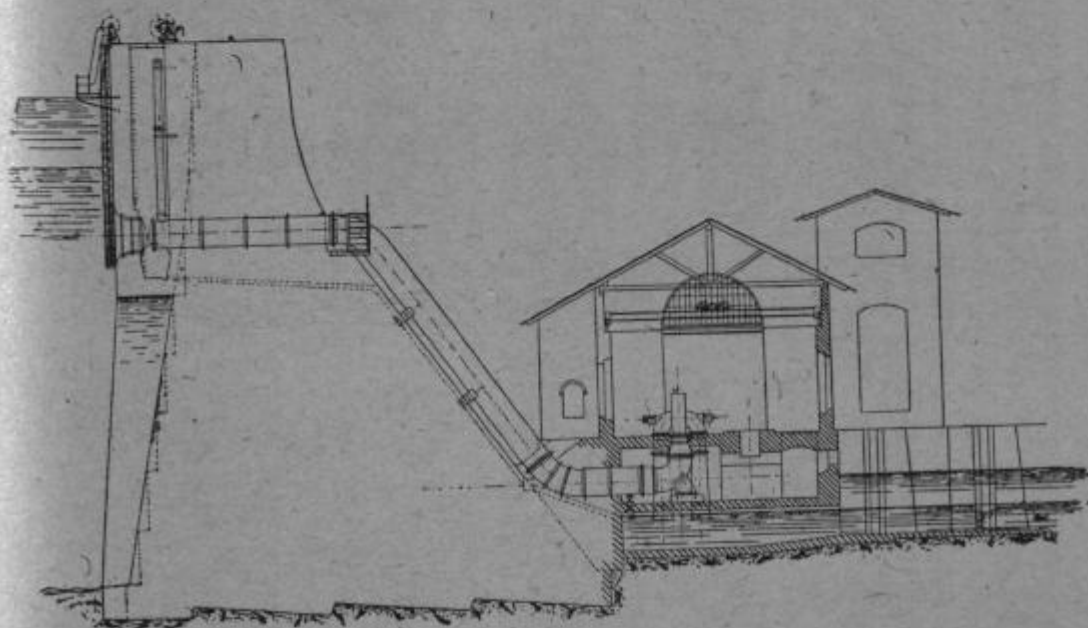


FIG. 847. — Usine de la Sioule. Barrage.

groupes triphasés, avec cette seule différence qu'elles sont simples et fonctionnent dans des bâches en fonte. Chacune d'elles développe une puissance de 76 HP sous une hauteur de chute de 21 à 25 mètres ; leur vitesse angulaire est de 900 tours à la minute.

ALTERNATEURS. — Ce sont des alternateurs triphasés Westinghouse à inducteur mobile accouplés directement aux turbines au moyen de manchons Zedel ; tension, 1.000 volts ; puissance, 1.000 kilowatts ; fréquence, 50 périodes, 18 pôles. L'induit est à cannelures semi-fermées ; les inducteurs, formant le système tournant, sont munis d'amortisseurs Leblanc, à l'effet d'assurer la marche en parallèle ; les noyaux de l'induit et des pièces polaires sont en tôles recuites. Ces machines ont un rendement de 94 0/0 à pleine charge, 92,5 à 3/4 de charge et 90 à 1/4 de charge. Le courant d'excitation est produit par trois excitatrices commandées chacune par une turbine. La mise en parallèle s'effectue par des synchroniseurs Westinghouse.

TRANSFORMATEURS. — La puissance de ces appareils (type monophasé) est de 375 kilovolts-ampères chacun. Leurs rendements garantis sont 0,977 à pleine charge et 0,971 à demi-charge. Les enroulements primaire

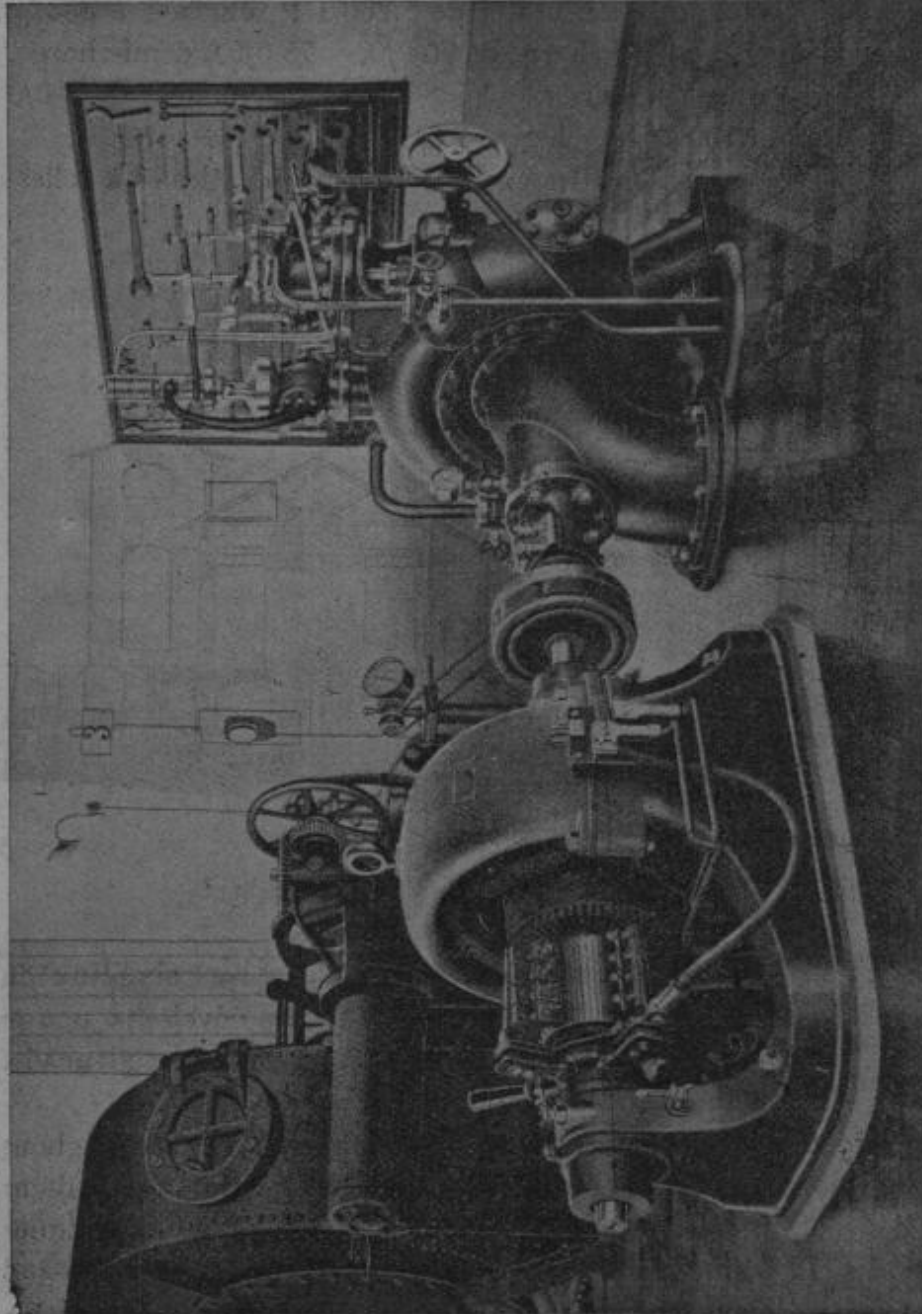


Fig. 848. — Usine de la Sioule. Groupe électrogène d'excitation.

et secondaire sont formés de bobines plates disposées en éventail autour d'un noyau feuilleté. Ils sont placés dans une caisse en tôle ondulée remplie d'huile, et le refroidissement se produit d'une façon automatique par suite d'une circulation de l'huile due à une différence de température entre les diverses couches du liquide. On évite ainsi l'emploi d'une

machine auxiliaire, pompe ou ventilateur. Les transformateurs sont montés en triangle aussi bien du côté de la haute que de la basse tension.

USINE GÉNÉRATRICE. — L'usine a été édifiée au pied aval du barrage,

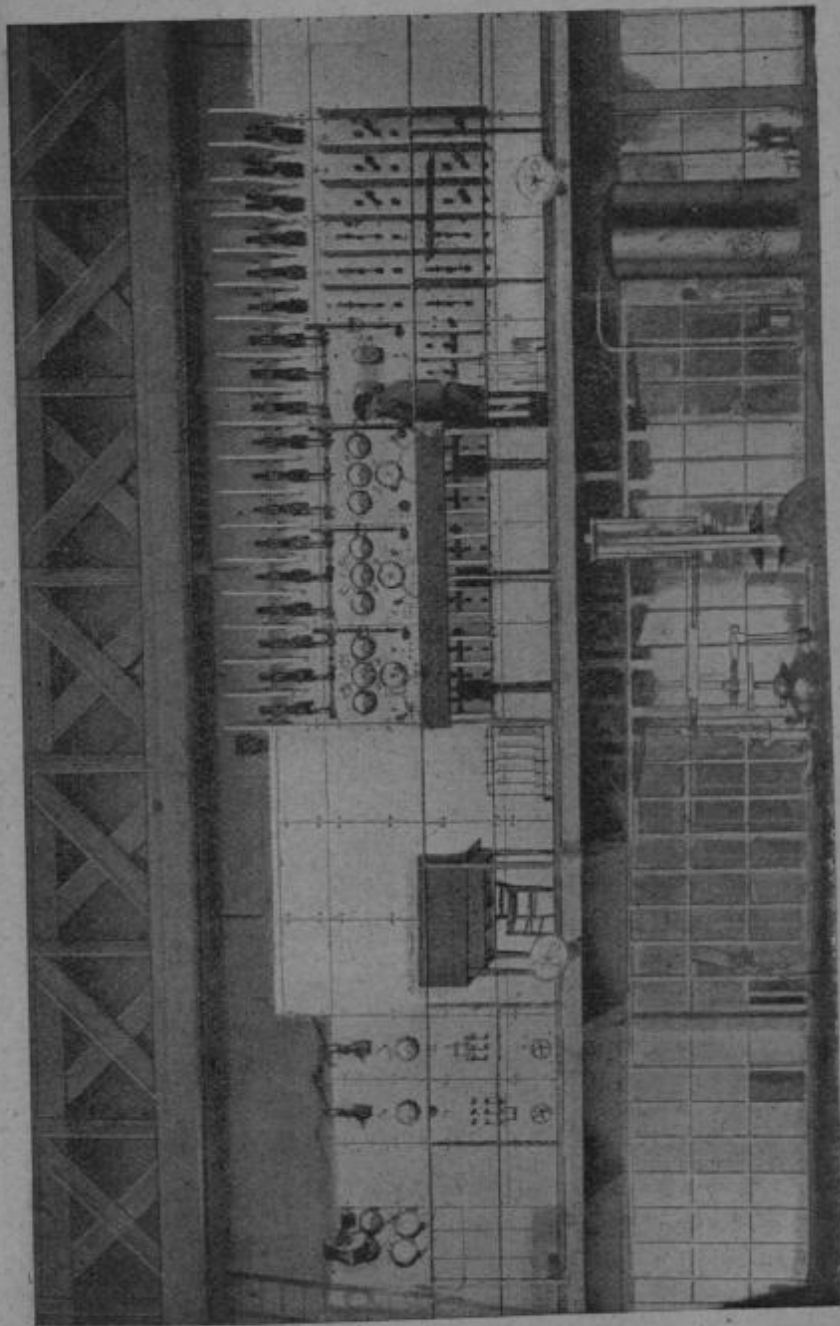


FIG. 849. — Usine de la Sioule, Tableau de distribution.

au milieu même du lit de la rivière. Le hall des machines, qui a 44 mètres sur 12 mètres, contient les groupes électrogènes principaux, les excitateurs et les machines accessoires. L'installation comprend en outre un avant-corps, avec, au niveau de la salle des machines, la salle des transformateurs-élévateurs de tension. Au-dessus de cette salle, sur une estrade

dominant la salle des machines, se trouve le tableau à 1.000 volts de commande et de distribution des alternateurs ; 6 panneaux sont affectés aux alternateurs, 3 aux excitatrices et 4 aux transformateurs-élevateurs. Les instruments de mesure sont du type thermique. Derrière cette estrade,

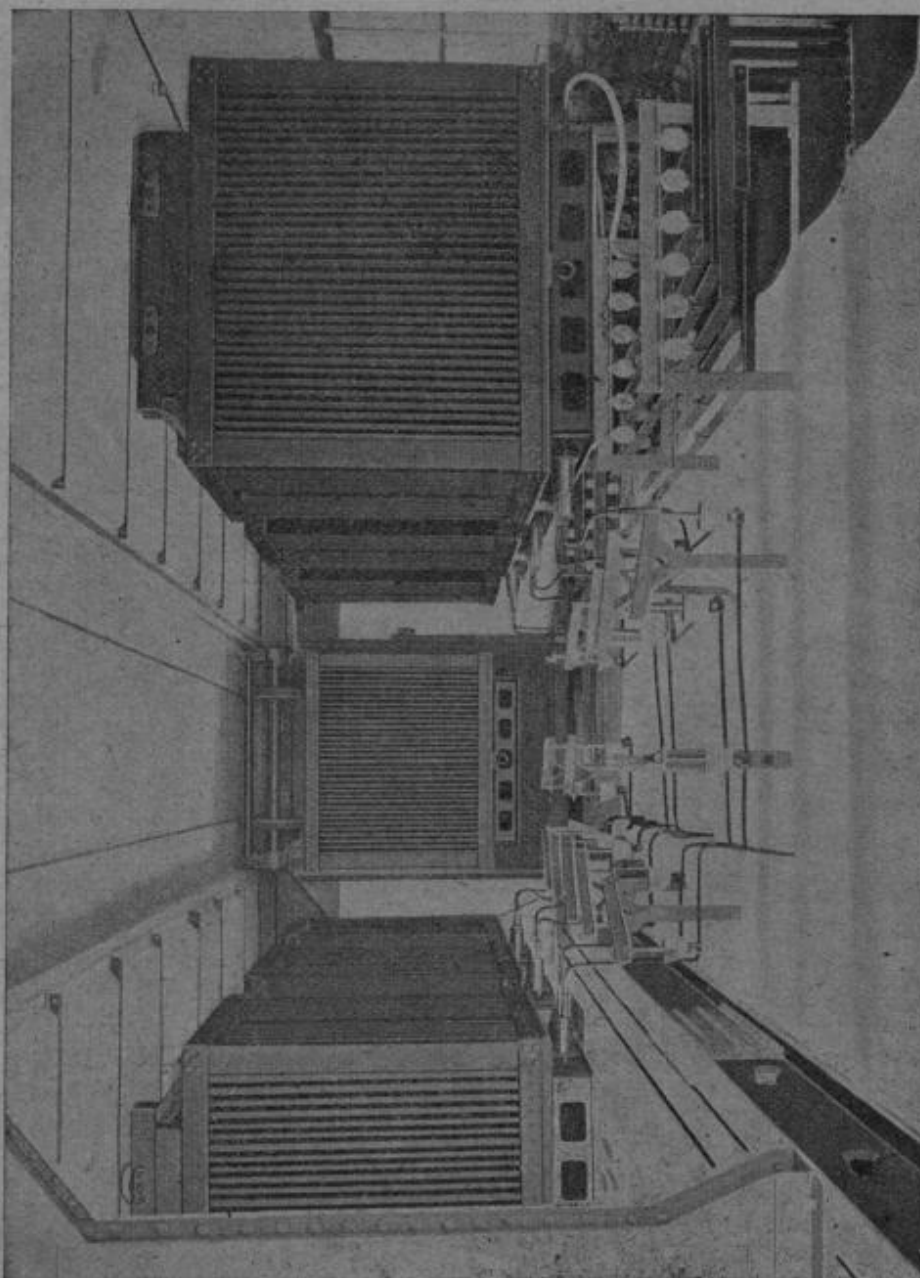


Fig. 850. — Usine de la Sioule. Salle des transformateurs.

dans une salle séparée, se trouve le tableau à haute tension en ciment armé. Enfin, au-dessus de cette dernière salle, sont installés les parafoudres et les départs de ligne.

Le châssis du tableau à haute tension (20.000 volts) est en ciment armé et du système cellulaire. Des fusibles à perche sont intercalés dans les cir-

cuits des transformateurs placés à la partie supérieure du tableau. Le mécanisme de déclenchement automatique des disjoncteurs fonctionne à l'aide de relais actionnés par du courant à basse tension, que fournissent des transformateurs-réducteurs alimentés par le circuit à 20.000 volts. Un atelier de réparation a été installé à côté de la salle des transformateurs.

Une usine thermique à vapeur de 6.000 chevaux complète l'installation.

LIGNE DE TRANSPORT D'ÉNERGIE (20.000 volts). — Le réseau comprend trois lignes triphasées à 20.000 volts et une série de branchements à 3.000 volts ; la plus longue ligne a 30 kilomètres de longueur. Les poteaux employés sont du type métallique à base réduite, en raison de l'extrême subdivision de la propriété dans ce pays. Le support normal utilisé dans cette installation a été calculé pour des angles ne dépassant pas 170° et pour des portées de 100 mètres. La base du pylône n'a que 60×60 centimètres et les axes des deux groupes de fils (la ligne étant double) sont distants de 2 mètres. Le poids d'un pylône est de 810 kilogrammes. Les fils de chaque ligne sont disposés dyssymétriquement par rapport au sol, pour éviter des mélanges entre eux sous l'action des grands vents.

Pour des fils de cuivre de 8 millimètres de diamètre et une portée de 100 mètres, on a admis un effort maximum de 10 kilogrammes par millimètre carré. La flèche résultante, à la température de -15° et avec surcharge, est de $2^m,05$, et de $1^m,77$ sans surcharge ; à la température maxima la flèche atteint jusqu'à $2^m,63$.

Le type d'isolateur choisi est celui utilisé sur les lignes du transport d'énergie de Paderno à Milan. Les consoles des isolateurs, d'un type spécial en acier moulé, sont fixées directement sur le pylône, et dans les angles très prononcés de la ligne, l'effort de tirage est réparti sur deux isolateurs.

La protection de la ligne contre les décharges est assurée par des parafoudres Wurts et des bobines de self-induction en nombre assez limité et installés dans l'usine génératrice, dans les cabines de transformation et dans la sous-station réceptrice de Clermont-Ferrand, dont nous donnons spécialement une description dans le tome III de cet ouvrage.

327. Usine de Marklissa (Silésie) (chute, 26 mètres). — Cette station utilise les eaux refoulées de la Queis, affluent du Bober. La construction du barrage, dont nous donnons la description au (§ 116), fut provoquée par les importants dégâts causés par des inondations dans la région dangereuse du Bober et de la Queis, dégâts qui, en 1907, par exemple, s'élevèrent, en vingt-quatre heures, à plus de 12 millions de francs. Le dénivellement produit par le barrage est, depuis peu, utilisé pour fournir la force motrice et l'éclairage à quelques localités environnantes, distantes au maximum de 14 kilomètres. Toutefois on se propose de relier, par une ligne d'environ 30 kilomètres de longueur, cette centrale à une installation

hydroélectrique plus grande, à construire près de Mauer, où on utiliserait les eaux refoulées du Bober, accumulées dans un réservoir de 50 millions de mètres cubes. Enfin on relierait la centrale de Mauer à la station à vapeur de Waldenburg, distante encore de 64 kilomètres. Pour qu'on puisse connaître à tout moment le niveau de l'eau dans le réservoir, ainsi que la quantité d'eau qui afflue de ce dernier et qui s'en écoule, on a prévu des indicateurs de niveau d'eau à distance, de la Société Siemens et Halske.

L'eau destinée à alimenter les turbines de la station Marklissa, dont l'usine génératrice est distante de 100 mètres du mur du barrage-réservoir, y est assurée par deux conduites de 1^m,20 de diamètre, lesquelles sont réunies à un collecteur de 1^m,70 de diamètre.

Le premier équipement a compris trois turbines Francis, de la maison Voith, développant chacune 715 HP à 375 tours ; avec une chute moyenne de 26 mètres, elles consomment chacune 2^m³,75 à la seconde. L'équipement complet se compose de 5 groupes semblables donnant une puissance totale de 3.575 HP.

Les alternateurs triphasés de 620 kilovolts-ampères, accouplés directement aux turbines, produisent du courant à 10.000 volts, 50 périodes.

L'énergie produite est transmise, sans l'intermédiaire de transformateurs, par trois lignes ayant respectivement 3, 11 et 14 kilomètres de longueur. Aux points de consommation, la tension est réduite à 3×220 et 3×120 volts. Une autre ligne raccorde les centrales de Marklissa et de Mauer. Enfin la ligne qui relie les villes de Mauer et de Waldenburg a une tension de 30.000 volts, provenant de transformateurs fixes de 750 kilovolts-ampères de capacité chacun.

Dans la partie supérieure des cellules du panneau des lignes, se trouvent des relais à temps qui, lorsqu'un court-circuit se produit dans le réseau, mettent en circuit le moteur électrique adapté à chaque régulateur des turbines, lequel se trouve dans la partie inférieure de la cellule. Ce moteur actionne alors un interrupteur à bain d'huile établi au milieu de la cellule. On a installé deux systèmes séparés de barres collectrices, et un interrupteur à main permet la commutation d'un système sur l'autre.

Pour protéger l'installation dans tous les cas contre les surtensions, on a employé une combinaison de bobines de réaction à distances explosives avec cornes, de résistances à bain d'huile et de dispositifs à jet d'eau pour la mise à la terre.

Toute l'installation électrique a été exécutée par la maison Siemens et Halske.

328. Usine de Teillet-Argenty (*chute, 26-44 mètres*). AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — La région de Montluçon est desservie par

l'usine hydroélectrique de Teillet-Argenty sur le Cher et une usine à vapeur de secours située à Montluçon même.

Le régime du Cher, qui est d'ordre torrentiel, comme toutes les rivières du Plateau Central, est caractérisé par les chiffres suivants, relevés sur le canal du Berry : moyenne des débits mensuels, 5.425.000 mètres cubes en août à 74.400.000 mètres cubes en février, soit un débit moyen de 2.086 à 26.720 litres à la seconde. Quant au débit journalier, il varie depuis quelques centaines de litres jusqu'à plus de 1.000 mètres cubes. Les réservoirs régularisateurs jouent donc dans ces conditions une influence capitale pour parer aux époques de sécheresse.

Barrage. — Le barrage a été construit aux gorges de Rochebut à

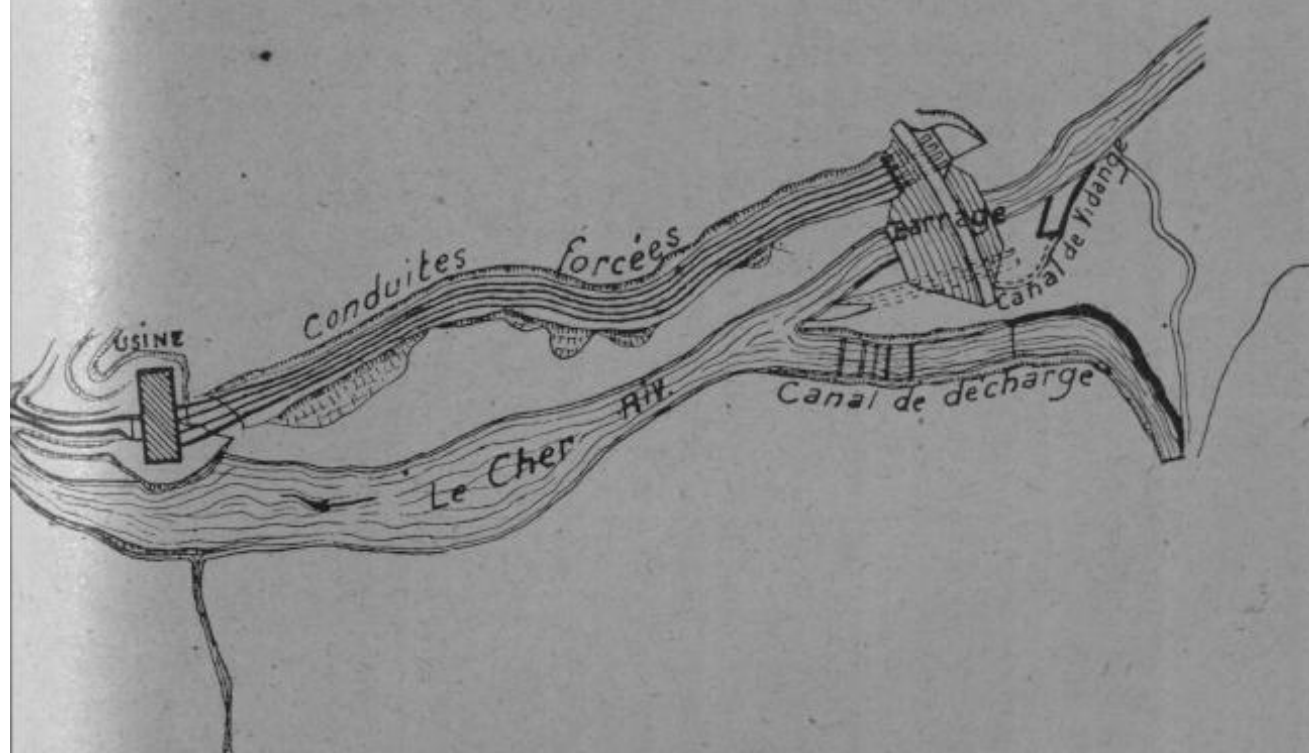


FIG. 851. — Usine hydroélectrique de Teillet-Argenty. — Plan synoptique des travaux d'aménagement.

14 kilomètres en amont de Montluçon (fig. 851). Le mur de barrage établi en ce point a permis de créer une réserve considérable de 30 millions de mètres cubes par la captation des eaux de la rivière la Tardes (fig. 852). Ce mur a 20 mètres de longueur à la base et 100 mètres au sommet avec une hauteur de 45 mètres. Il a en plus la forme d'un arc de cercle de 200 mètres de rayon, et en profil, d'un trapèze dont les côtés sont inclinés de 0^m,72 par mètre à l'aval et 0^m,18 par mètre en amont. La largeur à la base est de 44 mètres et 4^m,70 au sommet.

Les dimensions du barrage sont donc très faibles puisque la longueur n'atteint pas deux fois et demie la hauteur et que le cube de maçonnerie

ne dépasse pas 63.000 mètres cubes. La longueur de la galerie souterraine de dérivation est de 83^m,50 et sa section de 20 mètres carrés (5 mètres de large sur 4 mètres de haut).

Les fondations ont été construites sous la protection d'un barrage auxiliaire (*fig. 853*) et les travaux facilités par l'établissement d'une usine

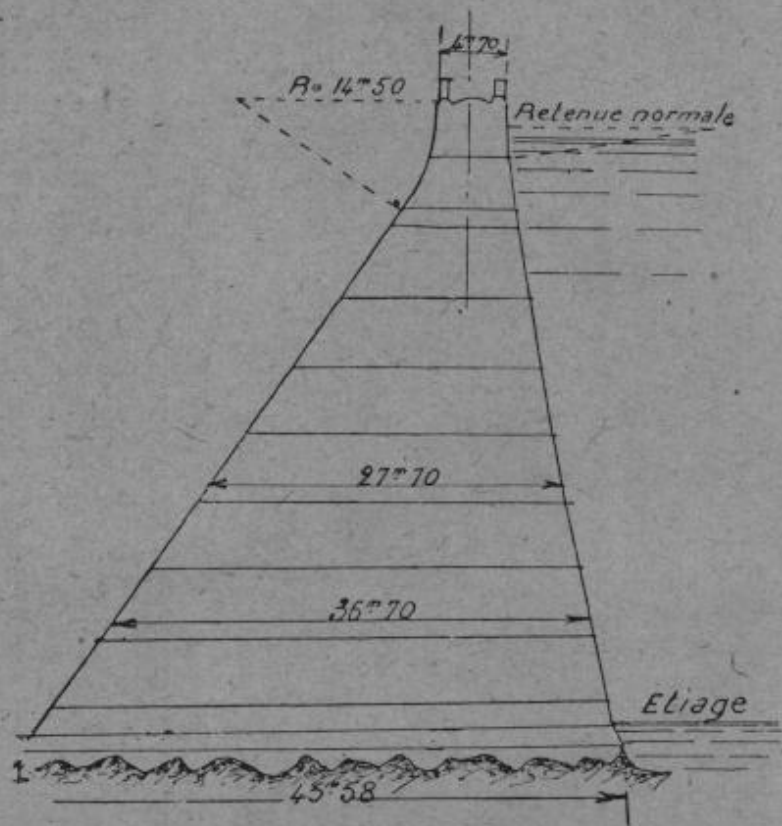


FIG. 852. — Usine hydroélectrique de Teillet-Argenty. — Épreuve du barrage.

génératrice provisoire établie sur une plate-forme située en haut du barrage.

Turbines. — A l'aide de la réserve hydraulique on compte sur une puissance d'environ 4.000 HP de onze heures pendant les périodes d'été des années les plus sèches et 10.000 HP à l'époque des hautes eaux. Les turbines peuvent fonctionner sous une chute variable de 26 à 44 mètres, le débit variant de 5.475 à 3.350 litres. Elles sont du système Francis à axe horizontal à débit réglable et peuvent fonctionner soit à deux roues motrices, soit à une seule. Le rendement dans les deux cas reste entre 0,76 et 0,78 pour la pleine charge. Chaque turbine est munie d'un régulateur mécanique à friction. Les groupes installés consistent en unités de 1.500 et 2.500 HP (*fig. 854*).

ALTERNATEURS. — Les turbines commandent directement les alter-

nateurs par manchons élastiques à cordes faisant volants. Ils sont du système Alioth fonctionnant à la tension de 3.850 volts avec facteur de

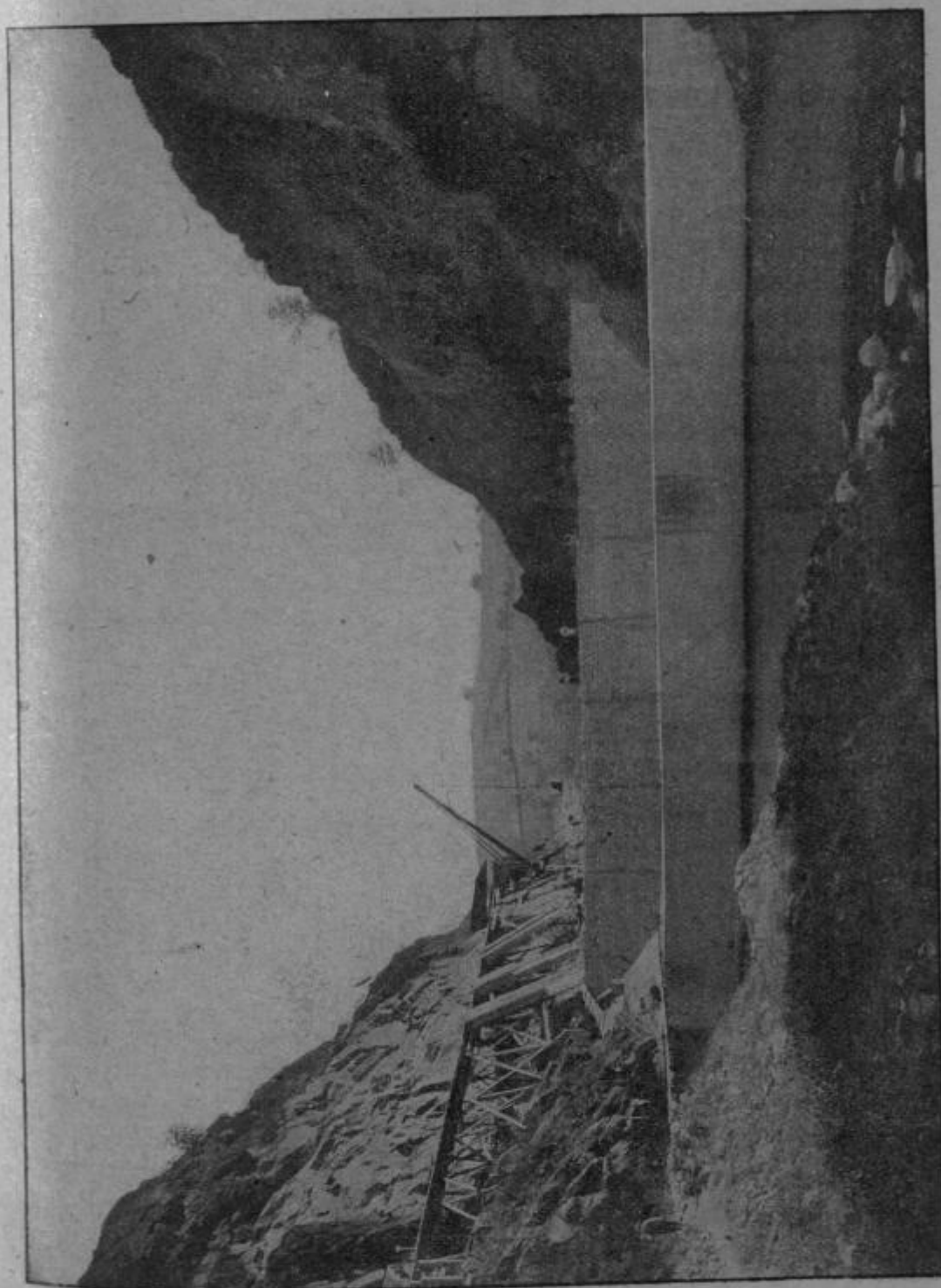


FIG 853 — Usine de Teillet-Argenty. — Vue du barrage provisoire.

puissance de 0,75, en courant triphasé à 50 périodes-seconde. Le rendement de ces machines, à pleine charge et pour $\cos \varphi = 0,75$ est de 0,93. La chute de tension est inférieure à 10 0/0 pour $\cos \varphi = 1$ et à 20 0/0 pour $\cos \varphi = 0,80$.

TABLEAU DE DISTRIBUTION. — Le courant des alternateurs est amené au tableau de distribution à deux disjoncteurs doubles qui commandent la basse tension à 3.800 volts des alternateurs, ainsi que leurs circuits haute tension de 20.500 volts.

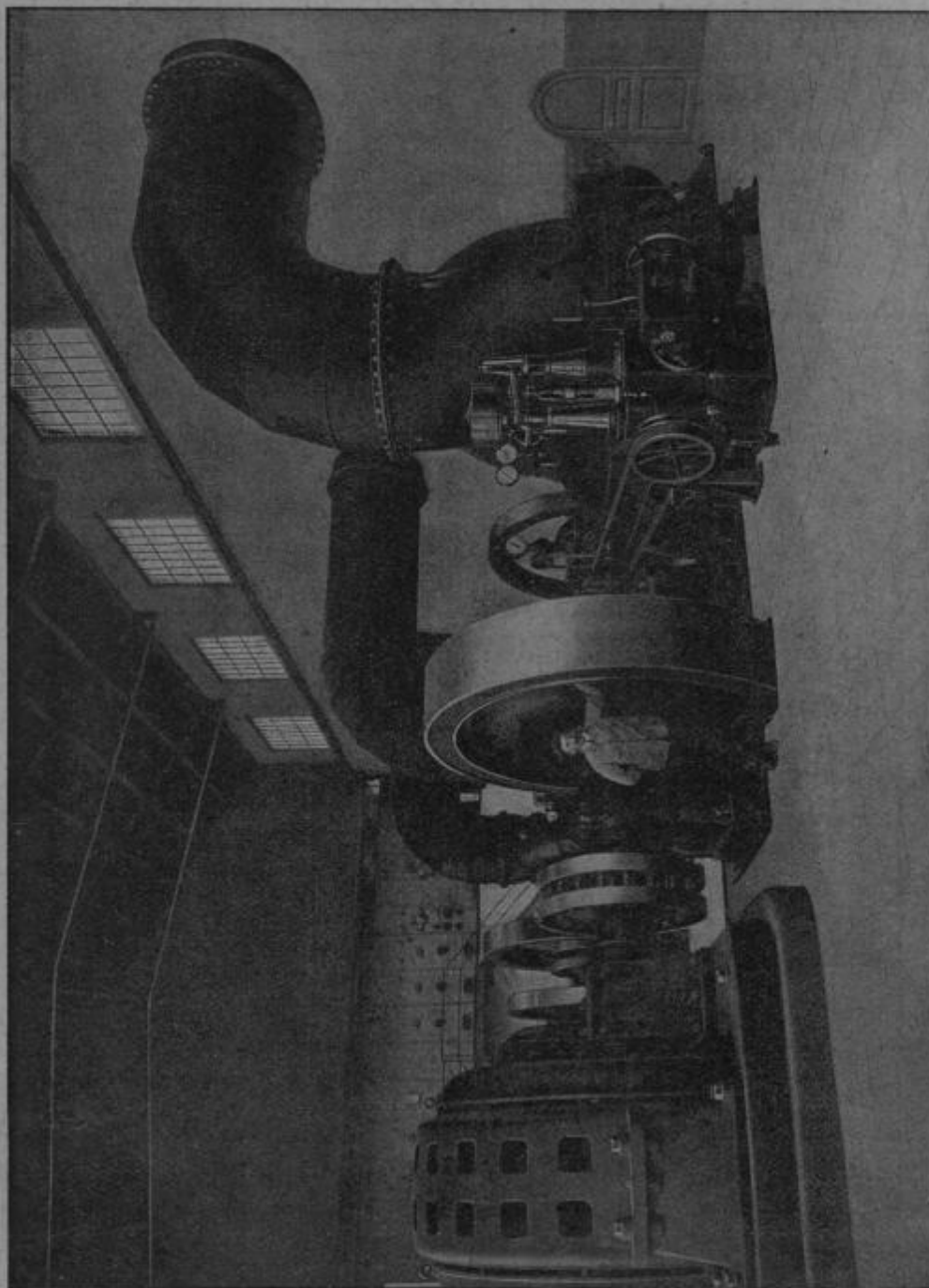


FIG. 854. — Régulateur à turbine Francis, pression sur turbine centripète à axe horizontale de 3.000 HP.
Usine de Teillet-Argenty (Allier). (Neyret-Boyller).

Les alternateurs peuvent être couplés sur les barres générales, auxquelles sont branchés les disjoncteurs de départ vers Montluçon et vers Évaux. Les lignes de départ à 20.000 volts sont protégées par des parafoudres et des limiteurs de tension à écoulement d'eau.

Le tableau est divisé, d'après les principes modernes, par des cloisons formant cellules pour le logement de chacun des appareils.

Transformateurs. — Les transformateurs sont du type Alioth à air libre et à ventilation forcée. Ce sont des transformateurs monophasés de 450 k. v. a. pour $\cos \varphi = 0,75$, groupés par trois en triangle. Leur chute de tension est de 1,2 0/0 pour $\cos \varphi = 1$. Chaque groupe de trois transformateurs monophasés correspond à la puissance d'un alternateur, et les groupes de trois appareils peuvent fonctionner en parallèle.

L'usine à vapeur de secours installée à Montluçon est décrite dans le

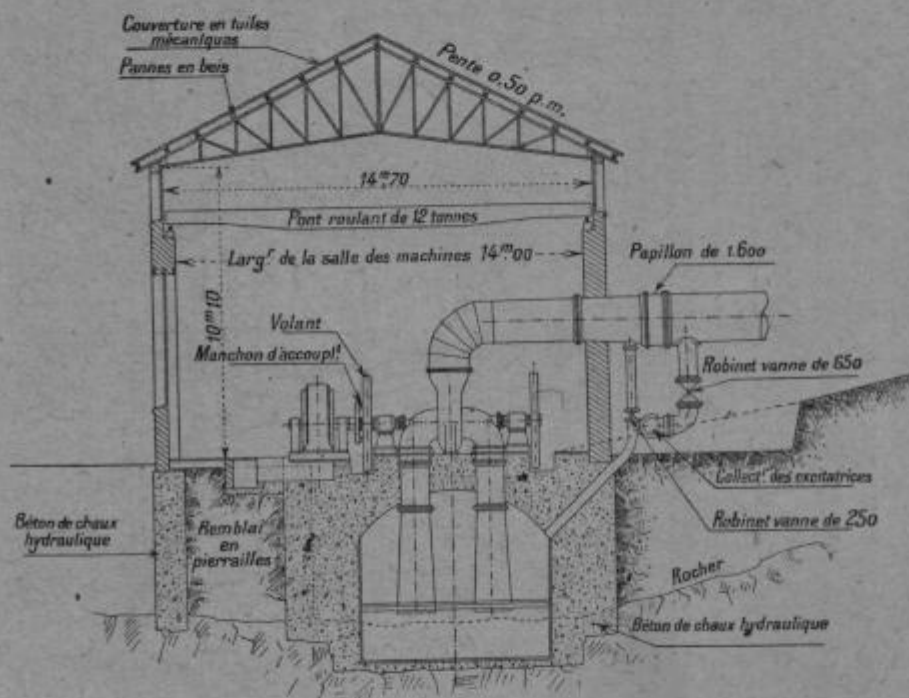


FIG. 855. — Usine de Teillet-Argenty. — Coupe transversale de la salle des machines.

tome III de cet ouvrage, ainsi que le réseau de la Compagnie de l'Énergie électrique du Centre.

Lignes à haute tension. — La ligne principale, qui relie le barrage à la ville de Montluçon a une longueur de 14 kilomètres environ, et a été installée à six fils.

Les poteaux sont en ciment armé du type Rossignol et Delamarche-Lépine. L'armement pour lignes à trois fils se compose d'un collier-fermeture placé à l'extrémité du poteau, d'une traverse en fer U supportant les deux autres fils et les garde-fils. Cette traverse est maintenue sur le poteau soit par deux colliers, soit, dans un autre modèle d'armement, par un collier et un boulon.

Les autres lignes à 20.000 volts sont : une ligne reliant Montluçon à Boussac avec embranchement sur Calan ; une ligne aboutissant à Évaux

et Le Châtelet et enfin une ligne reliant la centrale de Montluçon à l'usine hydroélectrique de la Sioule (§ 326).

L'usine thermique de Montluçon se trouve ainsi être une usine géné-

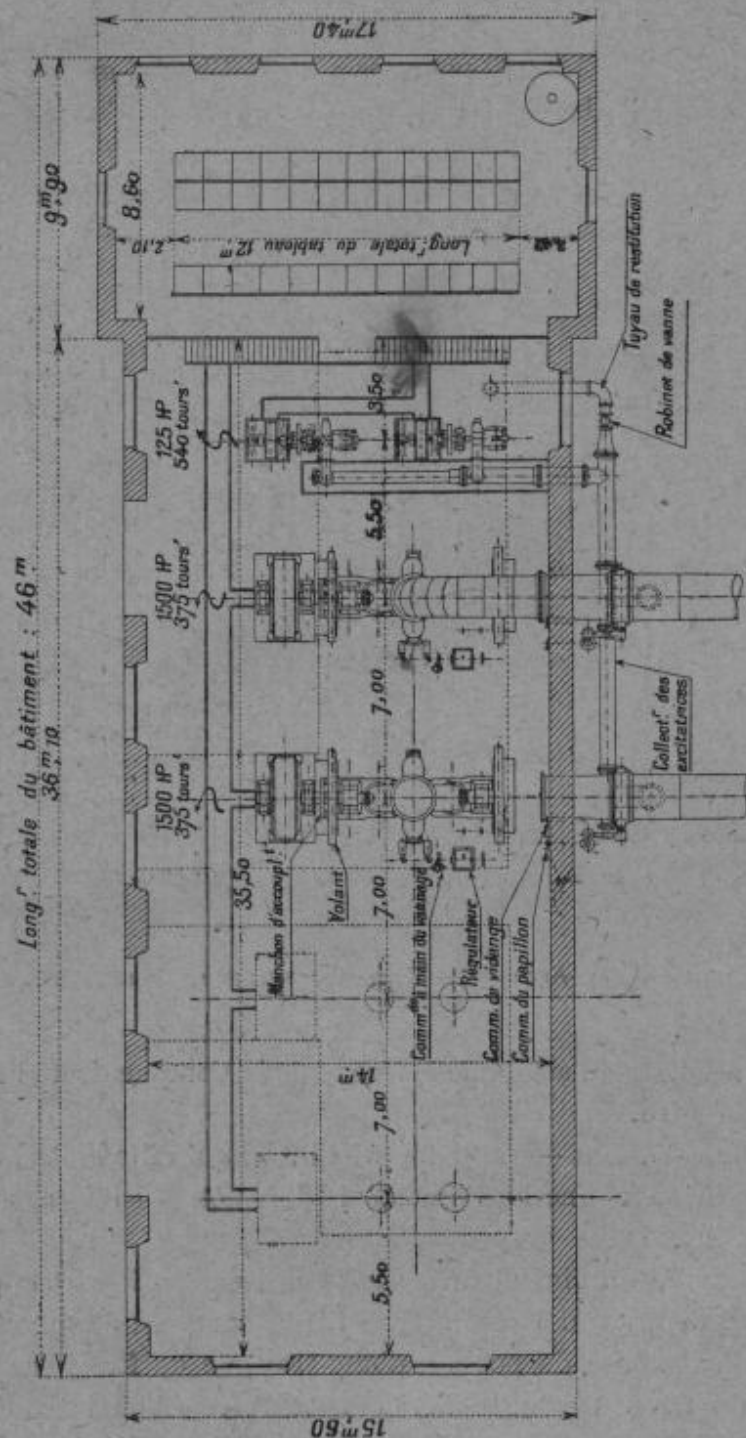


Fig. 856. — Usine de Teillet-Argenty. — Salle des machines.

ratrice en période de sécheresse et un poste récepteur de transformation et de distribution dans le cas d'alimentation par le Cher ou par la Sioule.

L'usine est protégée avec soin contre la foudre, de même que les lignes

qui y aboutissent, par des parafoudres à cornes à résistance liquide, des limiteurs de tension type Wurtz, un limiteur à écoulement d'eau et une batterie de condensateurs Moscicki.

Les postes de transformateurs répartis sur les réseaux à 20.000 volts sont protégés par des parafoudres à cornes avec résistances liquides.

329. Usines de Tre Monti et de Piano d'Orte (Italie) (*chutes, 27^m,60 et 71^m,60*). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — La Societa de Electro Chimica possède sur le fleuve Pescara, dans la province de l'Aquila deux usines dont celle de Tre Monti dispose de 8.400 HP sous 27^m,60 de chute et celle de Piano d'Orte de 22.000 HP, sous 71^m,60 de chute.

Barrage. — Cet ouvrage comporte cinq ouvertures de 5 mètres de large, séparées par des piles en pierre de taille de 1^m,30 de large et fermées par des vannes métalliques de 2 mètres de haut, que l'on peut faire fonctionner à la main d'une passerelle supportée par les piles ; les ouvertures sont suffisantes pour livrer passage à l'eau dans les plus fortes crues du Pescara.

Le barrage forme un vaste réservoir d'où l'eau est dérivée au moyen de douze ouvertures obliques de 3^m × 0^m,80, séparées par des piles en ciment armé ; ces ouvertures sont pourvues de vannes en fer que l'on peut manœuvrer à la main et qui sont élevées à 0^m,90 au-dessus du fleuve afin que les galets et sables n'entrent pas dans le bassin.

Bassin de décantation. — Ce bassin est traversé par une grille de 34 mètres de longueur pour arrêter les corps flottants ; il est muni de deux ouvertures du côté gauche, pour le déchargement des matières de fond. Sur ce même côté gauche du bassin se trouve un déversoir pour conduire au fleuve l'excédent des eaux dérivées et maintenir un niveau constant aux ouvertures d'émission. Dans le canal, à l'extrémité du bassin de prise, se trouve l'édifice de distribution, qui est constitué par deux ouvertures de 3^m,40 × 2^m,95 chacune, munies de barrières en fer. Les grilles et les vannes ont été fournies par les usines nationales de Savigliano.

Canal de dérivation et tunnel. — Le canal a une pente de 0^m,0095 par mètre. La section libre est de 25^m³,80, et peut débiter jusqu'à 40 mètres cubes d'eau. Il débouche dans un tunnel creusé sur les flancs des montagnes qui bordent la vallée du Pescara. Ce tunnel, de 2.235 mètres de longueur, a 9^m,25 × 4^m,50 de section avec une voûte de 0^m,90 de flèche. La pente est de 0^m,0008.

Bassin de charge (fig. 858). — La galerie débouche dans un bassin de charge de la capacité de 1.750 mètres cubes, creusé entièrement dans la roche. Il se compose d'une galerie de 30 mètres de long sur 8 mètres de large, de laquelle partent deux galeries transversales de 13 mètres de large et 7^m,80 de longueur chacune. Dans le fond des galeries règnent les

chambres de départ des conduites forcées, longues de 7 mètres et larges de 2^m,80, munies chacune d'une porte en fer de 2^m,80 × 3^m,60 et d'une grille pour arrêter les corps flottants. Dans les masses de roche qui séparent les galeries transversales, on a percé des galeries longitudinales de 2^m,30 de large et 7 mètres de haut, dans le but de déterminer des communications avec les galeries transversales, une parfaite égalité du niveau d'eau dans les tuyaux et aussi une égale alimentation des turbines.

Devant les ouvertures des tuyaux de pression, et sur toute la longueur, on a creusé un canal de 2^m,30 de large dont le fond est de 2^m,50 plus bas

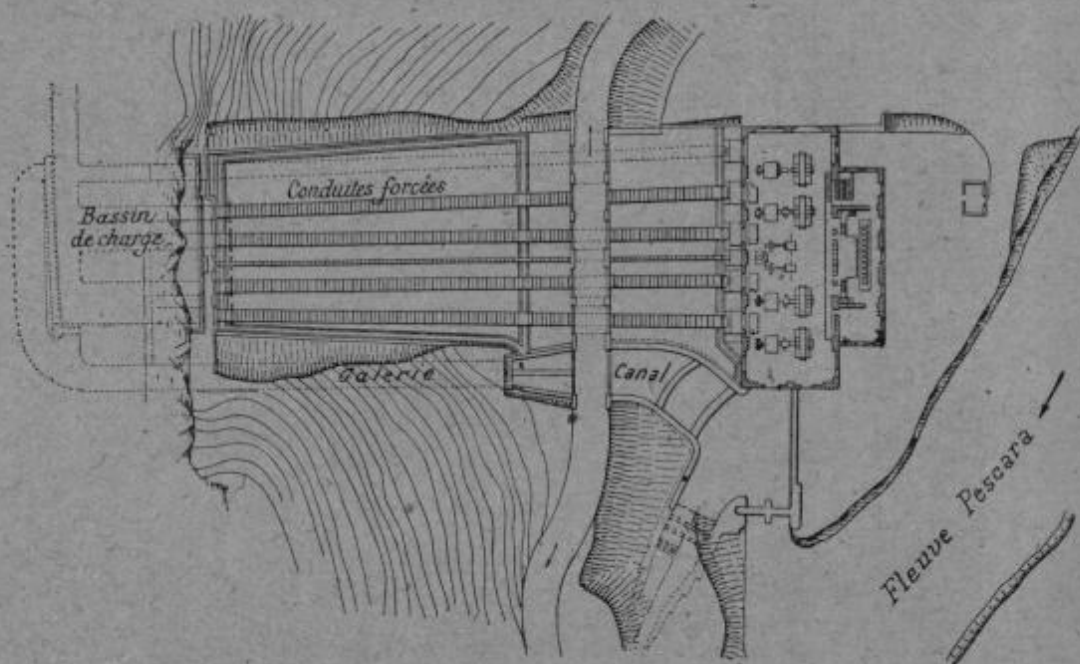


FIG. 858. — Usine de Tre Monti. Ouvrages d'adduction et usine.

que les embouchures, pour arrêter la vase et le dépôt des eaux. La grande galerie longitudinale comporte latéralement un déversoir de 3 mètres de long, avec adjonction d'un canal de fuite, et est pourvue à son extrémité d'une galerie de charge. Ce déversoir, ainsi que le canal de fuite et le déversoir de la galerie destinée à écouler la vase, se réunissent et les eaux se rendent dans un puits de 3^m,50 de diamètre et 18 mètres de profondeur, lequel communique avec une galerie de 64 mètres de long et de 16 mètres carrés de section, laquelle se termine par un canal de décharge à échelons et à petits puits, qui se déversent dans le bassin de restitution.

Conduites forcées. — Du bassin de pression, l'eau est conduite à l'usine au moyen de quatre tuyaux de 2^m,20 de diamètre, pour les grandes turbines, et un tuyau de 0^m,60 pour les turbines des excitatrices. Ces conduites, longues de 100 mètres chacune, sont en acier de 5 à 7 millimètres d'épaisseur et sont renforcées par des anneaux constitués par des cornières

plates, à 1^m,80 de distance l'un de l'autre. Le débit est de 10 mètres cubes d'eau.

Les appuis des conduites sont formés de rails courbés avec semelles en acier coulé, fixées aux cornières de renfort. Chaque tuyau est pourvu d'un système de dilatation à soufflet de 4 mètres de diamètre. Les tuyautages croisent la route, en passant sous les arches d'un viaduc sous lequel passe le canal de décharge.

TURBINES. — L'usine génératrice est une grande construction placée sur les rives du Pescara, à une certaine distance, de façon à la mettre complètement à l'abri des crues. Elle comprend une salle des machines de 45^m × 15 mètres et 12 mètres de haut, recouverte d'une toiture en fer, et un corps latéral de 31^m,50 × 7 mètres, à deux étages, dans lequel sont placés, au rez-de-chaussée, les transformateurs et l'atelier de réparation. Au deuxième étage se trouvent les chambres de départ des lignes et d'autres chambres pour le personnel de surveillance de l'usine. Au-dessous de la salle des machines sont des galeries qui reçoivent les conducteurs reliant les alternateurs avec les tableaux des lignes, puis des magasins pour les matériaux de consommation.

Les grandes turbines sont du type Francis, à aspiration double, avec distributeur à aubes mobiles, d'une puissance individuelle de 2.800 HP et tournant à 270 tours sous la chute de 27^m,50. Chaque turbine est pourvue de régulateurs avec servo-moteur autonome. Les deux petites turbines sont du même type ; elles ont une puissance de 180 HP et tournent à 400 tours à la minute.

Les turbines déversent dans un canal de 7^m,50 de large, placé au-dessous de l'usine et dont les eaux se rendent dans le bassin qui communique avec le Pescara et avec l'ouverture de la deuxième chute (usine de Piano d'Orte). Ces turbines ont été construites par la maison A. Rivet-Monneret et C^{ie}, de Milan.

ALTERNATEURS. — L'équipement électrique comprend quatre alternateurs de 2.800 HP, tournant à 270 tours, réunis par des accouplements rigides, plus deux dynamos de 150 HP pour l'excitation des alternateurs. Un alternateur de 2.800 HP et une dynamo de 150 HP servent de réserve. Ces machines ont été construites par l'usine électrotechnique italienne Gadda et C. Brioschi-Finzi, de Milan.

Les alternateurs, à inducteur tournant, produisent du courant triphasé à 6.000 volts, 45 périodes. Les tableaux de distribution sont du système cellulaire. La jonction des machines et des lignes est faite avec le système à anneau avec ponts, sur lesquels sont placés les appareils totalisateurs.

LIGNE DE TRANSMISSION D'ÉNERGIE (25.000 volts). — Une grande partie de l'énergie est distribuée à la tension de 25.000 volts, au moyen de transformateurs élévateurs, composés de quatre unités.

La ligne pour la Société italienne de l'aluminium a une tension de 6.000 volts (poteaux en fer) ; celle de la Société pour les produits azotés, aussi 6.000 volts (poteaux en bois), et enfin celle de la Société des entreprises électriques abruzzaises est à la tension de 25.000 volts (trois fils de 5 millimètres de diamètre). Toutes les lignes ci-dessus sont pourvues d'interrupteurs automatiques et de déchargeurs Siemens-Wurlz, avec jet d'eau.

330. Usine de Vizzola (Italie) (chute, 28 mètres).—AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — La station centrale de Vizzola est au nombre des plus importantes de l'Italie ; sa puissance normale, qui correspond à un débit de 55 mètres cubes à la seconde, utilisé sous une chute de 28 mètres, dépasse 20.000 HP. En outre, une deuxième station, celle de Turbigo, située à 15 kilomètres de Vizzola, lui sert d'auxiliaire, et a une puissance de 3.000 HP. De plus, une centrale à vapeur de 19.000 HP, établie à Castellanza, sert de réserve.

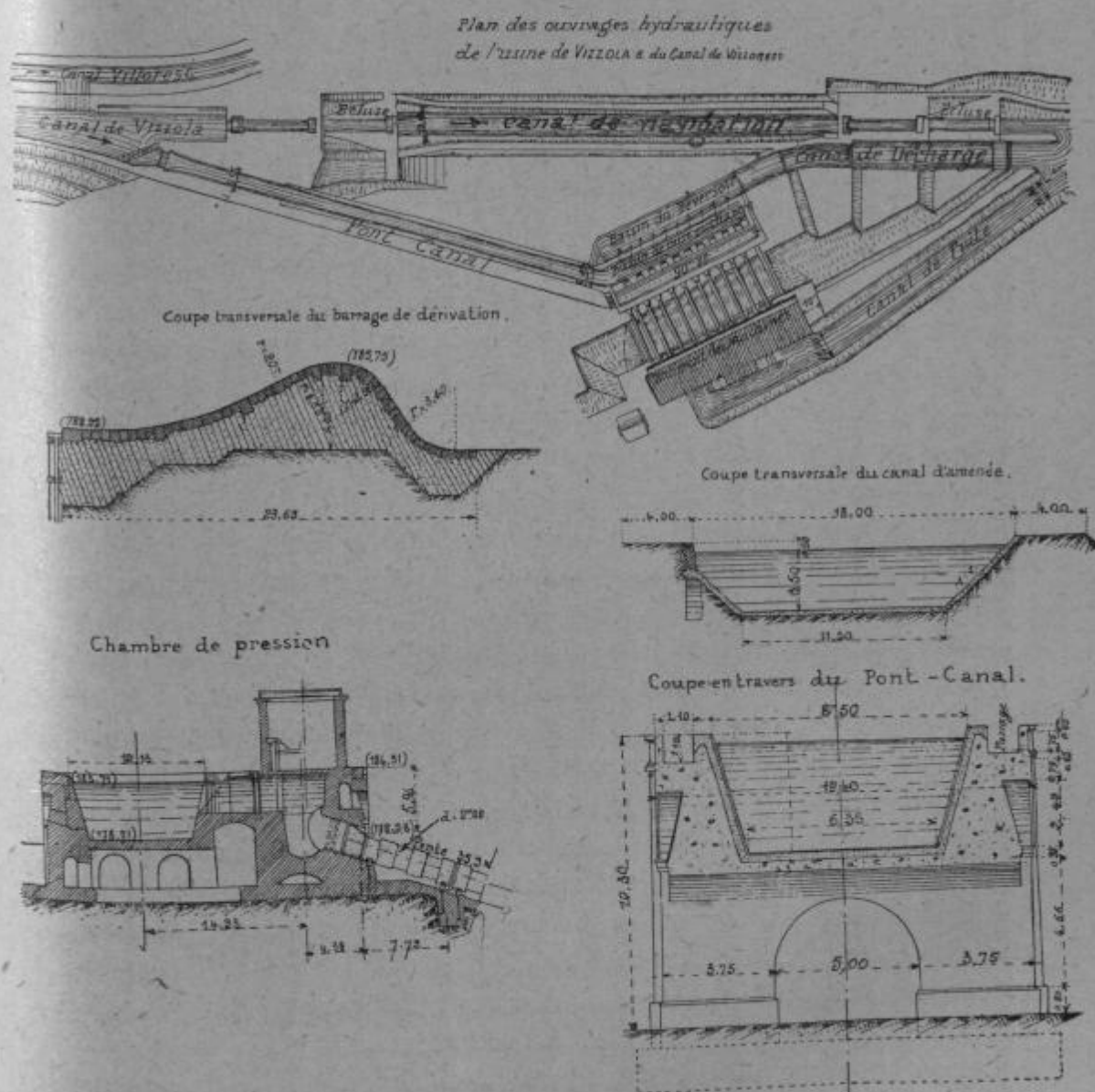
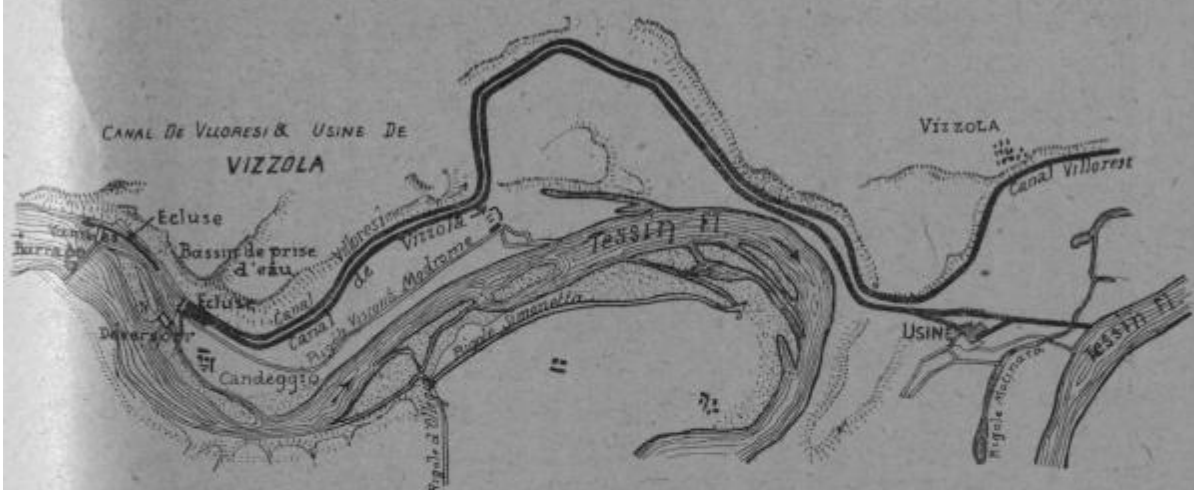
La puissance de l'usine de Castellanza se répartit : 1^o en deux groupes électrogènes, chacun de 2.700 HP, avec des alternateurs de 11.000 volts, 50 périodes ; 2^o en deux groupes turbo-alternateurs de 5.000 kilowatts du type Brown-Boveri-Parsons construits par la maison Tosi, de Legnano.

La Société lombarde pour la distribution de l'énergie électrique, à Milan, propriétaire de la station de Vizzola, dispose en outre de l'usine génératrice de Brusio d'une puissance de 36.000 HP sous 11.000 volts avec un transport de 165 kilomètres. Cette dernière comprend 12 groupes électrogènes de 3.000 HP. Le transport qui passe à Lecco en se dirigeant sur Castellanza a nécessité 900 tonnes de cuivre. La Société peut fournir à ses abonnés plus de 60.000 HP sous 31.000 volts, 50 périodes.

La force motrice utilisée pour la station de Vizzola provient de la partie du Tessin qui s'étend de Somma à Vizzola ; la différence de niveau brute sur un parcours de 30 kilomètres est de 30 mètres. Cette importante installation comporte un canal d'amenée qui suit sur tout son parcours le canal d'irrigation de Villerosi, un barrage à grande chute et un autre disposé à côté avec vannes pour la prise d'eau, un bassin servant à la distribution de l'eau dans les canaux de Villerosi et de Vizzola, et enfin un déversoir et deux écluses.

Barrage. — Le barrage à vannes pour la prise d'eau a 65 mètres de longueur, 7 mètres de largeur et 12^m,80 de hauteur ; il donne passage à 190 mètres cubes d'eau par seconde, y compris les eaux d'irrigation. Il comporte 30 vannes manœuvrables à la main, dont 4 de purge à commande mécanique.

Chambre d'eau. — Le bassin distributeur a 600 mètres de longueur et le déversoir 73 mètres ; le premier sert à mesurer l'eau réservée aux anciens



concessionnaires de prises d'eau d'irrigation et, à l'extrémité aval du bassin collecteur, se trouvent deux bâtiments où sont installées des vannes qui servent à régler l'introduction simultanée de l'eau dans les deux canaux. La pente du canal d'aménée, depuis l'origine jusqu'à sa première écluse, est de 1^m,15 par kilomètre et la vitesse moyenne de l'eau est de 1^m,30. Les eaux, avant de se rendre dans la chambre de pression, passent sur un pont-canal en maçonnerie de béton. Sa longueur est de 200 mètres, et il débite 55 mètres cubes. Pour assurer l'étanchéité de la cuvette collectrice, on a pratiqué un revêtement sur le fond et sur les talus à l'aide de trois couches superposées de feuilles de feutre asphaltées.

On a aménagé le lac Majeur à l'effet de servir de réservoir à l'usine de Vizzola. On dispose de ce fait dans le canal de cette usine d'un débit constant de 65 mètres cubes correspondant à 24.000 HP.

Conduites forcées. — L'eau est amenée aux turbines par douze tuyaux de pression de 2 mètres de diamètre précédés d'une grille de garde pour les corps flottants. Les vannes de purge, comme les vannes de fermeture des conduites sous pression, sont manœuvrées à la main ou commandées électriquement. Le canal de fuite de l'usine débouche dans le dernier tronçon du canal de navigation.

TURBINES. — La salle des machines, qui a 93^m,40 de longueur sur 18^m,50 de largeur, contient dix groupes générateurs, dont un en réserve, et deux groupes excitateurs. Huit des grandes turbines sortent des ateliers Riva, Monneret et C^{ie}, et deux de la maison J. Voith. Elles tournent à 187 tours, sont à axe horizontal, avec deux distributeurs à introduction radiale extérieure, contre-aubages en tôle d'acier et obturateurs tournants équilibrés. La conduite de décharge travaille par aspiration. La puissance unitaire de ces turbines est de 2.000 HP, et les régulateurs automatiques de vitesse sont à servo-moteurs hydrauliques dans les turbines Riva, et à servo-moteurs mécaniques dans les Voith.

ALTERNATEURS. — Les alternateurs triphasés sont à champ tournant, à bobine unique sur la roue polaire, de l'ancien type Oerlikon, d'une fréquence de 50 périodes par seconde, et marchent à la tension de 11.000 volts. Les dynamos excitatrices donnent 1.300 ampères sous 110 volts.

EXPLOITATION. — Les lignes aériennes sont montées sur pylônes en acier avec traverses en chêne (4 cornières de 60 × 60 × 6, réunies par un treillis de 60 × 6). Les stations transformatrices réduisent à 3.600 volts la tension initiale, et de ces centres partent des lignes secondaires desservant soit directement, c'est-à-dire sans abaissement de la tension, les stations réceptrices, soit après une seconde réduction de tension à 125 volts. Le développement du réseau dépasse 260 kilomètres.

Le courant est vendu à forfait ; pour la force motrice, il varie entre un maximum de 400 francs le kilowatt-an pour les installations dont la puis-

sance est inférieure à 5 kilowatts et un minimum de 160 francs pour celles dépassant 700 kilowatts avec une durée de fonctionnement de 12 heures par jour. L'énergie pour l'éclairage est vendue au compteur au prix de 58 centimes le kilowatt-heure. La consommation annuelle de plus de 500 kilowatts-heures et jusqu'à 2.000 kilowatts-heures entraîne un rabais de 5 à 30 0/0.

Le coût des travaux peut être décomposé comme suit :

Ouvrages de prise et de régularisation, canal et station centrale.	6.500.000 fr.
Lignes de transport et de distribution d'énergie.....	2.500.000
Stations transformatrices.....	790.000

Le coût du cheval-vapeur effectif, pour les seuls ouvrages hydrauliques, est revenu à 480 francs.

331. Usine de Sauviat (Puy-de-Dôme) (*chute, 29 mètres*). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — La rivière la Dore, affluent de l'Allier, sur laquelle a été édifié le barrage a, pendant dix mois de l'année, un débit de 20 mètres cubes environ et, à l'étiage, du 25 août au 15 septembre, le débit descend à 5 mètres cubes et même à 1 mètre cube pendant les années exceptionnelles de sécheresse, comme pendant l'année 1906. Les crues, favorisées par le déboisement du bassin de la Dore, dont la superficie est de 15.000 hectares, sont assez brusques et parfois considérables. Elles peuvent atteindre 800 mètres cubes. Le ruisseau le Miodex, qui a été capté en même temps que la Dore, donne en moyenne 1.500 à 2.000 litres, sauf en été où son débit est parfois presque nul.

Barrage de prise d'eau. — On a profité du rétrécissement de la vallée du Miodex, à l'endroit où le ruisseau se jette dans la Dore, pour créer facilement un vaste réservoir en barrant la vallée de ce ruisseau et en dérivant dans ladite les eaux de la Dore. La prise d'eau, située à l'embouchure du petit ruisseau de Mende, est composée d'un barrage formant déversoir construit en maçonnerie ordinaire de ciment et armé par des fers I, placés tous les 2 mètres et entretoisés. L'ouvrage est disposé en plan suivant un arc de cercle de 500 mètres de rayon. Une grille ordinaire protège l'entrée du canal contre les feuilles et les débris de toute nature. En avant de cette grille on a creusé, en partie dans le ruisseau de Mende, une excavation destinée à servir de chambre de décantation pour y faire déposer les sables charriés par la rivière. Deux vannes de chasse permettent d'opérer le nettoyage de la grille et de la chambre. L'entrée du canal d'amenée est commandée par cinq vannes de garde.

Le barrage a une hauteur maximum de 25 mètres et sa longueur est de 87 mètres au sommet et 25 mètres à la base. L'épaisseur est de 21 mètres à la base et 5^m,30 au couronnement. Le volume des maçonneries est de

15.000 mètres cubes environ et le prix de revient s'est élevé à 270.000 francs. Il repose sur une couche de granit bleu de grande dureté.

Les caractéristiques de cet ouvrage sont les suivantes : surface du profil, 262.380 mètres carrés ; pression à vide, amont 4^{kg},76, aval 0^{kg},708 ; pression en charge (canal plein), amont 2^{kg},55, aval 2^{kg},95 ; pression en charge (canal plein et surélévation de 1 mètre), amont 2^{kg},290, aval 3^{kg},215 ; pression maximum à l'aval (Lévy), 4^{kg},97, surélévation de 1 mètre, 5^{kg},31. La pression à l'amont en charge étant sensiblement égale à la pression maximum de l'eau, la pression maximum maximorum calculée par la méthode de M. Maurice Lévy étant inférieure à 6 kilogrammes par centimètre carré, les conditions de sécurité à la base sont donc excellentes.

Canal d'amenée. — Le canal qui amène les eaux de la Dore dans un réservoir situé en tête de l'usine a une longueur de 2^{km},500. Il est établi pour pouvoir débiter 14 à 15 mètres cubes, avec une section de 2^m,45 × 3^m,20 et une pente légère de 0^{mm},5 par mètre. Deux tunnels, l'un de 200 mètres et l'autre de 60 mètres de longueur, et un aqueduc constituent les seuls travaux d'art que l'on rencontre dans le parcours du canal.

Un large déversoir a été aménagé immédiatement avant le premier tunnel qui débouche à quelques mètres du réservoir. Le canal aboutit à l'une des extrémités du barrage et l'eau de la Dore peut être envoyée soit dans le réservoir, soit directement dans une chambre de mise en charge, d'où part l'une des deux conduites forcées qui alimentent l'usine. En temps normal, la Dore se déverse dans le réservoir, mais si le niveau du lac artificiel formé par le barrage tombe trop bas et si l'eau n'est pas trop limitée, on abaisse les trois vannes qui ferment l'entrée du réservoir à l'extrémité du canal et l'on envoie directement l'eau dans les turbines où elle agit avec la hauteur de chute maximum. Le trop-plein du canal s'écoule dans le lac par un déversoir latéral et l'alimente pour les heures de forte charge. La portion du canal qui amène ainsi l'eau directement aux turbines est logée dans la crête même du barrage. Cette disposition est particulièrement heureuse, car elle évite de subir la contrainte d'une perte de charge par l'effet du barrage lorsque le niveau du réservoir vient à baisser par suite d'une grande sécheresse et d'augmenter le débit dans les turbines.

Chambres de mise en charge. — Deux chambres de mise en charge servent pour le départ de l'eau dans les conduites forcées. Toutes les deux peuvent communiquer avec le réservoir, mais une seule est alimentée par le canal au moyen du by-pass. Ces chambres sont munies de vannes qui permettent de les isoler du réservoir ou du by-pass ; des grilles circulaires, formant bouchons, sont placées au fond des deux chambres au-dessus des orifices de départ des conduites sous pression.

Conduites forcées. — L'eau, à sa sortie des chambres de tête, traverse deux conduites en tunnels de 110 mètres de longueur et 2^m,20 de diamètre, établies pour supporter une pression de 14 mètres d'eau. On a pratiqué un rembourrage entre la maçonnerie du tunnel et le rocher, à l'aide de ciment pur injecté à la manière ordinaire à 8 kilogrammes de pression.

Les conduites forcées qui font suite aux tunnels de tête ont été raccordées avec ceux-ci au moyen d'un masque en tôle d'acier, ancré tout autour dans le rocher jusqu'à 0^m,50 et maintenu par devant par une épaisseur de maçonnerie de 5 mètres. La tôle des conduites a 10 millimètres d'épaisseur et le diamètre de celles-ci est de 2^m,20 ; leur longueur n'est que de 21 mètres. La vitesse de l'eau n'y dépasse pas 2 mètres et la perte de charge est inférieure à 1 0/0.

TURBINES. — Les turbines principales, au nombre de quatre, et celles des excitatrices, sont à axe horizontal et du type Francis, à réaction. Elles sont munies d'un volant qui sert en même temps de manchon d'accouplement. Les grosses unités donnent 1.250 HP sous 30 mètres de chute et en absorbant 4 mètres cubes, 1.000 HP sous 25 mètres et 700 HP sous 20 mètres (la hauteur de chute étant variable suivant le niveau de l'eau dans le réservoir).

Chaque turbine des alternateurs est munie d'un régulateur servomoteur hydraulique du type Escher-Wyss, les turbines étant des mêmes constructeurs.

ALTERNATEURS. — Les alternateurs qui tournent à la vitesse de 215 tours par minute sont du type à induit fixe et inducteur tournant pouvant donner 900 kilowatts avec $\cos \varphi = 0,75$, en produisant du courant triphasé à 11.000 volts. L'intensité normale est de 47,5 ampères et la fréquence 50. Ces alternateurs sont du type Alioth, avec encoches demi-fermées. Les trois phases pour chaque machine sont connectées en étoile et l'enroulement est du type à trois étages de bobines avec coupure, ce qui permet de démonter facilement l'induit en deux parties. Aux essais, les alternateurs ont donné les rendements suivants :

Charge	1/4	1/2	3/4	4/4	5/4
$\cos \varphi = 1$	86,5	92,5	94	95	95,5
$\cos \varphi = 0,75$	82,5	89,5	92	94	93,5

A pleine charge les chutes de tension ont été de 4 0/0 pour $\cos \varphi = 1$ et de 16,5 0/0 pour $\cos \varphi = 0,75$.

Les excitatrices, qui sont au nombre de deux, peuvent donner chacune 40 kilowatts sous 150 volts en tournant à 600 tours. Le courant de ces machines sert aussi à l'éclairage de l'usine.

USINE GÉNÉRATRICE. — Au rez-de-chaussée des bâtiments composant l'usine sont installés les trois groupes turbines-alternateurs, ainsi que les

excitatrices et leurs turbines. Une machine à vapeur de secours de 1.200 HP est attelée à un des alternateurs à l'aide d'un manchon d'accouplement Zodel, avec débrayage pour la turbine.

Le tableau de distribution complète l'aménagement de cette partie de l'usine. Dans le sous-sol voûté du bâtiment central se trouvent le collecteur des conduites forcées ainsi que les servo-moteurs des régulateurs.

Dans un bâtiment spécial on a disposé 9 transformateurs monophasés de 400 kilovolts-ampères à noyaux verticaux et refroidissement par ventilation forcée (un ventilateur pour chaque groupe de trois transformateurs). Ils sont connectés en étoile par série de trois formant un groupe triphasé de 1.200 kilovolts-ampères, pour lequel le rapport de transformation des tensions composées est de 11.000/22.000 volts. Les rendements de ces appareils ont été trouvés de : 0,981, 0,978, 0,976, 0,971 et 0,945 à 5/4, 1/1, 3/4, 1/2 et 1/4 de charge. A pleine charge les pertes étaient de 5.600 watts dans le fer et de 320 watts dans les enroulements à chaud.

LIGNES DE TRANSPORT D'ÉNERGIE. — De l'usine génératrice partent trois lignes à haute tension : une première ligne à 11.000 volts alimente Courpière et Thiers et autres localités (45 kilomètres), deux autres lignes à 20.000 volts desservent deux autres régions, parmi lesquelles la ville de Vichy (70 kilomètres). Elles sont montées presque entièrement sur des poteaux en bois ; leur portée moyenne est de 30 mètres avec flèche de 0^m,40 pour une température de 15°. En dessous des lignes à haute tension est montée la ligne téléphonique avec croisements tous les 200 mètres. Dans la salle des transformateurs sont installés deux groupes de parafoudres à jet d'eau pour la décharge des lignes, deux groupes de parafoudres à rouleaux de la société Alioth employés comme limiteurs de tension, puis deux groupes de parafoudres à cornes multiples de la Manufacture parisienne d'appareillage électrique pour préserver l'installation contre les coups de foudre et les très fortes surtensions. En série sur ces derniers, sont disposées des résistances liquides. Enfin entre les groupes de parafoudres sont branchées de fortes bobines de self.

Le réseau à haute tension qui relie les différents postes de transformation répartis dans la ville de Thiers est entièrement souterrain et à la tension de 11.000 volts. Les câbles armés, fournis par la maison Berthoud-Borel, sont formés de trois conducteurs tordus, isolés entre eux et par rapport à la terre par une épaisseur de 9 millimètres de cellulose imprégnée d'une matière spéciale.

Le réseau à basse tension de Thiers, entièrement aérien, fonctionne à la tension de 215 volts composés, avec fil neutre pour permettre l'utilisation pour l'éclairage de la tension étoilée de 125 volts.

Le courant de la ligne à 20.000 volts est transformé à 5.000 volts à

l'usine à gaz de Cusset qui dessert la ville de Vichy, sous une tension de 5.000 volts. L'usine hydroélectrique de Sauviat et toutes ses installations sont exploitées par la Société des forces motrices d'Auvergne.

332. Usines de Paderno et du Brembo (Italie) (chute, 30 mètres).

— AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — La force motrice de l'usine de Paderno provient de la rivière l'Adda à l'aide d'un barrage établi près du gigantesque pont de Paderno et d'Adda ; le déversoir a été construit de telle façon que la lame déversante est rencontrée dans son parcours par l'eau s'échappant d'ouvertures pratiquées dans le corps du barrage, pour que ces deux courants jouent le rôle d'amortisseur, annulant la force vive de l'une par celle de l'autre. Les eaux retenues par le barrage suivent un canal de dérivation avec une pente de 2 0/0 ; son débit est de 52 mètres cubes par seconde et sa longueur de 2^{km},5. Le canal est bâti partie en tranchée, partie en tunnel, et aboutit à un point où la vallée s'ouvre de la façon la plus opportune pour recevoir une station génératrice. Pour régler le débit, il se trouve, le long du canal, sept déversoirs. D'autre part, la dérivation sert de canal de navigation pour éviter les rapides de l'Adda.

Le bassin de prise d'eau est construit en béton et se trouve sur une colline au bord de l'Adda, et à côté de ce bassin est accolé un déversoir.

TURBINES. — Les turbines sont du côté de la décharge de l'eau, de manière qu'une simple paroi étanche garantisse les alternateurs et les conducteurs électriques contre tout épanchement intempestif ; elles sont au nombre de 7, tournant à 180 tours et d'une puissance individuelle de 2.160 HP. Elles sortent des ateliers de la maison Riva, Monneret et C^{ie}, et sont formées de deux turbines jumelles à arbre horizontal, à introduction extérieure radiale et évacuation d'eau axiale commune. Le réglage est fait au moyen d'une couronne à aubages qui peut se déplacer concentriquement entre le distributeur et le récepteur. La manœuvre se fait au moyen d'un levier et d'un servo-moteur de la maison Ganz et C^{ie}.

ALTERNATEURS. — Ils fonctionnent à la tension de 13.500 volts, 42 périodes ; ils sont du type triphasé, à induit fixe, tournant à 180 tours et d'une puissance unitaire de 2.160 HP. L'inducteur mobile porte 28 pôles avec enroulement formé de bandes de cuivre. Ils sortent des ateliers Brown-Boveri. Chaque excitatrice a une puissance de 38 kilowatts, du type à 6 pôles avec induit en tambour en série.

La ligne triphasée, à 13.500 volts, est supportée par des poteaux métalliques jumelés avec grandes portées.

La puissance de la station de Paderno fut d'abord destinée seulement aux besoins d'énergie de Milan ; puis, plus tard, elle fut employée à l'éclairage et à la distribution de force motrice de la ville de Monza, située à



14 kilomètres de Milan. Mais cette puissance fut bientôt absorbée, et on y suppléa en créant l'installation du Brembo.

Le Brembo est une rivière qui a sa source dans les Préalpes ; elle a été barrée par une digue et l'eau captée est conduite au bassin de charge par un canal ouvert. De là les conduites sous pression descendent à la station génératrice, où sont alignés quatre groupes générateurs de 2.000 kilowatts chacun, tournant à 315 tours.

Les supports de la ligne triphasée sont du *type élastique*, qui a permis d'atteindre des portées de 280 mètres. Cette ligne amène l'énergie du Brembo jusqu'auprès de Monza, où elle alimente, au moyen d'un anneau de 30 kilomètres de périphérie, une des régions les plus peuplées d'Europe, la Brianza. La demande d'énergie de Milan, de Monza et de leurs environs ne faisant que croître, on a procédé à la construction de deux autres installations hydroélectriques : la première sur le Tessin, à Vigevano, utilise une chute de 18 mètres avec un débit de 30 mètres cubes (ligne à 25.000 volts) ; la seconde, celle de Trezzo sur l'Adda, n'a que 12.000 volts, mais directement engendrés et envoyés sur la ligne.

Ces deux usines appartiennent à la Società generale italiana Edison di Eletticità, de Milan.

333. Usine de la Valteline (Italie) (chute, 30 mètres). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — *Barrage.* — Le barrage de retenue des eaux de l'Adda sur laquelle est prise la force qui alimente l'usine de la Valteline, est composé de vannes pour l'évacuation des apports, qui sont considérables à l'époque des fortes crues.

Prise d'eau. — La prise d'eau est constituée par deux orifices, à travers lesquels l'eau s'écoule dans un canal d'amenée à ciel ouvert de 1.900 mètres de longueur, pour passer ensuite dans un tunnel de 2.900 mètres en partie maçonné et en partie ménagé dans les rochers. La conduite libre, à la pente de 1 0/0, aboutit à un bassin à son extrémité aval.

A 900 mètres de la tête amont du canal, on a aménagé un premier déversoir pour évacuer les sables et les cailloux amenés par les eaux, et, à la tête aval, il y a un second déversoir destiné à l'écoulement des eaux emmagasinées pendant la période de faible charge de l'usine. Chacun de ces déversoirs peut faire écouler 25 mètres cubes d'eau par seconde. Un troisième déversoir se trouve situé entre le dernier et l'avant-dernier tunnel.

Chambre de décantation. — Dans le dernier tunnel, le canal s'élargit, formant une chambre de décantation de 7 mètres sur 25 mètres, ayant 5 mètres de profondeur ; la vitesse de l'eau y est réduite de 2^m,50 à 0^m,70 par seconde. Les apports des eaux s'y arrêtent et peuvent être évacués à travers des vannes de chasse ménagées dans la paroi de la chambre de

décantation. Les eaux de décharge sont restituées à l'Adda par une galerie de 100 mètres de longueur et 20 mètres de largeur.

Conduite forcée. — Cette chambre d'eau est le point de départ de la conduite forcée, composée de deux lignes de tuyaux de 2^m,50 de diamètre sur 68 mètres de longueur, inclinés à 45° et aboutissant à leur extrémité aval à la station centrale. La canalisation est en tôle d'acier assemblée au moyen de rivets ; chaque ligne de tuyaux se partage dans la salle des machines en deux parties aboutissant à une des turbines dont nous parlons ci-après.

TURBINES. — La rivière l'Adda, qui fournit l'énergie, a une chute de 30 mètres pour une longueur de 5 kilomètres, avec un débit minimum de 25 mètres cubes. L'énergie minima disponible est de 7.000 HP.

L'usine dispose de quatre turbines à réaction de 2.000 HP effectifs, type Francis, tournant à 150 tours ; chacune d'elles peut être indépendamment mise hors service par une vanne d'arrêt ménagée dans le tuyau d'amenée.

Vannage. — L'admission de l'eau est gouvernée par des ailes réglables du genre Finck ; le servo-moteur des turbines est actionné par de l'huile comprimée à 10 atmosphères, dans un accumulateur, au moyen d'une pompe commandée par chacune des turbines.

ALTERNATEURS. — Les génératrices, qui sont directement accouplées aux turbines, proviennent de la maison Schuckert et C^{ie}. Elles produisent le courant à 20.000 volts, 15 périodes et absorbent 1.560 HP à la charge normale de 1.050 kilowatts sur un circuit extérieur ayant un facteur de puissance de 0,70. La baisse de tension entre machine à vide et à pleine charge ne dépasse pas 15 0/0, tandis qu'en élevant momentanément la charge, la tension ne croît que de 10 0/0. En court-circuit, les génératrices supportent six fois l'intensité du courant.

Le courant primaire à 20.000 volts, triphasé, est amené par la ligne à haute tension aux sous-stations de transformateurs réparties le long de la ligne et qui contiennent chacune un transformateur statique de 300 kilovolts-ampères avec ventilateur électrique pour son refroidissement ; le rapport de transformation est de 6 à 1, et ces transformateurs peuvent supporter une surcharge momentanée de 4 à 5 fois la charge normale.

L'installation permet, en marche normale, la mise en parallèle de toutes les sous-stations, et, en cas d'accident, la mise hors circuit d'une station quelconque.

EXPLOITATION. — La chute de l'Adda a été aménagée en vue de l'exploitation d'une ligne de chemin de fer à traction électrique qui suit la vallée de l'Adda et le bord du lac de Côme et dont le parcours est de 106 kilomètres. Nous renseignons sur cette ligne dans le tome III de cet ouvrage.

334. Usine de Saint-Maurice (Suisse) (*chute, 32 mètres*). — **AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES.** — Ce transport, qui a une tension de 27.000 volts et 56 kilomètres de longueur, est effectué au moyen du courant continu et par application du système Thury. La chute utilisée est située sur le Rhône, un peu en amont du village de Saint-Maurice.

Barrage. — Le barrage, d'une longueur de 91^m,20, est mobile, et un déversoir fixe permet l'écoulement des eaux et des corps flottants à une cote déterminée, sans que l'on ait besoin de faire fonctionner la partie mobile du barrage. Cet ouvrage est constitué par trois travées ; la travée de la rive droite forme le débouché du canal d'amenée, et celle de gauche le déversoir. La travée centrale laisse entièrement libre le lit du fleuve.

Canal d'amenée. — Le canal d'amenée, qui prend l'eau à la cote 448, en amont des rapides du Bois-Noir, a une longueur de 3.300 mètres, et la chute utilisable est de 32 mètres en été et 34 en hiver. Elle est capable, en basses eaux, où le débit est de 45 mètres cubes, de fournir 15.000 HP.

La partie supérieure du canal d'amenée se termine par un bassin de dépôt avec vannes de chasse et la partie à la suite aboutit à la chambre de mise en charge, qui sert à la fois de bassin régulateur et de clarification. Sa capacité est de 14.000 mètres cubes.

La conduite métallique de l'eau en pression a 2^m,70 de diamètre, 500 mètres de longueur et possède trois reniflards sur son parcours.

TURBINES. — L'usine possède six turbines de 1.000 HP, sortant des ateliers de la maison Escher-Wyss, du type Francis, à axe horizontal, tournant à 300 tours et disposées à 6^m,50 du niveau de l'eau dans le canal de fuite, des tuyaux d'aspiration permettant d'utiliser toute la hauteur de la chute entre les biefs amont et aval. Il y a, en outre, deux turbines de 150 HP tournant à 750 tours.

Les six grandes turbines fonctionnent à vitesses variables. La vitesse est commandée par le régulateur qui agit, par un arbre général, sur le servo-moteur à huile de chaque turbine. Les deux turbines de 150 HP marchent à vitesse constante ; elles commandent chacune, par l'intermédiaire d'un manchon élastique, un alternateur triphasé produisant du courant à 3.000 volts, 50 périodes. Cette énergie est destinée, après abaissement de la tension de 3.000 à 325 volts, à l'éclairage de Saint-Maurice, ville située à 3 kilomètres de l'usine.

USINE GÉNÉRATRICE. — La (figure 860) montre les connexions du matériel électrique de l'usine. Les dynamos sont à 6 pôles. Toute la couronne inductrice repose sur le bâti sans isolement intermédiaire. Chaque dynamo elle-même repose tout entière sur des isolateurs à double cloche scellés dans le béton d'asphalte du sol de l'usine. L'enroulement série, en tambour, est réparti en six circuits, montés en parallèle. Le collecteur porte quatre rangées de cinq balais en charbon et le nombre des lamelles est

de 570. L'unique appareil de manœuvre est un interrupteur de court-circuit renfermé dans une colonne en fonte. A l'arrêt d'un groupe, cet interrupteur met en court-circuit, d'une part la ligne, et de l'autre le groupe. La vitesse variant avec la charge, le réglage en est assuré automatiquement par un régulateur d'intensité qui agit par une transmission sur le servo-moteur des turbines.

L'arrêt d'un groupe se fait en fermant la turbine, qui s'arrête et part en sens contraire par la dynamo fonctionnant comme moteur. L'interrupteur automatique met alors la dynamo en court-circuit.

Lorsque la tension d'un groupe descend au-dessous de 1.500 à 2.000 volts, on le retire de la ligne.

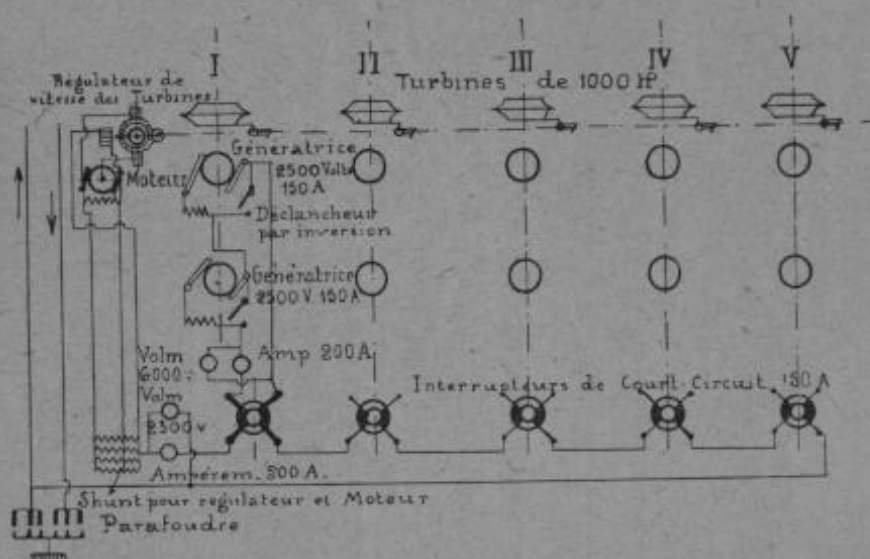


FIG. 860.

LIGNE DE TRANSPORT D'ÉNERGIE. — La ligne de transport de Saint-Maurice à Lausanne est constituée par un circuit unique, soit deux conducteurs en cuivre de 150 millimètres carrés de section totale ; à l'usine, ces câbles (pour 2.500 volts) sont posés dans des tubes en grès vitrifié qui sont eux-mêmes encastrés dans le béton d'asphalte. Chaque pôle est muni d'un poste de parafoudre se composant de trois parafoudres à bras en parallèle et d'un parafoudre à poudre. La perte en ligne est de moins de 10 0/0 ; la longueur en est de 58 kilomètres. Des expériences ont permis de constater que l'on pouvait marcher, en cas de nécessité, avec un seul fil de ligne, le retour se faisant par la terre ⁽¹⁾. Les isolateurs sont à quatre cloches et fixés sur des poteaux en bois.

⁽¹⁾ Les avantages du retour par la terre sont : qu'en cas d'orage, une ligne devenant mauvaise, on peut continuer à marcher avec un conducteur ; que la distance de transport peut être doublée en admettant la même perte d'énergie et que la réserve en machine à vapeur devient ainsi à peu près superflue.

USINE RÉCEPTRICE. — L'usine réceptrice comporte actuellement trois groupes de transformateurs rotatifs composés chacun d'un moteur à courant continu haute tension, système Thury, d'un alternateur triphasé (celui-ci peut être réuni à une machine à vapeur en cas d'accident à la ligne). Les alternateurs développent 50 ampères sous 3.100 volts à 50 périodes.

Les moteurs à courant continu ont une puissance de 400 HP ; ils absorbent 2.100 volts à 150 ampères et à 300 tours. Pour maintenir la vitesse constante, on emploie un régulateur à asservissement mécanique, qui fonctionne comme un régulateur de machine à vapeur ou de turbine. Ce régulateur est combiné avec un décalage automatique des balais, et chaque moteur a son tableau spécial de mise en marche, d'ailleurs très simplifié comme manœuvre.

335. Usine de Trollhätan (Suède) (chute, 32 mètres). — **AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES.** — L'État suédois est maintenant propriétaire de presque toutes les riverainetés de la rivière Göta, laquelle débouche du grand lac Venern, le plus important de la Suède et le troisième en étendue des lacs d'Europe. La surface du bassin du lac Venern est de 5.370 kilomètres carrés et son niveau moyen est à 42 mètres au-dessus du niveau de la mer. Les principales chutes de la rivière Göta sont celles de Vargœ-Falls (chute de l'île des Loups), près du lac Venern, et les rapides de Lilla Edet, au-dessous de Trollhätan. La décharge minima du lac Venern est d'environ 320 mètres cubes par seconde et celle maxima de 900 mètres cubes.

Barrage. — L'usine de Trollhätan, édifée aux frais de l'État, utilise actuellement un débit de 250 mètres cubes correspondant à une puissance de 80.000 HP. L'installation, commencée en 1906, a été terminée dans le courant de l'année 1910. Le barrage est constitué par quatre ouvertures ou écluses dont trois ont 20 mètres de largeur chacune et l'autre 3 mètres. Deux des écluses de 20 mètres sont fermées par barrages roulants de 3^m,60 de diamètre, et les autres par des vannes glissantes. Toutes les parties mobiles du barrage peuvent être manœuvrées électriquement ou à la main. Au moment des débâcles de glaces, les barrages roulants peuvent, en moins de cinq minutes, être complètement levés, et laisser un passage libre de 40 mètres. Les vannes sont disposées en deux parties, l'une au-dessus de l'autre, glissant dans des rainures différentes ; en baissant la plus élevée derrière l'autre, les eaux chargées de glaçons sont écou-lées avec le minimum de perte d'eau.

Canal d'amenée. — Cet ouvrage, entièrement foncé dans le roc, a 1.300 mètres de longueur. L'entrée du canal comporte six ouvertures de chacune 12 mètres de largeur, séparées par des piliers en maçonnerie, qui peuvent être fermées par des vannes glissantes en bois, en cas de répara-

tion ou d'inspection. Ces ouvertures peuvent aussi recevoir des barrières à écran supportées par les mêmes poutres que les vannes glissantes. Ces barrières-écrans ont été prévues pour arrêter les troncs d'arbres ou les glaces flottantes qui pourraient échapper à l'action du flotteur de bois disposé en avant des ouvrages ei-avant et plongeant de 90 centimètres de profondeur au-dessous de la surface de l'eau.

Les ouvrages principaux de la prise d'eau sont établis pour un débit de 350 mètres cubes, mais le canal, actuellement construit, l'est pour une dépense d'eau de 250 mètres cubes. En prévision de l'établissement d'un autre canal pour les 100 mètres cubes excédents, on a édifié à la future jonction des deux canaux une vanne Stoney de 17 mètres de large et 9 mètres de haut, pesant 65 tonnes.

La section d'écoulement de l'eau du canal n'est pas uniforme. D'une façon générale, la largeur au fond du canal est de 14 mètres et la profondeur d'eau 7^m,70. Aux endroits où l'espace utile n'a pu permettre de conserver ces dimensions, la largeur au fond a été ramenée à 10^m,50 et la profondeur est relevée à 10 mètres.

La vitesse de l'eau est de 2^m,20 à la seconde. Les parois du canal ont reçu un béton en ciment et dans les parties étroites de cet ouvrage, où les murs sont très hauts, on a fait le revêtement au moyen de treillis de fer baigné dans le ciment. Les murs en béton sont munis de joints d'expansion à intervalles d'environ 10 mètres. Des drainages assurent l'assèchement de ces murs.

Bassin de charge. — Les déversoirs de cet ouvrage, établis sur une longueur de 72 mètres, permettent, avec une hauteur d'eau de 1^m,60 sur la crête, d'écouler toute l'eau du canal, si un accident venait à se produire soudainement. En outre, deux vannes pour le passage des glaces sont aménagées à chacune des extrémités du bassin. Celui-ci comporte autant de compartiments qu'il y a de turbines à alimenter et l'eau arrive à celles-ci par l'intermédiaire de conduites forcées. Chacune de ces chambres possède sa vanne de tête et son écran à glace. Ces vannes, qui ont 8 mètres de largeur, sont mues électriquement et la vitesse de l'eau à travers les écrans à glace est d'environ 0^m,70 à la seconde. Enfin une échelle à poissons complète l'aménagement du bassin de charge et de distribution.

Les conduites forcées sont au nombre de onze, dont huit de 4^m,25 de diamètre et trois de 1^m,20 de diamètre. Ces conduites sont placées dans des tunnels taillés à même le roc et revêtus d'un béton de ciment. La longueur de chaque canalisation métallique est de 60 mètres.

TURBINES. — Les récepteurs hydrauliques, à axes horizontaux, sont reliés directement aux génératrices d'électricité. Les grosses unités développent normalement 10.000 HP, mais peuvent donner 12.500 HP. Elles sont du type jumelé et leur vitesse est de 187 tours à la minute.

Chaque turbine est gouvernée par un servo-moteur distinct. Deux de ces turbines ont été fournies par la maison Nydquist et Holm, de Trollhåtan et les autres par les établissements Karlstad's Mechanical Works, de Kristinehamn.

ALTERNATEURS. — Ces machines fournissent du courant triphasé, 25 périodes, 10.000 volts. L'air froid destiné à leur refroidissement est amené par des conduits qui passent à travers les murs de l'usine et sous les planchers, et l'air chauffé, qui est rejeté des alternateurs, est employé, en hiver, pour le chauffage des bâtiments. La puissance individuelle des alternateurs est la même que celle des turbines qui les actionnent.

LIGNES DE TRANSPORT DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE (50.000 volts). — Les câbles partant de l'usine génératrice passent dans un tunnel aménagé spécialement à cet effet et aboutissent à un bâtiment placé à environ 200 mètres de l'usine, lequel contient les transformateurs élévateurs et tout l'équipement électrique nécessaire pour la distribution de l'énergie électrique.

La ville de Trollhåtan et les districts environnants sont alimentés avec le courant direct des génératrices passant dans des transformateurs abaisseurs aux lieux d'utilisation.

La ligne de transport a une tension de 50.000 volts ; elle est supportée par des pylônes en fer reposant dans des fondations de béton.

L'énergie électrique, à part la portion réservée pour l'électrification des chemins de fer, est vendue aux municipalités et aux particuliers. L'État, propriétaire de l'usine de Trollhåtan, a passé des contrats avec les villes de Gothenburg, de Skara, de Sköfde, d'Alsingsås, etc., et avec un certain nombre d'établissements industriels privés.

Les alternateurs et la presque généralité de l'équipement électrique ont été fournis et installés par les établissements Almæna Svenska Elektriska Aktiebolaget Vesterås.

On estime la dépense totale à 16 millions de francs, soit 200 francs le cheval, pour 80.000 HP installés. Étant donnés le faible prix et la facilité qu'a l'État suédois, détenteur de l'argent à un bas taux d'intérêt, l'énergie électrique est livrée à l'industrie et aux particuliers à des prix exceptionnellement avantageux.

336. Usine de la Vézère (Limoges) (chute, 43 mètres). — Près de Saillant, au pied du saut du Saumon, où est installée l'usine de la Vézère, destinée à l'alimentation en énergie électrique de la ville de Limoges située à 80 kilomètres, la Vézère forme des rapides propices pour la création d'une chute. La dérivation d'eau a été effectuée à l'aide d'un canal de 1.200 mètres de longueur, large de 4 mètres et profond de 2 mètres, aboutissant à une chambre d'eau de laquelle partent les conduites forcées métalliques de 1^m,50 de diamètre.

On a installé trois turbines Escher-Wyss de 600 HP chacune et deux de 100 HP. Les premières débitent 1.400 litres à la seconde et tournent à 300 tours ; elles ont 1^m,100 de diamètre. Les secondes ont pour caractéristiques : 235 litres, 600 tours et 0^m,600 de diamètre. Elles travaillent sous une hauteur de chute de 43 mètres.

Les grosses unités sont accouplées directement à des alternateurs fournissant 36,6 ampères sous 8.000 volts, construits par la maison Siemens et Halske. Les petites unités conduisent des dynamos servant à l'excitation des alternateurs, à l'éclairage et aux moteurs électriques de l'usine ⁽¹⁾.

Le courant triphasé produit par les alternateurs passe dans des transformateurs monophasés de 500 kilowatts chacun, couplés par trois, qui élèvent la tension à 20.000 volts. Ils sont refroidis par le courant d'air d'un ventilateur.

La station réceptrice est à Limoges même où le courant de ligne est abaissé à 3.000 volts, au moyen de transformateurs statiques. Les canalisations dans la ville sont effectuées à l'aide de câbles armés souterrains. Trois machines à vapeur accouplées à des dynamos permettent de marcher en parallèle avec la station de Saillant ou de servir de secours le cas échéant.

337. Usine de Massaboden (Suisse) (chute, 43^m,20). AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — L'usine de Massaboden, qui fournit le courant électrique pour le service de la traction du tunnel du Simplon, utilise la puissance disponible du Rhône, à une demi-heure de l'usine de Brigue (fig. 861).

Prise d'eau. — Elle est établie à Morél et l'eau est conduite par un canal en ciment armé, long de 3.000 mètres, dans un réservoir de 8.000 mètres cubes de capacité.

De là, un tunnel sous pression de 220 mètres de longueur et 6^m3,5 de section, amène l'eau à un château d'eau.

Conduite forcée. — La tuyauterie constituant la canalisation sous pression est en tôle rivée de 2 mètres de diamètre intérieur et de 75 mètres de longueur. Une vanne à papillon placée sur le collecteur permet d'isoler ce dernier de la conduite. Le tuyau de distribution est raccordé à chaque turbine par un coude en tôle rivée de 1^m,25 de diamètre et de 9^m,20 de longueur ; le tronçon est pourvu d'une vanne d'entrée à tiroir du même diamètre. Les vannes peuvent être manœuvrées soit à la main, soit électriquement depuis le tableau, soit enfin automatiquement par la turbine elle-même, et, dans ce dernier cas, au moyen d'un tachymètre de sûreté à

⁽¹⁾ Cette usine a actuellement une puissance hydraulique de 4.000 chevaux et une usine thermique à vapeur de 4.000 chevaux aussi.

contact électrique monté en bout d'arbre de la turbine. La chute nette moyenne est de 43^m,20.

TURBINES. — Ces machines sont actuellement au nombre de trois : deux de 3.500 HP fournissant l'énergie pour le Simplon et une de 2.000 HP destinée à alimenter d'énergie la Société des produits de la Lonza. La dis-

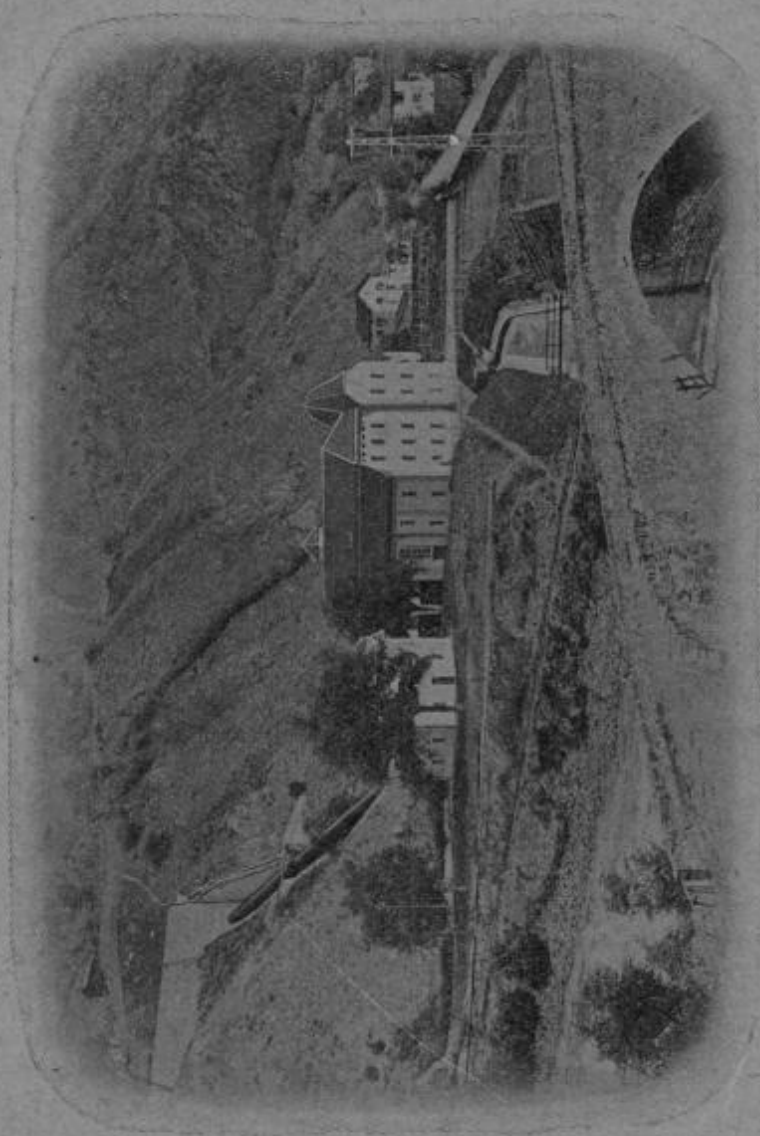


FIG. 861. — Vue générale de l'usine hydroélectrique de Massaboden (Suisse).

position adoptée pour ces groupes est celle à trois paliers, dont la turbine ne possède qu'un seul, soit le palier extérieur qui forme en même temps palier de butée.

Les turbines sont du type Francis double à axe horizontal (*fig.* 862) avec deux tuyaux d'aspiration et munies de régulateur à huile sous pression. Les turbines de 3.500 HP tournent à 500 tours-minute sous un débit de 7 mètres cubes.

Leur rendement constaté a été de 0,77 à pleine charge, 0,81 à $\frac{3}{4}$ de charge et 0,78 à demi-charge.

L'inertie de la masse tournante (PD_2) a été reconnue de 43.000 kilo-

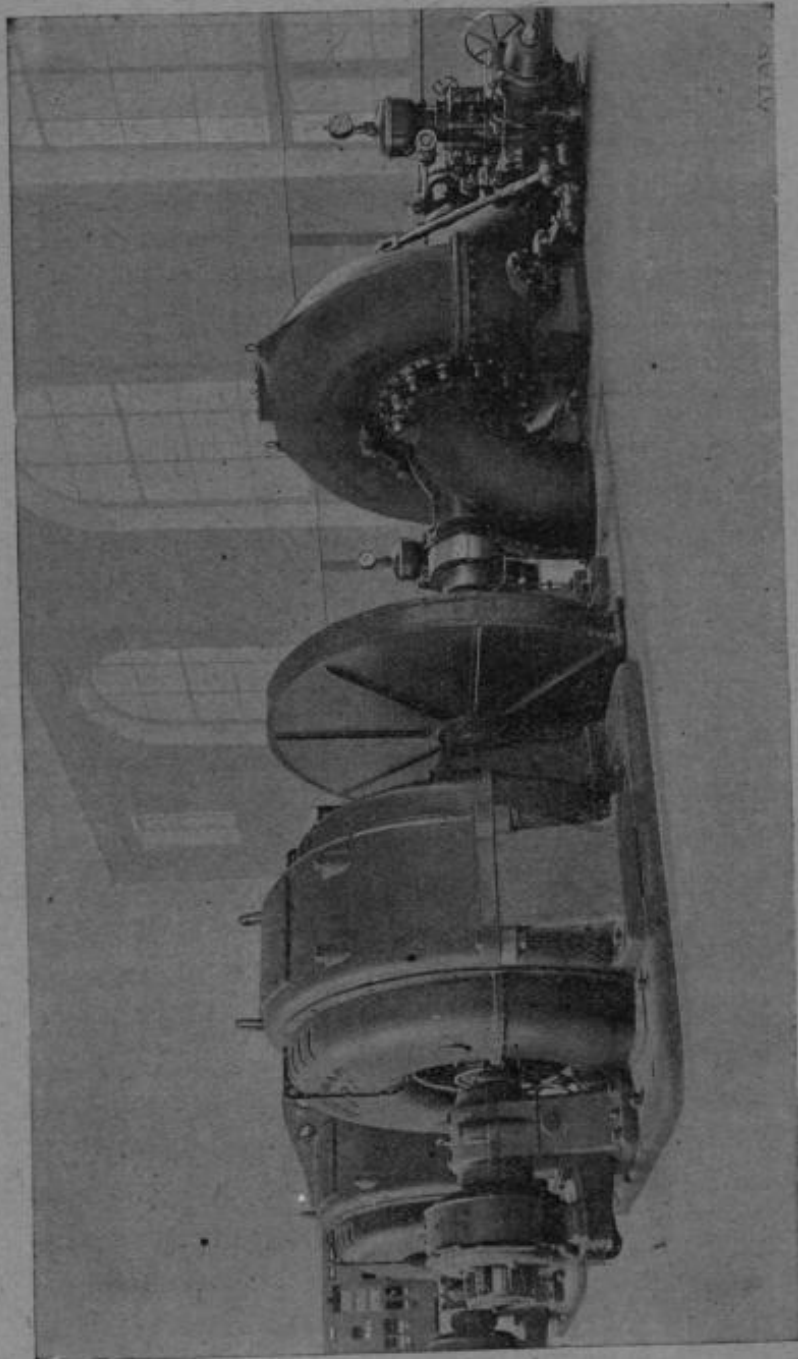


FIG. 862. — Groupe hydroélectrique de 3.500 chevaux de l'usine de Massaboden (Piccard et Pictet).

grammètres carrés et la surpression lors de décharges totales et simultanées de deux turbines, dans la conduite, n'a pas dépassé 60 mètres.

Le vannage des turbines possède 12 aubes mobiles en acier coulé, dont les surfaces sont entièrement polies pour diminuer les pertes de charges. Les aubes sont portées par des tourillons venus de fonderie, qui se

meuvent dans des boîtes en bronze à graissage forcé, dont les graisseurs sont munis d'un dispositif qui les soustrait à la pression d'eau. Les leviers de toutes les aubes sont mis simultanément en mouvement lors de l'ouverture de la turbine par le cercle de vannage qui agit directement sur chacune d'elles ; lors de la fermeture, ce cercle n'agit plus directement sur les leviers, mais par l'intermédiaire de ressorts de sécurité intercalés entre lui et les leviers de chaque aube. Grâce à cette disposition, il est impossible qu'une aube soit faussée ou brisée. D'autre part, on peut, à chaque instant, contrôler la position des aubes et, s'il y a lieu, intervenir de suite pour dégager celle qu'une obstruction momentanée empêche de fonctionner, ce qu'on peut constater par la compression des ressorts.

Le régulateur comprend sa pompe à huile, une colonne de réglage renfermant le tachymètre, le distributeur, le dispositif d'asservissement, la soupape de sûreté et de mise en marche, enfin son servo-moteur avec son réglage à main et le réservoir d'huile portant tout le régulateur.

La pompe à huile est du type rotatif à pistons multiples.

Les turbines et les régulateurs sortent des ateliers de la société Piccard, Pictet et C^{ie} et les alternateurs, de la maison Brown, Boverie, à Baden.

338. Usine de Truscas (Hérault) (*chute, 48 mètres*). — Cette usine est située dans les derniers contreforts des Cévennes dans la vallée de l'Orb à la cote 534 mètres. Elle appartient à la Société biterroise de Force et de Lumière.

AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — La particularité de cette installation est que les ouvrages sont très distants les uns des autres et que les canaux divers, viaducs, bassins et chambre d'eau qui sont à l'air libre, constituent une série de vases communicants, de sorte que la conduite forcée seule est en charge (*fig. 863*).

Le canal de prise d'eau à la suite du barrage est à ciel ouvert ; il a une longueur d'environ 300 mètres et est muni d'un déversoir. Le premier tunnel qui lui fait suite a une longueur de 1 kilomètre ; il est coupé par un viaduc qui aboutit au bassin dit de Paroujo constitué par un simple mur fermant une vallée avec canal intérieur et un jeu de vannes en aval et en amont permettant d'isoler ou non le bassin.

De ce dernier part un second tunnel, d'une longueur de 500 mètres qui aboutit à la chambre d'eau où se trouvent les grilles de nettoyage et le départ de la conduite forcée qui a une longueur de 600 mètres, un diamètre de 1^m,50. Le tunnel a une section de 2^m × 2^m.

Il permet de débiter 2.000 litres à la seconde, soit d'alimenter deux groupes générateurs. Le bassin accumulateur permet, par un dénivellement de 3^m,50, de produire 3.300 chevaux-heures. Il a pour but prin-

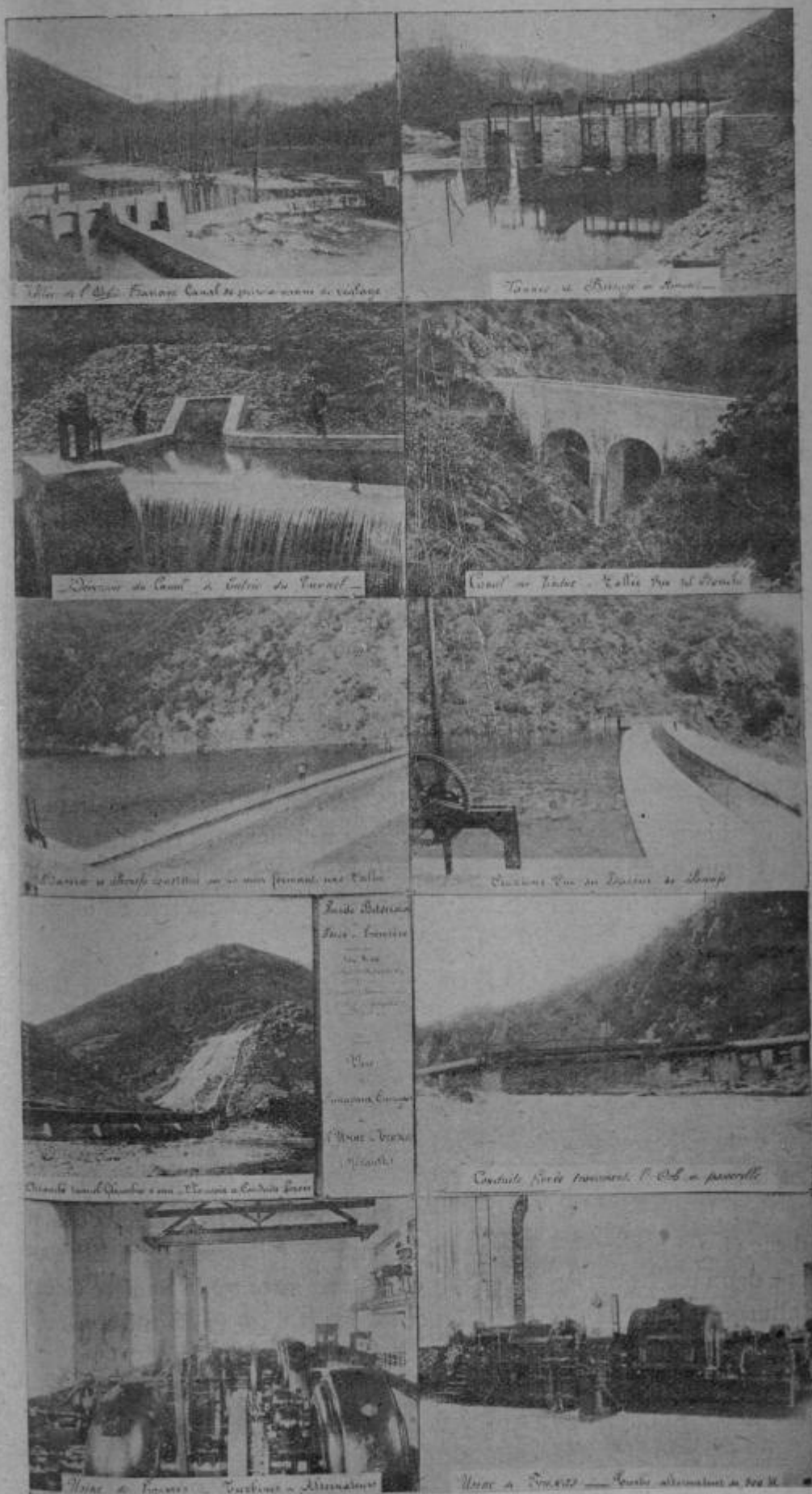


FIG. 863. — Usine de Truscas. — Ensemble des travaux d'aménagement.

cipal d'alimenter le troisième groupe générateur pour passer les pointes.

TURBINES. — Elles sont au nombre de trois, de 500 chevaux chacune, accouplées directement à des alternateurs de 350 kilowatts, qui fournissent un courant triphasé de 1.500 volts, 50 périodes. Ce courant est élevé, par des transformateurs secs à ventilation forcée, à la tension de 16.000 volts, qui est celle de la distribution.

Le matériel hydraulique a été fourni par la maison Neyret Brenier et le matériel électrique par la Société Alioth.

EXPLOITATION. — La Société biterroise de Force et de Lumière dessert 69 communes du département de l'Hérault par 300 kilomètres de lignes à 16.000 volts et 64 kilomètres de lignes à 32.000 volts, cette dernière entre Béziers et Cette. Les recettes de la Société biterroise atteignent près de 1 million de francs. Nous avons vu d'autre part que cette société a des relations étroites d'aide, de fourniture et d'appui mutuel avec la Société pyrénéenne d'Énergie électrique, avec la Société méridionale de Transport et de Force, avec le Sud Électrique et avec la Société des Forces motrices de l'Agout.

338 bis. Usines de la Praz (Savoie) (*chutes, 38 et 78 mètres*). — L'eau de la rivière l'Arc, sur laquelle est prise la force des usines de la Praz, est amenée pour la dérivation basse par un canal ouvert à la chambre de prise en charge, où aboutit une conduite en acier de 2 mètres de diamètre. La chute haute enjambe la rivière l'Arc sur une portée de 48 mètres, sans pont et sans appui intermédiaire, formant elle-même un pont. La dérivation est constituée au moyen d'un tunnel de 15.000 mètres de longueur établie sur la rive droite de la rivière.

La puissance utilisable atteint 14.000 HP. Les 27 génératrices à courant continu installées, du type Thury, produisent chacune 3.000 ampères sous 100 volts en tournant à 250 tours. Trois alternateurs de 4.000 ampères sous 110 volts, 33 périodes, et tournant à 250 tours, fournissent le courant pour des fours à acier.

Les dynamos sont employées à la fabrication de l'aluminium.

Les usines de la Praz possèdent, à côté de la salle des machines et des salles de fabrication pour l'électrometallurgie : une usine à électrodes, une fonderie et des ateliers d'apprêtage transformant l'aluminium. Elles possèdent deux cités ouvrières. Ces usines appartiennent à la Société électrometallurgique française, à Froges, dont le capital est de 25 millions.

339. Usines du Niagara (*chutes, 48 et 63 mètres*). — Le Niagara est à l'heure actuelle la reine des régions efficacement exploitées, sur un seul point, en tant que puissance fournie par l'eau captée. C'est là un de ces exemples montrant la prodigieuse activité déployée par les Américains

autour de ces fameuses chutes d'eau, naguère encore isolées dans un site sauvage, maintenant centre d'une fourmilière industrielle toujours grandissante.

La rivière le Niagara River sort du lac Érié et se jette dans le lac Ontario situé à une différence d'altitude de 100 mètres, formant deux cascades immenses séparées par la petite île d'Icic. La chute canadienne, appelée Fer-à-Cheval, a 915 mètres de largeur, 48 mètres de hauteur ; celle de la rive américaine, 330 mètres de longueur et 63 mètres de hauteur. La vitesse de l'eau, en amont des chutes, varie de 12 à 50 kilomètres à l'heure, suivant la largeur de la rivière. La pente est de 1 0/0 et le débit d'environ 8.330 mètres cubes à la seconde, ce qui correspond, avec les hauteurs de chute dont on dispose, à une puissance de plusieurs millions de chevaux-vapeur (environ 7.500.000 HP).

Par les soins de l'Administration et par une réserve appropriée, les célèbres chutes ont conservé un cadre de verdure en harmonie avec la beauté d'un spectacle incomparable. Un pont jeté sur l'île d'Icic relie les deux rives. On sait que le Niagara sert de déversoir aux grands lacs de l'Amérique, véritables mers intérieures, lacs Supérieur, Michigan et Huron qui communiquent entre eux et reliés au lac Érié par la rivière de Saint-Clair.

On compte actuellement aux chutes du Niagara, tant sur la rive canadienne que sur la rive américaine, plus de 600.000 HP hydrauliques aménagés et, par suite, utilisables. Sur la rive américaine, il y a 160.000 HP fournis par quatre usines appartenant à la Niagara Falls Power Co et Niagara Falls hydraulic Power and Manufacturing Co. Sur la rive canadienne on trouve trois grandes usines, l'une exploitée par la Compagnie Electrical Development, qui a une puissance de 110.000 HP ; la deuxième, appartenant à la Compagnie Ontario Power, atteint 180.000 HP, et enfin la troisième, qui est l'attribut de la Toronto and Niagara Falls Power, dispose d'une puissance de 143.000 HP.

C'est un revenu de près de 20 millions annuels que l'on tire ainsi de dénivellations opérées sur ces merveilleux déversoirs naturels.

La première usine hydroélectrique qui a été établie sur la rive américaine a été faite au moyen d'une tranchée de 6^m,40 de largeur sur 127^m,50 de longueur et 53^m,40 de profondeur (Pl. XIV). Cette méthode est d'ailleurs spéciale aux installations des chutes du Niagara, où l'on emploie de longs tunnels de décharge pour rejeter les eaux au fleuve en aval des chutes. Dans cette installation, il y a dix vannes de 2^m,25 de diamètre alimentant dix doubles turbines Fourneyron à réaction, de 5.000 HP chacune, étudiées par la maison Fresch et Picard, de Genève, et construites par la Compagnie Morris ; la chute est de 40^m,80, sous laquelle les turbines tournent à 250 tours. L'arbre de celle-ci, qui est creux et de 765 milli-

mètres de diamètre, mesure plus de 40 mètres de longueur, et la pression de l'eau, en s'exerçant sur la roue supérieure, équilibre le poids du système formé par les deux couronnes. Les alternateurs, dont le diamètre est de 3^m,50, ont leur couronne inductrice en acier au nickel.

L'autre usine, sur le côté opposé du canal, a des turbines du même type, à décharge intense, dont le rendement est supérieur à celui des turbines de la première installation. Il y a dans cette usine onze turbines de 5.500 HP chacune, provenant de la maison Escher-Wyss. Elles tournent à 250 tours, et les variations de vitesse ne dépassent pas 5 0/0 avec une variation de charge de 100 0/0. Les alternateurs sont à inducteurs internes tournants, en acier au nickel, et leur induit externe est fixe.

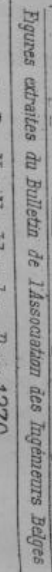
Le matériel du tableau de distribution, installé dans une seule galerie, est commandé électriquement par des commutateurs à huile du type de la General Electric Co. Il comprend onze panneaux pour les alternateurs, autant pour la commande des 22 feeders. Les excitatrices, d'une puissance unitaire de 150 kilowatts, sont à enroulement compound, 220 volts, et actionnées chacune par une turbine verticale tournant à 750 tours. Vingt transformateurs élévateurs de 1.250 HP de puissance servent à transformer le courant diphasé de 2.200 volts en courant triphasé à 22.000 volts. Quatorze transformateurs de 2.500 HP élèvent le courant à 11.000 volts et 22.000 volts, selon les besoins. Les lignes de transmission de la Niagara Falls Power Co comprennent quatre circuits avec deux séries distinctes de poteaux ; l'un de ces circuits alimente la ville de Buffalo, située à 36^{km},200.

L'usine hydroélectrique de la *Compagnie canadienne Niagara Power* est située juste au-dessus de celle de l'Ontario Power Co, placée à environ 450 mètres en arrière des chutes du Fer-à-Cheval. Elle est alimentée par un lac-réservoir, et un tunnel de décharge aboutit au pied des chutes. L'aménagement comporte un canal d'alimentation de 90 mètres de long sur 8^m,40 de large et d'une profondeur minima de 4^m,50. La tranchée des turbines a 170 mètres de longueur, 6^m,30 de largeur à une profondeur de 81 mètres. La longueur du tunnel est de 750 mètres ; les vannes ont 3 mètres d'ouverture, et les arbres, qui relient les turbines aux alternateurs, un diamètre de 1 mètre. Les turbines, d'une puissance unitaire de 10.000 HP, proviennent des ateliers Escher-Wyss.

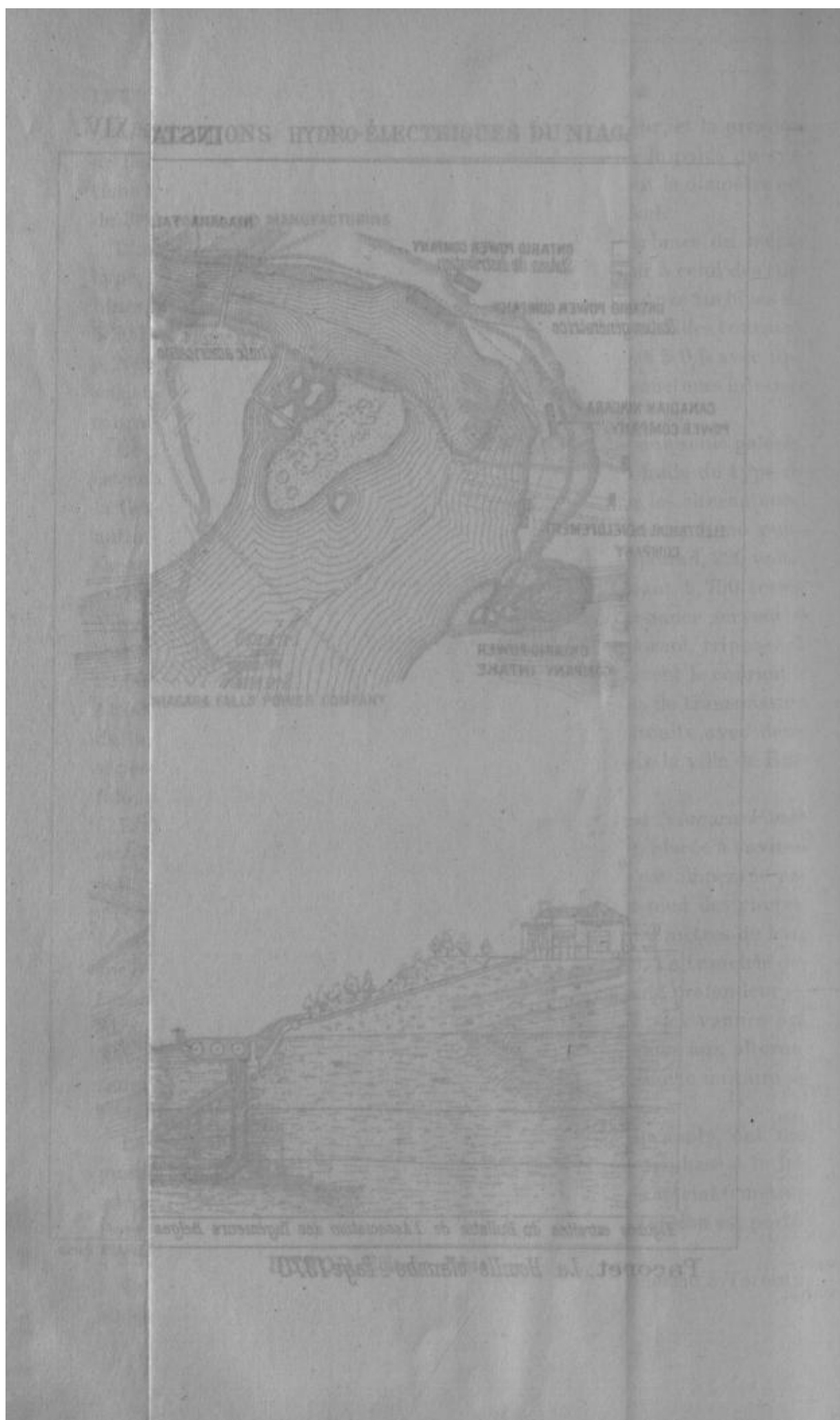
Les alternateurs, à axe vertical avec inducteurs tournants, ont une puissance de 7.500 kilowatts et produisent du courant triphasé à la fréquence 25, sous 12.000 volts. Le diamètre de ces machines atteint 6 mètres. Pour les fournitures d'énergie aux grandes distances, la tension est portée à 22.000, 40.000 et 60.000 volts, selon les besoins.

Cette dernière est utilisée pour la transmission de l'énergie à Toronto, éloignée de 160 kilomètres de la station génératrice.

Planche XIV.



DUNOD, Éditeur, Paris.



La distribution alimente un grand nombre de villes et de villages situés dans cette partie de l'Ontario. Les génératrices peuvent, dans le cas de surcharge, par transformation, aider à la distribution de la rive américaine en diphasé à 2.200 volts ou en triphasé à 22.000 volts, selon le cas et transmettre l'énergie sur les lignes de Buffalo, Tonawanda et Lockport.

L'usine de l'Ontario Power et Co (fig. 864) est prévue pour une puissance de 170.000 chevaux. L'eau est amenée, par des tuyaux de 2 kilomètres de longueur avec 8^m,50 de chute aux conduites forcées et aux turbines disposées verticalement. Les tuyaux ont une section de 23^m²,75 et l'eau y a une vitesse de 5 mètres à la seconde ; chacun d'eux alimente

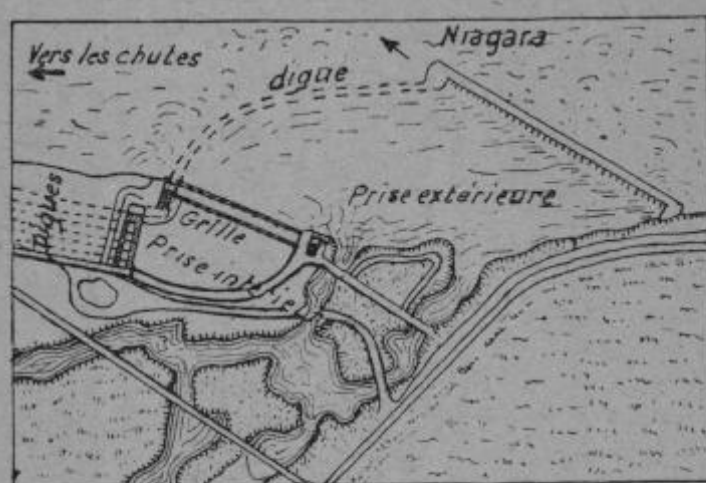


FIG. 864. — Usine hydroélectrique de la Ontario Power et Co.
Schéma de la prise d'eau aux îles Dufferin.

six conduites forcées desservant chacune une turbine. Deux de ces tuyaux sont en tôle d'acier et les deux autres en béton armé.

Les conduites forcées ont un diamètre de 2^m,74 et sont disposées deux par deux dans une galerie creusée dans le roc qui est d'abord verticale puis horizontale. Sa hauteur de chute est de 53^m,40.

TURBINES. — Elles sont du type Francis jumelées avec axe horizontal ; sept sont d'une puissance de 12.000 chevaux, tournent à la vitesse de 187,5 t : m et consomment 20 mètres cubes d'eau par seconde et dix, de 10.000 chevaux.

Les vannes de commande se trouvent dans des chambres taillées dans le roc immédiatement au-dessous de la conduite de mise en charge ; elles sont actionnées électriquement à distance. Chaque turbine est munie de son régulateur. Avant de pénétrer dans les grosses conduites, l'eau traverse des grilles et coule le long de sortes de bouilleurs chauffés à la vapeur, de manière à ce que la glace entraînée se fonde.

L'eau utilisée par les turbines s'écoule par deux coudes de succion séparés, aboutissant dans un tuyau de succion commun de 3^m,05 de diamètre.

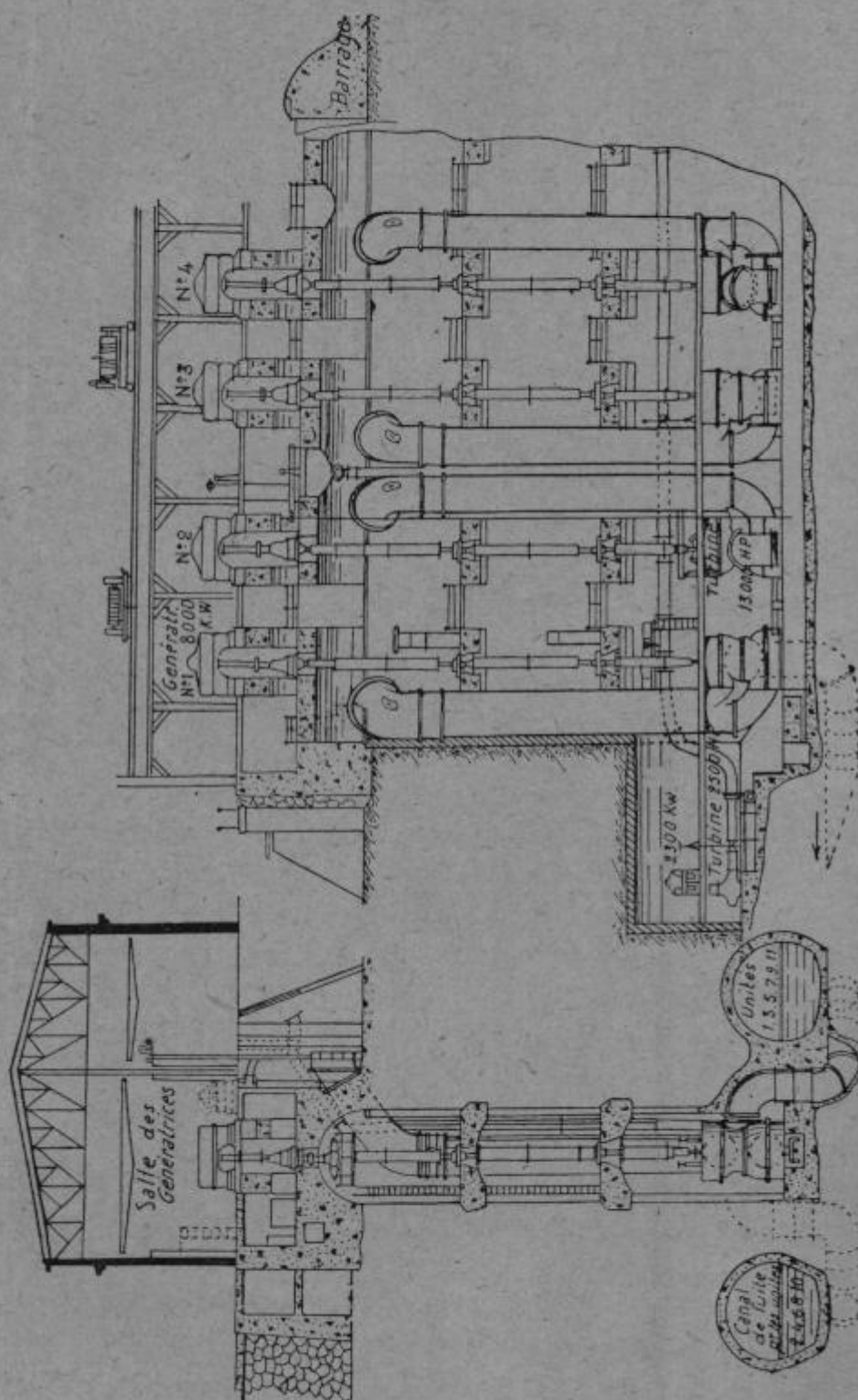


FIG. 865. — Usine hydroélectrique de l'Electrical Development C. à Niagara.

ALTERNATEURS. — Chaque turbine commande un alternateur triphasé de 12.000 volts, 25 périodes par seconde ; quoique avec la fréquence 25, on

ait un flottement dans la lumière, pour les lampes à filament de charbon de 16 bougies et pour celles à filament métallique de 25 bougies, on n'a pas osé en adopter une plus élevée à cause des lignes. L'excitation est assurée par deux dynamos de 375 kilowatts, 250 volts couplées d'un côté à une turbine Girard, de l'autre à un moteur d'induction triphasé.

Le réglage et la commande des machines ne s'effectue pas de la salle des machines, mais bien d'un local situé dans le bâtiment des transformateurs, dans lequel sont disposés tous les appareils de mesure ainsi que ceux de réglage et de commande. Ce système a donné de bons résultats, car on n'est pas impressionné par les accidents qui peuvent se produire dans la salle des machines. L'usine est en relation avec les deux usines voisines, situées sur la rive canadienne, par des câbles à 12.000 volts, de sorte que ces usines peuvent se porter mutuellement secours. La salle des machines est reliée à la salle des transformateurs distante de 680 mètres, par des câbles de 3×152 millimètres carrés de section, placés dans un canal.

LIGNES AÉRIENNES. — Le bâtiment des transformateurs de la distribution de l'État d'Ontario est situé sur le haut de la rive du Niagara; il est complètement indépendant de celui de l'Ontario Power Co, qui fournit également de l'énergie à d'autres clients; la tension y est élevée de 12.000 à 110.000 volts et à 132.000 volts.

Les lignes aériennes sont très étendues. La localité la plus éloignée de l'usine actuellement desservie est celle de Saint-Thomas à 205 kilomètres. Des chutes du Niagara part une conduite double qui va à Dundas, point qui forme le point central de la distribution. Toronto est relié à Dundas par une canalisation double, tandis que les autres localités sont desservies par une canalisation simple en boucle, posée sur poteaux pour canalisation double, permettant par conséquent de la doubler plus tard, à l'exception de la partie comprise entre Stratford et London, posée sur poteaux pour canalisation simple. Une autre ligne simple part de Saint-Thomas et dessert Windsor à 205 kilomètres plus loin.

La grande boucle a été adoptée pour la sécurité de l'exploitation, une localité étant toujours desservie de deux côtés. Ce système qui, dans des distributions à basse tension, ne donne parfois pas de très bons résultats à cause de chute de tension, est excellent dans le cas de haute tension où la perte de charge n'intervient pour ainsi dire pas.

Dans le cas de boucle, les dérangements dus à des courts-circuits, des mises à la terre et autres accidents analogues, occasionnent des dégâts intéressant, en général, un plus grand nombre de localités que dans le cas de canalisation simple, aussi, souvent, dispose-t-on des interrupteurs que l'on laisse ouverts, de manière à ce que la canalisation ne soit pas fermée sur elle-même en temps ordinaire, et que l'on ferme dans certains cas; la canalisation n'est en somme pas en boucle mais peut y être mise. Au com-

admis celle de 110.000 à 132.000 volts, afin que la perte en ligne soit de 10 0/0 au maximum.

Les sous-stations du Niagara, de Toronto, de Dundas ont seules un caractère particulier. Il n'y a de barres générales de service que du côté de la haute tension, les générateurs travaillant directement sur les primaires des transformateurs. Il y a simplement des barres de manœuvre permettant d'intervenir génératrices et transformateurs au moyen d'interrupteurs dans l'huile. Les barres de service sont divisées par des sectionneurs, de telle façon que deux génératrices peuvent travailler sur une canalisation. Les transformateurs du type monophasé sont capables d'une puissance de 3.000 k. v. a. en produisant une tension secondaire variant entre 110.000 et 132.000 volts.

Les différentes stations et sous-stations sont reliées par une ligne téléphonique, avec deux postes principaux à Dundas et à London. Elles sont éloignées de 15 à 18 mètres des lignes à haute tension et inverties tous les 400 mètres.

Les câbles en aluminium ont les uns 107 millimètres carrés, les autres 85 millimètres carrés ; les conducteurs sont à une distance minimum de 2^m,44. La lueur, violette la nuit, provenant de la décharge silencieuse, ne commence dans le cas le plus défavorable, c'est-à-dire avec les fils de 85 millimètres carrés de section, que pour la tension de 164.000 volts.

Les portées ordinaires sont de 160 à 170 mètres, et les flèches calculées pour qu'à 0° avec une épaisseur de glace de 9^{mm},5 et un vent de 29,2 m : s, la limite d'élasticité de l'aluminium ne soit pas atteinte.

Les lignes en aluminium travaillant encore longtemps après leur pose, on ne les a fixées définitivement que trois semaines après et, pendant les premiers mois, on a dû faire des travaux de rectification.

Les essais préparatoires des isolateurs ont été très longs et ont coûté 100.000 francs. Le type adopté comporte 8 cloches superposées, qui ont 25^{cm},5 de diamètre, pour les isolateurs ordinaires et 28^{cm},5 pour les isolateurs arrêt ; la hauteur totale de l'isolateur du point de suspension au câble qu'il supporte est de 1^m,58. La porcelaine est d'une teinte gris ardoise.

Les isolateurs doivent pouvoir résister à une tension de 330.000 volts à sec, de 220.000 volts sous une pluie de 12^{mm},5 de hauteur d'eau tombant sous 45° et à 250.000 volts sous une pluie de même hauteur tombant verticalement.

La résistance mécanique doit être de 3.600 kilogrammes pour les isolateurs ordinaires et de 4.550 kilogrammes pour les isolateurs d'arrêt.

On a également procédé à des essais sérieux, avant de fixer un type de support pour la canalisation ; les poteaux en treillis du type quadrangulaire ont 20 mètres de hauteur, le point de suspension du fil le plus bas est

à 14 mètres au-dessus du sol. Les poteaux pour ligne double ont deux traverses horizontales; la supérieure a 5^m,13 de longueur, l'inférieure 10^m,7; le poids d'un poteau est de 1.810 kilogrammes, le prix de revient de 975 francs; la surface couverte au pied est de 5^m²,18, une voiture peut passer facilement entre les pieds; il y a 2.305 poteaux pour double canalisation, 400 pour canalisation simple, 36 poteaux spéciaux pour l'entrée des stations de transformateurs et 282 poteaux d'arrêt et d'angle; le poids total des poteaux dépasse 7.000 tonnes.

La ligne suit, autant que possible, des chemins peu fréquentés et évite les chemins de fer, à cause de la suie qui diminue fortement l'isolation des isolateurs.

Au-dessus de la canalisation, de poteau en poteau, sont tendus trois câbles en fer pour la protection contre la foudre; chacun d'eux est formé de sept fils de fer de 2^{mm},75 de diamètre; leur flèche est moins grande que celle des conducteurs en aluminium, de sorte que toute chance de contact est écartée.

La ligne construite a pu supporter pendant plusieurs heures une tension de 180.000 volts; on est monté jusqu'à 187.000 volts. Les isolateurs suspendus peuvent être fortement déviés de la verticale, mais les conducteurs sont suffisamment écartés pour éviter tout contact.

A quelques endroits on remarqua que, par un temps calme, les isolateurs se déplaçaient latéralement de 30 à 40 centimètres (mesurés au point d'attache du conducteur), mais le retour à la position verticale était si rapide que l'on crut pendant longtemps s'être trompé. Ce phénomène provenait de tourbillons d'air se formant dans les vallées et soulevant l'un ou l'autre des conducteurs, de sorte que les isolateurs étaient déviés et que le conducteur venait en contact avec un autre placé au-dessus; par suite les interrupteurs automatiques fonctionnaient. Quand on eut trouvé la cause, on chargea les conducteurs d'une masse en plomb d'environ 12 kilogrammes aux endroits les plus bas.

On constata en outre que les oiseaux ne se posent pas volontiers sur les conducteurs, comme sur ceux des lignes à moins haute tension; quand ils s'y sont posés, ils paraissent inquiets et vont sur les câbles en fer.

La cause de ce phénomène est probablement que les oiseaux constituent des pointes qui aident à la décharge silencieuse entre conducteurs, ce dont ils souffrent.

Les frais d'installation se sont élevés à 13,3 millions de marks, l'installation des canalisations seules a coûté 5,3 millions de marks.

La Compagnie a l'intention d'entreprendre l'utilisation de nouvelles chutes dans la province d'Ontario en employant une tension de 180.000 volts.

340. Usine d'Eymoutiers (Haute-Vienne) (*chute, 50 mètres*). — Cette usine sert principalement à l'alimentation du réseau de tramways



FIG. 868. — Usine d'Eymoutiers. — Vue du barrage (côté prise d'eau).

départementaux de la Haute-Vienne, d'une longueur totale de 345 kilomètres. L'installation a été faite par MM. Giros et Loucheur.

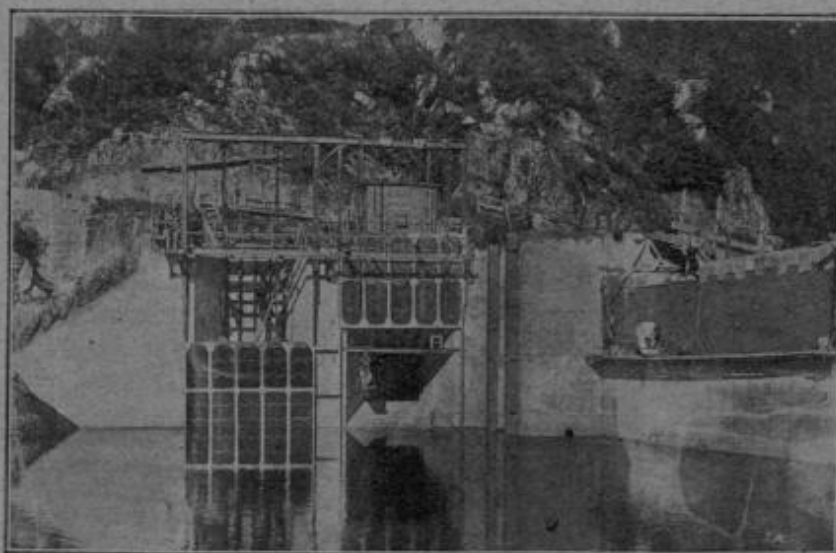


FIG. 869. — Usine d'Eymoutiers. — Vue de la prise d'eau du barrage.

La rivière la Vienne a été dérivée près d'Eymoutiers, par un barrage donnant une hauteur de chute de 50 mètres.

Barrage et prise d'eau. — Le barrage (fig. 868 à 870) est de forme droite à parement aval incliné, de 11^m,33 de hauteur et de 10^m,60 d'épaisseur à la base et de 45 mètres de longueur. La crête du barrage forme déversoir, sur 30^m,50 de largeur, pour l'évacuation des crues. Une échan-crure (Pas-le-Roi) disposée à la crête, de 3 mètres sur 0^m,50 de profondeur a été aménagée sur un côté du barrage, pour le passage des bois flottants.

Le déversoir peut assurer un débit de 54 mètres cubes, bien supérieur aux crues de la Vienne en cet endroit.

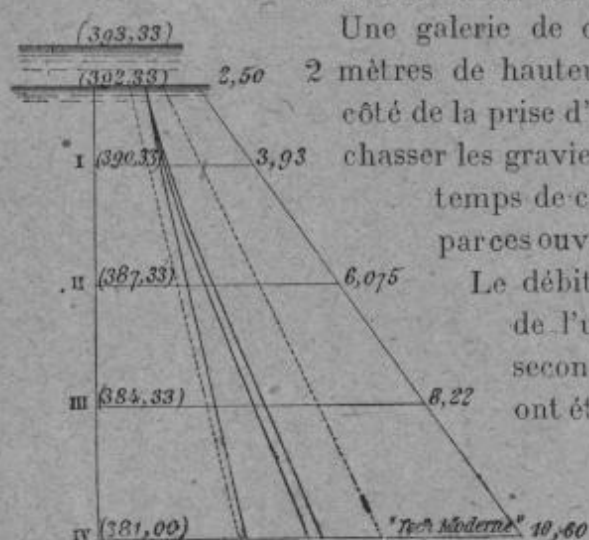


FIG. 870. — Usine d'Eymoutiers. — Épure de stabilité du barrage.

Une galerie de chasse de 1^m,50 de largeur et 2 mètres de hauteur ménagée dans le barrage du côté de la prise d'eau et une vanne permettent de chasser les graviers déposés par le courant, et en temps de crue, on pourrait encore évacuer par ces ouvrages un débit de 24 mètres cubes.

Le débit assuré pour le fonctionnement de l'usine est de 4 mètres cubes à la seconde et les ouvrages de prise d'eau ont été construits pour le double.

La prise d'eau a été faite en souterrain par deux galeries de 4^m,20 d'orifice aux grilles de protection et de 2^m,20 aux vannes de prise.

Chambres d'eau. — Après un parcours de 5 mètres, les deux galeries débouchent dans une chambre d'eau, en souterrain, de 20^m × 8^m,70, dans laquelle s'amortit la vitesse d'entrée de l'eau, laquelle se fait sous 5^m,70 en charge. Cette chambre sert aussi de bassin de décantation. Une galerie de décharge de 2 mètres de largeur a son origine à l'extrémité de la chambre d'eau et sert à évacuer à la rivière l'eau en excès, éliminée par une longue galerie de régulation dont une paroi forme crête déversante sur une longueur de 45 mètres; une cuvette à section progressive longe ce mur déversoir et conduit l'eau en excès à la galerie de charge, laquelle débouche à environ 20 mètres en aval du barrage. Ces ouvrages de régulation, chambre d'eau et galerie ont constitué des travaux souterrains relativement coûteux, mais ils étaient rendus indispensables par la nécessité d'éviter la mise en charge du souterrain de prise d'eau, ce qui aurait pour conséquence le débordement des parties à ciel ouvert.

Canal de dérivation. — Le canal de dérivation a une longueur totale de 1.539 mètres comprenant trois souterrains de 404 mètres, 473 mètres et 177 mètres de longueur. Le premier de ces souterrains comprend l'ouvrage

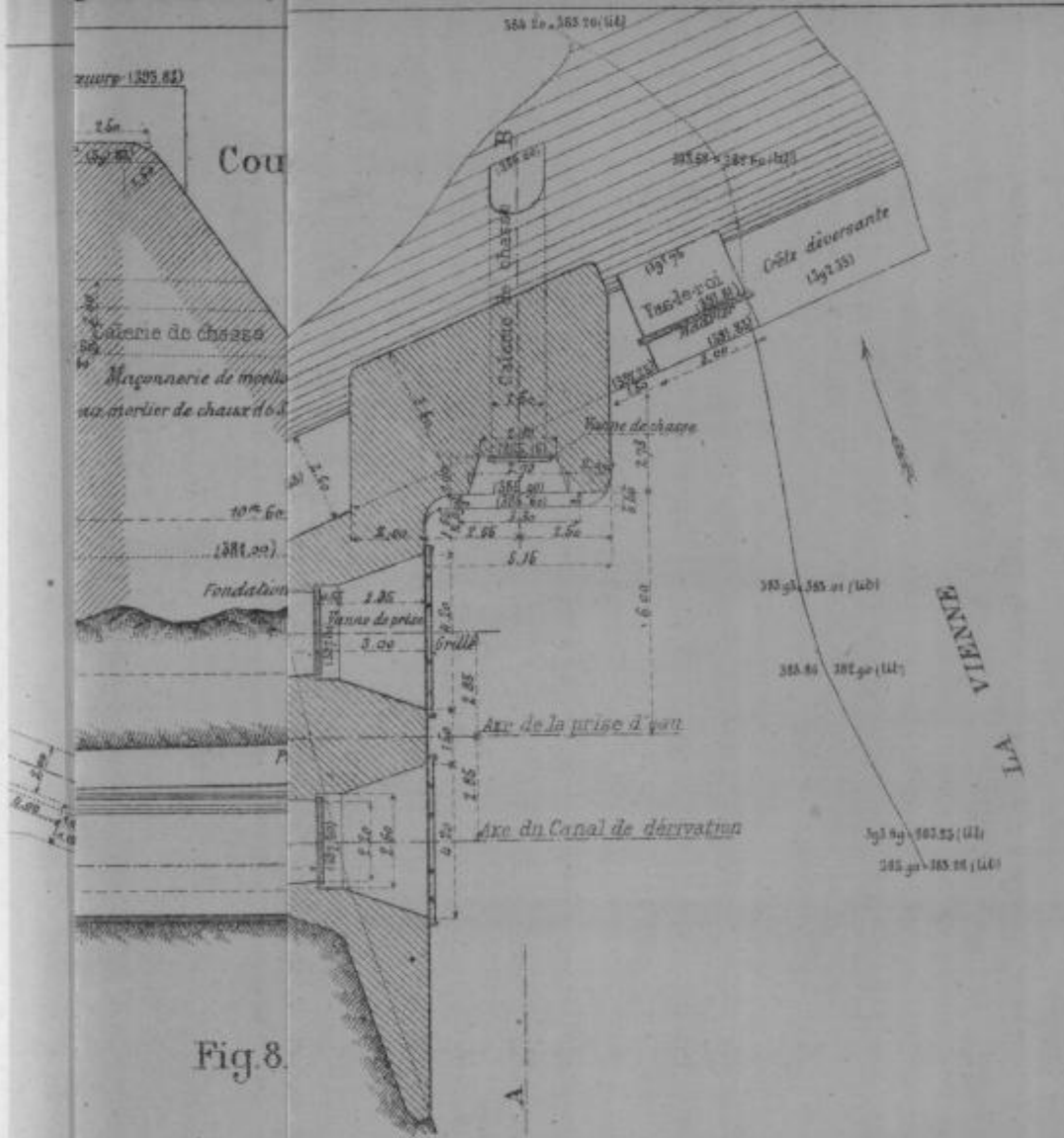
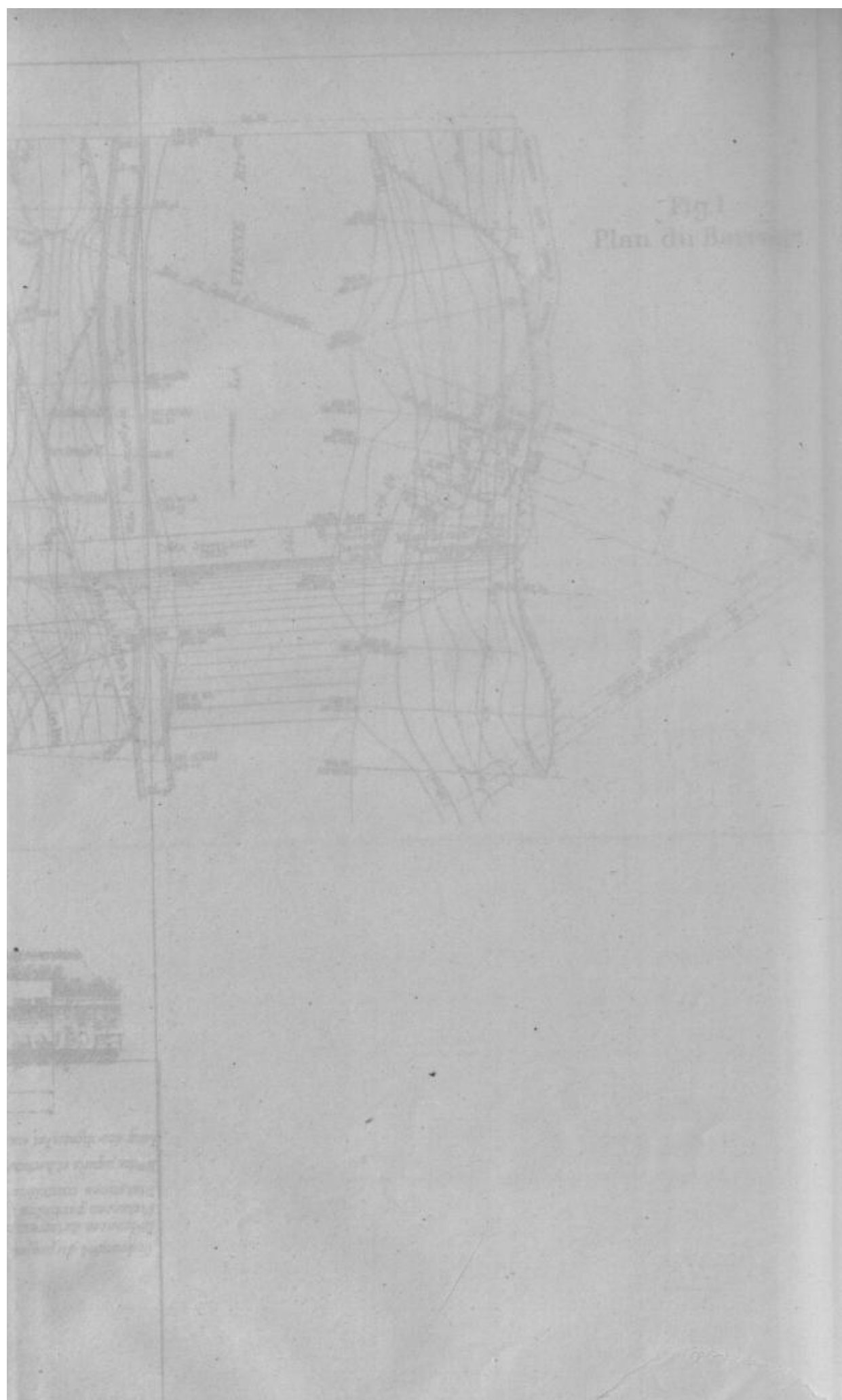


Fig. 8.

Fig. 11.



Barrage d'Eymoutiers: Calculs des pressions en charge.

DESIGNATION DES JOINTS (voir l'épure de stabilité, fig. 870)	1 ^{re} RETENUE NORMALE				2 ^{de} SURÉLEVATION DE 1 MÈTRE			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Largeur des joints.....	3,93	6,075	8,92	40,60	3,93	6,075	8,92	40,60
Poids supporté par les joints.....	43 760	45 881	91 763	158 809	46 260	48 381	94 263	161 309
Distance à l'amont des joints.....	4,634	2,268	2,935	3,602	4,575	2,215	2,890	3,654
Poussée de l'eau.....	2 000	42 500	32 000	64 184	4 000	47 500	40 000	75 514
Hauteur de la poussée sur les joints.....	$\frac{2,00}{3} = 0,667$	$\frac{5,00}{3} = 1,667$	$\frac{8,00}{3} = 2,667$	$\frac{11,33}{3} = 3,778$	0,833	1,905	2,933	4,06
Q ou $\lg x$	0,145	0,272	0,349	0,404	0,246	0,362	0,424	0,444
$h \lg x$	0,097	0,453	0,931	1,526	0,205	0,690	1,344	1,900
$c + d'$	1,731	2,721	3,866	5,218	1,780	2,905	4,131	5,554
$b = a - (c + d')$	2,199	3,354	4,554	5,382	2,150	3,170	4,086	5,046
Pression par m ² sur les joints horizontaux: p'								
Moyenne $\frac{p'}{a}$	3 501	7 552	11 163	14 982	4 137	7 964	11 467	15 218
Amont $\frac{6b - 2a}{a} \times \frac{p}{a}$	4 752	9 913	13 151	15 677	5 305	9 006	11 266	13 030
Aval $\frac{4a - 6b}{a} \times \frac{p}{a}$	2 250	5 491	9 175	14 286	2 969	6 922	11 668	17 406
Pression maximum sur le parement aval ($\lg \beta = 0,745$): M. Bouvier: $p(1 + \lg^2 x)$	2 297	5 575	10 292	12 618	3 149	7 829	13 767	21 218
M. Lévy: $p(1 + \lg^2 \beta)$	3 400	7 815	13 865	21 590	4 487	10 461	17 633	26 304

de prise d'eau décrit ci-avant. Le type normal de souterrain (*fig. 871*) est une galerie de 3 mètres de largeur et 2^m,25 au sommet de la voûte. Celle-ci n'est pas maçonnée et un revêtement en béton de 0^m,10 d'épaisseur est appliqué sur les parois et le radier.

La tenue d'eau prévue est de 1^m,80 de hauteur assurant un débit de

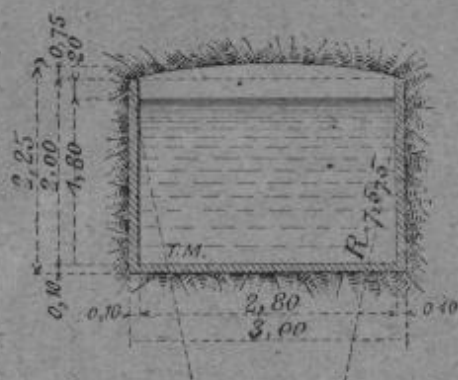


FIG. 871. — Usine d'Eymoutiers. — Coupe du canal de dérivation en souterrain.

8 mètres cubes à la seconde avec une pente uniforme de 0,001 par mètre. Dans les parties à ciel ouvert, le canal utilise autant que possible le sol rocheux, comme cuvette ou parois. Une partie en remblai est constituée par un aqueduc en maçonnerie, dont les parois latérales ont 1^m,20 d'épaisseur à la base et 0^m,40 au sommet ; ces parois ont été calculées comme murs de réservoir devant résister à une poussée de 2 mètres de hauteur.

Exécution des travaux. — Préalablement aux travaux du barrage, il a été exécuté un canal de dérivation provisoire ayant pour but d'écouler le débit de la Vienne, de 2 mètres de largeur et une pente de 0,03 par mètre. Le canal passait ensuite sous le barrage, dans une galerie de 1^m,50 de largeur minimum. Ces travaux ont commencé pendant l'été de 1909.

Un batardeau a été établi pour protéger les fouilles de fondation du barrage, après l'assèchement de la rivière. Le barrage terminé, on a fermé l'ouverture que formait le canal de dérivation dans l'appui, rive droite du barrage, en ne laissant que la galerie de chasse définitive. Dans les parties à ciel ouvert, le tracé a été d'abord dégrossi pour servir de plate-forme entre les têtes des souterrains attaqués de part et d'autre. La durée des travaux a été de deux années.

Chambre de mise en charge. — La chambre de mise en charge de 6.000 mètres cubes de capacité est située à l'extrémité du canal d'amenée et à 50 mètres de longueur avec une largeur de 9^m,25 et une profondeur d'eau moyenne de 6 mètres afin de permettre la vidange de cet ouvrage sans mettre à sec tout le canal de dérivation. Un barrage à poutrelles mobiles est établi au débouché du canal dans la prise d'eau. On a également prévu le cas d'un arrêt brusque de l'usine sans que les vannes de prise d'eau du barrage puissent être fermées immédiatement. L'eau se coule alors par un déversoir de 15 mètres de longueur sur 0^m,50 institué dans la crête du mur extérieur du réservoir ; l'écoulement ainsi formé descend directement à la rivière par un canal suivant la pente naturelle du terrain. Des vannes de vidange sont, en outre, installées

aux points bas du réservoir. La prise d'eau s'effectue à l'extrémité aval du bassin de mise en charge, où sont installés la grille et le massif de tête de la conduite forcée.

Conduite forcée. — Celle-ci, commandée par une vanne à obturation étanche, est constituée par un entonnoir de 2 mètres d'ouverture débouchant dans un tuyau de 1^m,50 de diamètre intérieur. La charge moyenne à l'axe de la prise est de 8^m,44 de hauteur d'eau. Elle a 117 mètres de longueur et est constituée par des tronçons de 1^m,84 et 8 millimètres d'épaisseur.

USINE (fig. 872). — La conduite forcée alimente, par deux tuyaux de 1^m,72 de diamètre intérieur, deux turbines Francis de 1.600 HP cha-

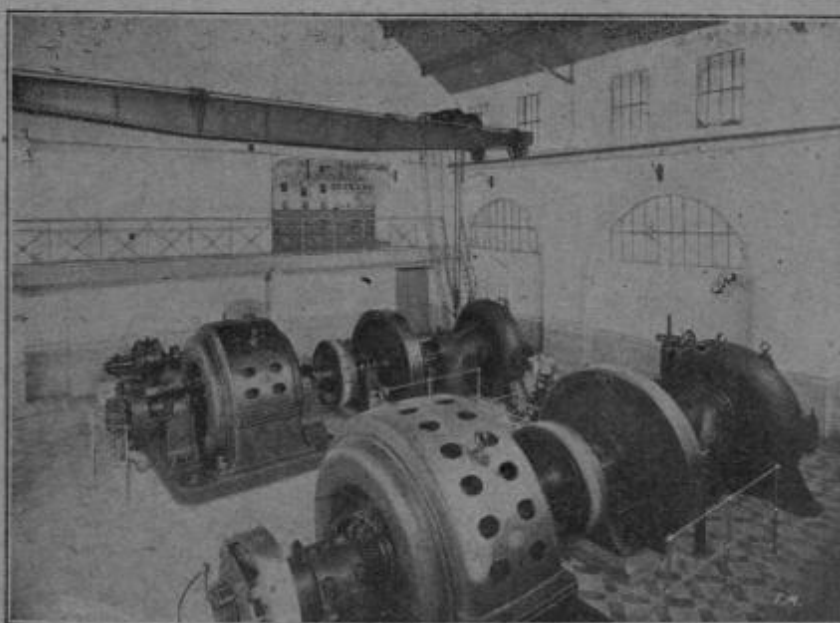


FIG. 872. — Usine d'Eymoutiers. — Vue intérieure de l'usine.
(Groupes alternateurs de 800 k v a).

cune à axe horizontal, à aspiration, et d'un débit de 2.500 litres. Ces turbines actionnent, au moyen d'un manchon d'accouplement, chacune un alternateur monophasé Alioth de 800 kilovolts-ampères donnant à la vitesse de 500 tours un courant à la tension de 850 volts à 25 périodes. Deux transformateurs-élevateurs de 1.000 kilovolts-ampères élèvent ce courant à 32.000 volts pour son transport aux postes de distribution, où il est abaissé à 10.000 volts sur le fil de travail. La puissance totale de l'usine est de 2.400 HP. Un moteur de 15 HP est placé au barrage pour le relevage des grilles.

341. Usine de Ventavon (Basses-Alpes) (chute, 50 mètres). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Cette usine, située à 4 kilomètres du vil-

lage de Ventavon est installée au con fluent du Beynon et de la Durance, au pied d'une sorte de plateau bordant cette dernière (fig. 873).

Barrage (fig. 874 et 875). — Cet ouvrage établi près de la Saulce forme une retenue de 180 mètres de large, qui coupe la Durance presque perpendiculairement et relève son niveau d'environ 1 m,30. Le barrage proprement dit, de 165 mètres, exécuté en maçonnerie, se soude à la rive gauche et s'abaisse de 0 m,50 au milieu de la rivière pour former une large



Fig. 873. — Usine de Ventavon. — Tracé des lignes.



Elles sont munies de trois tabliers superposés, pourvus chacun d'une commande distincte. L'avant-canal forme un large bassin de décantation muni de vanes de purge intervalées sur des conduites en fonte de 0 m,60 de diamètre qui partent de différents points du fond pour déboucher en avant du barrage.

Canal d'amenée. — Le long de la crête de ce plateau dévale le canal d'amenée des eaux dont l'origine est à 14 kilomètres de l'usine. La section

passé à radeaux. Le restant de l'ouvrage est constitué par trois vanes métalliques ; la première, de 3 mètres de largeur sort de passe pour les glacons ; les deux autres, chacune de 8 mètres de largeur, sont destinées

à chasser le gravier accumulé devant la prise et à faciliter l'écoulement des crues. L'eau dérivée sur la droite, immédiatement en amont du barrage, est amenée dans un avant-canal de 60 mètres de largeur par huit grandes vanes, qui servent non seulement à régler l'entrée de l'eau dans le canal de dérivation, mais aussi à surélever le seuil d'entrée de la prise d'eau dans le but de retenir le gravier, très abondant pendant les crues.

de ce canal est de 30 mètres carrés et sa pente de 0 m,30 par kilomètre, il peut débiter 56 mètres cubes à la seconde.

Il communique avec le bassin de décantation par quatre écluses-vanes ordinaires de 3 mètres de largeur.

Le canal est entièrement revêtu en béton et enduit de ciment ; il a nécessité en différents points de son parcours des ouvrages d'art dignes de remarque.

Chambre de pression. — Au-dessus de l'usine le canal d'amenée s'élargit pour former la chambre de mise en charge. L'un des côtés de ce bassin

forme un grand déversoir par lequel le trop-plein tombe dans le canal de décharge. De chaque côté du bassin sont disposées des vannes de purge

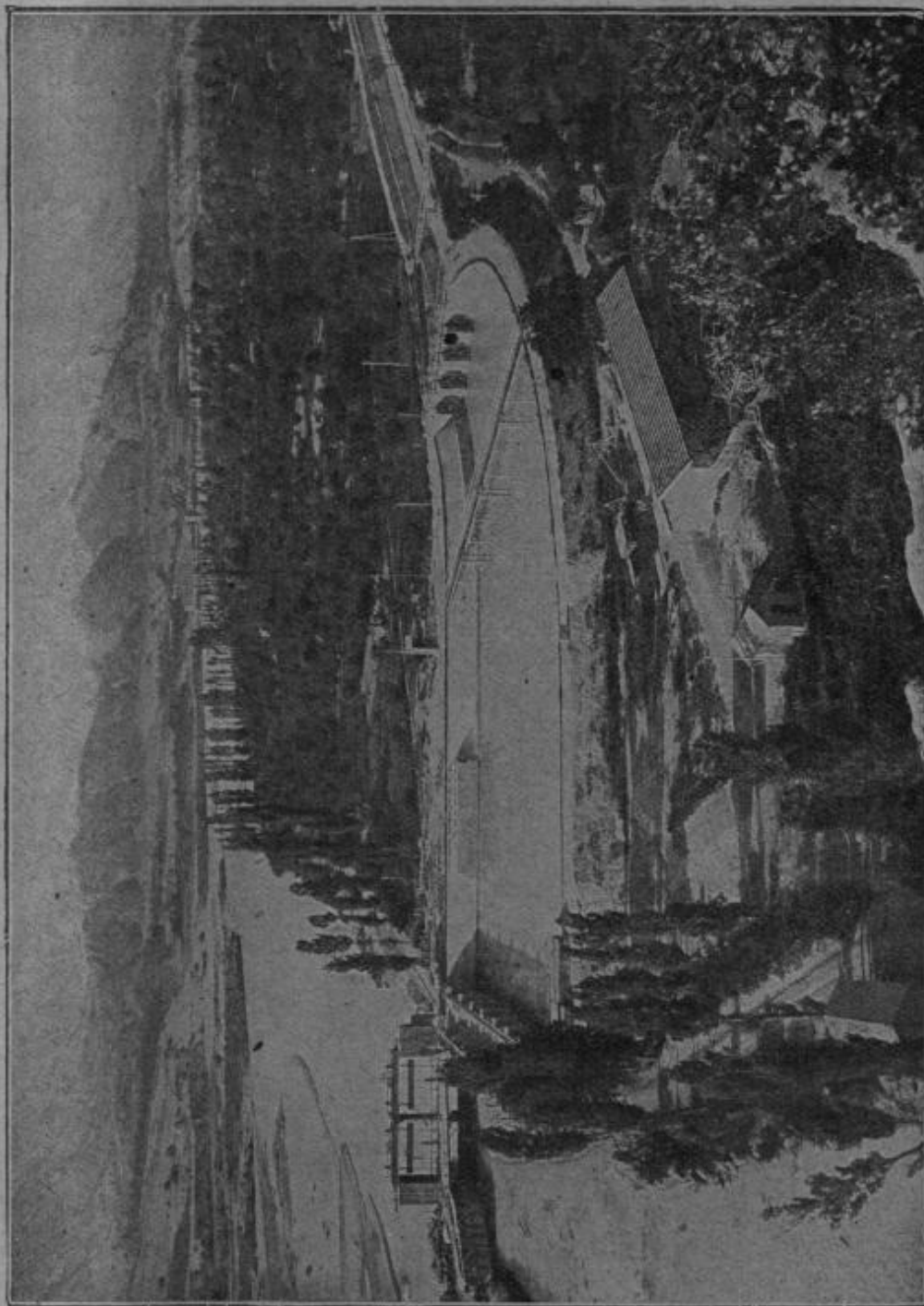


FIG. 874. — Usine de Ventavon. — Prise d'eau en Durance et départ du canal d'aménée.

et de décharge ; celles de droite débouchent dans le canal précité et celles de gauche dans un canal revêtu de béton et maçonnerie qui rejoint la Durance en amont de l'usine.

Conduites forcées (fig. 876 et 877). — A la suite de cette chambre,

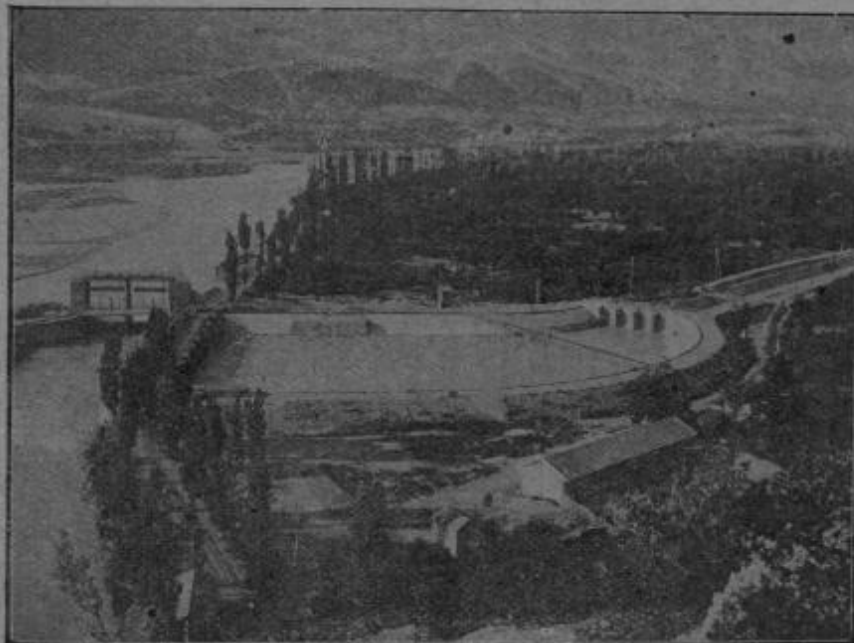


FIG. 875. — Usine de Ventavon. — Prise d'eau et bassin de décantation.

séparée par une grille, sont huit chambres de prise d'eau correspondant



FIG. 876. — Usine de Ventavon. — Entrée des conduites forcées dans l'usine.

chacune à une conduite forcée, dont quatre ayant un diamètre de 2^m,30 et les autres 1 mètre de diamètre. Ces conduites ont une épaisseur de

8 millimètres à 16 millimètres pour les grosses unités. Elles reposent par l'intermédiaire de coussinets de tôle, sur des massifs en béton. Ces conduites sont exécutées en tôle d'acier doux d'une résistance à la rupture

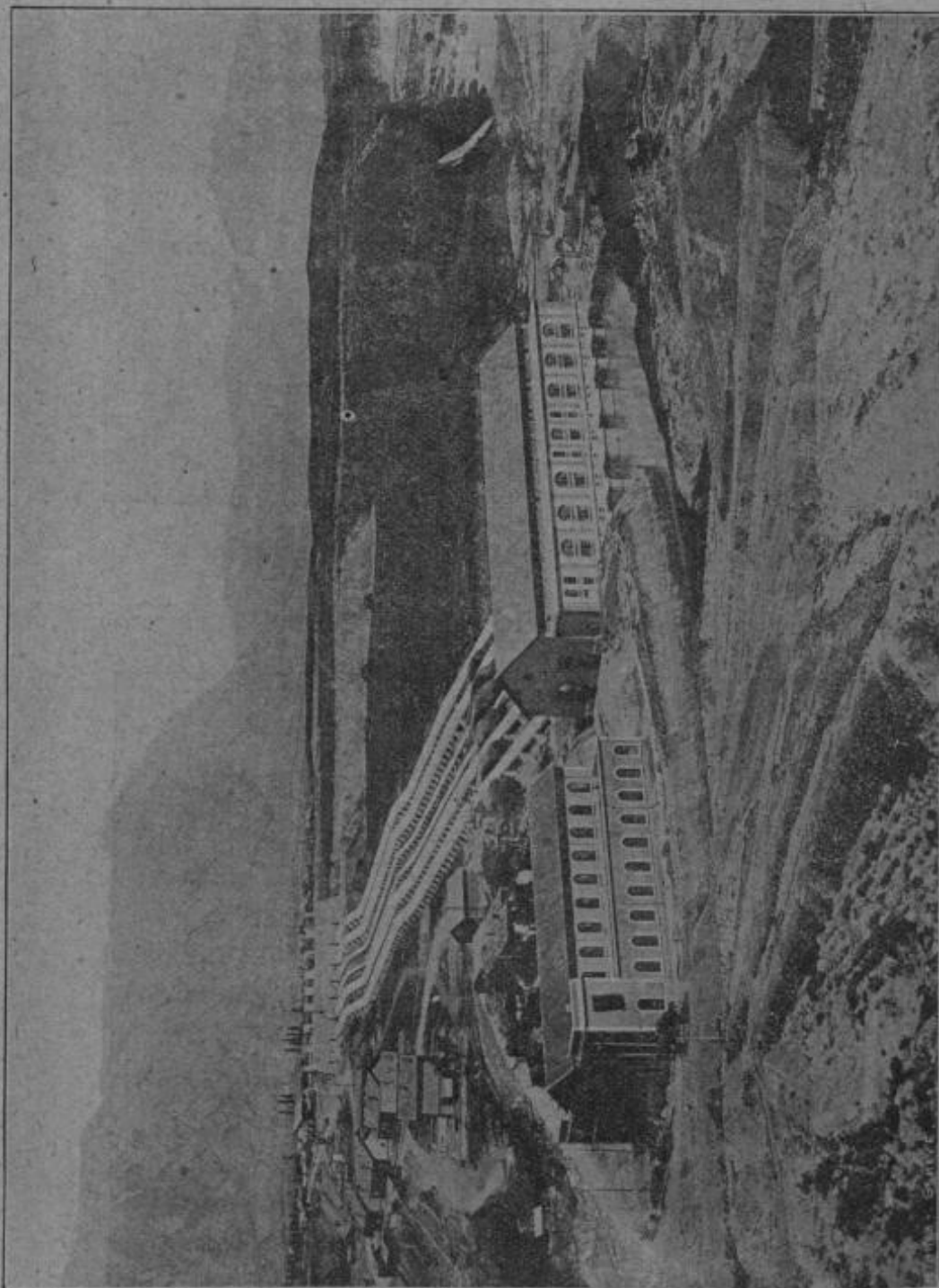


FIG. 877. — Usine de Ventavon. — Conduites forcées. — Usine, canal de fuite et passe.

de 38 à 42 kilogrammes par millimètre carré avec 20 à 28 0/0 d'allongement. Elles sont constituées par des viroles rivées de bout en bout, sans aucun joint à brides. Les quatre grandes conduites sont pourvues sur toute leur longueur de cercles de renfort rivés à l'extérieur à une distance

Les uns des autres variant de 1 mètre à la partie supérieure et de 2 mètres à la partie inférieure.

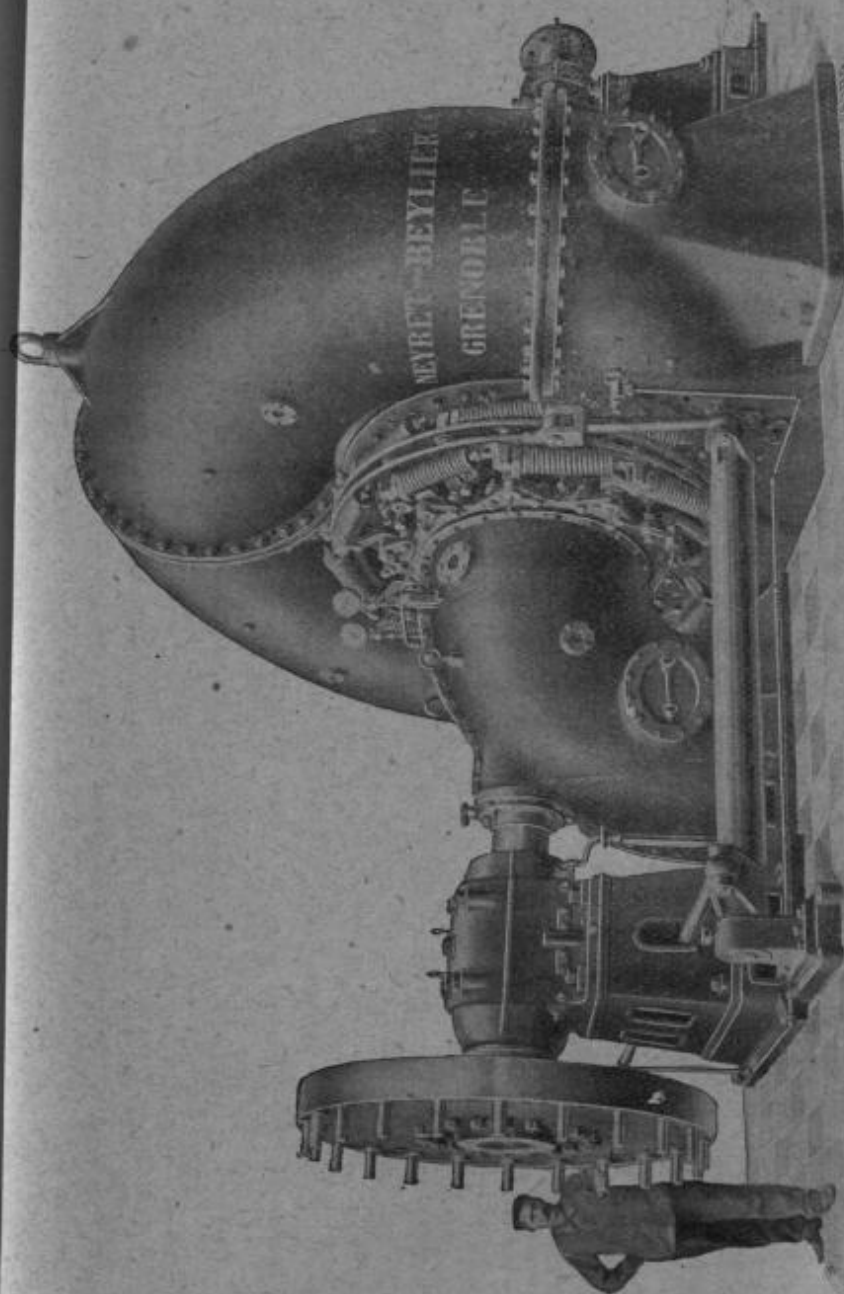


Fig. 878. — Usine de Ventavon. — Turbine centrifuge double de 6.500 HP. — Usine hydroélectrique de Ventavon (Hautes-Alpes). (Neyret-Beylier, constructeurs).

Les conduites une fois montées ont été essayées non seulement à une pression intérieure double de la pression statique, mais encore éprouvées au vide barométrique. Elles ne sont ni enterrées ni pourvues de joints de dilatation malgré leur longueur de 400 mètres. La hauteur de chute est de 50 mètres et la puissance installée de 25.000 chevaux.

TURBINES (fig. 878 à 889). — Le bâtiment de l'usine, complètement

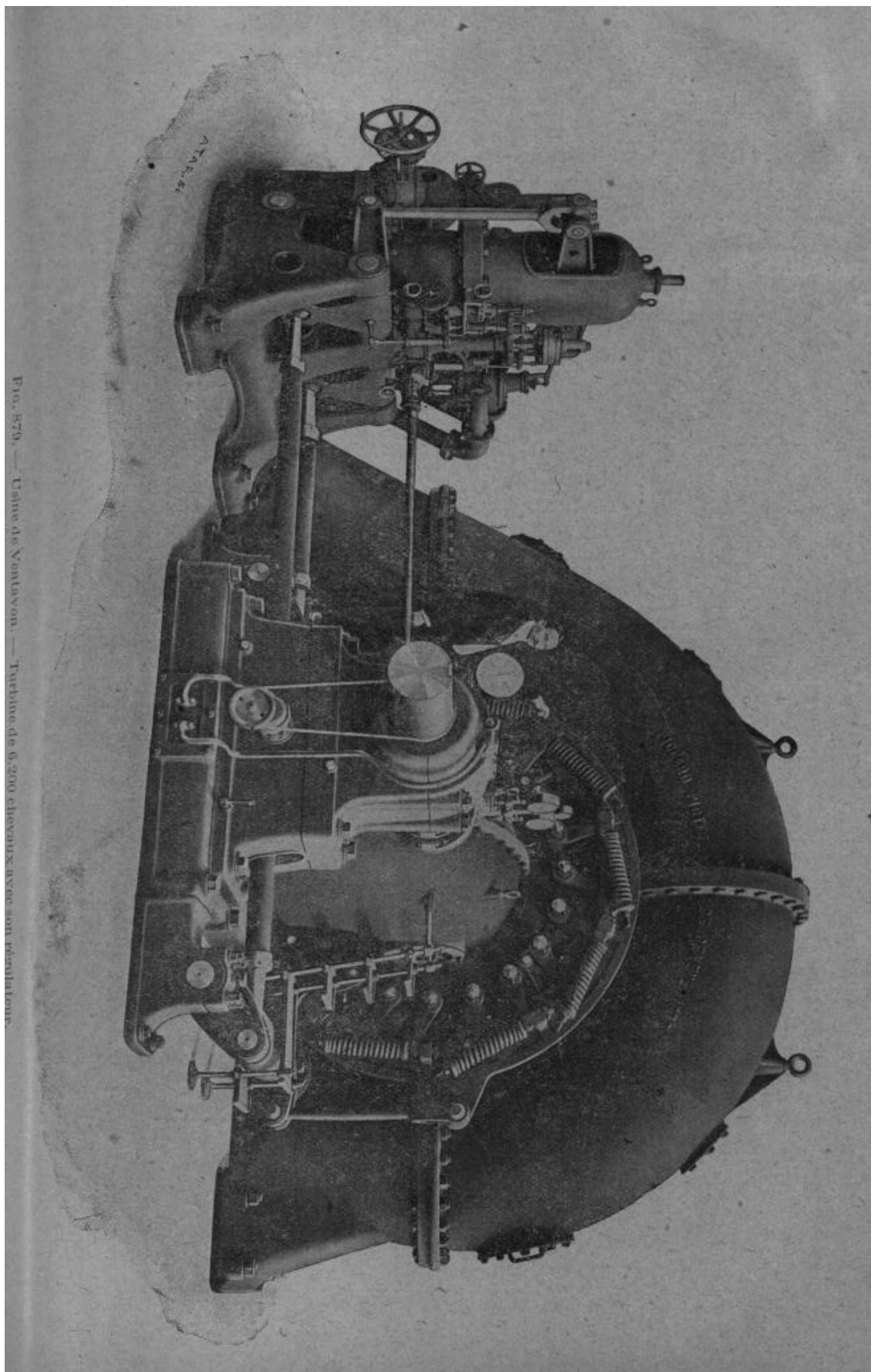


FIG. 870. — Usine de Venturoni. — Turbine de 6.200 chevaux avec son régulateur.

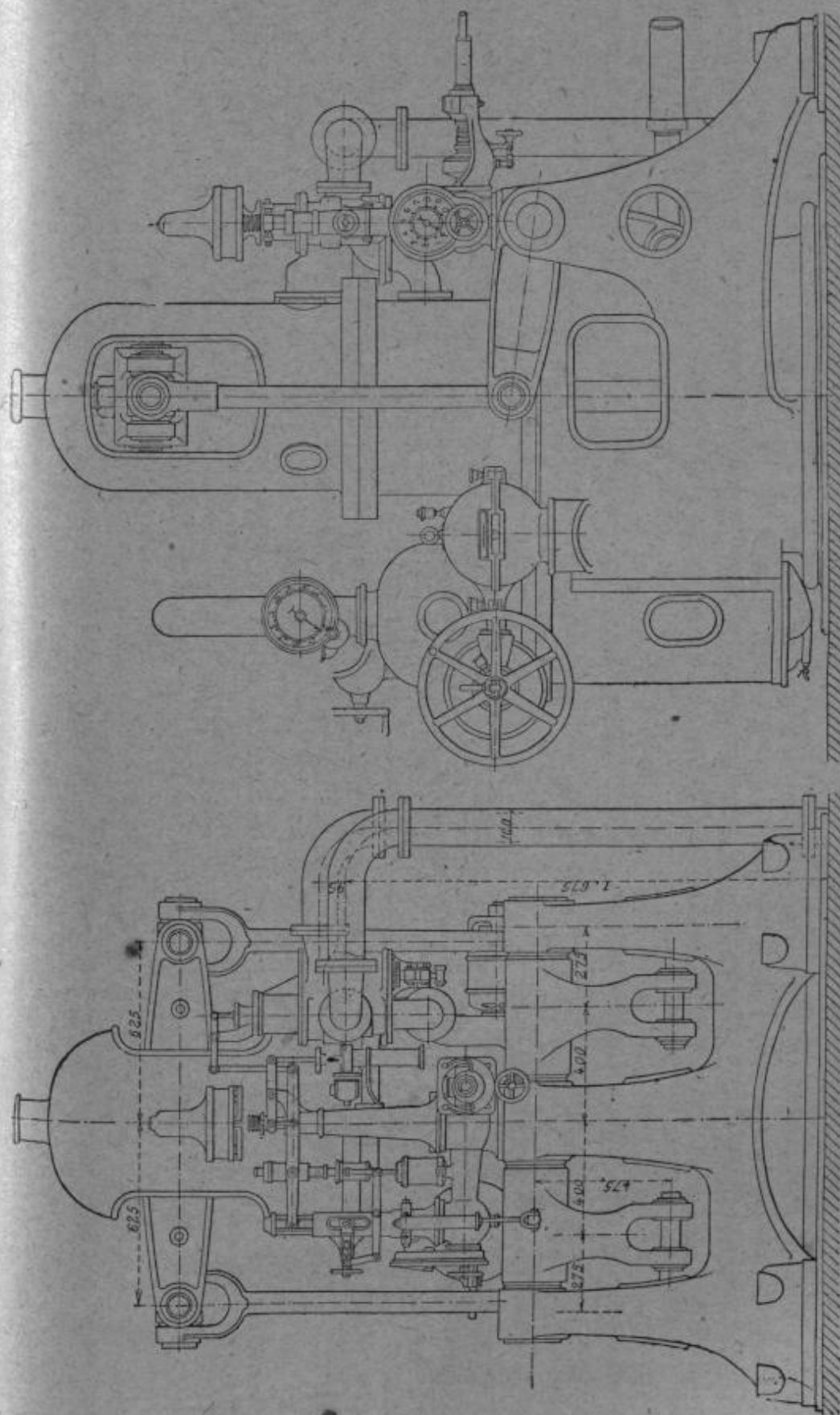


FIG. 880. — Usine de Ventayon. — Élévation et vue de côté du régulateur.

distinct de celui des transformateurs-élévateurs de tension, a 86 mètres de longueur sur 20^m,50 de largeur et 20 mètres de hauteur. Il renferme quatre groupes générateurs d'une puissance unitaire de 6.200 chevaux, trois groupes d'excitatrices de 300 chevaux, dont un de réserve et un groupe pour l'éclairage. La place est réservée pour deux groupes de 7.000 à 7.500 chevaux.

Les turbines sont du type Francis double, à axe horizontal avec alimentation distincte, mais évacuation commune, et tournent à 300 tours à la minute. Elles sortent des ateliers Piccard-Pictet. Les aubes sont manœuvrées par un dispositif à levier et à ressort, commandé par le régulateur à l'aide d'un servo-moteur à huile.

L'un des tourillons portant les aubes est prolongé en dehors de la turbine et porte un levier qui reçoit le mouvement du servo-moteur par l'intermédiaire d'un anneau de réglage commun à toutes les aubes. Le régulateur est placé à côté de la tubulure d'entrée de la turbine directement au-dessus de l'orifice compensateur. La commande du vannage peut être effectuée automatiquement à la main et électriquement. L'accouplement des turbines aux alternateurs est fait au moyen d'un manchon élastique formé de deux plateaux en acier coulé. Les variations de vitesse constatées lors des essais, au moyen d'un tachygraphe Horn de précision sont restées de 1 à 5 0/0 au-dessous des chiffres garantis par les constructeurs.

Les turbines excitatrices, ainsi que deux des turbines principales, ont été installées par la maison Neyret-Brenier, de Grenoble.

ALTERNATEURS. — Les alternateurs Alioth de 4.500 kilowatts fournissent du courant triphasé à 7.500 volts et à la fréquence 25 périodes, au régime de 300 tours-minute. Chaque alternateur a son tableau de commande spécial avec appareils de mise en service et déclencheur automatique d'excitation commandé par déclenchement de l'interrupteur d'induit.

Le réglage du voltage des alternateurs se fait en agissant sur l'excitation des excitatrices, automatiquement, par l'intermédiaire d'un régulateur à contacts analogue à ceux de M. Thury. En arrière des tableaux, dont elles sont séparées par une cloison, se trouvent deux systèmes de barres omnibus, pour les alternateurs et les transformateurs. Toutes les commandes des interrupteurs de mise en service se font par moteurs basse tension.

TRANSFORMATEURS. — Les transformateurs, sortant des ateliers de la Compagnie Thomson, élèvent la tension à 54.500 volts. Ils sont tous monophasés et placés par groupes de trois dans des cellules distinctes. Ils sont à isolement d'huile et à refroidissement par circulation d'eau. Il y a quatre interrupteurs tripolaires à 7.500 volts isolés dans quatre cellules distinctes et huit interrupteurs à 54.400 volts. Pour ces derniers chaque

phase est isolée en cellule spéciale, fermée sur la face antérieure par panneau de bois amovible.

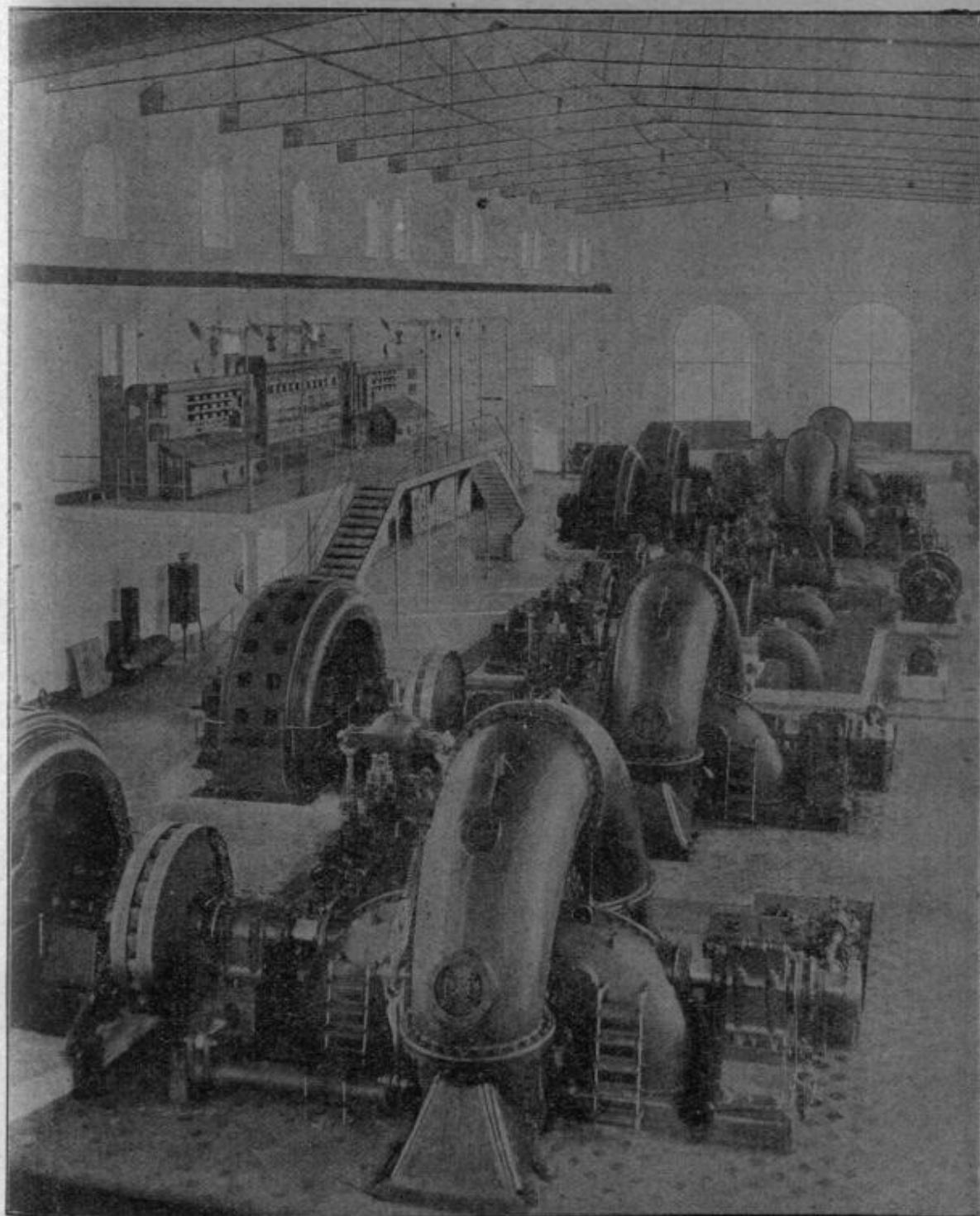
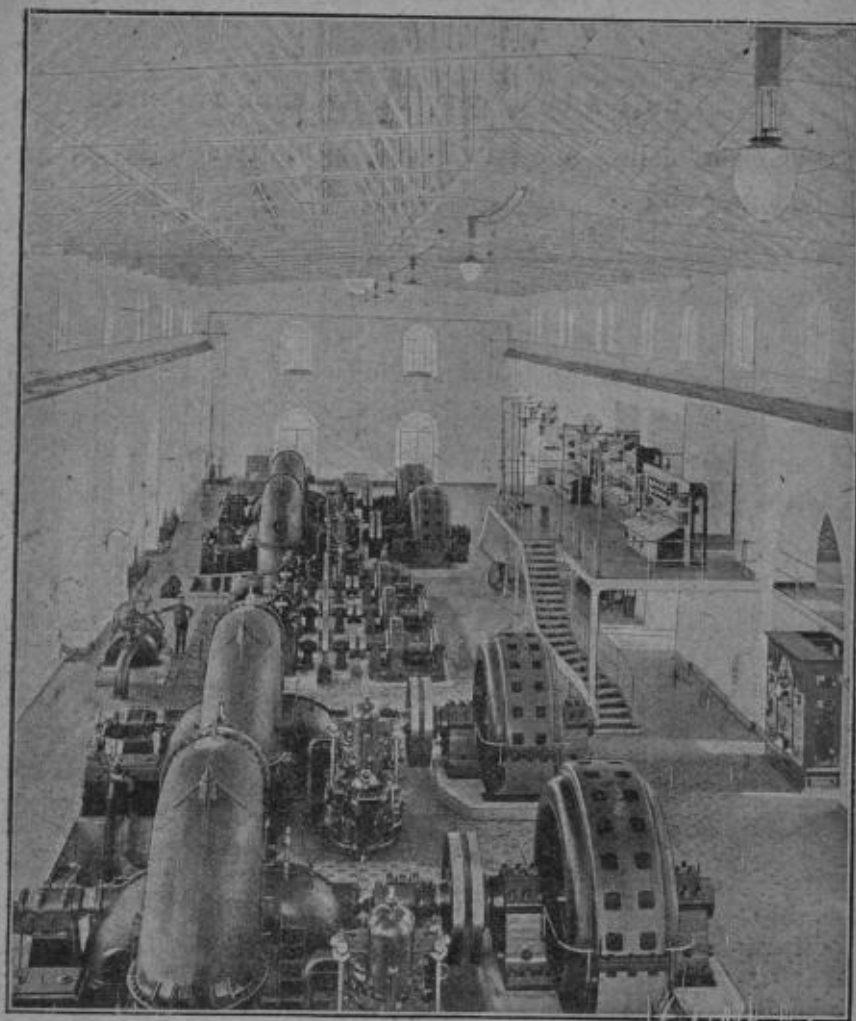


FIG. 881. — Usine de Ventavon. — Salle des machines.

Le courant de l'usine de Ventavon est envoyé à Marseille par deux lignes

LA FOUILLE BLANCHE. — II.

13



882. — Usine de Ventavon. — Salle des turbo-alternateurs.

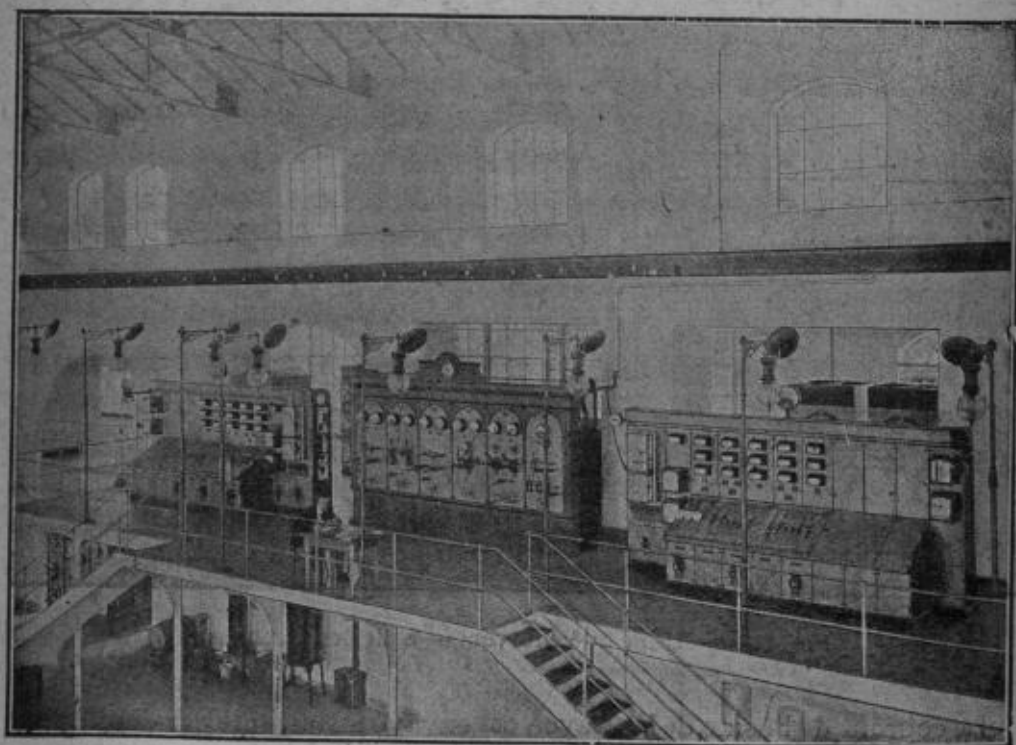


FIG. 883. — Usine de Ventavon. — Tableau de distribution (vue de face).

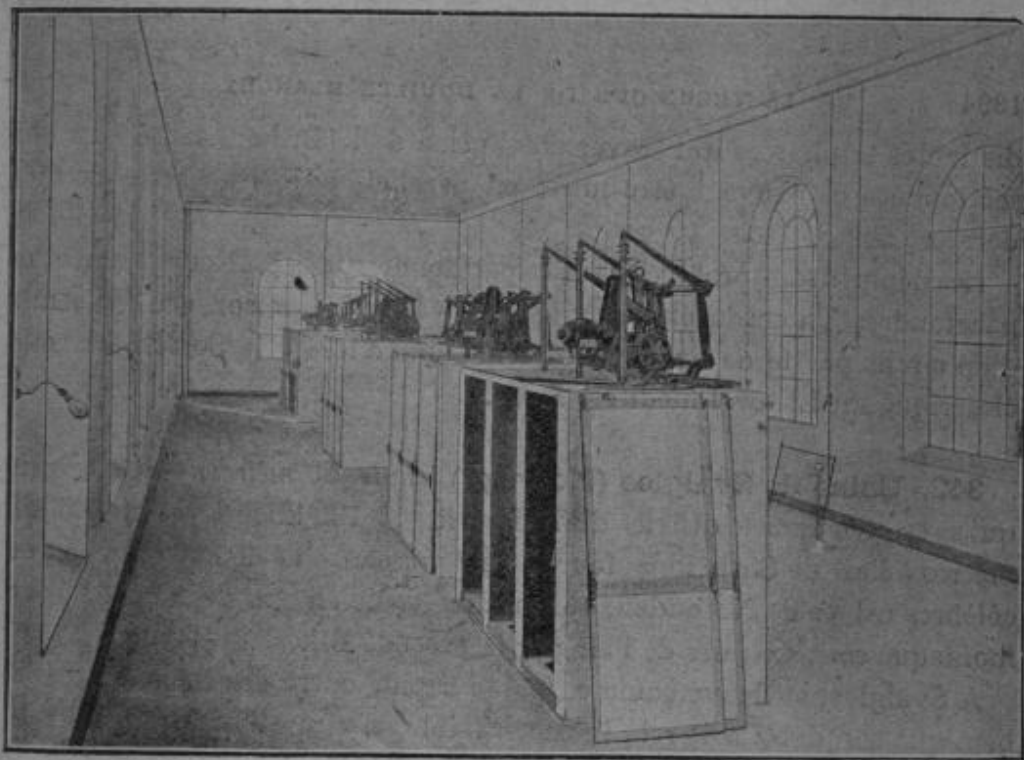


FIG. 884. — Usine de Ventavon. — Interrupteur à huile à 60.000 volts.

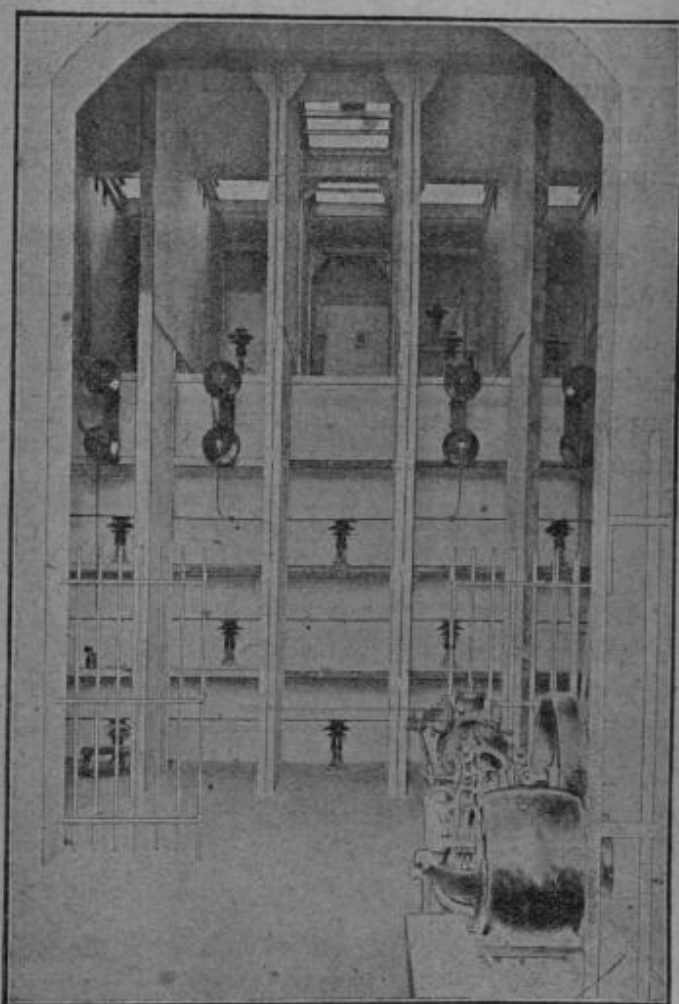


FIG. 885. — Poste de Ventavon. — Barres omnibus à 60.000 volts.

distinctes triphasées qui traversent l'usine de la Brillanne. Là elles sont sectionnées et peuvent être mises en parallèle avec les barres de cette dernière usine.

Les départs sont protégés par des parafoudres, des limiteurs à eau et des parafoudres Thomson électrolytiques à calotte, à raison d'un ensemble d'appareils par fil de ligne. Cette usine appartient à la Société l'Énergie électrique du Littoral méditerranéen.

342. Usine de Svälgfos (Norvège) (chute, 50 mètres). — Cette usine qui se trouve dans le district de Telimarken, à 130 kilomètres ou 145 kilomètres à l'est de Christiana, fournit une puissance de 40.000 chevaux aux célèbres usines de Notodden, où les nitrates de chaux, de soude et d'ammoniaque sont extraits de l'air par le procédé Bikerland-Eyde.

A Svälgfos, le fleuve coule en pente rapide entre des rochers à pic, et bien que son débit soit relativement faible, environ 75 mètres cubes par seconde, la hauteur de chute effective est d'environ 50 mètres.

Du côté haut de la chute, la largeur de la rivière n'est que de quelques mètres, et le barrage construit à cet endroit a élevé d'environ 14 mètres le niveau primitif de l'eau. Un large tunnel conduit l'eau à un réservoir d'où elle se rend, par quatre conduites forcées, aux turbines situées en dessous presque à l'aplomb.

L'usine comporte quatre génératrices triphasées de 10.000 à 13.000 chevaux.

Le courant triphasé, 50 périodes, 10.000 volts qu'elles débitent est envoyé à Notodden, à 4 kilomètres de là, sans transformation.

A la suite de travaux de barrage effectués sur les grands lacs qui alimentent la rivière à cet endroit, le débit d'eau a été considérablement accru et le supplément est utilisé dans une nouvelle usine génératrice récemment mise en exploitation.

CHAPITRE XVII

USINES DE 51 A 100 MÈTRES DE HAUTEUR DE CHUTE

343. Usines du Simplon : (Usines de Brigue et d'Iselle) (*chute, 55 mètres*). — L'énergie électrique pour la traction des trains dans le tunnel est fournie par les centrales de Brigue et d'Iselle.

USINE HYDROÉLECTRIQUE DE BRIGUE. — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — L'eau du Rhône est prise à environ 4 kilomètres de Brigue au moyen de vannes placées dans le remous d'un barrage peu élevé. Ces vannes, au nombre de 8, sont disposées en chicane pour éviter l'introduction des graviers dans le canal ; de plus un abaissement du seuil du barrage produit un courant violent empêchant le dépôt des graviers devant les vannes de prise.

L'eau traverse en été un bassin où elle dépose les limons entraînés ; elle est dirigée ensuite dans le canal d'amenée. En hiver, l'eau est assez claire pour pouvoir être amenée directement par une galerie dans le canal, confectionné en béton armé, et dont la longueur est de 3 kilomètres avec une section de $2^m \times 2$ mètres. Ce canal est accroché aux flancs de la montagne au moyen de poutres et de colonnes en béton. Il aboutit à un court tunnel qui conduit l'eau au bassin de mise en charge de la conduite forcée ; cette dernière est en tôle d'acier rivé, de 1 kilomètre de longueur, $1^m,50$ de diamètre.

TURBINES. — La conduite forcée alimente deux turbines de 200 chevaux actionnant les ventilateurs du tunnel ainsi que les turbines de la station centrale. Celle-ci comprend trois turbines Pelton fonctionnant sous 50 mètres de chute ; elles ont été fournies par la maison Escher-Wyss. Elles actionnaient les pompes à eau et les compresseurs d'air pour la perforation du tunnel. Deux des turbines, calées sur le même arbre, commandent par accouplement direct un alternateur triphasé Brown-Boveri de 900 chevaux dont l'inducteur, tournant à 160 tours par minute, possède 12 pôles ; il produit du courant triphasé à 3.300 volts à la fréquence de 15 périodes par seconde ; ces deux turbines ne possèdent pas de régulateur. La troisième turbine actionne par courroies deux alternateurs de la

Compagnie l'Industrie électrique et mécanique de Genève, servant à l'éclairage des gares et du tunnel et à divers services accessoires (éclairage du tunnel, fonctionnement des appareils et signaux de protection au moyen de batteries, recharge de batteries d'accumulateurs pour l'éclairage des wagons). Ces alternateurs, de 100 chevaux chacun, donnent du courant triphasé à 4.200 volts. La turbine qui les actionne est munie d'un régulateur à servo-moteur par pression d'eau.

La génératrice de 900 chevaux pour la traction des trains est en parallèle avec celle d'Iselle de l'autre côté du tunnel, de sorte que c'est la génératrice d'Iselle qui maintient la fréquence, car la turbine qui l'actionne possède un régulateur. L'excitatrice est une machine séparée, mais actionnée au moyen d'une courroie par la même turbine que la génératrice, ce qui offre tous les inconvénients des excitatrices en bout d'arbre.

Les turbines fonctionnent avec les vannes complètement ouvertes et le réglage se fait en absorbant dans une résistance hydraulique une plus ou moins grande partie de la puissance de la génératrice ; il suffit, pour cela, de plonger plus ou moins dans une cuve d'eau courante trois électrodes de fer reliées aux trois phases de l'alternateur. On arrive à maintenir presque constante la vitesse de l'alternateur, comme l'indiquent les tachymètres enregistreurs.

En cas de déclenchement des interrupteurs haute tension, un dispositif assez compliqué plongerait les électrodes dans la cuve, ce qui absorberait la puissance de l'alternateur et éviterait un emballement de la turbine.

Ce moyen de réglage n'est pas économique, il fatigue inutilement les machines et son seul avantage est d'éviter les coups de bélier dans la conduite.

Le réglage de la tension aux bornes du trolley se fait automatiquement au moyen d'un régulateur Tirill qui maintient la tension constante.

Cet appareil, placé sur le tableau, agit par « tout ou rien » sur le circuit inducteur de l'excitatrice qu'il court-circuite ou qu'il met en service, suivant que la tension est trop forte ou trop faible.

Le tableau de distribution comprend trois panneaux ; un pour l'alternateur, un pour le tunnel et un pour la gare de Brigue. Le trolley est, en effet, interrompu à l'entrée du tunnel et le courant est amené dans le tunnel par des câbles venant du panneau du tableau central.

Le tableau comprend les appareils d'usage, ainsi que les interrupteurs à huile et leurs relais de déclenchement réglés pour couper le courant lorsqu'un court-circuit dure plus de 30 secondes.

USINE HYDROÉLECTRIQUE D'ISELLE. — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Elle est alimentée par les eaux de la Diveria, torrent descendant du massif du Simplon. La prise d'eau est à 5 kilomètres ou 6 kilomètres de l'usine, elle est analogue à celle de Brigue. La conduite forcée

prend l'eau directement à la prise ; elle alimente deux turbines pour la ventilation et les turbines de la salle des machines. Une d'elles, une roue Pelton, actionne par courroie deux alternateurs de secours pour l'éclairage en cas d'arrêt de l'usine de Brigue ; ces deux alternateurs peuvent aussi être actionnés par une machine à vapeur mi-fixe de Wolff ; une autre, fournie par les ateliers de Vevey, actionne l'excitatrice de l'alternateur de traction et une petite dynamo pour la manœuvre du rideau du tunnel ; enfin deux autres commandent le groupe électrogène pour la traction.

TURBINES. — Ce groupe, construit par les maisons Piccard Pictet et C^{ie}

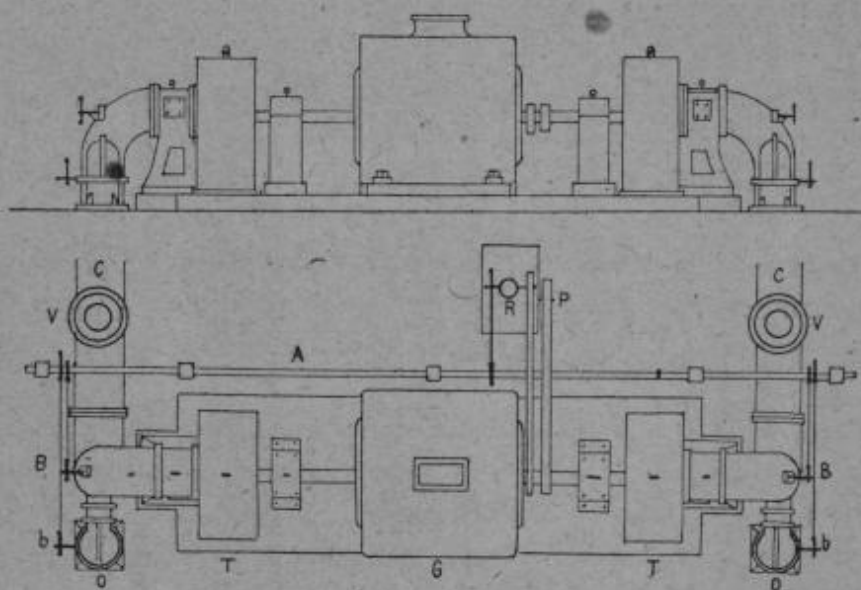


FIG. 886. — Groupe générateur de la Centrale d'Iselle (Italie).

G, génératrice triphasée bipolaire ; — T, turbines Girard centrifuges ; — C, conduites forcées ; — V, vannes à manœuvre hydraulique ; — B, bielles de commande du vannage des turbines ; — A, arbre des bielles de réglage ; — R, régulateur à servo-moteur ; — P, pompe à huile du servo-moteur ; — b, bielle de manœuvre des orifices compensateurs O.

et Brown-Boveri comprend deux turbines de 600 chevaux et un alternateur triphasé montés sur un même bâti en fonte de 8^m,20 de longueur sur 2^m,20 de largeur.

Les deux turbines se trouvent aux extrémités de l'arbre de l'alternateur ; ce sont des turbines centrifuges à libre déviation tournant à la vitesse de 960 tours par minute ; la hauteur de chute est de 160 mètres et la pression aux manomètres des turbines varie de 110 mètres à 120 mètres en service normal par suite des pertes de charge.

Le régulateur est monté sur un socle séparé dans lequel se trouve la pompe à huile du servo-moteur. Celui-ci agit par des bielles sur un arbre parallèle à l'arbre des turbines, qui actionne en même temps les vannages des deux turbines par des bielles. Pour éviter les coups de bélier

dans la conduite forcée, on maintient constant le débit de cette conduite en ouvrant des orifices compensateurs, en même temps qu'on ferme le vannage des turbines, de sorte que l'eau qui n'agit pas dans la turbine s'échappe par ces orifices qui sont manœuvrés par les bielles mues par le même arbre commandé par le servo-moteur.

Les paliers sont refroidis par une circulation d'eau provenant de la conduite.

ALTERNATEURS. — L'alternateur triphasé tournant à 960 tours a la forme d'un turbo-alternateur ; il possède deux pôles seulement, donne du courant à 3.300 volts à 15 périodes par seconde ; sa puissance peut atteindre 1.500 chevaux. Une cheminée d'aération placée à la partie supérieure du bâti facilite la ventilation de l'alternateur.

Le tableau de distribution est identique à celui de l'usine de Brigue.

344. Usine de Porjus (Suède) (chute, 57 mètres). — **AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES.** — L'usine de Porjus est située sur le cours d'eau de Lule, dont la puissance totale utilisable est évaluée à 190.000 HP. Le débit, sans régularisation, est de 24 mètres cubes à l'étiage en année sèche, 40 mètres cubes en année humide et 1.500 mètres cubes pour les hautes eaux.

Le grand lac de Lule, par sa régularisation, permet de porter le débit à 150 mètres cubes à la seconde et, de cette façon, atteindre une puissance de 700.000 chevaux au lieu de 115.000 à 120.000 chevaux en puissance normale.

Actuellement les travaux de régularisation portent sur un débit de 60 mètres cubes en année sèche.

Barrage. — La chute de Porjus comprend une série de cascades s'étendant sur 2 kilomètres environ entre deux lacs, grand et petit Porjusselet. La hauteur d'eau utilisable pour l'usine est de 57 mètres pendant l'étiage et 55 mètres en hautes eaux, soit une chute nette de 50 mètres. En vue de la protection de l'usine contre les glaces ou « sorbets » on a aménagé les canaux d'amenée et d'évacuation ainsi que l'installation des turbines entièrement en souterrain (*fig. 887*), pour éviter tout contact avec l'air froid. Une couverture protège contre la neige et la gelée le bassin de mise en charge, réchauffé en outre par une conduite d'air chaud envoyé de l'usine.

Le barrage dans son ensemble a un développement de 1.254 mètres dont 981 mètres en levées et 197^m,70 en déversoirs. Le débit moyen de décharge du barrage pendant les eaux (+ 346), lorsque les deux déversoirs et le barrage à rouleaux sont entièrement libres, est de 1.520 mètres cubes-seconde, le débit de la rivière pendant cette période étant de 1.500 mètres cubes.

Prise d'eau. — Elle se trouve à l'extrémité orientale du barrage, juste à l'endroit où ce dernier repose sur le rocher solide. Les quatre voies d'eau qui alimentent les turbines ont chacune 11 mètres de largeur et

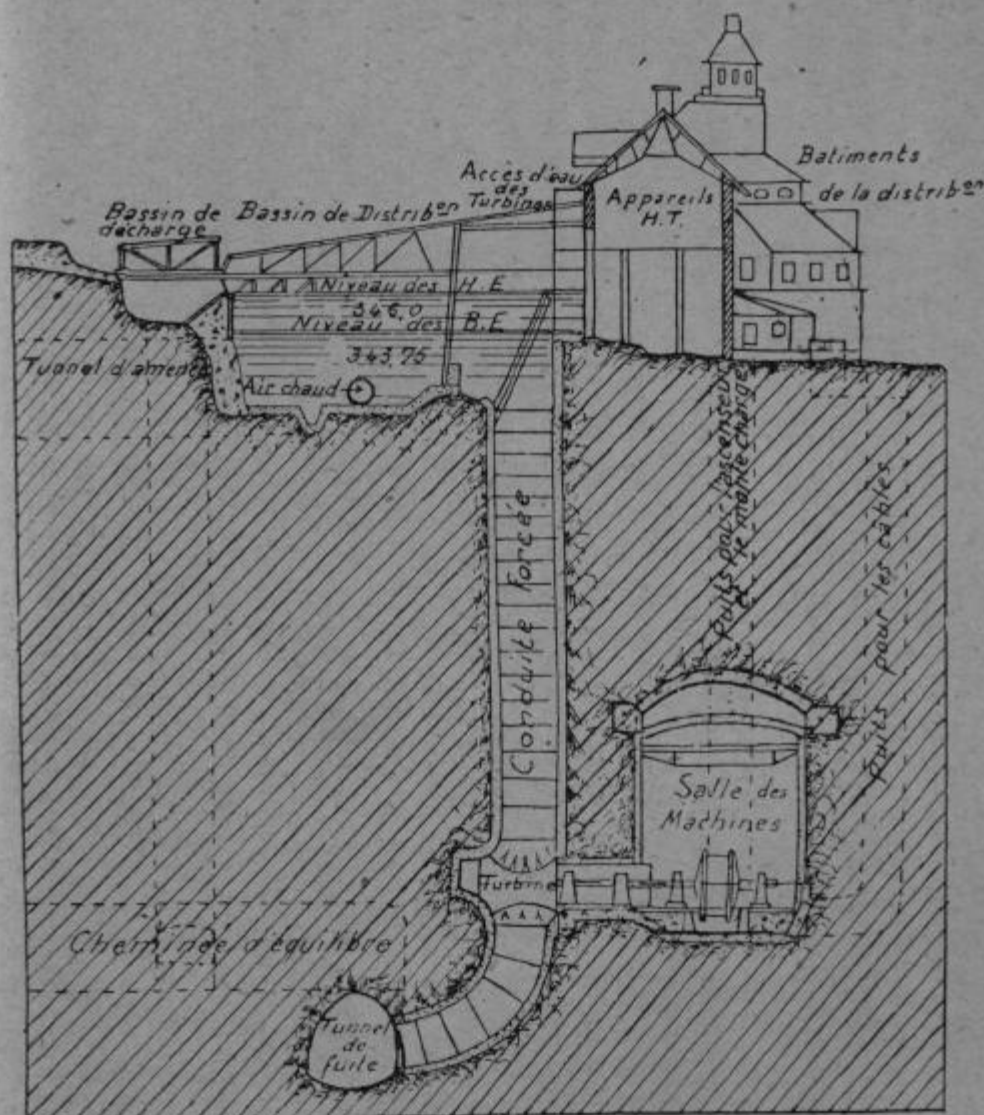


FIG. 887. — Usine hydroélectrique de Porjus. — Schéma de l'installation de l'usine.

4^m,50 de hauteur. Des grilles à barreaux sont placées derrière les ouvertures.

Un bassin de prise à ciel ouvert, qui relie les sections antérieures plus larges et moins profondes à celles plus étroites et plus profondes qui précèdent immédiatement la tête du tunnel d'amenée, sert de passage à l'eau. Une vanne de fermeture en fer est suspendue par des chaînes 20 mètres en avant de la tête du tunnel ; un pont roulant sert à la manœuvre de ladite vanne.

Canaux et bassins. — Le tunnel d'amenée, avec section ovale de 50 mètres carrés a été foncé à même le rocher et aboutit au bassin de distribution. Étant données la grande longueur des canaux et les variations de charge, le bassin de distribution a été construit de façon à se prêter à un écart maximum dans la consommation de l'eau à 50 mètres cubes-seconde. Un brusque décroissement de 30 mètres cubes-seconde dans la consommation de l'eau provoqué par un accident tel qu'un court-circuit dans la ligne de transport, par exemple, peut entraîner parfois la descente brusque de 100 mètres cubes à 0. Dans ce cas, avant que la hauteur dépasse le mur d'enceinte du bassin, la colonne de compensation pouvant débiter 100 mètres cubes-seconde entre en jeu et déverse l'eau dans le tunnel de fuite par l'intermédiaire du bassin d'équilibre.

Conduites forcées. — Elles sont installées dans des puits verticaux et ont 3^m,50 de diamètre. Le tunnel de fuite qui a 1.247 mètres de longueur a sa section normale égale à celle du tunnel d'amenée.

TURBINES. — L'usine génératrice est fondée sur le rocher et le plancher de la salle des machines se trouve à 50 mètres au-dessous de la surface. Les turbines se trouvent dans des niches profondes séparées de la salle des machines par un mur ; ces niches ont 15 mètres de profondeur, 5^m,85 de largeur et 4 mètres de hauteur.

L'air frais arrive sous pression par le puits des câbles d'où il est distribué aux générateurs. En hiver l'air frais étant très froid on le mélange avec de l'air chaud, puis est dirigé dans la salle des machines, et ensuite dans le puits du monte-charges et se mélange enfin, sous le bâtiment de la distribution, avec l'air frais, pour recommencer le cycle par le puits des câbles.

Les turbines jumelles ont été construites par la maison Nydqvist et Holm de Trollhättan. Elles ont été éprouvées à la pression de 115 mètres d'eau. L'arbre de la turbine en acier nickelé est creux et supporté par deux paliers. Elles font soit 225 tours-minute lorsqu'elles actionnent les alternateurs monophasés, soit 250 tours lorsqu'elles entraînent les alternateurs triphasés.

A chaque turbine correspond un régulateur hydraulique à pression d'huile ; une pompe peut fournir de l'huile à deux régulateurs simultanément.

ALTERNATEURS. — Deux groupes d'alternateurs, du type monophasé, d'une puissance unitaire de 12.500 HP servent pour le service de l'électrification du chemin de fer Kiruna-Riksgränsen ; un groupe triphasé de 14.000 HP fournit la force motrice de l'exploitation des mines ; un groupe comprenant une turbine accouplée à deux alternateurs, dont l'un monophasé et l'autre triphasé sert de secours ; un cinquième groupe (triphasé) fournit aussi du courant pour le transport de l'énergie.

L'usine portée à sa pleine puissance comportera dix groupes répartis symétriquement l'un pour les unités monophasées, l'autre pour les unités triphasées.

Les alternateurs monophasés, dont la puissance nominale est de 6.250 k. v. a. fournissent le courant à la tension de 4.000 volts et à la fréquence de 15 périodes-seconde avec $\cos \varphi = 0,8$. Ils sont compoundés, de façon que, pour la charge maximum, la tension soit de 20 0/0 plus élevée que pendant la marche à vide. La commutatrice de compoundage est connectée à l'enroulement de champ de l'excitatrice, à l'effet de réduire les dimensions de la commutatrice et du transformateur de compoundage et d'améliorer la commutation. Un régulateur de tension à action rapide est connecté en parallèle avec la commutatrice pour compenser le retard dû à la self-induction du circuit magnétique.

Les alternateurs triphasés ont une puissance normale de 11.000 k. v. a. avec $\cos \varphi = 0,8$. La tension est de 10.000-11.000 volts, la fréquence 25 périodes-seconde et la vitesse 250 tours-minute.

Le courant pour l'excitation des alternateurs triphasés est fourni par des groupes indépendants, montés en parallèle avec une batterie d'accumulateurs, qui fournissent en même temps le courant continu pour les services auxiliaires.

TRANSFORMATEURS. — Chaque alternateur monophasé alimente deux transformateurs dont les circuits primaires sont couplés en parallèle et les circuits secondaires réunis en série. Ils sont du type à immersion dans l'huile avec refroidissement par eau.

Toutes les manœuvres sont effectuées dans un local spécial appelé « chambre de contrôle » situé au second étage et muni de tous les appareils de mesure et de contrôle. A chaque alternateur triphasé correspond un groupe de trois transformateurs monophasés dont les primaires sont couplés en triangle et les secondaires en étoile.

La tension des alternateurs triphasés est portée de 11.000 volts à 77.000 volts sous laquelle l'énergie est transportée à Kiruna et Gellivare.

RÉSEAU DE DISTRIBUTION. — L'énergie produite à l'usine de Porjus alimente un réseau triphasé à 77.000 volts, avec longueur de lignes variant de 53 à 118 kilomètres et un réseau monophasé de 80.000 volts.

Le réseau triphasé est constitué par une double ligne qui aboutit à Kuosakabbo, d'où se fait la séparation pour les branchements de Gellivare et de Kiruna.

Les conducteurs sont supportés par des pylônes dont la hauteur normale est de 14 mètres et l'écartement normal, 190 mètres. Les trois conducteurs en cuivre se trouvant dans le même plan horizontal sont suspendus aux traverses par des chainettes (chaque chainette étant formée par six isolateurs) ; la distance entre les conducteurs est de 4 mètres.

Le réseau triphasé est aussi assuré par une double ligne qui aboutit à la sous-station de Vassijaure à 240 kilomètres de Porjus. Dans les sous-stations réparties le long de la ligne du chemin de fer, la tension est abaissée à 15.000 volts, tension sous laquelle travaille la ligne de contact aérienne à suspension caténaire.

L'usine de Porjus a fourni pendant l'année 1915 :

Pour le réseau monophasé.....	8.349.475 kwh.
— triphasé.....	15.296.376 —
— continu.....	800.360 —
Ensemble.....	24.446.211 kwh.

La recette pour l'énergie vendue s'élevait à 1.100.000 francs dont 700.000 provenant des chemins de fer de l'État et 430.000 de ceux de la Compagnie minière Luossavaara et Kirunaovara.

345. Usine de Ponsonnas (Isère) (*chute, 52 mètres*). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — L'usine de Ponsonnas utilise les eaux du Drac, un des torrents les plus considérables de France par la longueur de son cours et l'abondance de ses eaux. Les glaciers qui alimentent le Drac sont situés à 3.000 et 4.000 mètres d'altitude ; un minimum de débit se produit à la fin de l'été, et un autre en plein hiver, au moment où le froid congèle une partie des sources.

La partie supérieure du Drac, c'est-à-dire celle située dans le département de l'Isère, s'appelle le Haut-Drac et donne lieu dans ce parcours à une dénivellation de 540 mètres (son entrée dans l'Isère est à la cote 205, et sa sortie à la cote 745) sur une longueur de 21 km,500.

Dans les rapides, la pente atteint 0^m,02 et même 0^m,03 par mètre, pour se tenir à 0^m,01 dans les autres parties ; les rives du torrent sont très abruptes et le lit très étroit, descendant à 5 mètres en certains endroits.

Entre Pont-Saint-Bernard, — peu après l'entrée du torrent dans le département de l'Isère, — et Ponsonnas, on a reconnu la possibilité d'établir quatre chutes, soit, en allant d'aval à amont : la chute de Ponsonnas (52 mètres), la chute de Chambons (40 mètres), la chute de Quet (67 mètres) et la chute de Corps ou d'Amblet. Le débit d'étiage est de 20 mètres cubes.

Barrage. — L'aménagement de la chute de Ponsonnas comporte un barrage (*fig. 888*) placé sous le pont suspendu de Ponsonnas, reposant sur des couches de calcaire dur et appuyé latéralement sur la roche en place. A cet emplacement, le lit du Drac a 22 mètres de largeur. En plan, le barrage présente vers l'amont une courbe de 180 mètres de rayon avec un développement de 85 mètres et une flèche de 5 mètres à la partie supérieure.

Son profil est calculé selon les exigences de la circulaire ministérielle du 5 juin 1897. La pression maximum que la maçonnerie a été admise à supporter est de 10 kilogrammes par centimètre carré.

La partie supérieure du parement d'aval est tracée suivant une parabole telle que si, contre toute prévision, une lame déversante se produisait accidentellement sur la crête, cette lame ne puisse abandonner la surface et faire chute directe en aucun point.

Deux tunnels latéraux ont été creusés dans les rives, à l'effet de mettre

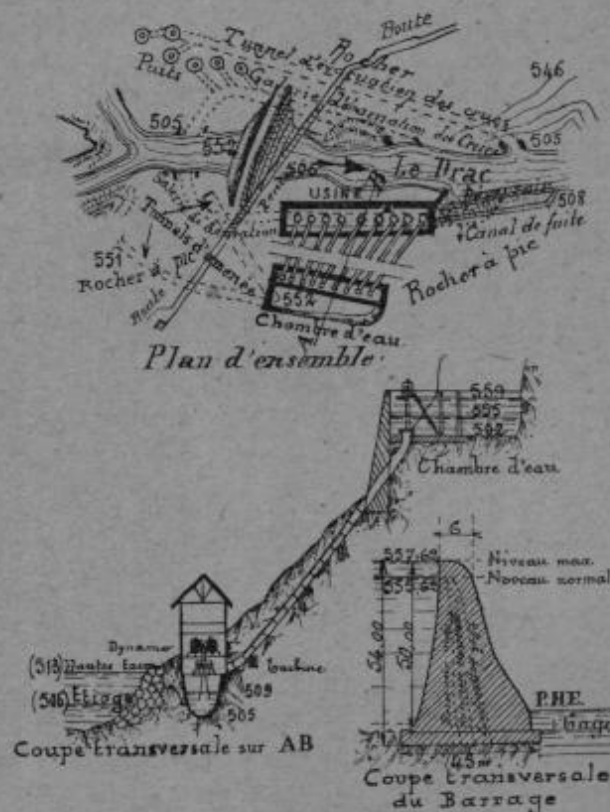


FIG. 888.

le Drac à sec pendant l'exécution du barrage, et un batardeau à l'amont, d'environ 4 mètres de hauteur et dont la crête a été arasée à la cote 512, a permis de rejeter dans les deux tunnels les eaux qu'un autre batardeau, établi à l'aval, empêchait de rentrer dans la section réservée.

Avec la hauteur de chute créée par le batardeau d'amont, les tunnels (celui de la rive droite a une section de 16 mètres carrés et celui de la rive gauche 35 mètres carrés) peuvent débiter 200 mètres cubes par seconde, lequel débit monte à 300 mètres cubes avec le barrage qui, en retenant les eaux à une plus grande hauteur que le batardeau, accroît leur pression et leur vitesse. Le tunnel de gauche est utilisé pour l'évacuation des crues, celui de droite sert de canal de fuite de l'usine.

Un premier canal d'aménée, creusé dans la roche de la rive droite, amène l'eau du réservoir, formé par le barrage, dans la chambre d'eau ; sa section étant de 20 mètres carrés et la vitesse admise de 1^m,50, il peut débiter 30 mètres cubes par seconde, débit supérieur aux eaux d'étiage. Le réservoir ou lac formé par la retenue du barrage a une superficie de 50 hectares et joue en outre le rôle de bassin de décantation. Le deuxième tunnel a pour but d'utiliser les eaux ordinaires au cas où l'on ne se contenterait pas de marcher avec les eaux d'étiage.

Chambre d'eau. — C'est à la fois une chambre de prise d'eau et de mise en charge, creusée à flanc de coteau dans le rocher, en aval du pont et parallèlement au lit du Drac. Elle a 75 mètres de longueur et une largeur variant de 23 à 15 mètres ; à mesure de l'absorption de l'eau par les premières conduites forcées, la hauteur de l'eau y est au plus de 6^m,50. Chaque turbine a son compartiment indépendant, facilitant les réparations en cas de besoin. L'extrémité de la chambre d'eau est munie d'un puits de chasse permettant d'éliminer les sables qui peuvent s'y introduire.

Le canal de fuite fait suite à l'un des tunnels creusés pour la dérivation des eaux pendant la construction du barrage ; son radier est à la cote 505, c'est-à-dire plus bas que ne le prévoient les traités avec les usagers d'aval ; mais un barrage établi à son extrémité relève le niveau à la cote imposée, permettant ainsi de profiter, le cas échéant, de la plus forte chute possible, jusqu'au moment où les usagers inférieurs seront en mesure de tirer parti de leurs droits.

Évacuateurs de crues. — Les crues exceptionnelles pouvant aller jusqu'à 1.000 mètres cubes par seconde, il n'a pas paru prudent de les faire déverser par-dessus le barrage, d'une hauteur de 50 mètres, pour la bonne conservation de l'ouvrage ; d'autre part, l'étranglement du lit ne permettant pas l'installation de déversoirs capables d'évacuer un pareil débit, on y a suppléé par deux grands tunnels ayant ensemble 70 mètres carrés de section, tunnels alimentés par des puits prenant l'eau à la surface et calculés de manière à ce que, au moment où, par suite d'une crue, le niveau du lac-réservoir atteint son maximum, ils fonctionnent alors comme siphons ou orifices noyés et puissent absorber les 1.000 mètres cubes prévus. De cette façon, la paroi et la base du barrage sont mis à l'abri des chocs et des affouillements.

Conduites forcées. — Elles sont au nombre de 17 pour l'usine complète, avec des diamètres variant de 1 mètre à 1^m,50, et constituées par des tôles d'acier de 5 à 8 millimètres d'épaisseur, leur longueur moyenne étant de 60 mètres ; ces conduites correspondent à des unités de 1.000 ou 1.200 HP.

346. Usine de la Canadian-Niagara Power et C^{ie} (Amérique)

(chute, 51 mètres). — Cette installation qui utilise une chute de 50 mètres comporte des turbines Francis doubles Escher Wyss d'une puissance unitaire de 10.000 à 12.500 chevaux, au nombre de six.

Ces turbines qui tournent à la vitesse angulaire de 250 tours à la minute, actionnent des alternateurs à courant triphasé de 10.000 volts, 25 périodes fournies par la Société Westinghouse. Les excitatrices sont commandées par deux moteurs générateurs de 200 kilowatts, chacun d'eux étant suffisant pour assurer le service.

Le déphasage du courant est relativement faible ; le soir, le facteur de puissance $\cos \varphi$ est égal à 0,9 environ.

La station comprend un grand nombre de petits moteurs à courant continu pour la manœuvre des vannes, la commande des pompes à huile et à eau, etc.

Chaque alternateur est relié aux barres générales par deux canalisations isolées à trois conducteurs. Dans chacune d'elles est un interrupteur à huile actionné par un relais et un moteur ; sur le parcours de ces canalisations sont, en certains endroits, installées des glaces permettant de s'assurer du fonctionnement.

La station transformatrice contient des transformateurs à huile et refroidissement par eau, de 4.875 kilowatts, permettant d'élever la tension du courant à 22.000, 33.000, 38.500 et 57.500 volts.

347. Usines de Cellina (Italie) (chute, 57^m,50). AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Cette installation utilise deux chutes successives de 57^m,50 sur le torrent Cellina, avec un débit concédé de 12 mètres cubes à la seconde, soit pour chaque usine une puissance moyenne de 6.900 HP sur l'arbre des turbines. Mais les deux usines sont prévues pour 13.000 chevaux, à développer dans chacune d'elles au moyen de groupes de 2.600 HP et de 4.300 HP. On a créé un vaste réservoir en barrant la rivière à la cote 342,60 en un point où celle-ci coule dans une gorge très étroite et très escarpée ; la largeur du barrage, situé à 8 kilomètres de Montereale, est de 32^m,68 ; son épaisseur, 4 mètres au sommet et 16 mètres à la base, et sa hauteur, 14 mètres. Il comporte quatre ouvertures de 3^m,17 \times 3^m,50 fermées par des vannes métalliques équilibrées, actionnées par l'électricité.

La prise d'eau est formée de deux vannes de 2^m \times 3^m qui font tête au canal d'amenée.

Le canal de dérivation comporte deux grandes chambres de décantation et une chambre de mise en charge. Il serpente à flanc de coteau au-dessus de la rivière ; sa section minima est de 9 mètres carrés, sa pente de 0^m,60 par kilomètre et sa longueur totale de 6^{km},500, dont 1.080 mètres en tunnel. Quatre conduites en tôle d'acier de 1^m,50 de diamètre partent de la chambre de mise en charge, alimentant quatre turbines de 2.600 HP

tournant à 315 tours, et deux conduites de 0^m,70 pour les turbines des excitatrices. Le canal de fuite de la première usine sert en même temps de canal d'aménée à la seconde usine, située en aval. C'est donc une disposition analogue à celle réalisée aux usines de Chedde et de Servoz-sur-l'Arve (Savoie) et aux usines de Riouperoux sur la Romanche (Isère).

Les turbines Francis centripètes ont été construites par la maison Riva-Monneret et les alternateurs triphasés par la firme Brown-Boveri. Ceux-ci sont directement accouplés aux turbines qui sont disposées horizontalement. Ils sont du type à induit fixe et inducteur interne tournant. Ce dernier est en une seule pièce d'acier portant 16 pôles alternés. L'excitation permet de faire varier la tension des alternateurs de 3.600 volts à 4.800 volts, à la fréquence 42. Leur rendement industriel est de 0,95. Les turbines commandant les dynamos excitatrices ont une puissance de 200 HP et tournent à 500 tours par minute. Les transformateurs élèvent la tension sur la ligne à 36.000 volts, avec un rendement industriel de 0,98 avec un facteur de puissance $\cos \varphi = 1$.

LIGNE DE TRANSPORT D'ÉNERGIE. — La ligne de transport de force, qui part de la centrale de Malnisio, porte l'énergie à Venise en suivant un tracé quasi rectiligne, touche Pordenone, Oderzo et Campalto, puis traverse la lagune pour arriver à la station transformatrice de Venise. La longueur de la ligne est de 87 kilomètres. La réserve à vapeur de Venise comprend : deux turbo-alternateurs pouvant fournir respectivement 1.200 et 3.000 kilowatts à la tension de 6.200 volts, 42 périodes, et tournant à 1.260 tours ; deux batteries de chaudières Babcock et Wilcox, dont une de 301 mètres carrés et l'autre de 574 mètres carrés. Ces générateurs sont capables d'une production de 30.000 kilogrammes de vapeur à l'heure à la pression de 13 kilogrammes et à la température de 320°.

Une troisième chute permettant d'obtenir encore 1.700 HP a été mise en valeur depuis.

348. Usine de Séchilienne (Isère) (chute, 58^m,80). — **AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES.** — L'usine de Séchilienne emprunte sa force motrice à la Romanche, dont nous avons défini le régime au (§ 33).

Le *barrage*, muni de deux vannes Stoney, est construit au travers de la Romanche, en dessous du village de Gavet. L'eau dérivée immédiatement au-dessus de ce barrage, traverse d'abord un *bassin de décanlation* muni de vannes de chasse, puis elle passe à travers des grilles, d'où elle arrive au *canal de dérivation* proprement dit, presque entièrement en souterrain. Ce dernier conduit l'eau jusqu'à la chambre de *mise en charge*, située exactement au-dessus de l'usine et taillée en plein rocher.

Une *conduite forcée* de 2^m,25 de diamètre, en tôle rivée, amène l'eau de la chambre de mise en charge jusqu'au collecteur de l'usine en passant

par-dessous la route nationale. De l'usine, un canal de fuite très court ramène l'eau à la Romanche. La chute utilisable est de 58^m,80 à l'étiage et 56^m,30 en hautes eaux.

L'usine même s'élève entre la route nationale et la Romanche, à environ 1 kilomètre au-dessus du village de Séchilienne.

TURBINES. — Les turbines, fournies par la maison Piccard, Pictet et C^{ie}, sont du type Francis, à axe horizontal, à roue simple, de 2.000 HP de puissance chacune, avec un tuyau d'aspiration.

Le réglage est effectué par les aubes mobiles du distributeur, commandées par un servo-régulateur à huile sous pression. Des essais de rendement très précis exécutés en 1907 à l'usine de Séchilienne, sous la direction du D^r Epper, directeur du Bureau hydrométrique fédéral, ont donné les chiffres suivants : à 3/4 de charge, 81 0/0 ; à demi-charge, 77,5 0/0.

ALTERNATEURS. — L'usine de Séchilienne, qui appartient à la Société Grenoble et Voiron, a été installée avec quatre groupes générateurs de 2.000 HP, tournant à la vitesse de 375 tours par minute et deux groupes d'excitation dont la vitesse est de 500 tours. Depuis, un cinquième groupe a été installé ainsi qu'une seconde conduite forcée entre la chambre d'eau et le collecteur de l'usine.

349. Usine de Livet (Isère) (chute, 60 mètres). — **AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES.** — Les eaux de la rivière la Romanche ont été dérivées souterrainement à 2 kilomètres à l'amont du village de Livet. La Romanche, en raison de son origine glaciaire, présente le grand avantage de n'être pas sujette aux variations de débit qui caractérisent les cours d'eau prenant naissance à de moyennes altitudes et alimentés seulement par les pluies ou par des neiges temporaires. Elle a ses eaux basses, moyennes et grosses, chaque année, aux mêmes époques, ce qui est à considérer pour la régularité de marche des usines.

Cette installation offre ce caractère spécial que le trop-plein, qui pouvait constituer un danger pour la ligne triphasée à 26.000 volts, a été canalisé en une conduite métallique, dite « siphon de Livet », reliant directement la chambre d'eau d'aval à la Romanche et pouvant débiter 10 mètres cubes par seconde. Ce siphon, établi par la maison Bouchayer et Viallet, s'amorce et se désamorce automatiquement à un niveau déterminé au moyen d'un reniflard qui, fixé d'une part sur la conduite d'évacuation, plonge de l'autre dans la chambre d'eau.

Barrage. — Ainsi qu'on le voit (*fig. 889*), le barrage de Livet, qui constitue une faible retenue d'eau, est fixe ; son développement est de 60 mètres, et il est divisé en trois voussoirs, *a*, *b* et *c* prenant leur appui sur des piliers de 10^m,00 × 3 mètres, sur le bajoyer du pertuis de chasse et sur la rive droite formant culée, et construits avec de gros blocs reliés

par un mortier de ciment. Le profil transversal présente une double courbure qui tend à augmenter l'appel en amont, à atténuer la vitesse en aval et, par suite, l'intensité des affouillements.

Le pertuis de chasse, de 6 mètres de débouché libre, muni de trois vannes, assure l'évacuation des apports et la retenue de l'eau au niveau du barrage durant l'hiver.

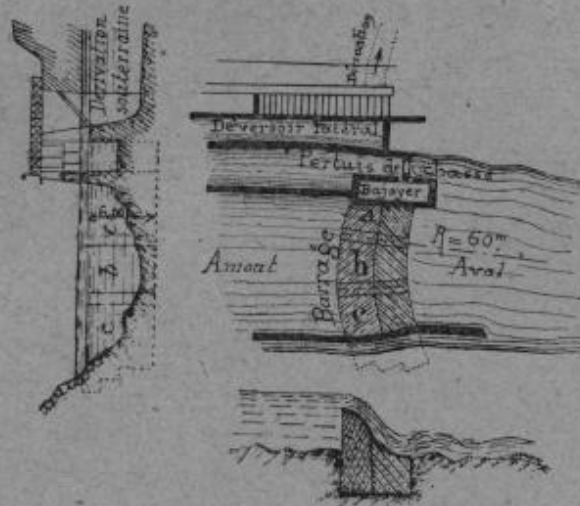


FIG. 889.

Le radier de ce pertuis se prolonge en amont jusqu'à l'origine du déversoir latéral de prise d'eau, et en aval suffisamment pour éviter tout affouillement.

La pente du radier est de 30 millimètres par mètre, pour provoquer un violent courant de chasse. Il laisse jusqu'à la crête du déversoir

un vide assez grand pour l'évacuation de tous les apports.

Le canal d'aménée est creusé à peu près complètement dans le rocher, sur 2.000 mètres de longueur. Sa section est de 11 mètres carrés, avec un profil sensiblement circulaire; la pente est de 1,5/1.000, qui donne à l'eau une vitesse de 2 mètres. Il est entièrement revêtu en béton de ciment, d'une épaisseur de 0^m,25 dans le rocher et de 0^m,60 à 1 mètre dans les terrains meubles.

Trois petits barrages obliques arrêtent dans le parcours les sables, évacués au moyen de tuyaux dans les anciennes lunettes d'attaque. L'affouillement du fond est évité, en arrière de la vanne de prise d'eau, par un matelas d'eau retenu au moyen d'un barrage disposé à une vingtaine de mètres de cette vanne.

Chambre d'eau. — La chambre d'eau, établie dans le rocher (fig. 890), est divisée en deux parties : la chambre de décantation, armée de deux vannes de chasse et d'une grille d'arrêt pour les feuilles et corps flottants,

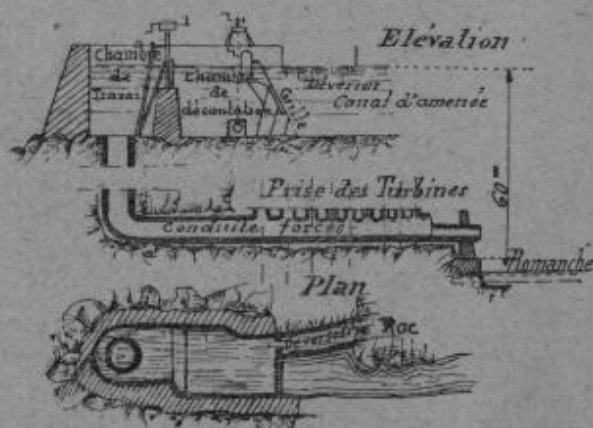


FIG. 890.

et la chambre de travail, où l'eau pénètre par déversement sur la cloison qui sépare les deux chambres. Cette dernière est commandée par trois vannes verticales au-dessus de cette cloison, et c'est du fond de cette chambre que part la conduite forcée.

Le canal de fuite se divise en deux parties : la première, formant le sous-sol de l'usine hydroélectrique, recueille le débit des turbines et maintient leur aspiration au moyen d'un barrage ménagé à l'origine du branchement conduisant les eaux à la Romanche ; la seconde sert à la fois d'évacuation et de cheminée pour le dégagement des gaz et des poussières des fours, au moyen d'une batterie de pulvérisateurs de poussières.

Conduite forcée. — La disposition verticale de départ de la conduite forcée dispense des ventouses ou reniflards nécessaires sur les conduites fermées, à leur sommet, par suite de l'absence de tout vide. La conduite, qui a 2^m,50 de diamètre, est en acier doux ; l'épaisseur des tuyaux varie de 5 à 15 millimètres, et le métal ne travaille pas à plus de 4 kilogrammes par millimètre carré. L'intervalle entre la conduite et le rocher encaissant a été bourré en béton de ciment, les grosses fentes préalablement bouchées par de forts blocs.

Un autoclave, une vanne de chasse et un tuyau de vidange permettent d'évacuer les sables et de vider complètement les tuyaux pour les visiter et les nettoyer.

Un manomètre enregistreur indique à tout instant la pression intérieure.

TURBINES. — L'usine utilise, sous une chute de 60 mètres, les eaux de la rivière avec un débit de 25 mètres cubes, lorsque l'eau est retenue au niveau de la crête du barrage.

Elle dispose d'une puissance de 9.000 à 10.000 HP, pouvant être portée à 15.000.

Les turbines, de 175 HP, tournant à 500 tours, sont du type Girard, à libre déviation et à débit variable par tiroir sur le distributeur. Les turbines de la maison Bouvier, de 2.500 HP chacune, tournent à 375 tours. Un régulateur du système H. Bouvier permet le réglage simultané au moyen d'un seul pendule.

Le rendement garanti des grandes turbines est de 80 0/0, et de 75 0/0 pour les petites. Chaque grande turbine est munie d'un régulateur automatique à servo-moteur hydraulique, qui commande la valve d'admission d'eau et limite la durée des emballements possibles ; les régulateurs des petites unités sont des appareils très sensibles, à action rapide, assurant une vitesse constante des moteurs. Chacune des turbines est munie d'un régulateur de pression contre les coups de bélier.

ALTERNATEURS. — Les alternateurs pour le transport de force sont commandés par les turbines de 2.500 HP et fournissent du courant tri-

phasé sous 3.000 volts composés, que des transformateurs-élevateurs portent à 26.000 volts. Ils peuvent donner 2.500 kilowatts avec $\cos \varphi = 0,7$ et à 50 périodes. Le matériel électrique sort des ateliers Brown et Boveri. ●

LIGNES DE TRANSMISSION D'ÉNERGIE. — Le courant de 26.000 volts est dirigé sur un tableau de couplage construit en ciment armé, d'où partent deux lignes triphasées à 3 fils. Chacune d'elles passe par un interrupteur automatique à huile à action différée et par un parafoudre. Ce tableau permet le couplage de n'importe quelle machine sur un transformateur statique quelconque. Une ligne de la Société de Fure et Morge, reliée à ce réseau, lui sert de secours.

L'usine comporte en outre des alternateurs à basse tension pour les opérations électrométallurgiques, ainsi que des dynamos pour les services accessoires.

Les lignes qui alimentent Grenoble ont 38 kilomètres de longueur. Le courant aboutit à la station de Mallifau, où se trouvent les transformateurs-abaisseurs à 5.000 volts. Les poteaux sont en ciment armé du système Bourgeat.

De la sous-station de Mallifau part le réseau primaire grenoblois, divisé en deux branches : l'une qui alimente la ville et l'autre les faubourgs, où la distribution est faite à 125 volts.

EXPLOITATION. — La Société électrochimique de la Romanche a créé la chute de Livet en vue de la fabrication de produits chimiques et électrométallurgiques, comme du transport au dehors de l'énergie électrique. L'usine comporte quatre bâtiments : celui des silos, avec la salle de broyage, les ateliers d'entretien et de réparation ; la salle des fours ; la salle des machines, et enfin un bâtiment destiné au concassage, au refroidissement et à l'emmagasinage des produits fabriqués.

L'usine de Livet fournit du courant à la ville de Grenoble aux conditions suivantes : pour le premier million de kilowatts, 0 fr. 12 le kilowatt pour la lumière et ensuite 0 fr. 06, et pour la force motrice 0 fr. 06, ce qui met le cheval-an à 70 francs minimum et 120 francs maximum.

Cette usine a considérablement été augmentée pendant le cours de la guerre.

350. Usine du Refrain (Doubs) (chute 60 mètres). — **AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES.** — Cette grande usine est installée dans la vallée du Doubs, entre le bassin de Biaufond et celui de la Charbonnière (fig. 705).

Les eaux de la rivière le Doubs (§ 38) font en cet endroit des rapides assez brusques, de sorte qu'une différence de niveau, sur un parcours relativement peu étendu, a permis d'obtenir une chute importante.

L'étude et la direction des travaux hydrauliques de cette installation a été confiée à M. Kürsteiner, l'ingénieur de Saint-Gall, dont les connaissances pour la solution pratique de tels problèmes sont hautement appréciées.

Le régime du Doubs est très variable ; son débit d'étiage peut baisser jusqu'à 3 mètres cubes à la seconde. Mais les installations ont été calculées pour un débit de 15 mètres cubes à la seconde, corres-



FIG. 891. — Usine du Refrain. Carte de la région.

pondant à une puissance brute de 9.000 HP, avec une chute de 60 mètres. A défaut de réserve hydraulique on pare au déficit de la force en basses eaux, qui n'est que de 2.000 HP, par une station à vapeur sise à Ronchamp.

Prise d'eau. — Cet ouvrage se trouve en dessus de l'ancienne scierie du Refrain, à la cote 606,50. Il est composé de cinq vannes mobiles de 4^m,20 de largeur et de 1^m,25 de hauteur, d'une grille à barreaux amovibles en acier et de quatre tunnels d'entrée qui débouchent dans le canal d'amenée. Ce vannage permet de régler le débit pris en rivière, quelle que soit la hauteur d'eau dans cette dernière en amont du barrage fixe (fig. 892 et 893).

Tunnel d'adduction. — Servant à la dérivation des eaux du Doubs, le tunnel du Refrain, sur lequel s'ouvrent les quatre galeries d'entrée, a une longueur de 2.750 mètres, avec $7\text{m}^2,44$ de section libre et une pente de 1 0/00. Il donne passage à une dépense de 15 mètres cubes à la seconde avec une vitesse de $2\text{m},10$ à la seconde. Les parois du tunnel sont revêtues de maçonnerie en béton de ciment portland de 30 centimètres d'épaisseur recouverte d'une chape de $2^{\text{cm}},5$ d'épaisseur (fig. 894 et 895).

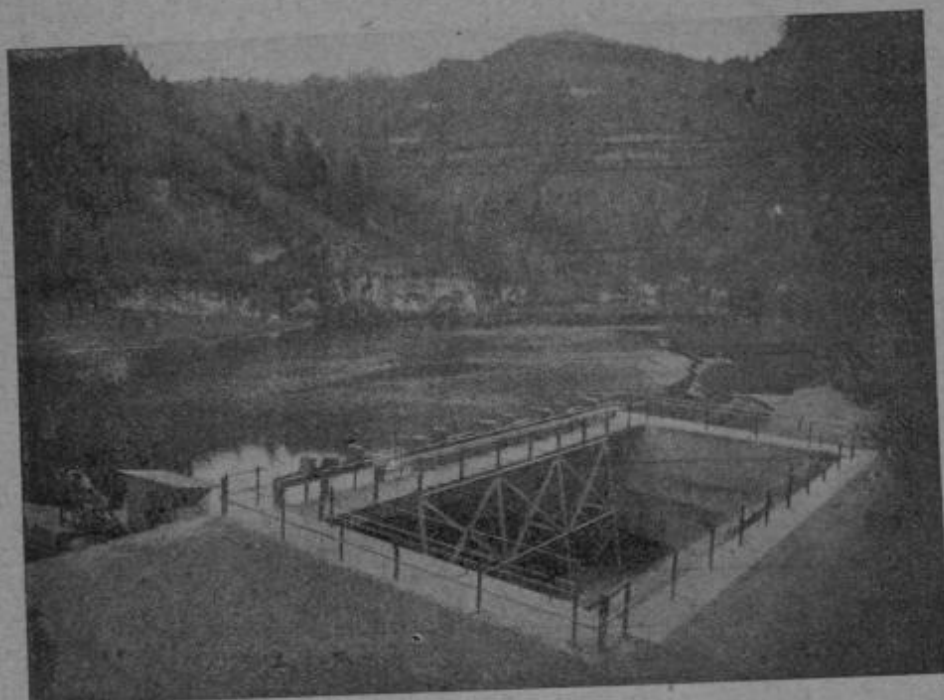


FIG. 893. — Usine du Refrain. Prise d'eau.

Chambre d'eau. — Située à l'extrémité inférieure du tunnel, elle est aussi entièrement creusée dans le rocher. Elle comporte une disposition ingénieuse pour l'amortissement des coups de bélier et pour servir en même temps de réserve hydraulique (fig. 897). Elle comprend deux galeries latérales de 40 mètres de longueur sur 32 mètres carrés de section et un puits d'aspiration d'air de 55 mètres carrés de section et 20 mètres de hauteur. Le tout forme un volume de 4.300 mètres cubes. Grâce à cette disposition une conduite coûteuse de trop-plein a pu être évitée.

Conduites forcées. — De la chambre d'eau partent deux tuyauteries de 115 mètres de longueur chacune (fig. 895). Elles sont munies de deux vannes et de quatre valves à papillon. Les tuyaux en tôle d'acier ont un diamètre intérieur de 2 mètres et se rejoignent à un collecteur de $2\text{m},40$ de diamètre, d'où partent cinq tuyaux d'adduction desservant les turbines.

L'usine a été construite au lieu dit : les Iles, dans un site admirablement pittoresque et sauvage. Elle est entièrement en béton et en béton armé

et mesure environ 1.050 mètres carrés de superficie et 10-16 mètres de hauteur intérieure. Elle se divise en trois parties : en bas, un canal pour

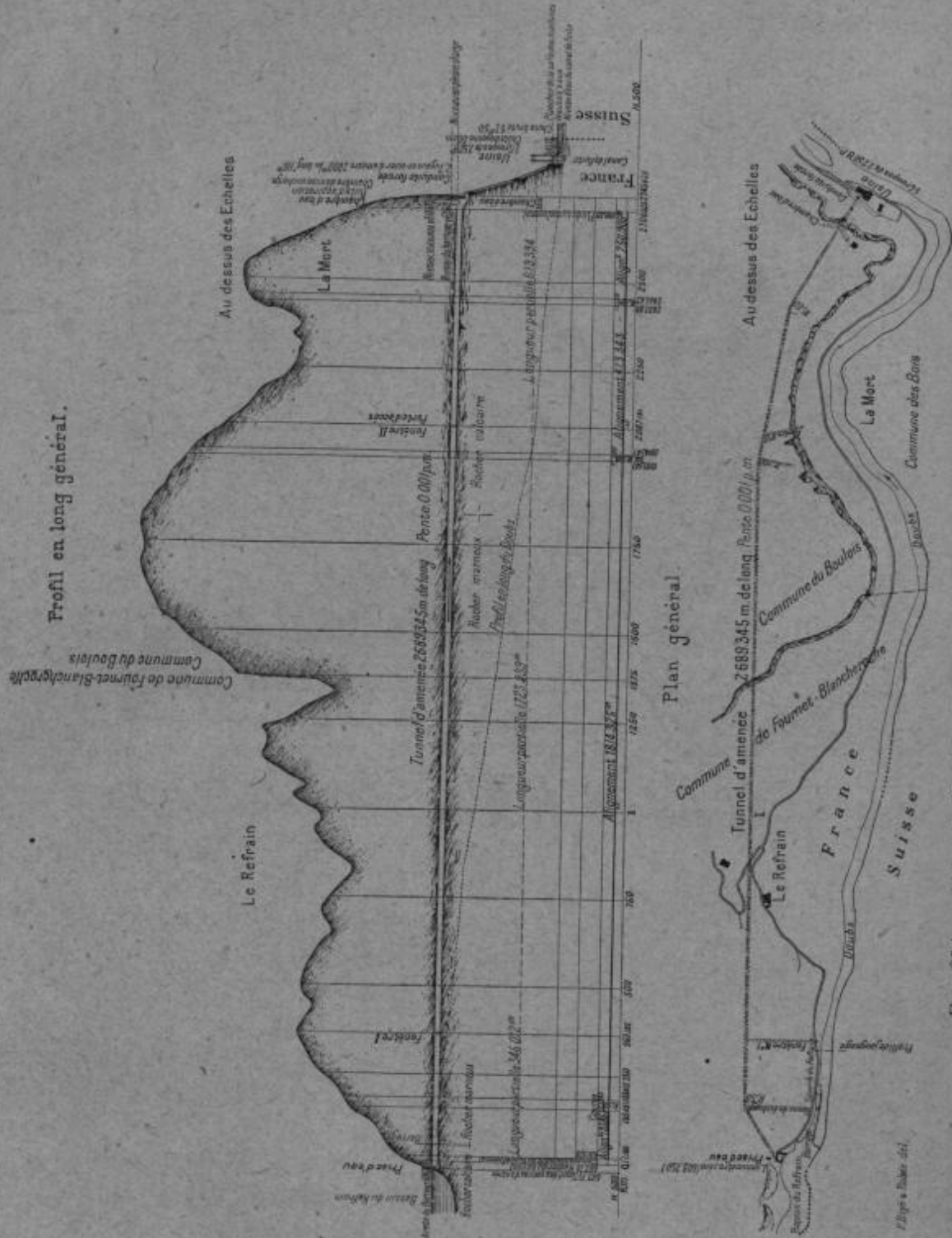


FIG. 894. — Usine du Refrain. Plan et profil général du canal-tunnel d'aménage.

la décharge des eaux ; dans le sous-sol, les tuyaux, et à l'étage, les turbines, les génératrices d'électricité, les transformateurs et l'appareillage

électrique. A proximité se trouve la maison d'habitation pour le personnel de l'usine.

TURBINES. — L'usine du Refrain a été édifiée pour recevoir cinq groupes générateurs de 2.250 HP et deux groupes d'excitation de 180 HP chacun (*fig. 896*). Les turbines de 2.250 HP, tournent à 500 tours par minute et celles de 180 HP, à 850 tours. Toutes sont du type Francis, à axe horizontal, à bêche en fonte en forme de spirale et sortent des établissements Piccard et Pictet.

Chacune des turbines principales est munie d'une vanne d'arrêt à com-

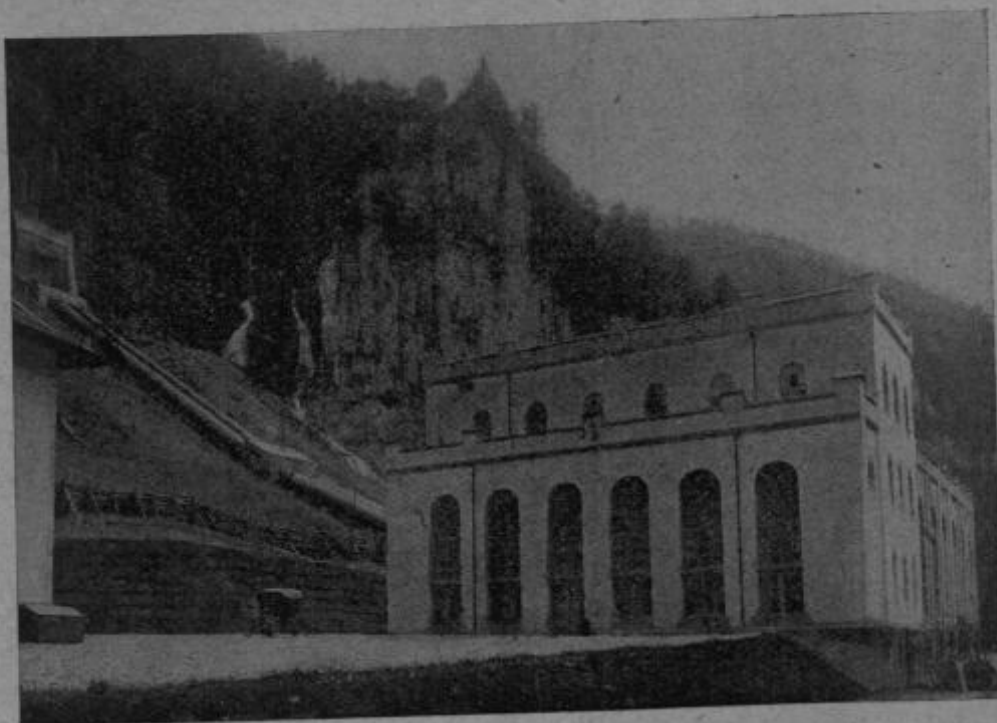


FIG. 895. — Usine du Refrain. Bâtiments et conduite forcée.

mande hydraulique, de 1 mètre de diamètre intérieur, placée dans le sous-sol du bâtiment où viennent déboucher les tuyauteries de raccordement au collecteur, qui, lui, est disposé à l'extérieur de l'usine. Elles sont à roue double avec deux tuyaux d'aspiration. Le réglage est effectué par les aubes mobiles du distributeur, commandées par un régulateur servomoteur à huile sous pression.

Le mécanisme d'actionnement de ces aubes directrices présente un intérêt tout particulier. On sait que, d'ordinaire, les tourillons sur lesquels pivotent les aubes mobiles ainsi que le mécanisme gouvernant ces aubes sont constamment noyés à l'intérieur de la bêche de turbine. Ils ne peuvent pas par ce fait être graissés et sont ainsi exposés à une destruction plus ou moins rapide. Ici, le mécanisme actionnant les aubes distri-

butrices est entièrement placé à l'extérieur de la bêche ; il est hors de l'eau, visible, et peut être ainsi facilement graissé et réglé pendant la marche de la turbine. Les aubes directrices sont coulées d'une seule pièce avec leurs deux tourillons qui traversent chacun un presse-étoupe en bronze. L'un des tourillons est prolongé en dehors de la turbine et porte une manivelle clavetée commandée par le servo-moteur. Les presse-étoupes sont maintenus pleins de graisse consistante au moyen de graisseurs appropriés, de sorte que les tourillons travaillent dans les meilleures conditions.

D'autre part, l'ouverture de chacune des aubes est gouvernée directement par le mouvement d'un cercle relié au servo-moteur. Par contre, la fermeture de ces aubes est provoquée par le même cercle, non plus directement, mais par l'intermédiaire de ressorts puissants intercalés entre le cercle et les manivelles de chacune des aubes. De cette manière, si, pendant la fermeture, un corps étranger vient à s'introduire entre deux aubes et y reste pincé, les ressorts intéressés cèdent devant cette résistance anormale et l'aube reste ouverte au lieu de se briser. Le mécanisme étant intérieur et visible, on peut tout de suite intervenir pour dégager l'aube.

Les régulateurs servo-moteurs automatiques sont du système Piccard et Pictet à huile sous pression. Chaque régulateur possède sa pompe à huile située dans le socle de l'appareil, qui sert en même temps de réservoir d'huile. Dans le régulateur proprement dit ou tachymètre, les poids sont suspendus à des lames d'acier flexibles formant ressorts, au lieu de tourillonner sur des couteaux, de sorte qu'il n'y a aucun frottement intérieur dans ces tachymètres, ce qui leur donne une extrême sensibilité. Le piston du servo-moteur peut également être déplacé à la main au moyen d'un mécanisme de commande par engrenages et vis, embrayable à volonté. Le réglage à main des turbines peut ainsi être substitué à chaque instant au réglage automatique et *vice versa*.

Les turbines des excitatrices sont du type Francis à roue simple avec un seul tuyau d'aspiration. Leur construction est semblable à celle des turbines commandant les génératrices. Elles sont munies du même système de réglage par aubes mobiles, gouvernées par un régulateur servo-moteur à pression d'huile avec pompe à huile rotative propre à chaque turbine.

ALTERNATEURS. — C'est à la Société alsacienne de constructions mécaniques que la Société des forces motrices du Refrain s'est adressée pour la fourniture de tout le matériel électrique de l'installation. Les alternateurs, sont du type à induit fixe et inducteur tournant fournissant du courant triphasé à 5.200 volts, 50 périodes (2.000 kilovolts-ampères). Les enroulements induits sont constitués par des spires formées sur gabarit, identiques et interchangeable et mises en place sans qu'il soit nécessaire de faire aucune opération d'enroulement. Le courant inducteur est amené

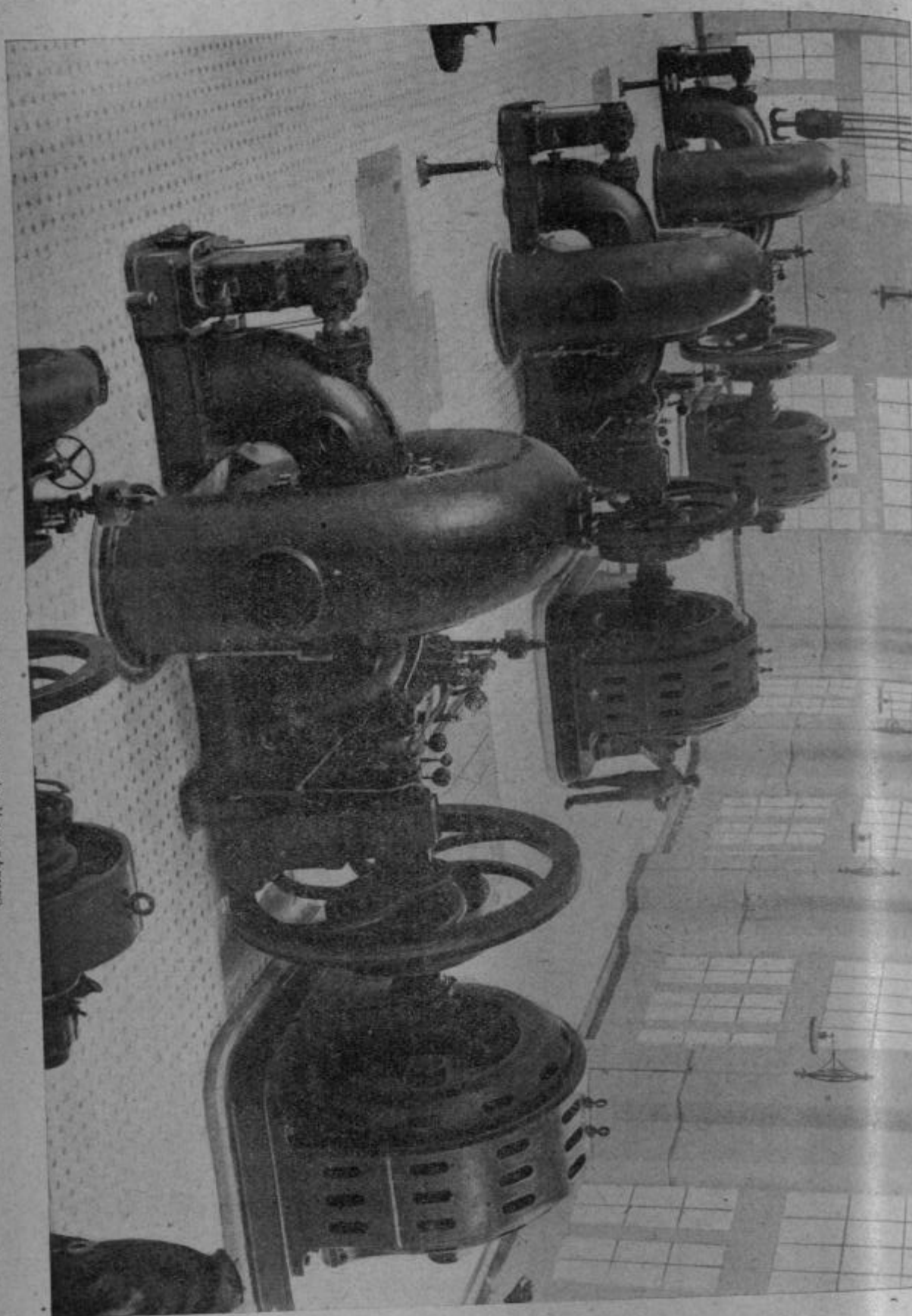


Fig. 896. — Usine du Relrain. Turbines et alternateurs.

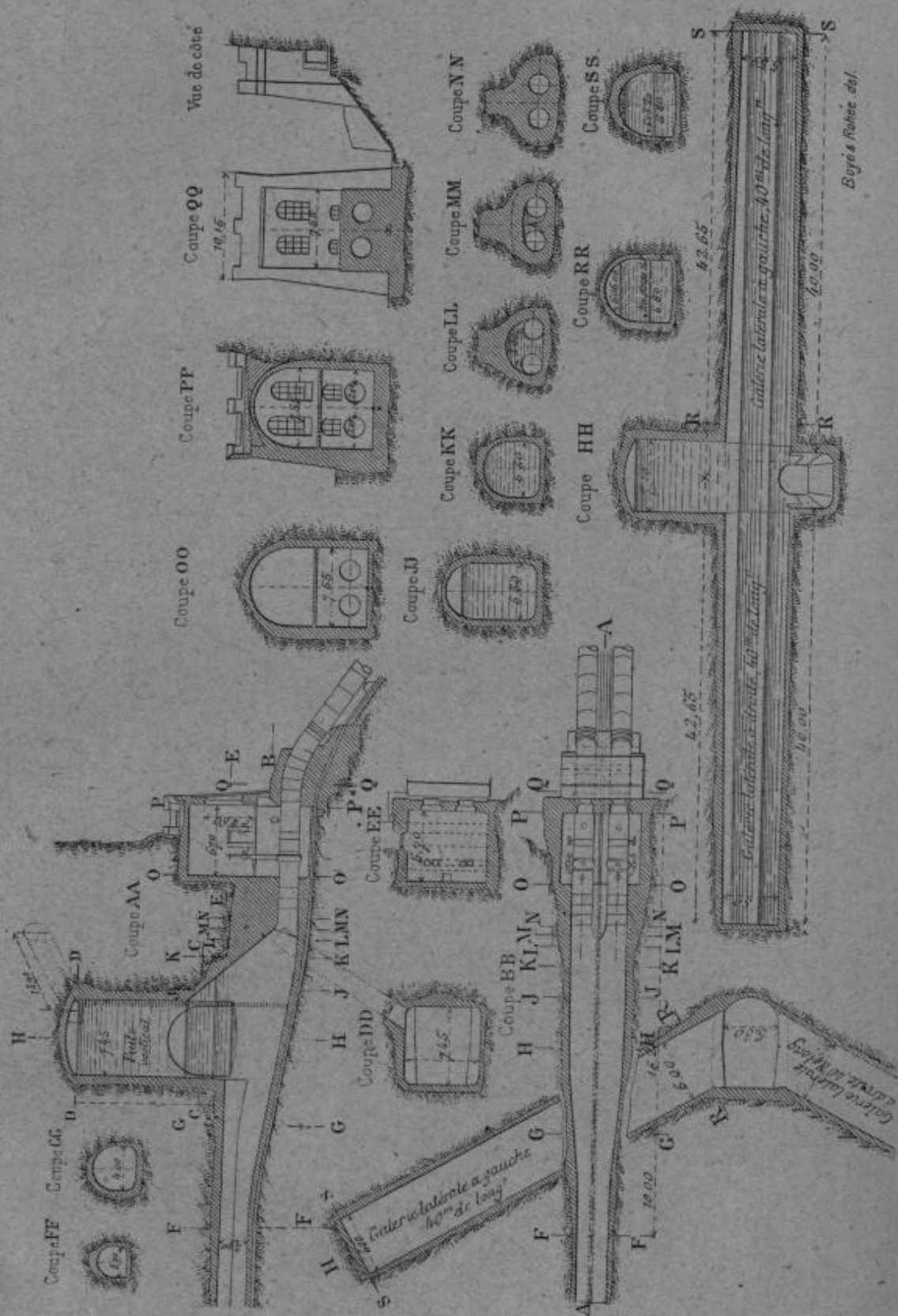


FIG. 897. — Usine du Refrain, Chambre d'eau.

CALCUL DU TUNNEL

Excavation. $10,31 + 5,0/0 = 10^m 3,83$	Excavation. $10,79 + 5,0/0 = 11^m 3,33$
Cuvette..... $0^m 3,26$	Cuvette..... $0^m 3,25$
Revêtement... $2,74 + 0,52 = 3^m 2,23$	Revêtement... $3,25 + 0,54 = 3^m 2,79$
Enduit..... $10^m 2,03$	Enduit..... $10^m 2,03$

Profil de l'espace libre..... $7^m 44$	Coefficient de frottement $n = 0,0135$
Section d'eau à pente libre... $7^m 2,30$	$23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{5}$
Périmètre mouillé..... $8^m 67$	$c = \frac{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{5} \frac{n}{VR}\right)}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{5} \frac{n}{VR}\right)} = 59,83$
Rayon moyen..... $R = 0^m 842$	
$VR = 0^m 918$	

Pente..... $\frac{5}{5} = 0,001$
 Vitesse moyenne. $V = 2,10$ m/sec
 Débit..... $Q = 15,35$ m³/sec

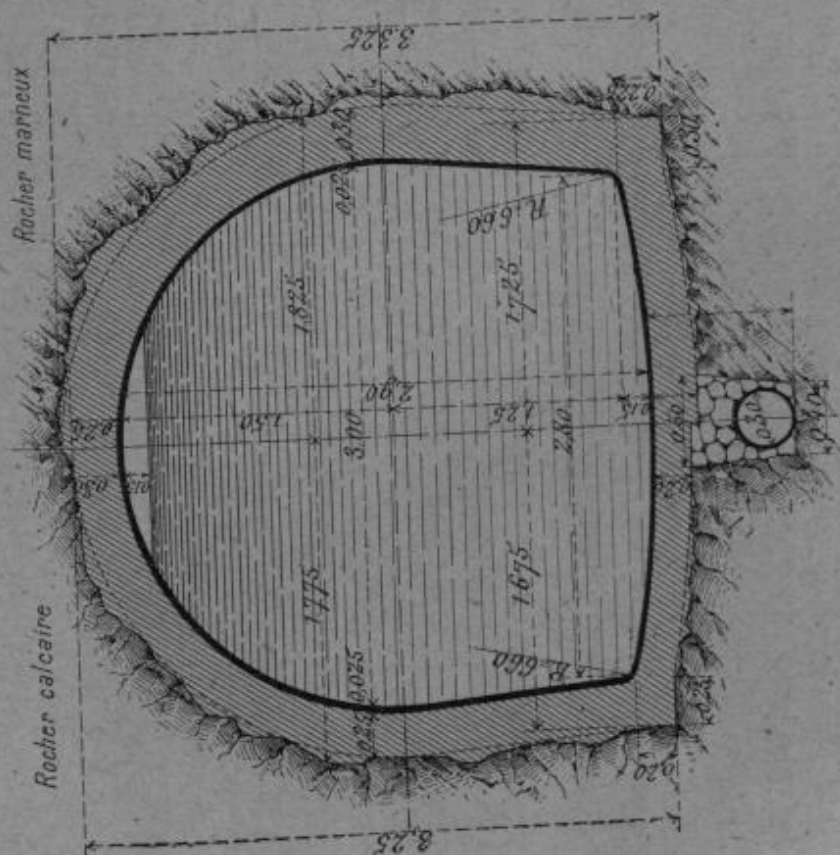


FIG. 898. — Usine du Refrain. — Section transversale et calculs du tunnel d'aménée.

aux pôles au moyen de deux bagues fixées sur l'arbre des frotteurs. Les surfaces polaires ont une forme antiharmonique brevetée.

Les excitatrices sont au nombre de deux, et chacune d'elles est capable d'assurer l'excitation simultanée de cinq alternateurs marchant simultanément à pleine charge. Elles sont du type à quatre pôles et à deux collecteurs. Leur puissance individuelle est de 150 kilowatts ; elles fournissent du courant à la tension de 110 volts en marchant à la vitesse de 850 tours par minute. Elles peuvent supporter une vitesse d'emballement de 1.500 tours.

Transformateurs. — A chaque alternateur correspond un transformateur-élévateur du type à bain d'huile et refroidissement artificiel par serpentin à circulation d'eau placé à la partie supérieure de la cuve, au-dessus des enroulements. Cette cuve est fermée à la partie supérieure par le socle en fonte du transformateur sous lequel elle a été engagée au moment de la coulée, dispositif qui assure une parfaite étanchéité.

Les caractéristiques de ces transformateurs sont : puissance normale, 2.000 kilovolts-ampères ; tension primaire, 5.200 volts ; tension secondaire, 30.000 volts (enroulement en triangle) et 52.000 volts (enroulement en étoile) ; fréquence, 50 périodes. Les rendements garantis pour $\cos \varphi = 1$ sont : à pleine charge, 97,8 0/0 ; à trois quarts de charge, 97,3 0/0, et à demi-charge, 96,7 0/0.

Un quatrième transformateur, du même type que les précédents mais d'une puissance de 150 kilovolts-ampères, permet de réduire la tension de 52.000 volts à 5.200 volts pour alimenter un départ à cette tension.

LIGNE DE TRANSPORT D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE. — L'ensemble du tableau de distribution comporte tous les appareils nécessaires au réglage de la tension des différents alternateurs, à leur mise en parallèle, au contrôle et enfin à la fermeture ou à l'ouverture des différents circuits intérieurs et des feeders de distribution.

Pour la simplification et la rapidité des manœuvres et pour la facilité du contrôle, tous les appareils nécessitant des manœuvres mécaniques à 52.000 volts et les rhéostats de champ des alternateurs sont commandés à distance ; les appareils de contrôle sont constamment sous les yeux de l'électricien qui assure le service.

Ce résultat a été obtenu de la manière suivante : au rez-de-chaussée, un tableau de distribution formé de panneaux en marbre porte les appareils de contrôle et de service des groupes d'excitation, ainsi que les appareils : réducteurs de charge et de décharge, interrupteurs, etc., de la batterie d'accumulateurs et de son groupe survolteur de charge, cette batterie étant destinée à assurer momentanément l'excitation des alternateurs, au cas où les groupes d'excitation viendraient à être avariés d'une façon quelconque.

Au second étage, en regard l'un de l'autre, se trouvent :

- 1° Un tableau de distribution à panneaux en marbre portant les interrupteurs rhéostatiques d'excitation des alternateurs et les relais wattmétriques et à maximum différés des différents interrupteurs à haute tension ;
- 2° Le pupitre de manœuvre (*fig. 899*), où sont rassemblés tous les appa-

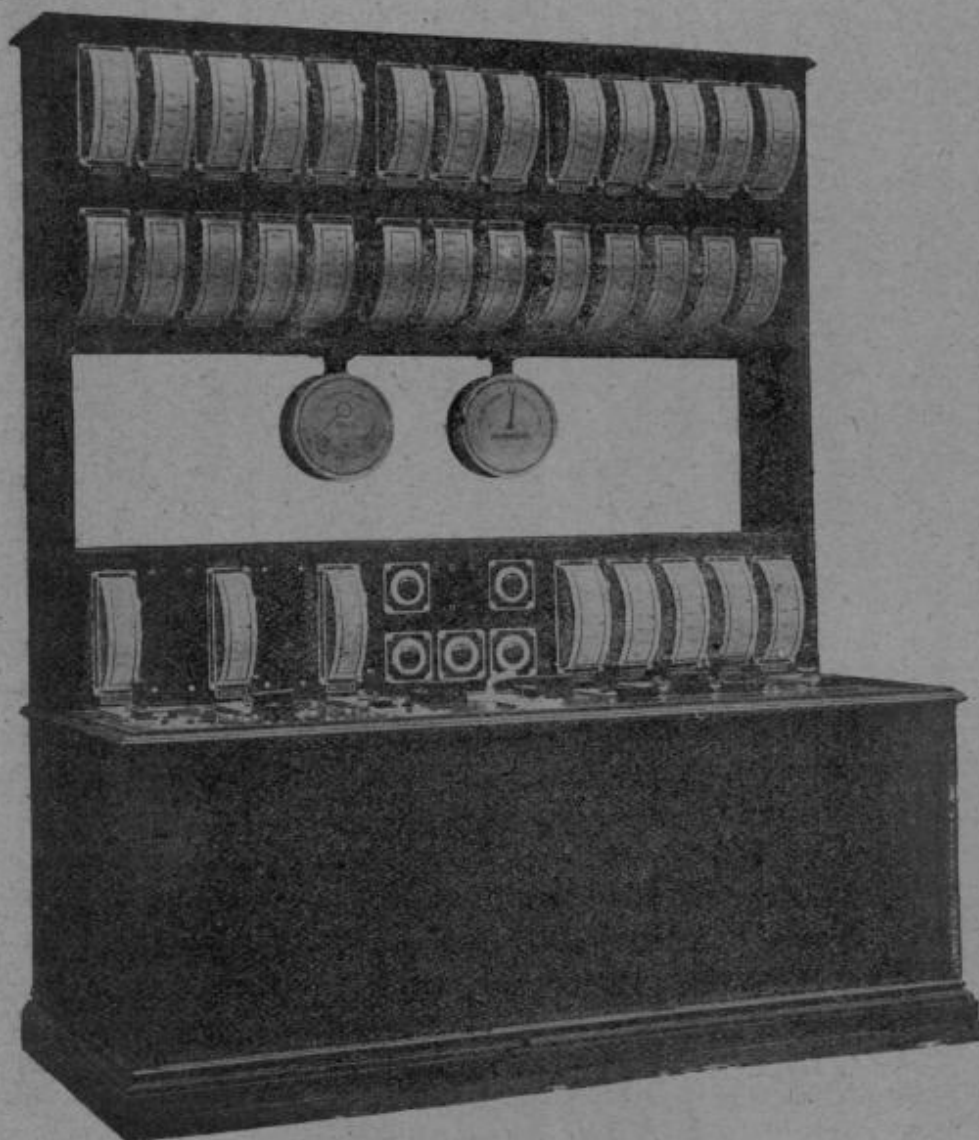


FIG. 899. — Usine du Refrain. Pupitre de contrôle.

reils de commande à distance et les appareils de contrôle. Toutes les manœuvres nécessaires au cours de l'exploitation sont faites à l'aide des appareils portés par ce pupitre : telles sont : le réglage de la vitesse des turbines par commande électrique du régulateur ; réglage de la tension des différents alternateurs, soit séparément, soit simultanément ; mise en parallèle des alternateurs en se basant sur les indications d'un synchro-

noscope et d'un voltmètre de couplage ; ouverture et fermeture des différents circuits ou feeders à 52.000 volts ; essais d'isolement par rapport à la terre des différents circuits.

Ce procédé, qu'a su généraliser la firme S. A. C. M., constitue des perfectionnements remarquables dans l'installation des grandes stations centrales électriques. Tout en simplifiant au maximum le service du personnel, il a, en outre, l'avantage de réduire au minimum les chances de fausses manœuvres.

Le courant à haute tension de la ligne est distribué à quatre sous-stations, Étupes, Fesches-le-Châtel, Héricourt et Bethoncourt, dont chacune comporte un bâtiment à quatre étages, entièrement construit en fer et en pierre, et sans aucune partie combustible. La longueur de la ligne de transmission d'énergie, de l'usine à la première sous-station mesure environ 40 kilomètres.

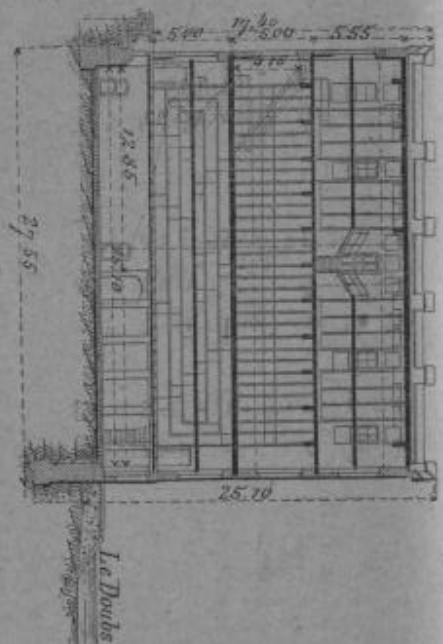
Dans chacune des sous-stations, les transformateurs-abaisseurs de tension sont logés au rez-de-chaussée, dans des cabines assurant la ventilation naturelle des appareils. Chaque groupe de transformateurs est composé de trois unités de 400 kilovolts-ampères dont les primaires peuvent être branchés soit en triangle, pour transformer à 9.000 volts le courant qui est reçu à 30.000 volts, et en étoile pour transformer aussi à 9.000 volts le courant qui est reçu à 50.000 volts.

Les arrivées à 50.000 volts alimentent des jeux de barres collectrices permettant de mettre en service l'un quelconque des groupes de transformateurs par la simple manœuvre d'un interrupteur à bain d'huile à déclenchement automatique, réglable quant au temps et quant à l'intensité. Leur enclenchement peut se faire soit à la main, soit du tableau central, par la simple manœuvre d'un commutateur à basse tension. Ce tableau porte les appareils de mesure et de contrôle, qui tous sont à basse tension, de telle façon que tout danger pour le personnel qui exécute ainsi les manœuvres à distance est écarté.

Toutes les connexions haute tension dans les sous-stations sont montées sur isolateurs accordéon et chaque conducteur est logé dans une cellule *ad hoc*. Les ferrures supportant les isolateurs et les appareils sont mis à la terre. Pour parer aux effets des surtensions, la Société française Oerlikon, qui a été chargée de l'aménagement des sous-stations, a proposé d'installer, indépendamment du système de protection ordinaire, des résistances à circulation d'eau réglant le refoulement des surtensions à la terre, en protégeant ainsi tout le poste. Ces résistances à circulation d'eau sont alimentées par un petit groupe de moteurs-pompes et sont installées sur les barres collectrices à 50.000 volts de la sous-station d'Étupes et sur celles à 9.000 volts des autres sous-stations.

Ainsi que nous l'avons dit plus haut, la Société des forces motrices du

Coupe horizontale
suivant EF



Coupe J.K

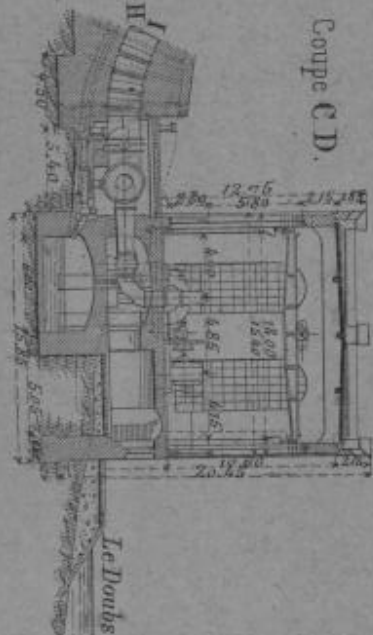
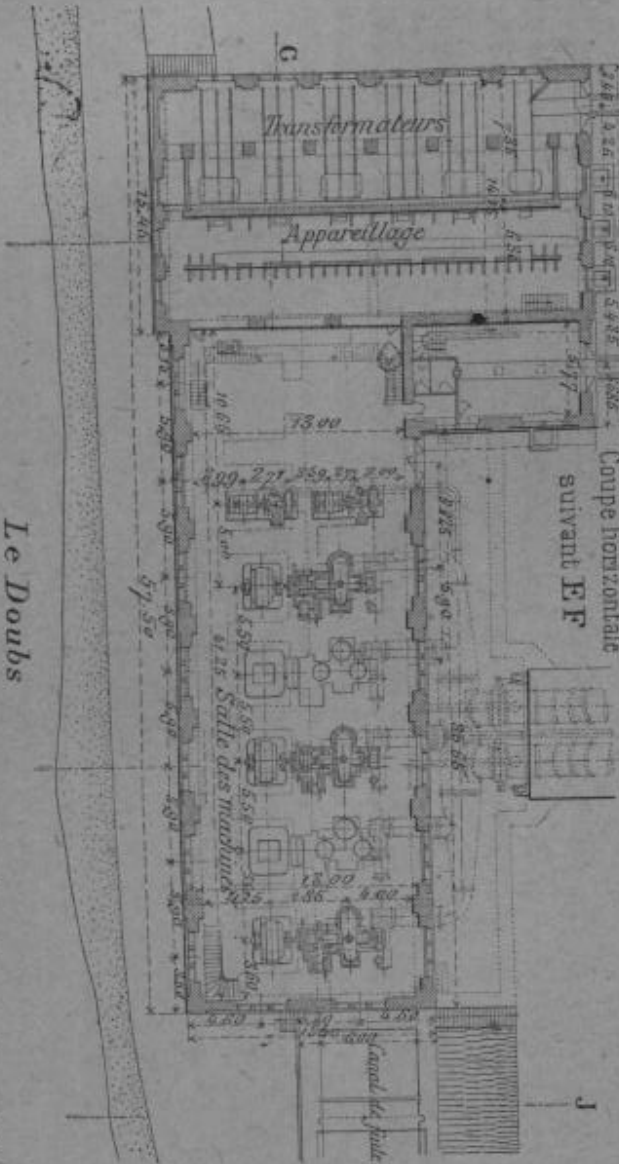


Fig. 900. — Usine du Refrain. Élévation et plan de l'usine génératrice.



Refrain a prévu l'utilisation de cinq turbines de 2.250 HP fournissant une puissance de 11.250 HP transportée dans la contrée si industrielle de Montbéliard et de Belfort.

Dans cette dernière ville, le réseau du Refrain se joint aux fils de l'usine de réserve établie aux houillères de Ronchamps, et qui a une puissance de 5.000 HP.

L'usine de la Société de la Goule, qui se trouve un peu plus bas sur la rive suisse du Doubs, dispose d'une puissance hydraulique de 3.650 HP avec réserve à vapeur de 1.500 HP sise à Saint-Imier. Les deux entreprises se donnent naturellement assistance.

351. Usine de Bucay (État de l'Équateur) (*chute, 60 mètres*). — La Compagnie qui exploite la région de Guayaquil est en passe de transformer les forces motrices qu'elle utilise en faisant appel à l'énergie hydraulique.

Elle vient d'installer à cet effet l'usine de Bucay sur le Rio Chimbo qui descend du massif de Chimborazo.

De la chambre de mise en charge partent deux conduites en tôle d'acier aboutissant à un collecteur unique sur lequel sont branchées les prises des turbines.

TURBINES. — Celles-ci sont du type Francis à axe horizontal ; elles fonctionnent sous une chute nette de 60 mètres, y compris l'aspiration variable entre 5 et 6 mètres ; leur débit est de 1.650 litres à pleine charge et leur vitesse de 504 tours. Les régulateurs sont à servo-moteur à pression d'huile et actionnent un appareil de réglage de pression limitant les surpressions dans la conduite en cas de décharges brusques des alternateurs.

ALTERNATEURS. — Chaque turbine commande directement par manchon élastique un alternateur de 860 kilovolts-ampères produisant du courant triphasé à 800 volts, tension adoptée pour produire des machines robustes, tout en ne demandant pas des canalisations de sections exagérées.

En bout d'arbre est placée l'excitatrice de chaque groupe, ce qui rend celui-ci autonome et évite les complications qu'entraîne une excitation centrale.

La ventilation, en raison des températures équatoriales, a été résolue d'une manière satisfaisante, sans altération de rendement.

Chaque alternateur alimente un transformateur de 850 kilovolts-ampères de puissance, établi pour élever la tension de 800 à 40.000 volts. On a constitué trois groupes transformateurs absolument indépendants et capables de fonctionner en parallèle sur des barres collectrices à 40.000 volts formant une boucle complète.

On a utilisé la faculté d'accoupler un alternateur quelconque avec un transformateur quelconque, mais pour parer à tous les cas d'avarie de

machines, on a pris des dispositions pour pouvoir, à l'aide de câbles flottants, constituer un nouveau groupe complet avec une génératrice et un transformateur restés sains, tel qu'un groupe de réserve, et cela en évitant des complications de couplage sur des barres omnibus.

La salle des machines est prévue pour le montage de six groupes générateurs.

La ligne de transport de force, d'un parcours de 85 kilomètres, est constituée par six conducteurs de cuivre supportés par des pylônes métalliques; les six fils sont placés par trois, de part et d'autre des supports, au sommet de deux triangles équilatéraux, chaque groupe formant une canalisation triphasée capable de fonctionner en parallèle avec l'autre ou indépendamment. Cette ligne double aboutit sur le Rio Guyat et en face du port de Guayaquil à un poste abaisseur de tension comportant présentement trois transformateurs triphasés de rapport 35.000-50.000 volts et prévu pour une puissance double.

Pour atteindre la ville, il faut traverser l'estuaire du fleuve précité, dont la largeur atteint près de 2 kilomètres; l'absence de pont et la longueur de la portée a conduit à l'adoption de trois câbles triphasés sous-pluviaux à 5.500 volts dont l'immersion a constitué un travail délicat, mais intéressant.

À l'arrivée, sur la rive opposée, est établi un poste de coupure servant de liaison entre les câbles sous-fluviaux et les câbles souterrains qui conduisent le courant sous la tension 5.500 volts à la sous-station des transformateurs rotatifs, comportant trois groupes de moteurs de 800 chevaux. Chaque groupe est composé d'un moteur d'induction à 5.500 volts accouplé directement, d'un côté à une génératrice de traction à courant continu 550 volts et de l'autre à un alternateur monophasé à 3.200 volts pour la distribution urbaine. Sur le trajet des lignes du transport de force, six dérivations destinées à alimenter les villes de la région traversée constituent autant de postes à haute tension ou sous-stations secondaires.

352. Usine de Mordane (Ardèche) (chute, 60 mètres). — Cette installation, en cours d'exécution, utilise les eaux du Doubs, le barrage étant édifié à 7 kilomètres de Tournon. La dérivation est réalisée pour un débit de 8 mètres cubes à la seconde. Le canal d'amenée pour la partie à ciel ouvert a 1.950 mètres de longueur, 4 mètres de largeur et 1^m,50 de profondeur. La partie en tunnel a 350 mètres de longueur. Les conduites forcées, au nombre de deux, ont 1^m,05 de diamètre et 105 mètres de longueur.

La chute réalisée est de 60 mètres de hauteur. L'usine comportera quatre groupes turbo-alternateurs de 1.200 chevaux chaque, tournant à 500 tours. Les turbines ont été fournies par la maison Dumont de Saint-

Uze (Drôme) et les alternateurs par les ateliers Schneider. Ces derniers seront à la tension de 3.800 volts.

Le transport de force fonctionnera à la tension de 35.000 volts ; les transformateurs représenteront une puissance de 4.000 k. v. a.

Cette installation est édifiée par la Société anonyme immobilière des Forces motrices du Vercors.

353. Usine de Kander (Suisse) (*chute, 64 mètres*). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Cette usine est située sur la rive gauche du lac de Thoune, près de Spiez, et utilise une partie des eaux de la Kander, au moyen d'un barrage et d'un canal de 680 mètres de longueur qui aboutit à une chambre d'eau. Le débit de la rivière varie entre 4 et 7 mètres cubes par seconde.

Conduites forcées. — De cette chambre part une tuyauterie en tôle d'acier ayant 224 mètres de longueur et 1^m,80 de diamètre, se rendant à une installation hydraulique de laquelle se détache un second tube en acier de 400 mètres de longueur, 1^m,60 de diamètre et une épaisseur de 11 millimètres à la partie inférieure ; cette dernière conduite aboutit à une seconde installation hydraulique. A côté de la première installation on a établi un vaste réservoir d'une capacité de 400.000 mètres cubes. De la seconde se détachent deux conduites ayant une longueur de 375 mètres. Ces dernières, placées sur le flanc de la montagne, donnent une hauteur de chute de 64 mètres ; elles ont 1^m,60 de diamètre.

L'usine est installée dans un solide bâtiment en pierre, mesurant 30 mètres de longueur sur 10 mètres de largeur.

TURBINES. — Elles sont du type Girard à injection partielle construites par la maison Escher-Wyss, à axe horizontal et tournant à 300 tours par minute. Elles sont munies de régulateurs hydrauliques, de servo-moteurs et des appareils spéciaux servant à protéger la conduite contre les coups de bélier. Cinq des turbines ont une puissance de 1.300 HP et une autre, 4.000 HP.

ALTERNATEURS. — Ils sont au nombre de six, d'une puissance correspondante à celle des turbines : tension 15.000 volts, fréquence 40 périodes, construction Brown-Boveri. Les génératrices de 1.300 HP ont leurs excitatrices montées sur l'arbre ; l'alternateur de 4.000 HP est excité séparément par un groupe turbo-générateur de 300 HP fournissant du courant continu à la tension de 150 volts. Les six unités se répartissent en trois groupes pour la lumière (réseau stable), et en deux groupes pour la force (réseau instable) ; un groupe sert de réserve. On a installé, en outre, comme réserve, pour les cinq groupes de 1.300 HP, deux dynamos de 20 HP, sous 125 volts et tournant à 850 tours, actionnées chacune par une turbine spéciale. On peut grouper indifféremment les alternateurs sur

le réseau stable et sur le réseau instable. La distribution ressemble à celle de l'usine d'Obermatt (§ 404).

RÉSEAU A HAUTE TENSION. — La tension de 15.000 volts, fournie sur la ligne directement par les alternateurs, est ensuite abaissée à 3.000 volts à l'aide de transformateurs. Les barres collectrices sont à circuit fermé et munies de sectionneurs. Les lignes de départ sont pourvues de para-foudres à cornes avec mise à la terre. Il y a une ligne triphasée pour les tramways de Spiez, une ligne triphasée pour Berne (force), une ligne monophasée pour le chemin de fer de Thoune-Berthoud et une ligne triphasée pour le chemin de fer Burgdorf-Thoune.

A Berne, le courant est amené jusqu'à une canalisation circulaire entourant la ville et qui alimente quatre sous-stations de transformation, où dans chacune sont 7 transformateurs monophasés de 50 kilowatts chacun. Dans ces stations le courant a sa tension abaissée à 3.000 volts, puis il est distribué par des canalisations souterraines à d'autres postes de transformation disséminés dans la ville, dans lesquels la tension est encore abaissée à 250 volts pour les moteurs et à 125 volts pour l'éclairage. Quant au chemin de fer, il possède sur son parcours quatorze postes de transformation dans lesquels le courant à 15.000 volts est abaissé à 750 volts pour alimenter les moteurs triphasés des locomotives.

Les poteaux sont en fer à treillis, pour les longues portées, et en bois pour les portées de 50 mètres. La plus longue ligne a 40 kilomètres de longueur. L'usine a été construite en 1900; on lui a adjoint une deuxième centrale adossée à la première avec une conduite double de 2^m,10 de diamètre pouvant se brancher sur la conduite de l'ancienne installation.

354. Usine de la Pomblière (Savoie) (chute, 65^m,90). — **AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES.** — La chute et l'usine de la Pomblière, près Moutiers, qui ont été édifiées par la Société « La Volta » appartient actuellement à la Société Grenoble et Voiron. La chute est constituée par une dérivation de l'Isère dont le débit, à Moutiers, varie d'environ 8 mètres cubes en basses eaux exceptionnelles d'hiver à 150 mètres cubes en hautes eaux d'été. Les grandes crues exceptionnelles peuvent atteindre 250 mètres cubes. La hauteur de chute brute (différence entre la cote de retenue (577,37) et la cote au point de restitution des basses eaux (501,78)) est de 75^m,59. En hautes eaux, la chute n'est plus que de 73^m,94. La chute utile, différence du plan d'eau dans la chambre de mise en charge et du niveau moyen du plan d'eau dans le canal de fuite, est de 65^m,90 en charge statique et de 64^m,70 en marche, soit 1^m,20 de perte de charge par l'effet des vannes et des tuyaux.

Les ouvrages de dérivation et les tunnels ont été construits pour un débit de 20 mètres cubes.

Barrage. — La chute de Pomblière comprend deux rapides, celui de l'Étroit-du-Siex, en amont duquel est située la prise d'eau, et celui de l'Étroit-d'Enfer, en aval duquel a été construite l'usine hydroélectrique. Le barrage a été fondé sur des couches de sable très fin qui ont rendu cette

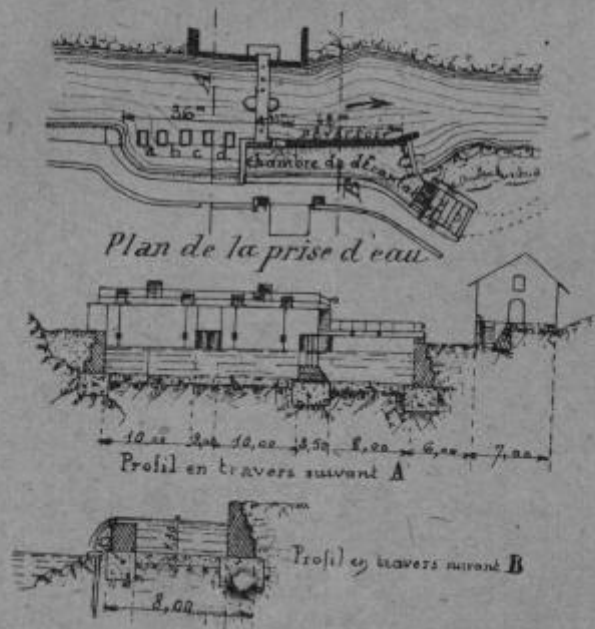


FIG. 901.

partie de l'ouvrage très onéreuse. En raison des brusques variations du débit de l'Isère, ainsi que de la nécessité d'éviter une surélévation du lit et une modification au régime de l'écoulement de l'eau en amont de la prise, on a été amené à construire un barrage mobile, de préférence à un simple seuil.

Il a été formé (fig. 901) par deux grandes vannes de 10 mètres de largeur séparées par une pile en maçonnerie et créant une retenue de 2^m,50 de hauteur. Ces vannes sont du type « Stoney » à contre-

poids et roulements sur trains de galets. Un seul homme peut manœuvrer les vannes sans fatigue.

Chambre de décantation. — Quatre ouvertures de 5 mètres de largeur, disposées à l'amont du barrage et normalement à son axe, laissent pénétrer l'eau dans la chambre de décantation. Celle-ci a 80 mètres de longueur sur 8 mètres de largeur. Les ouvertures dont il vient d'être parlé permettent de laisser arriver dans la chambre de décantation un volume d'eau excédant de 5 mètres cubes la quantité dont on prévoit l'utilisation, et cela afin de laisser les vannes de purge partiellement ouvertes lorsque les eaux sont très chargées de sable et de graviers, évitant ainsi la formation de dépôts qui diminueraient d'autant la section utile de la chambre.

Un déversoir longitudinal de 44 mètres de longueur, ménagé sur le mur qui sépare la chambre de décantation de la rivière, sert, quand les vannes de chasse sont fermées, à régulariser le débit en rejetant au torrent l'eau dérivée en excès.

Canal d'amenée. — Ce canal, d'une longueur de 3.280 mètres, est disposé en galerie sur 3.080 mètres et à ciel ouvert sur le restant. Sa pente est de 2 millimètres par mètre dans les parties non revêtues et de 1^{mm},5 dans les parties maçonnées. La section vide est de 12 mètres carrés et la

section mouillée de $10\text{m}^2,55$ pour un débit de 20 mètres cubes correspondant à une vitesse de $1\text{m},90$; dans les parties maçonnées, la section vide est de $8\text{m}^2,40$, la section mouillée de $7\text{m}^2,82$, avec une vitesse de $2\text{m},56$. Un ouvrage d'art important a dû être construit pour franchir une dépression du terrain ; c'est un canal-pont de 5 arches, dont une de 8 mètres et les quatre autres de 6 mètres d'ouverture.

Chambre de mise en charge. — Le canal d'amenée aboutit à la chambre de mise en charge établie sur le flanc d'une colline qui domine le village de la Pomblière. Cette chambre comporte trois sas parallèles (fig. 902), dont la conception est due à M. Ch. de Haller ; l'un dans le prolongement du canal d'amenée, sert de bassin de dépôt, à l'extrémité duquel des vannes de grandes dimensions permettent d'effectuer des chasses vigoureuses. Le deuxième, recouvert de tôles perforées faisant l'office de grilles pour arrêter les corps flottants, forme la chambre de départ des conduites en charge. L'eau accède à ce bassin en se déversant par dessus le mur qui le sépare du premier ; ce déversoir a 60 mètres de longueur. Le troisième sas est, à proprement parler, un canal de décharge taillé dans le roc. Il recueille les eaux des déversoirs de superficie et des vannes de chasse de la mise en charge. Ces eaux se précipitent dans l'Isère en formant une cascade de 60 mètres de hauteur.

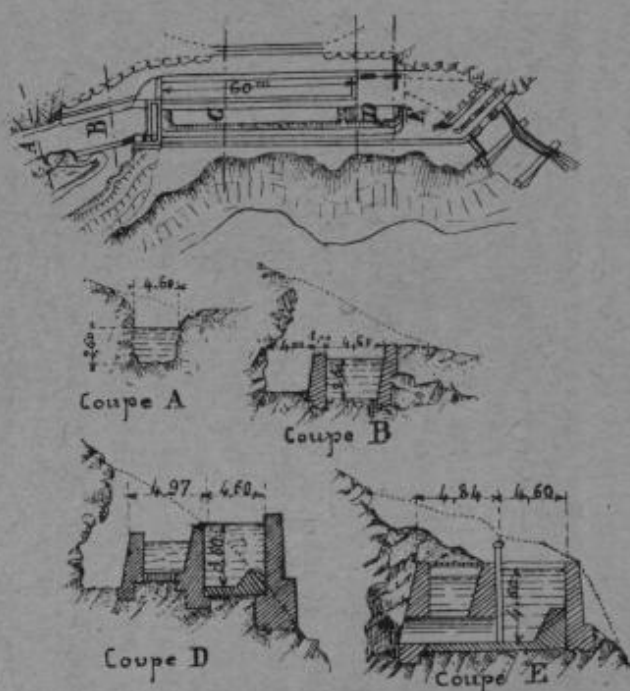


FIG. 902.

L'entrée de la chambre de mise en charge est fermée par une paire de vannes en deux panneaux chacune ; lorsque ces vannes sont baissées, l'eau passe directement dans le canal de chasse grâce à un déversoir ménagé en crête du bajoyer de gauche du canal d'amenée. Le mur longitudinal, qui sépare le canal des grilles du canal de chasse, est aussi disposé en déversoir, de façon à ce que, lorsque à l'usine on n'utilise pas toute l'eau dérivée, cet excédent aille au canal de chasse sans l'intervention de manœuvres quelconques.

Les dispositions ainsi adoptées permettent, au cas où il arriverait un

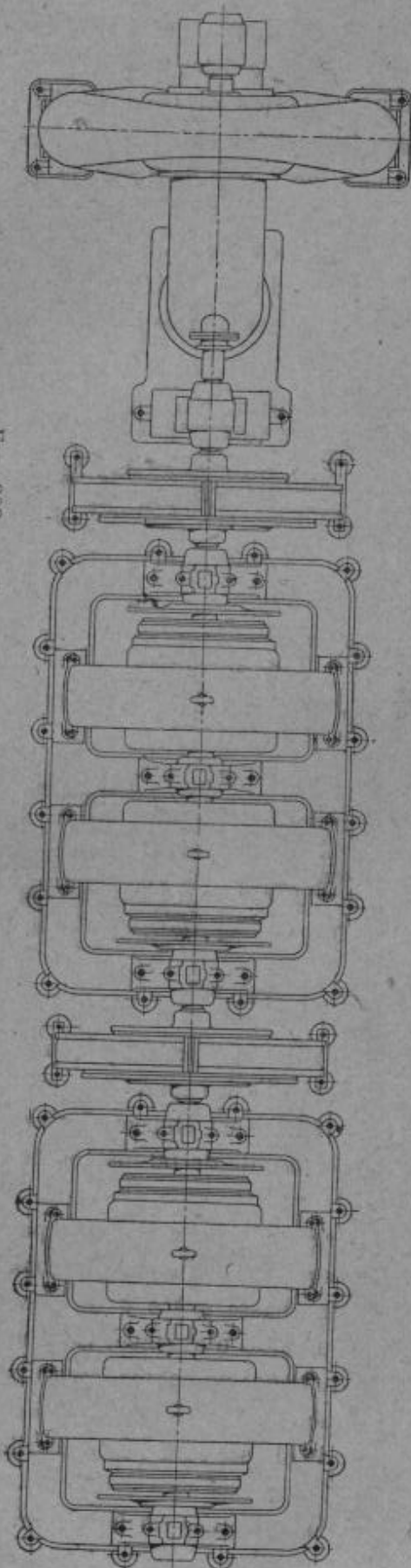
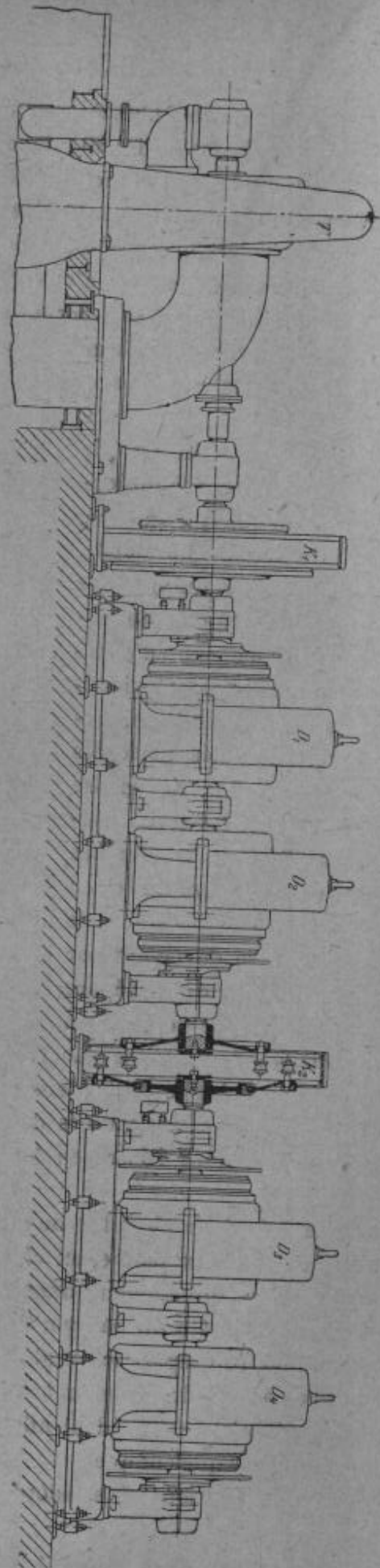


Fig. 903. — Groupe générateur de l'usine de la Pombrière.

accident quelconque à la chambre de travail, de mettre celle-ci à sec par la fermeture des vannes d'entrée sans toucher à la prise d'eau.

Conduites en charge. — Trois conduites métalliques doivent partir de la chambre de mise en charge, fermées chacune par une vanne. Les tuyaux sont en tôle, rivetés, assemblés bout à bout par un simple rivetage sans brides, et les coudes sont solidement ancrés dans des massifs en maçonnerie. Le diamètre intérieur de la conduite est de 1^m,90 et l'épaisseur de la tôle varie de 6 à 10 millimètres.

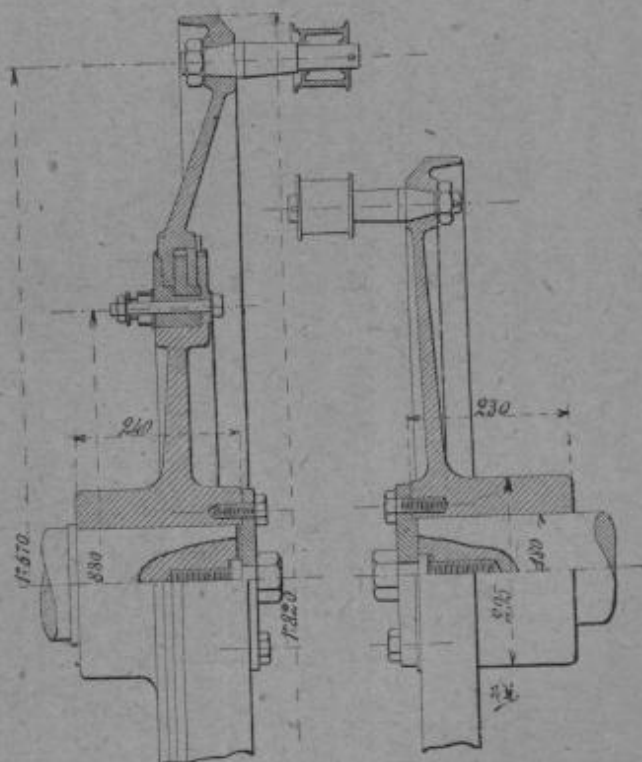


FIG. 904. — Usine de la Pomblière. Manchon d'accouplement.

TURBINES. — Les turbines, qui actionnent l'usine, sont du type à réaction Piccard et Pictet ; elles peuvent fournir une puissance de 6.300 HP.

DYNAMOS. — Les dynamos génératrices sont réparties en quatre groupes (fig. 903) ; chacun de ceux-ci, actionné par une turbine, a une puissance de 1.570 HP et produit du courant continu à intensité constante sous la tension de 14.000 volts (système Thury). Comme un groupe se compose de deux dynamos doubles, il s'ensuit que la tension développée par un induit est de 3.600 volts. Les deux dynamos doubles d'un même groupe sont reliées mécaniquement entre elles par un manchon d'accouplement élastique et l'ensemble est connecté à la turbine qui l'actionne par un autre manchon. Ce dernier (fig. 904) présente cette particularité que la partie extérieure ne forme pas une pièce unique. La Société Grenoble et

Voiron a une usine thermique à vapeur, à Oullins, d'une puissance de 5.000 chevaux.

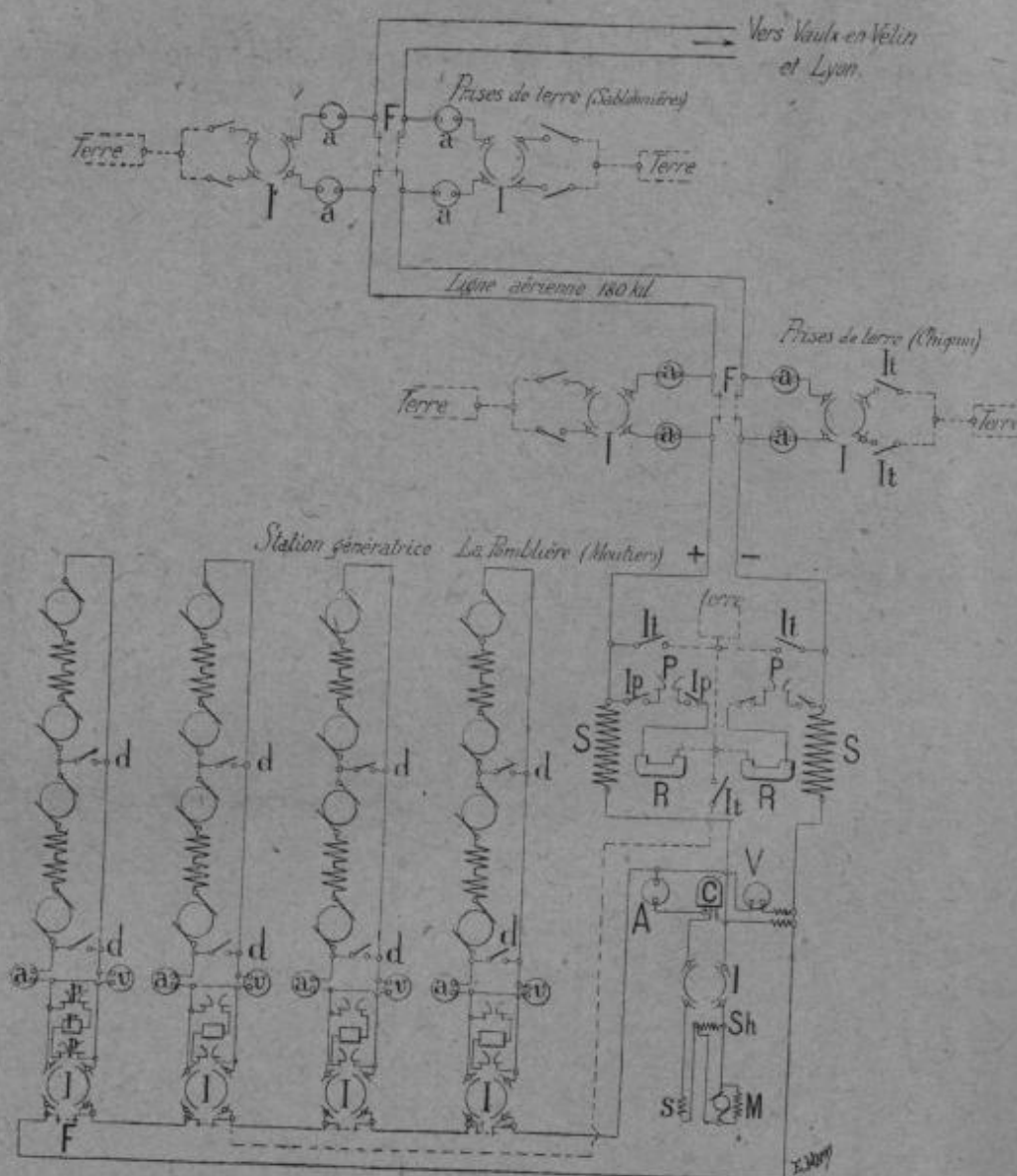


FIG. 905. — Usine de la Pomblière. Schéma de la distribution.

305. Usine de Molinar (Espagne) (chute, 66 mètres). — Cette usine produit l'énergie électrique nécessaire à Madrid, Valence et Carthagène (fig. 06), la première de ces villes étant à une distance de 254 kilomètres.

Barrage. — Cet ouvrage, établi sur la rivière Jucar, est partiellement formé d'un ouvrage ancien empierré ; il a 68 mètres de longueur et 3 mètres de hauteur.

Canal d'amenée. — Ce canal est à l'air libre sur 1.980 mètres et en souterrain sur 3.000 mètres de longueur ; la pente est de $1/2$ 0/00, le tirant

d'eau est de 2^m,60, la largeur de 6^m,80 et la section mouillée donne lieu à 18 mètres cubes. Il est tout entier établi en maçonnerie de moellons cimentés.

Il est muni en tête de trois vannes de 2 mètres de largeur et de deux vannes de réglage de 2^m,50. A son arrivée à la chambre d'eau, est installée une grille de 8 mètres de largeur.

Chambre de mise en charge. — Elle a 380 mètres carrés de superficie et 4^m,50 de hauteur et la maçonnerie est en béton armé ; des ouvertures carrées, armées de grilles, évitent la production de pressions dangereuses.

Conduites forcées. — Elles s'amorcent sur le bassin de charge par l'intermédiaire d'un massif pris dans le béton et sont munies chacune de vannes. Il y a cinq conduites de 88 mètres de longueur chacune. L'épaisseur des tuyaux croît de 8 à 11 millimètres. Le diamètre est de 2^m,25 et la section de 4 mètres carrés.

Usine génératrice. — L'usine comprend deux parties : le bâtiment des machines et celui des appareils de distribution, tous deux construits dans le lit même de la rivière.

Les turbines principales sont des turbines jumelles Francis établies pour un débit de 10^{m³},5 d'eau par seconde avec une hauteur de chute de 66 mètres ; elles marchent à 428 tours-minute et développent chacune 7.200 chevaux.

L'équipement électrique comprend cinq génératrices ou alternateurs triphasés accouplés rigidement aux turbines qui les actionnent. La carcasse du stator est en deux parties et le rotor comporte 14 pôles rectangulaires feuilletés. La puissance des alternateurs est de 5.625 kilovolts-ampères, fréquence 50 périodes.

Les transformateurs alimentés à la tension de 7.000 volts donnée par les génératrices débitent le courant à 70.000 volts. Ils sont munis d'un dispositif de sûreté, appelé conservateur.

Lignes de transmission. — A chaque ligne est affecté un groupe générateur-transformateur complet, mais les machines peuvent être intercon-



FIG. 906. — Usine hydroélectrique de Molinar.
Plan de situation.

nectées ; seuls les groupes d'excitation travaillent sur les mêmes barres.

Chacune des lignes comprend deux circuits de trois conducteurs en cuivre dur étiré et formant les sommets d'un hexagone, les fils de chaque circuit étant placés en triangle.

Les supports métalliques ont 12 mètres de hauteur et pèsent 440 kilogrammes et sont espacés de 100 mètres. Les isolateurs sont du type à cloche à trois robes distinctes. Ils ont donné les résultats suivants : décharge disruptive, tête 65.000 volts ; manchon et cloche intermédiaire 60.000 volts ; isolateur monté à sec, 155.000 volts et sous la pluie 135.000 volts.

Chaque ligne est protégée par un parafoudre à cornes à grand écartement avec résistance à eau ; elle passe ensuite par son interrupteur-séparateur, puis sur des bobines à réactance à gradins et sur les bobines de protection des transformateurs ; enfin elle est encore protégée par des dispositifs de mise à la terre à jet d'eau. Les lignes peuvent être mises en parallèle avant et après les résistances à gradins.

356. Usine de Saint-Jean-de-Maurienne (Savoie) (chute, 66^m,35).

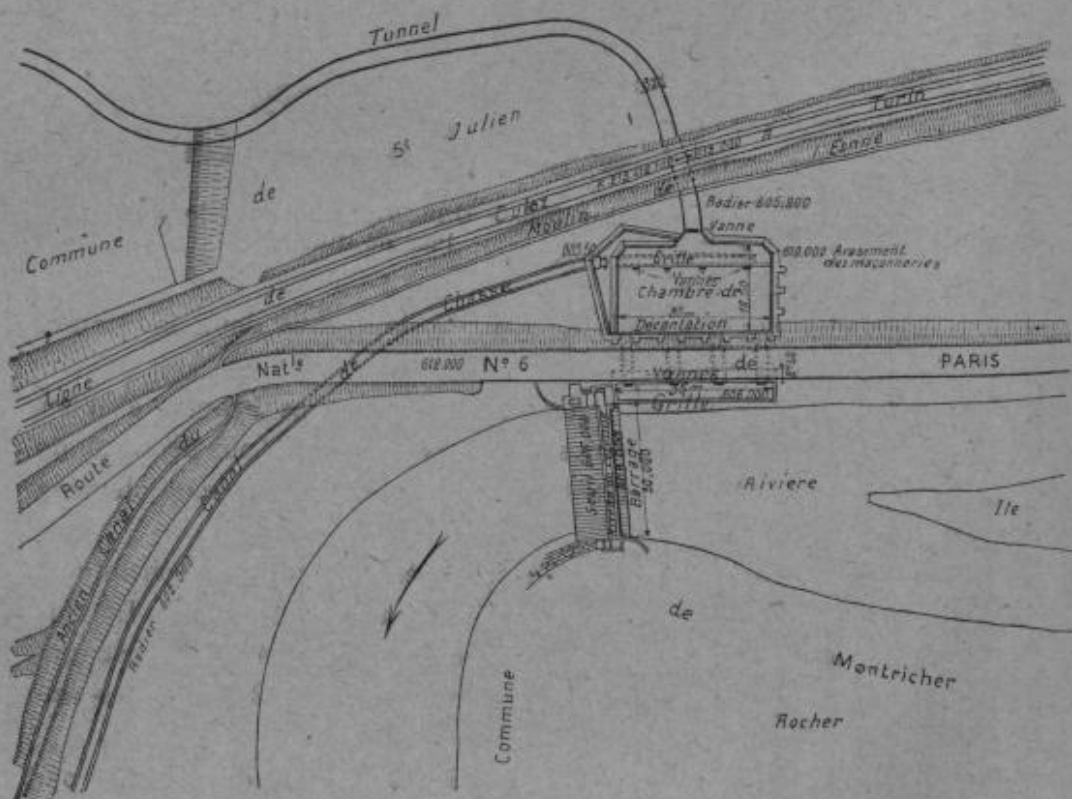


FIG. 907. — Usine de Saint-Jean-de-Maurienne. Plan général des ouvrages d'adduction.

— AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — *Barrage.* — Cet ouvrage dont nous donnons une description spéciale au (§ 87) a 30 mètres d'ouverture

et produit une retenue de 3 mètres de hauteur sur toute la longueur de la rivière l'Arc. Il est du type mobile, à cylindre, avec rideau cycloïdal.

L'eau captée franchit ensuite une grille de 35 mètres de longueur (fig. 907), établie parallèlement à la rivière et dont la fonction est de s'opposer à la pénétration des corps flottants ou des gros corps roulés.

Chambre de décantation. — Après avoir traversé la grille, l'eau se rend, par l'intermédiaire de quatre conduits parallèles, dans une première chambre de décantation, qui a, comme la grille, 35 mètres de longueur et une largeur de 18^m,50. La sole de la chambre de décantation est à la cote 605,50 du côté de la pénétration de l'eau détournée de la rivière (fig. 908); elle forme un plan incliné jusqu'au canal de chasse, qui la barre jusqu'aux trois quarts de sa largeur, et dont le niveau inférieur, à la hauteur du radier du canal, est à la cote 603,70. Le reste de la sole est remonté au-dessus du canal de chasse, à la cote 605,50, avec une faible inclinaison de sens contraire de la première, jusqu'au mur de fond de la chambre. Les murs extérieurs de cette dernière sont arasés à la cote 610,00 soit à 1 mètre plus haut que le dessus du barrage. Du côté aval, la chambre de décantation est barrée par un mur-déversoir arasé aux cotes 608,90 et 608,85 au fond, soit 0^m,10 à 0^m,15 au-dessous du niveau de la retenue du barrage. Une seconde grille, installée au-dessus du canal de chasse, commande la prise d'eau du tunnel d'amenée. Des jeux de vannes, commandant les conduits, aboutissant à la chambre de décantation ainsi que la grille de garde du tunnel, permettent de procéder à volonté à la vidange de la chambre de décantation ou du tunnel seul. Il suffit pour cela de fermer les vannes d'admission des conduits donnant accès de la rivière à la chambre et d'ouvrir les vannes de chasse, ou de fermer une vanne située à l'entrée du tunnel. A l'aide des mêmes vannes on peut nettoyer simplement la sole

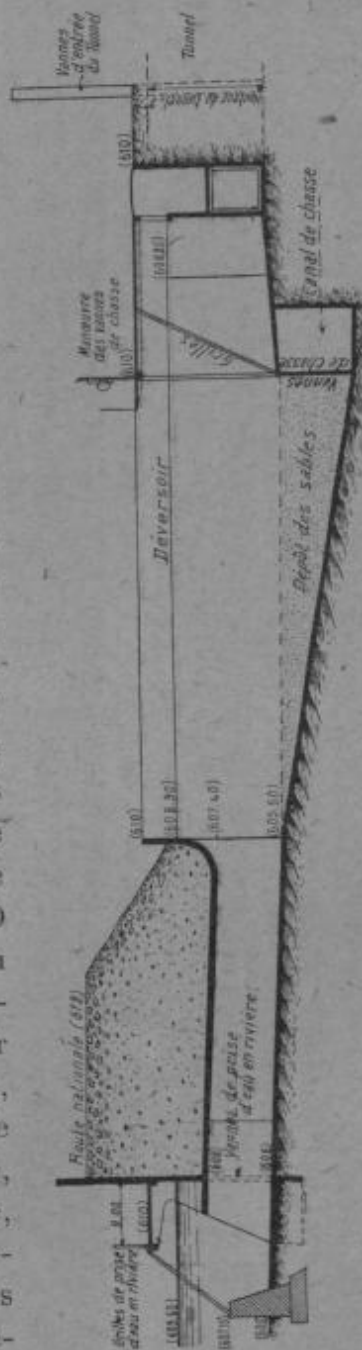


FIG. 908. — Usine de Saint-Jean-de-Maurienne. Coupe longitudinale de la chambre de décantation.

plein à découvert, parallèle à cette conduite, pour retourner à la rivière ; une vanne de chasse qui donne la faculté d'évacuer les derniers sables déposés en amont de la grande vanne.

Conduite forcée. — L'usine de Saint-Jean-de-Maurienne étant prévue pour une puissance totale de 18.000 HP, le débit par seconde à utiliser ne devra pas être inférieur à :

$$\frac{18.000 \times 75}{0,75 \times 66,35} = 27.200 \text{ mètres cubes.}$$

Tel est le débit pour lequel la conduite forcée a été calculée.

La vitesse de l'eau, pour une tuyauterie de 3^m,30 de diamètre, est donc de :

$$\frac{27.200}{n \times 3,30^2} \times 4 = 3^m,470.$$

La conduite ayant 400 mètres de longueur, la perte de charge due au frottement de l'eau a pour valeur :

En appliquant la formule de Darcy :

$$\frac{D J}{4} = \left(0,000507 + \frac{0,000129}{D} \right) v^2;$$

remplaçant les lettres et effectuant les calculs, on obtient 2^m,60 pour la valeur de la perte de charge.

Turbines et dynamos. — L'usine comporte trois groupes récepteurs correspondant à trois groupes générateurs de l'usine de Pontamafrey. Deux sont constitués par un moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil de 1.850 chevaux, 9.800 volts, 375 tours-minute et par une génératrice d'électrolyse de 1.250 kilowatts, 250 volts. Le troisième groupe est formé d'un moteur asynchrone triphasé de 3.700 chevaux, 9.800 volts, 375 tours et de deux génératrices d'électrolyse du même type que les précédentes dont le total est de 12. Elles sont commandées directement par les turbines ; six d'entre elles sont actionnées par une turbine de 1.850 chevaux ; les six autres forment trois groupes de deux accouplées à une turbine de 3.700 chevaux. La jonction de l'usine de Saint-Jean-de-Maurienne à l'usine de Pontamafrey est faite par trois lignes triphasées d'environ 7 kilomètres en câbles d'aluminium (deux lignes de 75 millimètres carrés et une ligne de 150 millimètres carrés) montées sur pylônes métalliques à treillis.

L'usine de Pontamafrey comporte deux groupes générateurs de 1.800 kilowatts et un groupe de 3.700 kilowatts. Les courants triphasés

produits par les alternateurs sont à la tension de 10.500 volts et à la fréquence 50 périodes-seconde.

Le courant d'excitation à 110 volts des alternateurs est fourni par deux génératrices mixtes à courant alternatif et continu. Chacune d'elles est accouplée à une turbine Bouvier.

L'usine de Saint-Jean-de-Maurienne a été édifiée pour le compte de la Compagnie des produits chimiques d'Alais et de la Camargue, en vue d'opérations électrochimiques et électrométallurgiques.

357. Usine pour le transport des forces motrices du Haut-Rhône à Paris. — Usine hydroélectrique de Génissiat (Ain) (chute, 69 mètres) (Projeⁿ). I. — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. —

Ainsi que nous l'avons mentionné dans l'*Introduction* de cet ouvrage, ce grandiose projet doit le jour à MM. A. Blondel, Harlé et Mähl qui, dans un remarquable rapport adressé au préfet de la Seine, ont fait connaître les raisons qui militent en faveur de leur idée, dont la mise à exécution n'intéresse pas seulement la ville de Paris, mais la France tout entière.

La consommation d'énergie de la région parisienne semblait exiger avant la guerre une dépense moyenne de 100.000 HP correspondant à une utilisation mécanique de 150.000 HP électriques et pour un fonctionnement de 1.250 heures minimum par an de l'usine hydroélectrique. Cette consommation se répartissait de la façon suivante, qui est un tableau frappant

de l'activité parisienne : Métropolitain, 100 millions de kilowatts-



FIG. 910. — Plan synoptique de l'aménagement de l'usine hydroélectrique de Génissiat.

heures ; les secteurs d'électricité, la force motrice dans Paris, 90 millions ; les tramways, 45 millions ; les chemins de fer de grandes lignes, voies de pénétration, 65 millions ; soit ensemble 300 millions de kilowatts-heures annuels.

En premier lieu, ainsi que le montre la (*fig. 912*), les auteurs du projet avaient choisi Grésin (Ain) pour l'emplacement du barrage, endroit du Rhône où le débit à l'étiage ne descend pas au-dessous de 130 mètres cubes à la seconde et où la pente rapide du fleuve permet d'obtenir une chute brute de 68^m,25.

La retenue de 4 millions de mètres cubes que l'on devait opérer par ce

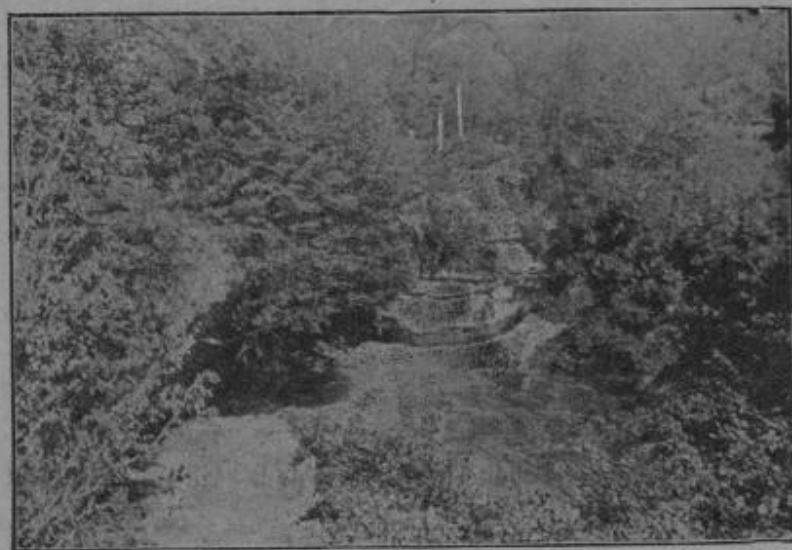


FIG. 911. — Transport Rhône-Paris. Passe de Grésin en temps de crue.

barragé aurait été emmagasinée dans les gorges qui précèdent la plaine de Colligny et dans cette plaine elle-même ; elle correspondait ainsi à un débit de 55 mètres cubes à la seconde pendant dix heures, qui donnait le moyen, tout en ne comptant que sur un débit d'étiage du Rhône de 110 mètres cubes (au lieu de 130 mètres cubes), d'avoir des débits variables voisins de 100 mètres cubes pendant neuf heures, de 200 mètres cubes pendant cinq heures et de 75 mètres cubes pendant dix heures, variations correspondant à la puissance consommée. Le débit minimum minimorum de 110 mètres cubes était de cette façon porté à 220 mètres cubes, à certaines heures de la journée, suivant les besoins de la consommation, en prenant sur la réserve d'eau.

On pouvait compter obtenir une puissance brute de :

$$270^{\text{m}^3} \times 68 = 184.000 \text{ chevaux}$$

ou 138.000 HP effectifs sur les arbres des moteurs hydrauliques, corres-

pondant à 95.000 kilowatts utiles en service normal et 114.000 en sur-



FIG. 912. — Transport Rhône-Paris. Carte de la région du haut Rhône.

charge. Dans ce premier projet, deux tunnels, dont un de secours, étaient



FIG. 913. — Transport Rhône-Paris. Amont vu des hauteurs de Gémisiat.

destinés à amener en tête de l'usine génératrice les eaux dérivées du fleuve.

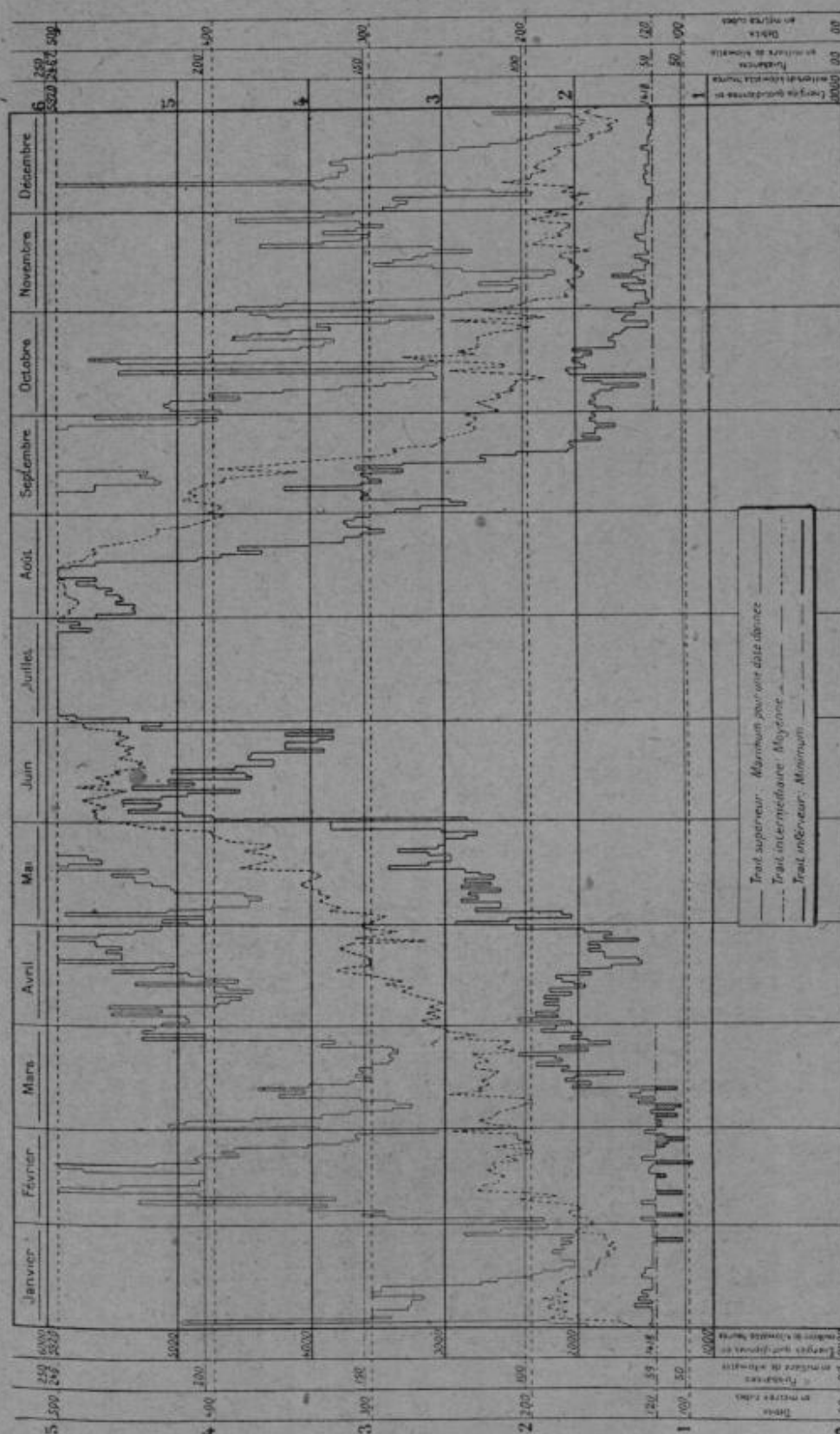


FIG. 914. — Transport Rhône-Paris. Diagramme.

La solution que nous allons exposer consiste dans la création d'un grand barrage unique de grande hauteur à la sortie de la partie la plus étroite des gorges du Rhône au lieu dit Génissiat (*fig. 915*) en amont du ravin de la Dent, donnant une chute brute de 69 mètres au lieu dit « Rocher-Bouquet ». Les hauteurs de chute varieraient comme suit : 69 mètres pour un débit de 120 mètres cubes lors de l'étiage (provenant pour 100 mètres cubes du lac de Genève et 20 mètres cubes de l'Arve), 67 mètres pour 330 mètres cubes moyens pendant 9 mois et 64 mètres pour 500 à 1.260 mètres cubes lors des crues.

L'usine étant placée au Rocher-Bouquet, les cotes du plan supérieur du fleuve en ce point sont : basses eaux, 263 mètres ; eaux moyennes, 264 mètres ; hautes eaux, 265 mètres. De cette façon, le Rhône s'écoulerait suivant une nappe de 8 mètres au-dessus de la plate-forme rocheuse de Grésin, et le lit aurait environ 60 mètres de largeur. Il s'élèverait au bas de Bellegarde, de manière à envahir le bas de la plate-forme qui forme un promontoire au confluent du Rhône et de la Valserine, et remonterait le cours de cet affluent jusqu'au niveau des vannes de décharge de la première usine située sur ce torrent. Les eaux, ainsi amenées à la cote 332, ne présenteraient pas d'inconvénient sérieux pour la protection des rives et la navigation. La retenue projetée couvrirait 380 hectares dont 130 hectares seulement font partie du lit du fleuve, ce qui obligerait à modifier les dispositifs de mines du pont Carnot et du viaduc de Longeray et à remplacer le pont de Grésin et le pont de Lucey. Le volume à emmagasiner serait de 50 millions de mètres cubes correspondant à environ 20 mètres cubes par seconde pendant un mois.

En tenant compte de la baisse de niveau nécessaire pour maintenir le débit minimum à 120 mètres cubes, on obtient pour la valeur de la puissance de l'eau motrice, 80.000 HP. En eaux moyennes, avec $H = 68$ mètres et un débit de 220 mètres on aura 150.000 HP environ.

Donc on peut tabler, avec le réservoir projeté à Génissiat, sur une puissance minima de 80.000 HP pendant les basses eaux et beaucoup plus le reste du temps.

En faisant jouer au réservoir le rôle de régulateur, on pourrait avoir par exemple 40.000 HP pendant les plus basses eaux et pendant douze heures, 80.000 HP pendant huit heures et 200.000 HP pendant quatre heures, de façon à franchir facilement la pointe quotidienne.

Le diagramme représenté par la (*fig. 916*), montre la quantité d'énergie quotidienne en kilowatts-heures telle qu'elle résulte de la hauteur de la chute et des débits constatés au cours des neuf dernières années. On voit par exemple qu'en juillet il y a toujours plus de 5.920.000 kilowatts-heures par jour, que ce chiffre est encore assez souvent atteint et même dépassé en juin, en août et en septembre, qu'au contraire en février et

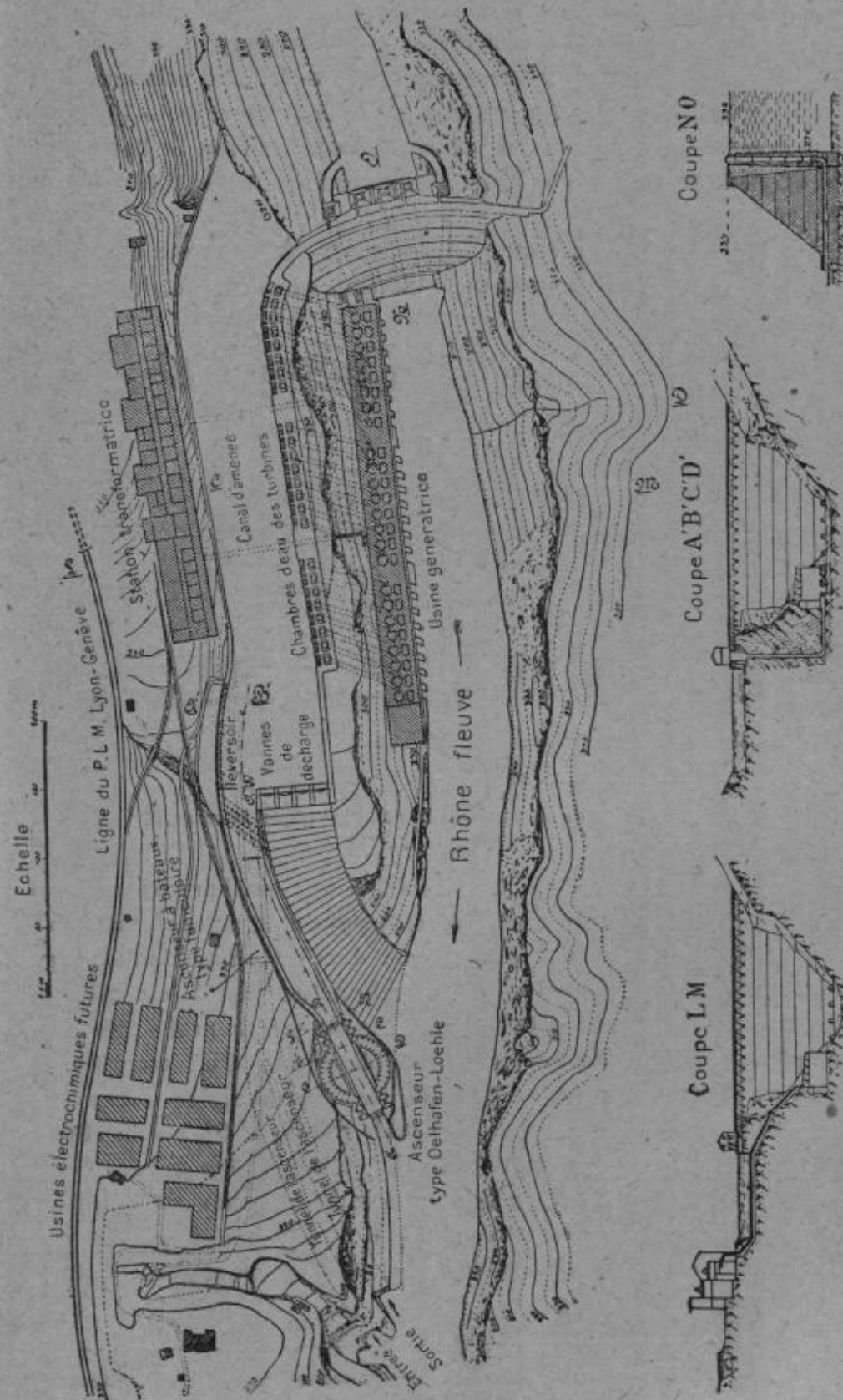


FIG. 915. — Transport Rhône-Paris. Plan général des ouvrages projetés à Génissiat.

mars, il y a parfois moins de 1.400.000 kilowatts-heures dans la journée. Mais il importe de remarquer que l'usage du réservoir, en permettant de maintenir un débit de 120 mètres cubes, c'est-à-dire une puissance d'au moins 80.000 HP ou 59.000 kilowatts, assure un minimum de 1.418.000 kilowatts-heures dans les journées défavorables de l'hiver. Si l'on fait le total de l'énergie disponible dans l'année entière, on obtient environ 1.300.000 kilowatts-heures.

Il convient de remarquer que l'aménagement de la chute du Rhône apportera non seulement à Paris une puissance considérable, de nature à

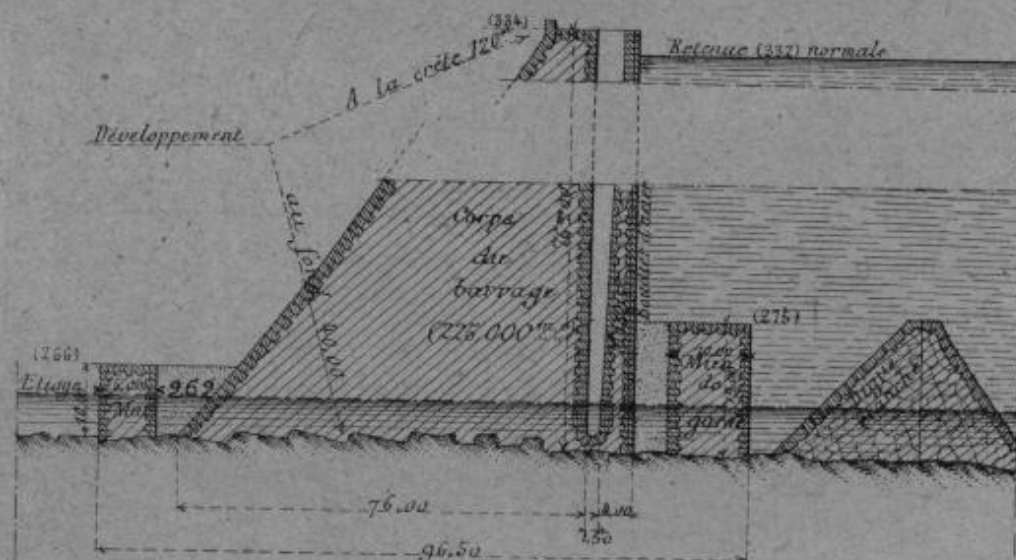


Fig. 916. — Transport Rhône-Paris. Schéma du barrage.

donner à ses industries des facilités nouvelles et à améliorer ses services publics, mais qu'elle dotera en outre notre pays d'un superbe bief navigable entre Lyon et Genève et, précisément, dans cette zone du fleuve qui a opposé jusqu'ici les obstacles les plus infranchissables à tout essai de navigation (perte du Rhône à Bellegarde) ; les auteurs du projet prévoient les emplacements nécessaires pour l'établissement d'un ascenseur à bateaux au pied du barrage, et il ouvre des aperçus dignes d'attention sur la création d'une grande voie navigable reliant le Rhône au Rhin : ainsi serait réalisé le rêve conçu par Céard, l'auteur célèbre de la route du Simplon. L'utilisation du lac du Bourget comme réservoir compensateur aurait le double effet de parer aux variations du Rhône que pourrait provoquer le fonctionnement de l'usine de Génissiat et d'améliorer la navigabilité du Rhône à Lyon ⁽¹⁾.

(1) Le « lac de Bellegarde » ainsi créé fait disparaître la principale difficulté de la mise en état de navigabilité du Haut Rhône ; les chalands du type Rhin pourront y avoir accès plus tard par un ascenseur mécanique, soit du genre Ohlhafen-Loehle, soit du type funiculaire disposé dans une fosse verticale communiquant avec le bief

Grâce aux falaises de Génissiat, formées d'un calcaire très résistant, et au caractère rocheux du fond du lit, l'exécution du barrage ne paraît pas devoir présenter des difficultés, malgré sa grande hauteur.

Après un examen spécial des lieux, des conditions géologiques et techniques de la région, M. Delafond, inspecteur général des Mines, conclut que l'on est autorisé à penser « que les eaux accumulées derrière le barrage ne trouveront pas de voies d'écoulement permettant à des volumes notables de passer ailleurs que sous les turbines ».

Barrage. — La solution adoptée par MM. Blondel, Harlé et Mähli consiste dans la création d'un barrage unique, de 78 mètres de hauteur totale à la sortie de la partie la plus étroite des gorges du Rhône de façon à noyer celles-ci sur toute leur longueur, et à ramener ainsi le plan d'eau supérieur du fleuve au niveau qu'il devait avoir autrefois, avant la corrosion de son lit.

Il est facile de donner à cet ouvrage une solidité exceptionnelle, grâce aux circonstances locales : il présentera un empattement considérable à la base vers l'aval, qui permettra éventuellement d'y installer une partie de l'usine génératrice servant de contrefort au corps principal du barrage. Ce dernier aura, en plan, la forme d'une voûte à convexité tournée vers l'amont, et s'appuyant sur les falaises des rives servant de culées (disposition adoptée aussi au barrage de l'Urft qui a 52 mètres de hauteur de retenue). En outre, le barrage n'aura pas à servir de déversoir ; on trouve, en effet, sur la rive droite, au sommet de la falaise calcaire qui sera dérasée à cet effet sur une certaine largeur, tout l'espace nécessaire pour y installer un canal de décharge.

L'étiage au point choisi vers Génissiat étant à la cote 262,5, la hauteur de la retenue sera de :

$$332 - 262,50 = 69^m,50.$$

La hauteur du barrage depuis le fond du lit, sans compter ni les fondations ni la revanche au-dessus de la retenue, sera d'environ 3 mètres plus grande, soit 72^m,50. Cette hauteur est exceptionnelle, mais les circonstances locales très favorables permettent de considérer l'ouvrage comme parfaitement réalisable, et devant offrir une grande solidité, grâce à la possibilité de lui donner une forme cintrée en plan vers l'amont, et de l'encasturer solidement dans les falaises des deux rives.

inférieur par deux tunnels d'accès ; ces dispositions ne seront réalisées, bien entendu, qu'après la création de barrages multiples sur le Rhône, ou d'un canal latéral. Une Société s'est formée en Suisse pour la création d'une voie navigable, de Chancy (frontière suisse), à Bâle par Genève et Neuchâtel ; elle se propose d'utiliser l'ancien canal d'Entreroches, le lac de Neuchâtel, l'Aar et le Rhin supérieur sur lequel en ce moment on installe ou on projette de nombreuses usines hydroélectriques. Des usines sont aussi en construction et en projet sur le Rhône, à Choney et la Plaine.

Les auteurs du projet ont étudié quinze types de profils pour le barrage ; après une discussion attentive de chacun d'eux, il semble que le choix doive se restreindre aux deux suivants auxquels correspondraient les pressions ci-dessous sur les joints en kilogrammes par centimètre carré.

		TYPE A		TYPE B	
		en CHARGE	VIDE	en CHARGE	VIDE
		kg.	kg.	kg.	kg.
Parement d'amont	Pression verticale.....	7,73	10,30	8,30	17,20
	Pression maxima.....	7,78	12,17	9,08	17,20
Parement d'aval	Pression verticale.....	13,10	7,40	8,97	0,41
	Pression maxima.....	17,50	9,90	13,87	0,72

La préférence paraît devoir aller au type B, quoiqu'il y ait pour lui des écarts notablement plus grands qu'avec le type A entre les pressions, en charge et à vide ⁽¹⁾, parce qu'il se prête beaucoup mieux que l'autre à l'addition d'un masque destiné à isoler le corps de l'ouvrage de la masse liquide adjacente. Cette considération est capitale pour un grand barrage où l'on doit accumuler les garanties ; le masque en question en effet donne le moyen de visiter en tout temps le pied du barrage et d'évacuer les filtrations de l'ouvrage. On compte d'ailleurs augmenter cette précieuse garantie en revêtant le masque lui-même, sur la face amont, d'un bouclier métallique en tôle d'acier à soudure autogène complètement étanche sur toute la surface.

La seule difficulté d'exécution sera celle de la fondation, qui devra être faite avec les précautions les plus grandes adoptées pour ce genre de travail, c'est-à-dire sur le rocher mis à nu, et après étude de celui-ci par de nombreux sondages préalables. On pourra, par exemple, procéder de la façon suivante : on commencera par construire, à l'amont de l'emplacement du barrage définitif, un barrage provisoire à pierres perdues, qui permettra de dévier les eaux du Rhône, jusqu'aux crues ordinaires de 600 à 650 mètres cubes par seconde, par des galeries percées dans la rive droite et débouchant à l'aval du grand barrage. On étanchera ce barrage

(1) Cet écart aurait des inconvénients si le réservoir devait être souvent vidé puis rempli surtout rapidement ; on pourrait alors redouter une sorte de balancement des forces résultantes et des pressions en chaque point. Cet inconvénient n'est pas à craindre ici parce que le réservoir n'est pas destiné à être vidé, sinon dans des cas très exceptionnels et probablement fort rares, et que, même dans ces cas-là, la vidange ainsi que le remplissage exigeront un temps prolongé pendant lequel des changements de pression se feront avec lenteur.

provisoire par une tôle verticale noyée dans sa masse, de façon à obtenir à l'aval un emplacement suffisant pour pouvoir fonder, à l'amont et à l'aval

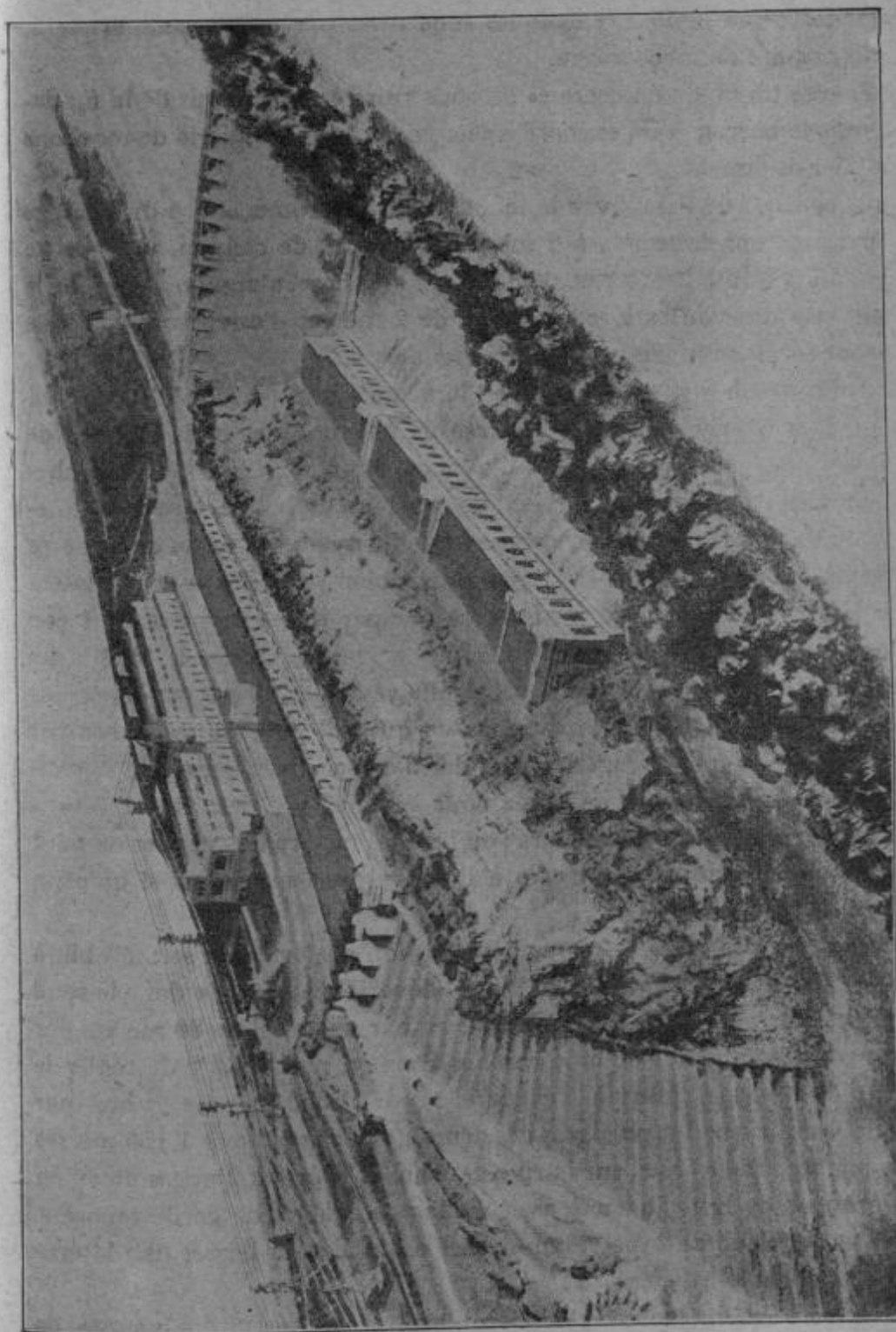


FIG. 917. — Transport Rhône-Paris. Maquette de la disposition des usines et barrages projetés.

de la fondation projetée, deux murs étanches de 8 mètres d'épaisseur s'élevant à 0^m,50 au-dessus de l'étiage. Ce travail s'exécutera à l'air comprimé,

au moyen de caissons mobiles, par le système déjà employé aux ports de Gênes, de la Pallice et de Marseille ; les vides laissés entre deux blocs consécutifs construits dans les caissons seront mis à sec au moyen de murettes en briques et en ciment, exécutées sous l'eau par des scaphandriers et remplis ensuite de maçonnerie.

Entre ces murs, on épuisera et on construira à sec le corps de la fondation, puis le barrage sera exécuté entièrement en maçonnerie de moellons et mortier de ciment.

Tout contact de l'eau avec la maçonnerie proprement dite du barrage sera évité en construisant, à 2 mètres en amont de celui-ci, un mur de garde de 1 mètre à la crête et de 3 mètres à la base, s'appuyant contre le barrage par des voûtes à axe vertical de 2 mètres d'ouverture et d'une épaisseur totale aux naissances correspondante.

La mise en charge du barrage se fera dans une période d'étiage, en rabattant successivement, sur l'entrée de chacune des trois galeries de dérivation, des masques préparés d'avance, et en construisant, pour chacune, derrière le masque qu'on vient de rabattre, un bouchon en maçonnerie de 20 mètres de longueur, traversé par 5 tuyaux en fonte de 1 mètre de diamètre, terminés à l'aval par des robinets-vannes qu'on laissera ouverts. A la première crue, on fermera une partie des robinets, de façon à élever progressivement la retenue tout en laissant dans le Rhône un débit suffisant. Chaque tuyau peut, en effet, évacuer 20 mètres cubes par seconde sous la charge de la retenue, ce qui fait 300 mètres cubes par seconde pour les quinze tuyaux. Ces derniers serviront aussi, en exploitation, de moyens supplémentaires pour l'évacuation des crues et éventuellement plus tard de désableurs ; ou bien on mettra des vannes au fond de tours correspondantes, placées à l'amont des tunnels, ainsi qu'on a procédé au barrage de l'Urft.

Évacuateurs des crues. — Pour l'évacuation des crues, il sera établi, à l'aval de l'emplacement choisi, un large déversoir à cascade dont le seuil sera placé à la cote 326 ; l'eau y accèdera par un canal de 80 mètres sur 8 mètres ; il sera muni de cinq vannes Stoney, permettant de régler le débit d'évacuation jusqu'à concurrence de 1.350 mètres cubes par seconde, tandis que les plus grandes crues ne dépassent pas 1.150 mètres cubes par seconde et que, sur la rive gauche, on a prévu 2 prises d'eau en trois groupes de huit chacune avec grillage et vanne de garde reposant sur un seuil, relevé de 2 mètres au-dessus du fond pour laisser filer latéralement les corps lourds.

On combattra la violence de l'écoulement, au sortir des vannes de décharge, en élargissant le ravin de la Dent et en constituant des échelons dans le lit, ainsi qu'on a fait pour les vannes de décharge du barrage de l'Urft.

L'espace compris entre le barrage et les vannes de prise d'eau, soit sur 110 mètres environ de longueur, sera occupé par un déversoir à bord ondulé, dont la crête sera arasée à la cote 332,15, soit 15 centimètres plus haut que la retenue ; l'eau déversée s'écoulera dans une chambre dont le fond sera mis en relation avec l'aval au moyen d'une trompe sinueuse, afin de combattre l'accélération de l'eau et la violence du jet à la sortie. Si, par suite d'une circonstance extraordinaire, les vannes de décharge n'étaient pas soulevées, l'eau qui s'écoulerait au-dessus d'elles (soit 2 mètres sur les vannes ayant 50 mètres de développement), et celle qui serait évacuée par le déversoir, avant d'atteindre la cote de couronnement du barrage, soit 1^m,85 sur le déversoir dont la crête développée aura 150 mètres, donneront ensemble un débit de 1.100 mètres cubes par seconde.

On voit que ce chiffre est supérieur à celui des crues ordinaires qui sont de 800 mètres cubes par seconde. On pourra augmenter le déversoir en le répétant sur un autre point, si on le juge utile.

Prise d'eau et canal d'amenée. — Les ouvrages de prise d'eau seront établis sur le canal servant à l'évacuation des crues ; ils seront formés chacun d'un bassin d'entrée, fermé par un grillage en cornières, et de deux vannes Stoney, de 5 mètres de largeur sur 8 mètres de hauteur, qui, traversées à la vitesse de 1 mètre, débiteront chacune 40 mètres cubes par seconde.

Derrière ces vannes existera une chambre de prise, avec descente de 3 mètres de diamètre, pour chaque accouplement de deux groupes électrogènes. Les vannes Stoney seront mues électriquement à distance et protégées par une construction couverte.

Chaque descente sera constituée par un tuyau en acier de 3 mètres de diamètre, logé dans un puits incliné creusé dans la roche et enrobé dans du béton garnissant les vides.

Les grilles, placées à l'entrée des chambres d'eau, seront nettoyées automatiquement par un moyen mécanique.

En prévoyant 0^m,50 de perte de charge, tant dans le canal d'amenée que dans les grilles et descentes, on sera au-dessus de la vérité, même en tenant compte de toutes les pertes qui ne peuvent s'évaluer exactement.

La chute disponible, déduite du niveau de la retenue (332 mètres), et du niveau d'aval (262^m,50), en déduisant en outre la perte de charge de 0^m,50 sera de 69 mètres ; mais elle pourra s'abaisser à 67 mètres pendant les hautes eaux, ou si, pendant les basses eaux, on pratique l'emmagasinement pendant une partie de la journée et qu'on porte à certaines heures le débit au double de sa moyenne. Dans les très grandes crues, si le Rhône monte de 3 mètres au maximum, au-dessus de l'étiage, la chute disponible ne serait pas inférieure à 64 mètres.

Turbines. — La production d'énergie sera assurée au moyen de groupes générateurs formés de puissantes turbines de 14.500 HP, du type centripète, actionnant chacun un alternateur triphasé. Ces turbines doubles, au nombre de 24, seront groupées par paire, chaque paire étant alimentée par une des conduites forcées. Le réglage de la vitesse sera opéré à l'aide de servo-moteurs hydrauliques. Quatre turbines de 750 kilowatts alimentées par des conduites plus petites serviront à l'entraînement des excitatrices.

Les auteurs du projet donnent leur préférence aux turbines à axe horizontal, pour éviter les difficultés d'entretien des pivots, permettre l'emploi de machines électriques d'un meilleur rendement et faciliter la surveillance et la visite de toutes les parties, ainsi qu'éventuellement leur démontage. Pour chaque roue, ou're l'usage de la vanne, on modifiera l'introduction à l'aide de broches articulées commandées par un anneau commun à servo-moteur.

Conduites forcées. — Chaque paire de turbines doubles sera alimentée par une conduite métallique de 3 mètres de diamètre, coudée et placée à l'arrière des générateurs d'électricité, dans un puits incliné. Chaque conduite sera supportée convenablement et munie de deux joints de dilatation et fournira l'eau au moyen d'une vanne Stoney correspondant à la descente et commandée électriquement du tableau de l'usine. L'électricien sera ainsi à même de pouvoir ouvrir ou fermer à volonté toutes les conduites au nombre de 24.

L'eau sera amenée, aux vannes des bâches radiales des turbines, par des culottes en acier aboutissant par un coude de succion de 3 mètres de diamètre à un conduit en béton construit dans les galeries ou tranchées ménagées dans la banquette rocheuse et débouchant obliquement dans le lit du Rhône pour faciliter l'écoulement. Ces conduites seront noyées en tout temps, pour exercer une action hydropneumatique sur les turbines, tout en pouvant être isolées éventuellement par un batardeau à l'aval.

TRANSPORT DE FORCE. — Choix du courant. — Au point de vue du choix du courant à employer, les auteurs ont envisagé deux solutions : emploi du système Thury, emploi du courant triphasé. Quoique ce dernier ait été adopté, nous rappellerons brièvement les dispositions que préoyaient les auteurs avec le concours de M. Thury pour le cas du courant continu à haute tension. Chaque turbine principale aurait commandé trois dynamos débitant chacune 750 ampères sous 3.500 volts, au moyen de deux collecteurs. Ainsi chaque groupe générateur aurait donc eu une puissance de 7.875 kilowatts. Les groupes seraient à axe horizontal, afin de faciliter la visite des organes et l'isolement des dynamos, qui est la seule partie délicate d'une pareille installation.

La transmission d'énergie aurait été assurée par deux lignes et les isola-

teurs, au nombre de six par ligne, porteraient chacun un câble de 150 millimètres carrés. Ils seraient disposés côte à côte sur une traverse placée au sommet de pylônes métalliques espacés de 150 mètres en alignement droit. Les lignes pourraient être établies le long des routes nationales, grâce à leur faible encombrement, surtout où l'on trouve hors des lieux habités des alignements droits assez longs pour éviter de trop fréquents supports d'angles. Elles réaliseraient d'ailleurs, en tout cas, de longs raccourcis à travers champs.

Quant à la question de l'isolement l'on sait qu'elle est entièrement résolue pour les courants continus à haute tension, les expériences exécutées par M. Thury ayant démontré que les isolateurs en porcelaine résistent parfaitement, sans dimensions exagérées, à une différence de potentiel de 100.000 volts par rapport à la terre et ne donnent lieu qu'à des pertes de courant insignifiantes.

Tous les conducteurs seraient montés sur isolateurs à cloches et formés de câbles armés à grand isolement, placés soit en sous-sol, soit sur consoles. Les sorties se feraient aux deux extrémités de l'usine, soit en câbles armés, soit en câbles nus traversant deux grandes glaces épaisses enchâssées dans une fenêtre, puis s'élevant ensuite directement jusqu'au-dessus de la falaise où ils rejoindraient la ligne aérienne. Pour la régulation, les dynamos mues par chaque turbine formeraient un groupe dont les portebalais seraient commandés par un tube monté sur frottements à billes et actionnés par un moteur électrique commandé par un régulateur.

Les régulateurs marcheraient chacun pour leur compte et pourraient d'ailleurs être rendus synchroniques dans leurs effets, par intercommunication convenable. L'asservissement serait réglé de façon que les régulateurs pussent toujours trouver leurs positions d'équilibre et la charge se répartir à peu près également. Pendant les heures de faible charge, on agirait sur les régulateurs pour abaisser l'intensité de 750 à 500 ou 600 ampères et réduire la perte en ligne.

Les dynamos réceptrices seraient du même type, mais couplées individuellement chacune sur une dynamo ou un alternateur de puissance correspondante; le réglage de vitesse serait obtenu par décalage des balais, comme dans les stations réceptrices de Lyon (§ 273), où l'expérience a démontré que le fonctionnement était très satisfaisant, grâce à l'action très rapide du régulateur, qui évite des accidents de collecteur en cas de court-circuit sur les lignes.

MM. Harlé, A. Blondel et Mâlh ont aussi étudié la question d'une ligne souterraine en câbles armés à 200.000 volts qui présenterait les avantages suivants : entretien et surveillance peu onéreux, suppression de toute cause d'arrêt par coups de foudre, rupture d'isolateurs, ouragans, et enfin simplicité plus grande des stations de départ et d'arrivée.

Pour la solution à courant triphasé, chacune des 24 grandes turbines doubles commanderait directement un alternateur multipolaire de 10.000 kilowatts fournissant à 250 tours du courant à 25 périodes sous la tension de 12.000 volts. Le diamètre total extérieur du stator, qui pourrait se denter horizontalement suivant un diamètre, serait d'environ 8^m,50. L'encombrement de chaque groupe de turbines et d'alternateurs aurait environ 8 mètres dans le sens transversal et 15 mètres dans la direction de l'arbre. Entre les unités voisines il serait laissé un espace de 3 mètres, mais un espacement plus grand serait ménagé entre les groupes de plusieurs unités reliés à un même groupe de barres omnibus de l'usine de distribution.

L'excitation des alternateurs serait assurée par trois dynamos de 750 kilowatts chacune. Il en serait installé une quatrième à titre de rechange. Ces excitatrices fourniraient également à volonté du courant pour la manœuvre d'un pont roulant de 50 tonnes et pour les circuits de commande des interrupteurs à huile destinés à couper les courants primaires et secondaires. Une batterie d'accumulateurs permettrait d'ailleurs de commander ces appareils de manœuvre en tout temps.

Chaque ligne de transport recevrait les courants à haute tension d'une batterie de transformateurs-élévateurs monophasés, comme il est expliqué plus loin.

L'emploi du courant triphasé permettrait de réduire la station d'arrivée à Paris à une station de transformation plus simple et beaucoup moins chère à installer que la station réceptrice, dans le cas de courant continu à haute tension.

Le plus grave inconvénient de la solution par courant triphasé est la possibilité d'un arrêt résultant d'une détérioration de la canalisation aérienne. Mais un tel inconvénient serait très atténué par la précaution prise d'établir quatre lignes (et plus tard six) en parallèle, suivant deux parcours différents. D'autre part, cette solution offrait l'avantage de permettre de modifier avec la plus grande facilité la tension de transmission de second ordre (12.000 volts pour les besoins locaux, 30.000 pour les besoins régionaux et 10.000 pour Paris) et, au besoin, de diminuer la tension première, si des difficultés inattendues se présentaient.

De prime abord, l'emploi du courant triphasé semble surtout se justifier par la simplicité de transformation qu'offrent les transformateurs fixes, au lieu de machines rotatives, comme dans le cas du courant continu, mais comme le fait observer M. Blondel, avec une transformation d'énergie de cette importance, il faudra probablement recourir, au moins pour le réseau d'éclairage, à l'installation de groupes moteurs générateurs.

Usine génératrice. — Comme on l'a dit plus haut, l'usine génératrice sera disposée le long de la gorge du Rhône, sur la rive droite, de façon à

pouvoir s'étendre librement en longueur. Cette disposition sera analogue à celle de la belle usine des chutes du Niagara, la Ontario Falls Power Co, dont on ne peut mieux faire que d'imiter ici les installations, qui ont fait leurs preuves et suppriment tout aléa.

L'usine de production de force proprement dite sera longue de 300 mètres et se développera sur la rive droite à partir du pied du barrage. Elle doit recevoir 24 groupes hydroélectriques de 10.000 kilowatts, tournant à 250 tours et produisant du courant triphasé à 12.000 volts. Il y aura en outre quatre turbines de 750 kilowatts pour l'entraînement des excitatrices, et une batterie d'accumulateurs dont la fonction a déjà été expliquée.

Le courant de chaque générateur sera conduit aux bornes de la station de départ des lignes par des câbles séparés, placés sur des supports en béton au-dessous du plancher; ils passeront par des couteaux de connexion, par un disjoncteur à huile automatique et par d'autres couteaux réunis à un câble triphasé armé; ces appareils seront supportés par des isolateurs dans une construction spéciale en briques. Tous ces câbles seront logés dans plusieurs galeries souterraines aboutissant à la station de départ des lignes aériennes dont il va être parlé ⁽¹⁾.

L'usine génératrice comprendra seulement un tableau pour l'excitation et un autre pour l'éclairage et la force motrice nécessaires aux services de l'usine et des moteurs qui commandent les vannes; ces derniers moteurs seront munis de disjoncteurs limiteurs qui arrêteront le mouvement des vannes, dès que dans l'une ou l'autre direction, elles auront atteint leur position extrême.

Le bâtiment à deux étages de la station de départ des lignes sera édifié sur le plateau rocheux à une certaine distance en arrière du canal de dérivation du Rhône; presque aussi grand que l'usine de production, il constituera le véritable poste de transformation et de distribution d'où se feront le contrôle et la commande à distance des alternateurs, leur mise en charge et leur utilisation sur l'une ou l'autre des lignes, ainsi que cela est pratiqué à l'usine hydroélectrique de l'Ontario Power Co.

C'est de cette station que partiront les divers feeders à haute tension. Chaque générateur, relié par un double câble triphasé individuel, se trouvera commandé depuis la station de départ comme s'il y était installé; une colonne placée dans la salle de manœuvre portera tous les appareils de mesure nécessaires et les commutateurs commandant à distance les interrupteurs automatiques de l'usine génératrice et ceux de la station de

(1) Les grands constructeurs américains établissent non seulement des transformateurs pouvant fournir des tensions de 100.000 à 200.000 volts, mais aussi des appareils robustes pouvant couper, dans trois cuves séparées, correspondant aux trois phases, une puissance totale de 20.000 kilowatts sous 100.000 à 200.000 volts.

départ. Toutes les barres principales à haute et basse tension seront en double et les connexions par interrupteurs à huile seront disposées de manière à permettre d'alimenter, par chaque génératrice et par l'intermédiaire de chaque transformateur, n'importe laquelle des deux lignes de transport à 120.000 volts ou directement la ligne de distribution locale à 12.000 ou 30.000 volts. Chaque ligne de transport recevra le courant à haute tension d'une batterie de six transformateurs fixes monophasés, soit deux par phase en parallèle. Ces transformateurs, qui élèveront la tension de 12.000 à 120.000 volts seront contenus chacun dans une bache en acier fermée, munie seulement d'un tuyau de décharge de l'huile ; le refroidissement sera fait par circulation d'eau. Chaque transformateur sera muni de deux interrupteurs à huile tripolaires, à haute et basse tension respectivement.

Tous les connecteurs seront logés dans des cellules en briques et tous les circuits en câbles, isolés les uns des autres par des cloisons en briques. Du tableau on commandera à distance : 1° la vitesse et l'excitation de chaque alternateur, ce qui permettra de mettre en marche et de synchroniser cet alternateur ; 2° les interrupteurs à haute et basse tension de chaque transformateur ; 3° les appareils de coupure des deux systèmes de barres omnibus et enfin les interrupteurs de départ de chaque feeder.

Lignes de transmission d'énergie (150.000 volts). — Ainsi que nous l'avons expliqué, nous n'étudierons cette question importante de l'établissement des lignes que sous le rapport du courant triphasé.

De la station de distribution de l'usine de Génissiat partiront quatre (et plus tard six) feeders à 150.000 volts de 20.000 kilowatts chacun desservant Paris, trois feeders alimentant l'Ain et les départements limitrophes et deux feeders à 12.000 volts desservant les usines électrochimiques des environs immédiats. La longueur du transport sur Paris serait de 450 kilomètres.

Les lignes seront installées le plus possible dans des propriétés privées en raison de l'encombrement conséquent des deux rangées de pylônes à large base de sustentation. Cette condition permettra de réduire au minimum le nombre des angles, ce dont on profitera pour espacer le plus possible les pylônes en alignement droit.

Les quatre lignes de la première période de l'installation transportant chacune 20.000 kilowatts constitueront chacune un circuit distinct à trois conducteurs de 150 millimètres carrés de section chacun, mais ces lignes travailleront en quantité. Individuellement, elles seront capables de supporter toute la charge pendant quelque temps, au cas où l'une d'elles serait mise hors de service. Enfin chaque paire de lignes sera portée par une seule série de poteaux.

Les câbles en aluminium ou en cuivre seront montés sur autant d'iso-

lateurs de grand modèle, à chapeaux métalliques, placés aux trois sommets d'un triangle équilatéral de 3 mètres de côté, portés par de robustes tiges creuses évasées à la base et fixées à des traverses métalliques.

Cette distance de 3 mètres entre fils est suffisante pour éviter les risques d'ionisation de l'air, en raison du fort diamètre de 20 millimètres que présentent les câbles de grosse section employés, diamètre que l'on obtient naturellement dans le cas de l'aluminium ou artificiellement par l'emploi d'âmes en chanvre dans le cas du cuivre. Ce fort diamètre permet de porter l'écartement des pylônes de 150 mètres à 200 mètres sans risques de rupture de câble et de réduire ainsi les difficultés d'installation de la ligne, ainsi que les points faibles que constituent les isolateurs, toutes choses qui seraient impossibles avec des fils fins.

En ce qui concerne les appareils de protection contre les surtensions dues à l'électricité atmosphérique ou à la manœuvre des interrupteurs, l'installation comportera ceux que la pratique des installations les plus récentes ont consacrés comme les plus parfaits.

Les lignes du transport de force seront divisées en tronçons de 100 kilomètres environ par des postes de coupure (servant en même temps de postes de distribution à 12.000 ou 30.000 volts), munis d'interrupteurs à 150.000 volts permettant de couper à volonté ou automatiquement les lignes et d'établir entre elles des connexions permettant de continuer le service tout en isolant un tronçon avarié pour le réparer.

Les auteurs ont calculé les effets de capacité et de self-induction des lignes ; ils ont pu s'assurer que, malgré la tension élevée, ils n'auraient aucune influence gênante, avec l'emploi d'une fréquence de 25 périodes qui est acceptable pour la lumière et très favorable pour la transformation dans les distributions en cours de route. La capacité kilométrique de chaque conducteur serait de 0,0177 microfarad, le coefficient de self de 0,0012 henry et la résistance 0,113 ohm. La chute de tension sur la ligne est estimée de 15 0/0 en pleine charge. La résonance se produirait pour le troisième harmonique du courant, lors de la marche en charge, et des surtensions auraient lieu, à la mise en service à vide, pour les troisième, cinquième, treizième et vingt et unième harmoniques.

Les isolateurs à chapeaux métalliques ont montré que des essais effectués sur de tels appareils, composés de deux cloches à bords toroïdaux, ont supporté des tensions de 200.000 volts. Constitués avec trois cloches, on peut admettre qu'ils résisteraient à une tension de 300.000 volts. L'efficacité du dispositif provient surtout de ce que, sous l'action du champ électrique puissant produit par le chapeau, les gouttes d'eau qui tombent sur celui-ci et qui se trouvent ainsi électrisées sont projetées à distance sans tomber sur les cloches de porcelaine ; ainsi la principale cause de production des arcs se trouve évitée.



La station réceptrice à Paris, placée près d'Ivry, comprendra des transformateurs statiques semblables à ceux de l'usine génératrice de Génissiat; ils abaisseront le courant triphasé à 15.000 volts environ et l'on réglera par des interrupteurs à boucle la répartition sur les différents groupes de feeders de distribution. Une partie du courant sera transformée, par machines rotatives, en courant triphasé à 42 périodes pour l'éclairage.

EXPLOITATION. — Les promoteurs ne songent nullement à une vente au détail, mais seulement à des emplois en gros, tels que la livraison aux services généraux d'éclairage et de traction à des groupes industriels et autres gros consommateurs.

L'ensemble des dépenses à prévoir pour toute l'entreprise, barrage, usines, lignes de transport, achat de terrains, etc., paraît devoir s'élever entre 100 et 120 millions, ce qui ferait ressortir le prix de revient en capital de l'unité électrique rendue à destination par kilowatt installé entre 415 et 500 francs, par cheval installé entre 310 et 320 francs. Si l'on ne considère que la partie hydraulique, terrains, barrage, usine génératrice et turbines, le cheval hydraulique sur l'arbre des turbines reviendrait environ à 70 ou 80 francs en capital. (Prix d'avant-guerre).

La concentration sur un seul transport d'énergie, qui variera de 60.000 kilowatts au minimum à 150.000 kilowatts, suivant les saisons et les heures de la journée, permet d'établir des lignes relativement économiques et pouvant cependant supporter des frais de vérification et d'entretien sur un long parcours sans augmentation notable du prix du kilowatt-heure. L'existence à l'extrémité des lignes d'un centre de consommation aussi considérable que Paris et sa banlieue, dont les besoins ne font qu'aller en croissant, assure à l'entreprise un débouché immédiat et presque indéfini, et la dispense de chercher la clientèle sur son parcours.

La possibilité de concentrer toute la puissance motrice disponible du haut Rhône, sur un parcours de 28 kilomètres, en une seule chute et en une seule usine a, pour conséquence : un minimum de dépenses pour l'établissement des ouvrages hydrauliques, une centralisation de l'exploitation et une très grande facilité pour l'établissement, dans le voisinage immédiat de l'usine génératrice, d'usines électrochimiques absorbant les excédents variables de puissance.

D'ailleurs, au point de vue économique, seule la concentration peut permettre d'obtenir l'énergie à un prix suffisamment bas pour justifier la transmission jusqu'à Paris, et, réciproquement, seul le transport à Paris peut gager financièrement une telle entreprise, qui n'exige pas moins de 100 à 120 millions de capital.

Comme le projet prévoit l'installation d'une puissance de 240.000 kilowatts, dont la moitié est à transmettre à Paris, et l'autre moitié à la distribution locale et à l'électrochimie, on peut établir le prix d'établisse-

ment unitaire pour chacune de ces deux parties de la puissance. On trouve ainsi que la puissance transmise à Paris revient à 413 francs le kilowatt installé et que celle destinée à des emplois intermittents dans les usines électrochimiques revient à environ 145 francs le kilowatt. Suivant les auteurs, ces deux prix sont franchement inférieurs à ceux de beaucoup d'entreprises du même genre qui donnent actuellement de bons résultats financiers. Bien entendu, les prix ci-avant ne comprennent pas les dépenses résultant de l'installation de la ligne de transmission ; si l'on en tient compte et si l'on admet une perte en ligne de 10 à 15 0/0, le prix total de l'établissement du kilowatt, pris à Paris, ressort à 1.000 francs environ, chiffre qui permet à l'énergie hydroélectrique de lutter avec avantage contre l'énergie fournie par la vapeur, grâce à l'absence de toute dépense de combustible.

Il suffira, pour la vitalité de l'entreprise, de vendre 200 millions de kilowatts-heures au prix moyen de 6 centimes ou 500 millions de kilowatts-heures au prix moyen de 2,5 centimes.

358. Usine du Giffre (Haute-Savoie) (*chute, 71 mètres*). — L'usine de Pont-de-Risse, créée sur le torrent du Giffre, utilise une chute de 71 mètres de hauteur (64 mètres de charge et 7 mètres d'aspiration). Pendant huit mois de l'année, le débit dépasse 7 mètres cubes, et il peut aller jusqu'à 13 mètres. Le débit d'étiage est de 5 mètres cubes. La prise d'eau comporte un barrage en maçonnerie de 4 mètres de hauteur et un canal d'amenée à flanc de coteau de 1.400 mètres de longueur. La chambre d'eau de l'extrémité est précédée d'un vaste déversoir d'où partent deux conduites forcées en tôle d'acier de 1^m,80 de diamètre et 620 mètres de longueur, capables de satisfaire à une puissance de 9.000 HP. On a installé huit turbines centripètes de 1.100 HP commandant chacune un alternateur de 760 kilowatts tournant à 400 tours, fournissant du courant à la tension de 210 volts et 50 périodes.

Ces machines servent à la production de carbure de calcium, de ferrosiliciums, de ferros-chromes et notamment de ceux affinés à très basse teneur de carbone, de ferros-tungstènes et de tungstène pur, de ferros-molybdènes et de molybdène pur, de manganèse électrique, de mangano-silicium, d'aluminium et en général de tous les produits d'électrometallurgie. En outre deux groupes, l'un de 600 et l'autre de 150 kilowatts, servent à un transport de force (12.000 volts) pour l'alimentation de villes avoisinantes (Annemasse, Thonon et Evian). Ces groupes marchent en parallèle avec ceux de l'usine de Chevenoz, établie sur la rivière la Dranse d'Abondance. De plus, l'usine du Giffre soulage l'usine du Fier ou de Brassilly par une ligne à 70.000 volts, dans les époques de fortes charges ou de basses eaux.

359. Usine de Subiaco (Italie) (*chute, 75^m,44*). — *Barrage*. — Construit sur l'Aniène, cet ouvrage a 20 mètres de longueur et 3^m,95 de hauteur. L'épaisseur de la crête est de 3 mètres, cette dernière étant située à 3^m,30 au-dessous du niveau des plus grandes crues de fleuve, dont le débit s'élève jusqu'à 200 mètres cubes.

L'ouvrage de décharge de fond est constitué par une ample galerie creusée dans le rocher qui forme la rive droite du barrage. L'édifice d'entrée dans le canal est constitué par deux pertuis de 1^m,40 de largeur et 2^m,10 de hauteur, munis de vannes régulatrices et d'une grille de 3^m,50 de hauteur et 7^m,60 de longueur.

Canal de dérivation. — Celui-ci, capable de débiter 8 mètres cubes à la seconde, a une pente de 1 millimètre par mètre et une longueur de 3.195 mètres dont 2.706 mètres en galerie naturelle.

A 191 mètres de l'origine se trouve un bassin de mesure adossé à la montagne et qui est muni de deux décharges de fond et d'un réservoir frontal capable d'évacuer les eaux en excédant du débit de 8 mètres cubes, restituées à l'Aniène au moyen d'un double canal de décharge.

La dérivation aboutit à La Costa, près de Subiaco, au bassin de charge.

Bassin de charge. — Il est de forme rhomboïdale. Le débouché du canal et l'origine de la conduite forcée se trouvent aux extrémités d'une diagonale, la grille se développant suivant la seconde. En effet, sur l'aire minime dont on pouvait disposer, étant donnée la forme de la montagne en cet endroit, on est arrivé à l'aide de cette disposition à loger non seulement tous les ouvrages hydrauliques, mais encore on a réalisé la conception de passer de la vitesse d'écoulement élevée de l'eau, dans le canal, à une vitesse minime, presque uniforme tout le long de la grille et d'atteindre de nouveau une vitesse élevée à l'embouchure des conduites, en évitant les espaces nuisibles et les mouvements verticaux de l'eau. Les abondantes matières en suspension se déposent au pied de la grille d'où elles sont évacuées continuellement par des vannes de décharge.

L'eau surabondante, dans le bassin de charge déborde par les crêtes des deux murs de pourtour à l'amont de la grille et l'eau des machines hydrauliques est guidée jusqu'à la chambre de départ des tuyaux métalliques.

Conduite forcée. — Elle se compose de deux tuyautages de 1^m,60 de diamètre intérieur, un pour chaque groupe hydro-électrique. Les anneaux ont en haut l'épaisseur de 6 millimètres et en bas celle de 10 millimètres. Chaque conduite est munie à son origine d'une vanne à mouvement de fermeture lent, d'une prise d'air et d'un anneau de glissement avec presse-étoupe.

Turbines. — Elles sont du type à réaction Francis à axe horizontal, centripètes et développant 4.000 chevaux effectifs à l'étiage et 6.000 chevaux

en eaux ordinaires, sous la charge d'eau de 75^m,44 dont 6^m,30 à l'aspiration avec un rendement de 76 0/0 à pleine charge.

Un régulateur, du type Hartung, à tiroir de distribution et servomoteur, agit en faisant varier l'inclinaison des palettes directrices.

La distribution de l'huile pour les régulateurs (les eaux de l'Aniène étant impropres au fonctionnement de ces appareils) comporte deux turbines Pelton, deux pompes et un accumulateur, ce dernier faisant entrer en action ou excluant les pompes automatiquement en agissant sur un système de leviers qui, suivant les positions du piston, ouvrent ou ferment la valve d'admission aux Pelton.

Alternateurs. — Ces machines fonctionnent à la tension de 30.000 volts capables de fournir toute leur puissance en monophasé ou triphasé et de fonctionner en parallèle avec ceux de Tivoli, les deux lignes de transport étant réunies à leur extrémité à Porta-Pia, l'une directement et l'autre par l'intermédiaire de transformateurs-réducteurs de tension. En adoptant la tension directe de 30.000 volts, on a réalisé un avantage économique très sérieux.

Les alternateurs marchent à 450 tours. Ils développent 5.190 kilovolts-ampères en triphasé et 2.730 kilowatts en monophasé. Les bobines sont connectées en étoile.

Ligne de transport. — L'usine génératrice est à 55 kilomètres de la ville de Rome. Pour cette ligne on a adopté le type de support à pyramide du même modèle que celui de la nouvelle ligne de Tivoli à Rome.

Près du tableau de la centrale de Tivoli est un poste d'interruption comportant un tableau spécial de commande à distance d'un groupe d'interrupteurs à huile Magrini. De ce poste part aussi une dérivation qui alimente la sous-station de Ciampino de la Société des tramways et chemins de fer électriques de Rome.

Les deux lignes de transmission Tivoli-Rome et Subiaco-Tivoli aboutissent à Rome à la station de Porta-Pia.

A son arrivée dans cette station, la ligne présente les mêmes dispositions qu'au départ de Tivoli.

La ligne de Subiaco à son arrivée traverse les mêmes appareils qu'à son départ.

Le fonctionnement en parallèle des deux centrales de Tivoli et de Subiaco est d'importance fondamentale, parce que l'usine de Subiaco doit servir de secours à celle de Tivoli pendant les périodes où la puissance engendrée dans cette dernière ne suffit pas aux demandes des services de la ville (éclairage, force motrice et traction).

Pour la traction, on a eu recours à une installation de convertisseurs de courant alternatif monophasé en courant continu, disposés en parallèle avec une batterie d'accumulateurs, avec interposition entre les conver-

tisseurs et les feeders des tramways d'une résistance variable consommant au plus 2,5 0/0 de l'énergie engendrée.

Ainsi on a réussi à alimenter avec du courant monophasé une distribution simultanée de lumière et de force motrice extrêmement variable, parce que la charge sur les convertisseurs était maintenue toujours constante, sous la dépendance de la résistance régulatrice. Actuellement la station de Porta-Pia comporte douze groupes de moteurs triphasés synchrones alimentés par des courants triphasés à 8.400 volts et accouplés à des dynamos débitant du courant continu à 600 volts, soit ensemble 4.860 kilowatts.

360. Usine d'Ulu Guroh (Malaisie) (*chute, 80 mètres*). — La Société française des mines d'étain de Tekkah dispose sur la rivière Guroh, affluent de la rivière Kampar, d'une prise d'eau à une altitude d'environ 200 mètres au-dessus de la plaine de Tekka. Cette différence de niveau est divisée en deux chutes d'environ 80 mètres chacune. La première est utilisée dans l'usine génératrice électrique de Ulu Guroh, la seconde fournit l'eau sous pression nécessaire à l'arrosage des terrains alluvionnaires.

La prise d'eau de l'usine d'Ulu Guroh est constituée par deux barrages captant le Guroh et un petit affluent. Un canal d'environ 3.500 mètres, comprenant trois siphons en tuyaux de tôle, conduit l'eau à la chambre de mise en charge. Une conduite forcée double de 300 mètres de longueur rachète une différence de niveau de 80 mètres. Le diamètre des tuyaux est de 700 millimètres.

Le bâtiment des machines génératrices est établi d'une façon très simple ; charpente en fer profilé reposant sur une semelle en béton et couverte en tôle ondulée. Il est divisé en deux salles, l'une pour les groupes générateurs, l'autre pour le tableau de distribution et les transformateurs.

Les turbines, du genre Pelton, ont une puissance individuelle de 500 chevaux.

Les alternateurs, du type triphasé, avec leurs excitatrices en bout d'arbre, sont entraînés par un joint élastique, type Zedel. Ils fonctionnent sous la tension de 450 volts et à la fréquence de 40 périodes-seconde.

Chaque générateur est connecté à un transformateur à bain d'huile et à refroidissement par circulation d'eau qui élève la tension à 9.000 volts.

Le déclenchement automatique de l'interrupteur à bain d'huile commandant chaque groupe générateur est effectué par deux retardateurs réglables branchés sur le secondaire des transformateurs de courant.

La ligne de transmission a une longueur de 11^{km},5. Elle est montée sur poteaux en bois très dur. Les fils sont disposés à 45 centimètres les

uns des autres aux sommets d'un triangle équilatéral ; ils sont en cuivre dur étiré, de 6 millimètres de diamètre. La perte en ligne pour la pleine charge ne dépasse pas 5 0/0.

361. Usine de Jajcé (Bosnie) (*chute, 80 mètres*). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Cette usine utilise la force hydraulique de la rivière Pilva pour obtenir du carbure de calcium. L'eau est prise au lac Jezero, qui a 3 kilomètres de longueur et 600 mètres de largeur, situé dans le parcours de la Pilva. On a établi sur des rochers de tuf un barrage en béton de ciment portland, donnant à l'étiage une réserve de 430.000 mètres cubes. La chute est de 80 mètres et le débit ne descend jamais au-dessous de 14 mètres cubes dans la saison la plus sèche ; il monte à 300 mètres cubes pendant les crues. Dans le barrage, on a aménagé deux décharges fermées par des vannes mobiles : l'une est une décharge de fond pour les graviers et la vase, et l'autre est la prise d'eau du canal d'amenée de l'usine, laquelle est précédée d'un dépotoir qui retient le sable et le gravier et qui débouche dans la décharge de fond.

Derrière le dépotoir se trouve une grille à barreaux espacés pour empêcher les bois et autres corps flottants de pénétrer dans le canal. Les vannes sont en fer avec panneaux en bois de chêne.

Le canal d'amenée est partie à ciel ouvert, partie en tunnels ; sa longueur totale est de 3.103 mètres, dont 946 mètres en 15 tunnels, le plus grand de ceux-ci ayant 193 mètres de longueur. La veine d'eau mesure 4 mètres de large et 1^m,50 de profondeur, et la vitesse de l'eau y est de 2 mètres par seconde avec une pente de 1 mètre pour 1.000.

Le canal aboutit à un réservoir d'où part la conduite à haute pression, formée de deux tuyaux en tôle d'acier de 1^m,60 de diamètre, munis en leur milieu de manchons de dilatation. Ces tuyaux aboutissent dans deux sections distinctes du réservoir, qui peuvent se fermer indépendamment l'une de l'autre par des vannes précédées de grilles. Le trop plein s'échappe du réservoir, au moyen d'un déversoir, dans une rigole de décharge. Cette dernière pouvant se fermer également par une vanne, on a la facilité de vider complètement le canal. Les vannes de prise d'eau des tuyaux sont munies d'un dispositif électromagnétique qui les ferme automatiquement dès qu'il se produit une rupture dans la conduite.

TURBINES. — Dans le bâtiment des machines sont dix turbines à réaction système Francis, dont huit de 1.000 HP à 300 tours à la minute et deux de 632 HP chacune. Le réglage des turbines s'opère du tableau de distribution.

ALTERNATEURS. — Chacune des turbines de 1.000 HP actionne un alternateur triphasé Schuckert au moyen d'un accouplement élastique à courroie, système Zodel. Les alternateurs fournissent individuellement un

courant de 3.000 ampères à une tension de 155 volts alimentant trois fours montés en étoile.

Une dynamo à courant continu de 30 ampères sous 80 volts est accouplée à chaque alternateur pour fournir le courant d'excitation ainsi que celui pour le régulateur de la turbine. Les machines à courant continu, accouplées aux turbines de 632 HP, fournissent, à 120 volts, un courant total de 720 ampères qui est utilisé pour la fabrication du chlore.

362. Usine de Trenton-Falls (États-Unis) (chute, 80 mètres). — L'usine de ce nom, installée sur le West Canada Creek, est capable de fournir 23.000 HP. La chute est de 80 mètres. Le barrage, édifié en béton, a 92 mètres de longueur et 18^m,30 de hauteur. Il y a deux déversoirs, dont l'un, à 0^m,61 au-dessous de la crête, est établi parallèlement à la rivière, et l'autre, implanté au milieu de la largeur du barrage, à 1^m,25 en dessous de la crête, a 49 mètres de longueur.

Les grosses turbines sont du type centrifuge Fourneyron.

Le courant produit par les alternateurs est envoyé dans des transformateurs qui élèvent sa tension à 23.000 volts.

363. Usines de la vallée de l'Areuse (Suisse) (chutes, 32, 60, 63

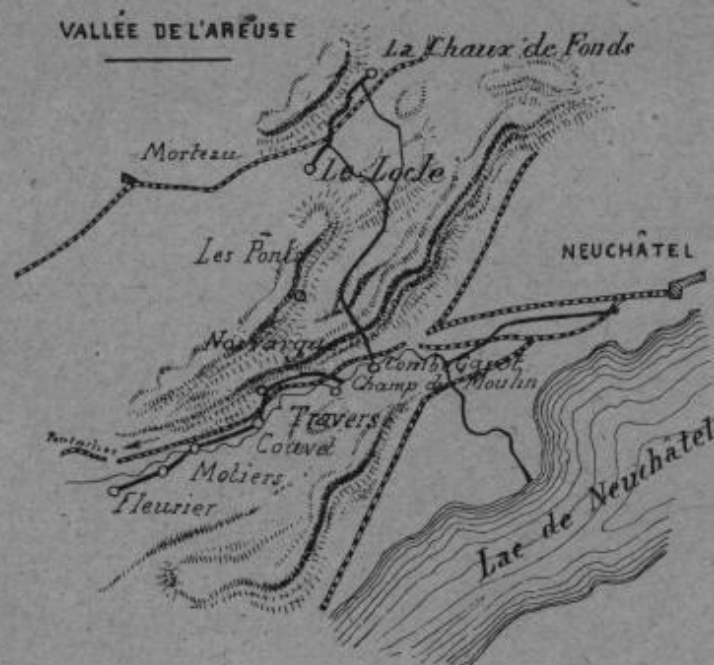


FIG. 918.

et 97 mètres). — La vallée de l'Areuse présente un exemple intéressant de l'utilisation de rivières à faible débit et à forte pente.

L'Areuse prend sa source dans le Jura, à la cote 780, un peu en amont

de Saint-Sulpice, et va se jeter dans le lac de Neuchâtel, à la cote 432 (fig. 918).

A partir de Noirague, l'Areuse coule, environ sur 8 kilomètres, au fond d'une gorge sauvage et profonde, à pente très rapide, qui se termine à la cote 466, donnant ainsi une chute de 253 mètres, soit une pente moyenne de $\frac{30}{1.000}$. C'est dans cette partie du cours d'eau qu'ont été installées les

quatre usines que nous allons décrire. Le débit, très variable suivant les saisons, est d'environ 1.500 litres par seconde en étiage moyen. Pour chacune des usines, à côté de chaque barrage se trouve la prise d'eau, à laquelle fait suite un tunnel qui aboutit à une chambre de mise en charge ; de cette dernière partent des conduites forcées qui amènent l'eau aux turbines. Immédiatement à l'aval du bâtiment de l'usine, se trouvent le barrage et la prise d'eau de l'usine suivante ; la hauteur de chute perdue est ainsi réduite au minimum.

AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Les quatre usines installées sont celles de Val-Travers (chute brute, 32^m,90), du Champ-du-Moulin (60^m,15), de Combe-Garrot (97 mètres), de Neuchâtel (63 mètres). Les puissances fournies respectivement par chacune des usines sont : 383 HP, 588 HP, 1.314 HP et 270 HP, soit ensemble 3.100 HP sur l'arbre des dynamos.

Usine de Val-Travers (fig. 919). — Cette usine produit l'éclairage électrique et la distribution de force pour les villages environnants, dont le plus éloigné est à 17 kilomètres de distance. Le barrage est établi à la cote 719,10, et le canal d'amenée, taillé dans le roc, a une longueur de 700 mètres ; à son entrée amont est une grille à mailles fines, et à son extrémité aval se trouve une chambre de distribution avec grille, déversoir de trop plein et vannes de réglage et de vidange.

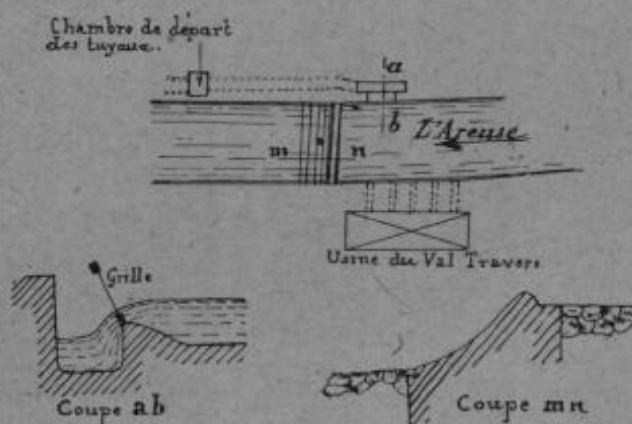


FIG. 919.

La conduite forcée, qui lui fait suite, a un diamètre de 1^m,60 et une longueur de 145 mètres.

Usine du Champ-du-Moulin. — Cette installation sert à l'alimentation d'eau de la ville de la Chaux-de-Fonds, distante de 20 kilomètres environ ; l'Areuse fournit la force motrice correspondant à une hauteur de refoulement de 500 mètres, pour l'eau de la distribution. A l'amont d'un barrage

établi en travers du lit se trouve un déversoir surmonté de grillages, par lequel l'eau entre dans un canal qui aboutit à la chambre de mise en charge des conduites forcées, les orifices de ces dernières étant munies de vannes.

Usine de Combe-Garrot. — La force disponible dans cette usine est en partie concédée à la ville de Neuchâtel (élévation d'eau) et en partie aux communes du Locle et de la Chaux-de-Fonds (éclairage et force). La prise d'eau en rivière est analogue à celle de l'usine du Champ-du-Moulin. La conduite d'amenée se compose d'un tunnel de 1 kilomètre de longueur et d'une conduite forcée de 1^m,10 de diamètre et 200 mètres de longueur, qui aboutit derrière le bâtiment des turbines.

Usine de Clées ou de Neuchâtel. — Elle produit l'énergie électrique distribuée à Neuchâtel sous forme de courant triphasé pour la force motrice et de courant monophasé pour la lumière. La prise d'eau, située immédiatement à l'aval de l'usine de Combe-Garrot, est analogue aux précédentes. Le tunnel d'amenée, qui a une longueur de 1.600 mètres et une pente de 0^m,001, est prévu pour débiter 5 mètres cubes par seconde et forme réservoir pouvant assurer en tout temps un débit de 2.600 litres.

* **TURBINES.** — *Usine de Val-Travers.* — Cette usine comprend trois groupes composés chacun d'une turbine et d'une dynamo. Les turbines

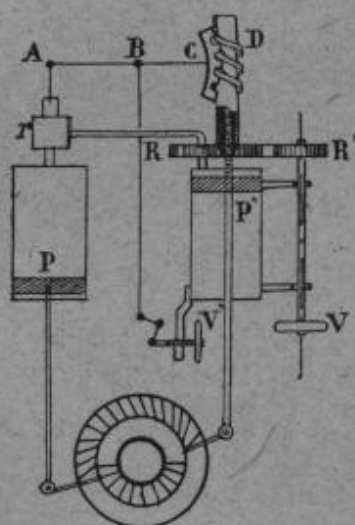


FIG. 920.

sont du type Girard, à axe horizontal, à double couronne, pouvant développer chacune une puissance de 250 HP sur leur arbre, à la vitesse de 325 tours par minute. Chaque turbine, consommant 900 litres par seconde, est munie d'un régulateur de vannage (*fig. 920*), qui se compose essentiellement d'un volant *V'* que l'on tourne à la main et qui, par l'intermédiaire du levier *ABC* et du robinet *r*, fait agir l'eau sous pression, venant de la conduite d'amenée, sur les pistons *P* et *P'* qui entraînent le vannage. La pression de l'eau soulève *P* et abaisse *P'*, et le vannage s'ouvre. Mais la vis qui surmonte *P'*, en s'abaissant, fait tourner la roue *R*, laquelle fait des-

cendre le secteur *C*. Alors, *B* restant fixe, *A* remonte, ferme *r* et le mouvement des pistons s'arrête et, par suite, celui du vannage. Une rotation de *V'* en sens contraire provoquerait des mouvements inverses de toutes les pièces et fermerait le vannage. Les régulateurs des trois turbines sont indépendants les uns des autres.

• *Usine du Champ-du-Moulin.* — L'usine comporte, d'une part, quatre groupes, chacun composé d'une turbine et de deux pompes ; les turbines qui sont du type Girard, à axe horizontal et à admission partielle par la

partie inférieure de la couronne, tournent à 58 tours et donnent une puissance de 140 HP. L'autre partie de l'usine comprend aussi deux pompes ; mais ici les turbines tournent à 400 tours par minute et actionnent les pompes par l'intermédiaire d'engrenages. La (fig. 921) montre la dispo-

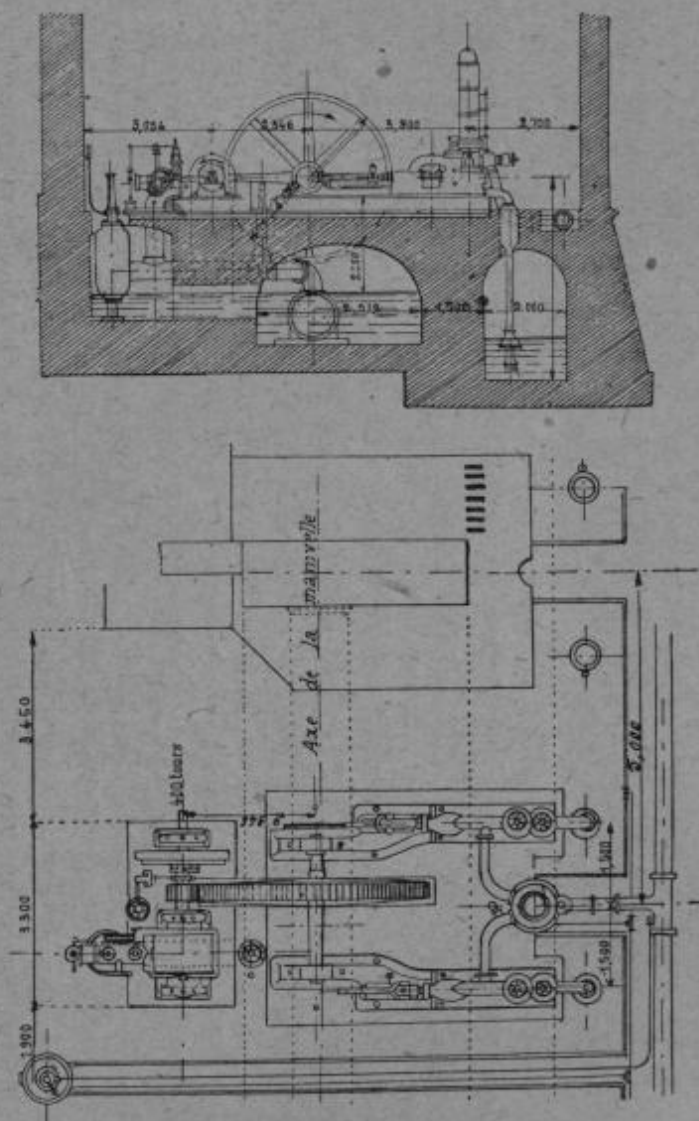


FIG. 921.

sition de l'installation des pompes et des turbines de cette dernière partie de l'usine.

Usine de Combe-Garrot. — Elle comprend cinq groupes turbines-dynamos. Les turbines, construites par la maison Piccard et Pictet, sont du type centrifuge, à axe horizontal et admission inférieure. Leur puissance individuelle est de 400 HP ; elles tournent à 420 tours, utilisent une chute nette de 88^m,70 et consomment environ 120 litres à pleine charge.

Usine de Clées. — Cette installation comporte six groupes de turbines-

alternateurs. Celles-là sont à axe horizontal, centrifuges et à admission sur deux secteurs ; chacune d'elles débite au maximum 500 litres, tourne à 300 tours et développe 300 HP.

La couronne mobile se compose de 50 aubes, et les deux secteurs d'admission comprennent huit aubes chacun.

Le réglage se fait au moyen d'une vanne inférieure circulaire, qui peut recouvrir partiellement les orifices d'admission, et qui est manœuvrée, soit à la main, soit par un régulateur à déclic.

DYNAMOS ET ALTERNATEURS. — L'*usine de Val-Travers* comporte des génératrices du type Thury à induit en anneau, accouplées aux turbines par plateaux Raffard. A pleine charge, chaque génératrice peut fournir une tension de 2.600 volts sous 65 ampères ; leur couplement en tension fournit un courant dont la différence de potentiel entre les bornes atteint 7.800 volts. Dans ce système de distribution en série, à haut voltage, tous les appareils d'utilisation sont embrochés sur la ligne, chacun d'eux prenant le nombre de volts nécessaires à son fonctionnement. La tension à l'usine doit donc varier selon la quantité d'énergie consommée ; le réglage du voltage s'obtient soit en shuntant l'excitation des génératrices au moyen d'un combinateur spécial, soit en agissant sur la vitesse de rotation à l'aide du régulateur imaginé par l'ingénieur Thury.

Lorsque les machines travaillent à pleine charge et si la puissance employée sur la ligne augmente, on intercale dans le circuit une nouvelle génératrice en série. A cet effet, on commence par ouvrir doucement les vannes de la turbine correspondante, et on règle la vitesse de la dynamo de façon à ce qu'elle fournisse l'ampérage pour lequel elle est établie ; on ouvre alors peu à peu le vannage de la turbine pour augmenter sa vitesse, pendant qu'on réduit l'ouverture du vannage des autres turbines jusqu'à ce qu'on ait également réparti entre toutes les dynamos la force électromotrice totale à produire.

Inversement, lorsque la demande de courant sur la ligne diminue, le voltage baisse, et il arrive un moment où l'on ne peut arrêter une génératrice. Pour cela on n'a qu'à fermer les vannes de la turbine correspondante, et la vitesse diminue peu à peu jusqu'à l'arrêt complet. Mais la dynamo, qui est toujours en circuit, se met à fonctionner comme moteur et tend à tourner en sens inverse ; alors un appareil spécial ou disjoncteur Thury met la machine automatiquement en court-circuit dès que le sens de rotation se renverse.

En pleine charge, la perte en ligne est de 7 0/0 (soit une perte de tension égale à 500 volts) ; la longueur de la ligne est de 35 kilomètres. La station transformatrice comprend deux groupes, dont chacun est composé d'un moteur à intensité constante, intercalé en série sur la ligne, et une génératrice qui produit du courant à 120 volts.

Une batterie d'accumulateurs, qui se charge pendant la journée, est mise le soir en parallèle avec les machines, qui seraient insuffisantes pour fournir le courant à elles seules au moment du maximum de consommation. Cette station fonctionne automatiquement. La vitesse de rotation constante de la génératrice est assurée par un régulateur automatique d'excitation du moteur, placé au-dessus de la machine.

Pour éviter l'emballement des moteurs, ceux-ci portent sur leur axe un disjoncteur spécial automatique, qui se met en court-circuit si leur vitesse devient trop grande.

Nous décrivons plus spécialement dans le tome III de cet ouvrage le système de distribution à courant continu et à haut voltage de M. Thury.

Usine de Champ-du-Moulin. — Chaque turbine actionne, au moyen de deux manivelles calées à angle droit sur l'arbre, deux pompes à piston à

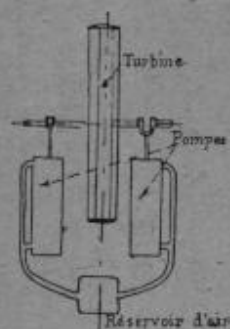


FIG. 922.

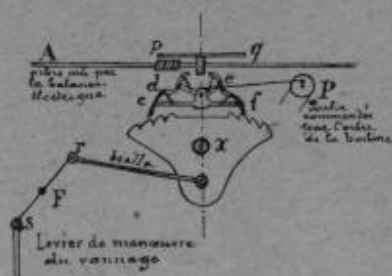


FIG. 923.

double effet qui envoient l'eau dans la conduite de refoulement et qui, à elles deux, débitent 1.000 litres par minute. La (fig. 922) indique la disposition en plan du groupe.

Usine de Combe-Garrol. — Elle comporte des dynamos du même type qu'à l'usine de Val-Travers, lesquelles donnent un courant de 180 ampères sous 1.800 volts. La constance de l'intensité est ici obtenue au moyen d'un régulateur automatique de vitesse des turbines manœuvré électriquement (fig. 923): Le courant de ligne traverse une balance électrique qui, si l'intensité varie d'une petite quantité au-dessus ou au-dessous de 180 ampères, ferme un circuit local dans lequel est intercalé un petit moteur électrique susceptible de tourner dans les deux sens. Il entraîne ainsi un arbre A qui agit directement sur le régulateur des turbines. Quand l'intensité du courant est égale à 180 ampères, les leviers *d* et *e*, à fond de course, ne rencontrent pas la masselote *m* et maintiennent en place les cliquets *c* et *f*, et le vannage reste immobile.

Si l'intensité augmente, *m*, déplacée à gauche, ne sera jamais heurtée par le levier *e*, mais bien par *d*, et celui-ci, laissant échapper le cliquet *c*, viendra en prise avec la denture du secteur et la fera tourner jusqu'à ce

que l'ouverture du vannage soit suffisamment réduite pour que l'intensité reprenne sa valeur normale.

Le reste de l'installation se comporte, en tant que lignes générales, comme à l'usine de Val-Travers.

Usine de Clées. — Elle comprend six alternateurs, dont deux monophasés et quatre triphasés. A leur vitesse maxima de 330 tours, les monophasés donnent 50 ampères sous 4.000 volts, et deux des triphasés, l'un 30 ampères et l'autre 40 ampères sous 4.000 volts. Les premiers sont à fer tournant. Dans les triphasés, il n'y a que 12 pôles inducteurs, et le nombre des périodes par seconde est de 33. Un alternateur de réserve peut donner

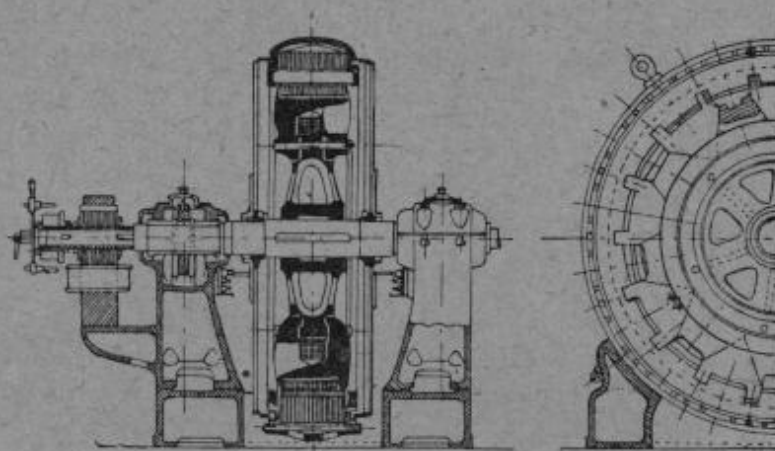


FIG. 924.

à volonté du monophasé ou du triphasé à l'aide d'un inducteur de rechange. L'alternateur monophasé (*fig. 924*) a son induit fixe et formé d'une couronne feuilletée ; il porte 18 bobines, composées chacune de 60 spires de fil de 3^{mm},5, d'une longueur totale de 87 mètres. L'inducteur est à bobine magnétisante et à pôles alternés. Nombre de périodes, 50.

Pour l'éclairage, il y a 22 stations de transformation de 10 à 20 kilowatts ; la tension au secondaire est de 120 volts ou 280 volts.

Les petits moteurs jusqu'à 2 HP sont branchés sur le circuit monophasé ; au-dessus de 2 HP, les moteurs sont sur le courant triphasé.

364. Usines de la Fersina et de Sarca (Italie) (*chute, 88 mètres*).

— *Usine de la Fersina.* — Cette usine, qui appartient à la ville de Trente, est alimentée par la Fersina, affluent de l'Adige. Son débit moyen est de 1.100 litres et son débit maximum peut atteindre, en périodes de crues, 150 mètres cubes à la seconde.

AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — De la prise d'eau, l'eau est amenée dans une chambre de décantation d'une capacité de 150 mètres cubes

creusée dans le roc, d'où elle sort par un canal de 752 mètres de longueur pouvant débiter $1\text{ m}^3,200$ à la seconde à la pente de 4,5 0/0.

Ce canal débouche dans une chambre d'eau pouvant contenir une réserve de 1.000 mètres cubes, un canal de trop-plein rejette l'eau en excès à la rivière. De la chambre d'eau partent deux conduites de 650 millimètres de diamètre et 860 mètres de longueur. La hauteur de chute est de 88 mètres. Ces deux conduites débouchent dans un tunnel de 60 mètres de longueur, d'où l'eau se rend par une conduite jumelée à un collecteur, à une des extrémités duquel se trouve une vanne d'évacuation et à l'autre un réservoir d'air de $3\text{ m},50$ de hauteur et de $0\text{ m},650$ de diamètre, jouant le rôle de reniflard, complété par un petit compresseur commandé par une turbine.

TURBINES. — Elles sont du type Girard et sortent des ateliers de constructions de Vevey ; elles développent chacune 140 chevaux à 265 tours. Il y en a sept, dont le réglage s'opère à la fois automatiquement et à la main.

Génératrices. — Elles sont du type à pôles intérieurs et à collecteur séparé, susceptibles chacune d'un débit de 160 ampères sous 550 volts, à 265 tours.

Usine de Sarca. — Avec l'aménagement de la rivière la Rimone, la rivière Sarca peut fournir un débit total de 10 mètres cubes.

AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Le canal d'amenée a une pente de 1,5 0/00, sa largeur est de $3\text{ m},80$ et sa profondeur de $2\text{ m},20$ avec une longueur de 1.250 mètres. Il aboutit à une vanne à trois ouvertures de 2 mètres de hauteur et $1\text{ m},80$ de largeur, de laquelle part une galerie ayant la même pente et 500 mètres de longueur, laquelle ensuite continue par un canal de section trapézoïdale d'une profondeur de $2\text{ m},62$ et une largeur moyenne de $2\text{ m},80$.

Ce dernier aboutit à la chambre d'eau calculée en vue d'une puissance totale de 10.000 chevaux à fournir. Elle comporte sept compartiments dont chacun peut être isolé par la manœuvre d'une vanne précédée d'une grille.

De la chambre d'eau partent quatre conduites forcées dont trois ont $1\text{ m},25$ de diamètre et l'autre $0\text{ m},500$ de diamètre.

Étant donné que la puissance normale de chacune des turbines principales est de 1.500 chevaux, il s'ensuit que le débit des conduites principales est de $2\text{ m}^3,72$ d'eau par seconde à la vitesse de $12\text{ m},23$. La longueur de chaque conduite est de 170 mètres.

TURBINES. — Les turbines des groupes électrogènes principaux sont des machines Francis jumelées, munies chacune de deux tubulures d'admission ; leur puissance unitaire varie de 1.500 à 1.875 chevaux à 500 tours par minute ; le diamètre des roues motrices est de 850 millimètres. Sur

l'arbre de chaque turbine est monté un volant en acier de 2^m,50 de diamètre, dont la vitesse périphérique, à 500 tours, est de 65 mètres par seconde.

Les turbines d'excitation sont aussi du type Francis d'une puissance unitaire de 250 chevaux, à 600 tours.

Étant donnée la pureté de l'eau d'alimentation, les régulateurs de vitesse automatiques des turbines ont leurs servo-moteurs fonctionnant sous pression d'eau.

ALTERNATEURS. — Ces machines à courant triphasé sont accouplées directement à leurs turbines respectives par l'intermédiaire de manchons élastiques. A la vitesse de 500 tours, chacun d'eux peut fournir normalement 1.250 kilovolts-ampères et au maximum 1.500 kilovolts-ampères sous 5.250 volts et 50 périodes. Les inducteurs ont 12 pôles feuilletés, chacun d'eux pèse 8.500 kilogrammes et son moment d'inertie est de 15.000 kilogrammètres carrés.

Les excitatrices débitent 1.100 ampères-tours, 120 à 130 volts à 600 tours ; elles sont accouplées par manchon élastique à leurs turbines.

LIGNES DE TRANSPORT D'ÉNERGIE. — Chaque alternateur est relié directement au primaire d'un transformateur qui élève la tension à 20.000 volts, ce qui évite les barres collectrices à 5.000 volts. Les barres à 20.000 volts sont divisées en deux groupes, l'un pour l'éclairage et la force motrice, l'autre pour la traction.

Chaque groupe alternateur-transformateur est commandé par un disjoncteur à huile et le secondaire à 20.000 volts des transformateurs est relié à deux autres disjoncteurs à huile, manœuvrables à la main ou à l'aide d'un servo-moteur de force motrice, soit aux barres de traction.

Deux lignes aériennes électriques distinctes transportent l'énergie électrique jusqu'à la ville de Trente ; elles peuvent être alimentées soit par un transformateur commun, soit par deux transformateurs séparés. Ces transformateurs sont à refroidissement par huile, lequel s'opère dans un récipient séparé, placé auprès de chacun des transformateurs. Les deux lignes aériennes, munies de tous les dispositifs de protection usuels, ont 123 kilomètres de longueur et sont constituées par des câbles en cuivre dur de 50 millimètres carrés de section avec un courant de 60 ampères par conducteur. La chute de tension totale est de 5 0/0 pour une puissance transportée de 2.080 kilovolts-ampères. A l'usine réceptrice de Trente le courant triphasé de la ligne est abaissé à 5.000 volts.

Sous cette tension, le courant sert d'une part à fournir l'appoint nécessaire à la centrale de la Fersina et d'autre part à alimenter directement les services de ville.

365. Usine de Thusis (Grisons, Suisse) (chute, 90 mètres). — AMÉ-

NAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Cette installation, qui appartient à la Société des usines électriques de la Lonza, fournit l'énergie nécessaire à l'exploitation de l'usine de carbure de calcium, située près de la gare de Thusis, et à l'éclairage de cette ville. Elle est alimentée par le Rhin postérieur et la prise d'eau est située dans les gorges de la Via-Mala.

Le bassin d'alimentation a une superficie d'environ 620 kilomètres carrés. Le débit minimum observé jusqu'ici a été de $2\text{m}^3,90$. Les installations sont prévues pour un débit maximum de $7\text{m}^3,50$.

La hauteur de la chute est d'environ 95 mètres ; si l'on déduit les pertes de charge, la chute utile est de 90 mètres. De plus, il y aurait encore lieu de réduire cette hauteur de 5 mètres au moment des crues, par suite du remous que peut opérer le torrent de la Nolla, qui se jette dans le Rhin, immédiatement en aval du bâtiment des turbines.

Barrage. — La prise d'eau se trouve dans une gorge resserrée, « la Via-Mala », sur la rive gauche du Rhin. Un barrage massif et submersible, de $19\text{m},40$ de longueur, sans hausses mobiles, opère la retenue des eaux ; il est muni d'une vanne de fond et d'une échelle à poissons.

La prise proprement dite est pourvue de deux vannes de 5 mètres de largeur. Le vantail de chacune de ces vannes est en deux parties : la partie inférieure haute de 1 mètre et la partie supérieure haute de $1\text{m},70$. Pendant la période des hautes eaux, donc au moment où la rivière charrie le plus, seule la partie supérieure de la vanne est ouverte ; de cette façon, on évite que trop de sable et de gravier pénètrent dans le canal. Devant ces vannes se trouve une grille mobile destinée à arrêter les corps flottants.

A 200 mètres environ de la prise, le canal d'amenée passe à ciel ouvert sur environ 150 mètres. On a établi à cet endroit un bassin de décantation muni d'un déversoir ; son extrémité se trouve en contre-bas de la galerie qui suit et une vanne de purge permet d'évacuer les dépôts.

Tunnel d'amenée. — La galerie d'amenée a une longueur de 2.110 mètres de la prise au château d'eau. La pente moyenne est de 2,39 0/00.

La partie non revêtue, qui constitue environ 1/3 de la longueur totale, mesure $2\text{m},50 \times 2\text{m},50$. La section libre des parties maçonnées varie de $4\text{m}^2,6$ à 3 mètres carrés.

Chambre de mise en charge. — Le château d'eau est situé à un endroit où le canal d'amenée se trouve de nouveau à ciel ouvert. Il est pourvu d'un second bassin de décantation, d'un déversoir de trop-plein de 30 mètres de longueur, d'une grille, d'une vanne de purge et d'une vanne d'admission dans la partie de la galerie d'amenée qui se prolonge encore de 128 mètres au delà du château d'eau. L'eau du trop plein et de la vanne de vidange se déverse dans le Rhin par une rigole creusée dans le rocher et passant sous la route cantonale du Splügen.

Conduites forcées. — Au delà du château d'eau et à l'extrémité de la galerie, l'eau tombe dans un puits vertical, revêtu de maçonnerie en béton, d'un diamètre intérieur de 2^m,50. Ce puits, d'une hauteur de 42 mètres environ, forme la première partie de la canalisation forcée. Il s'élargit à sa base et prend une section ovale. Dans le fond sont bétonnées les embouchures des deux conduites métalliques. Ces dernières ont, à leur origine, un diamètre intérieur de 1^m,80 qui se rétrécit quelques mètres plus bas à 1^m,25, diamètre qu'elles conservent jusqu'au bâtiment des turbines. La longueur de chacune des conduites est de 106 mètres ; elles peuvent être fermées à leur départ par des vannes papillons, actionnées depuis l'usine. Elles reposent sur des appuis en béton dans une galerie dont l'inclinaison ne dépasse pas 34° sur l'horizontale et se réunissent dans un conduit collecteur horizontal qui se trouve dans le sous-sol du bâtiment des machines.

TURBINES. — Le bâtiment des turbines est situé au bord même du Rhin et parallèlement au fil de l'eau. Le plancher de la salle des machines a dû être établi à une certaine hauteur dessus du niveau normal de la rivière à cause des crues fréquentes et en particulier de celles du torrent de la Nolla, qui produit parfois un remous qui se fait sentir beaucoup en amont de l'usine.

En admettant un rendement de 75 0/0 des turbines, on voit que l'usine dispose d'une force de 2.700 HP au minimum et de 6.750 HP au maximum. Pour utiliser cette force, on a installé : trois turbines Girard à haute pression, fournies par la Société des établissements Piccard, Pictet et C^{ie}, à Genève, d'une puissance de 1.100 HP chacune et d'une vitesse de 500 tours par minute, qui actionnent directement trois génératrices à courant biphasé, système Schuckert, avec excitatrices montées en bout d'arbre ; une turbine de même type que les précédentes, d'une puissance de 500 HP et d'une vitesse de 600 tours par minute, actionnant également une génératrice à courant biphasé ; enfin deux turbines Francis fournies par la maison Voith, de Heidenheim, d'une puissance de 1.900 HP chacune et d'une vitesse de 500 tours par minute, qui actionnent directement deux génératrices à courant monophasé, système Schuckert, avec excitatrices montées en bout d'arbre.

Les trois turbines de 1.100 HP sont pourvues de régulateurs à déclat système Piccard ; celles de 1.900 HP, de régulateurs à pression d'huile.

• **366. Usine de Kubel (Suisse)** (*chute, 92 mètres*). — Cette usine construite en 1897-1900 et agrandie en 1904-1907, utilise les eaux des rivières Urnäsch et Sitter. Le bassin versant de la première a une superficie de 78 kilomètres carrés et celui de la seconde 116 kilomètres carrés. Les altitudes moyenne, maxima et minima desdits bassins sont respectivement

de 950 mètres, 2.500 mètres et 680 mètres. La hauteur de pluie annuelle est de 1^m,40.

Les deux rivières, de nature torrentielle, donnent un débit de 0^m³,800 en basses eaux, de 4 mètres cubes en eaux moyennes et de 250 mètres cubes à la seconde en temps de grandes eaux.

Barrages. — Celui établi sur la rivière d'Urnäsch, qui est fixe et construit en béton, a 5 mètres de hauteur et 29^m,60 de longueur à la crête et est muni de deux vannes doubles de 5 mètres d'ouverture. Le tunnel de dérivation des eaux possède en tête une vanne de chasse; il est précédé d'une petite chambre de décantation munie d'une vanne de chasse et d'une grille de 5 mètres de largeur.

Le barrage et les ouvrages subséquents de la rivière Sitter sont analogues à ceux de la rivière Urnäsch.

Tunnels d'amenée. — Celui servant à la captation des eaux de l'Urnäsch, a une longueur de 4.626 mètres, avec une pente de 0^m,00075 par mètre. Sa capacité est de 4 mètres cubes. Celui amenant les eaux de la Sitter, qui a la même capacité, a une longueur de 2.580 mètres. Il franchit en siphon la gorge profonde de l'Urnäsch, à l'aide d'un tuyau en tôle de 1^m,60 de diamètre et se réunit au premier tunnel décrit.

Réservoir. — Les galeries souterraines débouchent dans un réservoir artificiel d'une capacité de 1.500.000 mètres cubes, lequel a été créé en fermant une petite vallée, à l'est, à l'aide d'un mur de 23 mètres de hauteur, à l'ouest par une digue en terre argileuse de 15 mètres de hauteur.

Conduites forcées. — De ce réservoir partent deux conduites forcées, d'un diamètre intérieur de 1^m,60 et de 270 mètres de longueur chacune. La première de ces conduites, construite en 1899, traverse le barrage à sa partie inférieure, environ à 16 mètres en dessous du niveau normal du réservoir, tandis que la seconde conduite, installée en 1905, débouche en siphon et traverse seulement le mur du barrage à 2 mètres au-dessous du niveau normal.

Cette dernière travaille donc comme siphon toutes les fois que le niveau du lac artificiel descend plus bas que la crête de la conduite.

Les deux tuyauteries, distantes de 19^m,50, sont reliées entre elles et reposent sur des socles en béton. Conformément à la pression, qui est de 9 atmosphères à l'usine, l'épaisseur de la tôle des tuyaux rivés varie entre 5 et 15 millimètres pour la première conduite et entre 6 et 7 et 12 millimètres pour la seconde. Toutes les deux elles traversent, tout près de l'usine, la rivière Sitter, l'une sur un pont, l'autre en arc se portant seul sur 43 mètres d'ouverture. Elles sont reliées immédiatement près de l'usine par un collecteur commun portant les vannes et valves nécessaires.

La hauteur de chute peut varier de 12 mètres, suivant les fluctuations du niveau du réservoir.

Turbines. — L'usine comporte six groupes électrogènes de 1.000 HP et un de 2.500 HP. Les turbines sont du genre Pelton, construites par la maison Escher Wyss. Celles de 1.000 HP tournent à 375 tours et celles de 2.500 HP à 350 tours par minute. Elles travaillent avec une chute d'aspiration de 5 mètres.

Il existe, à titre de réserve, une machine à vapeur verticale de 1.250 HP et un turbo-générateur de 3.000 HP. Ces machines sont alimentées par 5 chaudières.

L'étude et la direction des travaux de cette belle installation a été confiée à l'ingénieur hydraulicien suisse bien connu, M. L. Kursteiner, de Saint-Gall.

INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES. — Comme le courant devait servir aussi bien pour la production de la lumière que celle de la force motrice, on a choisi le système triphasé. Les alternateurs accouplés directement à ces turbines fournissent du courant à la tension de 10.000 volts, envoyé directement et sans transformation dans la ligne de transport d'énergie. Les tableaux de distribution et de connexion d'appareillage sont disposés dans une annexe de l'usine et construits d'après les données les plus modernes.

Le réseau primaire, qui s'étend sur un rayon de 30 à 40 kilomètres, a une longueur totale de 160 kilomètres. Les réseaux secondaires sont exploités en partie par l'usine, en partie par les communes traversées par la ligne d'énergie électrique. La Société exploitante a installé 230 transformateurs d'une capacité totale de 9.500 kilowatts, alimentant 40.000 lampes à incandescence, 600 moteurs représentant 3.700 HP, 800 appareils de chauffage, etc. Le nombre d'abonnés est de 2.300. Outre ces abonnés directs, il existe plusieurs sous-stations, avec une puissance totale de 4.000 kilowatts.

EXPLOITATION. — L'usine produit par an environ 15 millions de kilowatts-heures, dont environ 4 millions fournis par la réserve à vapeur. Le courant se vend presque en entier au compteur à des prix variant entre 5 et 20 centimes le kilowatt-heure. La recette moyenne, pour le courant à haute tension à l'usine, est de 7 centimes le kilowatt-heure.

Les dépenses d'installation, usine, réseaux primaires et secondaires avec transformateurs, compteurs, etc., ont atteint le chiffre de 9.500.000 francs.

La Société exploitante a mis à exécution un nouvel agrandissement de l'usine de Kubel, en utilisant une chute de 70 mètres sur la Sitter, en aval des prises d'eau actuelles, avec un barrage-réservoir de 10 millions de mètres cubes pouvant donner lieu à une production de 10 millions de kilowatts-heures par an.

367. Usine de Banca (Basses-Pyrénées) (chute, 100 mètres). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — La société hydroélectrique des Basses-Pyrénées possède sur la rivière des Addudes les riverainetés pour la formation de quatre chutes, savoir au Pas-de-Roland, à Ossies, à Cambo et à Barca, indépendamment de deux autres chutes sur le Batzan et le Laxia, affluents de la rivière des Addudes (fig. 925). L'usine de Barca a été mise en exploitation en 1913.

Barrage. — Le débit de la rivière ne descend au-dessous de 3 mètres cubes que pendant les mois de sécheresse (juillet à septembre) et le débit caractéristique moyen est de 4 mètres cubes, chiffre admis pour l'importance des travaux de captation des eaux, exécutés par la maison Thévenot.

Le barrage qui a 21 mètres de longueur et 2 mètres de hauteur a été exécuté en maçonnerie. Au droit de la prise d'eau est une vanne de décharge et un mur guide-eau de protection, pour les manœuvres de cette vanne.

La prise d'eau comporte un double déversoir d'entrée et de sortie dans la chambre de décantation permettant l'alimentation du canal d'amenée même en cas de réparation du bassin de décantation.

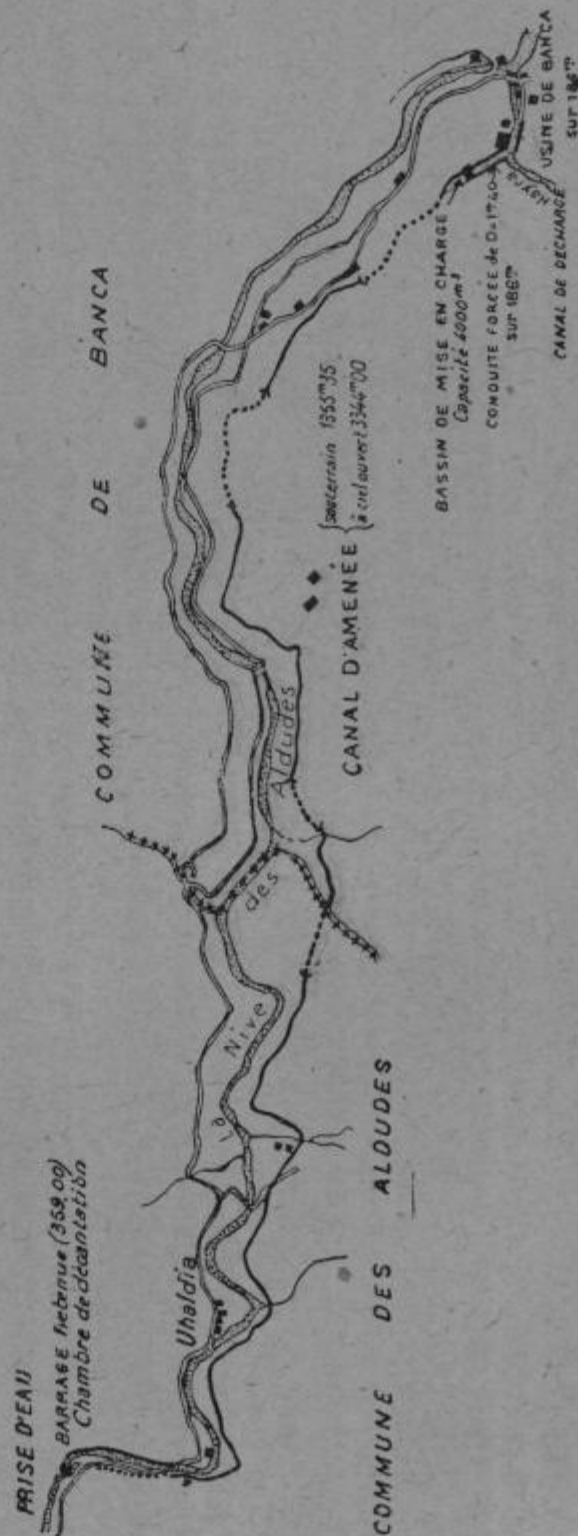


FIG. 925. — Usine hydro-électrique de Banca. — Plan synoptique des travaux d'aménagement.

Canal d'aménée. — Cet ouvrage dans sa partie à ciel ouvert a une longueur de 3.344 mètres et, dans sa partie en souterrain, 1.535 mètres avec une section mouillée de $2^{\text{m}^2},48$. Il est établi en ciment armé.

Bassin et conduite forcée. — La chambre de mise en charge, en extrémité du canal de dérivation, a une capacité de 4.000 mètres cubes ; il est situé à la côte (355).

La conduite forcée, partant du bassin de charge, a $1^{\text{m}},40$ de diamètre intérieur et détermine une hauteur de chute de 100 mètres.

TURBINES. — Les turbines Francis, à injection totale, ont été fournies par la maison Rieter, de Winterthur ; elles sont montées sur le même

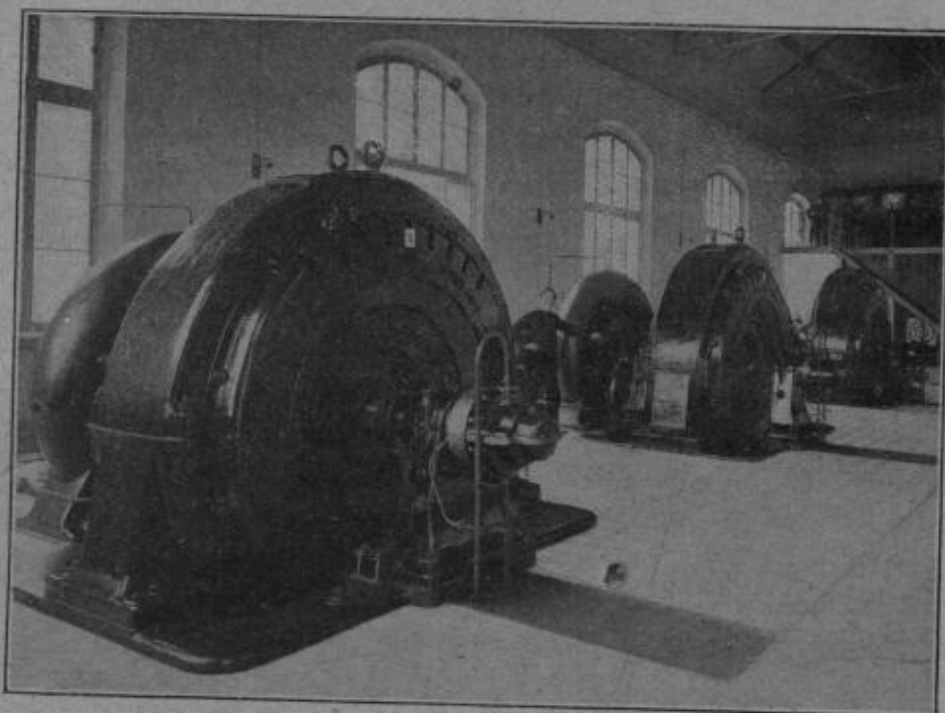


FIG. 926. — Alternateurs triphasés de 1.000 k. v. a., 5.000 volts, 50 périodes, 150 tours (C^{ie} Électro-Mécanique).

arbre que les alternateurs et tournent à raison de 750 tours à la minute.

Deux turbines Pelton tournant à 575 tours servent pour l'alimentation des excitatrices et des services auxiliaires.

Aux trois quarts de charge, les turbines principales sous $98^{\text{m}},943$ de charge et avec un débit de $6^{\text{m}^3},998$, le rendement a été reconnu de 77,4 0/0, alternateur compris.

ALTERNATEURS. — Ces machines, au nombre de trois, ont une puissance de 1.060 k. v. a. sous une tension composée de 5.000 volts et à la fréquence 50. Elles sont du type à induit fixe et inducteur tournant à pôles bobinés (fig. 926).

Les transformateurs éleveurs de tension sont du type triphasé, à

bain d'huile, et à circulation d'eau. Un régulateur automatique de tension agissant sur l'excitation des excitatrices sert à régler la tension en bout de ligne.

Usine thermique de secours. — Cette installation a été établie au port de Maguerre sur l'Adour. La salle des machines renferme deux machines demi-fixes de 250 chevaux et un moteur Diesel de 750 chevaux. Les demi-fixes sont du type compound à vapeur surchauffée, distribution par soupapes et à condensation. Chacune d'elles commande par courroie un alternateur triphasé de 5.000 volts, 50 périodes et tournant à 750 tours.

Le moteur Diesel est à deux temps, troiscylindres et tourne à 150 tours à la minute ; sur son arbre est emmanché directement le rotor de l'alternateur de 650 k. v. a. qui sert en même temps de volant.

Une batterie d'accumulateurs de 250 ampères-heures sous 120 volts assure l'excitation et les services auxiliaires de l'usine. Deux groupes convertisseurs sont employés pour la charge de la batterie.

Ligne de transport d'énergie. — Cette ligne, qui a 47 kilomètres de longueur, réunit l'usine hydroélectrique de Banca à l'usine de secours de Maguerre, qui est en même temps un poste principal de transformation et de sectionnement. Cette ligne est en câble d'aluminium de 70 millimètres carrés et a été équipée pour une tension de service de 30.000 volts. De Banca à Ossies, les fils sont supportés par des pylônes métalliques avec isolateurs à triple cloche en verre. De Ossies à Maguerre, les poteaux sont en bois, avec isolateurs triple cloche en porcelaine. Deux postes principaux de sectionnement de la ligne à 30.000 volts sont établis à Cambo et à Ossès et servent en même temps de postes de transformation 30.000/5.000 volts pour l'alimentation des communes environnantes.

Au poste principal adjacent à l'usine de Maguerre aboutit une ligne triphasée à 45.000 volts, 25 périodes, de 11^{km},500 amenant au réseau de la Société hydroélectrique des Basses-Pyrénées des excédents d'énergie de l'usine hydroélectrique de Licq-Atherrey, appartenant à la Compagnie des Chemins de fer du Midi, ligne qui a été mise sous tension dans le courant de mars 1917.

De l'usine thermique partent : une ligne à 30.000 volts se dirigeant sur Biarritz et Saint-Jean-de-Luz (puissance 1.700 k. v. a.) ; une ligne à 45.000 volts alimentant les forges de Boucau ; une ligne à 30.000 volts pour l'alimentation de communes dans le département des Landes ; une ligne aérienne à 5.000 volts et enfin un double départ souterrain à 5.000 volts alimentant la ville de Bayonne. Soit en tout un développement de 228 kilomètres de lignes.

Le réseau à basse tension est à quatre fils avec neutre, les clients de force motrice étant branchés entre les fils de phase à 210 volts triphasés et la lumière étant prise entre chaque phase et le neutre, soit à 120 volts.

Au départ de chaque ligne aérienne sont installés des parafoudres à cornes et des limiteurs à jet d'eau. Les départs en câble souterrain, à 5.000 volts, sont protégés par des limiteurs de pression à rouleaux.

Les barres omnibus à 30.000 volts sont séparées entre elles par des cloisons en béton; de même tous les disjoncteurs soit à 5.000 volts, soit à 30.000 volts sont logés dans des cellules.

*** 368. Usine hydroélectrique de Ruetzbach (Autriche)** (*chule*, 105^m,85). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Cette usine, dont l'énergie est destinée à alimenter le chemin de fer du Mittenwald est installée sur le Ruetzbach. La prise d'eau a été établie pour un débit de 4 à 5 mètres cubes à la seconde.

Le canal d'amenée, d'une longueur de 5.400 mètres environ, est partiellement recouvert en maçonnerie.

Le canal débouche au-dessus de la centrale, dans un réservoir d'une capacité de 3.000 mètres cubes qui permet d'assurer la quantité d'eau nécessaire pour les pointes de charge. La conduite forcée, d'une longueur totale de 338 mètres est partagée en trois zones avec des diamètres respectifs de 1^m,45, 1^m,35 et 1^m,25. Les tubes sont en tôle soudée.

TURBINES. — L'installation comporte deux turbines Pelton qui en service normal développent chacune 3.080 chevaux, à pleine admission et 1.480 chevaux à demi-admission, correspondant à des rendements respectifs de 0,79 et 0,76. En surcharge chaque turbine peut développer 3.550 chevaux et même 4.000 chevaux. Les vannes d'obturation sont commandées par un servo-moteur hydraulique actionné lui-même par l'huile sous pression. Les soupapes de manœuvre sont munies d'amortisseurs.

Le régulateur est actionné par l'huile sous pression; son temps de fermeture est de 1,5 à 2 secondes et peut être réglé selon les besoins du service.

ALTERNATEURS. — La production de l'énergie électrique est assurée par deux alternateurs monophasés, chacun d'eux pouvant développer une puissance normale de 3.000 k. v. a. sous 3.000 volts à 15 périodes par seconde; ils sont hexapolaires et tournent à 300 tours. Ils sont accouplés directement aux turbines et chaque groupe possède en bout d'arbre une excitatrice de 50 kilowatts sous 115 volts. Les alternateurs assurent eux-mêmes leur ventilation. Le rendement à pleine charge et avec $\cos \varphi = 0,95$ a été reconnu de 0,92 pour tomber à 88 à demi-charge.

Le réglage de la tension s'opère, d'une part, à l'aide de régulateurs magnétiques pour les alternateurs; d'autre part, à l'aide de rhéostats de champ pour les excitatrices. En outre, un régulateur Tirril règle automatiquement la tension du réseau. Chaque alternateur est relié à un trans-

formateur qui élève la tension à 50.000 volts. Il n'est disposé ni interrupteurs ni barres collectrices sur le circuit à 3.000 volts.

369. Usine de Heimbach-sur-Ruhr (Allemagne) (chute, 96^m,50).

— AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Le pays qui alimente le bassin de la rivière l'Urft, affluent de la Ruhr, occupe une surface de 375 kilomètres carrés ; en 1900, il y est tombé 328 millions de mètres cubes, et 368 millions en 1901 ; la hauteur annuelle des pluies y oscille entre 0^m,80 et 1 mètre. Le débit de la rivière est de 4^m³,370 à 6^m³,200 à la seconde.

Le barrage (fig. 927 et 928) affecte une forme courbe en plan. Il est basé sur le rocher et mesure 226 mètres de longueur, 58 mètres d'élévation au-

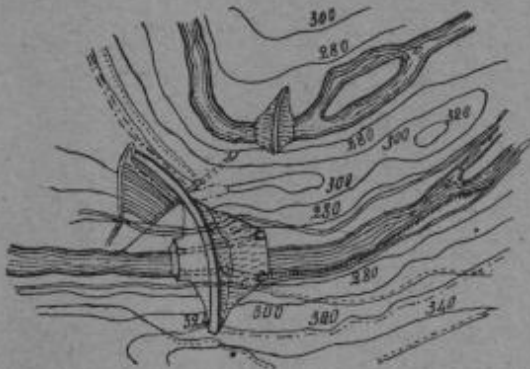


FIG. 927.

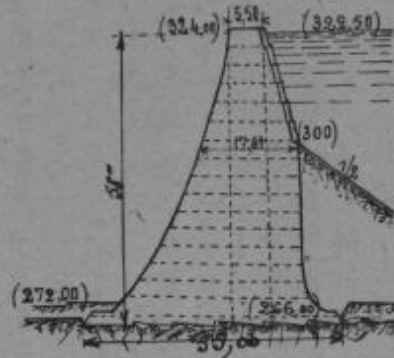


FIG. 928.

dessus des fondations à la crête et 55 mètres de largeur à la base. Il a la forme d'un arc de 220 mètres de rayon.

Le mur, concave à l'aval, est, à l'amont, couvert jusqu'à mi-hauteur par un remblai en terre.

Il est muni, sur la face d'amont, d'une chemise en ciment et d'une chape en asphalte protégées, dans la partie basse, par le remblai en terre, et, dans la partie supérieure, par un revêtement en maçonnerie.

La digue est traversée, à sa base, par deux aqueducs avec bondes de fond, accessibles depuis le sommet de l'ouvrage par des cheminées en maçonnerie établies sur la face de l'amont.

A côté du barrage est un déversoir de 100 mètres de longueur qu'on a formé en découpant et dressant la surface du contrefort auquel s'appuie la digue, ce qui porte le développement total du barrage à 326 mètres. L'eau s'écoule en cascades par une succession de gradins maçonnés de 1^m,50 d'élévation. Sous ce déversoir on avait pratiqué une bonde de fond pour détourner les eaux en vue de leur gêne lors de la construction. Un pont règne sur toute la longueur du déversoir, divisé en dix parties de 9 mètres chacune dont deux sont munies de vannes qui sont ouvertes dès

que le niveau des eaux atteint la cote 320^m,50 au-dessus du niveau de la mer.

Un réservoir qui a une capacité de 45 millions et demi de mètres cubes s'étend jusqu'à 11 kilomètres dans la vallée de l'Urft, et en amont du barrage. Cet ouvrage est actuellement un des plus grands bassins artificiels qui aient été combinés pour endiguer les eaux déversées par une région étendue, empêcher les inondations, en même temps qu'il permet de transformer l'énergie hydraulique en énergie électrique.

De ce réservoir, à 43^m,50 de niveau normal, part un tunnel de prise d'eau de 2.800 mètres de long qui aboutit, après un parcours dans la vallée de la Ruhr, au-dessus de Heimbach. Ce tunnel, revêtu en béton, mesure 6 mètres carrés de section et débite 6 mètres cubes à la vitesse de 1 mètre. A la tête d'aval, l'eau est renfermée, sur 200 mètres de longueur, dans deux conduites d'abord maçonnées, puis métalliques, de 1^m,50 de diamètre. La hauteur de chute utile est de 96^m,50, et la force motrice de 5.900 HP pendant neuf mois, 8.000 HP pendant trois mois, et en moyenne 6.400 HP.

Conduites forcées. — Du fond du puits de la prise d'eau partent deux conduites forcées en acier, parallèles, légèrement évasées à l'origine et pourvues de vannes ; leur diamètre intérieur est de 1^m,50 et l'épaisseur de la tôle 20 millimètres. Elles sont noyées dans du béton et posées horizontalement sur une longueur de 70 mètres ; puis elles descendent en divergeant vers la salle des machines avec une inclinaison de 1 pour 3. Avant de pénétrer dans l'usine, le diamètre de ces tubes est porté à 1^m,80, ce qui permet d'y loger encore un papillon qui se manœuvre d'une guérite adossée au bâtiment de l'usine.

TURBINES. — Dans le cours de l'année 1906, la chute a varié entre 111 mètres et 95 mètres. On a adopté les turbines Francis à pression, calculées pour une chute de 110 mètres ; leur puissance est alors de 2.000 HP à 500 tours par minute ; elle tombe à 1.550 HP pour une chute de 70 mètres. Le poids d'une turbine est de 15 tonnes. Les roues ont 0^m,95 de diamètre et sont constituées par du bronze au magnésium. Les aubes directrices sont en acier, manœuvrées à la main ou automatiquement. Les petites turbines qui commandent les excitatrices ont chacune une puissance de 200 HP à 900 tours par minute.

Tous les dispositifs de réglage se manœuvrent soit à la main, soit automatiquement par eau sous pression. On peut même les commander, du tableau de distribution, à l'aide d'un servo-moteur hydraulique, pour faciliter la mise en parallèle des alternateurs. Un régulateur de surpression complète toutes ces installations. Il consiste en un cylindre relié à la conduite d'alimentation de la turbine et qui est d'ordinaire fermé par un tiroir. Celui-ci ouvre automatiquement le cylindre pour laisser écouler l'eau sans qu'elle passe sur la turbine, dès qu'il y a un danger d'à-coup,

par suite de la fermeture subite des aubes directrices. L'eau sous pression utilisée pour les manœuvres de tous les appareils subit une épuration complète avant son emploi.

Pour des variations brusques de charge, correspondant à 10,25 et 30 0/0 de la charge totale, les variations de vitesse ne dépassent pas 2, 3 et 4 0/0 et les variations de pression, 1,5, 3 et 5 0/0. La durée de fermeture des mécanismes de réglage, depuis la pleine ouverture jusqu'à l'obturation complète, ne dépasse pas deux secondes. Aux essais, les rendements des turbines ont été reconnus de 81,7 à 86,3 0/0 à pleine charge, 77,2 0/0 aux trois quarts de charge et 72 0/0 à demi-charge.

ALTERNATEURS. — Les groupes électrogènes, au nombre de huit, sont répartis symétriquement de part et d'autre de l'allée centrale et normalement au mur, l'alternateur vers l'intérieur et accouplé directement à sa turbine. Les alternateurs triphasés de 1.600 kilovolts-ampères, à 50 périodes, sortent des ateliers Felten et Guillaume et ils sont reliés aux turbines par accouplement élastique Zodel-Voith. L'inducteur-volant a douze pôles et son enroulement est constitué par du cuivre méplat posé de champ; il reçoit le courant d'excitation par des balais en charbon frottant sur des bagues. Le fil induit du stator est logé dans deux encoches à demi-fermées et isolées dans des tubes de micanite. Les deux excitatrices sont des dynamos shunt tétrapolaires, à pôles externes, portant en outre quatre pôles de commutation.

Les caractéristiques et dimensions principales de ces deux types de machines sont les suivantes :

	Alternateur	Excitatrice
Puissance.....	1.600 k.v.a.	135 kw.
Tension.....	5.000-5.400 volts	235-320 volts
Tours par minute.....	500	900
Diamètre de l'induit.....	2.850 mm.	540 mm.
Largeur de l'induit.....	800	220
Alésage de l'induit.....	1.700	226
Alésage de l'inducteur.....	»	550
Diamètre extérieur du volant inducteur ou de la carcasse inductrice.	1.700	1.500
Résistance de l'induit.....	0,124 ohm.	0,0066 ohm
Poids de la partie tournante.....	7.700 kg.	850 kg.
Poids de la machine avec l'arbre et la plaque de fondation.....	33.000 kg.	4.900 kg.

La tension est réglée par échelons de 50 volts; le courant d'excitation s'élève à 17 ampères, à pleine charge de 1.360 kilowatts, 5.400 volts et $\cos \varphi = 0,85$. Les variations de vitesse, pour des variations brusques de charge de 15 0/0, atteignent à peine 2,5 0/0.

TABEAU DE DISTRIBUTION. — Le tableau de distribution, les transformateurs et tous les appareils de haute tension proviennent des Siemens-Schuckertwerke, de Berlin. Le tableau est constitué par une charpente en fer et il porte tous les appareils à basse tension : instruments de mesure, commutateurs auxiliaires pour la commande des interrupteurs à haute tension, des génératrices et de la ligne, ainsi que les rhéostats de champ des alternateurs et des excitatrices. Ce tableau est élevé sur une plate-forme, à laquelle on accède par un escalier double.

Les dispositifs de sécurité et les transformateurs de mesure afférents aux alternateurs sont installés sous la plate-forme, sur un tableau de même construction que le premier, entre les câbles à 5.000 volts venant des génératrices et les conducteurs en cuivre nu allant aux transformateurs, au nombre de huit.

Des bornes secondaires à 35.000 volts des transformateurs, les conducteurs traversent le plafond et vont se brancher sur les interrupteurs à haute tension à huile, légèrement surélevés au-dessus du plancher et installés dans des niches. Il existe deux rangées d'interrupteurs, séparées par un couloir et ressortissant, l'une aux transformateurs, l'autre aux conducteurs de ligne. En marche de service, cette allée est rigoureusement fermée et inaccessible au personnel de service. On a prévu cependant un dispositif d'isolement en cas de nécessité absolue ; il consiste en un double système de barres omnibus de haute tension qui courent le long du mur et qu'il est possible de sectionner au moyen d'interrupteurs de section. Les transformateurs sont connectés à l'un des systèmes de rails, et les lignes de départ, à l'autre. Celles-ci, avant de sortir du bâtiment, passent encore par des interrupteurs à haute tension et des bobines de réactance. Les instruments de mesure correspondants sont établis au deuxième étage.

Deux paires de barres horizontales servent de prise de terre comme pour les appareils de sécurité contre les surtensions et les parafoudres à cornes connectés à des bobines de réactance, avec intercalation entre les barres et la terre de résistances à eau ou à huile établies dans la salle des transformateurs, tout près du mur. Des limiteurs de tension ou déchargeurs hydrauliques complètent cet ensemble de précautions, en conduisant à la terre les charges statiques accumulées sur la ligne.

La manœuvre des interrupteurs se fait du tableau de distribution par commande électrique à distance. A cet effet, les interrupteurs à huile des machines aussi bien que de la ligne sont constitués par des couteaux unipolaires disposés sur chaque phase, l'ensemble des trois étant coupé par une bielle. La description de cet intéressant appareil est donnée d'une façon toute spéciale dans le tome III de cet ouvrage.

TRANSFORMATEURS. — Ceux-ci sont montés sur un châssis mobile qui

permet de les déplacer, soit pour y faire des réparations, soit pour les remplacer en cas d'avarie grave ; la réfrigération est assurée par des canaux où circule un courant d'eau. Leur rapport de transformation est 5.000/35.000. Grâce au brassage énergique de l'huile par une pompe centrifuge, leur température en marche continue ne dépasse jamais 50° C. Ils ont été fournis par la maison Siemens, de Berlin.

LIGNES DE TRANSMISSION D'ÉNERGIE (35.000 volts). — La transmission d'énergie se fait par quatre lignes alimentant chacune des sous-stations réparties sur toute la région à desservir. La ligne à 35.000 volts, y compris quelques tronçons à 5.000 volts (quelques moteurs marchant à 5.000 volts) avait, en mai 1907, un développement de 166 kilomètres, et la ligne de basse tension, 238 kilomètres. Sur son parcours on a ménagé des postes de secours permettant d'isoler chaque conducteur en cas d'avarie ; ces postes sont pourvus d'appareils de contrôle qui indiquent au personnel chargé des réparations si la ligne est en fonctionnement. Le parcours de la ligne est très accidenté ; elle traverse notamment de grandes étendues de bois. On a constaté des décharges entre les conducteurs et les supports : à 105.000 volts dans l'air sec ; entre 61.000 et 78.000 volts par temps de pluie.

EXPLOITATION. — Les frais de construction du barrage et du réservoir se sont élevés à 5 millions de francs (soit 0 fr. 11 le mètre cube d'eau emmagasinée), ceux de l'usine aussi à 5 millions et le réseau à 4 millions.

L'usine génératrice fournit l'énergie électrique en gros, à raison de 4,7 à 5 centimes le kilowatt-heure aux sous-stations qui la détaillent ensuite à des tarifs très variables, au moyen d'un réseau leur appartenant en propre. A 5.000 volts, le kilowatt-heure oscille entre 8,5 et 30 centimes suivant l'importance de la consommation ; et sur la basse tension les abonnés pour la force motrice payent jusqu'à 0 fr. 45 le kilowatt-heure. Pour l'éclairage, on a adopté le tarif uniforme de 0 fr. 50 le kilowatt-heure pour les 5.000 premiers kilowatts-heures et 0 fr. 30 au-dessus. Ces prix sont réduits de 20 0/0 quand les lampes sont branchées directement sur le réseau à 5.000 volts.

370. Usine du Pescara (Italie) (chute totale, 99 mètres). — Cette usine est installée dans la province d'Aquila avec une dérivation de 30 mètres cubes du Pescara. A cause de difficultés techniques, on a subdivisé la chute en deux. La première, de 27^m,60, donne 8.400 HP ; la seconde, de 71^m,60, donne 25.000 HP.

Le barrage déterminant la première chute (*fig. 929*) est composé de cinq travées de 5 mètres, formées par des vannes métalliques de 2 mètres de hauteur. Le canal de prise, sur une longueur de 23 mètres, a une section rectangulaire de 7^m,60 de largeur, puis devient trapézoïdal avec une sec-

tion de $25^{\text{m}^2},80$ permettant le passage à 40 mètres cubes d'eau. Le tunnel, long de 2.235 mètres, est creusé entièrement dans le rocher. Sa section est de $3^{\text{m}},25 \times 4^{\text{m}},50$, soit 15 mètres carrés.

Le bassin de mise en charge a un volume de 1.750 mètres cubes et est en galerie.

Les conduites sont au nombre de quatre avec diamètre de $2^{\text{m}},20$.

La salle des machines est de 45×15 . Elle comprend quatre groupes de

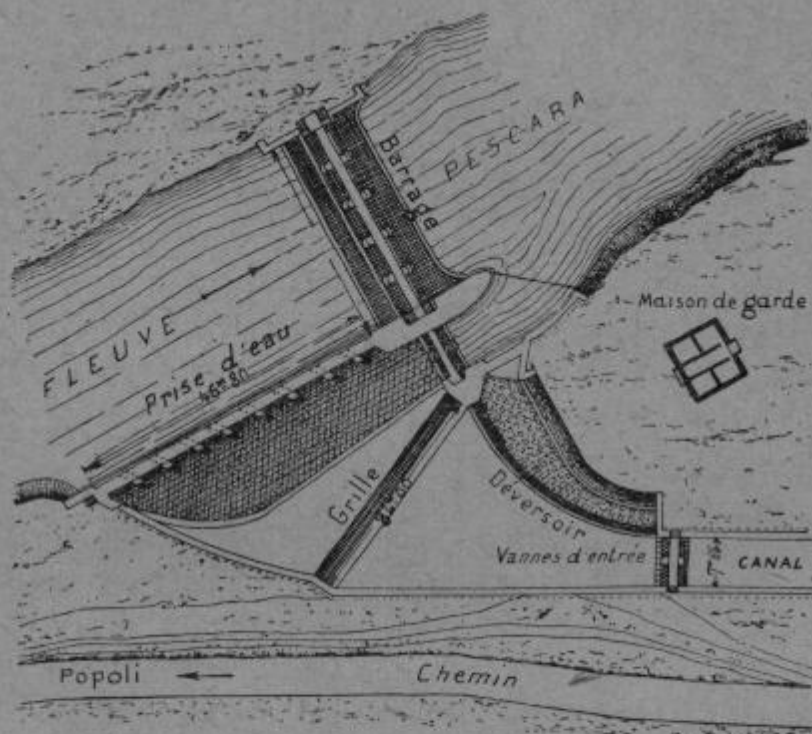


FIG. 529. — Usine du Pescara. Plan des ouvrages hydrauliques.

turbines-alternateurs (dont un de rechange) de 2.800 HP à 270 tours avec joint rigide, et deux groupes turbine-dynamo de 150 HP pour l'excitation. Les turbines sortent des ateliers Riva-Monneret, de Milan. Elles sont du type Francis.

Les alternateurs et dynamos ont été construits par l'Unione elettrotecnica italiana.

De l'usine centrale partent trois lignes :

- 1^o Celle de la Société italienne de l'aluminium qui a $3^{\text{km}},200$; tension 6.000 volts : six conducteurs de 78 millimètres carrés ;
- 2^o Celle de la Société des produits azotés ; 10 kilomètres ; tension 6.000 volts : trois fils de 40 millimètres carrés ;
- 3^o Société d'entreprises électriques des Abruzzes ; tension 25.000 volts : trois fils de 5 millimètres de diamètre.

CHAPITRE XVIII

USINES DE 101 A 200 MÈTRES DE HAUTEUR DE CHUTE

371. Usine de Saint-Georges (Aude) (*chute de 101^m,40*). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — *Barrage.* — Le barrage, établi sur la rivière l'Aude, à environ 60 kilomètres de sa source et un peu au-dessus du village de Gesse, forme un déversoir de 40 mètres de longueur. Construit dans un endroit où la vallée va en s'élargissant, on a pu ainsi créer une réserve assez grande pour opérer la décantation des eaux, les apports étant constitués par des limons et des sables, les premiers provenant de poussière de talc argileux et les seconds de granits qui se trouvent en grande quantité dans le lit, sous forme de galets.

Le barrage, qui constitue une réserve d'eau de 4.000 mètres cubes, possède deux vannes de décharge et une échelle à poissons.

Canal d'amenée. — Tous les travaux d'aménagement de la chute de Saint-Georges ont été édifiés pour un débit de 6 mètres cubes. La longueur totale du canal est de 5.500 mètres ; il est souterrain sur la plus grande partie de son parcours. Dans les parties calcaires rencontrées, on a revêtu la roche d'un léger béton et d'un ciment lissé ; dans les parties schisteuses, on a maçonné une voûte surbaissée reposant sur des pieds droits.

La partie du parcours du canal à air libre, soit 1.500 mètres de longueur, a été exécutée en ciment armé, tant le caisson que les supports.

La partie en souterrain a une section sensiblement rectangulaire et une pente uniforme de 1^{mm},6 par mètre ; dans la partie du canal en ciment armé, la pente est un peu plus forte et la section un peu plus faible par conséquent.

Chambre d'eau et conduites forcées. — A environ 200 mètres de l'usine, on a établi un déversoir de superficie précédant la chambre d'eau. La chute brute entre le niveau de l'eau dans cette chambre et le canal de fuite est de 101^m,40.

A l'origine des conduites forcées, prévues au nombre de quatre, sont installées une grille et une vanne pour chacune d'elles. Les tuyaux en tôle d'acier ont 1 mètre de diamètre et sont rivés par tronçons de 3 mètres de

longueur. Chaque conduite, de 160 mètres de longueur, débite 1.600 litres à la vitesse de 2 mètres ; à 12 mètres au-dessus de l'usine, chaque tuyau se dédouble en deux autres de 0^m,70 de diamètre alimentant chacun une turbine. Jusqu'à la bifurcation, les conduites sont libres et peuvent glisser sur les piliers en maçonnerie qui les supportent. Au point de bifurcation, pour permettre la dilatation, elles sont maintenues par des chaises en fer ancrées dans un bloc de 40 mètres cubes ; en outre, un joint de dilatation, composé de deux demi-calottes en tôle d'acier, est prévu pour chaque conduite, à leur jonction avec la chambre d'eau.

Un reniflard pratiqué à la partie supérieure de chaque conduite et des trous d'homme placés de distance en distance complètent cette partie de l'installation.

La perte de charge est de 1^m,10 dans chaque conduite lorsque le débit atteint 1.600 litres.

TURBINES. — La chute nette est d'environ 100 mètres de hauteur ; quant au débit, pendant dix mois de l'année, il n'est pas inférieur à 6.000 litres, et durant les deux autres mois, à 4.300 litres, mais tous les travaux d'aménagement ont été faits pour 6 mètres cubes d'eau.

Les turbines, au nombre de huit, sortent des ateliers de construction de Vevey ; elles sont du genre Pelton, à axe horizontal, et tournent à 300 tours en développant 800 HP.

L'axe des turbines est à 3^m,50 au-dessus du niveau de l'eau dans le canal de fuite (ces récepteurs ne pouvant fonctionner noyés), mais un tuyau d'aspiration permet de regagner en partie cette hauteur de 3^m,50, qui serait sans cela complètement perdue.

Le distributeur des turbines a quatre orifices ; un tiroir cylindrique, coulissant sur ce distributeur par l'intermédiaire d'un roulement à billes et commandé par le régulateur automatique de vitesse ou à la main, permet la plus ou moins grande introduction de l'eau.

Le régulateur est à servo-moteur hydraulique utilisant pour cela l'eau sous pression de la chute, préalablement épurée par son passage à travers un filtre. Par suite de l'existence d'un régulateur de pression commandé par le régulateur de vitesse, la surpression provenant des changements brusques de charge dans les conduites n'est pas supérieure à 10 0/0. Le rendement des turbines est de 77 0/0 à pleine charge.

ALTERNATEURS. — Les turbines attaquent directement des alternateurs du système Alioth au moyen de manchons élastiques faisant volant. Chaque génératrice est capable de fournir 700 kilowatts sous un cos φ égal à l'unité, ou encore 540 kilowatts avec un décalage de 0,80, en absorbant 800 HP. Ce sont des machines à fer tournant, triphasées, de 2.900 volts, 50 périodes, 300 tours, bobinées en étoile. Elles portent leurs excitatrices en bout ; le courant d'excitation sous une tension de 50 à 60 volts est de

25 ampères environ à pleine charge, soit une dépense d'excitation excessivement faible.

Les alternateurs ont un rendement à pleine charge de 93 0/0 ; leur chute de tension est de 5 0/0 pour $\cos \varphi = 1$ et de 16 0/0 pour $\cos \varphi = 0,80$. Ils marchent en parallèle sur les barres omnibus du tableau de distribution.

Le courant de chaque alternateur traverse, immédiatement à la sortie de la machine, des coupe-circuits à fusibles en argent. Les rhéostats de champ des alternateurs, qui peuvent être enclenchés les uns avec les autres, permettent, par la manœuvre d'un seul volant, de régler la tension de toutes les machines en service.

Des transformateurs-élévateurs placés dans l'usine même, groupés en étoile, d'une puissance de 605 kilowatts, à refroidissement naturel par l'air, remontent à 20.000 volts le courant fourni par les alternateurs. La manœuvre des appareils de commande se fait à distance au moyen de l'air comprimé, sous une pression de 5 kilogrammes.

Depuis son installation première, l'usine de Saint-Georges a subi certaines modifications.

Les douze transformateurs monophasés élevant la tension à 20.000 volts débitent sur les jeux de barres du tableau à 20.000 volts. Ces barres reçoivent également le courant à 20.000 volts de l'usine de Gesse (§ 390) et alimentent trois feeders distribuant l'énergie sur le réseau de la Société méridionale de transport de force. Il a été ajouté un transformateur 3.000/34.000 volts qui, branché sur les barres de tension de l'usine, débite sur le feeder 34.000 volts ($20.000 \times 1,7$) de Gesse à Perpignan. Les diverses combinaisons des tableaux haute et basse tension de Saint-Georges permettent, en cas de besoin, d'alimenter les divers départs par des groupes différents d'alternateurs et de régler leur tension de départ suivant la charge de chacun d'eux. L'installation d'un cinquième groupe turbine-alternateur de 1.200 k. v. a. est également envisagée à l'usine de Saint-Georges.

LIGNE DE TRANSPORT D'ÉNERGIE (20.000 volts). — L'usine hydroélectrique de Saint-Georges distribue l'énergie électrique sous forme de lumière et de force à l'aide d'un réseau ayant un développement de près de 500 kilomètres, donnant le courant à près de cent villes et villages. Le point le plus éloigné de l'usine génératrice a près de 130 kilomètres. Cette installation a été une des premières à haut voltage exécutées en France.

La ligne primaire, qui a 20.000 volts au départ de la station génératrice, a une longueur de 70 kilomètres ; elle a été calculée avec une perte de 20 0/0 et un décalage de 0,80. Le parcours suivi par la ligne à haute tension est des plus capricieux : elle sort de l'usine à la cote 430 pour s'élever à 1.000, se maintenir à une altitude moyenne de 800 et aboutir à la cote 200. Elle est soumise à un vent très violent, et, l'hiver, les isolateurs ne

forment parfois qu'un bloc de glace avec le poteau, ce qui cependant n'a jamais empêché l'installation de bien fonctionner.

Les dérivations, partant du poste central en bout de ligne, à la tension de 17.000 volts, sont au nombre de trois, et ont de 30 à 35 kilomètres de longueur. Les postes secondaires de transformateurs statiques abaissent cette tension de 17.000 volts à 5.000 volts.

En outre de ces postes, la Société méridionale de transport de force, propriétaire de la station de Saint-Georges, a établi deux sous-stations transformatrices (à Narbonne et à Carcassonne) pour la distribution du courant continu à 300 volts avec lignes à 3 fils.

Les moteurs électriques du réseau, sauf ceux des groupes générateurs de Narbonne et de Carcassonne, sont du modèle asynchrone à courant triphasé. Le choix des moteurs synchrones ci-avant signalés a été imposé en prévision du réglage, dans certaines limites, de la tension sur des lignes d'aussi grandes longueurs, en surexcitant lesdits moteurs.

L'*usine hydroélectrique d'Aguzon*, également sur l'Aude près du barrage de l'usine d'Axat ⁽¹⁾ fournit, sous une chute de 180 mètres, à l'usine de Saint-Georges, avec laquelle elle marche en parallèle, un apport de 8.000 chevaux.

Une ligne part sur Perpignan à la tension de 35.000 volts.

Une réserve thermique à vapeur de 7.000 chevaux fournit un appoint disséminé à Saint-Georges, à Narbonne et Perpignan.

Toutes ces installations appartiennent à la Société méridionale d'Électricité.

• **372. Usine du Bournillon (Isère)** (*chute, 102 mètres*).— Cette usine, qui utilise les eaux de la rivière la Bourne, est destinée à fournir le courant électrique aux villes de Romans et de Vienne, dont elle est distante de 65 et de 40 kilomètres. La chute peut fournir 3.500 HP.

Cette installation réalise dans le même bâtiment une chute de 96 mètres de hauteur et une de 315 mètres.

Le barrage de la première chute est situé à Verbois ; il a 4^m,50 de hauteur. Le canal de dérivation est constitué par un tunnel de 1.800 mètres de longueur.

La conduite sous pression a 1^m,20 de diamètre et 350 mètres de longueur. Les turbines à libre déviation, de 1.250 HP, à 375 tours, sortant de la maison Bouvier, sont à axe horizontal et accouplées directement aux alternateurs.

Un régulateur central H. Bouvier, commandé par un moteur asynchrone, règle la vitesse de toutes les unités et assure le bon fonctionnement

(1) L'usine de Saint-Georges est aussi désignée sous l'appellation « d'Axat ».

en parallèle des alternateurs ; il limite la surélévation de pression à 3 0/0 au moment de la fermeture instantanée du vannage de toutes les turbines. Un appareil d'hydropneumatisation permet de récupérer une fraction importante de la hauteur de la chute brute disponible. Les alternateurs, construits par MM. Schneider et C^{ie}, produisent du courant triphasé à 3.800 volts, 50 périodes ; à la vitesse de 975 tours, leur puissance unitaire est de 1.000 kilowatts. La tension en ligne est de 35.000 volts.

La seconde chute est régularisée par un réservoir journalier de 70.000 mètres cubes.

Le barrage a 25 mètres de hauteur. La dérivation d'eau, entièrement en souterrain, a 3.250 mètres de longueur continuée par une tuyauterie forcée de 750 mètres de longueur, et 1 mètre de diamètre extérieur.

L'usine comporte quatre groupes turbo-alternateur de 3.000 chevaux chacun, tournant à 500 tours. Les alternateurs fonctionnent à la tension de 3.800 volts (courant triphasé), ils élèvent la pression à 35.000 volts. La puissance installée des transformateurs est de 13.800 k. v. a.

Cette installation a été mise en service dans le courant de l'année 1912.

Cette usine appartient à la Société anonyme immobilière des Forces motrices du Vercors.

373. Usine de Hofenfurth (Bohême) (chute, 103 mètres). — Cette installation fournit l'électricité pour l'éclairage et la force motrice à diverses industries et municipalités voisines de la ville de Hofenfurth. Elle emprunte le courant de la Moldau.

Les ouvrages hydrauliques consistent en un barrage de 31 mètres de longueur, en un canal d'amenée de 6 mètres de largeur et de 1.470 mètres de longueur, et enfin en une chambre de mise en charge de 15 mètres de long sur 11 mètres de large. On a prévu des vannes de décharge pour l'enlèvement des graviers et des grilles pour l'arrêt des corps flottants.

La conduite forcée a 612 mètres de long et un diamètre intérieur de près de 2 mètres ; son épaisseur varie de 11^{mm},5 à 15 millimètres. Elle est en tôle d'acier, rivée, avec joints de dilatation.

L'usine dispose de trois groupes de turbines du type Francis, de 2.500 HP chacune, tournant à 420 tours par minute.

La régulation est obtenue au moyen d'appareils hydrauliques et de cataractes à huile. Ces turbines sont accouplées directement à des alternateurs triphasés de 2.500 kilowatts et à des excitatrices de 28 kilowatts. Enfin trois lignes conduisent le courant à deux stations transformatrices, où la tension de 15.000 volts est réduite à 390.

374. Chutes de Zambèze (chute, 106 mètres). — D'après M. Francis Fox, les chutes de Victoria peuvent fournir une puissance de 35 millions

de chevaux, tandis que celles du Niagara ne sont capables, au maximum, d'en produire que 7 millions. Les chutes de Victoria sont quatre fois plus hautes que celles du Niagara et deux fois plus larges.

Les installations hydrauliques à y établir sont facilitées de ce fait que le fleuve, après les chutes naturelles, a un lit très rétréci, soit 13 à 18 mètres seulement de largeur.

La chute à utiliser, dont la concession a été donnée, a une hauteur de 106 mètres et l'usine serait installée à Boiling-Pot, à environ 106 à 121 mètres au-dessous du niveau supérieur.

Le projet prévoit, comme première installation, un matériel pouvant produire 30.000 HP, puissance obtenue sous forme de courant triphasé à 12,5 périodes, sous la tension de 150.000 volts. Mais le projet est étudié pour pouvoir porter la puissance à 250.000 HP et plus.

La ligne de transport d'énergie sera constituée par des câbles nus en aluminium de 50 à 76 millimètres de diamètre, supportés par des pylônes métalliques placés tous les 300 mètres. Dans les points les plus bas, ces câbles seront au minimum à 9 mètres au-dessus du sol.

La ligne doit longer le chemin de fer de la Rhodesia jusqu'à Johannesburg, soit sur une longueur de 965 kilomètres environ. A l'extrémité de la ligne sera installée une usine réceptrice qui aura pour objet d'égaliser la charge et en même temps de servir de secours en cas d'interruption de la ligne ou d'arrêt dans le fonctionnement de l'usine génératrice de Boiling-Pot. A cet effet, l'énergie électrique disponible à l'usine réceptrice, par suite des variations de charge, sera utilisée pour la commande de puissantes pompes servant à élever l'eau de la rivière des Crocodiles dans un vaste réservoir que l'on construira sur les collines voisines. On obtiendra de ce fait une hauteur de chute de 182 mètres et l'énergie hydraulique ainsi disponible, permettra, en cas de besoin, d'actionner une série de génératrices disposées dans la station réceptrice. De plus, on disposera encore, comme secours, d'une usine génératrice à vapeur de 24.000 HP. Il y aura aussi deux usines distinctes de secours, et, de cette façon, les nombreuses industries se trouvant sur les territoires de la Rhodesia et du Transvaal, appelées à consommer de grandes quantités d'énergie, pourront compter sur une alimentation continue.

L'on se trouve ainsi en présence d'une installation assurément très hardie, mais au point de vue technique, on ne conçoit aucune incertitude pour son fonctionnement.

En ce qui concerne le point de vue financier, on a actuellement des données certaines permettant d'évaluer exactement les frais de premier établissement et ceux d'exploitation.

Le capital de l'entreprise de l'utilisation des chutes de Victoria a été fixé à 150 millions.

375. Usine de Madières (Hérault) (*chute, 107 mètres*). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — La rivière la Vis, affluent de l'Hérault, qui prend sa source dans les montagnes de l'Aveyron, a un débit d'étiage de 2 mètres cubes et coule une eau très pure. Les déversoirs de prise d'eau sont établis un peu en amont du hameau de Novacelles, dans un endroit où l'élargissement de la vallée a permis de donner au barrage un développement suffisant pour évacuer les crues très rapides de la rivière. La (*fig. 930*) montre l'ensemble des ouvrages de la prise d'eau.

Barrage. — Le barrage en maçonnerie ordinaire sur fondations de béton, de faible hauteur, sert uniquement à dériver la Vis dans une chambre de prise, placée sur la rive droite du cours d'eau. Cette chambre, de faibles dimensions, est munie d'une grille et d'une cloison à claire-voie, élevée au-dessus du niveau des plus hautes eaux, à l'effet d'arrêter les troncs d'arbres ou autres obstacles accidentels. Deux vannes de décharge servent à opérer des chasses pour débarrasser la chambre des apports accumulés au pied de la grille et aussi à évacuer les crues.

Canal d'aménée. — Cet ouvrage, qui s'ouvre dans la chambre de prise, a, à cet endroit, une vanne à tablier pour le réglage du débit. Il est établi partie à ciel ouvert et partie en souterrain creusé dans le roc. La longueur en souterrain est de 3.200 mètres. La section utile est de 1^m,60 de hauteur sur 2 mètres de largeur, soit 3^m²,20. Dans les parties à ciel ouvert, le canal est placé dans un terrassement à flanc de coteau. Sur son parcours on a établi un déversoir, à la rencontre d'un ravin, pour permettre d'évacuer le débit total du canal, en cas d'obstruction par suite d'un éboulement. Un second déversoir, avec décharge dans la Vis, a été aménagé à l'extrémité du canal, avant son entrée dans un réservoir souterrain, ce dernier destiné à permettre la production, au moment de la pointe de l'éclairage, d'une puissance supérieure à celle provenant du débit normal de la rivière. Cette chambre a une capacité de 11.000 mètres cubes et elle sert de chambre de mise en charge. Tous les travaux de terrassement, maçonnerie et construction ont été exécutés par la maison Giros et Loucheur.

Conduites forcées. — La prise d'eau des tuyaux a été établie à une cote telle que l'on puisse faire baisser de 5 mètres le niveau de l'eau dans le réservoir ; de cette manière on peut ajouter au débit normal de la Vis un volume de 1.000 litres par seconde pendant trois heures consécutives, soit une puissance supplémentaire de 3.000 HPH. Les tuyauteries partent de deux puits dont le fond est en contre-bas du radier du réservoir pour permettre la marche avec le débit du canal seul, le réservoir étant vide, sans risquer d'avoir des rentrées d'air dans les conduites. Celles-ci, au nombre de deux, ont un diamètre de 1^m,20 et constituées par de la tôle d'acier doux, rivée à double clouure longitudinale et simple clouure transversale. L'assemblage des tronçons est fait à grande et petite virole. La tuyau-

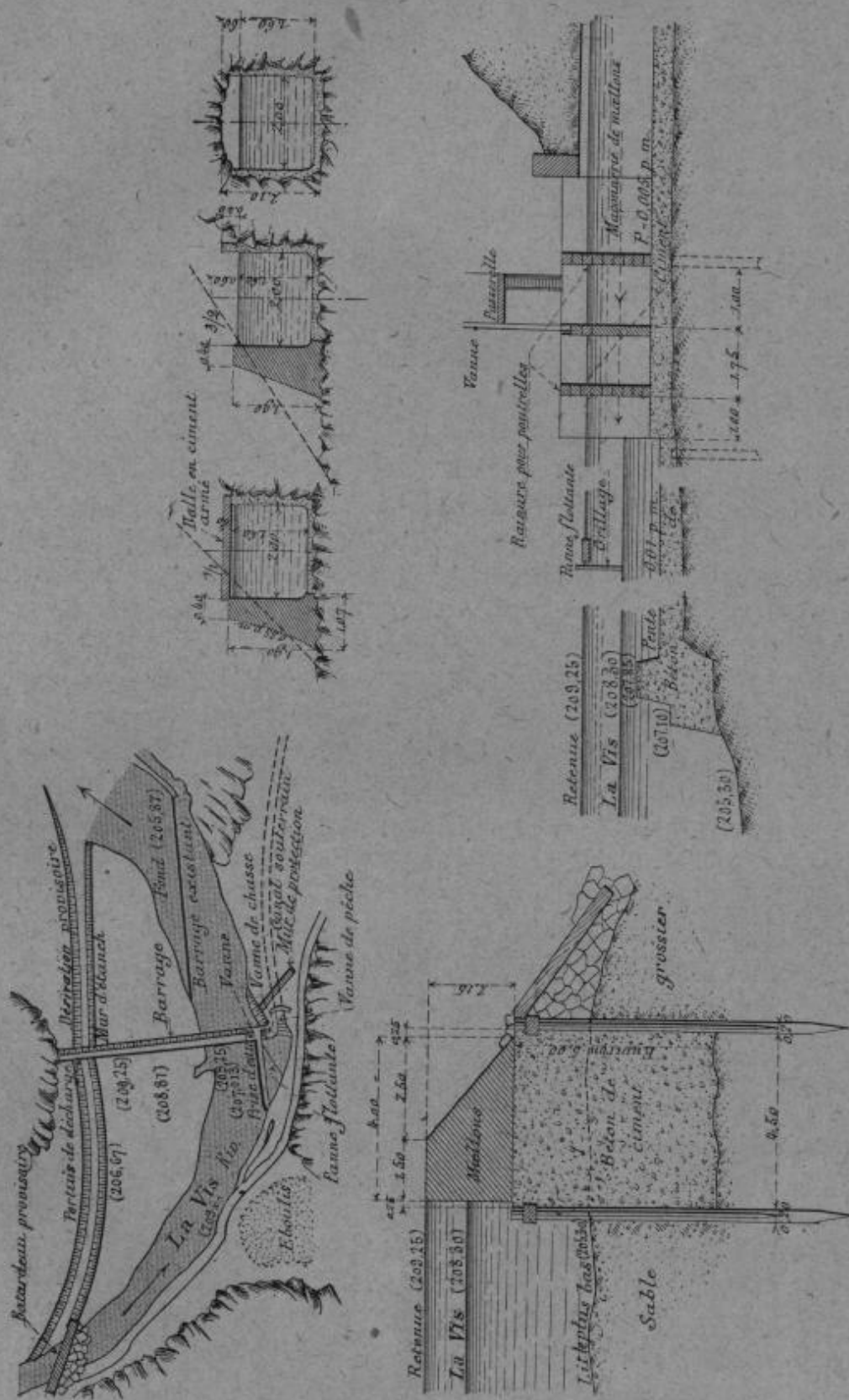


FIG. 930. — Usine de Madières. Plan d'ensemble des ouvrages de la prise d'eau. Coupe transversale du barrage et coupe longitudinale du canal de dérivation.

terie, par son profil de forme régulière, peut se dilater en se déplaçant sur les massifs, qui la supportent. Les cheminées d'équilibre, en ciment armé, sont arasées à 50 centimètres au-dessus du niveau statique de l'eau dans les chambres de prise. En cas de surpression, l'eau peut se déverser librement par dessus ces cheminées. A leur entrée dans le collecteur, les deux conduites peuvent être isolées au moyen de deux robinets-vannes. Sur le collecteur se trouve placé un détendeur qui permet de ramener à 3 kilogrammes la pression de l'eau pour le service des parafoudres à jet d'eau et la circulation des résistances liquides. Les conduites forcées ainsi que tous les ouvrages métalliques de prise d'eau ont été installés par la maison Bouchayer et Viallet.

TURBINES. — Les cinq turbines principales, de 1.000 HP chacune, ont été fournies par la maison Neyret-Brenier. Elles sont du type à réaction-aspiration et tournent à 500 tours sous une chute brute de 105 mètres.

La commande des aubes mobiles se fait au moyen d'une couronne actionnée par le régulateur et reliée à chacune des aubes mobiles par l'intermédiaire de ressorts, dispositif qui a pour objet d'éviter les accidents pouvant se produire par l'arrivée d'un corps étranger dans les aubes mobiles.

Les turbines sont munies d'un régulateur à servo-moteur mécanique par friction. En cas de fermeture rapide du régulateur, un orifice auxiliaire s'ouvre instantanément pour empêcher le coup de bélier, lequel orifice se ferme ensuite lentement par l'intermédiaire d'un dash-pot à l'huile. D'autre part, un déchargeur automatique est placé sur la conduite d'amenée. Enfin de gros volants sont placés sur l'arbre des turbines, de façon à améliorer les conditions de régulation.

Deux turbines de 120 HP servent à la commande des excitatrices ; elles sont du type Pelton à admission partielle et fonctionnent sans aspiration. Les dynamos ont une puissance individuelle de 80 kilowatts sous 110 volts.

ALTERNATEURS. — Les alternateurs Alioth sont accouplés aux turbines par des manchons isolants élastiques du genre Zodel ; ils produisent du courant triphasé, 50 périodes, 3.000 volts. L'inducteur mobile est d'une seule pièce en acier coulé et les masses polaires sont venues de fonte avec le noyau. L'induit fixe a ses enroulements logés dans des encoches semi-fermées ; les bobines sont groupées en étoile.

TRANSFORMATEURS. — Le courant des machines est élevé à 33.000 volts par trois batteries de transformateurs monophasés Alioth de 1.500 kilovolts-ampères chacun, groupés en étoile au primaire et au secondaire. Ils sont refroidis par des ventilateurs actionnés par des moteurs asynchrones. L'isolation, aussi bien par rapport à la masse qu'entre les circuits, est réalisée au moyen de cylindres en matière isolante comprimée

présentant à la fois une grande solidité mécanique et une grande rigidité électrostatique à la perforation par l'étincelle.

USINE. — Elle est élevée sur un terre-plein élevé de 5 mètres environ au-dessus du niveau d'étiage de la Vis. Les bâtiments comportent la salle des machines, le pavillon des tableaux, la salle des transformateurs et les logements des ouvriers. Celui des tableaux est composé de trois étages sur rez-de-chaussée. Dans ce dernier, ainsi qu'aux premier et deuxième étages existent des cellules en ciment armé pour les appareils des tableaux à 3.000 et 30.000 volts. La salle des transformateurs, placée en arrière du pavillon des tableaux, comporte toute la hauteur du rez-de-chaussée et du premier étage du pavillon des appareils.

Les canalisations à 3.000 volts, allant des alternateurs aux tableaux et de là aux transformateurs, sont en câbles armés à trois conducteurs. Les canalisations à 30.000 volts sont toutes en fil nu, montées sur isolateurs en porcelaine. Un bâtiment spécial, placé au bout de la salle des machines, élevé de trois étages sur rez-de-chaussée, est consacré exclusivement aux appareils de manœuvre, aux barres omnibus et aux parafoudres.

LIGNES DE TRANSPORT D'ÉNERGIE A HAUTE TENSION. — Au deuxième étage du bâtiment dont il vient d'être question sont logés les interrupteurs principaux de départ des lignes, les parafoudres à jet d'eau, les parafoudres à rouleaux, genre Wurtz, et l'appareil d'essai d'isolement des lignes.

Au troisième étage sont les parafoudres à ruptures multiples avec leur résistance à circulation d'eau, leurs bobines de self, couteaux de sectionnement, etc.

Le courant produit par l'usine génératrice (usine de Madières) est transporté à la station de transformation située à Sommières au moyen de deux lignes, d'une longueur de 47 kilomètres, espacées l'une de l'autre de 15 mètres. Leur parcours est très accidenté. Elles sont établies sur des poteaux en fer U de 10^m,50 de hauteur. Dans les longs alignements droits il existe, tous les sept poteaux, un pylône renforcé d'amarrage. Les poteaux, dans le sens perpendiculaire à la ligne, peuvent résister à un effort de 8 kilogrammes par millimètre carré ; dans le sens des fils on a augmenté leur résistance en haubanant les supports à leur sommet au moyen de deux fils d'acier de 10 millimètres carrés de section chacun.

Les isolateurs à haute tension sont en porcelaine blanche et en deux pièces accolées ; ils ont été essayés, avant leur montage, à une tension triple de celle de régime. Les conducteurs sont formés, pour chaque ligne, de trois câbles en bronze de 15 millimètres carrés de section chacun. Les deux lignes marchant en parallèle ont été calculées pour que la perte maxima d'énergie fût de 10 0/0 pour une puissance transportée de 3.000 kilowatts sous $\cos \varphi = 0,8$.

Au poste de transformation de Sommières, la tension de la ligne est

ramenée de 30.000 à 13.500 volts. L'installation comporte la salle des transformateurs et des tableaux, la tour des appareils de protection et des arrivées de lignes. L'entrée des fils dans le bâtiment est faite à travers des tubes en grès de fort diamètre, munis d'un dispositif d'isolement spécial, qui empêche l'introduction des poussières et de la pluie. A l'intérieur, la disposition des appareils de protection est analogue à celle de l'usine génératrice. Les deux batteries de transformateurs comportent chacune un tableau qui permet de les faire marcher séparément sur l'une ou l'autre ligne. Les interrupteurs généraux sont munis de disjoncteurs à maximum, avec relais à retour de courant pour que, dans le cas où l'une des lignes viendrait à être coupée à l'usine génératrice, le disjoncteur correspondant à cette ligne, à Sommières, puisse sauter, par le seul fait que le courant venant de la ligne en bon état traverserait le relais en sens inverse du sens primitif. De cette manière, la ligne sur laquelle se produirait un accident serait coupée automatiquement à ses deux extrémités, sans qu'il y ait pour cela arrêt du service. Sur les barres omnibus se trouve placé un parafoudre à jet d'eau. Cette usine en marche depuis le mois de juin 1908 fournit son énergie à la Société « le Sud-Électrique » à laquelle elle appartient.

376. Usine de Darfo (Italie) (*chute, 117 mètres*). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Cette usine, qui appartient aux forges de Voltri, est destinée spécialement à la fabrication de carbure de calcium. Elle constitue une usine modèle dans son genre, dont nous donnons spécialement la description dans le tome III de cet ouvrage. Elle est située sur la rivière Dezzo, affluent de la rive droite de l'Oglio, qui présente un débit de 10 mètres cubes dans les hautes eaux et 4 mètres cubes environ en périodes d'étiage.

L'appareil hydraulique comporte une dérivation constituée par un tunnel de 1.800 mètres de longueur, une chambre d'eau servant de chambre de décantation et deux conduites forcées de 1^m,40 de diamètre et 300 mètres de longueur chacune, qui alimentent deux turbines Neyret-Brenier de 5.000 HP chacune.

ALTERNATEURS. — La salle des machines reçoit deux alternateurs de 5.000 HP tournant à 360 tours. Chacun de ces derniers fournit du courant à 8.000 volts, qui, par l'intermédiaire de quatre transformateurs, alimente quatre fours Keller de 1.250 HP. Deux génératrices à courant continu, pouvant être alimentées indifféremment par l'une ou l'autre des conduites, comme toute l'installation d'ailleurs, produisent le courant nécessaire pour tous les moteurs de l'usine.

377. Usine de Calypso (Savoie) (*chute, 135 mètres*). — La Compagnie des produits chimiques d'Alais et de la Camargue possède en Savoie

quatre importantes usines hydroélectriques, celles de Calypso, de Saint-Félix, de Saint-Jean-de-Maurienne et de Pontamafrey, dont les puissances réunies atteignent 50.000 HP. Elle exploite en outre l'usine de Salindres, usine mère de la Compagnie, où se fabriquent la soude, les chlorates, le chlorure de chaux, le sulfate de cuivre, indispensables aux régions viticoles du Midi, enfin l'alumine et toutes matières premières nécessaires à la fabrication de l'aluminium. De plus, elle est propriétaire des chutes de Château-Arnoux, sur la Durance. Dans ses usines de la Savoie, la Compagnie fabrique l'aluminium sous toutes ses formes : lingots, profilés, cornières, simples T, doubles T, tubes, etc., d'après les procédés de la Société française de métallurgie dont elle s'est assuré le monopole. La Compagnie livre aussi des pièces fondues en aluminium de tous genres ; carlers et pièces d'automobiles, casseroles de formes diverses, ainsi que des pièces soudées et des câbles et fils pour conducteurs électriques.

AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — La rivière la Valloirette, affluent de l'Arc, sur laquelle est prise la chute de Calypso, coule, dans la partie inférieure de son cours, dans une gorge extrêmement étroite et dont les parois presque verticales atteignent plusieurs centaines de mètres de hauteur. En raison de cet état de choses, les travaux y ont été particulièrement difficiles et ont nécessité des opérations d'approche d'une certaine importance pour le transport des matériaux.

Le cours de la Valloirette est extrêmement rapide ; dans la partie où a été aménagée la chute, la pente moyenne dépasse 15 0/0. Les eaux entraînent fort peu de sable et de gravier, mais, par contre, charrient en hiver beaucoup de neige provenant des avalanches qui se produisent dans la gorge en amont de la prise d'eau.

Barrage. — On a profité d'un endroit où la gorge est très resserrée pour y établir le barrage, construit simplement à l'aide d'un mur de 10 mètres de longueur avec 1 mètre de largeur à la crête et un fruit de 25 0/0.

Deux vannes, placées aux extrémités du barrage, permettent de régler la hauteur de retenue et d'évacuer les apports.

Canal d'amenée. — Ce canal, qui relie le barrage à la chambre d'eau, a son entrée sur la rive droite de la Valloirette, immédiatement à côté du barrage. Il a une largeur de 2 mètres, une profondeur de 1^m,20 et peut débiter 5.000 litres ; sa longueur est de 720 mètres. Il est construit en souterrain sur tout son parcours, sauf une partie de 120 mètres qui est à ciel ouvert, le tout pris en pleine roche. Au passage des couloirs d'avalanches, on a recouvert le canal avec des voûtes en maçonnerie.

Immédiatement à l'entrée du canal se trouve une vanne pour régler l'entrée de l'eau et, à 30 mètres de celle-ci, une vanne de chasse. Avant l'entrée dans la chambre d'eau, on a établi un déversoir et une autre vanne de chasse.

Chambre d'eau. — De même que les ouvrages précédents, la chambre d'eau a été entièrement taillée dans le rocher ; ses dimensions sont : 16 mètres de longueur, 5 mètres de largeur et 4 mètres de profondeur. A l'entrée se trouvent une vanne permettant de régler l'admission d'eau et une grille inclinée composée de barreaux plats de 5 millimètres d'épais-



FIG. 931. — Usine de Calypso (Savoie). Chute de 600 mètres.

seur séparés par des intervalles de 8 millimètres. La chambre d'eau est entièrement recouverte d'un plancher en bois sur lequel est placée la maisonnette du gardien.

Conduite forcée. — La conduite, qui a une longueur de 350 mètres et un diamètre de 1^m,450, suit la pente de la montagne sur 280 mètres, puis passe au-dessus de la Valloirette sur une longueur de 18 mètres, et le reste suit en sous-sol dans l'usine même. La partie rampante (pente de 50 0/0)

est fixée sur des piliers en maçonnerie distants de 7 à 8 mètres environ. Elle est, de plus, soutenue par de forts tirants scellés dans les piliers de maçonnerie et reliés à la conduite à l'aide de fortes oreilles en tôles et cornières.

Peu après, à sa sortie de la chambre d'eau, la conduite porte un joint de dilatation constitué par un presse-étoupe formant joint étanche et fixé sur la partie aval de la conduite. La canalisation pénètre dans une chambre de 2^m,80 de largeur, ménagée dans le sous-sol de la salle des machines ; de là partent les différentes tubulures qui mènent l'eau aux turbines, et sur lesquelles sont placés des robinets-vannes manœuvrés de la salle des machines. Enfin, la conduite est complétée par un robinet de purge disposé à son extrémité et qui permet d'en faire la vidange. La tuyauterie a été fournie et installée par la maison Joya, de Grenoble.

TURBINES. — La chute de 135 mètres de hauteur qui actionne l'usine Calypso a été créée par une dérivation qui y apporte les eaux d'un bassin de 150 kilomètres carrés. La puissance de l'usine à l'origine était de 3.000 HP environ.

Deux turbines Bouvier, de 1.350 HP chacune, sont centrifuges, à admission partielle et libre déviation et à axe horizontal. Elles ont un diamètre de 3^m,80 et tournent à 140 tours. La roue mobile est composée d'un tourteau en fonte sur lequel sont fixés dix bras en fer, qui portent la couronne d'aubages divisée en dix pièces assemblées par des boulons et consolidées par une frette vissée. Ces turbines possèdent des limiteurs automatiques de vitesse destinés à empêcher l'emballement de la machine en cas de décharge brusque de la résistance. Ces appareils consistent en un tachymètre muni d'une came, laquelle, pour une vitesse déterminée, déclenche un levier chargé d'un contrepoids ; celui-ci, en retombant, entraîne un tiroir qui met les servo-moteurs à la fermeture.

Deux turbines Neyret et Brenier de 750 HP, tournant à 250 tours, ont leur roue mobile en fonte d'une seule pièce de 2^m,30 de diamètre. La maison Bouvier a aussi fourni dans la même installation deux turbines également de 250 HP à 250 tours, avec distributeurs en bronze d'aluminium, métal qui augmente notablement la durée de cette partie de la machine qui, comme on le sait, est sujette à une usure rapide par suite des sables entraînés par les eaux.

Enfin une turbine Bouvier de 60 HP complète la série des moteurs hydrauliques.

Vannages. — L'admission de l'eau sur la roue mobile, pour les deux premières turbines, se fait par quatre distributeurs cloisonnés en bronze, et le réglage de cette admission par deux tiroirs cintrés. Les deux faces des pistons de ces servo-moteurs reçoivent des deux côtés la pression de la conduite. Au moyen de robinets manœuvrés à la main, on provoque

l'échappement sur l'une ou l'autre des deux faces du piston du servo-moteur pour les faire déplacer ainsi que les tiroirs.

Pour les deux turbines de 750 HP, le réglage de l'admission de l'eau se fait, comme dans les turbines de 1.350 HP, par un tiroir actionné par un servo-moteur ; mais le tiroir est plan et le servo-moteur est en dehors de

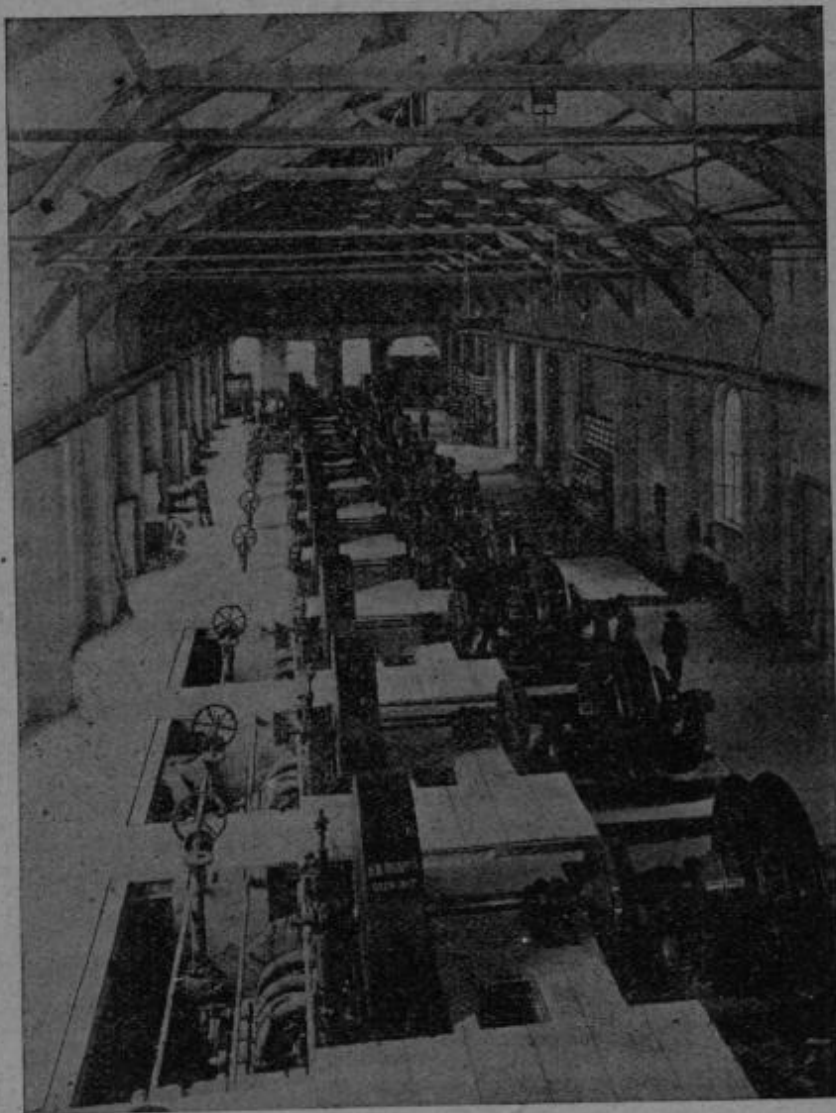


FIG. 932. — Usine de Calypso (Savoie). Salle des machines.

la capote de la turbine. Celle-ci est aussi munie d'un limiteur automatique de vitesse.

La Compagnie des produits chimiques d'Alais et de la Camargue, à qui appartient l'usine de Calypso, a aménagé une chute de 600 mètres au même lieu. C'est cette nouvelle usine que représentent les vues photographiques plus haut.

378. Usine de Gaucin (Espagne) (*chute, 137 mètres*). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Cette installation utilise comme source d'énergie une chute d'eau de la rivière le Guadiaro, d'une hauteur brute de 137 mètres et d'une hauteur nette de 128^m,50. La prise d'eau est située entre Gaucin et San Pablo (province de Malaga). Le débit minimum est de 1.500 litres à la seconde et le débit moyen de 4.000 litres.

Barrage. — La digue-barrage a une longueur de 25 mètres, une hauteur de 3^m,65 ; son épaisseur au couronnement est de 0^m,80 ; l'inclinaison du côté de l'eau est de $\frac{1}{5}$ et de $\frac{2}{5}$ de l'autre côté.

Canal d'amenée. — Sa longueur totale est de 5.700 mètres, dont 1.100 mètres en tunnel ; il a une largeur moyenne de 2^m,25, une profondeur de 1^m,45, une pente de 1/2 0/00 à sa partie ouverte et de 1 0/00 dans le tunnel.

Bassin de charge. — Il est prévu pour trois conduites ; il a 25 mètres de longueur, 2^m,50 à 12 mètres de largeur et 1^m,50 à 5 mètres de profondeur. Sa contenance est de 350 mètres cubes. Le déversoir a 16 mètres de longueur.

Conduites forcées. — Les deux conduites de pression ont chacune 1 mètre de diamètre et 500 mètres de longueur ; 200 mètres de chacune d'elles sont en béton armé (jusqu'à une pression de 50 mètres) et les autres 300 mètres se composent de tuyaux en tôle d'acier Siemens-Martin, longs de 6 mètres, dont les joints en acier Bessemer sont rendus étanches au moyen de caoutchouc. Le canal de fuite a 40 mètres de longueur, 2^m,50 de largeur et 2^m,25 de profondeur.

TURBINES. — L'usine génératrice possède trois turbines de 1.500 HP, chacune tournant à 410 tours à la minute et deux turbines de 100 HP, ces dernières actionnant les dynamos pour l'excitation et l'éclairage des bâtiments. Ces turbines sont des roues Pelton, à arbre horizontal et à aubes en acier coulé. Elles possèdent des régulateurs à huile comprimée et sont prévues pour être réglées automatiquement et à la main.

ALTERNATEURS. — Les grosses turbines actionnent directement les alternateurs triphasés fournissant du courant à 40 périodes et 5.000 volts. Ils sont à induit fixe et leur puissance est de 1.300 kilovolts-ampères ; tension d'excitation, 110 volts. La commande du courant est opérée à l'aide d'interrupteurs à huile à action différée et avec relais d'intensité. L'installation a été augmentée d'un groupe électrogène de 1.500 HP.

TRANSFORMATEURS. — La tension de transport est de 52.000 volts, obtenue au moyen de sept transformateurs fixes, monophasés, à bain d'huile et à refroidissement hydraulique. La puissance de chacun de ces appareils est de 600 kilovolts-ampères. Le fil neutre du circuit secondaire est relié à la terre ; sur le circuit à haute tension de ces transformateurs

on a intercalé des interrupteurs à huile avec relais à maximum et, sur le circuit à basse tension, des interrupteurs avec relais à maximum et à courant de retour. Les deux interrupteurs sont accouplés électriquement ; les interrupteurs à basse tension sont à commande mécanique et les interrupteurs à haute tension à commande électrique à distance.

L'installation de distribution est conçue de telle façon que les génératrices, ainsi que les enroulements primaires et secondaires des transformateurs soient montés en parallèle sur les barres collectrices ; il existe deux groupements nettement séparés correspondant à deux lignes de départ constituant la transmission à haute tension et qui peuvent travailler indépendamment l'un de l'autre ou en parallèle.

TRANSPORT A HAUTE TENSION (52.000 volts). — L'énergie électrique est transportée jusqu'à Séville soit à une distance de 125 kilomètres, dont 18 kilomètres dans la province de Malaga, 50 kilomètres dans la province de Cadix et 17 kilomètres dans la province de Séville. Ainsi qu'il est dit plus haut, la transmission est assurée par deux lignes distinctes ayant chacune trois fils de 5^{mm},5 de diamètre, lesquels sont dédoublés lorsque les distances entre les poteaux dépassent 90 mètres. La ligne atteint son altitude la plus élevée (1.770 mètres au-dessus du niveau de la mer) à la ligne de séparation des eaux de l'océan Atlantique et de la Méditerranée, à la limite des provinces de Malaga et de Cadix.

La plupart des 1.550 poteaux de ligne sont formés de fers en U avec entretoises métalliques et traverses en bois. La distance moyenne est de 80 mètres, mais les distances de 100 et 120 mètres ne sont pas rares et, à certains endroits, elles atteignent 200 et 450 mètres. Au delà de 200 mètres les fils sont soutenus par des câbles en acier. Les différents fils sont éloignés de 1 mètre et il existe en tout trente-cinq croisements de ligne.

Les deux lignes de transport possèdent des déchargeurs avec condensateurs et antennes et communiquant en outre avec la terre par des résistances hydrauliques.

SOUS-STATIONS DE TRANSFORMATEURS. — L'énergie est distribuée entre quatre sous-stations : la station Villamartin, distante de 55 kilomètres de l'usine génératrice ; la station Utrera, distante de 94 kilomètres, la station Dos Hermanos, distante de 112 kilomètres et la station de Séville, à 125 kilomètres.

La sous-station de Villamartin est munie de deux lignes d'arrivée et de deux départs réunies à l'intérieur du bâtiment. Elle est équipée de douze déchargeurs à cornes mis à la terre par une résistance hydraulique et de cinq interrupteurs à huile de 50.000 volts, dont l'un sert à réunir les différentes lignes entre elles et les autres pour chacune des lignes. Les appareils sont montés dans des compartiments en béton armé.

La sous-station d'Utrera est équipée aussi de douze parafoudres à

cornes avec résistances liquides et de six résistances à jet d'eau qui communiquent constamment avec la terre. Deux des six interrupteurs à huile à 50.000 volts sont destinés à réunir mutuellement les lignes et les autres sont attribués à une ligne ; leur manœuvre a lieu mécaniquement. La tension primaire composée des alternateurs est de 27.000 volts, la tension secondaire composée, de 3.400 à 3.600 volts.

Dans les circuits primaires et secondaires, on a intercalé des interrupteurs à maximum et à huile avec relais à action différée, dont la manœuvre a lieu mécaniquement à distance par déclenchement électrique. Les barres collectrices sont prévues pour un seul réseau de ligne d'éclairage et de force ; sur les circuits de départ, on a intercalé les interrupteurs à huile, des relais à action différée et des régulateurs automatiques d'induction.

La sous-station de Dos Hermanos est équipée comme la station de Villamartin, sauf que les interrupteurs à huile sont remplacés ici par de simples couple-sections. La puissance de la station n'est que 360 kilovolts-ampères et la tension primaire est de 47.000 volts et celle secondaire de 3.400 à 3.600 volts.

La sous-station de Séville contient deux lignes d'arrivée à trois fils chacune, qui sont munies d'interrupteurs et de parafoudres semblables à ceux de la centrale. Ici également on a prévu deux groupes allant chacun à l'une des deux lignes, ces deux groupes pouvant travailler simultanément en parallèle ou indépendamment l'un de l'autre. La tension primaire des transformateurs est de 27.000 volts et la tension secondaire 3.500 volts. Le tableau de distribution est divisé en deux groupes correspondant aux deux lignes. Les interrupteurs de la haute tension sont accouplés électriquement à un interrupteur à action différée, tandis que les interrupteurs du circuit à basse tension communiquent avec des relais à courant inverse. Les appareils sont logés dans des compartiments de béton. Il y a dix panneaux pour les lignes secondaires et un panneau pour les voltmètres, lampes de phase et compteurs. Les instruments de mesure et de contrôle pour les lignes d'arrivée et pour les transformateurs sont fixés sur des pupitres de couplage. Les lignes secondaires partent des barres collectrices en deux groupes (pour la force et l'éclairage) ; chacune des lignes est équipée d'un interrupteur à maximum et d'un régulateur d'induction.

379. Usine de Venthon (Savoie) (*chute, 140 mètres*). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Cette usine, située sur le Doron (*fig. 933*), utilise les eaux de ce torrent au moyen de conduites en charge, sans canal de dérivation.

La première installation comportait une conduite en tôle rivée de 1^m,50 de diamètre sur 1.950 mètres de longueur, posée sur la rive gauche du cours d'eau, déterminant une chute utile de 54 mètres.

Une deuxième installation pour renforcer la première fut faite à l'aide d'un tunnel en charge exécuté sur la rive droite.

Ce tunnel a été percé avec des pentes variables de 0^m,006 à 0^m,008 par mètre et renforcé sur une partie de sa longueur par un tubage en tôle de 1^m,80 de diamètre. Ces travaux ont démontré la possibilité d'utiliser des chutes de hauteur moyenne au moyen de percement en tunnel, quand l'épaisseur du rocher atteint 30 à 40 mètres.

Une troisième installation a consisté à augmenter la longueur de la première conduite en remontant la prise à la cote 496, ce qui a donné une chute de 140 mètres. Enfin, en prévision d'une extension ultérieure de

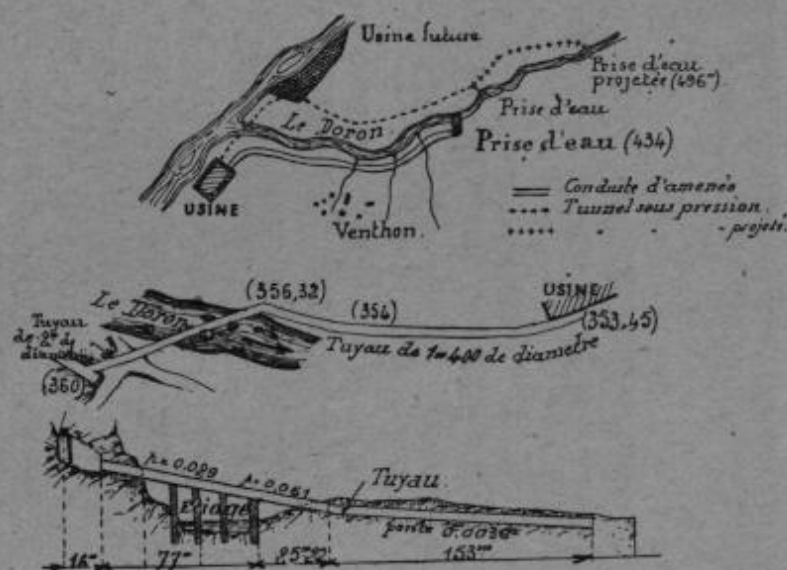


FIG. 933.

l'installation, il a été aménagé, à la tête aval du tunnel, une culotte de 2 mètres de diamètre avec deux tubulures de 1^m,40 ; l'une d'elles dirige l'eau motrice sur l'usine actuelle au moyen d'un tuyau de 1^m,40 et de 265 mètres environ de longueur, qui traverse le Doron sur deux piles en maçonnerie ; l'autre tubulure d'attente est destinée à desservir les usines à élever plus tard.

Le débit à l'étiage du Doron est de 5 mètres cubes, et il est facile de le porter à 7 mètres par un aménagement convenable du lac de la Girotte (1.736 mètres), auquel on peut emprunter, par une galerie percée à une profondeur de 15 mètres, un volume de 8.777.000 mètres cubes, soit 2 mètres cubes pendant cinquante jours. Le lac a une superficie de 57 hectares environ, celle de son bassin est de 450 hectares. La hauteur d'eau tombant annuellement à cette altitude, dans le voisinage du mont Blanc, dépasse 2 mètres ; on est donc à peu près certain de voir tous les ans se renouveler la réserve de près de 10.000.000 de mètres cubes mise à la disposition des besoins industriels.

La Société électro-métallurgique du Sud-Est, filiale de la Société aluminium du Sud-Ouest, a acquis l'usine de Venthon pour y fabriquer de l'aluminium. Cette société a acheté en même temps tous les droits de M. Aubry, qui ont permis la création d'une force supplémentaire de 15.000 HP sur le Doron de Beaufort.

380. Usine du Somport (Espagne) (chute, 150 mètres). — Les gouvernements français et espagnols ont décidé la création de deux lignes im-



FIG. 934. — Tracé des deux nouvelles lignes transpyrénéennes du Somport et de Puymorens.

portantes : ligne de Puymorens à Barcelone et la ligne du Somport en raccordement du sud express vers Madrid et Lisbonne (fig. 934).

Pour la deuxième ligne, il a été créé une usine hydroélectrique et une usine réceptrice produisant et distribuant la force électrique employée pour l'éclairage et la traction dans le souterrain franchissant le faite de la chaîne des Pyrénées (fig. 935 et 936).



FIG. 935. — Schéma des installations hydroélectriques de Somport.

Barrages. — Les barrages de prise d'eau sont établis sur le gave d'Aspe et ses affluents, le gave d'Espelunguère et le ruisseau du Coueq.

Le barrage d'Aspe a 5 mètres de large à la base et 15 mètres au sommet avec une hauteur de retenue de 12 mètres emmagasinant 75.000 mètres cubes. Il a en plan la forme d'une courbe et en profil il a 5 mètres d'épaisseur à la base et de 2 mètres au sommet. Les efforts sont reportés latéralement sur les parois et l'encastrement est fait d'un côté dans le terrain et de l'autre sur des sommiers en maçonnerie, eux-mêmes encastres dans le rocher de rive. A la base de ce barrage sont disposés deux tuyaux de chasse

de 0^m,600 de diamètre, destinés à l'évacuation des pierres et des sables amenés par le torrent ; les orifices sont obturés par deux vannes manœuvrées de la partie supérieure.

Pour la construction du barrage, on a établi un batardeau et dévié les eaux du Gave par une galerie percée dans la paroi rocheuse de la rive et destinée ultérieurement au passage de la conduite forcée. Après un parcours de 50 mètres dans ce souterrain, les eaux retombaient dans le Gave par une ouverture latérale ; ce procédé a permis de construire le barrage à sec, et sans frais spéciaux de déviation.

Les barrages du gave d'Espelunguère et du ruisseau du Couecq sont



FIG. 936. — Vue de la tête (versant français) du tunnel du Somport et du chantier des Forges d'Abel.

constitués par des massifs de maçonnerie de 2^m,50 de hauteur, formant déversoir et munis d'une vanne de chasse. L'étroitesse des gorges de ces deux torrents n'a pas permis de compter sur une réserve d'eau appréciable, d'où inutilité de barrages de grande hauteur.

Conduites forcées. — Les eaux de ces trois barrages sont amenées à l'usine génératrice des forges d'Abel au moyen d'un ensemble de conduites forcées en tôles d'acier, se réunissant en un collecteur unique. La conduite du barrage d'Aspe, dont la prise d'eau se fait dans un massif de maçonnerie à la base du barrage, passe d'abord dans un souterrain de 2 mètres de largeur sur 2 mètres de hauteur, d'une longueur de 217 mètres ; un tuyau vertical, branché à proximité de l'orifice de prise d'eau, sert de reniflard pour éviter les coups d'air dans la conduite, dont l'entrée est

commandée par une vanne de 0^m,80 ; le tunnel est bouché hermétiquement par un massif de maçonnerie ayant pour but d'éviter les infiltrations.

Les conduites des trois barrages ont les dimensions respectives suivantes :

— Conduite d'Aspe (A) : 709 mètres de longueur ; 0^m,50 de diamètre ; tôle de 3 millimètres d'épaisseur.

Conduite de Couecq (B) : 329 mètres ; 0^m,40 de diamètre ; se branche sur la conduite d'Espelunguere (C) : 1.418 mètres ; 0^m,40 de diamètre.

Une jonction étant déjà opérée entre les conduites B et C, les canalisations A et C arrivant de droite et gauche au-dessus de l'usine, sont branchées sur une conduite principale de 0^m,60 de diamètre, descendant sur un parcours de 470 mètres jusqu'au collecteur de distribution. Une cheminée d'équilibre est également branchée au point de jonction des conduites, afin d'annuler les effets des coups de bélier produits par les variations de pression dans des canalisations d'aussi grande longueur. Cette cheminée a une longueur de 72 mètres ; elle est posée sur une pente très rapide. La conduite principale est en tôle ; son épaisseur, à la base, augmente progressivement de 4 millimètres à 8 millimètres ; sa longueur est de 470 mètres. Le collecteur de distribution, placé à l'entrée de l'usine, termine la conduite principale. Il porte 3 tubulures munies de vannes ; les deux premières alimentant les turbines, sont d'un diamètre de 0^m,350 ; la troisième est destinée à l'alimentation éventuelle d'une turbine supplémentaire. Elle est utilisée actuellement comme prise d'eau sous pression pour les besoins du chantier. Le diamètre du collecteur est uniformément de 0^m,600.

Toutes les parties des conduites forcées sont en tôles d'acier extra-doux emboîtées et rivées. Les tronçons ont une longueur de 6 mètres et sont terminés à leurs extrémités par des brides en cornières d'acier soudées et dressées à chaud au marbre. Les jonctions se font au moyen de boulons serrant entre ces brides un joint en plomb muni de rainures concentriques, entre lesquelles on place un cordon de bitord imprégné de minium.

Usine génératrice. — L'usine génératrice est située à proximité de la tête du souterrain, au confluent des deux gaves. Son plancher, placé à 3^m,40 au-dessus de l'étiage, est à la cote 1.072,50, ce qui donne des hauteurs de chute de 188 mètres pour le barrage d'Espelunguere et de 59 mètres pour le barrage d'Aspe ; en tenant compte des pertes de pression occasionnées par le frottement dans les conduites, la hauteur nette de chute utilisée reste de 150 mètres.

TURBINES. — Sous cette pression, l'eau est utilisée par deux turbines Escher-Wyss, genre Pelton, absorbant 400 litres par seconde et produisant 600 chevaux-vapeur avec une vitesse de 500 tours par minute. Elles sont

munies de régulateurs de pression et de servo-moteurs hydrauliques servant de régulateurs de vitesse.

Les turbines sont accouplées directement chacune sur l'arbre d'un alternateur, au moyen d'un volant-manchon d'accouplement placé en porte-à-faux sur l'arbre de la turbine, et pesant 2.830 kilogrammes.

ALTERNATEURS. — Les alternateurs sont du type Thomson-Houston à 6 pôles, produisant du courant triphasé à 25 périodes sous 5.500 volts ; l'excitation se fait par une génératrice de 12 chevaux, commandée par une poulie placée sur l'arbre de l'alternateur du côté opposé à la turbine.

Deux groupes donnant ensemble 1.200 chevaux ont été installés dès l'origine, mais le collecteur d'amenée d'eau et l'usine elle-même sont disposés de manière à permettre l'installation d'un troisième groupe, si le besoin s'en faisait sentir pendant le cours des travaux.

Pour la mise en parallèle des deux alternateurs, l'on se sert d'un tableau synchroniseur, composé d'un synchroniseur Lincoln, avec interrupteur, bobine de self, et lampes indiquant le synchronisme. Le tableau de cette usine génératrice comprend pour chaque alternateur : les transformateurs des instruments de mesure, voltmètre, ampèremètre, compteur, interrupteur et disjoncteur automatique à action différée, ainsi qu'un voltmètre à cadran lumineux sur console. Sur le feeder de départ sont montés les parafoudres de protection de cette installation à haute tension.

Usine réceptrice. — Elle est installée à quelque distance de la précédente, sur le plateau des installations. Elle comprend deux groupes de compresseurs à commande électrique à haute tension, et un poste de transformation fournissant le courant à basse tension pour deux autres groupes compresseurs et divers autres moteurs, ainsi que pour l'éclairage et la traction dans le souterrain.

Le courant à haute tension est amené de l'usine génératrice à l'usine réceptrice par deux feeders triphasés, l'un aérien et l'autre souterrain. Il est transformé à basse pression au moyen de différents groupes :

1° Par deux transformateurs statiques de 200 kilovolts-ampères, donnant 220 volts au secondaire ; ce courant est utilisé par les moteurs des compresseurs auxiliaires, des ventilateurs, de la scierie, et surtout pour l'alimentation des transformateurs suivants ;

2° Un transformateur rotatif, composé d'un moteur de 100 chevaux à 220 volts, triphasé, accouplé sur un socle commun à une dynamo, fournit du courant continu à 120 volts, employé pour l'éclairage du chantier et les moteurs des concasseurs ;

3° Deux transformateurs rotatifs produisent le courant à 300 volts utilisé pour la traction et la lumière dans le souterrain. Chacun d'eux a une puissance effective de 100 chevaux et se compose d'un moteur à

220 volts, accouplé sur un socle commun à une dynamo donnant 300 volts en charge.

Tous les tableaux nécessaires au fonctionnement de ces machines ont été prévus. Ils se groupent en trois tableaux d'ensemble :

Tableau à haute tension, avec panneau de deux transformateurs et deux moteurs ;

Tableau à basse tension, pour courant alternatif ;

Tableau à basse tension, pour courant continu, avec départ des feeders de traction.

L'air comprimé nécessaire au fonctionnement des perforatrices employées dans le souterrain est produit par quatre compresseurs.

Deux de ces compresseurs sont commandés, chacun par un moteur triphasé de 250 chevaux sous 5.500 volts, accouplé par courroie. Le compresseur est du type Ingersoll-Rand à deux étages. Dans un premier cylindre, un piston aspire 2.400 mètres cubes d'air à l'heure, et les comprime à 2 kilogrammes environ pour les faire passer, à travers un réfrigérant à circulation d'eau, dans un second cylindre les refoulant sous une pression de 8 kilogrammes, qui est celle d'utilisation.

Le second groupe comprend également deux compresseurs à 8 kilogrammes, commandés par deux moteurs à 220 volts. Mais la puissance absorbée n'est que de 60 chevaux, et le volume d'air aspiré par heure, de 520 mètres cubes. Ces deux groupes de 60 chevaux ont constitué, à l'origine, une usine de compression provisoire pendant la période des installations. Ils sont actuellement remplacés par un troisième groupe de 250 HP identique aux précédents. L'air, comprimé par tous les groupes compresseurs, est refoulé dans deux réservoirs jumelés placés à l'extérieur de la salle des machines, et desquels part la canalisation en tubes d'acier conduisant cet air dans le souterrain. Une série de vannes permet d'isoler les compresseurs, les réservoirs ou les canalisations en cas de besoin.

381. Usine de Tivoli (Italie) (*chute, 160 mètres*). — Les eaux utilisées proviennent du trop-plein des aqueducs de l'Acqua-Marcia, de celui de la Société des forces hydrauliques et du canal collecteur des Cascatelles qui relève les eaux de l'Aniène surélevées par un barrage.

Prises d'eau. — Celle de l'Acqua Marcia, à Tivoli, est dérivée par une galerie de 4 mètres carrés de section et conduite dans une chambre de décantation d'où part la conduite forcée qui débite 1 mètre cube à la seconde.

La prise d'eau de l'aqueduc de la Société des Forces hydrauliques débite 4 mètres cubes à la seconde. L'eau est tamisée deux fois par deux grilles pour maintenir la régularité de l'écoulement.

La prise d'eau des Cascatelles comporte le barrage construit à l'amont

des Cascatelles de Vesta, le barrage de la vallée de l'Aniène et le canal faisant suite à ce dernier. Le vaste bassin formé par le canal des Cascatelles se déverse à ses deux extrémités, dans une double galerie, qui, se transformant ensuite en un canal unique, débouche à l'amont du barrage.

Le barrage de la vallée de l'Aniène a 16 mètres de hauteur, 13^m,50 à la base et 3^m,50 au sommet. Il a été calculé pour une lame déversante de 3 mètres qui correspond au débit des plus hautes eaux de l'Aniène, soit 420 mètres cubes à la seconde. Le lac qu'il crée à l'amont a 5.300 mètres carrés de superficie.

Canal d'amenée. — Ce canal, capable de débiter 10 mètres cubes à la seconde, se développe sur la rive droite de l'Aniène, sur une longueur de 1.230 mètres dont 322 mètres en souterrain. Il aboutit à une chambre de décantation où, au moyen de déversoirs appropriés, les eaux sont partagées pour les besoins des irrigations, pour le service de la Société anglo-romaine et pour l'usine hydroélectrique. Ces dernières passent dans deux grands bassins de décantation et, après avoir traversé une grille noyée, arrivent dans une chambre de prise d'eau.

Conduites forcées. — La conduite de l'aqueduc Marcia est formée d'anneaux de diamètre alterné ; le diamètre intérieur du plus petit est de 900 millimètres et l'épaisseur varie de 7 millimètres en haut et 15 millimètres en bas. Elle a 535 mètres de longueur dont 310 en galerie. Elle se termine par une vanne à servo-moteur hydraulique actionnée par de l'eau, provenant du réservoir des régulateurs.

La conduite des eaux de la Société des forces hydrauliques est formée d'anneaux de 1^m,50 et dont l'épaisseur varie de 8 à 16 millimètres. Elle se développe d'abord en galerie sur 177 mètres, puis sur un plan incliné à 60° sur l'horizon, à l'extrémité duquel elle est ancrée dans un bloc de maçonnerie de ciment de 254 mètres cubes.

Les conduites forcées du canal de l'Aniène sont au nombre de trois, construites par les ateliers de Forlì. Elles sont posées sur un plan incliné en maçonnerie. Chaque conduite est munie à son origine d'une vanne, d'une prise d'air et d'un anneau de glissement.

Turbines. — Elles sont au nombre de sept ; savoir quatre turbines Girard à axe à horizontal, introduction partielle centrale et décharge périphérique libre et trois turbines Francis à palettes directrices et avec aspiration de 5^m,50. Ces dernières sont à admission totale.

Le régulateur est identique pour toutes les turbines et comporte un tiroir de distribution et un relais hydraulique. En raison du pouvoir incrustant des eaux, on n'a pu employer le système ordinairement usité dans les turbines Francis (variation de l'inclinaison des palettes directrices).

Les turbines formant sept groupes fonctionnent comme suit : le pre-

mier groupe marche sous une charge de 160 mètres et un débit de 1 mètre cube à la seconde (Acqua Marcia) ; le deuxième groupe peut aussi fonc-

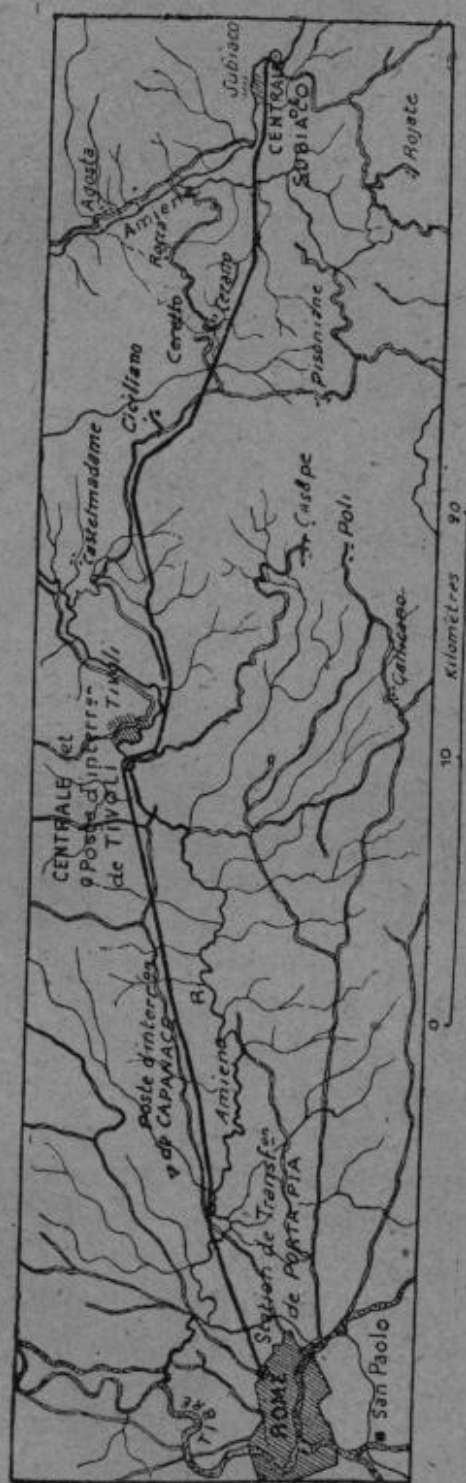


FIG. 937. — Transports de force Tivoli-Rome et Subiaco-Rome.

tionner sous 160 mètres et sert de réserve soit au premier groupe, soit aux troisième et quatrième groupes établis pour 100 mètres de charge et 1.600 litres de débit. Les cinquième, sixième et septième groupes fonctionnent sous 42^m,50 plus 5^m,50 d'aspiration. Le débit du canal d'Aniène étant de 6^m³,66 à l'étiage, permet d'actionner deux turbines. L'une d'elles sert donc de réserve.

La puissance totale disponible à l'étiage sur les axes des cinq turbines (deux au repos) est de 8.000 chevaux.

Bassin et canal de fuite. — Les eaux provenant des turbines se déversent dans un grand bassin de 57^m,70 sur 7^m,50 où tombent librement celles qui proviennent des turbines Girard et où se déversent de leurs petits puits celles qui proviennent des tubes d'aspiration des turbines Francis.

ALTERNATEURS. — Sur l'axe de chaque turbine est calée, comme volant, la roue des inducteurs des alternateurs et les excitatrices sont placées en bout d'arbre. Les inducteurs ont 24 pôles cylindriques en acier fondu.

Le courant fourni est du triphasé à 10.000 volts, chaque unité pouvant produire 3.464 kilowatts, soit 4.700 chevaux électriques, et les sept machines donnent 32.900 chevaux

électriques sur circuits non inductifs et 23.000 chevaux avec $\cos \varphi = 0,7$.

Ligne de transmission. — La première ligne Tivoli-Rome (25.858 kilomètres) était à courant monophasé 5.000 volts; elle a été ensuite portée à

10.000 volts en système triphasé. Pour assurer le service varié du travail (éclairage, force motrice, traction), une des phases a une résistance double de celle des autres phases.

La nouvelle ligne a été établie à côté de la première et entièrement séparée et disposée à 2 mètres de distance. Le conducteur a une section de 240 millimètres carrés pour chaque phase répartie entre quatre conducteurs de 60 millimètres carrés (*fig. 937*).

La perte en ligne a été moyennement de 11 0/0, tandis que la chute de voltage a été de 14 0/0. À l'extrémité de la ligne, la tension était maintenue constante et égale à 8.400 volts.

382. Usine de la Rutz (Autriche) (chute, 167 mètres). — L'usine est située sur le Ruetzbach, au sud d'Innsbruck. Elle fournit l'énergie pour la traction du chemin de fer de Mittenwald.

AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — La prise d'eau se trouve à la cote 887,75 au-dessus du niveau de la mer. Le débit minimum du cours d'eau est 2.100 litres et un débit moyen de 4.000 à 5.000 litres.

Le canal d'amenée a 5.400 mètres de longueur ; il débouche au-dessus de l'usine dans un réservoir de 3.000 mètres cubes, à l'effet d'assurer le passage des pointes de charge.

De ce réservoir partent d'une part la conduite forcée, d'autre part le canal de trop-plein. La conduite forcée, d'une longueur totale de 338 mètres, est divisée en trois zones dont les diamètres respectifs sont de 1^m,45, 1^m,35 et 1^m,25. Elle est constituée par des tubes en tôle soudée ; pour le calcul, on a admis un effort de 750 kilogrammes par centimètre carré.

TURBINES. — L'usine est disposée pour une puissance de 4.000 chevaux, en trois groupes. Les turbines sont des roues tangentielles à haute pression avec admission périphérique. Chacune développe avec un débit normal de 1.750 litres par seconde et une hauteur de chute de 167 mètres, à la vitesse de 300 tours, 3.080 chevaux à pleine admission et 1.480 chevaux à demi-admission. En surcharge on peut atteindre 3.550 et même 4.000 chevaux. Le rendement entre la pleine charge et la demi-charge varie de 0,76 à 0,79, ce qui répond aux exigences particulières d'un service de traction. Les vannes d'obturation sont commandées par servo-moteurs hydrauliques actionnés eux-mêmes par huile sous pression. Les soupapes de manœuvre sont munies d'amortisseurs, de sorte que le mouvement de fermeture ne peut s'effectuer en moins de 15 secondes. Les régulateurs sont actionnés par l'huile sous pression fournie par une pompe rotative tournant constamment et pourvue d'une soupape d'excès de pression. Le temps de fermeture des régulateurs est de 1,5 à 2 secondes et peuvent être réglés selon les besoins du service.

ALTERNATEURS. — Ils sont du type monophasé pouvant développer

chacun une puissance normale de 8.000 kilovolts-ampères sous 3.000 volts et à 15 périodes. Ils sont hexapolaires et tournent à 300 tours et accouplés directement aux turbines.

Chacun d'eux reçoit en bout d'arbre une excitatrice de 50 kilowatts sous 115 volts. Pour assurer la ventilation le volant inducteur est muni d'ailettes et les paliers disposés pour le refroidissement par circulation d'eau.

Pour $\cos \varphi = 1$, le rendement des alternateurs à pleine charge est de 93,50 et à trois quarts de charge, 92 0/0 et à demi-charge, 89,50 0/0.

Le réglage de la tension s'opère, d'une part, à l'aide de régulateurs magnétiques, d'autre part à l'aide de rhéostats de champ pour les excitatrices. En outre un régulateur Tirrill est prévu pour le réglage automatique de la tension du réseau.

TRANSFORMATEURS. — Chaque alternateur est relié à un transformateur qui élève la tension à 50.000 volts. Il n'est pas disposé de barres omnibus sur le circuit à 3.000 volts, ce qui évite les interrupteurs. La puissance individuelle des transformateurs en service permanent est de 1.800 kilovolts-ampères. Le refroidissement est opéré par l'huile et par circulation d'eau. Chaque transformateur est logé dans une chambre ignifugée et pourvue d'une active circulation d'eau.

Il n'y a d'interrupteurs que sur le circuit à 50.000 volts ; pour une ligne de transmission d'énergie les interrupteurs sont doubles, l'un servant de réserve.

Ils sont commandés à distance et en outre munis d'un déclenchement automatique à action différée réglable et d'une commande à main.

Lignes de transport d'énergie. — Elle est supportée par les poteaux de la ligne de contact. Chaque partie, longue de 6 kilomètres environ, comporte trois fils dont deux seulement sont normalement en service. Un fil de cuivre règne tout le long de la ligne, au sommet des poteaux, et est relié à des prises de terre humides. Les poteaux sont à treillis et placés normalement, à 80 mètres les uns des autres. Toutes les quatre à cinq portées se trouve un poteau muni d'un système de stabilisation en cas de rupture de la ligne d'un seul côté.

Les isolateurs sont du type à suspension à maille ; ils ne pèsent que 2^{km},8 par pièce et possèdent cependant une résistance à la rupture de 7.000 à 8.000 kilogrammes. Pour les poteaux d'angle, la ligne est reçue sur des isolateurs ter deurs ou à chaîne.

383. Usine de la Empreza (Portugal) (chute, 168 mètres). — Cette usine a été édifée sur la rive droite du Alva, petit fleuve torrentiel dans la province de Beira-Bairea.

AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — La prise d'eau, établie à 2.100 mètres

en amont de l'usine, comprend un barrage en maçonnerie avec écluses de décharge et bassin de décantation (fig. 938).

Les dimensions données aux ouvrages de prise et d'amenée permettent de dériver un volume d'eau de 2.000 litres à la seconde.

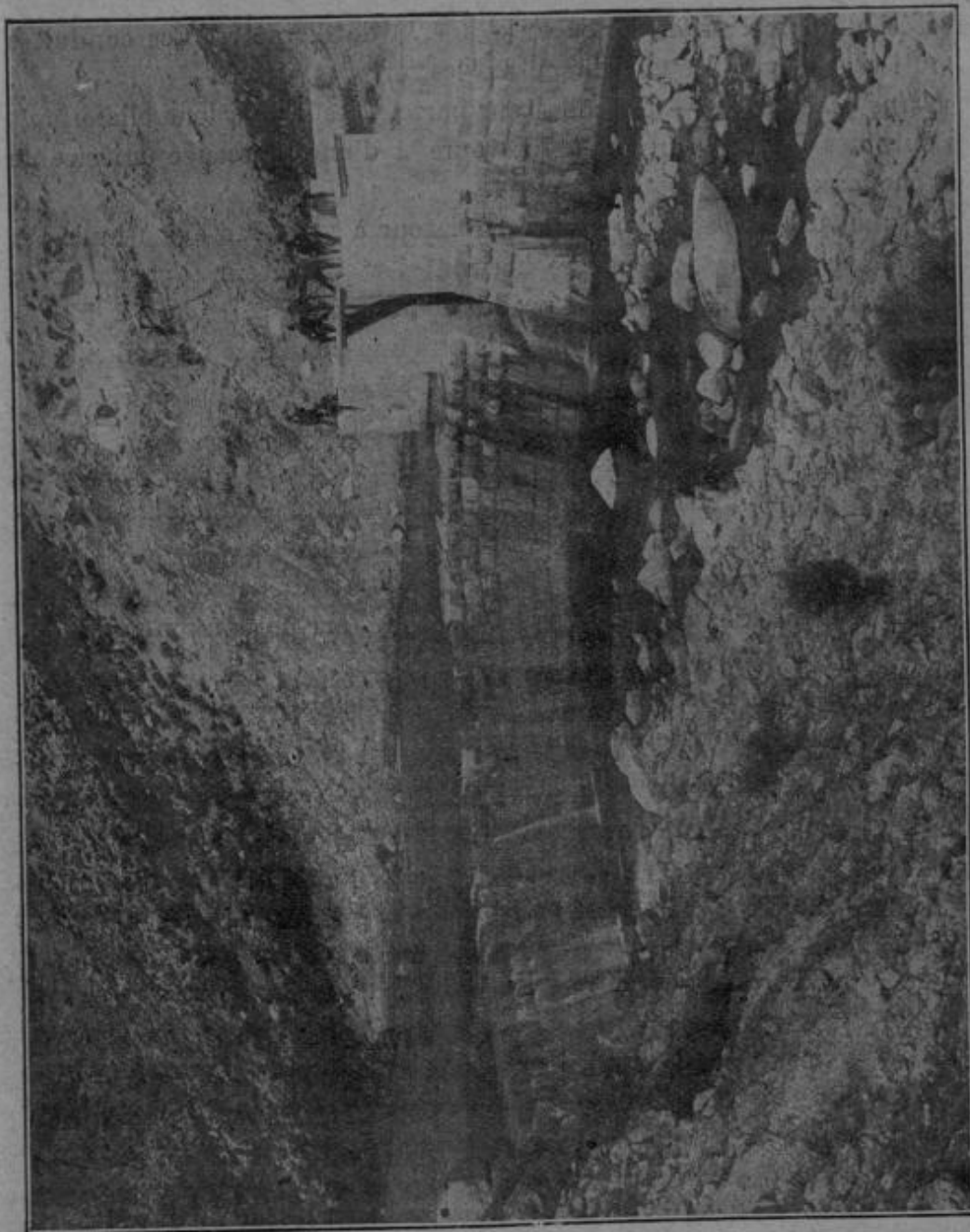


Fig. 938. — Usine de la Empreza. — Barrage de la prise d'eau du Alva.

Le canal d'amenée a été établi avec une pente de 0,0007 et la vitesse moyenne de l'eau est de 1^m,50 par seconde. Il a une longueur de 2.942 mètres et aboutit à un bassin de charge comprenant deux chambres avec grilles et écluses précédant l'ouverture des conduites forcées.

A l'une des extrémités du bassin de charge se trouve une écluse de

décharge et le trop plein. Les eaux provenant du trop plein du bassin sont rejetées dans le fleuve au moyen d'un canal qui débouche dans un ravin naturel où l'eau retombe en cascade. La hauteur de chute utile est de 168 mètres et la puissance de l'usine 4.500 chevaux.

Les conduites forcées sont constituées par des tubes en tôle d'acier rivetés, de 6 mètres de longueur et 0^m,70 de diamètre. Ces conduites aboutissent à un collecteur alimentant les turbines.

Usine génératrice. — Du collecteur partent les dérivations alimentant les turbines Pelton tournant à 750 tours et d'une puissance unitaire de 500 chevaux.

Chaque turbine est munie d'un régulateur à servo-moteur à huile.

Les alternateurs sont à arbre horizontal et inducteur tournant avec excitatrice en bout d'arbre. Ils produisent du courant triphasé à 50 périodes, à la tension de 5.000 volts. Ils ont une puissance individuelle de 435 kilovolts-ampères.

Des transformateurs élèvent la tension à 120.000 volts.

Tous les appareils et instruments sont alimentés sous une tension de 110-120 volts par l'intermédiaire de transformateurs-réducteurs de tension et d'intensité branchés sur les circuits à haute tension.

Lignes de transmission. — Ces lignes, au nombre de deux, ont un développement de 50 kilomètres. Elles sont établies sur poteaux métalliques.

384. Usine de Bex (Suisse) (chute, 170 mètres). — Cette usine, qui fournit l'énergie pour l'actionnement du chemin de fer électrique de Bex-Gryon-Villars, emprunte sa force à la rivière l'Avançon au moyen d'un barrage de prise d'eau en maçonnerie. Le débit de ce torrent est de 800 litres par seconde.

L'eau retenue par le barrage est conduite par un canal souterrain de 1.432 mètres de longueur à un réservoir en ciment armé, d'une contenance de 18.000 litres. De ce réservoir part une conduite forcée en tôle d'acier dont l'épaisseur varie de 5 à 14 millimètres et dont le diamètre inférieur est de 90 centimètres. La longueur de cette conduite est de 402 mètres.

Les turbines, au nombre de six, sortent des ateliers de la maison Escher-Wyss, de Zurich. Elles sont à axe horizontal avec servo-moteur hydraulique et d'une puissance individuelle de 400 HP à 600 tours.

Quatre alternateurs Westinghouse desservent un réseau de distribution de force motrice et deux dynamos Thury hypercompound, de 300 ampères sous 650 volts, alimentent le chemin de fer électrique.

385. Usine de Fontpedrouse (Pyrénées-Orientales) (chute, 180 mètres). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Cette usine, qui appartient à la Compagnie des chemins de fer du Midi, pour l'électrifica-

tion de la ligne Villefranche-Vernet-les-Bains, recueille les 1.000 litres de l'usine de la Cassagne à l'aide d'une dérivation prise sur la rive droite de la Têt, en captant au passage les eaux du Riberolle, soit 500 litres-seconde.

La hauteur de chute est de 180 mètres.

Les travaux entrepris vers la fin du mois de septembre 1912 furent terminés, en juin 1913, montrant avec quelle rapidité la maison Thévenot fils a enlevé cette installation.

Prise d'eau. — Le barrage est établi à 100 mètres en aval de l'usine de la Cassagne ; longueur 45 mètres, hauteur 8 mètres libre, épaisseur 6^m,80 à la base et 1^m,50 à la crête. Il est muni d'un déversoir, à la cote 1186, et de deux grandes vannes de décharge. La retenue forme un lac artificiel d'une contenance de 2.500 mètres cubes qui alimente un bassin de décantation et de prise d'eau, ce dernier recevant les eaux par déversement au moyen de deux vannes. A la suite de ce bassin en existe un autre de dimensions plus petites. Les eaux ainsi purifiées arrivent au canal d'amenée. Un système de vannes permet, sans arrêter la marche de l'usine, de nettoyer le bassin lorsque c'est nécessaire.

Canal de dérivation. — Le canal d'amenée qui a 2.600 mètres de longueur, non compris un siphon, est exécuté en souterrain sur 1.200 mètres de longueur. Ce tunnel a une largeur de 1^m,70 et une hauteur de 1^m,80. La partie du canal à ciel ouvert est en béton armé et a la forme d'un tube à section rectangulaire reposant sur une plateforme taillée à flanc de montagne. Le siphon, en tôle d'acier, pour la traversée de la vallée de la Riberolle, a une section tubulaire de 0^m,90 de diamètre, sa longueur développée est de 250 mètres. La différence de niveau rachetée est de 60 mètres.

Chambre d'eau forcée. — Le bassin de mise en charge a 120 mètres de longueur et une largeur de 10 mètres ; un mur coupé par une grille divise le bassin en deux chambres, dont l'une fait office d'un grand réservoir et l'autre de chambre de mise en charge. Une vanne de chasse permet d'évacuer les matériaux étrangers arrêtés par la grille. Un grand déversoir est aménagé à côté du mur de séparation des deux chambres et est complété par un canal de fuite pour le trop-plein des eaux, donnant lieu à une superbe cascade.

Conduite forcée. — Elle a 350 mètres de longueur ; son diamètre est de 1 mètre. Elle est constituée à la partie supérieure, sur une longueur de 150 mètres, par des tuyaux rivés et à la partie inférieure par des tuyaux soudés. L'épaisseur de ces tuyaux au départ est de 5 millimètres et 18 millimètres à l'arrivée à l'usine. La conduite forcée a été exécutée par la maison Bouchayer et Viallet.

USINE. — La salle des machines a 25 mètres de longueur sur 14 mètres

de largeur et 9 mètres de hauteur. Elle a été aménagée pour recevoir deux groupes de turbo-alternateurs de 2.200 chevaux chacun. Une annexe adossée à la salle des machines reçoit tous les appareils à haute tension, courant monophasé 13.000 volts, 16,66 périodes. Elle débite en parallèle avec une sous-station existant à Villefranche. Elle comprend deux groupes électrogènes, composés chacun d'une turbine Pelton (Maison H. Bouvier) de 2.200 chevaux tournant à 500 tours. L'usine est susceptible de fournir 1.375 k. v. a. avec $\cos \varphi = 0,8$.

La ligne de transport de force de Fontpedrouse à Villefranche-Vernet-les-Bains, établie le long du chemin de fer électrique de Cerdagne, est montée sur pylônes en béton armé système Thévenot fils. Elle se compose de deux câbles en aluminium de 131 millimètres carrés de section.

386. Usines de l'Argentière (Basses-Alpes) (*chute, 175 mètres*). —

Ces usines, qui appartiennent à la Société Électrométallurgique française, sont au nombre des plus puissantes usines hydroélectriques de France.

Les chutes de 175 mètres de hauteur qu'elles utilisent existent sur la Durance et la Gyronde, cette dernière affluent de droite de la première. Toutes deux ont été dérivées au moyen de tunnels entièrement revêtus. Ceux-ci ont un confluent souterrain de 1.500 mètres, en amont du point où commencent les conduites forcées, qui leur font suite.

Les travaux de dérivation ont un développement supérieur à 15 kilomètres et les tunnels sont établis de façon à permettre, quand les débits sont faibles, de récupérer la plus grande partie de la perte de charge à laquelle ils donnent lieu en hautes eaux ; ils assurent ainsi une très bonne utilisation de la chute pendant les périodes d'étiage.

La dérivation sur la Gyronde comporte un ouvrage remarquable ; c'est un siphon métallique de 2^m,65 de diamètre, qui traverse par un pont en arc comme celui de l'usine de la Praz, une gorge de 95 mètres de profondeur, avec une portée de 64 mètres.

Les conduites forcées des deux usines sont au nombre de quatre ; elles ont 1^m,66 de diamètre et un développement de 800 mètres environ.

La salle des machines renferme vingt-huit groupes turbines-dynamos et deux groupes convertisseurs représentant ensemble une puissance installée de 46.230 chevaux.

Les usines de l'Argentière comportent une usine à électrodes et auprès d'elles s'élèvent deux cités-jardins.

387. Usine de Chedde (Haute-Savoie) (*chute, 180 mètres*). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — La rivière l'Arve (§ 30), sur laquelle est prise la chute de Chedde, est un des cours d'eau torrentiels alpestres

qui contiennent les plus importantes réserves d'énergie ; son débit d'étiage est soutenu par une abondante fonte de glaces, sa pente est rapide, et il reçoit le tribut des neiges du mont Blanc.

L'usine électrochimique de Chedde a sa prise d'eau voisine du village de Servoz. Cette prise d'eau est commune à la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, pour son usine hydroélectrique du Châtelard (chemin de fer électrique de Chamonix au Fayêt), et à la Compagnie des eaux de l'Arve pour son usine de Chedde.

La hauteur totale de la chute est de 180 mètres, divisée en deux parties (fig. 939) ; la partie supérieure a 40 mètres et la partie inférieure 140 mètres. Celle-là est utilisée par la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée dans l'usine de Servoz (4 turbines de 325 HP chacune), qui, avec l'usine des Chavants, — qui emploie en amont une autre chute sur l'Arve, de 94 mètres, donnant 6.000 HP, — fournit toute l'énergie nécessaire à la traction électrique.

L'usine de Chedde, pouvant bénéficier d'un débit de 10 mètres cubes sous 140 mètres de chute, dispose ainsi de près de 14.000 HP ; elle en utilise actuellement 12.800 à l'aide de turbines du système Girard à libre déviation, à axe horizontal et tournant à 240 tours.

Canal de prise d'eau. — L'eau dérivée du torrent est admise dans un premier tunnel qui traverse le massif des Gûres ; la première partie de cet ouvrage a $6^m,00 \times 5^m,50$ sur 200 mètres de longueur, servant de chambre de décantation des sables que la rivière charrie en hautes eaux. Une galerie de chasse réunit directement l'aval de cette chambre à la rivière, en aval de la prise d'eau. A l'extrémité de ce premier tunnel de 505 mètres de longueur, l'eau est conduite soit au-dessous de l'usine de Paris-Lyon-Méditerranée, soit, par un puits incliné capable de recevoir le débit total, dans le second tunnel, dont nous allons parler, en évitant complètement cette usine, selon les besoins.

Quand l'usine de Servoz est en fonctionnement, l'eau qui l'alimente, à

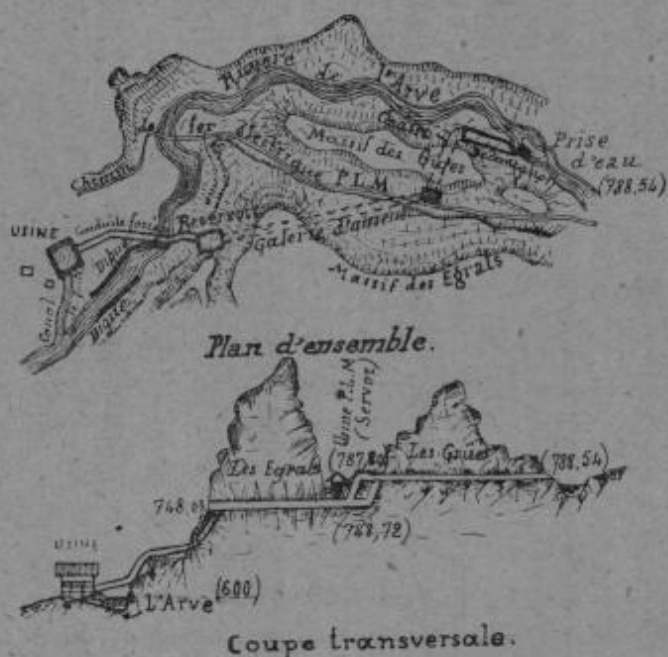


FIG. 939.

la sortie du canal de fuite gagne le second tunnel, qui traverse le massif des Égrats et débouche sur le flanc de cette montagne à 140 mètres au-dessus de l'usine de Chedde. Cette galerie a 672 mètres de longueur et 2^m,50 de large sur 2^m,25 de haut.

A l'extrémité aval de ce canal se trouve la chambre de prise d'eau, qui n'a rien de particulier.

Conduites forcées. — Deux conduites de 1^m,40 de diamètre partent de l'extrémité aval de la chambre de travail, amènent l'eau en suivant la pente très forte de la montagne, traversent en aqueduc souterrain la route de Chamonix, et l'Arve, sur un pont métallique de 75 mètres de portée.

Le métal employé est la tôle d'acier ; l'épaisseur au sommet est de 6 millimètres et atteint 14 millimètres à la partie inférieure, correspondant à un travail de 8 kilogrammes par millimètre carré.

Chacun des tuyaux porte six prises pour les turbines ; un de ces tuyaux dessert la partie nord de l'usine, l'autre la partie sud.

Sur un gros branchement en boucle reliant par dessus les deux tuyaux de 1^m,40, en face de la partie centrale de l'usine, sont les prises d'eau pour tous les services généraux et pour ceux communs aux fabrications, de façon que ces services soient assurés par les deux colonnes de 1^m,40 ou, en cas d'arrêt de fonctionnement de l'une d'elles, par l'une ou l'autre seulement. Les tôles ont été travaillées et rivetées entre elles sur place.

La canalisation forcée comporte quelques joints pour la dilatation ; cette dernière est en outre facilitée par le mode de fixation de la conduite, qui repose sur des semelles métalliques pouvant se déplacer à droite ou à gauche sur les piliers en maçonnerie qui les supportent. Les coudes assurent une élasticité suffisante pour que la déformation des conduites, sous les efforts de la dilatation, ne présente pas d'inconvénients au point de vue du travail.

La tuyauterie provient des ateliers de MM. Bouchayer et Viellet.

DYNAMOS. — L'usine de Chedde utilise environ 12.800 chevaux, dont 3.200 sont absorbés par 4 génératrices Thury, à courant continu et à 8 pôles, construites par MM. Schneider et C^{ie}. Ces machines fournissent chacune, à la vitesse de 240 tours, un courant de 800 ampères sous 700 volts, soit une puissance de 560 kilowatts.

Quatre autres machines proviennent de la Société alsacienne de constructions mécaniques, et un même nombre des ateliers d'Oerlikon.

EXPLOITATION. — L'usine de Chedde est spécialement affectée à la fabrication du chlorate de potasse et, éventuellement, à celle des produits chimiques par voie d'électrolyse. Elle produit annuellement 2.200 à 2.500 tonnes de chlorate (procédé Gall et de Montlaur, perfectionné par Corlin) et 750 tonnes de carbure.

L'aménagement de la chute et les installations mécaniques de l'usine de Chedde ont coûté en chiffres ronds 1.400.000 francs, ce qui, pour 10.000 HP utilisés, met le prix du cheval à 140 francs. Le prix de revient du cheval-an sur l'arbre des turbines est de 13 francs, et aux bornes des dynamos, 22 francs.

Ces prix exceptionnels proviennent d'un concours de circonstances heureuses : acquisition de riverainetés peu élevée, ouvrages d'aménagement relativement simplifiés et réalisation à frais communs de la prise d'eau avec la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.

388. Usines de la Montana Power Co (E.-U.) (chute, 180 mètres).

— Les huit usines de cette Compagnie situées sur les fleuves Missouri et Madison sont disposées en cascade formant une chute totale de 180 mètres.

Réservoirs. — Cet ouvrage qui a 183 mètres de longueur et 32^m,70 de hauteur, est établi au confluent des deux fleuves; il forme un réservoir de 5.300 hectares de superficie et une réserve de 160 millions de mètres cubes.

L'usine de *Madison River* est alimentée par deux conduites de 3 mètres et 3^m,60 de diamètre et 2.260 mètres de longueur partant d'un barrage situé dans le canon de la rivière. Du bassin de décantation faisant suite, partent quatre conduites forcées de 2^m,75 de diamètre alimentant quatre turbines doubles horizontales Leffel de 3.700 HP chacun, actionnant des alternateurs de 2.500 kilowatts.

Les lignes de transport d'énergie sont à la tension de 46.200 volts et 110.000 volts.

L'usine de *Canyon River* sur le Missouri a son barrage constitué par de la pierre et du bois ; il a 149 mètres de long et 12^m,20 de hauteur et retient 30 millions de mètres cubes. Elle comporte dix turbines doubles horizontales de 1.000 HP. Les lignes de transport d'énergie sont à la tension de 12.000 volts et 70.000 volts.

L'usine de *Hauser Lake* sur le Missouri, détermine une chute de 19^m,80 au moyen d'un barrage de 218 mètres de longueur ; la capacité du réservoir est de 23 millions de mètres cubes. L'usine comporte six turbines horizontales de 4.000 HP. Le courant est transmis par une double ligne à 66.000 volts.

L'usine de *Black Eagle* a une capacité de 13.000 kilowatts fournis par une chute de 13^m,40. A l'extrémité nord du barrage on installe une usine pouvant fournir 10.000 kilowatts.

L'usine de *Rainbow* détermine une chute de 32^m,50 produite par un barrage en pierres et béton en forme de V, lequel a 348 mètres de longueur et 11 mètres de hauteur. Le canal d'amenée est constitué par des conduites

en acier de 4^m,72 de diamètre qui aboutissent à un réservoir de 10.000 mètres carrés de superficie d'où partent douze conduites forcées de 2^m,44 de diamètre, alimentant six turbines doubles Francis centrifètes de 8.000 HP chacune et accouplées à des alternateurs de 3.500 kilowatts et 6.000 volts de tension.

Deux lignes parallèles, à 100.000 volts, sur pylônes d'acier conduisent le courant à Butte (210 kilomètres) et des lignes à doubles poteaux à 50.000 volts s'étendent jusqu'à 202 kilomètres. (Sum River, Havre et Lewistown).

L'*usine de Volla*, située sur les grandes chutes du Missouri, à 20 kilomètres de Great-Falls, a son barrage constitué par une digue en béton de 380 mètres de longueur et 22 mètres de hauteur et dont une partie forme réservoir. La chute déterminée est de 45^m,75 de hauteur et elle alimente six conduites forcées de 3^m,85 de diamètre et deux autres pour le service des excitatrices.

Les turbines sont du type vertical, système Morgan Schmith, accouplées par deux et fournissant 2.800 HP chacune. Les alternateurs, au nombre de six, sont aussi du type vertical de 10.000 kilowatts chacune et 6.600 volts, 60 périodes. Trois lignes à 100.000 volts à deux poteaux transportent l'énergie électrique à 171 et 228 kilomètres.

L'*usine de Thomson Falls*, sur la rivière Colombia, utilise une chute de 16^m,60 au moyen d'une digue en béton de 305 mètres de longueur et 10^m,60 de haut. L'usine est à 180 mètres de la digue et alimentée par un canal creusé dans le roc. Les alternateurs sont du type vertical, 5.000 kilowatts et 6.600 volts. Les lignes de transmission sont à 110.000 volts desservant des mines et des chemins de fer.

L'*usine d'Holler*, sur le Missouri, forme une chute de 30^m,50 de hauteur à l'aide d'un barrage de 412 mètres de longueur, en béton massif. L'usine comprend quatre groupes verticaux Westinghouse de 10.000 kilowatts. La ligne à 110.000 volts est reliée à la ligne Great Falls Anacouda du même réseau. Le réservoir formé par la digue rejoint l'usine d'Hauser-Lake.

La Compagnie possède en outre de petites usines hydroélectriques à Billings, Linnngston et Lewistown et quelques usines à vapeur de réserve à Butte. Le réseau dessert 47 sous-stations dont la capacité totale est de 227.000 kilowatts. Les trois sous-stations de Butte ont des capacités respectives de 13.275, 20.000 et 28.800 kilowatts. Sur les 47 sous-stations, 16 sont en plein air.

389. Usines de Froges (Isère) (chute, 180 mètres). — L'usine de Froges créée en 1888, a été établie sur le ruisseau des Adrets, affluent de gauche de l'Isère.

La dérivation a été faite sur la rive droite du ruisseau d'abord dans un canal à ciel ouvert, ensuite dans une conduite forcée de 550 millimètres de diamètre.

Cette usine possède dans sa salle des machines deux dynamos de 6.000 ampères sous 35 volts et une excitatrice de 500 ampères sous 65 volts.

On sait que c'est à Froges qu'a été produit, pour la première fois en France, de l'aluminium électrolytique. Les fabrications électrométallurgiques y ont cessé à la fin de 1911. Depuis l'usine est utilisée exclusivement pour la transformation de l'aluminium qui y avait été entreprise dès 1905.

Depuis la guerre, son outillage s'est notablement développé, en vue de satisfaire aux besoins de la Défense nationale.

La Société Électrométallurgique française construit actuellement à Froges, sur la demande des Services du ministère de l'Armement et pour la fabrication du ferro-silicium, une nouvelle usine qui sera de beaucoup plus importante que la première.

Elle y mettra en œuvre l'énergie électrique, qui lui sera fournie par la Société hydroélectrique de l'Eau d'Olle, sous une tension de 60.000 volts.

L'*usine du Champ* n'est qu'une dépendance de l'ancienne usine de Froges. Elle possède une chute de 14 mètres sur le ruisseau des Adrets, dont sa conduite prend les eaux, à la sortie de l'usine de Froges.

Il n'a jamais été fabriqué à l'usine de Champ que des électrodes.

Nous citerons aussi, comme usine appartenant à la Société Électrométallurgique française, l'usine de la *Saussaz* à Saint-Michel-de-Maurienne. Elle prend sa force sur la rivière l'Arc, dont la hauteur de chute est de 85 mètres.

La rivière est dérivée sur la rive droite par un tunnel de plus de deux kilomètres de longueur, précédant une conduite forcée de 2^m,90 de diamètre.

La salle des machines renferme vingt-cinq groupes turbines-dynamos, deux groupes turbines-alternateurs et une commutatrice. Ces machines représentent une puissance installée de 17.620 chevaux.

Cette usine est outillée pour produire de l'aluminium et des ferro-alliages. Comme l'usine de la Praz, elle possède une fonderie.

390. Usine de Gesse (Aude) (chute, 184 mètres). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Cette usine, édifée au cours de la guerre, comporte comme travaux de captation : un barrage à Usson sur l'Aude, de 10 mètres de hauteur et 52 mètres de longueur à la crête, à 1 kilomètre du confluent de l'Aude et de la Bruyante ; un canal d'amenée souterrain sur la presque

totalité de son parcours de 7 km,800,entrant en tunnel au départ immédiat de la prise d'eau ; une chambre de mise en charge constituée par un élargissement du canal et deux conduites forcées de 1^m,10 de diamètre et 300 mètres de longueur.

A chaque extrémité du barrage, une vanne de chasse permet d'évacuer les dépôts dus aux apports de la rivière. La section du canal d'aménée est de $2 \times 1^{\text{m}},80$ en moyenne. Le plafond du canal d'aménée, à l'endroit où ce dernier constitue la chambre d'eau, a été maintenu horizontal, le radier conservant la pente adoptée dans les parties antérieures. Le déversoir de la chambre d'eau étant à une cote très proche de celle du plafond du souterrain, on a ainsi constitué, au sein même de la montagne, une réserve d'eau importante permettant de faire face aux variations de l'énergie demandée à l'usine.

Pour la confection des conduites forcées, jusqu'à la pression de 90 mètres, on a employé des tôles rivées ; pour les pressions supérieures, les tôles sont soudées. Ces canalisations déterminent une chute nette de 184 mètres ; chacune d'elles aboutit à un collecteur alimentant un groupe turbine-alternateur de 2.500 k. v. a. et un de 1.250 k. v. a.

TURBINES. — Elles sont au nombre de trois dont deux d'une puissance unitaire de 3.300 chevaux et une de 1.650 chevaux.

Les premières fonctionnent à la vitesse de 375 tours-minute accouplées directement à leur alternateur ; elles sont du type Pelton, à deux roues à aubages rapportés et munies chacune d'un injecteur. Les turbines de 1.650 HP sont aussi du type Pelton.

Tout en permettant un meilleur rendement aux diverses puissances totales par la différenciation des puissances unitaires, cette disposition assure l'interchangeabilité des organes susceptibles d'usure.

La régulation de ces turbines est obtenue par un servo-moteur à huile sous pression agissant sur les aiguilles des injecteurs et sur les déflecteurs dont chaque turbine est munie.

L'accouplement des turbines et des alternateurs est opéré à l'aide d'un accouplement élastique à cordes.

Les alternateurs sont du type à inducteur tournant et excitatrice en bout d'arbre.

La puissance totale de l'usine est de 7.500 k. v. a. Les usines de Saint-Georges et de Gesse établies en cascade ne laissent pas de chute inutilisée entre la prise d'eau de la première et le canal de fuite de la seconde. Elles sont solidaires hydrauliquement. Cependant le bassin constitué par le barrage de Gesse ainsi intercalé entre les deux usines rend leur liaison excessivement souple et sans gaspillage d'eau. De plus, l'usine de Gesse, dont la puissance installée dépasse, aux débits d'étiage,

la puissance instantanée correspondante, permet grâce aux réserves d'eau réalisées par les retenues des barrages, de passer les pointes de la courbe

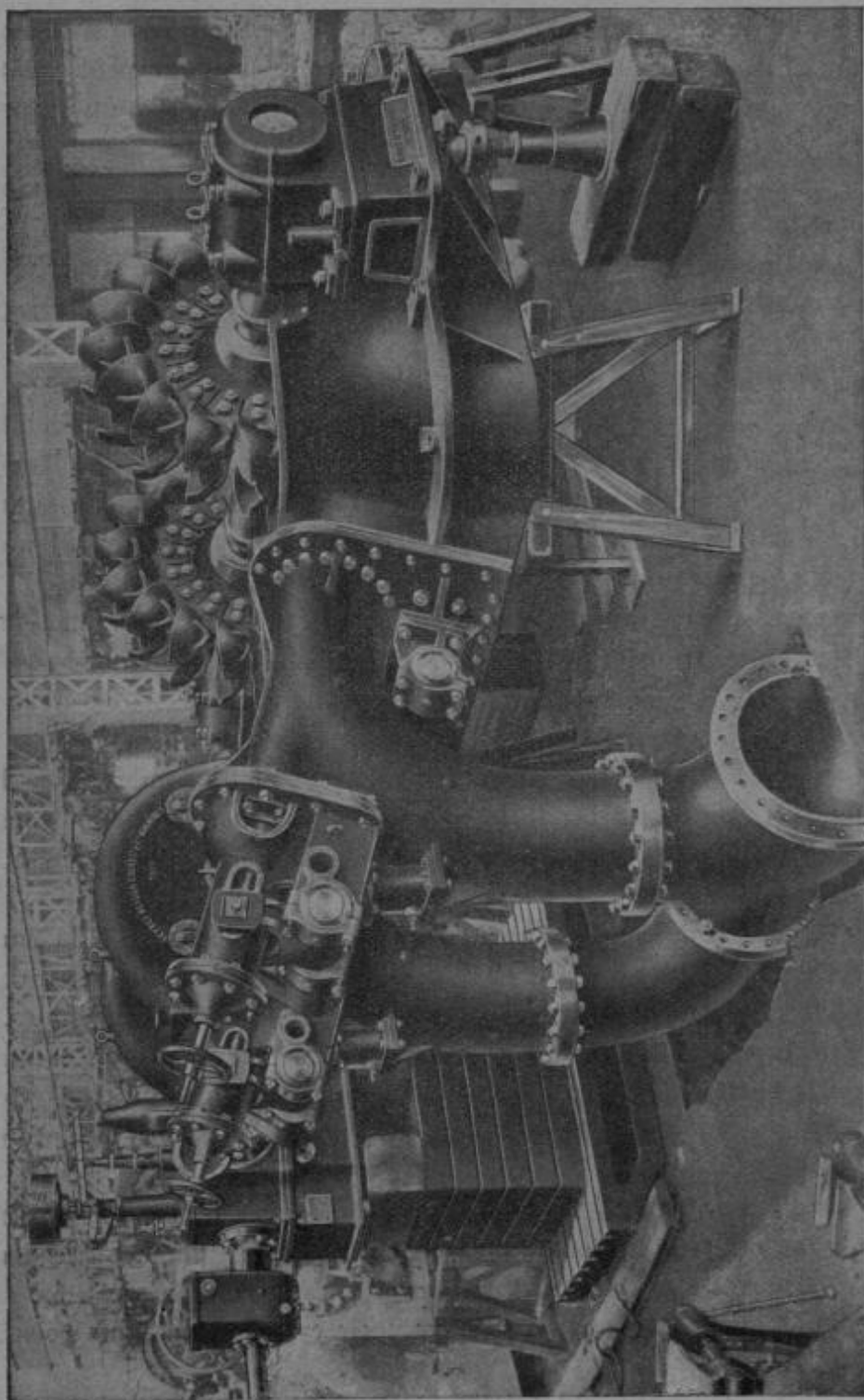


Fig. 940. — Régulateur à huile sous pression sur turbines de 3.300 et 1.650 HP. — Usine hydroélectrique de Gesse (Aude).
(Neyret-Bellier, constructeurs).

journalière de consommation d'électricité, tandis que celle de Saint-Georges marche toujours à pleine charge.

EXPLOITATION. — Les alternateurs produisent du courant triphasé, 50 périodes et 3.000 volts. Le courant sur la ligne de transport d'énergie est élevé à la tension de 34.000 volts.

Le circuit de 3.000 volts généré à l'usine se compose essentiellement de deux jeux de barre omnibus. Une machine quelconque peut débiter sur l'un ou sur l'autre grâce à deux jeux de sectionneurs et à un disjoncteur. Il a été placé quatre transformateurs dans l'huile de 2.000 k. v. a. chacun, construits au rapport 3.000/34.000 volts pour connexions étoile/étoile.

Au point de vue de l'isolement électrique en tant que construction le système adopté a été celui des cloisonnements en briquetages, chaque phase étant ainsi séparée de sa voisine.

L'usine comporte deux départs, l'un à 20.000 volts, l'autre à 34.000 volts. Le secondaire de chaque transformateur peut débiter soit sur le jeu de barres à 20.000 volts, soit sur celui à 34.000 volts par un système de trois commutateurs doubles qui opèrent chacun simultanément pour sa phase le couplage des enroulements en étoile ou en triangle et le passage d'un jeu de barres sur l'autre.

Un verrouillage électrique est combiné de telle sorte que le disjoncteur à haute tension du transformateur intéressé ne peut être enclenché si, par suite d'un oubli, les trois commutateurs ne sont pas tous placés dans la même position de marche.

L'installation exécutée suivant ce schéma permet les combinaisons les plus diverses et rend la conduite de l'usine extrêmement souple aussi bien en cas d'avarie à un feeder, à un transformateur, à un alternateur, qu'en marche normale.

Une batterie d'accumulateurs fournit l'énergie nécessaire à la commande à distance des appareils et alimente en outre les relais des divers disjoncteurs et assure l'éclairage de l'usine en cas d'arrêt des machines et du réseau. La charge de cette batterie est assurée par un groupe convertisseur alternatif continu dont la puissance a été prévue suffisante pour assurer l'excitation d'un alternateur en cas d'avarie à l'excitatrice propre à celui-ci.

L'usine de Gesse est reliée à l'usine de Saint-Georges, toutes deux appartenant à la Société méridionale de transport de force, par deux feeders, l'un à 20.000 volts et l'autre à 34.000 volts. Ce dernier se continue sur Perpignan alimentant le réseau de la Société hydroélectrique roussillonnaise.

Un feeder à 34.000 volts est relié au réseau de la Société pyrénéenne d'énergie électrique par le poste de transformation de Lavelanet. Les autres feeders desservant l'Aude et les Pyrénées-Orientales alimentent des réseaux ayant surtout pour objet l'éclairage public et privé.

La force motrice, très importante néanmoins, est utilisée dans de nombreux moteurs de faible puissance pour les travaux agricoles, d'alimentation et de petite industrie. On s'est attaché à restreindre son emploi durant les heures de forte consommation pour l'éclairage.

La puissance installée est entièrement utilisée à l'heure actuelle et l'extension considérable de la force motrice électrique fait paraître peu saillantes les pointes dues à l'éclairage.

Les demandes d'énergie pour la Défense Nationale ont déterminé la Société méridionale de transport de force à entreprendre, malgré des difficultés de main-d'œuvre et de matières premières, la construction de l'*usine d'Escouloubre*, à 5 kilomètres en amont du barrage d'Usson, sur l'Aude. La chute est de 310 mètres de hauteur et la puissance installée de 3.500 k. v. a., qui sera doublée par la suite.

CHAPITRE XIX

USINES DE 201 A 500 MÈTRES DE HAUTEUR DE CHUTE

391. **Usine de Gampel (Valais, Suisse)** (*chutes, 226 et 115 mètres*).
— AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Les installations de Gampel, appartenant à la Société des usines électriques de la Lonza, sont au



FIG. 940. — Usine de Gampel. Vue générale de l'usine.

nombre de deux. Elles prennent leur force dans le torrent la Lonza, un affluent de la rive droite du Rhône.

Prise d'eau supérieure. — Elle se trouve près du hameau de Mitthal. A cet endroit d'énormes quartiers de rochers forment en quelque sorte un barrage naturel, qui est utilisé comme retenue après avoir été complété par des maçonneries reliant les blocs entre eux.

Seul un chenal a été laissé ouvert afin de pouvoir évacuer les alluvions. Au moment des basses eaux, ce chenal est fermé par une vanne.

La hauteur de chute est de 241 mètres; déduction faite des pertes de charge il reste 226 mètres, et l'on dispose pendant six mois d'une force de 6.780 HP (le débit étant de 3 mètres cubes par seconde) et pendant les six autres mois de 3.400 HP en moyenne (le débit étant de $1\text{ m}^3,5$) et exceptionnellement de 1.800 HP (débit $0\text{ m}^3,800$).

La prise d'eau se trouve sur la rive droite. Son entrée est munie de deux vannes et protégée par une grille à barreaux assez espacés qui est destinée



FIG. 941. — Usine de Gampel. Barrage et prise d'eau.

à arrêter les gros corps flottants. Un canal ouvert dont l'un des côtés forme un déversoir de 8 mètres de longueur, et qui est muni d'une grille fine à son extrémité, conduit les eaux dans un bassin de décantation. Une vanne de purge, située en contre-bas de l'entrée de la galerie d'amenée, permet de le nettoyer.

Tunnel d'amenée. — Cet ouvrage a une longueur de 1.517 mètres. Sa pente est de 3 0/0. Il n'est maçonné que sur la moitié de sa longueur environ. La section libre non revêtue est de $2\text{ m}^2,70$, celle qui est revêtue, de $1\text{ m}^2,80$.

Chambre de mise en charge. — Le château d'eau est entièrement enterré afin de ne pas être exposé aux chutes de pierres. Il est pourvu d'une grille, d'un déversoir de 20 mètres de longueur, d'un bassin de décantation avec vanne de purge et d'une vanne d'admission.

L'eau du trop-plein et de la vanne de purge est canalisée dans un tuyau qui débouche à gueule bée dans le torrent.

Conduite forcée. — La conduite sous pression est formée d'abord par deux tubes en fer rivés, qui se réunissent après 40 mètres en une seule conduite de 1 mètre de diamètre placée sur des piliers en béton ; elle est solidement ancrée aux changements de pente et de direction et munie de joints de dilatation. Cette conduite alimente l'usine supérieure qui comprend :

Huit turbines Girard à arbre horizontal de 500 HP chacune, fournies

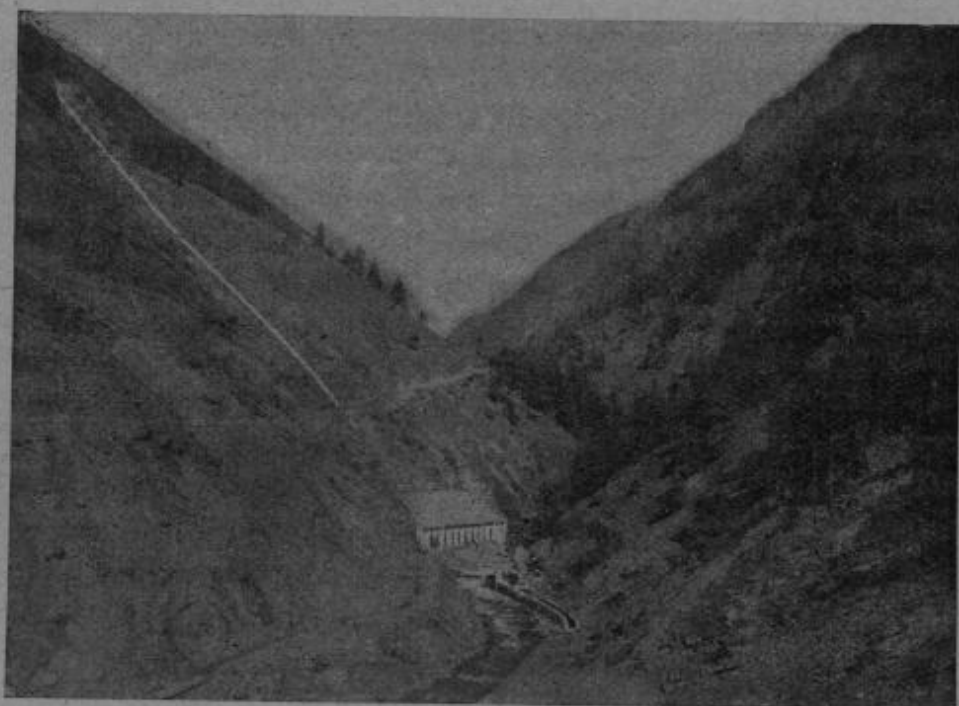


FIG. 942. — Usine de Gampel. Conduite forcée.

par la Société des établissements Piccard, Pictet et C^{ie}, actionnant directement huit génératrices à courant biphasé, système Schuckert ; une turbine Pelton à haute pression de 3.300 HP de force et d'une vitesse de 375 tours par minute, installée par la maison Voith, de Heidenheim, gouvernant directement une directrice à courant biphasé, système Alioth.

L'usine contient en outre trois transformateurs Scott pour courant triphasé, afin de pouvoir desservir l'entreprise du tunnel du Loetschberg avec du courant à 15.000 volts de tension.

Prise d'eau inférieure. — Immédiatement en aval du débouché du canal de fuite de l'usine ci-dessus dans la Lonza se trouve la prise d'eau inférieure. La retenue des eaux est faite au moyen d'un barrage fixe, sans hausse. La prise, située sur la rive gauche, est protégée par une grosse

grille et l'admission est réglée par cinq vannes de 2 mètres de largeur. Le canal qui suit est à ciel ouvert et est pourvu d'un déversoir et d'une vanne de vidange ; à son extrémité une grille plus fine protège l'entrée de la galerie d'amenée qui est pourvue d'une vanne.

Pour la chute inférieure, la hauteur nette est de 115 mètres et la force disponible pendant six mois, de 3.450 HP (débit 3 mètres cubes par seconde), pendant les six autres mois, de 1.750 HP (débit $1\text{ m}^3,5$) et exceptionnellement 920 HP (débit $0\text{ m}^3,800$).

Tunnel d'amenée. — Le canal d'amenée, en galerie sur 1.097 mètres de longueur, présente la même section que le précédent.

Conduite forcée. — Le tunnel est continué par une conduite sous pression qui traverse la Lonza pour arriver au bâtiment inférieur des turbines, situé sur la rive droite de la Lonza.

TURBINES. — Cette usine comprend cinq turbines à haute pression à arbre horizontal, fournies par la Société des établissements Piccard, Pictet et C^{ie}, accouplées directement à des génératrices système Siemens-Schuckert, de mêmes dispositions que celles de l'usine supérieure et une turbine Pelton des ateliers de constructions mécaniques de Vevey, qui sert à créer l'énergie électrique destinée à éclairer les ateliers au moyen d'une génératrice spéciale.

La force totale disponible pour les installations de Gampel est donc de 10.000 HP pendant les six mois d'été et de 5.000 HP environ en moyenne pour le reste de l'année. Exceptionnellement, elle peut descendre à 2.800 HP.

EXPLOITATION. — A l'usine de Gampel, l'énergie électrique est employée pour la production de matières électro-chimiques, exception faite de 2 à 3.000 HP qui sont utilisés pour la construction du tunnel de Loetschberg.

392. Usine de Notre-Dame de Briançon (Savoie) (chute, 230 mètres).

— **AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES.** — La Société des carbures métalliques, propriétaire des brevets Bullier, a acquis, en 1876, la chute de l'Eau-Rousse, torrent qui prend naissance aux petits glaciers de la Magdeleine, à une altitude de 2.500 mètres environ. L'Eau-Rousse présente deux périodes de basses eaux : l'une de décembre à mars et l'autre en août, lorsque la fonte des neiges est terminée et que le débit n'est assuré que par la seule fusion des glaciers. Le débit maximum est de 1.300 litres à la seconde.

Prise d'eau. — La captation de l'Eau-Rousse est effectuée à l'aide d'un barrage en maçonnerie muni de deux vannes suivies de grilles horizontales destinées à arrêter les graviers, les feuilles et éventuellement les glaçons. L'excès d'eau se défile par un déversoir, en aval du barrage.

Conduite forcée. — L'eau, après avoir traversé les grilles, pénètre dans une canalisation en tôle, d'une longueur totale de 1.382 mètres et 0^m,80 de diamètre. Sur un parcours de 1 kilomètre environ, elle ne présente qu'une pente de 5 0/0, puis brusquement elle s'incline en épousant les sinuosités de la montagne, passe en souterrain sur une partie de son parcours, avant d'aboutir à l'usine. Une forte vanne est placée en tête du collecteur hydraulique. Entre ce collecteur et chacune des turbines se trouve une vanne à by-pass et une vanne papillon. La perte de pression dans la conduite par frottement est de 7 0/0.

TURBINES. — Les turbines principales sont au nombre de sept, de 650 HP chacune, tournant à 600 tours et dépensant 300 litres. Elles sont à axe horizontal, du type centrifuge, la roue calée en porte-à-faux sur l'arbre même de l'alternateur. Le réglage de l'admission est opéré par des distributeurs en acier avec languette mobile. Deux turbines de 30 HP actionnent les excitatrices ; toutes ces machines ont été construites par la maison Duvillard, de Lausanne. Enfin, trois autres turbines, employées exclusivement à des travaux mécaniques sont du type Pelton et construites par les ateliers de Vevey.

ALTERNATEURS. — Les alternateurs proviennent des ateliers du Creusot ; ils sont du système Thury, à fer tournant, biphasés et doubles ; l'inducteur est à douze pôles, soit six pour chaque induit. Les bobines inductrices sont montées en série et disposées pour donner quatre groupements différents donnant des voltages passant du simple au double, au triple et au quadruple ; chacune des bobines peut être mise hors circuit et remplacée par une résistance murale, équivalente, en charbon.

L'excitation est assurée d'une part par de petites dynamos à courant continu, système Thury, à 4 pôles, et, d'autre part, une batterie d'accumulateurs toujours en charge et commandée par des appareils automatiques, permet d'éviter l'emballement des turbines en cas d'arrêt accidentel de l'excitatrice.

Le groupe turbine-alternateur ne possède aucun organe automatique de régulation ou de sécurité, mais la turbine avec son alternateur présente un ensemble robuste, peu encombrant, facilement accessible dans toutes ses parties ; les accidents sont pour ainsi dire inconnus, car les alternateurs peuvent supporter sans peine l'emballement complet ; de plus, la partie électrique ne souffre pas de la marche variable due aux irrégularités des fours électriques.

EXPLOITATION. — Les alternateurs débitent environ 400 kilovolts-ampères ; ils fournissent des courants de grande intensité sous des tensions faibles, de même ordre que celles ordinairement employées dans l'électrometallurgie ; en marche normale, leur fréquence est de 60 périodes par seconde.

La salle des fours est mitoyenne avec la salle des machines, constituant une installation bien distincte de celle alimentée par le transport d'éner-

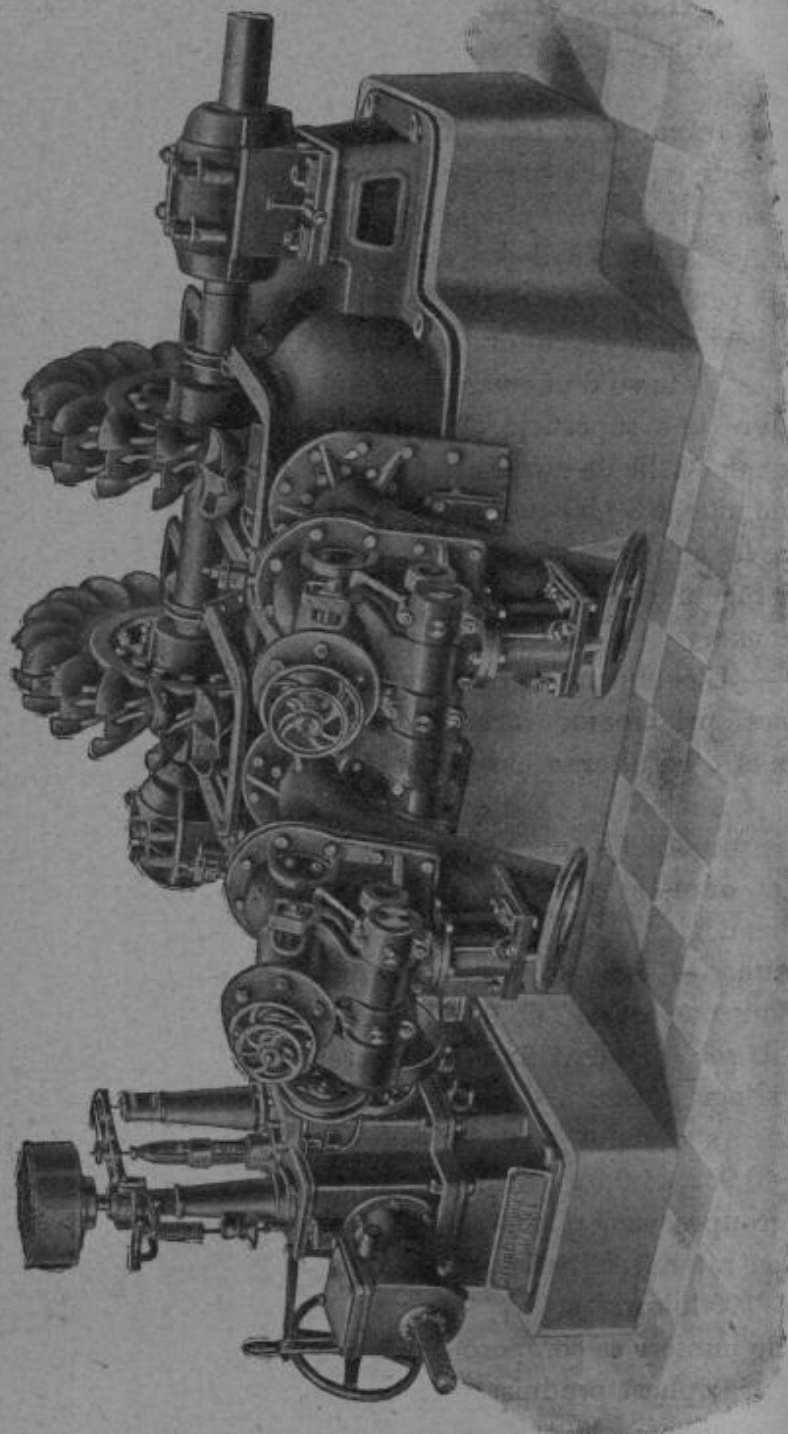


FIG. 943. — Régulateur à huile sous pression sur turbines Pelton double de 1.400 HP, sous 210 mètres. Usine hydroélectrique de N.-D. de Briançon (Savoie). (Neyret-Bellier, constructeurs).

gie ; chaque transformateur alimente son four directement au moyen d'un faisceau de barres de cuivre. Les fours sont du type courant monophasé à

électrode verticale mobile, dont la hauteur dans le four est rendue variable par un moyen mécanique. Ils sont appropriés à la fabrication du carbure de calcium et des ferros-alliages.

• **393. Usine de Caffaro (Italie)** (*chute, 250 mètres*). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — La rivière Caffaro a un débit de 5 à 6 mètres cubes.

Un *barrage de retenue*, muni de quatre vannes en fer, a été établi aux environs de Bagolino ; de ce barrage, l'eau est dérivée par un canal, en grande partie souterrain vers un château d'eau d'où partent deux conduites forcées parallèles ; celles-ci sont munies de vannes d'arrêt et entrent dans la centrale pour se réunir en une conduite de distribution sur laquelle se branchent les conduites allant aux turbines ; chacun de ces branchements est pourvu d'une vanne d'arrêt.

L'usine couvre une superficie de 500 mètres carrés ; elle comprend essentiellement une salle de machines de 40 mètres de long sur 11 mètres de large, que domine, à 3^m,50 au-dessus du sol, la galerie à plusieurs étages où sont montés les appareils de distribution.

La salle des machines est divisée en deux parties : la salle proprement dite et une annexe.

TURBINES. — L'équipement de la salle proprement dite comprend quatre groupes principaux formés chacun d'une roue Pelton de 2.500 chevaux et d'un alternateur triphasé Oerlikon et de deux groupes d'excitation.

Les turbines principales tournent à 315 tours par minute ; elles sont directement accouplées par un manchon élastique aux générateurs qu'elles commandent.

ALTERNATEURS. — Les alternateurs triphasés, Oerlikon, fournissent les courants sous une tension de 9.000, 10.500 volts et à la fréquence de 42 périodes ; ils sont à induit fixe et inducteur mobile ; leur poids total est de 37.000 kilogrammes.

Les rendements obtenus sont les suivants : à pleine charge pour $\cos \varphi = 0,75 : 0,952$, et 0,92 à demi-charge dans les mêmes conditions.

Les deux groupes excitateurs sont composés d'une roue Pelton de 150 chevaux, entraînant, à la vitesse de 600 tours par minute, une dynamo hexapolaire de 100 kilowatts.

Le groupe de lumière se compose d'une roue de 60 chevaux accouplée à un alternateur triphasé produisant du courant sous 3.600 volts à la fréquence de 40 périodes.

LIGNES A HAUTE TENSION (46.000 volts). — Cette tension est obtenue au moyen de transformateurs, placés chacun dans une cellule indépendante, sur rails, et dans une annexe à la salle des machines. Ces transfor-

mateurs ont une capacité unitaire de 2.750 kilovolts-ampères ; ils sont à bain d'huile et refroidissement d'eau ; leur rendement à pleine charge est de 98,5 0/0 et de 97,6 0/0 à demi-charge.

L'électricité produite sert à alimenter les villes de Brescia, Manerbio, Cremona, Pontevigo et la grande fabrique de soude de la Società Elettrica ed elettrochimica del Caffaro.

394. Usine de Soulom (Hautes-Pyrénées) (*chutes, 250 mètres et 113^m,20*). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Cette usine est installée dans la vallée du Gave de Pau au confluent des vallées de Luz et de Cauterets. Elle utilise les eaux provenant de ces deux directions sous deux chutes différentes.

Le Gave de Cauterets a un débit variant de 1.800 à 2.000 litres en basses eaux, à 14.000 litres en hautes eaux, avec une moyenne de 4.000 litres. On a compté sur un débit utilisable de 1.500 litres, l'usine étant destinée à assurer le service de la Compagnie des chemins de fer du Midi.

Prise d'eau. — L'eau est prise dans le Gave à la cote 732 dans une gorge à très forte pente. Le barrage de surface a été construit en forme de doucine très allongée de façon à réduire les chances d'affouillement en aval.

Les *chambres de décanlation* font suite à la prise d'eau. L'eau y est prise par déversement et passage sur des tôles perforées. Ces chambres sont suivies de dispositifs spéciaux dus à la présence d'une autre usine dont on prend les eaux dans le canal de fuite même avant qu'elles soient revenues à la rivière.

Le *canal d'amenée* est entièrement en souterrain, pour mettre cet ouvrage à l'abri de toutes causes d'obstruction. Il a 1^m,50 de largeur et une pente de 1 millimètre par mètre. Il peut débiter 2.200 litres avec un tirant d'eau de 1 mètre et 3.100 avec un tirant d'eau de 1^m,50. Après un parcours de 3 kilomètres, la largeur atteint 4^m,50 pour sa transformation en réservoir souterrain sur 700 mètres de longueur, suivi d'un réservoir à ciel ouvert ou chambre de mise en charge de 300 mètres de longueur sur 12 mètres de largeur et 4^m,50 de profondeur moyenne. L'ensemble a une capacité de 22.000 mètres cubes représentant, sous une chute de 250 mètres, une réserve de 19.500 chevaux-heures. Il sert ainsi à la fois de réservoir journalier et de volant ; il emmagasine tout le débit prévu pendant 4 heures 1/2.

Les *conduites forcées* présentent cette particularité que l'on a voulu assurer la sécurité maximum en permettant un entretien méthodique des installations. On a, à cet effet, constitué des groupes indépendants comprenant chacun une conduite, une turbine, un alternateur et un transformateur.

Chacun des groupes correspond à une turbine de 3.500 HP.

Les conduites forcées sont en tôle d'acier résistant à 35-40 kilogrammes avec un allongement pour cent plus grand que 30. Elles ont été calculées pour pouvoir résister à la pression statique augmentée de 20 0/0 et ont été essayées en usine à 50 0/0 de surcharge. Le diamètre est 0^m,810 intérieur, l'épaisseur variant de 7 millimètres à 20 millimètres et le débit de 1.200 litres à la seconde avec une vitesse de 2^m,25.

Leur longueur est de 530 mètres environ.

Toutes les conduites sont munies du tube de Venturi pour le jaugeage des débits. La chute brute est de 256^m,50 et la chute nette de 250 mètres. La puissance dont on dispose, à l'entrée de chaque turbine, est de 3.750 poncelets.

Le *canal de fuite* est commun aux deux chutes, d'une longueur de 600 mètres et pouvant débiter au maximum 13 mètres cubes par seconde.

Nous passons maintenant à la chute du Gave de Pau. Celui-ci a un débit de 4.700 litres en basses eaux à 30.000 litres en hautes eaux avec une moyenne de 10.000 litres. Le débit utilisable est de 4.400 litres, mais l'installation a été étudiée pour le débit de 4.700 litres.

Prise d'eau. — La prise d'eau est à la cote 592,50. Le barrage est du même type que celui de la première chute. De là les eaux passent à travers deux séries de grilles, dans deux *chambres de décanation* successives, d'où elles se rendent dans le canal d'amenée, en pente de 1 millimètre, qui les conduit, après un parcours de 6^{km},300, dans la chambre de mise en charge.

Le *canal d'amenée*, établi comme celui du Gave de Cauterets, a une largeur de 2 mètres et peut débiter 5.000 litres avec un tirant d'eau de 1^m,50 et 6.000 litres avec un tirant d'eau de 1^m,90. Il aboutit à la chambre de force.

La *chambre de mise en charge* a une capacité de 2.000 litres, suffisante pour servir de volant. C'est un tunnel à grande section sur lequel s'embranchent à angle droit d'autres tunnels en cul-de-sac de section semblable.

Les *conduites forcées* sont au nombre de 3 pour 3 turbines de 3.500 chevaux actionnant chacune un alternateur de 2.400 kilowatts.

Leur diamètre intérieur est de 1^m,200, d'une épaisseur de 7 à 13 millimètres, d'une longueur de 330 mètres. Elles peuvent débiter 3.200 litres par seconde avec une vitesse de 2^m,80.

Le groupe mécanique de réserve, pour le cas d'arrêt, en période de basses eaux, d'un groupe de la chute de Cauterets, peut envoyer dans la chambre de mise en charge du Gave de Pau, à l'aide d'une conduite de vidange spéciale, une partie des eaux de la chambre de mise en charge de Cauterets. Le niveau moyen dans la chambre de force est à la cote (584,50).

La chute brute est de 116^m,50 et la chute nette de 113^m,20, représentant à l'entrée des turbines une puissance de 5.000 poncelets.

USINE. — Les turbines, machines électriques, tableaux de distribution, transformateurs sont au rez-de-chaussée, les interrupteurs à l'étage et les lignes de distribution du courant partent de deux tours élevées.

TURBINES. — La basse chute comporte trois turbines de 3.500 chevaux et deux turbines de 350 chevaux ; la haute chute, trois turbines de 3.500 chevaux et deux turbines de 350 chevaux.

Les conduites forcées au nombre de 6, viennent se raccorder au robinet-vanne correspondant à chaque turbine principale.

En dérivation de chacune des conduites est branchée une tubulure avec robinet-vanne à main, reliée à un collecteur servant à alimenter les deux turbines secondaires de 350 chevaux, avec l'une quelconque des trois conduites.

Le canal de fuite est établi à 8 mètres en dessous du niveau de la salle des machines.

Les turbines de 3.500 HP sont du type Francis centripète à injection totale et aspiration. L'arrivée d'eau à la capote se fait par un robinet-vanne à main et la distribution de l'eau sur la roue mobile est assurée par un régulateur de vitesse. En cas de fermeture brusque du vannage par le régulateur de vitesse, un régulateur de pression découvre, au moment voulu, un orifice d'échappement d'eau, branché en dérivation sur le tuyau d'introduction à la turbine, et le referme suffisamment lentement pour éviter les surpressions.

Les turbines sortent des ateliers de la maison A. et H. Bouvier, de Grenoble.

ALTERNATEURS. — Les alternateurs (Thomson-Houston) accouplés directement aux turbines font fonction de volant. Leur vitesse est de 500 tours-minute. Ils sont à 4 pôles, à inducteurs tournants, à pôles encastés. Ils débitent du courant monophasé à 6.000 volts à la fréquence 16 2/3 périodes.

Les paliers sont avec circulation d'eau.

Les distributeurs des turbines ont leur ouverture rendue automatique par des régulateurs de vitesse à huile.

Les turbines de 350 HP sont du type Girard centrifuge à injection partielle, tournant à 600 tours et entraînant chacune une dynamo fournissant du courant continu à 125 volts, destiné à l'excitation des alternateurs et aux services auxiliaires (*fig. 944*).

Les turbines de la haute chute, de 3.500 HP chaque, sont du type Pelton, à deux injecteurs et aspiration. L'arrivée d'eau se fait par un robinet-vanne automatique mû par l'eau de la chute. Les injecteurs sont commandés par un régulateur de vitesse à huile.

L'arbre entraîne, par un accouplement élastique à corde un alternateur ; l'accouplement forme en même temps volant d'équilibrage. La vitesse est de 330 tours-minute.

Les alternateurs, construits par la Société alsacienne de constructions mécaniques, sont à 6 pôles, à inducteurs tournants à pôles saillants.

Les turbines de 350 HP sont aussi du type Pelton, sortant des ateliers de la maison Neyret-Brenier de Grenoble, à libre déviation et à un seul injecteur.

L'eau nécessaire au refroidissement des divers paliers, aux transforma-

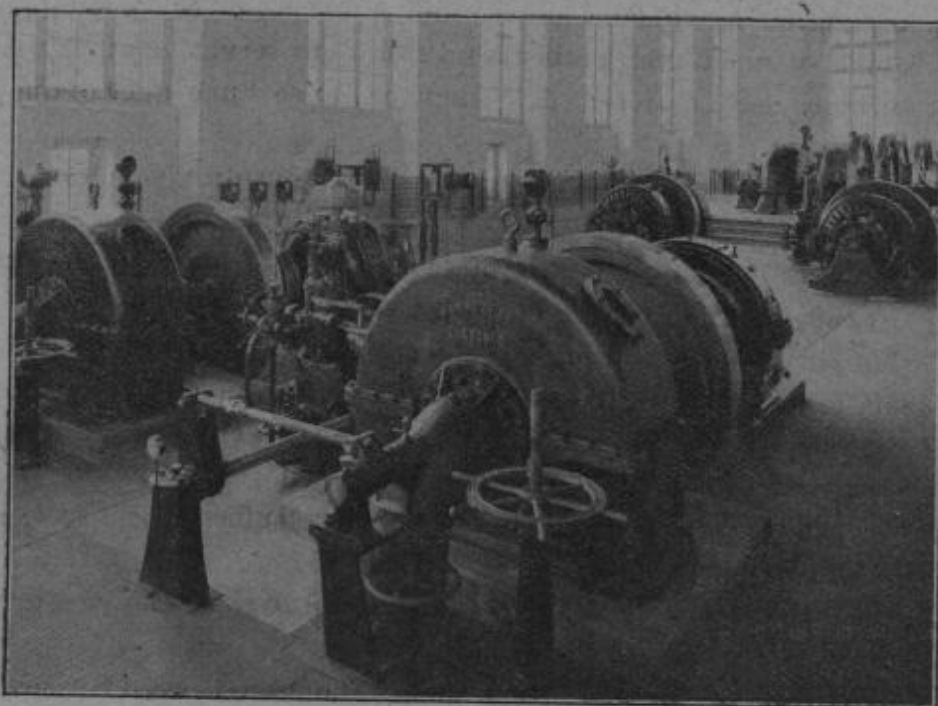


FIG. 944. — Usine de Soulom. — Dynamos à courant continu de 235 kw. 125 volts, 600 tours. (C^{ie} Electro-Mécanique).

teurs, aux parafoudres hydrauliques, est prise à deux détendeurs de pression branchés sur le collecteur d'alimentation des excitatrices correspondant à l'une ou l'autre des deux chutes.

Tableau de distribution. — Du tableau principal ou pupitre, lequel reçoit du courant continu à 125 volts, s'opère, par des commandes électriques, la manœuvre à distance des interrupteurs d'excitation, des rhéostats de champ des alternateurs, des interrupteurs haute tension à 60.000 volts, etc. Des lampes variées permettent de se rendre compte du fonctionnement des divers appareils.

Le courant alternatif, au voltage de 6.000 volts, conduit par des barres d'aluminium, aboutit à des transformateurs qui élèvent cette tension à 60.000 volts. Ces transformateurs sont à bain d'huile et à refroidissement

par eau. Une canalisation d'huile relie les cuves des transformateurs à un grand réservoir placé en sous-sol, ainsi que les interrupteurs haute tension.

Le courant à 60.000 volts est envoyé, des transformateurs-élevateurs, sur les barres omnibus à 60.000 volts du pupitre. Le couplage en parallèle des alternateurs sur les barres collectrices s'effectue après la fermeture de l'interrupteur à 60.000 volts correspondant à chaque groupe.

Deux interrupteurs généraux envoient le courant dans deux tours où sont intercalés sur les circuits : les transformateurs de lecture, les bobines de self, les parafoudres à cornes et les déchargeurs hydrauliques.

Lignes de transport. — Enfin les circuits de départ aboutissent à des sous-stations où la tension est abaissée à 12.000 volts qui est le voltage capté sur les lignes catenaires de contact.

Quelques particularités sont à retenir dans cette installation. D'abord le montage correspondant à chaque chute fonctionne comme une demi-usine, ces demi-usines pouvant être couplées en parallèle.

Les connexions du pupitre permettent d'opérer toutes manœuvres correspondant au jeu de ces demi-usines, tant sur les barres de 60.000 volts que sur celles de 6.000 volts.

Le courant à 6.000 volts produit par le stator d'un alternateur aboutit à des jeux de sectionneurs permettant de l'envoyer soit directement au transformateur correspondant, soit sur un jeu de barre-omnibus à 6.000 volts, d'où il peut être renvoyé sur l'un quelconque des transformateurs-élevateurs des deux demi-usines (haute et basse chute).

Les parafoudres électrolytiques montés en série avec un système de cornes prolongés par des résistances dites de charge ont pour but, d'une part, de limiter le premier afflux du courant nécessaire à la charge journalière des parafoudres et d'autre part d'amortir les oscillations naturelles de la ligne qui peuvent se produire soit lors de la charge, soit lors d'une décharge.

Les déchargeurs hydrauliques ou jets d'eau permettent d'écouler à la terre les décharges atmosphériques lentes, dont l'accumulation sur les lignes produirait une élévation de tension aussi dangereuse que la foudre.

En outre des régulateurs de vitesse installés sur les turbines il a été fait appel à un régulateur de voltage Tirill destiné à maintenir automatiquement le voltage à la valeur désirée au départ de l'usine, de chacune des lignes de transport à 60.000 volts. Ce régulateur ouvre et ferme rapidement un circuit peu résistant, monté en dérivation sur le rhéostat d'excitation de l'excitatrice, par une série de mouvements rapides et répétés de 400 fois par minute.

Il compense toutes les pertes de charge plus rapidement que ne le ferait un réglage progressif, et il corrige les effets des changements de vitesse aussi bien que les effets résultant des variations de charge.

Le rhéostat de champ de l'excitatrice est mis en circuit et en court-circuit par des contacts dits secondaires, commandés par un relai qui comporte deux enroulements agissant différemment et un solénoïde, connecté par l'intermédiaire d'un transformateur de potentiel aux câbles de départ, est placé en série avec deux enroulements compensateurs réglables alimentés avec le secondaire d'un transformateur d'intensité dont le primaire est en série sur le circuit à régler.

Les installations de cette belle usine ont été étudiées et exécutées sous la direction de MM. Eydoux et Lhériaud, ingénieurs de la Compagnie des chemins de fer du Midi.

- 395. **Usine de la Kern-River (Californie)** (chute, 261 mètres). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — L'installation hydraulique comprend

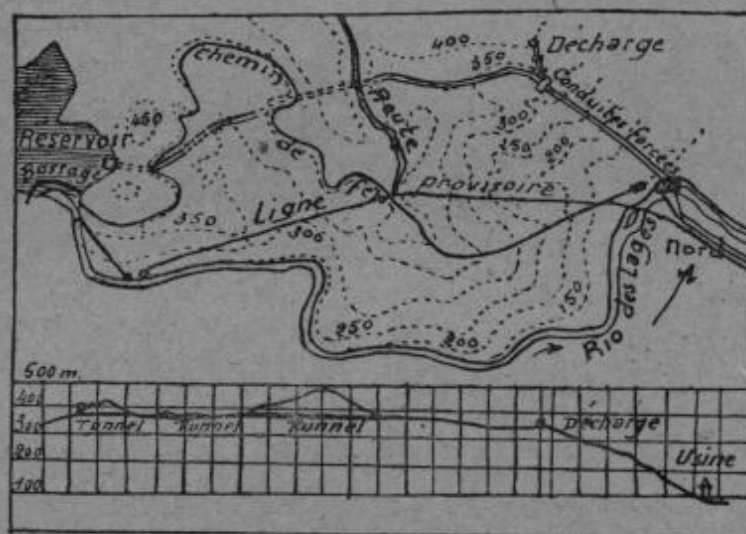


FIG. 945.

un barrage, une série de tunnels d'une longueur de 14 kilomètres et une conduite forcée en galerie.

Barrage. — Il est rectiligne et du type submersible ; il a 6^m,10 de hauteur au-dessus du lit de la rivière et 10^m,60 au-dessus des fondations ; son épaisseur au couronnement est de 2^m,14 et de 16^m,09 à la base.

Conduite d'amenée. — Elle se compose de dix-neuf tunnels, dont la longueur varie de 152 mètres à 1.330 mètres. Ils sont excavés suivant un rectangle de 2^m,743 de large sur 2^m,286 de haut, surmonté d'un arc de cercle de 0^m,457 de flèche. Contre les parois, on a appliqué un revêtement de béton de 152 à 244 millimètres d'épaisseur. En certains endroits, où la

roche était peu résistante, on a dû porter l'épaisseur à la clé à 30 et même 45 centimètres. La pente des tunnels est de $1^{\text{mm}},5$ par mètre et leur débit est de $13^{\text{m}^3},30$ à la seconde.

Entre les tunnels, cinq ravins ont été traversés au moyen d'aqueducs en bois (*fig. 545*) et un sixième par un aqueduc en béton armé. Le plus long de ces aqueducs a 314 mètres ; les autres ont de 15 à 51 mètres. Les parois sont constituées par des planches de tuya, dont les extrémités sont taillées en biseau, de manière à présenter à l'intérieur un joint de $6^{\text{mm}},3$ qui est bouché avec de l'étoupe à bateau. Les joints sont recouverts d'asphalte sur laquelle est placé un léger voligeage. Sur les côtés, la moitié supérieure de ce voligeage est taillée en courbe, de manière à former un creux dans lequel on coule l'asphalte.

L'armature de l'aqueduc en béton armé est constituée par du métal déployé, reposant sur des poutrelles transversales à double T en acier, qui sont fixées à des poutres longitudinales qui s'appuient sur des piliers en béton. Toute cette armature est enrobée dans du béton ayant une épaisseur de $10^{\text{cm}},16$.

Chambre de mise en charge. — Elle a en plan une section de $12^{\text{m}},80 \times 9^{\text{m}},15$. Elle est munie de deux vannes de fond et d'un déversoir, composé de cinq ouvertures de $2^{\text{m}},08$ de largeur, dont on peut faire varier la crête de $0^{\text{m}},91$ au moyen de hausses mobiles.

Conduite forcée. — Constituée par un tuyau d'acier, de $2^{\text{m}},286$ de diamètre intérieur, elle est installée dans une galerie de $2^{\text{m}},743$ de diamètre, creusée dans le flanc de la montagne, l'intervalle compris entre le tuyau et le rocher étant bourré de béton. Sur 392 mètres, cette conduite présente une inclinaison voisine de 45° ; sur les 125 derniers mètres elle est horizontale, sa longueur totale étant de 517 mètres. A son entrée dans la chambre d'eau, la conduite est tronconique sur $6^{\text{m}},10$ de longueur, avec $3^{\text{m}},05$ de diamètre d'ouverture. Sur les 74 derniers mètres, où la conduite traverse un éboulis, le diamètre est réduit à $1^{\text{m}},60$.

La conduite fut montée par tronçons de $3^{\text{m}},05$, en commençant par le bas. Chaque tronçon était hissé jusqu'à la chambre d'eau. Là, on passait deux poutres à l'intérieur du tuyau, ces poutres s'appuyant à chacune de leurs extrémités sur un petit chariot qui pouvait se déplacer sur deux rails installés dans la galerie. Il n'y avait plus qu'à laisser descendre chaque tronçon. Une fois le montage terminé, on constata qu'il s'était produit des poches dans le béton à la partie inférieure du tuyau, par suite de la difficulté qu'il y avait à bourrer le béton dans les creux du rocher. On perça des trous dans la tôle de la conduite, et l'on fit des injections de mortier ; puis les trous furent obturés au moyen de tampons. On fit ainsi 116 injections.

TURBINES. — L'usine génératrice comporte quatre groupes électro-

gènes de 10.750 HP chacun, composés d'un alternateur à deux paliers actionné par deux roues Pelton, montées en porte à faux à chacune de ses extrémités. Ces roues sont constituées par un disque en acier coulé, de 2^m,946 de diamètre, sur lequel sont montés 18 augets en bronze, pu type ordinaire, de 698^{mm},5 de largeur. Ces roues travaillent sous une pression d'eau de 261 mètres, et tournent à la vitesse de 250 tours par minute.

La régulation de la vitesse des roues se fait de deux manières différentes : 1° Une aiguille centrale, manœuvrée à la main, augmente ou diminue la section du passage de l'eau ; 2° un régulateur automatique, à servo-moteur à huile sous pression, agit sur la buse de distribution pour dévier le jet plus ou moins. Ce dispositif a l'avantage de maintenir une vitesse constante dans la conduite et d'éviter les coups de bélier.

ALTERNATEURS. — Les alternateurs produisent du courant triphasé à 2.300 volts 50 périodes.

Les excitatrices sont au nombre de deux, chacune d'une puissance de 225 kilowatts, à la pression de 125 volts. Elles sont actionnées chacune par une roue Pelton tournant à 430 tours par minute.

Il y a treize transformateurs monophasés à bain d'huile, de 1.667 kilowatts chacun, qui forment quatre groupes de trois. Il y a en outre un transformateur de réserve. Ils sont connectés en triangle au primaire et en étoile au secondaire, où ils élèvent le courant à 75.000 volts. Des bornes ont été ménagées pour pouvoir recueillir du courant à 56.250 et 37.500 volts. L'huile est envoyée aux transformateurs sous une légère pression, et elle retourne par gravité aux réfrigérants.

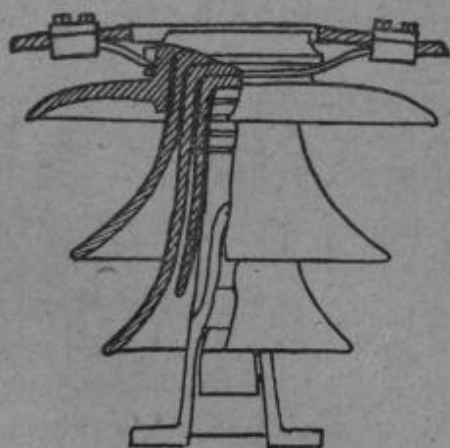


FIG. 946. — Isolateur à 100.000 volts.

cuivre employé a une résistance de rupture de 44 kilogrammes par millimètre carré. Les isolateurs (fig. 946) ont 437 millimètres comme hauteur.

Ligne à haute tension. — La ligne de transport d'énergie, qui relie l'usine génératrice à la sous-station de Los Angeles, a 188 kilomètres de longueur. Elle est supportée par des pylônes métalliques, ayant de 9 à 18 mètres de hauteur, et espacés de 210 mètres. Entre chacun de ces pylônes, se trouvent deux poteaux en bois, mais les pylônes et les fils sont capables de travailler sous la plus grande portée. La ligne comporte trois circuits distincts, les fils étant espacés de 1^m,829. Le

Les spécifications de la fourniture stipulaient qu'ils doivent résister à une tension de 100.000 volts sous une pluie faisant un angle de 30° avec la verticale et correspondant à une hauteur d'eau tombée de 25^{mm},4 en cinq minutes. A sec la résistance doit être de 15.000 volts pendant trente secondes.

396. Usine de Tusciano (Italie) (chute, 274 mètres). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — L'usine de Tusciano, installée par la Société franco-suisse pour l'industrie électrique, est située sur la rivière de ce nom, à 7 kilomètres environ de la station de Battipaglia, dans l'Italie méridionale.

Elle appartient à la Società meridionale d'Elettricità. Elle alimente les centres industriels de Salerne, Nocera, Scufati et Torre-Annunziata, cette dernière ville se trouvant à 60 kilomètres de la station génératrice.

Le bassin du Tusciano est très déboisé, de sorte que son débit, en étiage, en été, descend à environ 3 mètres cubes par seconde et parfois moins encore.

Prise d'eau. — La prise d'eau, faite pour un débit de 3.500 litres, est située sur la rive droite du fleuve, à 20 mètres en amont du barrage. Elle est formée de quatre ouvertures de 2^m,50, ménagées parallèlement au courant du fleuve, afin de réduire au minimum la quantité de matières étrangères qui pourraient s'y introduire en temps de crue. Près de la prise d'eau se trouve un premier bassin de décantation avec déversoir de trop-plein, situé en avant du barrage et ayant 4^m,40 de largeur sur 13^m,80 de longueur. Puis, séparé du premier par une vanne, il y a un deuxième bassin qui est également muni d'un déversoir, mais arasé à un niveau inférieur au premier, de manière à permettre l'écoulement de l'eau dans le canal d'amenée qui lui est parallèle et qui, en ce point, est couvert de tôles horizontales trouées pour empêcher le passage des corps flottants se trouvant sur l'eau.

Canal d'amenée. — Ce canal est entièrement en tunnel ; sa longueur est de 5.705 mètres, sa pente de 2 millimètres par mètre donnant à l'eau une vitesse de 1^m,35 par seconde. La hauteur libre totale est de 1^m,95. A la sortie du tunnel se trouve le bassin de mise en charge, avec trois déversoirs, qui répartissent l'eau en l'envoyant dans deux chambres indépendantes, pourvues de grilles, d'écluses et de vannes de fond, en avant de l'embouchure des deux conduites forcées, ainsi qu'à un canal de trop plein. La pente du canal de décharge des eaux est de 2 0/0 et la vitesse de l'eau y atteint 4^m,57 à la seconde. La différence d'altitude entre le barrage et la tête des conduites forcées est de 11^m,13.

Conduites forcées. — Celle actuellement en service possède les épaisseurs suivantes, selon la pression à laquelle elle est soumise sur son parcours :

5 millimètres pour 61 mètres de charge d'eau ; 7 millimètres pour 86 mètres ; 9 millimètres pour 110 mètres ; 11 millimètres pour 135 mètres ; 13 millimètres pour 160 mètres ; 14 millimètres pour 222 mètres ; 16 millimètres pour 254 mètres et 18 millimètres pour 286 mètres.

En plan, le tracé de la conduite est rectiligne, mais son profil en long présente plusieurs changements de pente. Elle est solidement ancrée de 10 en 10 mètres dans des massifs en maçonnerie qui empêchent tout mouvement de dilatation.

- TURBINES. — Du collecteur, placé parallèlement à l'usine, partent sept dérivations pourvues chacune d'une vanne d'arrêt et aboutissant à sept turbines, dont cinq de 1.400 HP, qui commandent les alternateurs et deux de 150 HP qui actionnent les excitatrices. Ces turbines, construites par la célèbre maison Piccard, Pictet et C^{ie}, sont à axe horizontal, centrifuges, à injection partielle et à libre déviation ; elles tournent à une vitesse de 500 tours dans une huche semi-cylindrique. Chaque distributeur est muni d'un seul orifice à section variable et le vannage chargé de régler la section de cet orifice est situé à l'extérieur du distributeur, c'est-à-dire hors de l'eau. L'extrémité des injecteurs et le pourtour des vannages sont des pièces rapportées en bronze phosphoreux, de petites dimensions et d'un remplacement facile et peu coûteux.

Les régulateurs sont entièrement mécaniques, fonctionnant sans eau.

Ils possèdent une commande à la main du vannage, laquelle sert pour la mise en marche et les arrêts. Cette commande à la main est munie d'un dispositif qui force l'opérateur à fermer lentement, de façon à éviter absolument les coups de bélier qu'une manœuvre maladroite du vannage pourrait provoquer dans la conduite forcée.

Les rendements garantis de ces turbines sont respectivement de 76, 73, 68 et 62 0/0 à pleine charge, à 3/4, 1/2 et 1/4 de la charge. Elles sont accouplées directement aux alternateurs au moyen de manchons élastiques.

ALTERNATEURS. — Ils sortent des ateliers de la Société Westinghouse. Ils produisent du courant triphasé à 3.000 volts, 50 périodes. Leur rendement, y compris l'excitation, est de 95,3 avec $\cos \varphi = 1$ à pleine charge, 93,5 avec $\cos \varphi = 0,8$ et 0,90 avec $\cos \varphi = 0,8$ à demi-charge. L'inducteur porte douze pôles laminés, bobinés avec un ruban de cuivre. Les masses polaires possèdent des canaux pour la circulation de l'air correspondant à ceux de l'induit, ce qui rend ces machines aptes à de très fortes surcharges sans échauffement dangereux pour les enroulements. La chute de tension entre la marche à vide et la pleine charge, pour le voltage normal, avec excitation et vitesse constante, est respectivement de 6,5 et de 20 0/0 pour $\cos \varphi = 1$ ou 0,8.

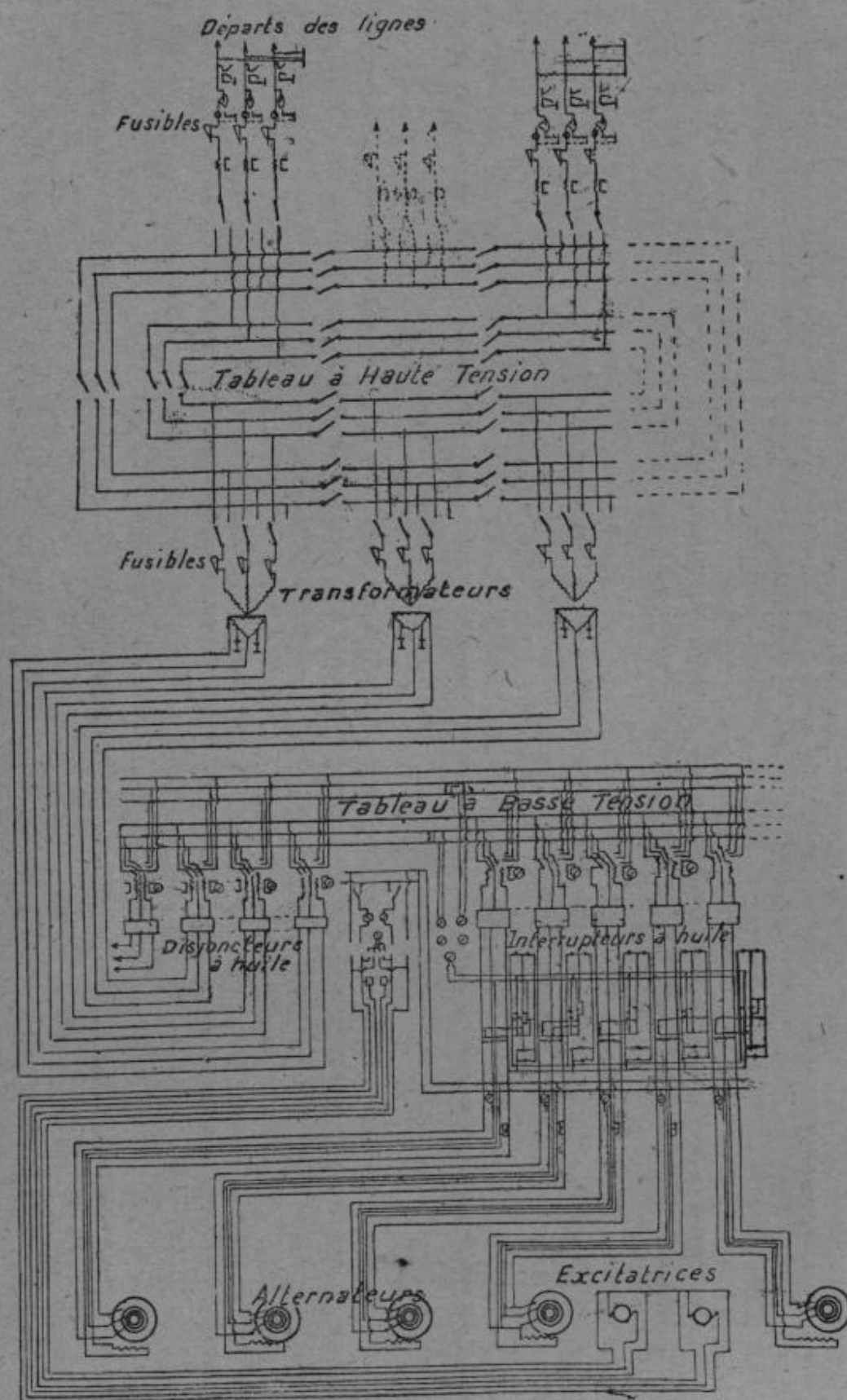


FIG 946. — Usine de Tusciano. Schéma des connexions de l'usine génératrice.

La vitesse périphérique de ces machines en marche normale, à 500 tours, est de 45 mètres par seconde.

TRANSFORMATEURS. — La tension du courant à 3.000 volts débité par les alternateurs est élevée à 30.000 volts au moyen de trois groupes de

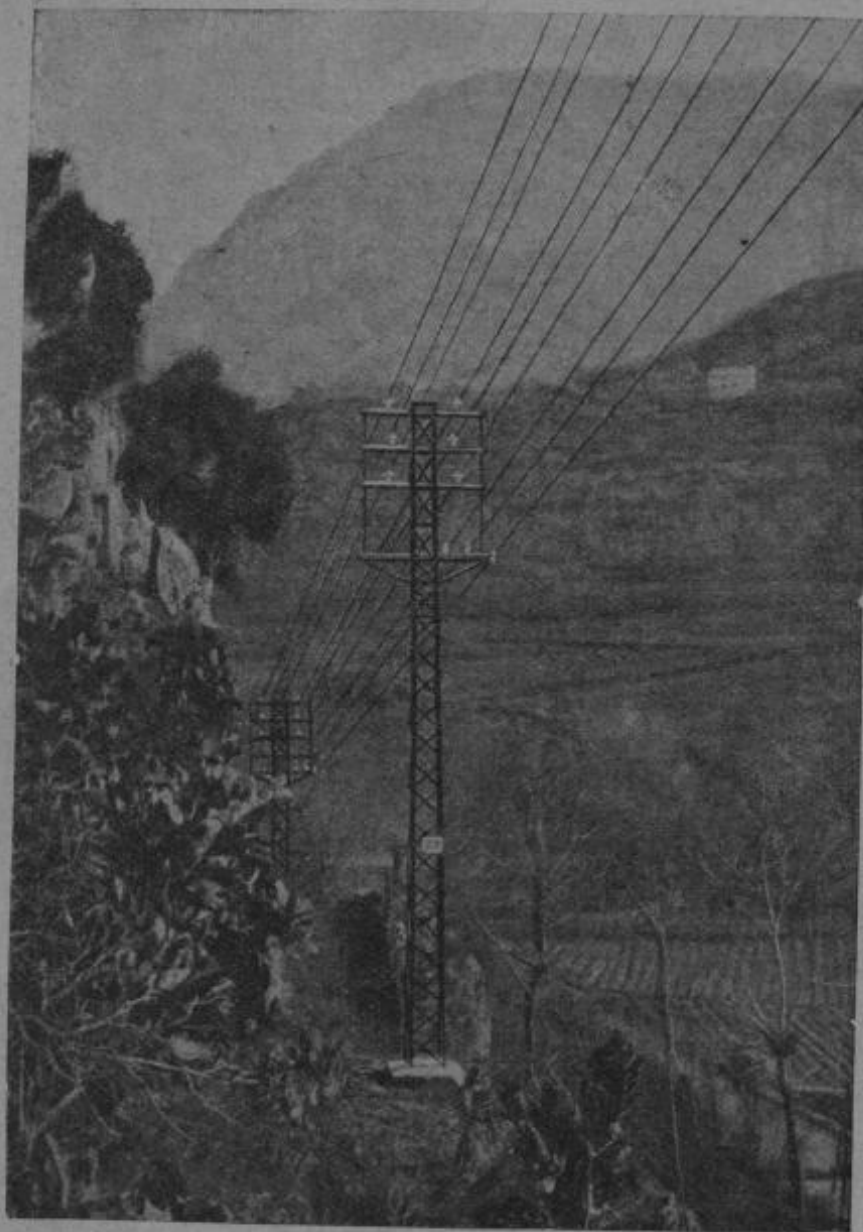


FIG. 947. — Usine de Tusciano. Ligne aérienne de transmission.

transformateurs Westinghouse (*fig. 946*). Chaque groupe comporte trois transformateurs statiques monophasés. Leur puissance est de 600 kilowatts et le rendement à pleine charge est de 0,982 avec $\cos \varphi = 0,8$. La chute de tension entre la marche à vide et la pleine charge est de 1,4 0/0 avec $\cos \varphi = 1$ et de 3,4 avec $\cos \varphi = 0,8$. Leur consommation à vide est inférieure à 5 kilowatts. Ils sont connectés en triangle sur les barres

omnibus à basse tension, et en étoile sur la ligne de départ. Ils peuvent aussi être connectés en triangle sur la haute tension au cas où l'on voudrait limiter la tension de service à 17.500 volts.

Le tableau de distribution est divisé en trois châssis : un pour la basse

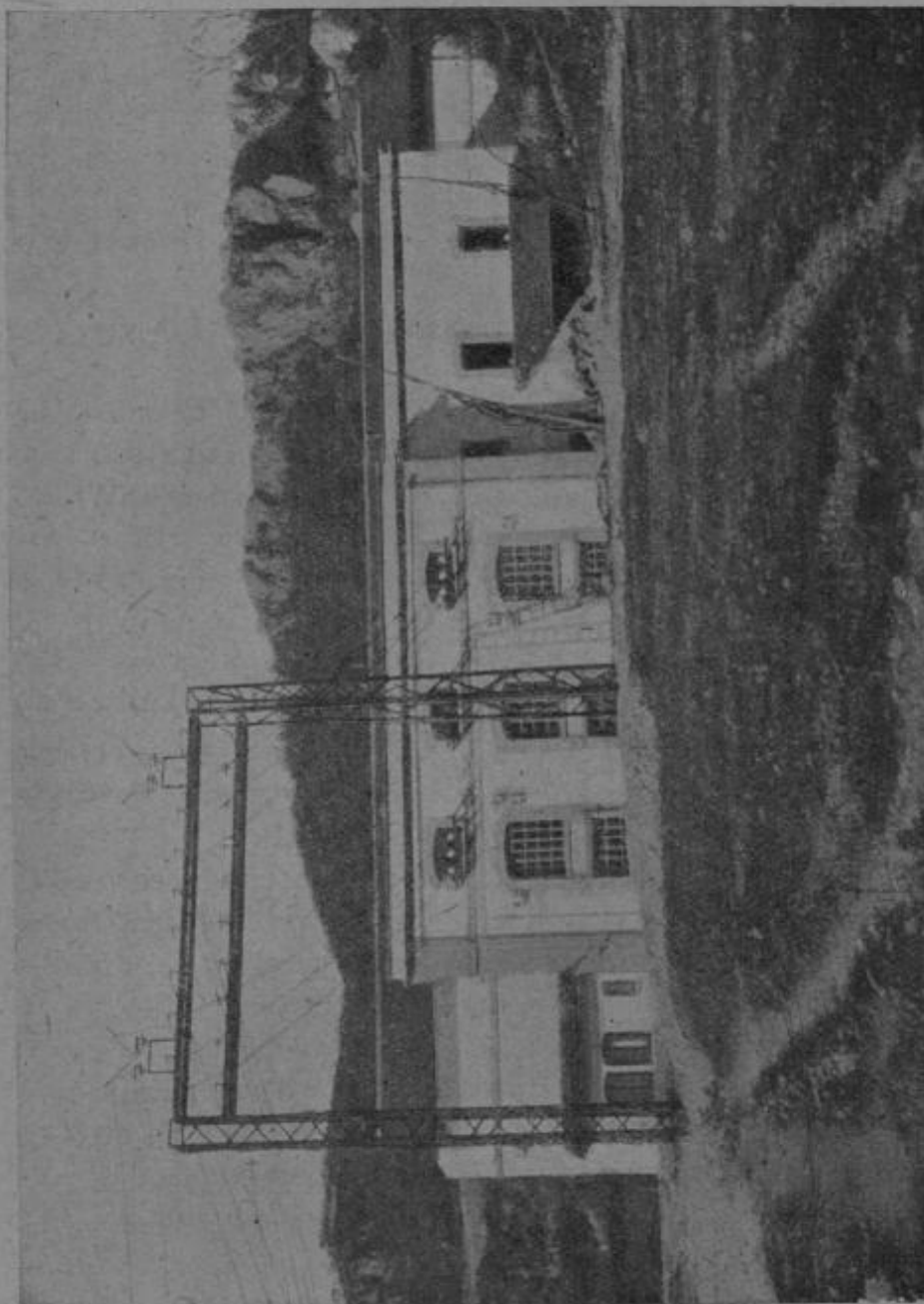


FIG. 948. — Usine de Tusciano. Départ des lignes de transmission.

tension, un pour le courant alternatif à 3.000 volts et un pour le courant à 30.000 volts.

TRANSPORT A HAUTE TENSION (30.000 volts). — Il est composé (*fig. 947*) de lignes à trois fils, chacun de 7 millimètres de diamètre. Les poteaux sont tous métalliques et à treillis, surmontés de trois traverses en bois

(fig. 948). Il y a une ligne à droite et une ligne à gauche du poteau. Les supports sont espacés de 60 mètres en moyenne. Les isolateurs sont formés par deux pièces en porcelaine scellées ensemble au moyen d'un mastic de litharge et de glycérine. Ils sont fixés à leurs supports au moyen d'une capsule filetée en laiton. Pour les essais de perforation, les isolateurs ont été soumis à une tension de 100.000 volts ; pour l'arc extérieur ils ont été essayés sous une pluie tombant à 45° et d'une intensité de 1 mètre à l'heure (à la tension de 45.000 volts, il ne s'est déclaré aucun arc extérieur) ; pour la résistance mécanique, la porcelaine et son attache n'ont subi aucune déformation durable sous l'effet d'une traction de 800 kilogrammes. Les épissures des fils ont été faites au moyen de joints Hoffmann avec soudure d'étain.

Les parafoudres sont du type à cornes avec résistances liquides.

• **397. Usine d'Amsteg (Suisse)** (chute, 276 mètres). *Chemin de fer du Golhard (Tronçon Erstfeld-Bellinzona)*. — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Cette usine est installée sur la Reuss (Suisse) entre Wassen et Amsteg.

La chute est de 276^m,4. La puissance moyenne minimum de 24 heures est de 6.080 HP à l'arbre des turbines avec 2^m³,2 à la seconde. La puissance moyenne en hiver atteint 11.200 HP de 24 heures.

Pour le débit, l'usine d'Amsteg comprend quatre unités de 8.000 HP et une plus petite unité pour la production d'énergie nécessaire aux installations auxiliaires à l'intérieur de la centrale. La capacité des travaux d'adduction est basée sur une puissance de 64.000 HP.

Prise d'eau. — Un barrage de 20 mètres de hauteur, construit dans l'étroite gorge du Pfaffensprung, procure une retenue de 100.000 mètres cubes d'eau, suffisante pour la compensation journalière d'énergie.

Galerie d'amenée. — A la sortie des bassins de décantation, l'eau est dirigée à un château d'eau situé à Schildwald, au-dessus d'Amsteg, par une galerie de 7 kilomètres de longueur, avec 6^m²,5 d'ouverture et 1,50/00 de pente. Afin de régler automatiquement l'amenée de l'eau au château d'eau, et de pouvoir utiliser la nappe retenue au barrage quand les pointes de puissance atteignent une certaine durée, cette galerie aura le caractère d'un souterrain sous pression hydraulique.

Château d'eau. — Le château d'eau construit en entier dans le rocher assure le passage de l'eau de la galerie d'amenée à la conduite forcée ; il comprend principalement un tunnel-réservoir et un puits vertical avec galerie de décharge et puits d'aération. Lors d'une brusque diminution de la demande d'eau, cette dernière refoulée dans la galerie se déverse dans le tunnel de décharge établi au niveau de la couronne du barrage, de sorte que la conduite forcée est à l'abri de coups de béliers dangereux.

Conduite forcée. — Pour la première étape, l'eau est amenée aux turbines par deux, plus tard par quatre conduites tubulaires de 520 mètres de longueur chacune et de 1^m,600 à 1^m,400 de diamètre. Ces conduites sont enterrées; chacune est munie à son départ du château d'eau d'une vanne à papillon manœuvrée à la main, d'une vanne à commande électrique à distance et d'une soupape de rentrée d'air.

La distribution des conduites à la centrale est établie de manière que le service de trois turbines soit assuré aussi bien avec l'une des conduites forcées qu'avec l'autre.

Canal de fuite. — L'eau sortant de chaque turbine est conduite dans un canal garni de revêtements en tôle d'acier de 25 mètres de longueur environ, muni d'un déversoir pour effectuer des jaugeages, immédiatement avant son débouché dans le canal de fuite. Celui-ci est commun à toutes les turbines; il a une longueur de 190 mètres et une section de 10 mètres carrés.

Usine. — Chaque unité (4 dans la première étape et 8 pour l'usine terminée) de 8.000 HP de puissance maxima se compose d'une turbine Pelton et d'une génératrice monophasée directement accouplée.

La tension de ces dernières est d'environ 8.000 volts. Les lignes d'alimentation et de contact peuvent être connectées aux barres omnibus des génératrices sous l'intervention de transformateurs, tant que la tension de service est de 7.500 volts.

• **398. Usine d'Engins (Isère) (chute, 282 mètres).** — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — La Société d'énergie électrique de Grenoble et Voiron possède, sur la rivière le Furon, affluent de la rive gauche de l'Isère, deux usines dites d'Engins et de Sassenage, la première utilisant une chute effective de 282 mètres, et la seconde, une chute de 135 mètres.

Le débit moyen du Furon est de 600 litres pendant six mois de l'année. De juillet à septembre, le débit reste inférieur à 400 litres quand l'été est sec. Les deux périodes d'étiage (janvier et septembre) donnent une moyenne de 250 litres pour la première, de 200 pour la seconde.

Prise d'eau. — La prise d'eau, située au moulin Arnaud, au-dessous du village d'Engins, comprend un barrage fixe (fig. 949), un canal d'amenée, un bassin-réservoir ou chambre d'eau, d'une capacité de 5.000 mètres cubes nécessaires



FIG. 949.

pour régulariser le régime variable du torrent. L'usine peut ainsi emmagasiner aux heures de faible charge un volume suffisant pour relever, pendant quelques heures, le débit normal du Furon et permettre de faire face à des surcroîts de charge momentanés, inhérents d'ailleurs à une usine qui doit fournir l'énergie nécessaire à l'éclairage et à la force motrice.

Conduite forcée. — La première partie de la canalisation comprend une conduite de 2.000 mètres en béton de ciment de 0^m,80 de diamètre intérieur, avec une épaisseur variant de 0^m,10 à 0^m,20 suivant la pression ; très peu inclinée, elle n'a qu'à subir des pressions inférieures à 20 mètres. La seconde partie, en tôle d'acier extra-doux de Saint-Étienne, a été exécutée et installée par la maison Bouchayer et Viallet. Elle se compose de tronçons de 6^m,50 de longueur, terminés à leurs extrémités par des courlières permettant l'assemblage des tronçons par l'intermédiaire d'un joint de plomb et de bitord, enduit de minium. L'assemblage se fait à l'aide de boulons.

Les tronçons sont construits en viroles cylindriques (trois grandes et deux petites) assemblées longitudinalement et transversalement au moyen de rivures. Cette partie de la canalisation a 1.270 mètres de longueur et l'épaisseur des tôles varie, suivant la pression, de 4 à 14 millimètres, correspondant à un travail maximum de 6 kilogrammes par millimètre carré.

La conduite est logée dans un fossé creusé à flanc de coteau, et elle descend à l'usine suivant la ligne de plus grande pente de la montagne ; elle est maintenue en place par des massifs de maçonnerie et des amarres métalliques, puis couverte de terre à l'effet de la garantir contre les chutes de blocs et contre la dilatation.

On a placé sur le parcours de la conduite deux cheminées ou reniflards, dont l'une à l'extrémité aval de la canalisation en ciment.

La partie de la canalisation forcée de l'usine de Sassenage, faite en ciment armé, a 600 mètres de longueur. Elle a 0^m,50 de diamètre intérieur, avec une épaisseur variant de 4 à 8 centimètres ; l'armature métallique est composée de petits fers ronds de 6 à 8 millimètres de diamètre disposés suivant les génératrices et les directrices du cylindre. La pression à l'extrémité atteint 35 mètres.

• *TURBINES.* — Les récepteurs hydrauliques, construits par la maison Bouvier, sont du type Girard, à axe horizontal, à admission partielle et libre déviation. Les trois turbines commandant les alternateurs ont une puissance de 500 HP chacune et tournent à 300 tours. Elles portent sur leur arbre des volants en fonte avec frettes d'acier du poids de 5.300 kilogrammes, dont la jante est animée d'une vitesse de plus de 40 mètres par seconde. Les trois turbines des excitatrices ont une puissance individuelle de 30 HP et tournent à 950 tours.

Un groupe à vapeur de 500 HP a été installé à proximité des unités hydrauliques pour augmenter de cette puissance celle de l'usine pendant les années de sécheresse exceptionnelle. Cette machine, du type Boulte et Labordière, tournant à 300 tours, actionne directement, par l'intermédiaire d'un manchon d'accouplement, l'une des extrémités d'un des alternateurs, et l'autre extrémité est reliée à une turbine. Une disposition spéciale des manchons permet d'accoupler à volonté, en quelques minutes, la turbine ou la machine à vapeur.

Vannage. — Le vannage des turbines est commandé du tableau de distribution de l'usine au moyen de transmissions mécaniques. Le régulateur est du type H. Bouvier, décrit au chapitre IX.

L'usine (fig. 950) est divisée en quatre parties : salle des turbines, salle des génératrices, salle des transformateurs et atelier des réparations,

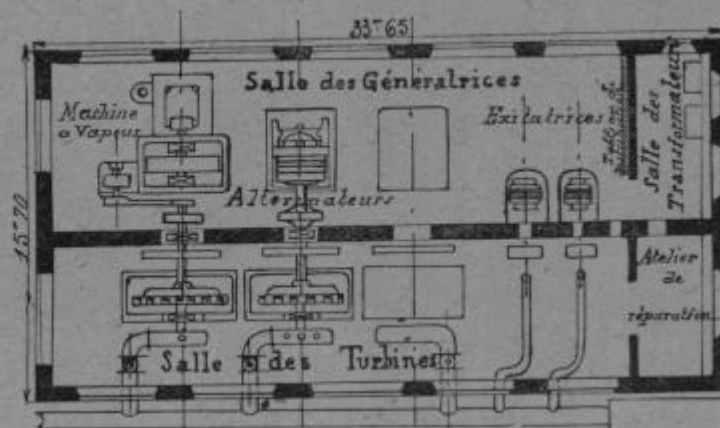


FIG. 950.

plus un bâtiment pour les chaudières et un hangar aux charbons.

Les transformateurs élèvent la tension du courant, fourni par les alternateurs, de 120 volts à 15 000 volts.

ALTERNATEURS. — Les alternateurs ont été construits par la Société « l'Éclairage électrique » et par les ateliers d'Oerlikon ; ils ont les mêmes caractéristiques, 350 kilowatts, 125 volts et 50 périodes. Les induits fixes sont à enroulement triphasé en étoile, et les inducteurs mobiles possèdent vingt pôles.

Les deux alternateurs Labour sont à accouplement direct sur l'arbre des turbines au moyen d'un plateau volant muni de taquets de caoutchouc travaillant à l'écrasement.

L'alternateur d'Oerlikon possède un double accouplement, qui permet de le faire fonctionner soit par la turbine, soit par la machine à vapeur de secours.

Le rendement de ces machines a été trouvé de 93 0/0, pour $\cos \varphi = 1$.

Les trois excitatrices (deux Labour et une Alioth), de 175 volts, 100 ampères et 900 tours pour les premières, et 175 volts, 140 ampères, 900 tours pour la dernière, ont un rendement de 0,80.

EXPLOITATION. — L'usine d'Engins combinée avec l'usine de Sassenage exploite un réseau triphasé qui alimente diverses localités : Voiron, Morans,

Tullins, Fure, etc., situées sur son parcours, et en partie la ville de Grenoble, ainsi que diverses fabriques et ateliers de construction.

La ligne de transport à haute tension a un développement total de plus de 60 kilomètres et elle est montée sur des poteaux en bois injectés au sulfate de cuivre. Les transformateurs statiques, disposés soit dans les sous-stations, soit sur des supports aériens, soit chez les abonnés, abaissent directement la tension de 15.000 volts à 120 volts. L'éclairage et la petite force sont branchés sur les mêmes transformateurs ; la grosse force motrice est alimentée par des transformateurs particuliers.

399. Usine de Rjukanfoss (Norvège) (chutes de 300 et 282 mètres).

— Cette installation comporte une disposition en deux gradins qui portent les désignations de Rjukan I et de Rjukan II. Cette utilisation d'une seule dérivation d'eau, en deux chutes successives, présente l'avantage de ne nécessiter qu'un seul barrage pour les deux usines, grâce aux dénivellations favorables de la rivière.

Les puissantes forces hydrauliques de la rivière Maana (district de Télémarken) avec les chutes d'eau et rapides voisins sont en état de four-

nir plus de 250.000 chevaux en force constante toute l'année. Ce débit permanent est assuré par l'existence d'un lac à 900 mètres d'altitude formant un réservoir d'environ 850 millions de mètres cubes. On a décidé d'amé-



FIG. 951. — Usine de Rjukanfos. — Plan des installations hydroélectriques du bassin de Notodden.

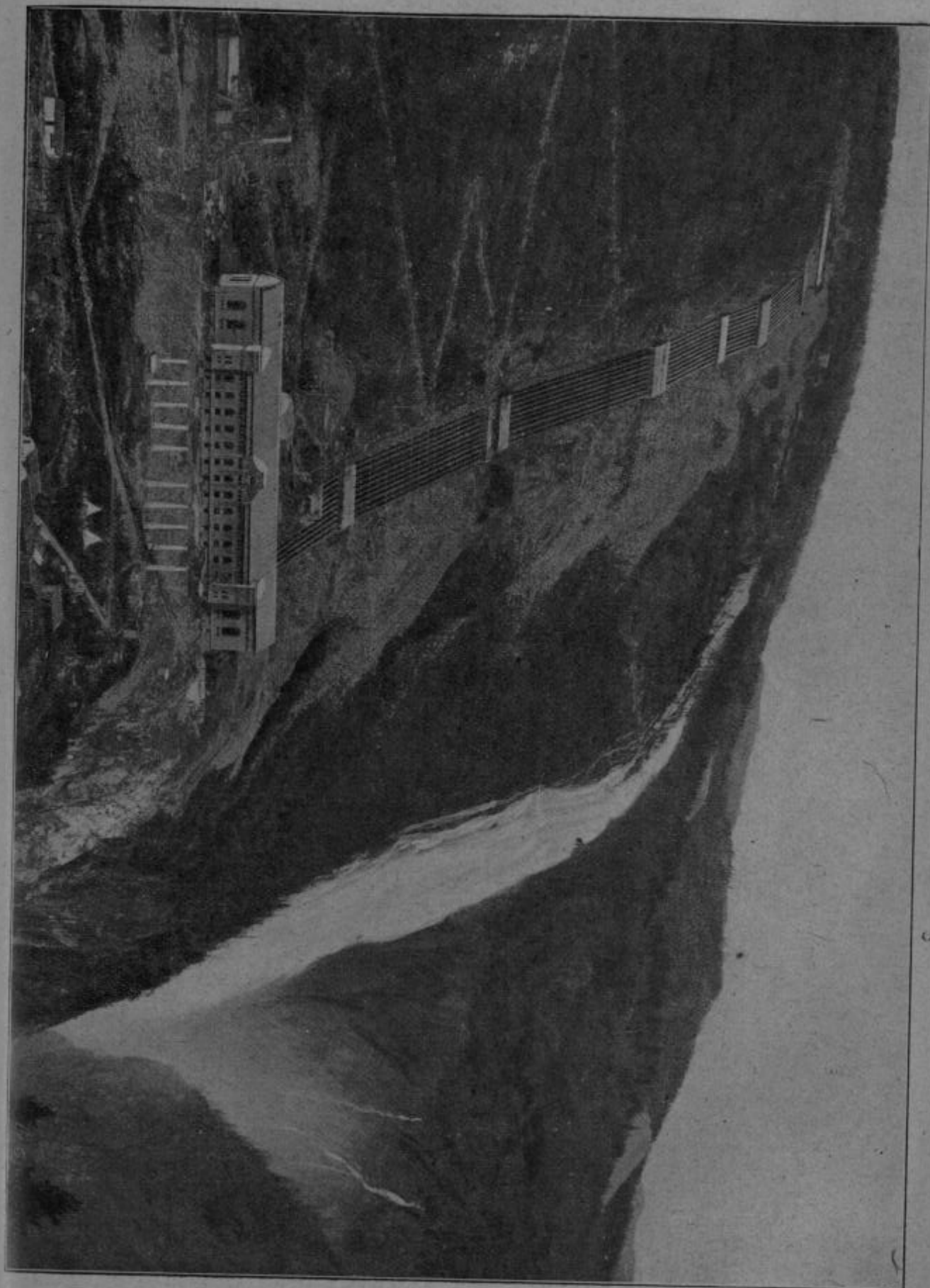


FIG. 952. — Schéma des aménagements de la chute du Rjukan (227.000 HP).

nager les chutes en deux étapes, dont la première a été fixée à une chute de 300 mètres de hauteur brute (Rjukan I) (fig. 951, 952 et 953).

AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — A l'endroit de la prise d'eau, soit 8 kilomètres de distance et en contre-bas du barrage principal dit de Mös-

FIG. 964. — Vue générale de l'ouvrage.



avec deux tuyères par roue. Le réglage a lieu au moyen de servo-moteurs à pression d'huile. Les régulateurs de pression, qui ouvrent une décharge si le réglage s'effectue trop vite et si la pression dans les conduites dépasse une certaine mesure, sont établis d'après le même principe,

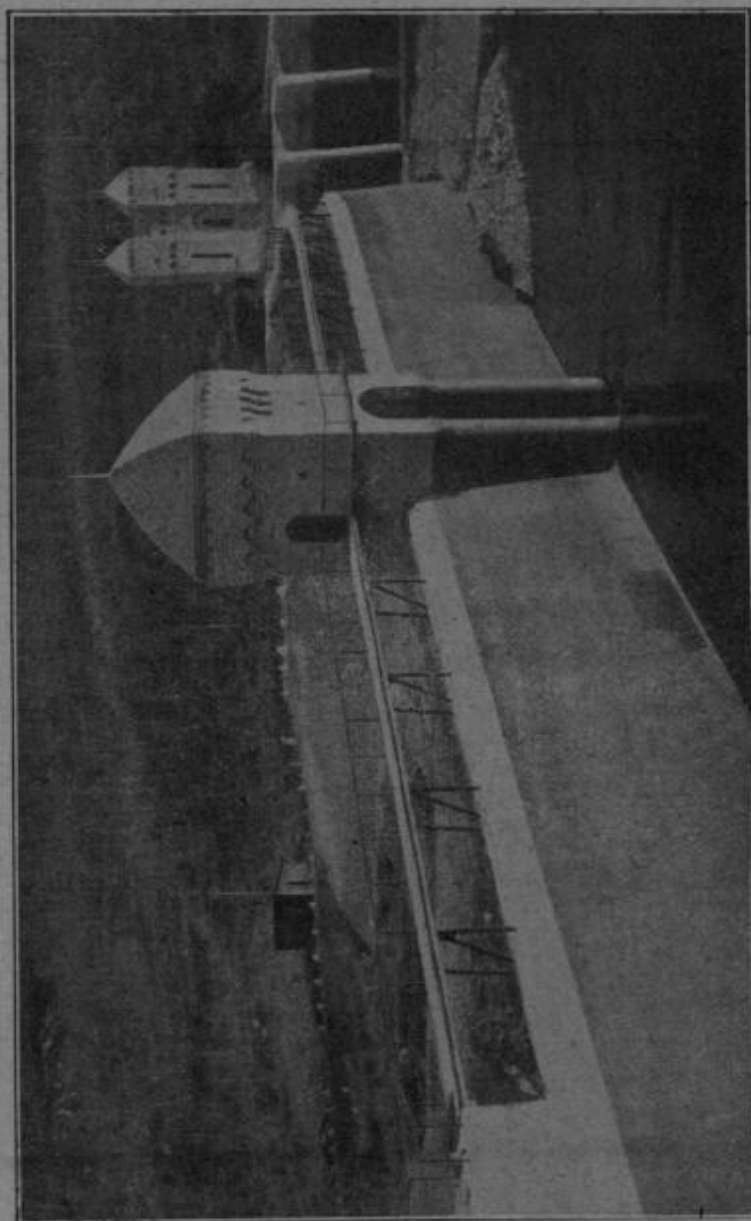


FIG. 955. — Vue de l'usine. — Vue du barrage de Skarfos.

c'est-à-dire que le réglage s'opère sur toutes les turbines de la même façon.

Une petite turbine de 1.000 chevaux assure le service de la centrale et celui de l'excitatrice de réserve.

ALTERNATEURS. — Ces machines, qui servent à l'alimentation des fours sont construites pour une puissance de 17.000 kilowatts à ces

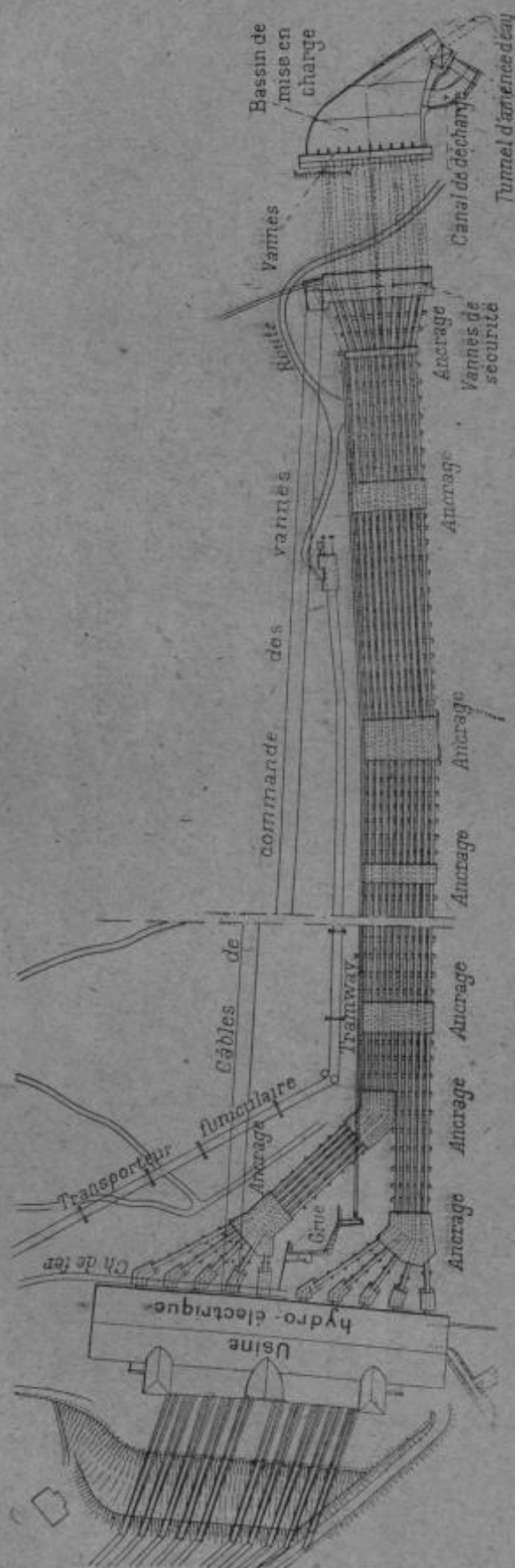


Fig. 1956. — Disposition des conduites forcées.

$\varphi = 0,6$, à la tension de 10.000 à 11.000 volts, 50 périodes, 250 tours.

Elles sont toutes pourvues d'une excitatrice en porte-à-faux, à l'effet d'assurer avant tout la continuité de marche. La ventilation des génératrices, question d'importance capitale en raison de leur application spéciale et des conditions climatiques du pays, est fondée sur le principe d'une séparation complète entre les conduites d'air chaud et froid et la salle des machines; les machines elles-mêmes agissent comme ventilateurs.

La nécessité de ne pas seulement expulser l'air chaud, mais aussi de faire venir l'air froid du dehors (combinaison qui était encore nouvelle lors de l'établissement des plans de l'usine) s'impose par la quantité d'air de 280 mètres cubes par seconde requise par l'ensemble des dix machines. Les dispositions prises sont l'objet d'une étude très suivie, car cette question de ventilation présente un grand intérêt pour les établissements hydrauliques qui se construisent de plus en plus dans les hautes montagnes, aussi en dehors de la Norvège.

Les génératrices ont été fournies par l'Allmänna Svenska et par la firme Brown Boveri, de Baden.

Les machines doubles de la première firme et de la seconde sont basées sur le même principe général de construction. Elles fonctionnent à

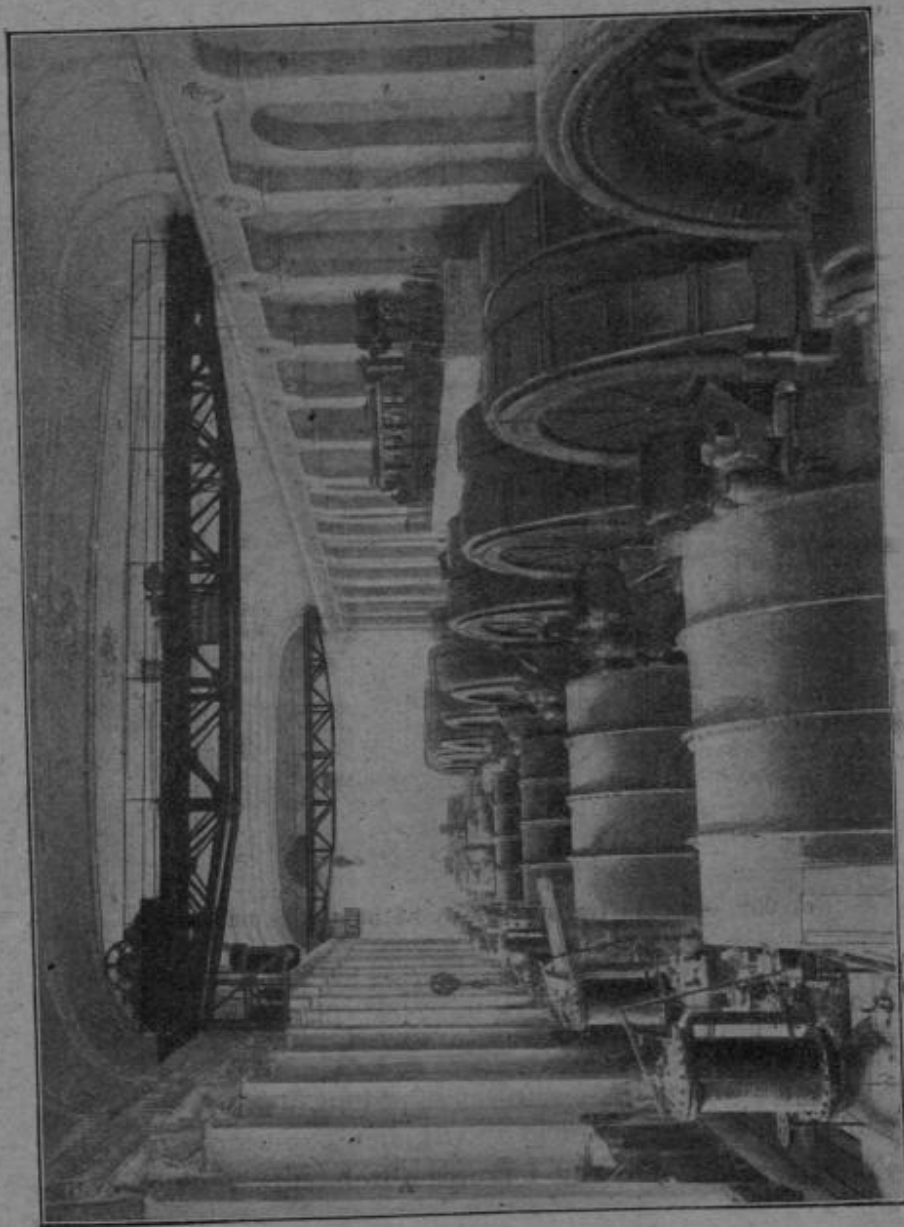


FIG. 957. — Salle des Machines.



11.000 volts; 50 périodes et 250 tours par minute ; leur puissance est de 8.500 kilovolts-ampères et $\cos \varphi = 0,6$.

Les deux moitiés de chaque génératrice sont placées aussi près que possible l'une de l'autre. Les deux stators, divisés en quatre parties chacun, reposent directement sur des plaques de fondation, sur lesquelles ils peuvent se déplacer latéralement. L'enroulement à chevauchement com-

porte trois encoches ouvertes par pôle et par phase et chaque encoche contient quatre conducteurs réunis en série.

Le rotor est supporté par deux paliers reposant sur une plaque en fonte solidement fixée aux fondations. Le rotor de chaque demi-machine se compose d'une partie intérieure formant support et d'une partie extérieure formant les pôles.

Le bâtiment de l'appareillage ainsi que les planchers sont en béton.

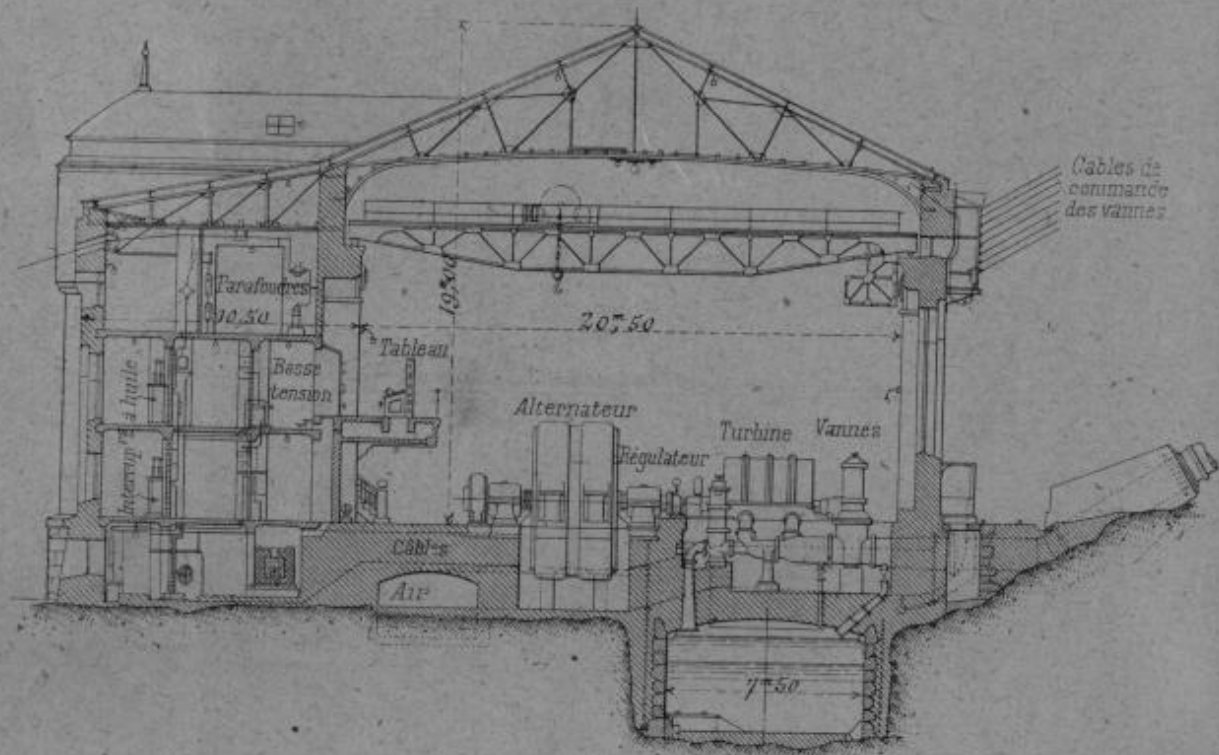


Fig. 958. — Coupe transversale du bâtiment des machines.

armé et toute l'installation électrique y est placée en compartiments séparés pour chaque phase.

Toutes les commandes, les mesures, etc. se font au moyen d'appareils à basse tension soigneusement isolés contre la haute tension et mis à la terre, comme d'ailleurs aussi toutes les ferrures d'isolateurs et d'appareils.

Ligne de transmission. — Les isolateurs essayés à 70.000 volts et garantis mécaniquement pour 2.000 kilogrammes sont fixés sur leurs tiges, en acier doux, au moyen de chanvre imprégné d'huile excepté pour les supports fixes, où l'on a préféré l'emploi du ciment.

Les conducteurs en cuivre ont été livrés d'une seule pièce de 1.650 mètres de long, pour éviter les joints. Les câbles sont, aux points de fixation, serrés par des mâchoires en fer forgé avec fourrure de cuivre, qui se rattachent à la chaîne d'isolateurs et peuvent être réglés au moyen de vis.

Les câbles en aluminium ont été livrés en longueurs de 800 à 900 mètres, et les joints exécutés au moyen des manchons Mac Intire ayant 2mm,5 d'épaisseur et long d'un mètre environ et tordu quatre fois.

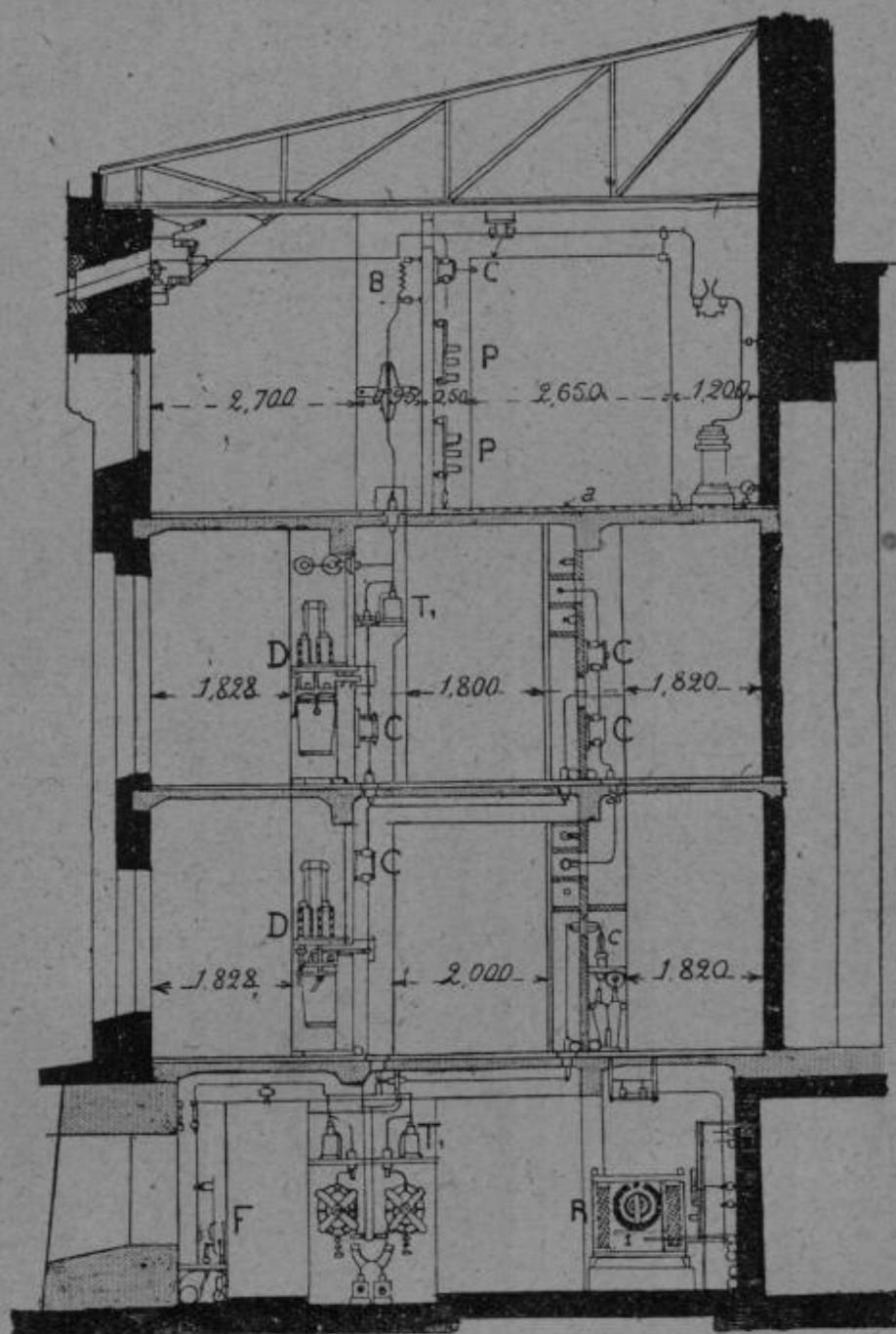


FIG. 959. — Usine hydroélectrique de Rjukanfos. — Coupe du bâtiment pour la haute tension.

Comme protection contre les surtensions, en outre des parafoudres aux bouts de ligne, on a fixé à chaque tige une tôle qui se rapproche plus du

conducteur qu'aucune autre pièce métallique, de sorte qu'une surtension doit se décharger ici sans endommager l'isolateur.

Chaque rangée de supports est mise à la terre par un câble en cuivre.

Le tirage des câbles a été exécuté au moyen d'un treuil actionné électriquement et l'ajustage des flèches, à l'aide de petits palans.

La ligne de transport a été essayée à 30.000 volts. La mesure des pertes en mettant la ligne en court-circuit a donné une valeur de 12 à 14 0/0 supérieure à celle calculée par la résistance.

400. Usine de Loch-Leven (*chute, 285 mètres*). — La région de captation aux usines du Loc ou lac Leven, dans le bassin de la rivière Blackwater, a une superficie de 141 hectares. L'emplacement du réservoir



FIG. 960. — Usine de Kintloch-Leven. — Vue du barrage.

des eaux a été judicieusement choisi et présente une longueur totale de 12 kilomètres sur une largeur de 804 mètres et 22^m,85 de profondeur (100.000 millions de litres d'eau).

Barrage. — Cet ouvrage a 948 mètres de longueur (*fig. 960*) et une hau-

teur maximum de 26^m,20. La tour centrale du barrage contient les six vannes installées en tête des trois tuyaux qui aboutissent à la chambre d'eau.

Canal d'amenée. — De cette dernière l'eau est distribuée au moyen d'un

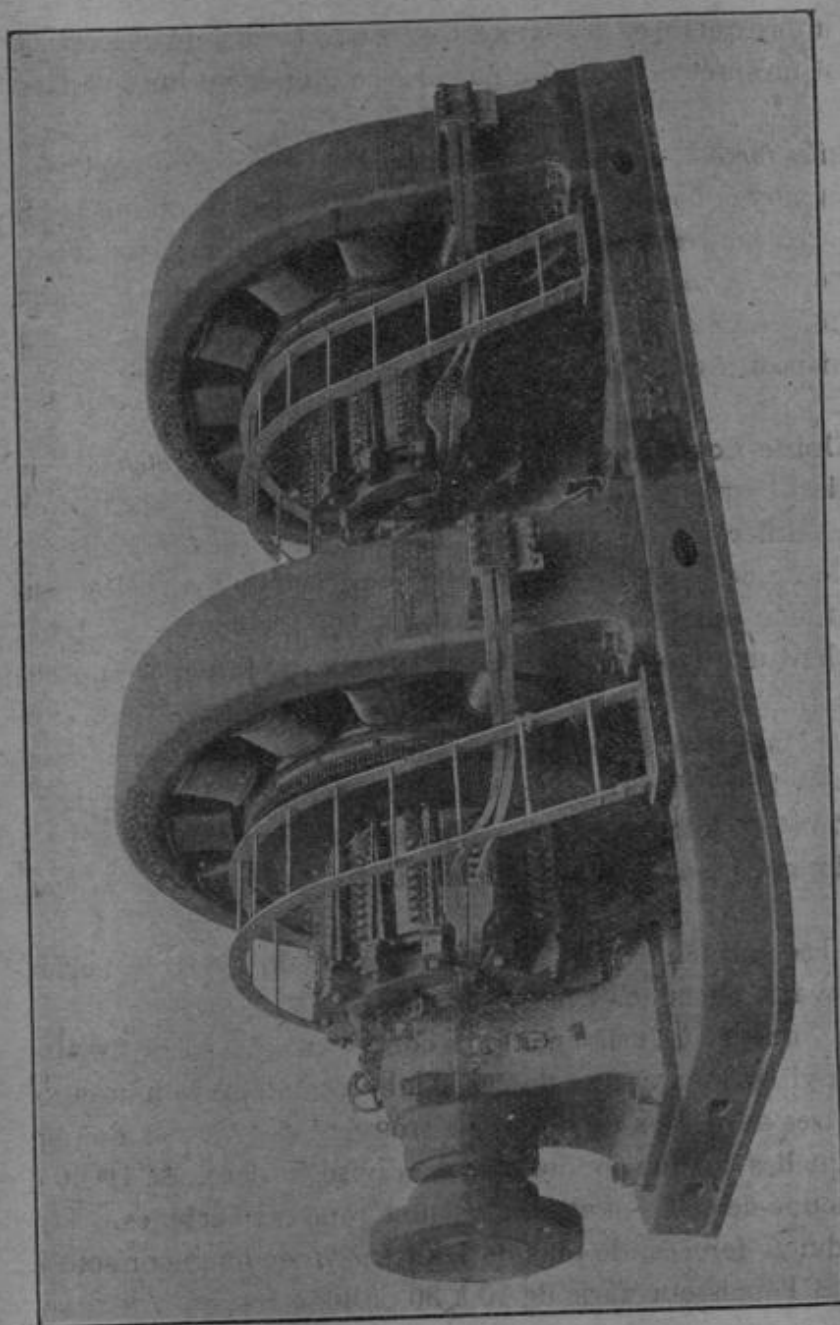


Fig 961 — Usine génératrice de Kinloch-Leven — Groupe électrogène.

déversoir de mesure dans un canal d'amenée de 5.630 mètres de longueur, d'une section carrée de 2^m,43 × 2^m,43 avec une pente générale de 1 0/00.

La construction de ce canal a consisté, dans la partie inférieure, en un ouvrage creusé dans le roc et doublé en béton, tandis que dans la partie supérieure, au-dessus du rocher, il est en béton armé.

Tout le long du canal, on a drainé et réuni les eaux de pluie en trois cours d'eau qui y sont recueillis. Des soupapes automatiques empêchent les afflux d'eau inutiles. Des signaux électriques permettent de se rendre compte de l'état de cet afflux afin de pouvoir se servir des débits supplémentaires pendant certains jours et d'économiser le débit du réservoir.

La chambre qui reçoit les eaux du canal a une capacité de 1.300.000 litres où elle est mesurée et conduite dans les conduites au fur et à mesure des besoins.

Conduites forcées. — De cette chambre l'eau est envoyée à l'usine génératrice au moyen de six tuyaux en acier de 1 mètre de diamètre ; la chute haute de 285 mètres exige une épaisseur de 22 millimètres au pied et de 10 millimètres au sommet. Le collecteur des turbines porte les soupapes de distribution commandées hydrauliquement et au moyen d'un engrenage et d'un dispositif automatique de fermeture et de réglage.

• **401. Usine Los Angeles (Californie)** (chute, 287 mètres). — Cette usine utilise l'aqueduc du même nom qui comporte d'une extrémité à l'autre une différence de niveau de 1.078 mètres et on a eu l'idée d'utiliser une partie de cette chute totale dans sept usines hydroélectriques qui fourniront une puissance moyenne de 64.000 chevaux et maximum de 120.000 chevaux. Trois de ces usines, situées sur la partie supérieure de l'aqueduc, ont respectivement 600, 1.500 et 2.500 kilowatts de capacité.

Quatre plus importantes seront établies dans la partie inférieure de l'aqueduc, à 260, 75, 60 et 38 kilomètres de Los Angeles. Les usines situées à 75 et 60 kilomètres sont celles de San Francisco n^{os} 1 et 2.

Nous donnons une description succincte de l'une de ces dernières usines.

Elle utilise une chute de 287 mètres à l'aide de trois turbines de 14.000 chevaux chacune.

L'eau est amenée à l'usine par trois conduites en acier de 2^m,40 de diamètre, à la vitesse maximum de 2^m,50 à la seconde. A la hauteur d'environ 75 mètres au-dessus de l'usine se trouvent des vannes de réglage, à partir desquelles chaque conduite se subdivise en deux, de 1^m,40 de diamètre, chacune de celles-ci alimentant une roue des turbines.

Les conduites forcées, de plus de 1 kilomètre de longueur sont en tôle d'acier, dont l'épaisseur varie de 10 à 30 millimètres.

L'usine est construite en béton armé.

Chaque groupe turbo-alternateur se compose d'une génératrice de 7.500 kilowatts, avec un facteur de puissance de 0,8, placée entre deux roues hydrauliques à impulsion, les trois machines étant calées sur le même arbre. Les génératrices produisent du courant à 6.600 volts, porté à la tension de 106.000 volts.

- 402. **Usine de Kandergrund (Suisse)** (*chute, 300 mètres*). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Cette usine établie sur la rivière Kander, utilise une chute de 300 mètres de hauteur sous un débit de 3 à 4 mètres cubes seconde, représentant 9.000-12.000 HP aux arbres des turbines.

Cette énergie est destinée en grande partie à être utilisée, sous forme de courant monophasé à haute tension, à la traction électrique du chemin de fer des Alpes bernoises, éventuellement à celles d'autres lignes.

Prise d'eau. — Elle se trouve en dessous du Bühlsteg, où le niveau de la rivière est relevé par un barrage à la cote maximum de 1166,85. Ce dernier consiste en un déversoir maçonné de 7^m,50 de long et de deux vannes en fer de 3^m,20 de largeur chacune, s'ouvrant sur 2^m,20 de hauteur. Cet ouvrage permet un écoulement continu de 60 mètres cubes seconde.

L'eau est prélevée immédiatement au-dessus du barrage au moyen de trois ouvertures, ayant chacune 4 mètres de largeur, dans un bassin de 650 mètres carrés, destiné au dépôt du limon. Des grilles à barreaux espacés sont placées devant ces ouvertures, pour arrêter les bois flottants. La vitesse de l'eau dans le bassin ne dépasse pas 0^m,15 à la seconde et la longueur de celui-ci est suffisante pour permettre à la plus grande partie du limon et du sable de s'y déposer. Le gros gravier ne peut pénétrer dans le bassin, car le seuil des ouvertures est bien plus haut que le lit de la rivière.

Canal d'amenée. — L'eau passe du bassin de décantation dans une galerie, devant laquelle se trouve une grille à barreaux rapprochés. Comme la vitesse peu élevée de l'eau dans le bassin permettrait à celle-ci de se congeler en hiver, on a construit un canal spécial à 6 0/0 de pente pour en faire dévier l'eau, d'ailleurs claire, pendant cette saison. L'eau traverse ce canal à une vitesse de 2 mètres-seconde pour aboutir à la galerie. Un dispositif permet de rejeter à la rivière les glaçons qui pourraient passer dans le canal. La longueur totale de la galerie est de 4.214 mètres et sa section de 3^m²,72 permettant un écoulement de 6 mètres cubes à la seconde.

Elle possède deux déversoirs de trop-plein et de vidange ; le premier près de Lauenenbach et le second près du Hohbalenengraben.

Chambre de mise en charge. — La galerie débouche dans la chambre de pression, formée d'un tunnel de 170 mètres de longueur et 44 mètres carrés de section, auquel se joignent quatre chambres de même section, ayant une longueur totale de 172 mètres. La surface totale de la chambre de mise en charge est de 1.700 mètres carrés et son volume de 15.000 mètres cubes. Un déversoir permet de la vider au besoin.

Conduites forcées. — Il est prévu trois tuyauteries de 1 mètre de diamètre. Partant horizontalement au départ de la chambre d'eau, elles

passent ensuite dans un tunnel fortement incliné, de 105^m,60 de long, pour rester à ciel ouvert jusqu'à l'usine, soit 539 mètres de longueur. Les conduites sont en tôle d'acier et constituées, dans leur partie supérieure, de 142 mètres de tuyaux rivés, et dans leur partie inférieure, de 503 mètres de tuyaux soudés; les épaisseurs des divers tronçons varient de 7 à 25 millimètres. Le long des conduites on rencontre des plots d'ancrage et des manchons de dilatation.

A la sortie de la chambre d'eau, la canalisation forcée peut se fermer par une vanne à papillon qui se manœuvre de la chambre des machines. La vanne et un conduit d'air, placé sous elle, sont aménagés dans une cavité pratiquée dans la roche. Vers la salle des machines les conduites reçoivent une vanne de fermeture. Un tuyau de communication relie les trois conduites, lequel permet, lors de la mise hors de service d'une conduite, d'alimenter le groupe correspondant de machines par une autre. Chacune des conduites alimente les turbines de deux groupes de 4.000 chevaux.

Canal de fuite. — L'eau quittant les turbines retourne à la Kander par un canal de fuite de 105 mètres de longueur, partie voutée, partie à ciel ouvert. Les parois et le fond du canal sont revêtus de plaques en fer, sur la partie longeant la centrale, par mesure de protection contre le travail d'érosion de l'eau. Un petit déversoir, avec dispositif de jaugeage, est placé à l'endroit où le canal de fuite rejoint la Kander.

• **TURBINES.** — La salle des machines de l'usine génératrice est dimensionnée pour recevoir sept unités, chacune d'elles consistant en une roue Pelton à axe horizontal, accouplée directement et rigidement à un alternateur, le tout reposant sur une seule plaque de fondation et trois paliers. Chaque turbine peut fournir 4.000 chevaux à la vitesse de 300 tours et un débit d'environ 1.300 litres à la seconde. Un régulateur à pression d'huile, construit de telle sorte que des coups de bélier ou autres pressions dangereuses ne puissent se produire dans la conduite forcée, complète l'installation d'une turbine. Le régulateur est avec pointeau et écran déviateur. Les turbines et les régulateurs ont été livrés par la maison Piccard, Pictet et C^{ie}.

Les essais ont donné les résultats suivants : pour une décharge brusque de 850 HP, la variation de vitesse n'a été que de 1,4 0/0 ; pour 1.700 HP, 2,9 0/0 ; pour 2.470 HP, 3,2 0/0 ; pour 3.380 HP, 4,2 0/0 et pour une décharge brusque de 4.070 HP, 5,1 0/0.

Pendant ces décharges la pression dans la conduite ne s'est élevée au-dessus de la pression statique que de respectivement 2,9 0/0, 3 0/0, 4,4 0/0 et 5,4 0/0.

ALTERNATEURS. — Ces machines fournissent directement une tension de 16.000 à 17.000 volts et l'épreuve d'isolement a été faite à 80.000 volts.

L'énergie fournie par les alternateurs est conduite par des conducteurs placés en souterrain et aboutissant au tableau de distribution.

Le bâtiment contenant ce dernier est adossé au bâtiment des machines et consiste en un rez-de-chaussée et trois étages. Au premier se trouvent les transformateurs de courant et de tension ainsi que les interrupteurs à huile ; les barres collectrices sont au deuxième étage et au troisième étage et au rez-de-chaussée se trouvent les appareils de protection de départs des lignes.

La salle des machines mesure 61 mètres sur 13^m,50. Elle est assise sur un plateau en béton armé de 62 mètres de longueur sur 18 mètres de largeur et 1^m,20 d'épaisseur. Les planchers et les toits des bâtiments sont en béton armé système Hennebique. Les alternateurs sortent des ateliers de la maison Brown, Boveri et l'appareillage a été fourni par la Société générale des condensateurs électriques de Fribourg.

403. **Usine de Rio-de-Janeiro (Brésil)** (chute, 310 mètres). — La centrale est située à une distance de 82 kilomètres environ de Rio-de-Janeiro et utilise la force motrice des eaux du Rio das Lages, dont le débit est sujet à des variations d'une grande amplitude.

Barrage. — Cet ouvrage, disposé en travers du lit de la rivière et à la cote de 400 mètres, crée un réservoir d'une capacité de 220 millions de mètres cubes, suffisant pour emmagasiner toute l'eau nécessaire à la station pendant la saison sèche.

Conduites forcées. — L'usine est située à 310 mètres au-dessous du plan d'eau du réservoir. Elle comporte une installation de 50.000 HP, et on prévoit un agrandissement futur à 120.000 HP, le reste de la réserve d'eau à créer pouvant être facilement fourni par des affluents du Rio das Lages.

L'usine est reliée au réservoir par une double file de conduites en tôle d'acier, formée chacune de tuyaux de 2^m,44 de diamètre sur une longueur de 1.800 mètres. Elles partent en pente douce jusqu'à la crête d'une pente rapide surplombant l'usine de 250 mètres. A partir de ce point, les deux conduites sont ramifiées en six tuyaux de 915 millimètres de diamètre et une de 305 millimètres aboutissant à l'usine. Chacune des six conduites alimente une roue tangentielle actionnant un alternateur triphasé de 8.700 HP à 6.000 volts et 250 tours. La petite conduite fournit l'eau aux roues tangentielles des excitatrices.

LIGNE DE TRANSMISSION D'ÉNERGIE (80.000 volts). — Le courant à 6.000 volts est transformé à 80.000 volts pour être transmis par quatre circuits triphasés à la sous-station de Rio-de-Janeiro, où il est ramené à 6.000 volts d'abord, puis envoyé à des transformateurs installés dans des sous-sols voûtés, sous les rues, où la tension est abaissée à 120 volts.

Au début, ce transport de force s'est fait à 40.000 volts seulement, à raison de 10.000 kilowatts par ligne triphasée. Mais les transformateurs ont été établis pour permettre de relever cette tension à 60.000 et 80.000 volts, et les lignes peuvent facilement transporter 20.000 kilowatts à 40.000 volts.

La quadruple ligne de transmission est établie sur deux fils de poteaux en acier et chacune des deux lignes doubles de chaque pylône pourrait transmettre la puissance totale de 50.000 HP dans des conditions normales, s'il survenait un accident mettant l'autre hors de service.

On a installé à la sous-station de Rio-de-Janeiro deux groupes générateurs avec moteurs à gaz, d'une puissance totale de 10.000 kilowatts, pour parer aux besoins les plus pressants en cas d'avarie à l'usine hydraulique ou aux conduites d'alimentation de celle-ci.

Une usine hydraulique provisoire a été installée pour une puissance de 3.400 HP. Elle est alimentée par deux conduites forcées de 750 millimètres de diamètre. Elle se trouve située à une centaine de mètres au-dessous du plan d'eau du réservoir. La ligne de transport d'énergie de cette station rejoint celles qui partent de la station principale, un peu au-dessous de cette dernière.

• **404. Usine d'Obermatt (Suisse)** (*chute, 312 mètres*). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Cette usine est établie sur la rivière d'Erlembach, dont le débit est d'environ 1.000 litres par seconde à l'étiage. On a canalisé la rivière sur une longueur de 90 mètres et les eaux sont reçues dans un réservoir d'une capacité de 70.000 mètres cubes régularisant le niveau de l'eau. On dispose ainsi d'une puissance variant entre 6.000 HP à 10.000 HP selon les heures d'utilisation.

Canal d'amenée. — Une galerie de 2.567 mètres, d'une pente de 1,2 0/0 et d'une section libre de 4m²,2, conduit l'eau à un château d'eau ou réservoir de 7 × 7 mètres à la base, tête de départ des conduites forcées.

Conduites forcées. — Celles-ci, qui ont une longueur de 620 mètres chacune, dévalent la pente de la montagne pour aboutir à l'usine génératrice située à Obermatt, qui ressemble à un château fort, ajoutant ainsi son pittoresque au cadre de ce magnifique paysage. Les conduites sont en tôle d'acier rivée de 8 mètres de long ; elles ont environ 1 mètre carré de section-libre. Deux autres conduites sont prévues pour l'extension de l'usine. A l'extrémité des conduites se trouvent les valves de réglage, les clapets de vidange et les plaques de sûreté. Le canal de décharge, en maçonnerie, est long de 270 mètres et rejette les eaux dans l'Aa.

TURBINES. — Elles sont du type Pelton, avec réglage automatique ou à la main, munies de leur servo-moteur hydraulique. Elles ont une puissance de 2.000 HP pour une hauteur de chute brute de 312 mètres et

tournent à 300 tours. Les turbines proviennent des ateliers T. Bell et C^{ie}.

ALTERNATEURS. — Ils sont actuellement au nombre de quatre, monophasés et triphasés à volonté, qui peuvent travailler indifféremment sur le circuit d'éclairage ou sur celui de force. Un de ces alternateurs est destiné à l'actionnement du chemin de fer électrique Stansstad-Engelberg, qui doit fonctionner en parallèle avec les machines d'une usine de traction voisine. Les alternateurs triphasés sont appelés à fournir l'éclairage et la force à la ville de Lucerne, distante de 28 kilomètres, à Engelberg (4^{km},5) et à une quinzaine de localités de Nid et Obwaldess. Par suite de cette diversité on a dû combiner deux systèmes séparés de rails collecteurs du courant et deux services distincts : courant à une phase pour l'éclairage de Lucerne et courant triphasé pour tout le reste. La puissance absorbée unitaire des alternateurs est de 2.000 HP et la puissance électrique est de 1.850 kilovolts-ampères pour le courant triphasé et 1.380 kilovolts-ampères pour le courant monophasé ; tension composée, 6.000 volts ; fréquence, 50. Le courant d'excitation est fourni par deux dynamos à six pôles lamellés, chacune de 100 kilowatts, entraînées par des turbines spéciales ; une seule suffit pour l'excitation des alternateurs.

Ces derniers sont du type à pôles alternés avec inducteur tournant, à axe horizontal, reliés aux turbines par un accouplement rigide. Les machines triphasées sont connectées en étoile. On a garanti, pour une tension normale de 6.000 volts, des rendements de 95 0/0 pour la pleine charge avec $\cos \varphi = 0,75$ et 92 0/0 à demi-charge. L'énergie d'excitation maximum est 20 kilowatts pour $\cos \varphi = 0,75$ et 9 kilowatts pour $\cos \varphi = 1$. Les alternateurs sont construits pour pouvoir supporter à chaud pendant une heure une tension alternative de 12.000 volts entre l'enroulement et la masse.

L'alternateur triphasé spécial pour la ligne du chemin de fer est à la fréquence 32 1/2, tension composée 780 volts.

TRANSFORMATEURS. — Ils sont au nombre de dix : trois à une phase ; six réunis pour former des appareils à trois phases, connectés en triangle ; un transformateur de réserve peut être connecté entre deux phases quelconques des deux groupes distincts de transformateurs triphasés. Ces appareils sont du type à huile avec refroidissement à eau ; leur puissance est de 700 kilowatts avec un rapport de transformation de 1 : 4,5 (6.000-27.000 volts). Les enroulements à basse tension sont constitués par des rubans de cuivre et les enroulements à haute tension disposés pour qu'il ne se produise pas d'étincelles entre cuivre et masse à une tension une fois et demie la tension normale.

Le rendement pour la pleine charge est de 98 0/0 et la chute correspondante 3,5 0/0 pour $\cos \varphi = 0,75$. La garantie d'isolation est de 57.000 volts pour une minute et 38.000 volts pendant une demi-heure.

APPAREILS DE LA DISTRIBUTION. — A côté de la salle des machines est édifié un bâtiment à deux étages, dont le rez-de-chaussée est séparé de cette dernière par des parois de verre cannelé. La partie antérieure du premier étage sert d'estrade de service. Des colonnes de commande, du système d'Oerlikon, se trouvent sur cette estrade. Un voltmètre à deux échelles permet d'employer celui-ci, comme voltmètre des machines, l'autre comme voltmètre de phase pour la mise en parallèle. Un verrouillage très ingénieux évite autant que possible les perturbations d'une fausse manœuvre. Les indications des voltmètres et wattmètres dépendent nécessairement des manœuvres du commutateur des rails collecteurs et l'enclenchement et le déclenchement des interrupteurs sont indiqués par une lampe blanche ou rouge, et dans ce dernier cas, il y a, en outre, une sonnerie que, bien entendu, on peut arrêter à volonté. De la même estrade on commande les interrupteurs de sectionnement des rails collecteurs pour le service de force motrice.

Les trois panneaux de départ pour les lignes à haute tension possèdent chacun trois ampèremètres, un levier pour un interrupteur à bain d'huile, deux lampes-signaux et une manivelle de commutation pour l'éclairage ou la force motrice. Deux panneaux portent des voltmètres statiques Hartmann et Braum avec condensateur et résistances en graphite, branchés sur les rails omnibus à 27.000 volts servant au contrôle de l'isolation.

Pour amener chaque turbine rapidement et sûrement au nombre de tours nécessaires, on a disposé une lampe de phase et un synchroscope Westinghouse. Deux voltmètres généraux, peut-être les plus grands qui aient été construits à ce jour, dont le rayon de l'échelle est de 1^m,10, servent à indiquer la tension des rails collecteurs d'éclairage et de force.

Chaque appareil est aménagé dans une cellule à part et toutes les cloisons sont en béton armé ; pour les plafonds, on a employé des poutres Siegart (aussi en béton armé).

Au premier étage se trouvent les interrupteurs secondaires des transformateurs et les rails collecteurs à 27.000 volts. Ces interrupteurs sont munis de relais à temps et de signaux optiques et acoustiques. Le deuxième étage, en forme de tour, renferme les interrupteurs de lignes et les parafoudres.

Au rez-de-chaussée de la salle des machines sont les panneaux des alternateurs et un panneau pour une batterie d'accumulateurs. Au deuxième étage se trouvent les régulateurs du shunt des excitatrices et les rhéostats pour les circuits d'excitation des alternateurs.

LIGNES DE TRANSPORT D'ÉNERGIE (27.000 volts). — Pour la protection des lignes contre les décharges atmosphériques on a installé des parafoudres à cornes Siemens, des résistances liquides et des résistances induc-

lives branchées sur le circuit principal. Pour parer aux surtensions momentanées, chaque pôle est mis constamment à la terre au moyen d'une résistance à jets d'eau. L'eau courante nécessaire à ces appareils est ensuite employée pour le refroidissement des transformateurs.

Les lignes de transport d'énergie à 27.000 volts vont de l'usine centrale d'Obermatt jusqu'à Stanstadt, au bord du lac Nerwaldstätter, et, de là, elles se rendent à Lucerne. Les sous-stations sont, pour la ligne principale, placées à Wolfenschiessen, Stantsdat, Hergisvil et Steghoff. Cette ligne, longue de 26 kilomètres, est formée de neuf fils de 8 millimètres de diamètre, dont trois servent de réserve.

Les pylônes en treillis d'acier de la ligne de transport sont espacés normalement de 50 mètres, et les fils séparés de 1 mètre. Ils sont tous mis à la terre au moyen de fils de cuivre de 5 millimètres de diamètre qui se trouvent à 0^m,30 du fil le plus bas et, à tous les dix pylônes, ces fils sont reliés à des plaques de terre en cuivre.

Cette installation a été entièrement exécutée par les ateliers de construction d'Oerlikon.

405. Usine de Flums (Suisse) (*chute, 326 mètres*). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Cette usine utilise comme force motrice les eaux du torrent « le Schilsbach », dont le bassin versant a une superficie de 45 kilomètres carrés. L'altitude moyenne de ce bassin est de 1.200 mètres et celle maximum, 2.900 mètres. En basses eaux, le débit du cours d'eau est de 300 litres et en hautes eaux, de 900 litres.

Prise d'eau. — Elle est faite (*fig. 962*) entre un réservoir existant déjà depuis quarante ans et l'ancienne prise d'eau pour la filature de Flums. Il n'a pas ainsi été nécessaire de construire un barrage, la conduite sous pression partant directement du réservoir dont nous venons de parler.

Conduite forcée. — La tuyauterie est en tôle rivée et a un diamètre intérieur variant de haut en bas de 0^m,80 à 0^m,60 et une épaisseur de 5,5 à 12 millimètres. La vitesse maximum de l'eau est de 2^m,85 par seconde. La partie supérieure, sur une longueur de 2.200 mètres, est enterrée dans la route ; le reste, soit 1.251 mètres, est posé à l'air libre sur des socles et massifs en maçonnerie. Dans la partie inférieure, elle traverse un terrain très accidenté et une gorge sauvage.

Pour parer aux coups de bélier, on a trouvé bon d'installer un trop-plein au point où la conduite change brusquement de pente, ainsi qu'une vanne qui se ferme automatiquement dès que la vitesse de l'eau dépasse la vitesse normale à la suite d'une rupture de la conduite. Dans le même but on a placé un accumulateur à ressort au bout de la conduite.

Usine. — L'usine contient trois groupes électrogènes de 800 HP, chacun

consistant en une turbine genre Pelton à arbre horizontal, tournant à la vitesse de 500 tours à la minute et accouplée directement à sa génératrice, celle-ci fournissant du courant triphasé à 5.000 volts.

Après le passage aux turbines, l'eau entre dans un réservoir, d'une capacité de 3.100 mètres cubes et situé à proximité de l'usine. La construction de ce réservoir a été jugée nécessaire pour garantir à la filature signalée plus haut — située 300 mètres plus bas et utilisant la même eau — une force constante, indépendante des variations de débit de la rivière.

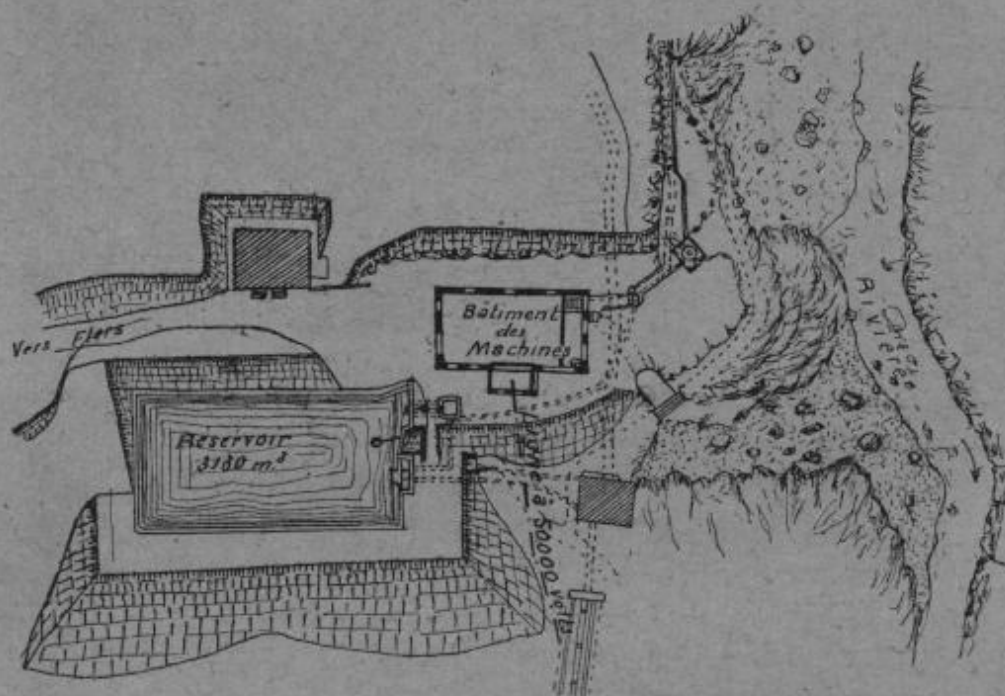


FIG. 962. — Usine de Flums. Plan de l'usine et des ouvrages d'adduction.

L'énergie électrique est transportée à 2 kilomètres pour l'alimentation de l'usine de carbure de Flums.

406. Usine de la Siagne (Alpes-Maritimes) (chute, 350 mètres). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Cette usine, construite par la Société « Énergie électrique du littoral méditerranéen », est établie au bord même de la Siagne, sous le village de Saint-Cézaire, juste au point où la ville de Cannes dérive les eaux de la rivière pour son alimentation.

La Siagne (*fig. 963*), rivière torrentielle qui prend sa source dans la montagne de Lachens (dont le point culminant, 1.713 mètres d'altitude, est le plus élevé du département du Var), se jette dans la Méditerranée près de la Napoule, après un parcours de 36 kilomètres. Elle est alimentée par des sources vaclusiennes qui lui rendent l'eau de pluie ou de neige accumulée sur les sommets calcaires de Lachens.

Les étiages se reproduisent deux fois par an, en été et en hiver, avec un débit qui ne descend guère au-dessous de 1.500 litres par seconde, tandis que le débit moyen se maintient entre 2.200 et 2.400 litres. On a cependant vu le débit tomber à 1.000 litres pendant l'hiver, et il a fallu se précau-

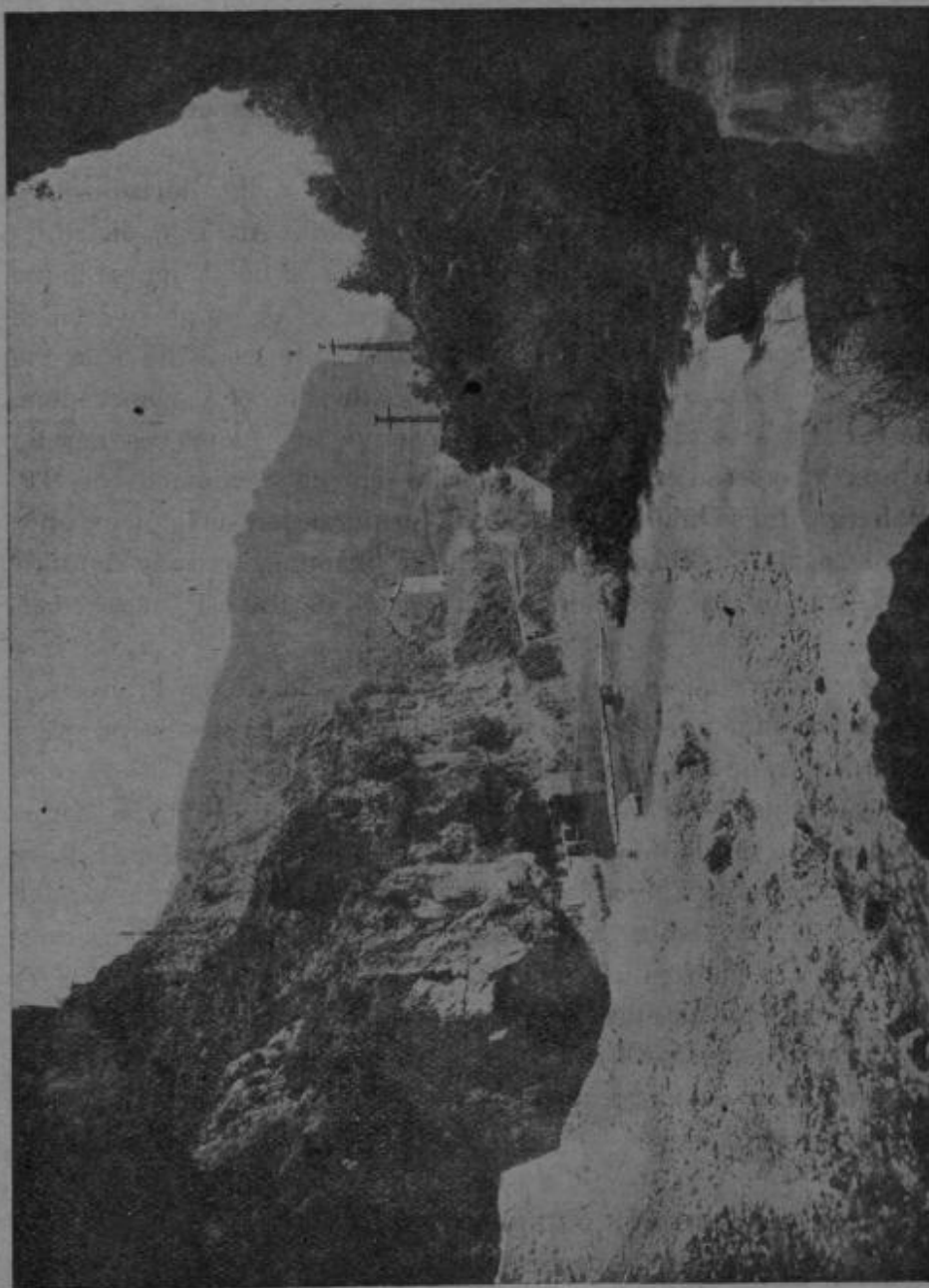


FIG. 963. — Usine et rivière de la Siagne.

tionner contre cet inconvénient grave, pour assurer la marche continue de l'usine.

La chute utilisée est de 350 mètres et représente une puissance nette de 6.000 kilowatts.

Le canal d'aménée est construit sur la rive gauche et prend son origine au point de jonction des deux grandes sources qui émergent au pied des hautes falaises calcaires du cirque d'Escragnoles. Ce canal, qui a un débit d'environ 2.100 litres et une longueur de 7.300 mètres, aboutit à un réservoir de 11.000 mètres cubes, constituant une vaste chambre d'eau, à 350 mètres environ au-dessus du lit de la rivière.

De là partent deux conduites forcées en tôle d'acier ayant chacune 92 centimètres de diamètre intérieur et 900 mètres de longueur, qui amènent les eaux sur les turbines.

TURBINES. — Les turbines, du type Pelton, à axe horizontal, présentent certaines particularités de construction. Ainsi le distributeur est du type à aiguille permettant de faire varier le débit depuis le maximum jusqu'à 0, sans déplacer l'axe du jet ni son angle d'incidence. Les aubes rapportées et non coulées avec la roue sont en acier fondu et polies à la meule. La vitesse tangentielle de ces turbines dépasse 45 mètres par seconde sans aucun inconvénient pour ces dernières, même aux vitesses d'emballement. Elles ont un rendement de 0,85 à pleine charge, qui se maintient constant jusqu'au tiers de la pleine charge. Ces turbines, de 2.500 HP sous 625 litres chacune, sont au nombre de quatre. Deux autres récepteurs, type Pelton, de 150 HP, actionnent les excitatrices.

Les régulateurs sont du type servo-moteur actionné par la pression de la chute et combiné avec un appareil déchargeur à fermeture progressive évitant les coups de bélier dans les conduites forcées.

ALTERNATEURS. — Les quatre génératrices sont du type triphasé, 25 périodes à la tension de 11.000 volts, tournant à 375 tours. Elles sont accouplées directement avec leur turbine par l'intermédiaire d'un volant de 4 tonnes. Les dynamos excitatrices, tournant à 900 tours, produisent du courant à 115 volts ; l'une est de 700 ampères et l'autre de 270. Trois groupes de transformateurs, d'une puissance de 700 kilowatts chacun, élèvent la tension de 11.000 à 32.000 volts, tension normale de la ligne de transmission. Les trois transformateurs monophasés de chaque groupe sont montés en triangle du côté 11.000 volts et en étoile du côté 32.000 volts.

LIGNES DE TRANSMISSION D'ÉNERGIE (32.000 volts). — On a disposé à l'usine une double série de barres omnibus à 11.000 volts, deux départs de lignes à 32.000 volts et quatre départs de lignes à 11.000 volts, pour pouvoir au besoin alimenter trois réseaux indépendants et distincts (fig. 964). Des régulateurs automatiques permettent de maintenir une tension constante dans les centres d'utilisation de deux de ces réseaux. Tous les interrupteurs installés à l'usine sont du système à commande à distance par servo-moteurs électriques.

Les tableaux de distribution sont du type à cellules. L'usine peut, au besoin, alimenter Marseille, distant de 150 kilomètres. Les deux lignes à

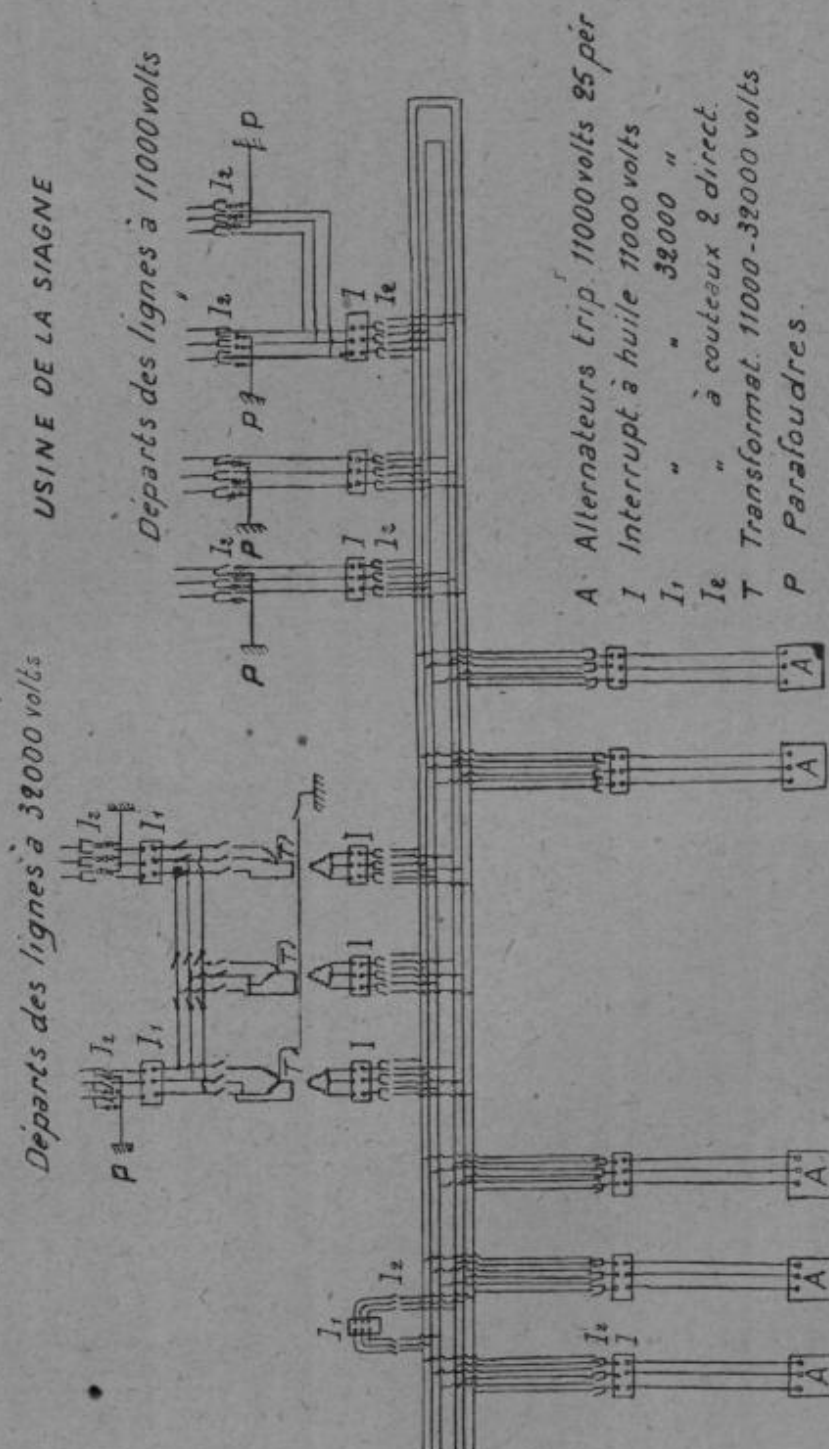


FIG. 964. — Usine de la Siagne. Schéma général des connexions.

haute tension (32.000 volts) aboutissent l'une à Entraygues pour l'alimentation du réseau du Var et l'autre à Allauch (près de Marseille).

A l'usine d'Entraygues les lignes venant de la Siagne peuvent y être connectées avec les lignes du réseau de 50.000 volts par l'intermédiaire de transformateurs-élevateurs portant la tension de 30.000 à 50.000 volts. La ville de Grasse et les environs sont desservis par une ligne à 10.000 volts.

407. Usine des Farettes (Suisse) (*chute, 350 mètres*). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — *Chambre de mise en charge*. — Le tunnel amenant l'eau à la chambre de pression a une pente de 2 millimètres et demi par mètre ; il court le long des flancs de la pittoresque vallée des Ormonts jusque vis-à-vis du barrage de la Parqueterie qui limite à l'aval la chute à utiliser. Les dimensions du souterrain sont prévues pour un débit de 2.500 litres à la seconde. En un point, pour franchir un vallon latéral, on a remplacé le souterrain par une conduite en tôle de 1 mètre de diamètre, formant viaduc et soutenue par deux palées métalliques.

La chambre de mise en charge a une forme cylindrique de 6 mètres de diamètre (tour). Elle est entièrement excavée dans le roc qui en forme le toit aussi bien que les parois. Le déversoir est placé à environ 1.500 mètres de distance en amont de la tour, au point où la conduite d'amenée franchit le dernier des ravins latéraux et à la cote 802,54. Les parois de la chambre de mise en charge s'élèvent à 2^m,80 au-dessus du niveau de l'arête du déversoir, de façon à ménager une hauteur suffisante et facile à calculer pour amortir le coup de bélier qui se produit, lorsque la vanne automatique de sûreté placée à l'entrée de la conduite en charge vient à se fermer, ce qu'elle fait toujours brusquement.

La chambre est partagée en deux parties égales par une paroi métallique dont les 4 mètres inférieurs forment grille en tôle perforée d'une surface totale de 24 mètres carrés. La partie amont de la chambre est de 1 mètre plus profonde que l'autre, constituant ainsi un dépotoir des sables et cailloux que le souterrain peut encore amener, quoiqu'il ait été soigneusement nettoyé après achèvement. Il y a d'ailleurs une autre grille en tôle perforée avec vanne de chasse à la naissance de la conduite de dérivation, au barrage de prise d'eau.

Conduites forcées. — Chacune des conduites a 0^m,80 de diamètre. A leur entrée on a disposé un clapet automatique de fermeture de 1 mètre de diamètre, relié à la conduite métallique par un coude et un cône en béton ménagés dans l'épaisseur de la maçonnerie. Ce clapet sert en même temps de vanne d'arrêt et de vanne de sûreté.

L'appareil est muni d'une petite valve centrale de remplissage. La manœuvre se fait au moyen d'un simple levier, muni d'un simple contrepoids ; la position du contrepoids est fixée expérimentalement de manière à ce que, lorsque le débit maximum prévu est atteint, la valve reste encore ouverte. En cas de rupture de la conduite, le débit augmente considéra-

blement, la pression diminue sous le clapet, mais reste sensiblement la même au-dessus, en sorte que celui-ci se ferme et arrête l'inondation.

Il n'est pas possible de relever sans autre le clapet au moyen du levier de manœuvre, l'effort à vaincre étant trop considérable. On est donc obligé de remplir tout d'abord toute la conduite à l'aide de la petite valve centrale de remplissage. On évite par là les accidents qui se produisent facilement lorsqu'on remplit une conduite trop rapidement.

La conduite est pourvue d'une cheminée de rentrée d'air, construite en briques de ciment adossée aux parois de la chambre. La canalisation est en tôle rivée et son épaisseur varie de 5 à 10 millimètres, pour une pression maximum de 150 mètres. Cette partie ne possède qu'un seul point de dilatation placé vers le coude supérieur de la conduite, tout près de la chambre de mise en charge. Tous les angles, d'ailleurs peu importants, ont été obtenus au moyen de doubles anneaux biais réglables, en fonte, qui permettent d'obtenir un angle quelconque, compris entre 0° et 8°. Cette partie de la canalisation a été livrée par les ateliers de construction de Vevêy.

La partie inférieure, constituée par des tuyaux en tôle soudée, se raccorde avec le collecteur de l'usine génératrice par un cône de réduction 800/700. Son tracé est très mouvementé, suivant en grande partie les rives ou le fond d'un ruisseau. Les angles importants ont été obtenus en couplant, de la quantité voulue, à la fabrique, les tuyaux correspondants. Les angles plus faibles ont été réalisés par l'emploi de bagues baises comme pour le tronc en tôle rivée. Tous les angles saillants ont été butés à l'aide de massifs *ad hoc*.

À son entrée dans le collecteur de l'usine, la conduite d'amenée possède deux vannes d'arrêt de 700 millimètres de vide ; la première est un robinet ordinaire avec son tiroir en coin parfaitement étanche et son bypass. La seconde est une vanne cylindrique équilibrée à marche rapide qui est manœuvrée à main depuis l'intérieur de l'usine. Elle peut se fermer, alors même que les turbines ne sont pas arrêtées ou qu'une fuite importante ou même une rupture s'est produite dans l'intérieur de l'usine. La puissance du mécanisme moteur à main et la forme du siège avec fenêtres latérales ont été combinées de façon à limiter convenablement la force du coup de bélier consécutif d'une fermeture.

TURBINES. — L'usine a été édifiée pour contenir sept groupes de 1.250 HP. Il y a en outre quatre excitatrices de 120 HP.

Les grosses turbines ont été calculées sur les données suivantes : chute nette 350 mètres, débit 375 litres-seconde, puissance effective 1.250 HP, vitesse 500 tours par minute, avec condition que l'emballement ne dépasse pas 18 à 20 0/0 de la vitesse normale, pour le cas de la suppression brusque de la puissance totale.

Le régulateur est du même type que celui de l'usine de Vouvy (§ 427).
On a adapté un volant séparé de 2m,100 de diamètre extérieur, placé en



dehors de la bache de la turbine, mais l'ouïe est entre les deux paliers. Le poids de ce volant entièrement en tôle d'acier et moyen en fonte est de 5,750 kilogrammes.

La roue-turbine est composée d'aubes-poches en acier coulé assemblées

entre deux disques en tôle d'acier, le tout rivé sur un moyen en acier coulé. L'injecteur a deux orifices rectangulaires de 38/65 millimètres placés à



FIG. 965. — Usine des Farettes, Vue générale de l'usine et de la conduite en charge.

côté l'un de l'autre et se réglant simultanément. La vanne cylindrique équilibrée, à marche rapide, est commandée à la main et l'extinctif inférieure de l'organe obturateur est muni d'un dispositif à fenêtré destiné à produire une fermeture graduelle à fin de course. Les robinets-vannes

d'arrêt ordinaires, de 400 millimètres de diamètre, sont fixés directement contre le collecteur ; ils sont pourvus de by-pass.

Les turbines excitatrices sont du genre Pelton avec injecteur circulaire, réglable et à aiguille. Elles ne sont pas du type « porte-à-faux », mais possèdent chacune un arbre portant la roue et tournant dans deux paliers. L'accouplement avec la dynamo d'excitation est fait par un manchon élastique à courroie sans fin.

L'usine hydroélectrique des Farettes appartient à la Société romande d'électricité.

• **408. Usine de Snowdon (Grande-Bretagne)** (*chute, 360 mètres*). —

Cette usine utilise les eaux des lacs Llyn, Lydaw et Glaslyn, qui se trouvent au pied du Snowdon. La conduite d'eau, qui aboutit à 9 mètres au-dessous du niveau naturel de l'eau dans ces lacs, a une longueur de 2^{km},6. Les moteurs sont du type Pelton, attelés directement à des alternateurs triphasés de Bruce-Peebles, du type à inducteurs tournants, pouvant fournir chacun 1.500 kilovolts-ampères à 10.000 volts et 50 périodes, lorsqu'ils tournent à 500 tours par minute.

La ligne de transmission va de la station génératrice vers Llanberis et les carrières de Packley. On compte plus de 210 kilomètres déjà dans le réseau alimenté par cette entreprise.

• **409. Usine de la Rageat** (*chute, 362 mètres*). — AMÉNAGEMENTS

HYDRAULIQUES. — Cette usine appartient à la Société des carbures métalliques. Elle est située sur le torrent de Belleville dont les sources, formées de deux ruisseaux, le Merdarel et le Nant-Brun, se trouvent à 3.000 mètres d'altitude. Le premier de ces ruisseaux descend des glaciers du Pécllet, le second des Encombres. En hautes eaux, le torrent de Belleville a un débit qui dépasse 60 litres par seconde ; en hiver il coule paisiblement entre les blocs qu'il déplace facilement en été. Les basses eaux d'été sont relativement élevées.

Prise d'eau (fig. 966). — Les ouvrages hydrauliques de captation sont placés au confluent des deux ruisseaux précités. Ils consistent en un barrage perpendiculaire au cours du torrent, forçant l'eau à entrer dans un chenal d'amenée qui peut être barré au moyen de poutrelles, d'un bassin de décantation et d'une chambre d'eau, chacun avec son déversoir. Une vanne à trois panneaux sépare le bassin de la chambre. Parallèlement à la chambre d'eau se trouve le canal d'amenée recouvert par des crépines ; il est alimenté par déversoir, de sorte que l'eau se trouve débarrassée de tout gros gravier.

Tunnel. — Du déversoir du canal d'amenée, l'eau nécessaire entre dans un tunnel et l'excès passe dans un canal de trop-plein qui rejoint la rivière

en aval du barrage. Ce tunnel a un développement de 4.500 mètres, une section de 4 mètres carrés et une pente uniforme de 2 millimètres par mètre. Il peut débiter facilement 4.000 litres à la seconde. Les terrains traversés, alluvions, rochers schisteux, schistes ardoisiers, rochers quartzeux, gypse alternant avec marnes calcaires et plâtres, ont nécessité très souvent des revêtements en maçonnerie.

Déversoir. — Cet ouvrage, situé à quelques centaines de mètres en amont de la chambre de mise en charge, est constitué par un bassin de

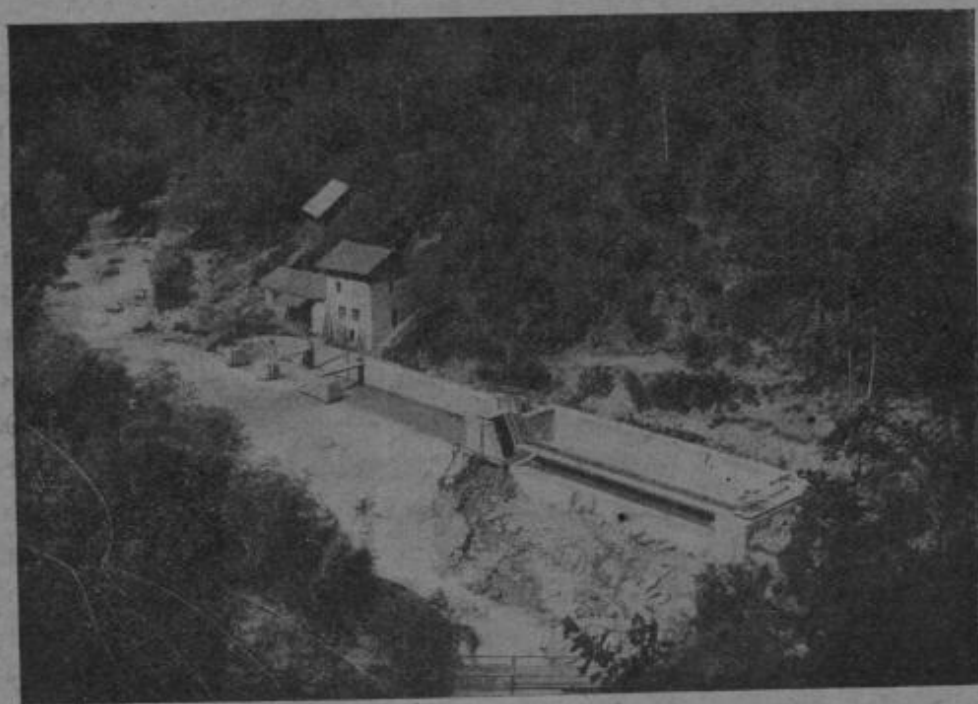


FIG. 966. — Usine de la Rageat. Prise d'eau sur le torrent de Belleville.

près de 4 mètres de largeur. L'eau peut déverser sur une longueur de 20 mètres, et une vanne, pouvant débiter 4 mètres cubes, permet de vider le tunnel et de procéder au nettoyage.

Chambre de décantation. — Entre l'extrémité du tunnel et la naissance de la conduite forcée, se trouve un élargissement formant chambre de décantation qui a 10 mètres de longueur. Sur 5 mètres, le sol est approfondi pour que les sables déposés ne puissent obstruer l'entrée de la canalisation. La chambre est complètement couverte, mais une porte permet d'y accéder et un reniflard la garantit contre toute dépression ou pression.

Tour d'eau. — C'est un bassin cylindrique en ciment armé de 3^m,50 de diamètre sur 6 mètres de hauteur ; à son sommet cet ouvrage présente un grand élargissement formant réservoir, destiné à amortir les coups de bélier dans le tube en ciment armé et à recevoir l'eau évacuée par les

reniflards installés sur les conduites, en cas d'arrêt brusques et accidentels de l'usine génératrice.

Un gardien est installé en cet endroit de la canalisation. Il est en communication téléphonique avec l'usine, le déversoir et la prise d'eau. Un indicateur d'eau à distance lui transmet électriquement les variations du niveau de l'eau dans le tunnel et une grande vanne portière lui permet d'aveugler en une minute le tunnel. Jusqu'à ce point toute l'installation est exécutée pour un débit de 4 mètres cubes.

Conduites forcées. — A partir de la chambre de mise en charge, l'eau commence à être en pression ; elle passe d'abord dans un tube en ciment armé de 1^m,60 de diamètre et 900 mètres de longueur accroché au flanc de la montagne et aboutit à la tour d'eau d'où partent les tubes en acier. La pression maxima dans cette partie de conduite ne dépasse pas 3 mètres.

La tour d'eau est disposée pour y adapter quatre tubulures de 0^m,70 de diamètre pouvant débiter chacune 1 mètre cube. Deux de ces tubulures alimentent deux anciennes conduites métalliques de 0^m,70 de diamètre, et les deux autres sont couplées pour desservir une nouvelle conduite installée en 1906. Cette tuyauterie part du collecteur de la tour d'eau avec un diamètre de 1 mètre, qui passe progressivement à 0^m,975, 0^m,950, 0^m,900, 0^m,875, 0^m,850, 0^m,825, puis à 0^m,800 lorsqu'elle se raccorde, comme chacune des deux autres, au collecteur. Au départ du collecteur de la tour d'eau, chacune des trois conduites possède une vanne à tiroir pour assurer si besoin l'étanchéité, et derrière chaque vanne, se trouve encore un reniflard pour amortir les coups de bélier et éviter les dépressions dans les conduites. Celles-ci sont supportées par des piliers en maçonnerie, espacés de 7^m,20 les uns des autres, en suivant assez exactement le profil rapide du terrain. Il en résulte une série de coudes rentrants ou sortants ; les premiers, surchargés de maçonnerie, constituent des points fixes supportant les poussées dues à la dilatation des colonnes. L'épaisseur des tôles croît constamment ; de 5 millimètres au sommet elle atteint 20 millimètres au collecteur. Les tuyaux, dans leur partie inférieure, ne sont plus rivés suivant une génératrice, mais soudés. Avant de pénétrer dans l'usine, les conduites traversent la rivière sur une passerelle métallique, prévue pour les quatre canalisations. Entre le collecteur des conduites métalliques et chaque turbine sont placées des vannes à double siège avec un tiroir en forme de coin. Un indicateur permet de vérifier l'ouverture ou la fermeture totale.

Chaque vanne possède deux by-pass qui permettent d'équilibrer la pression sur les deux faces du tiroir et facilitent ainsi la manœuvre.

TURBINES. — L'usine de la Rageat possède huit turbines fonctionnant sous la chute de 362 mètres, savoir deux turbines de 2.200 HP à 180 tours,

trois turbines de même puissance, à 315 tours, deux turbines de 150 HP à 700 tours et une turbine de 200 HP à 650 tours.

Les premières sont du type Pelton, de 4^m,40 de diamètre, possédant une double tubulure d'arrivée d'eau et deux distributeurs à bascule ayant la forme d'un secteur circulaire et réglant l'ouverture au moyen d'une manœuvre à la main. Un modérateur sert à fermer automatiquement le distributeur lorsque la turbine dépasse la limite fixée. Les roues des turbines sont en fonte de fer très dure et les distributeurs, en bronze phosphoreux. Le modérateur est un pendule à force centrifuge, sur le manchon duquel est calée une came circulaire excentrée tournant au-dessous d'un levier déclancheur.

Lorsque la vitesse atteint la valeur maximum, la came rencontre le levier déclancheur et un ressort à boudin vient appliquer sur le volant de commande à main, par l'intermédiaire d'un embrayage à friction, un plateau animé d'un mouvement de rotation dans le sens de la fermeture, qui peut être obtenue en 17 secondes.

Les turbines à 315 tours comportent, comme celles à 180 tours, une turbine double, sur laquelle viennent se fixer directement deux distributeurs en tout semblables à ceux des machines de 180 tours. Les turbines excitatrices ne possèdent qu'un distributeur semblable à ceux des génératrices, mais ne laissant passer respectivement que 42 litres et 56 litres à la pleine charge.

Des régulateurs à double déclic, système Piccard, actionnent directement la bascule du distributeur.

ALTERNATEURS. — Ils sont du type triphasé à induit fixe et à inducteur tournant avec pôles bobinés. Chacun d'eux donne un courant de 65 ampères sous la tension de régime aux bornes de départ de l'installation triphasée de 15.000 volts entre fils. La fréquence est de 42 périodes par seconde. L'induit est percé dans le sens des génératrices de 84 trous, dans lesquels passe un triple bobinage dont chaque brin comporte 14 bobines de 34 spires chacune. Les trois bobinages sont reliés en étoile à la partie inférieure de la machine par une de leurs extrémités. Les trois autres sont reliés au tableau de distribution par l'intermédiaire des bornes de la machine. Le système inducteur comporte 24 pôles dont les bobines sont connectées ensemble de façon à avoir un enroulement continu et de même sens.

Pour les alternateurs à 315 tours, l'augmentation de vitesse a permis de réduire à 3^m,60 le diamètre extérieur de l'induit au lieu de 5^m,40 pour les alternateurs à 180 tours. La roue polaire est à 16 pôles.

Les excitatrices de 150 HP sont du type Brown à 4 pôles ; celle de 200 HP, du type Oerlikon, peut assurer seule l'excitation des cinq groupes de 2.200 HP en pleine charge, les deux premières fonctionnant en parallèle.

Tableau de distribution. — Ce tableau comporte : 5 panneaux pour les génératrices, 3 pour les excitatrices et 1 pour le départ. Les premiers sont tous semblables, ils possèdent chacun : un interrupteur tripolaire haute tension, à double rupture dans l'air et dans l'huile, manœuvré par le levier placé sur le tableau ; un ampèremètre alimenté par un réducteur de courant en circuit sur la haute tension ; un voltmètre alimenté par un réducteur de tension branché entre deux phases et qui sert en outre aux lampes de phases pour le couplage ; un volant de commande du rhéostat d'excitation ; un ampèremètre d'excitation avec shunt ; enfin un interrupteur d'excitation.

Le tableau de départ comporte : un voltmètre général et un voltmètre enregistreur alimentés par un réducteur de tension ; trois ampèremètres généraux nourris par des réducteurs de courant en circuit sur les barres omnibus et un volant de manœuvre général permettant de commander simultanément tous les rhéostats d'excitation des alternateurs en service.

Chaque tableau d'excitatrice se compose de : un voltmètre, d'un ampèremètre général avec shunt, d'un volant pour le réglage des rhéostats de champ, et enfin d'un interrupteur de circuit d'excitation de l'excitatrice. Cet appareil, manœuvré par le surveillant du tableau, permet, en cas de fonctionnement de la sonnerie d'alarme commandée par l'usine réceptrice, de brûlage de machine, de coup de foudre violent, etc., d'obtenir presque instantanément l'interruption du courant de ligne.

TRANSFORMATEURS. — Ces appareils sont au nombre de 13, savoir : 5 transformateurs monophasés de 1.000 kilovolts-ampères, chacun à ventilation forcée ; 2 transformateurs monophasés de 500 kilovolts-ampères, chacun à ventilation forcée, et 6 transformateurs monophasés de 500 kilovolts-ampères dans l'huile avec circulation d'eau.

Les transformateurs de 1.000 kilovolts-ampères alimentent chacun un four de même puissance ; ceux de 500 kilovolts-ampères fonctionnent soit seuls, soit couplés en parallèle et alimentent des fours de 500 kilovolts-ampères ou de 1.000 kilovolts-ampères. Tous ces transformateurs possèdent individuellement leur cage de commande comprenant : un interrupteur bipolaire à rupture double dans l'air et dans l'huile, un ampèremètre et son réducteur, un voltmètre secondaire à basse tension, un commutateur de phase pour équilibrer à volonté le réseau, et deux fusibles. Toutes les masses métalliques, cages, masses de transformateurs, etc., sont mis directement à la terre par un fil spécial afin de protéger le personnel.

LIGNE DE TRANSPORT D'ÉNERGIE. — La ligne triphasée de transport d'énergie a 11 kilomètres de longueur environ ; elle est constituée par 6 fils de cuivre de 9 millimètres de diamètre ; la perte en ligne pour 8.800 HP est d'environ 6 0/0.

L'écartement entre fils est de 0^m,60 et les isolateurs sont du type à triple cloche, en porcelaine ou en verre. Les supports sont des sapins de la Forêt-Noire injectés, ayant 12 mètres de longueur. L'écartement moyen entre les supports est de 30 mètres ; pour les angles très ouverts on a disposé des poteaux jumelés et pour les angles plus fermés, on a renforcé les supports jumelés d'une contrefiche et enfin pour les angles plus fermés encore, on a employé des pylônes en treillis métallique pouvant supporter 2.500 kilogrammes à la tête, et les isolateurs sont fixés sur trois traverses en chêne du pays.

Tous les supports d'angle sont bétonnés, les poteaux d'alignement simplement bourrés de pierres dans les terrains secs, garnis de béton depuis le niveau du sol jusqu'à 0^m,50 d'épaisseur dans les terrains humides, ou complètement bétonnés dans les bas-fonds en bordure des torrents, etc. Les traverses de route sont en câbles et les filets sont supprimés, seuls subsistent en angle les ferrures de garde. Les grandes surtensions sont écoulées à la terre par l'intermédiaire de parafoudres à cornes avec résistances liquides et les charges statiques ainsi que les surtensions ordinaires, au moyen de résistances hydrauliques à circulation dont le point neutre est connecté à la terre.

EXPLOITATION. — L'énergie électrique produite par l'usine de la Rageat est transmise en grande partie à l'usine de Notre-Dame de Briançon. Comme pour l'installation de l'Eau-Rousse, les canalisations des transformateurs aux fours sont constituées par des barres de cuivre en faisceaux ; les fours sont du même type monophasé de puissance appropriée, soit de 500 et 1.000 kilovolts-ampères, et sont également employés pour la fabrication du carbure de calcium et des ferros-alliages. La Société française des Produits azotés reçoit l'énergie nécessaire pour alimenter 500 HP en triphasé ; la Société le Carbone, 300 HP en monophasé et la Société des carbures métalliques, 400 HP en triphasé et 500 HP en monophasé, toutes ces usines situées aussi à Notre-Dame de Briançon.

410. Usine d'Auzat (Ariège) (chute, 420 mètres). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Cette usine appartient à la Société des Produits électrochimiques et métallurgiques des Pyrénées. La force motrice utilisée provient de la captation de torrents qui alimentent la rivière le Vicdessos. Le régime de celle-ci, franchement torrentiel est décrit au (§ 44). Les bassins captés actuellement (fig. 967) ont une superficie de 118^{km}²,55 se décomposant comme suit : Bassiès, 14^{km}²,90 ; Mouméou, 47^{km}²,15 ; Artiès, 19^{km}²,95 ; Argenson, 3 kilomètres carrés ; Emperot, 2^{km}²,90 ; l'Artigue, 24^{km}²,65 ; Fontanat, 6^{km}²,05. Les exploitants, dans le but de régulariser le débit actuellement aménagé, ont décidé de capter les lacs de Bassiès, d'Ixourt et de Pla de Souleen dont les superficies des

bassins versants sont respectivement (parties hachurées de la figure) 8,20, 11,80 et 32 km², 65.

Les eaux dérivées donnent un débit de 3.000 litres à la seconde four-

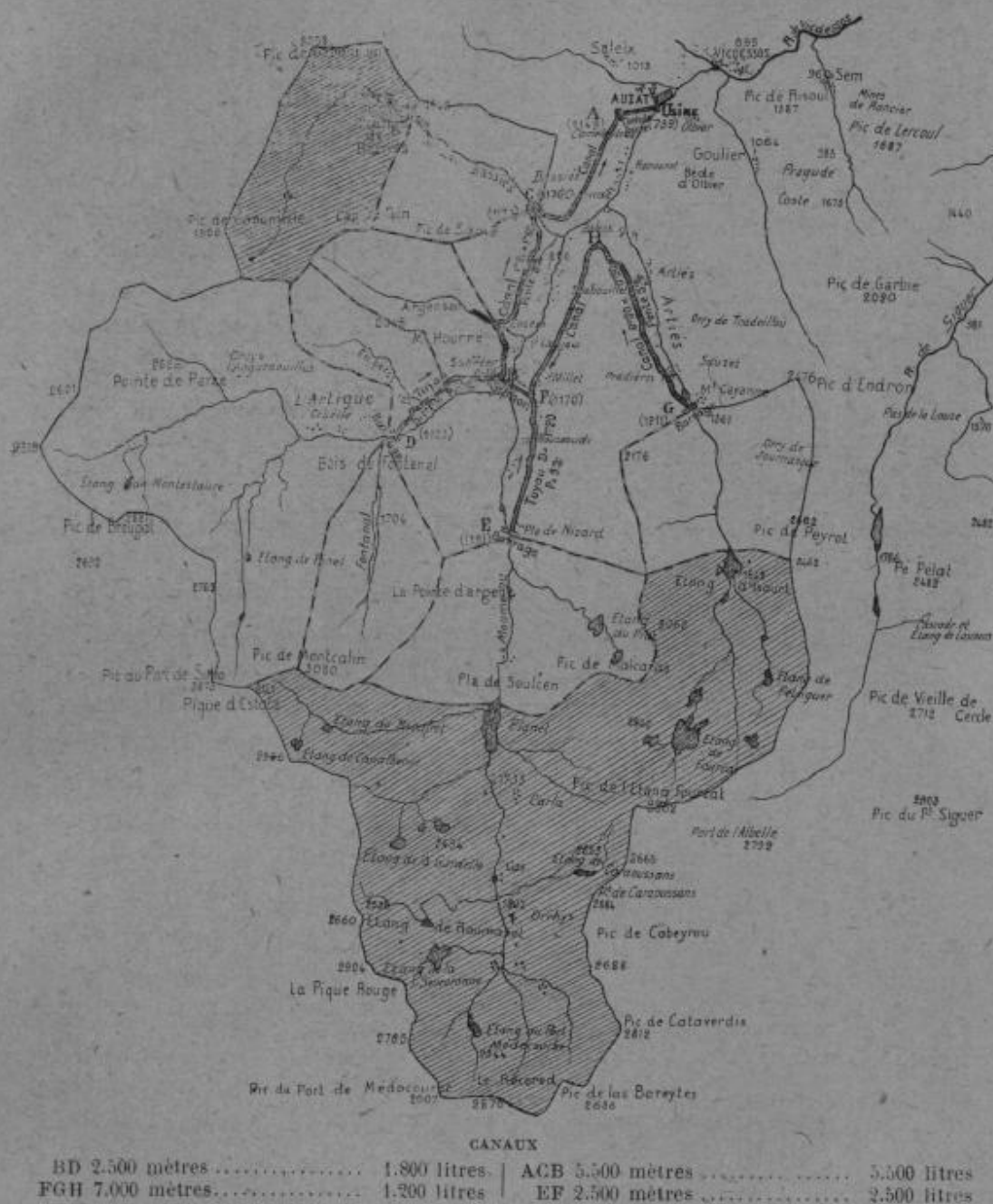


FIG. 967. — Usine d'Auzat. Bassins versants et canaux d'adduction.

nissant une puissance brute de 16.800 HP ; mais l'usine est aménagée pour une dépense de 6.000 litres à la seconde.

Le principe de captation, pour chacun des torrents utilisés, consiste à établir (fig. 969 et 970) un barrage fixe en maçonnerie en travers du cours

d'eau et à conduire les eaux de la retenue dans une chambre de décantation, puis dans un canal d'amenée aboutissant à une chambre de mise en

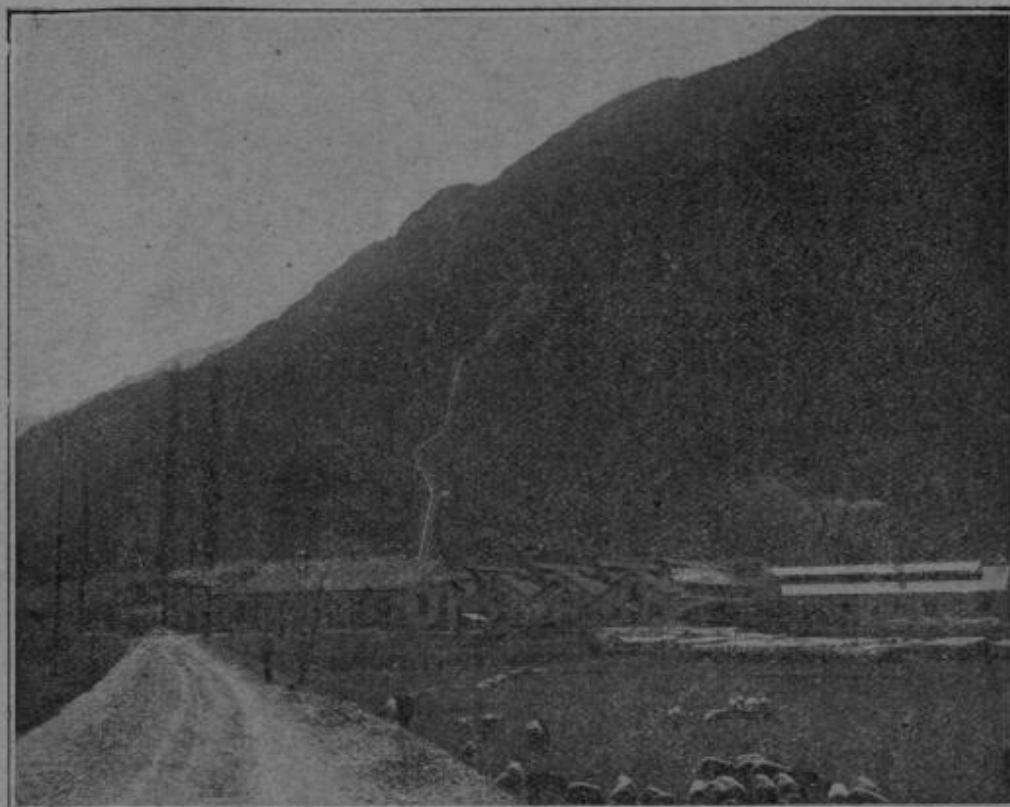


FIG. 968. — Usine d'Auzat. Vue générale des bâtiments de l'usine.

charge, de laquelle partent les tuyaux qui amènent à force l'eau aux tur-

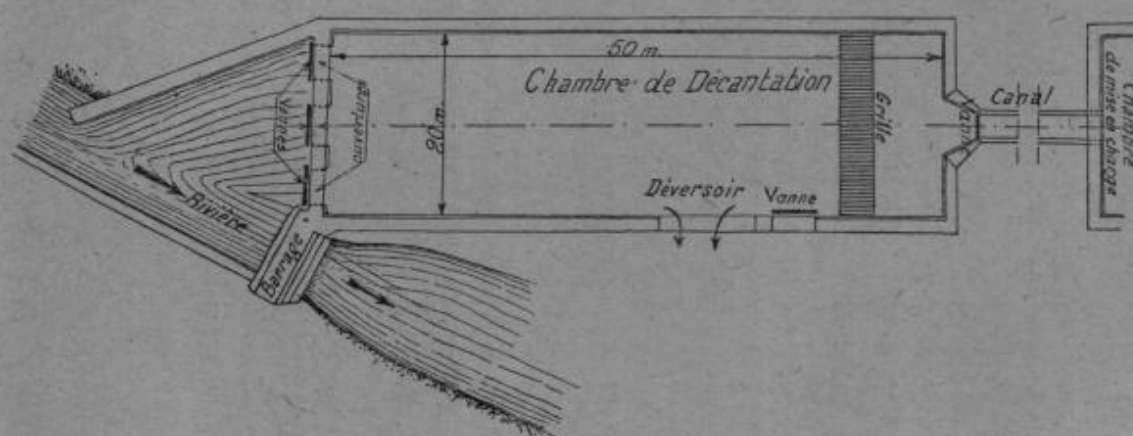


FIG. 969. — Usine d'Auzat. Disposition schématique d'une prise d'eau.

bines. Trois prises d'eau sont respectivement établies aux cotes 1183, 1191 et 1211.

Chambres de décantation (fig. 971). — A l'entrée amont de chacun de ces bassins sont aménagées des ouvertures commandées par des vannes, qui ont pour but d'arrêter les troncs d'arbres ou autres gros obstacles roulés par les eaux. Sur la paroi longitudinale, orientée du côté du cours d'eau, existe un déversoir de trop-plein ainsi qu'une vanne de chasse qui rejette les eaux à la rivière. A la suite est une grille établie sur toute la largeur de la chambre et une vanne qui règle l'admission des eaux dans le canal qui prolonge la chambre de décantation.



FIG. 970. — Usine d'Auzat. Grille et vanne de commande des canaux d'adduction.

Canaux. — Ces ouvrages (fig. 972), collés à flancs de coteaux, sont, selon la disposition des lieux, établis soit en maçonnerie et de forme carrée, soit à l'aide de tuyaux dont les diamètres varient de 1^m,05 à 1^m,20. La pente est en général de 5 millimètres par mètre. Les canaux collecteurs des bassins d'Argenson et d'Emperot sont réunis, à peu près à mi-longueur de leur parcours, par un siphon constitué par un tuyau de 1^m,50 de diamètre, qui épouse la forme de la vallée. La distance horizontale entre les têtes de cet ouvrage est d'environ 500 mètres et leur différence d'altitude (1170-1165), soit 5 mètres, constitue la charge sous laquelle fonctionne cet appareil. Le fond de la vallée, à cet endroit, est à 160 mètres en contre-bas des lignes des canaux.

Le développement des canaux atteint près de 18 kilomètres de longueur.

Conduite forcée. — Les données qui ont servi à l'établissement de la

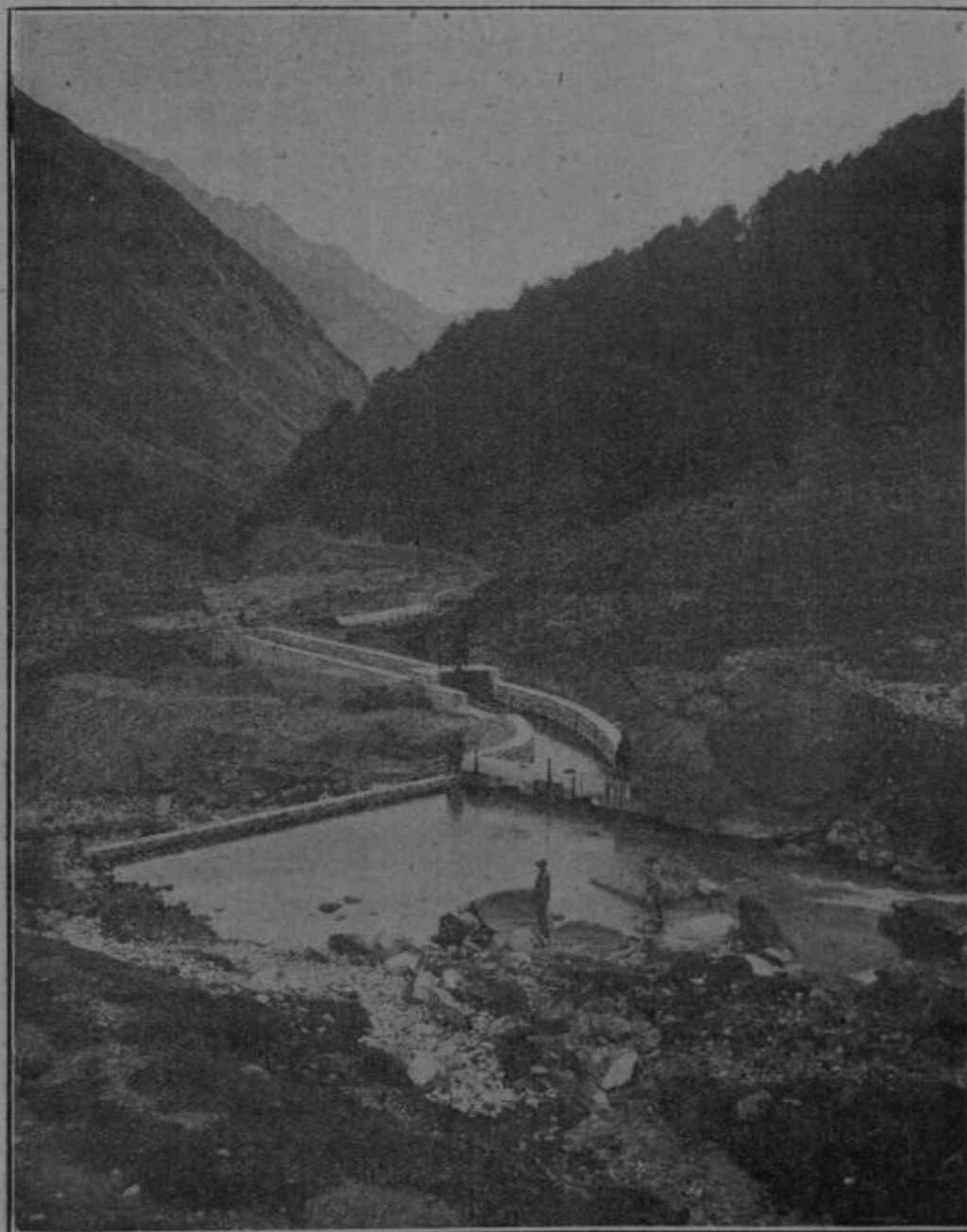


FIG. 971. — Usine d'Auzat. Chambre de décantation et canaux d'adduction.

tuyauterie sont : 3 mètres cubes à la seconde, longueur 1.024 mètres ; chute 420 mètres. Elle a 1 mètre de diamètre et crée une perte de charge totale de 25 mètres, la vitesse de la veine liquide étant d'environ 4 mètres.

Le travail des tôles a été fixé à 9 kilogrammes par millimètre carré de

section, coefficient admissible parce que les turbines fonctionnent sans régulateur. L'épaisseur maximum du métal est de 30 millimètres, limite extrême pour des tuyaux rivés. Pour cette épaisseur exceptionnelle, on

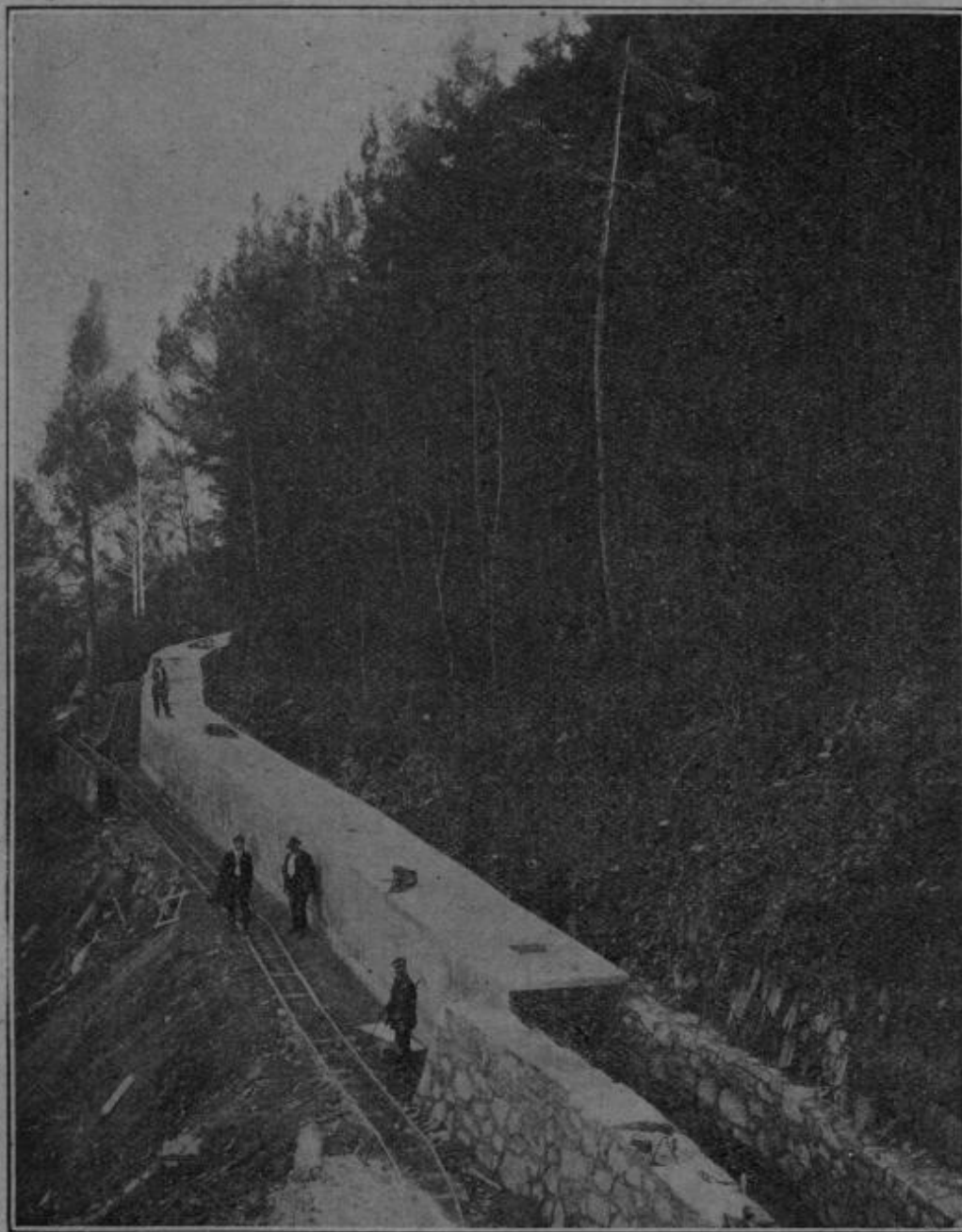


FIG. 972. — Usine d'Auzat. Canaux d'adduction.

a dû employer des triples clouures longitudinales et des doubles clouures transversales. .

Les tuyaux, fabriqués par la maison A. Bouchayer et Viallet, ont été livrés en tronçons de 6^m,50 de longueur, rivés bout à bout sur place ;

comme l'emboutissage des tuyaux à partir de 25 millimètres d'épaisseur du métal devient très difficile sur le chantier de pose, on a dû les assembler bout à bout à l'aide de couvre-joints à double clouure, ce qui a déterminé quatre rangées de rivets sur chaque joint.

Le métal employé pour la construction de cette conduite a été de l'acier extra-doux Siemens-Martin donnant une résistance de $R = 36$ kilogrammes pour un allongement de 28 0/0.

Le collecteur est en tôles soudées et les tronçons ont environ 6 mètres de longueur, assemblés bout à bout par un rivetage. La tuyauterie est d'un diamètre constant de 1 mètre avec extrémités renflées d'un bout pour permettre l'emboîtement, tandis que les tuyaux rivés sont à grandes et petites viroles.

La conduite est installée à l'air libre, avec ancrages solides tous les 300 mètres, plus un en tête et l'autre à la partie basse à l'amont du collecteur. Elle repose tous les 6 mètres sur des massifs en maçonnerie possédant une sellette en acier interposée entre le tuyau et le massif, pour permettre le déplacement libre des tronçons. La conduite ne possède pas de joints de dilatation.

TURBINES. — L'installation de premier jet comprenait dix turbines de 1.500 HP, 6 de 50 HP et une de 200 HP, destinées à actionner les alternateurs et les dynamos de l'usine. Chacune des turbines principales, fournies par la maison Neyret-Brenier, est calculée pour donner 1.500 HP en débitant 355 litres à la seconde sous la chute nette de 420 mètres et à la vitesse de 350 tours. Elles sont du type centrifuge à libre déviation et à axe horizontal. L'admission est partielle et se fait par un distributeur portant deux injecteurs à bec à bascule avec tiroir extérieur commandé à la main.

La roue mobile est formée d'une couronne d'aubages en fonte frettée par deux bandages en acier laminé sans soudure. Cette couronne est assemblée avec un disque en fonte, boulonné lui-même sur un moyeu en fonte claveté sur un arbre en acier reposant sur deux paliers graisseurs à bagues. Le distributeur et la roue mobile sont recouverts d'une capote en tôle.

Chaque turbine est isolée de la conduite d'amenée par un robinet en acier coulé, à servo-moteur hydraulique, fonctionnant sous la pression de la chute. En outre, chacune des turbines est munie d'un limiteur de vitesse destiné à prévenir l'emballement des génératrices en cas de rupture de la charge. Ces limiteurs consistent en un système spécial, dans lequel, dès que la vitesse dépasse une certaine limite, un couteau convenablement disposé coupe le coin du manchon d'accouplement reliant la turbine et la machine électrique, et isole par conséquent celle-ci avant que la turbine soit emballée. L'emballement est d'ailleurs de courte durée, car le limiteur agit simultanément sur le couteau et sur le distributeur du

servo-moteur. Un débrayage convenablement disposé permet de manœuvrer la fermeture du robinet-vanne à la main, indépendamment du limiteur.

Pour les divers appareils mécaniques et pompes de l'usine, on a installé

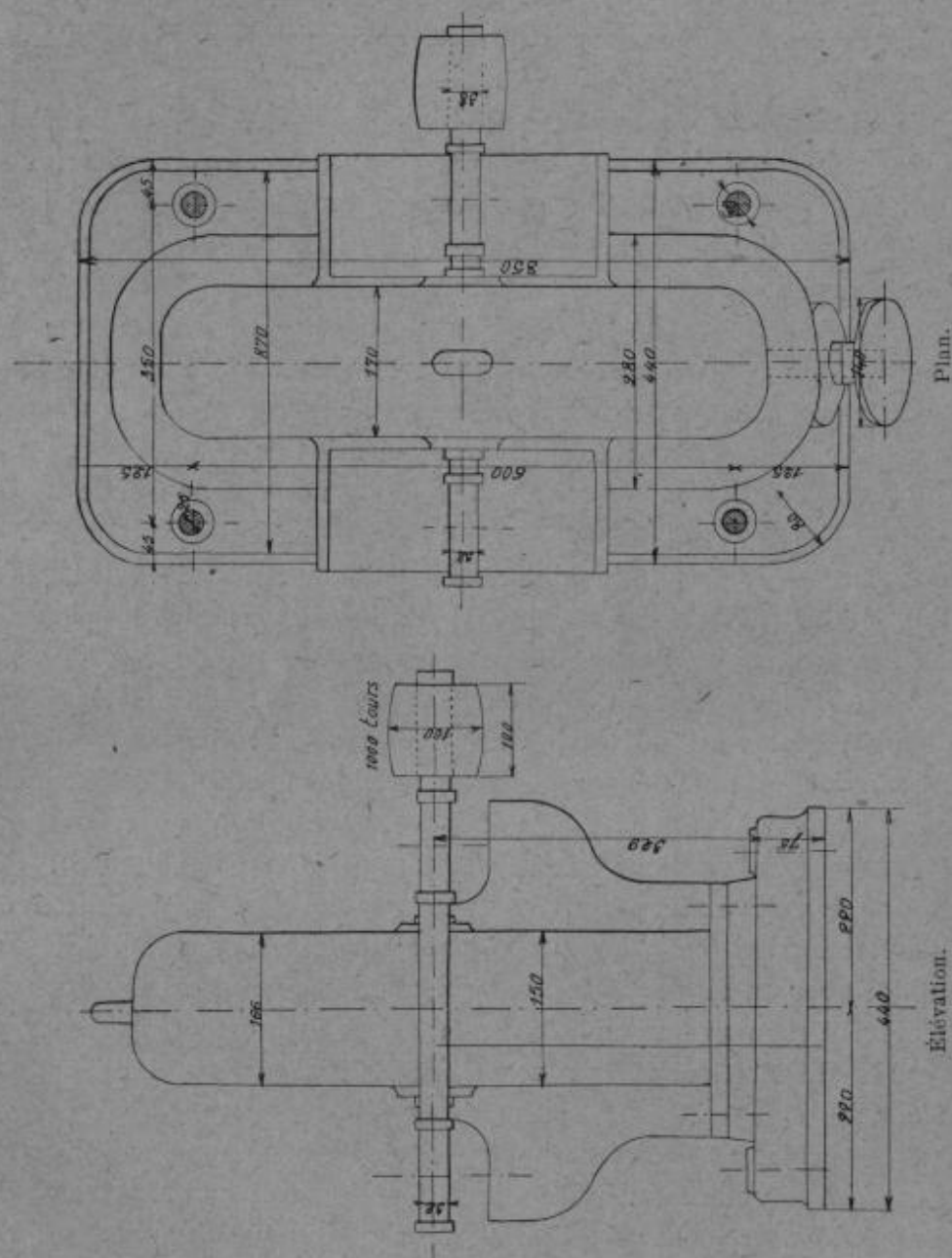
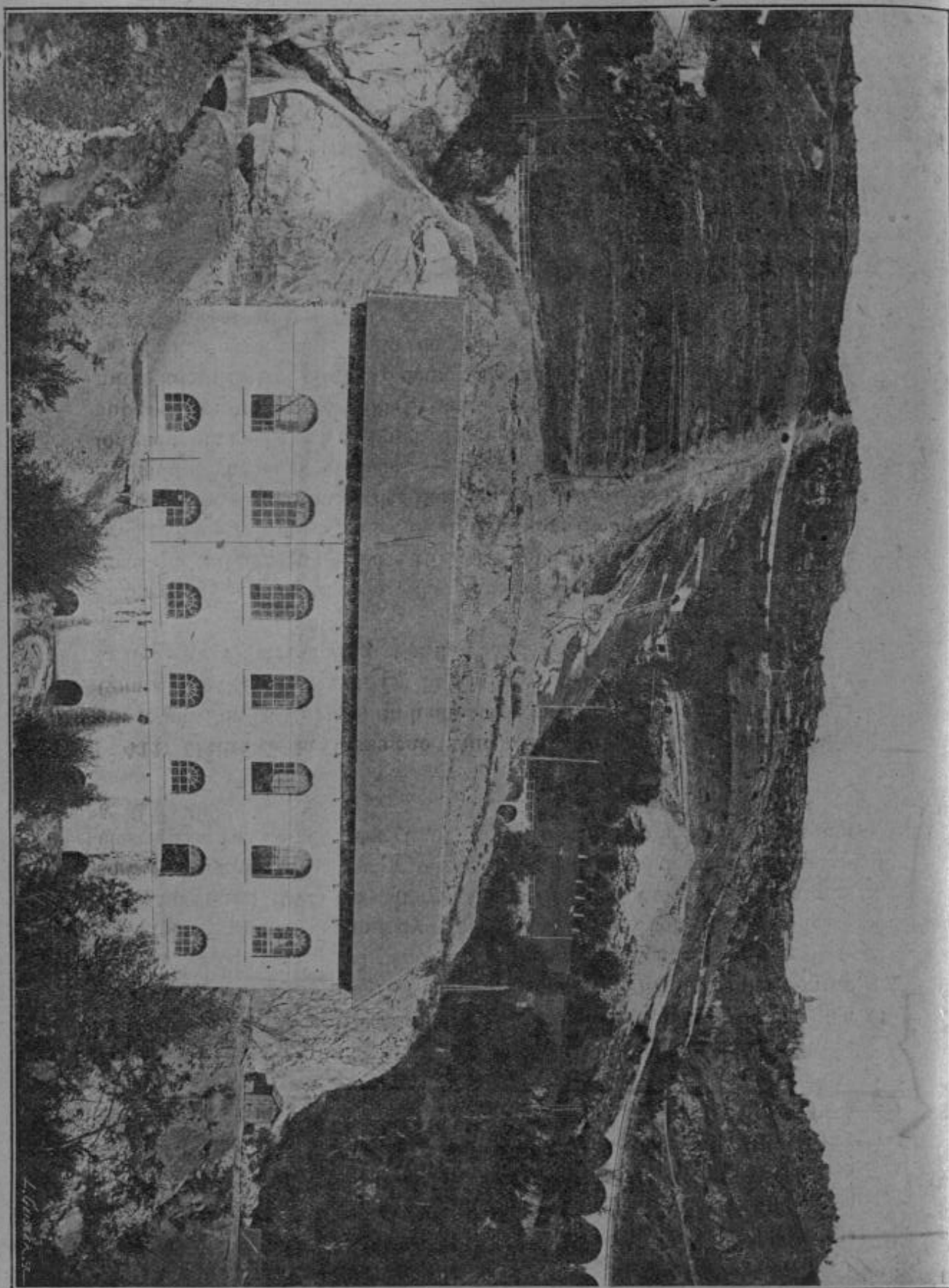


FIG. 973. — Usine d'Auzat. Roue tangentielle à augets, installée à l'usine hydroélectrique d'Auzat (Ariège).

6 turbines de 35 HP et 15 de 5 à 20 HP fournies par la maison V^e Bonnet, de Toulouse. Ces turbines (*fig. 973*), mues par l'eau à la pression de 42 kilogrammes, sont du type Pelton à jet fixe et robinet de réglage à la main. Il y a trois monte charges hydrauliques fonctionnant aussi sous la pression de la chute. Enfin l'eau nécessaire à la fabrication est élevée par deux turbo-pompes à 20 mètres de hauteur.

FIG 974 — Usine électrique de la Casagne.



ALTERNATEURS ET DYNAMOS. — L'installation de début comportait 8 dynamos et 2 alternateurs monophasés fournis par MM. Schneider et C^{ie} (Creusot). Les dynamos ont une puissance unitaire de 1.000 kilowatts, fournissant un courant de 5.000 ampères à la tension de 200 volts et à la vitesse de 350 tours à la minute. Ces machines sont à un seul collecteur et sont munies de pôles de commutation. Elles alimentent les appareils à chlorate de potasse et à soude.

Les alternateurs, au nombre de deux, ont une puissance unitaire de 1.270 kilovolts-ampères produisant un courant variant de 25.000 à 12.700 ampères sous 50 à 100 volts, à la vitesse de 375 tours par minute avec une fréquence de 50 périodes. L'excitation de chacun de ces alternateurs est assurée par une dynamo excitatrice, en bout d'arbres, fonctionnant sous 110 volts en charge. Comme les dynamos, les alternateurs sont commandés directement par les turbines à l'aide de manchons semi-élastiques. Le nombre des fours pour la production de l'aluminium était de 48.

411. Usine de la Cassagne (*chute, 421 mètres*). — Cette usine située sur le bord de la Têt, près du hameau de la Cassagne, a été édifiée par la Compagnie des chemins de fer du Midi en vue de la traction électrique de la ligne de Villefranche, de Conflent à Bourg-Madame (Pyrénées-Orientales).

Barrage. — Cet ouvrage, de 400 mètres de longueur, assure la retenue de l'eau qui est dérivée à la cote 1617. Le débit de la Têt est régularisé par un bassin dont la capacité est de 13,5 millions de mètres cubes et créé sur l'emplacement des marais des Bouilleuses à la cote 2000 (*fig. 974*).

Canal d'amenée et réservoirs. — Le canal d'amenée de 5 kilomètres de longueur amène l'eau à un bassin de charge d'une capacité de 2.600 mètres cubes et arasé à la cote 1608. Ce canal est à rigole simple sur les trois premiers kilomètres et alimente deux bassins de décantation dont le dernier et le plus important, celui de Pla-de-l'Ous, a une contenance de 12.000 mètres cubes.

Un jeu de vannes permet de mettre ces bassins hors de service, et dans ce cas, servent de réserve.

Le débit du canal d'amenée peut atteindre 900 litres par seconde.

Conduites forcées. — De la chambre de mise en charge partent quatre conduites forcées de 1 kilomètre de longueur et de 0^m,400 de diamètre intérieur. Elles déterminent une hauteur de chute brute de 421 mètres.

Usine. — Elle comporte quatre groupes électrogènes comprenant chacun une turbine Pelton à double déviation et une dynamo dimorphique à inducteur fixe et induit mobile couplée directement à la turbine. Leur puissance est de 650 kilowatts à la vitesse de 375 tours-minute. Leur ren-

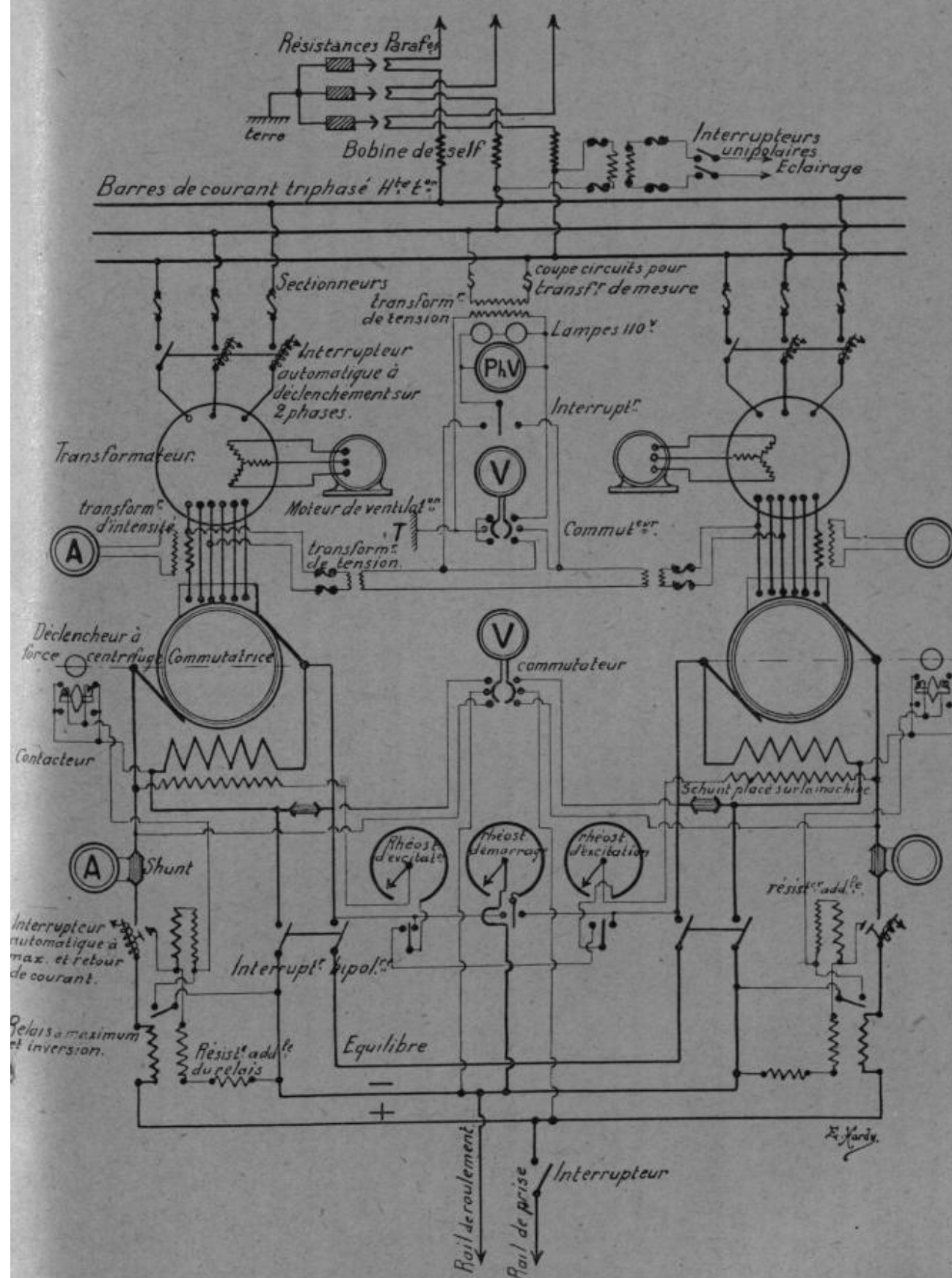


FIG. 975. — Usine de la Cassagne. — Schéma d'une sous-station.

dement est de 0,93 à pleine charge et de 0,89 à moitié charge; chaque dynamo peut fournir sa puissance totale soit à courant continu à 850 volts, soit en courant alternatif hexaphasé à 600 volts et 25 périodes. (*fig. 975*).

Les transformateurs, recevant les courants hexaphasés à 600 volts, les transforment en courants triphasés à 20.000 volts. Les enroulements secondaires sont montés en étoile et leurs extrémités libres sont reliées aux barres à haute tension par l'intermédiaire des appareils de marche

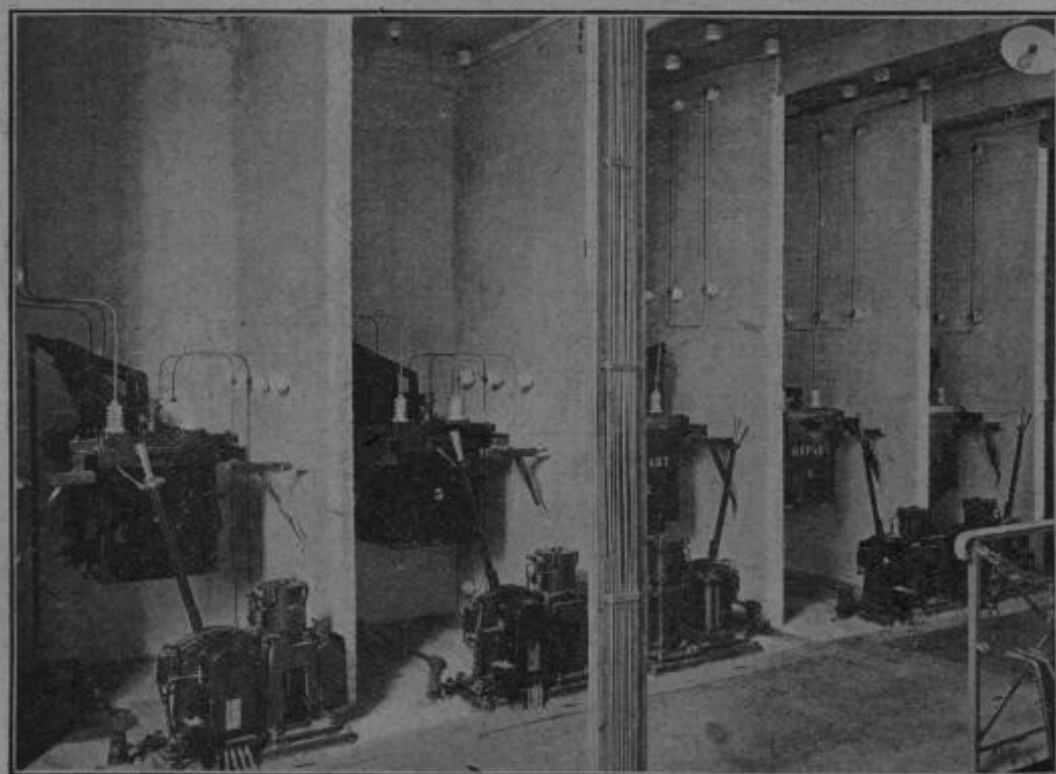


FIG. 976. — Interrupteurs automatiques à 20.000 volts (Société alsacienne de constructions mécaniques).

et de contrôle. Leur puissance est de 650 kilowatts et peut être portée à 800 kilowatts pendant deux heures.

Le tableau de distribution est à six panneaux. Les quatre panneaux du centre sont affectés chacun à un des groupes électrogènes; un pour le courant continu et l'autre au couplage et au départ des courants alternatifs à la tension de 20.000 volts. Chaque génératrice a son panneau spécial. La face devant du tableau porte les instruments de mesure, les appareils de couplage et de commande à distance, électrique et mécanique, des robinets-vannes et des interrupteurs à haute tension ainsi que les volants des rhéostats d'excitation.

Tout l'appareillage à haute tension est installé dans la partie comprise entre le tableau et le mur (*fig. 976 et 977*).

Au rez-de-chaussée sont placés les quatre interrupteurs tripolaires à bain d'huile, logés dans une cellule et reliés, d'une part, aux bornes du secondaire des transformateurs et, d'autre part, aux barres à 20.000 volts. Les fils de départ, au nombre de six, deux par phase sont munis chacun,

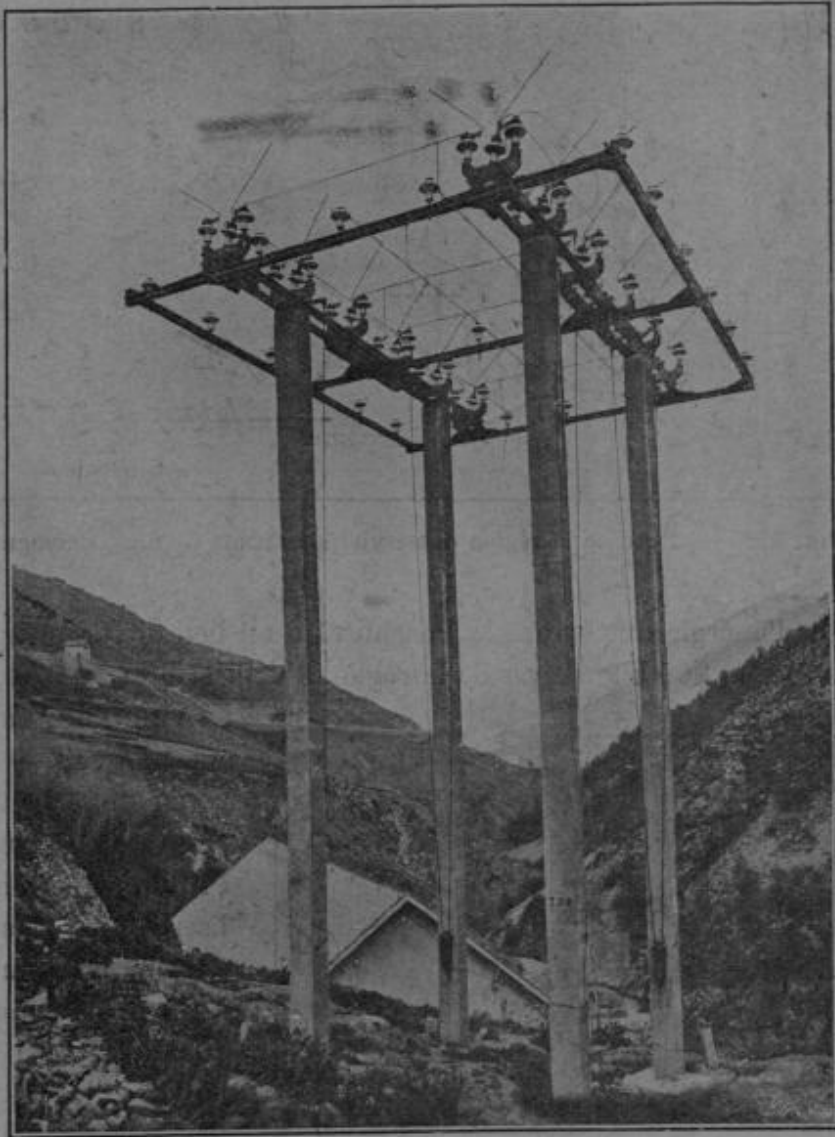


FIG. 977. — Poste de sectionnement à 20.000 volts (Société alsacienne de constructions mécaniques).

monté en dérivation, d'un parafoudre à corne avec bobine de self et résistance liquide. De là les fils traversent le mur et se rendent au poste de sectionnement.

412. Usine de Campocologno (Suisse) (chute, 440 mètres). — La Società lombarda per distribuzione de energia elettrica, dont le siège est

à Milan et qui possède les usines de Vizzola (§ 330), de Castellanza et de Turbigo, a créé, en 1903, la Société des forces motrices de Brusio, à l'effet



FIG. 978. — Carte de la région desservie par l'usine de Campocologno.

de capter l'énergie du torrent le Poschiavino au lieu dit Campocologno, situé à environ 200 kilomètres de la région d'utilisation (fig. 978 et 979).



FIG. 979. — Plan de situation de l'usine.

AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — La captation du torrent le Poschiavino, affluent de l'Adda, a permis d'utiliser une chute de 440 mètres fournissant une puissance de 40.000 HP, qui ont été industriellement réalisés en cours de l'année 1906. Ce torrent sert d'exutoire au lac de Paschiavo, situé au sud du massif montagneux de la Bernina, qui reçoit les eaux de

divers torrents, dont le bassin hydrologique global embrasse environ 200 kilomètres carrés. La superficie de ce petit lac est de 2 kilomètres carrés et sa profondeur maxima atteint 80 mètres. Le niveau moyen des

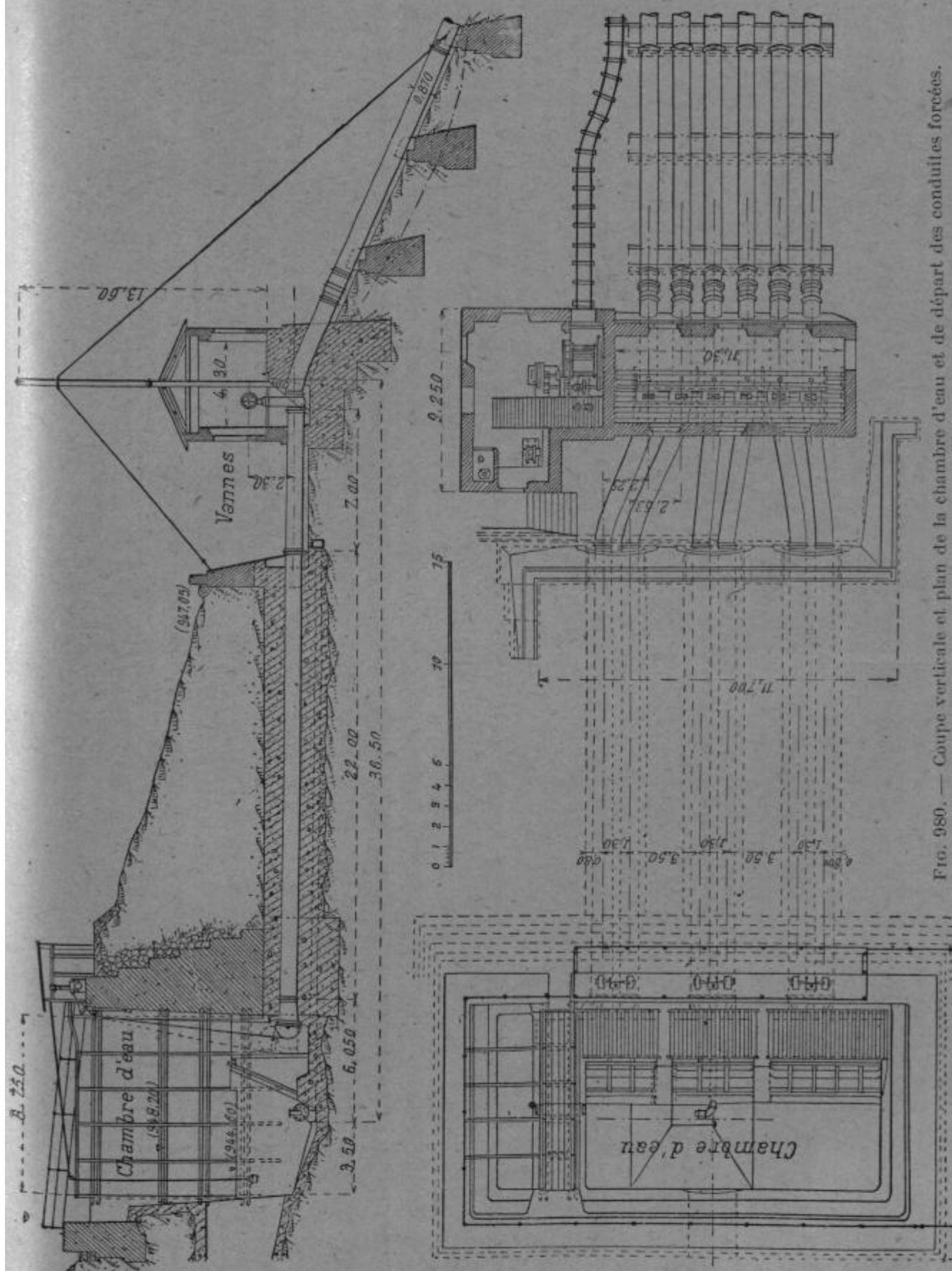


FIG. 980. — Coupe verticale et plan de la chambre d'eau et de départ des conduites forcées.

eaux, relevé jusqu'à 1 mètre et abaissé jusqu'à 7^m,40, a permis d'assurer une réserve d'environ 15 millions de mètres cubes.

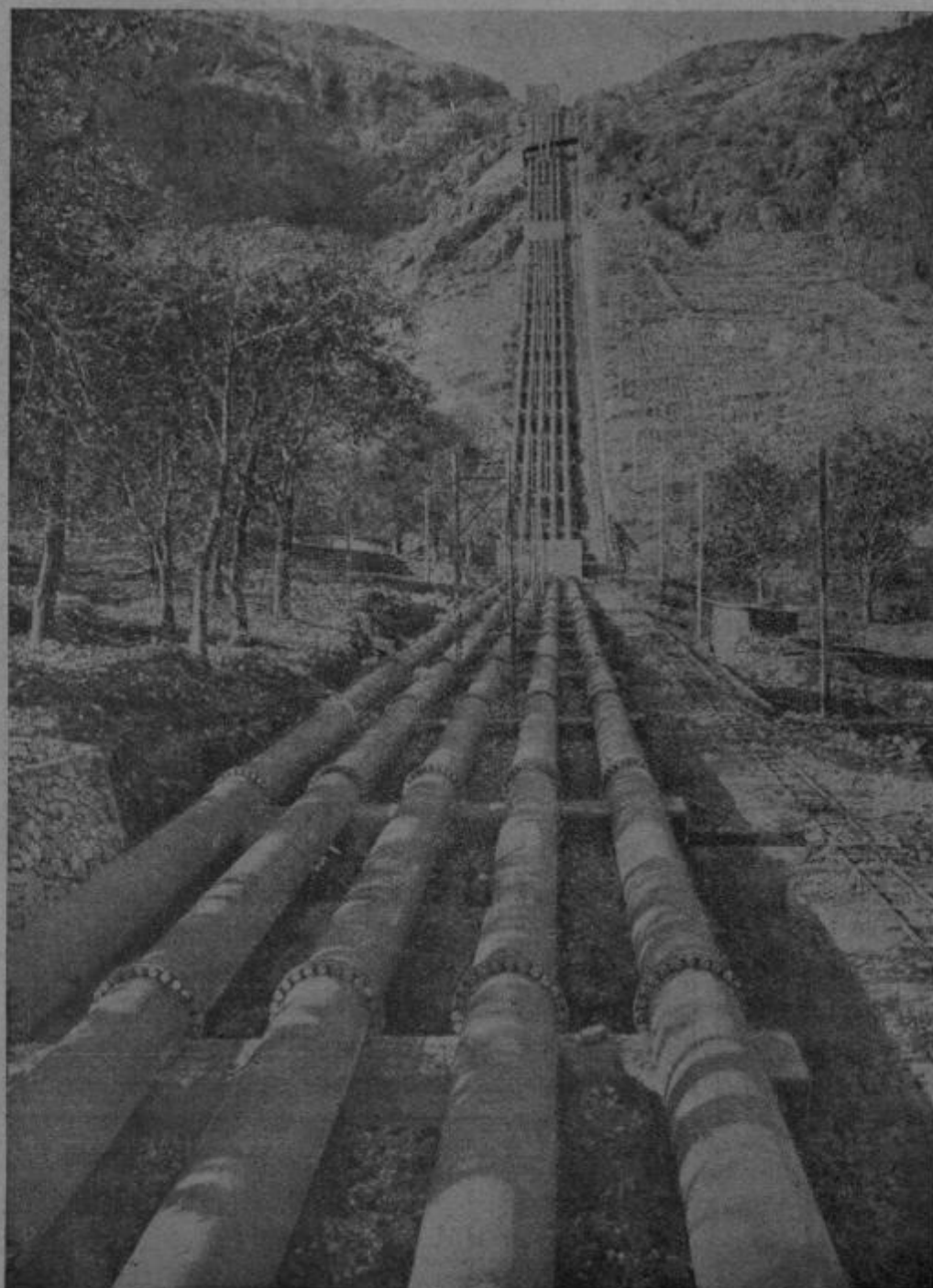


FIG. 981. — Usine de Campocologno. Conduites forcées.

Prise d'eau. — Le barrage permettant de régler la retenue comporte une vanne métallique de 4 mètres de largeur qui limite à la cote 964,40 le niveau maximum des eaux. A côté de lui se trouve une conduite servant

de réserve, tant que les eaux ne baissent pas au-dessous de son niveau.

La prise d'eau proprement dite a été faite à l'aide d'un siphon débouchant dans un canal d'aménée souterrain. Celui-ci forme une galerie de 2^m,40 de largeur et de hauteur. Le dessous du radier est drainé et les eaux d'infiltration s'écoulent au dehors par de petites galeries latérales ayant servi lors des chantiers d'avancement.

Chambre d'eau (fig. 980). — Le régime prévu pour l'usine nécessitait la possibilité d'accumuler une réserve hydraulique importante dans une chambre d'eau où le niveau de l'eau est limité par un barrage mobile en madriers installé à l'une des galeries latérales du souterrain, permettant d'accumuler ou de décharger plus ou moins d'eau selon les besoins. Cette chambre d'eau, creusée dans le rocher, domine d'environ 430 mètres le fond de la vallée du Poschiavino. Son mur aval est percé de six ouvertures groupées deux à deux, d'où partent les conduites forcées. Le débit moyen par seconde est de 7 à 9 mètres cubes.

Conduites forcées. — Le diamètre de celles-ci varie de 0^m,85 à 0^m,75 et la vitesse de l'eau est de 3^m,50 à la seconde. Leur longueur respective est de 1 kilomètre environ et leur poids total de 2.000 tonnes. Les tôles des tronçons inférieurs, longs de 12 mètres, ont 22 millimètres d'épaisseur et travaillent à 7^{kg},5 par millimètre carré. Elles présentent une résistance de 36 kilogrammes à la rupture, avec un allongement de 25 0/0.

Les conduites, qui descendent dans des plans verticaux parallèles (fig. 981), ont été installées au moyen d'un funiculaire électrique. Elles aboutissent à un poste de vannes accolé à l'usine (vannes d'arrêt et de décharge) qui permettent d'entretenir au besoin un courant d'eau dans les conduites qui ne fonctionnent pas, pour les empêcher de geler. A l'extrémité supérieure de ces conduites est aussi un petit bâtiment renfermant des vannes et les tubes d'équilibre.

TURBINES. — La salle des machines est installée pour douze groupes électrogènes de 3.000 à 5.000 HP, ainsi que pour quatre groupes d'excitation de 250 HP. Les turbines sont de deux types : des turbines Pelton construites par la maison Escher-Wyss (fig. 982), et des turbines Girard à admission partielle, de la maison Piccard et Pictet. Les turbines d'alternateurs tournent à 375 tours et celles d'excitatrices à 430 tours. Chacune d'elles est reliée à sa génératrice par un accouplement élastique Zodel-Voith.

ALTERNATEURS. — Les alternateurs triphasés, type Alioth, sont à induit fixe donnant du courant à 7.000 volts, 50 périodes ; leur puissance normale est de 3.000 kilowatts. Leur diamètre d'induit dépasse 3 mètres. Les excitatrices sont des dynamos shunt de 150 kilowatts, à 115 volts.

LIGNES DE TRANSPORT D'ÉNERGIE (50.000 volts). — Le courant de 7.000 volts fourni par les génératrices est élevé à la tension de 50.000 volts

à l'aide de vingt-quatre transformateurs de 1.250 kilowatts chacun disposés dans la sous-station de Piattamala. Les conducteurs à 7.000 volts passent d'abord dans une salle de contrôle où se fait l'enregistrement des quantités d'énergie livrées par l'usine. Les conducteurs à 50.000 volts sont installés dans une galerie entre des murettes en béton et sont pro-

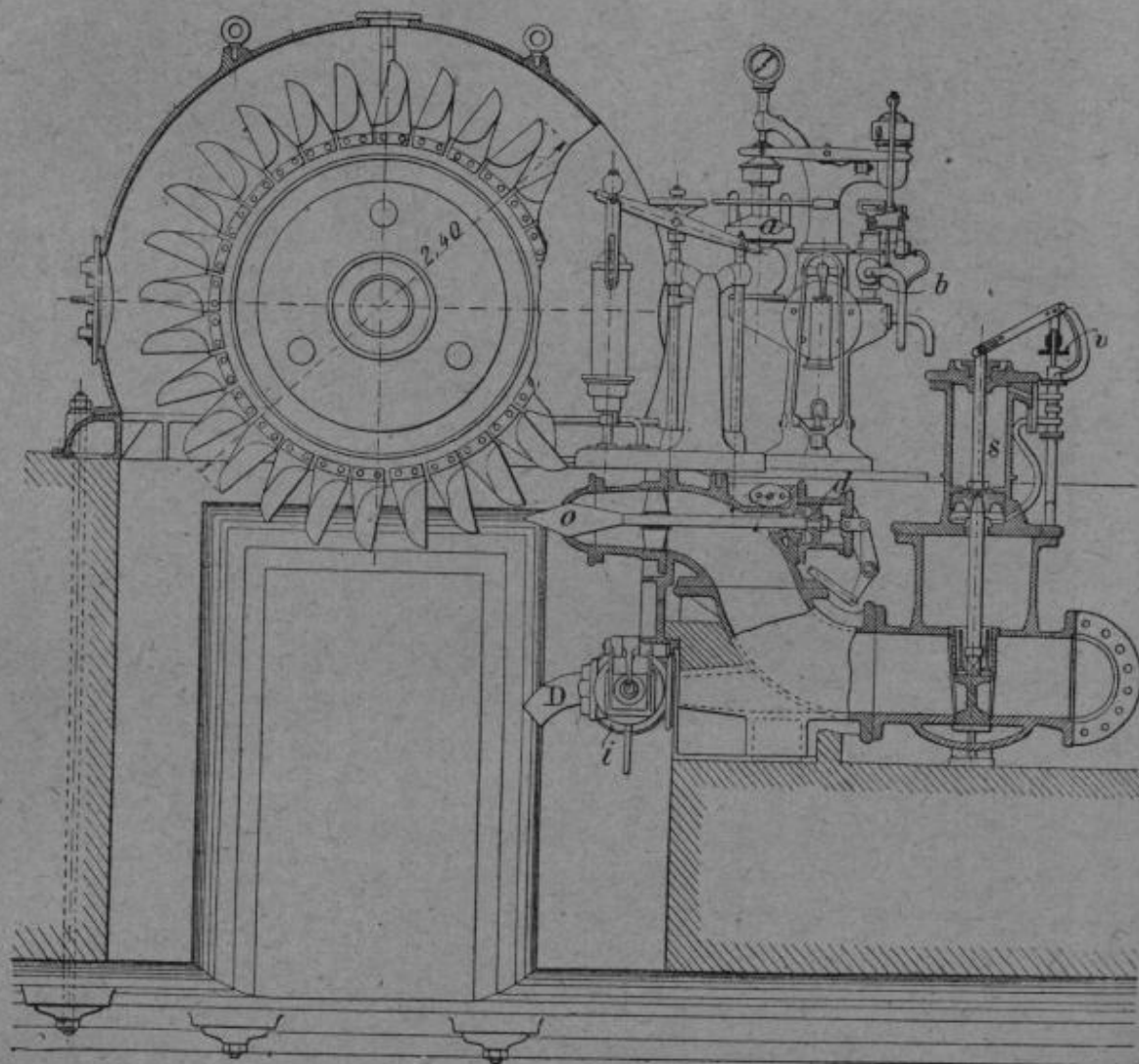


FIG. 982. — Coupe verticale d'une turbine Escher-Wyss et de son régulateur.

tégés par des interrupteurs à huile, des parafoudres à écoulement d'eau et des appareils de contrôle et de mesure.

Les lignes, au nombre de deux, sont portées par deux séries de pylônes quadrangulaires à treillis et les trois fils de chaque ligne sont disposés en triangle. Les portées normales sont de 120 mètres et il en existe de 400 mètres ; chaque conducteur comprend dix-neuf fils de cuivre de 2^{mm},6. Les pylônes ont été calculés pour recevoir six conducteurs et une pression de vent de 120 kilogrammes au mètre carré.

Des postes de coupure avec interrupteurs et paratonnerres divisent chaque ligne en six sections de 15 à 40 kilomètres de longueur ; ils sont desservis par une ligne téléphonique privée qui n'est pas posée sur les pylônes.

Le courant est ramené à 20.000 volts ou à 11.000 volts dans la sous-station de Lomazzo (145 kilomètres) qui alimente diverses lignes de distribution et qui communique avec l'usine à vapeur de Castellanza (160 kilomètres) destinée à servir de réserve aux usines hydrauliques de Turbigo, Vizzola et Campocologno.

La demande de courant, en majeure partie envoyée à des filatures et tissages, commence à devenir notable vers six heures du matin et monte en une demi-heure à son niveau moyen qu'elle conserve jusqu'à midi, puis elle recommence, après l'arrêt de midi, de une à sept heures. Pendant la nuit l'usine ne débite guère que le cinquième de la puissance de jour.

413. Usine de Stanislauss (Californie) (*chute, 450 mètres*). — C'est une des plus grandes usines hydroélectriques des États-Unis ; elle appartient à la Compagnie Stanislauss Power, qui utilise l'énergie de la rivière Stanislauss.

Les aménagements hydrauliques consistent en un barrage, un canal de 21 kilomètres de long, un réservoir de charge, deux conduites forcées, dont l'une, de 1.050 mètres, aboutit à l'usine génératrice et l'autre dessert une usine appartenant aux mines de San Domingo.

On a installé actuellement dans la station centrale trois groupes électrogènes dont chacun est composé de deux roues Pelton (chaque roue d'une puissance de 5.000 HP) et d'un alternateur triphasé débitant 6.700 kilowatts sous 4.000 volts. A chacun des trois groupes électrogènes correspondent trois transformateurs, qui élèvent la tension de 4.000 volts à 114.000 volts.

La ligne de transport à distance mesure 160 kilomètres de longueur et aboutit à San Francisco. Elle repose, fixée à des isolateurs suspendus, sur des pylônes d'acier qui, en plaine, sont distants de 250 mètres les uns des autres.

La même entreprise se propose de construire incessamment, à 18 kilomètres en amont du barrage, une seconde station centrale qui disposera d'une chute de 600 mètres.

414. Usine d'Adamello (Italie) (*chute, 470 mètres*). — La centrale est située sur la rive gauche de la rivière Oglio. Les bâtiments couvrent une superficie totale de 2.000 mètres carrés, dont 1.000 mètres carrés environ pour la salle des machines, qui contient 7 groupes de turbo-alternateurs et 2 excitatrices.

L'installation génératrice peut être divisée en trois parties, la salle des machines, celle des transformateurs et la salle de distribution.

La salle des machines contient sept grandes turbines du type Pelton à arbre horizontal, de 4.000 kilowatts chacune, et une petite turbine de 400 kilowatts. Cette dernière (débit de 111 litres par seconde, 650 t : m) actionne l'une des dynamos à courant continu pour l'excitation, tandis que les autres turbines, qui font 420 t : m, actionnent les alternateurs en absorbant à pleine charge un mètre cube d'eau, sous une chute de 470 mètres. Les turbines sont accouplées directement, par un accouplement rigide, avec les alternateurs triphasés d'une puissance de 4.000 kilowatts. La vitesse est de 420 tours par minute et la fréquence de 42 périodes par seconde. La tension du courant est de 9.000-12.000 volts et l'énergie maximum nécessaire pour l'excitation est de 22 kw. a. La tension des alternateurs a été fixée à 12.000 volts, parce que la centrale doit marcher en parallèle avec celle d'Isola, située à 5 kilomètres environ et qui produit elle-même du courant à 12.000 volts.

Dans la partie postérieure du bâtiment, sont installés sur deux rangées divisées en cabines, 15 transformateurs monophasés, montés en triangle au primaire et au secondaire. Chaque transformateur a une puissance d'environ 2.700 k. v. a. et une tension de 10.000-60.000 volts. Cette tension peut être portée à 72.000 volts, pour qu'on puisse transporter toute l'énergie nécessaire au moyen de l'une des deux lignes aériennes, lorsque l'autre ligne est arrêtée. Les transformateurs sont du type à bain d'huile refroidi par des serpentins dans lesquels circule de l'eau.

La partie centrale des bâtiments est occupée par les appareils. L'installation de ceux-ci est disposée de manière que l'énergie produite dans la station centrale puisse être réunie à l'énergie fournie par les autres stations et transformée à 72.000 volts pour être envoyée et distribuée dans la plaine de la Lombardie.

Le bâtiment des appareils a quatre étages et un sous-sol. Le rez-de-chaussée contient les barres à 12.000 volts ; au premier étage sont installés les interrupteurs à huile pour les machines et pour les lignes futures venant de la station centrale d'Isola, ainsi que pour les transformateurs. Le deuxième étage contient les parafoudres pour les départs à 72.000 volts, ainsi que pour les lignes à 12.000 volts venant de la centrale d'Isola.

Les câbles venant des alternateurs sont posés dans un couloir souterrain spacieux ; ils aboutissent aux barres à 12.000 volts, d'où partent des connexions en cuivre nu allant aux interrupteurs à huile.

Les interrupteurs sont triphasés, à rupture brusque et permettent de couper le courant de chaque phase à deux endroits différents, dans un bain d'huile. Leur fermeture peut se faire à la main ou électriquement. Les trois phases traversent l'interrupteur, puis les sectionneurs et abou-

tissent aux barres à 12.000 volts qui sont séparées par des cloisons en ciment.
La centrale devant marcher suivant deux régimes différents, il existe

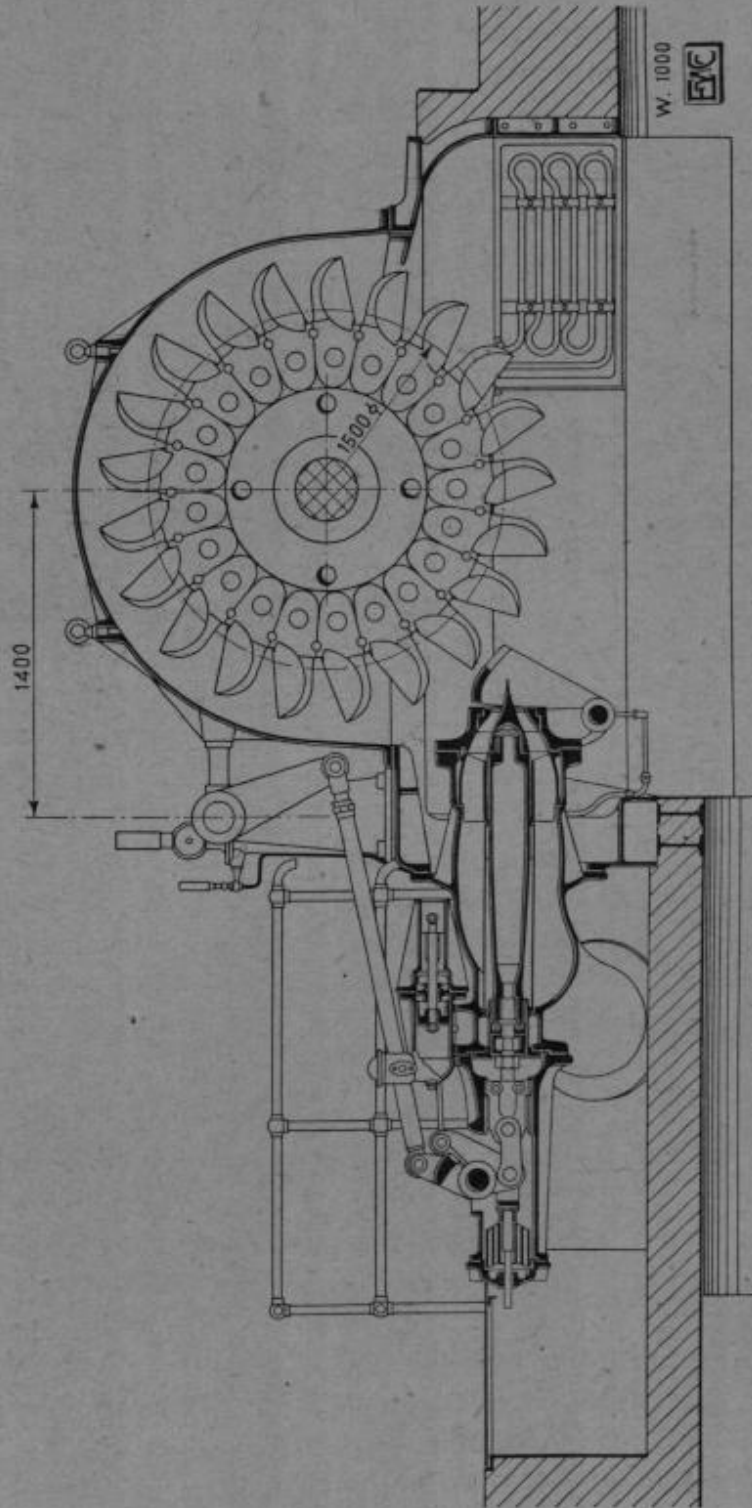


FIG. 982. — Roue Pelton de l'usine de Moncenisio, 4.200 HP sous 400 mètres de chute (Escher-Wyss, constructeurs).

deux systèmes de barres qui peuvent être réunies au besoin pour former une conduite en boucle.

Les connexions partant des barres collectrices vont au premier étage, en traversant les interrupteurs à 12.000 volts des transformateurs ; ces interrupteurs sont mécaniquement solidaires, au moyen d'une chaîne Galle, des interrupteurs correspondants du côté primaire (72.000 volts), de sorte qu'on peut isoler complètement un transformateur par une seule

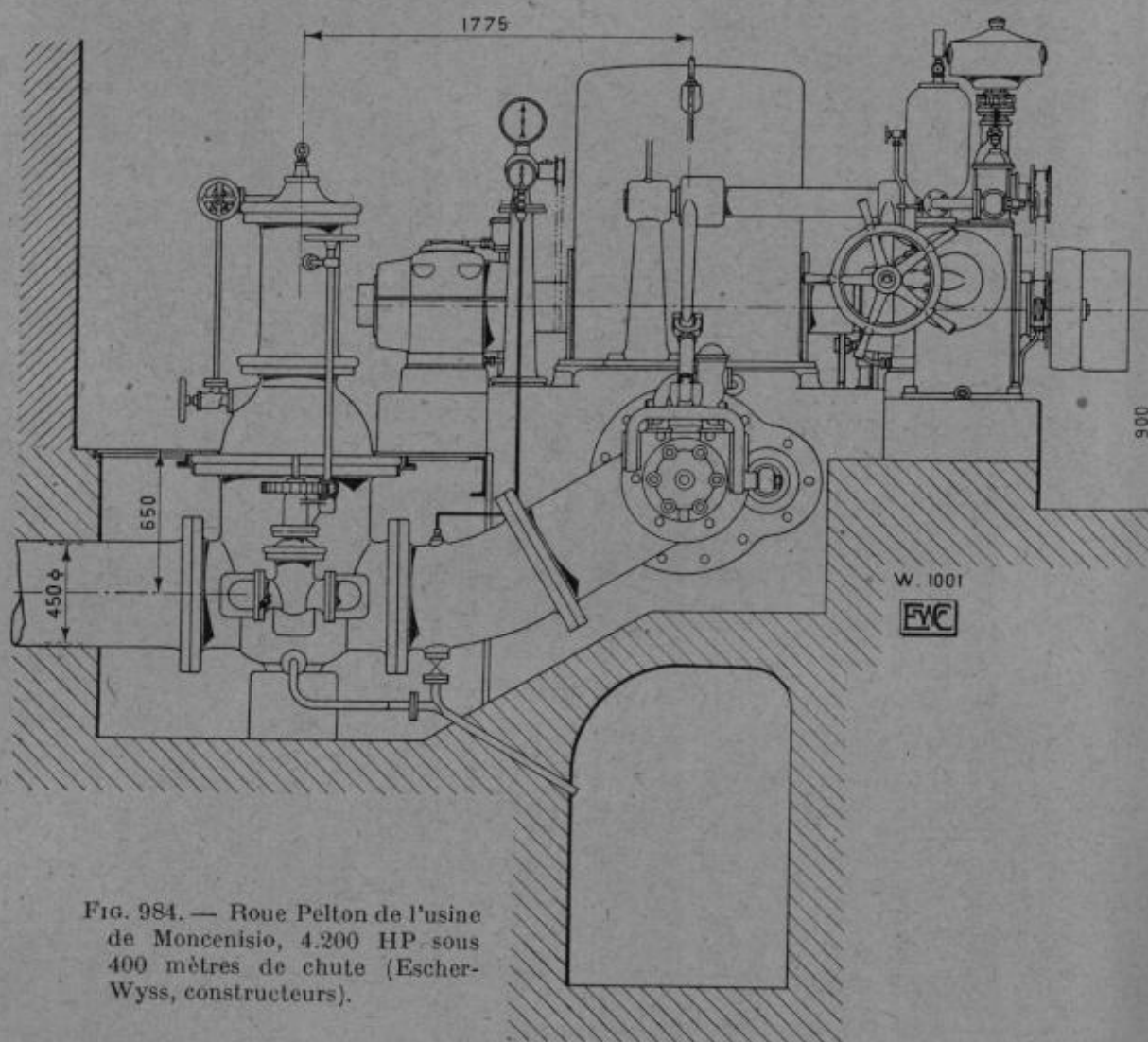


FIG. 984. — Roue Pelton de l'usine de Moncenisio, 4.200 HP sous 400 mètres de chute (Escher-Wyss, constructeurs).

manœuvre. Les connexions arrivent ensuite au deuxième étage où elles aboutissent aux barres à 72.000 volts ; en quittant ces dernières, elles traversent les transformateurs d'intensité et les interrupteurs pour les départs et montent au dernier étage qui contient les parafoudres.

Il existe pour le service de la station centrale deux transformateurs triphasés à bain d'huile, avec refroidissement par eau, l'un servant de réserve ; ils ramènent à 220 volts la tension du courant à 12.000 volts.

Toute l'installation est manœuvrée de la galerie des pupitres de ma-

nœuvre se trouvant à la hauteur voulue pour permettre d'embrasser d'un coup d'œil toute la salle des machines. Il y a trois rangées de pupitres de couplage, une pour les alternateurs, une pour les transformateurs et une pour les lignes aériennes. Les pupitres de manœuvre des départs sont montés parallèlement à ceux des machines. Les tables de manœuvre des transformateurs sont disposées perpendiculairement à ces pupitres, dans la partie postérieure de la salle. Au fond se trouve un tableau en marbre qui porte les appareils enregistreurs.

A l'étage qui contient les machines se trouve une série de douze panneaux en marbre blanc portant les instruments et les appareils pour les deux excitatrices, pour le moteur synchrone de 400 kilowatts, pour les deux transformateurs auxiliaires ; pour les interrupteurs pour circuits de manœuvre et pour les moteurs-générateurs servant à la charge de la batterie.

La batterie se compose de 69 éléments et a une capacité de 1.450 ampères-heures pour un courant de décharge de 145 ampères.

Un réducteur double pour la charge et la décharge est commandé électriquement d'un tableau qui se trouve placé près de la salle des machines.

415. Usines de Lancey (Isère) (chute, 500 mètres). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Les premiers travaux de Bergès pour l'utilisation des hautes chutes datent de 1868, époque à laquelle il aménagea une première chute de 200 mètres, destinée à actionner une usine de pâte de bois, ce qui fut considéré alors comme une entreprise singulièrement audacieuse.

En 1881, il résolut de construire une chute de 500 mètres pour la mise en œuvre de la papeterie de Lancey. La conduite se comporta parfaitement, et dès lors une conception nouvelle de l'utilisation des forces hydrauliques était née, grâce à l'indomptable persévérance et au génie du promoteur des hautes chutes d'eau.

Les usines de Lancey, telles qu'elles sont aménagées à l'heure actuelle, sont alimentées par deux cours d'eau, les combes de Lancey et les combes de Saint-Mury, qui descendent du massif de Belledonne pour aboutir à l'Isère, à 15 kilomètres en amont de Grenoble.

Une première amélioration apportée à l'aménagement de cette chute fut de régulariser le cours du débit du ruisseau à l'aide du lac Crozet, en y établissant un siphon qui permettait de le vider sur 6 mètres environ de hauteur. Plus tard on y installa un barrage pour augmenter la réserve utilisable.

Puis Bergès eut l'idée d'amener vers Lancey les eaux non encore utilisées du ruisseau de Vorz (*fig. 985*). Ceci se passait en 1891.

Enfin, au moyen d'une faible surélévation du barrage existant et du percement du lac Crozet, à 27 mètres de profondeur, à l'aide d'une galerie

souterraine, la réserve du lac Crozet fut portée à 1.100.000 mètres cubes.

Ainsi Bergès a montré expérimentalement la voie à suivre pour la cap-

tation des chutes de montagne, et, par suite, le précieux parti que l'on pouvait en tirer, ce qui lui a assuré à juste titre la paternité de la «houille blanche», que la postérité se fera un devoir et un honneur de lui conserver.

L'usine de Lancey dispose, lorsque le débit des deux ruisseaux est de 1.500 litres, de 5.400 HP effectifs; la force minima est de 3.000 HP, réduite à 2.500 HP dans des cas extrêmes, ces derniers de très courte durée.

Elle est construite sur le cours d'eau de Lancey, près de son confluent avec l'Isère, à la cote 260. Les eaux motrices sont captées sur chaque combe (cote 760), aux lieux dits le Mas-Julien et la

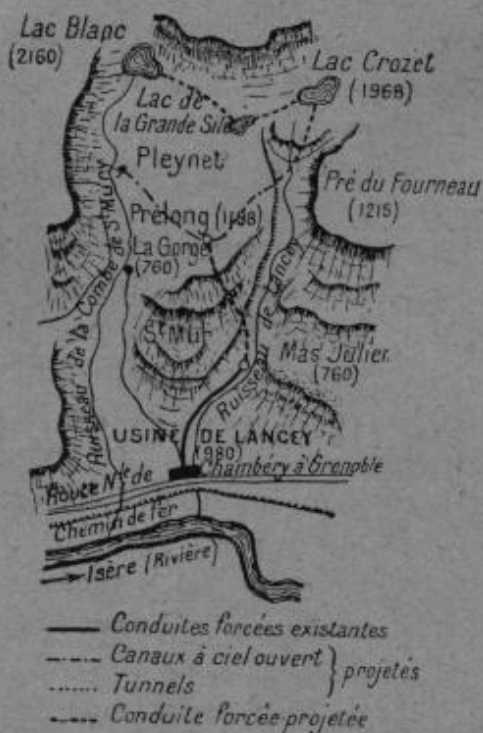


FIG. 985.

Gorge. La chute brute est donc de 500 mètres.

On voit comment le promoteur de la nouvelle industrie des captations des forces hydrauliques a été conduit à la régulation du régime des ruisseaux de faible débit pour en retirer un parti utile.

Prises d'eau. — Les eaux des deux cours d'eau sont amenées respectivement (fig. 986) dans un bassin de décantation établi sur la rive du cours d'eau correspondant. Ces bassins servent à la fois de chambre de décantation et de travail.

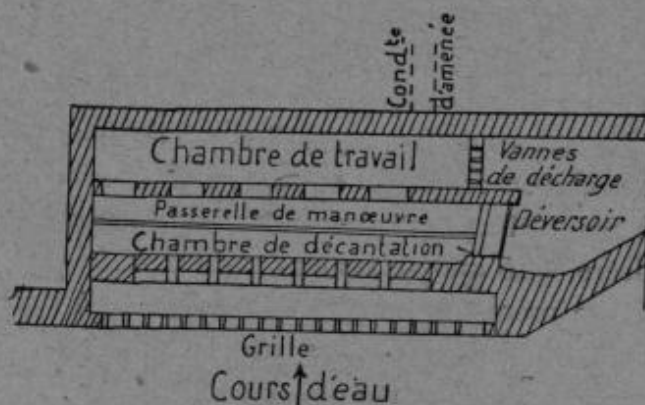


FIG. 986.

La première, précédée d'une grille qui arrête les corps flottants, est en communication directe avec le cours d'eau au moyen d'aqueducs percés le long du mur de façade. Les eaux y perdent leur vitesse et y déposent les apports du cours d'eau.

La seconde chambre est séparée de la précédente par un cloisonnement à travers lequel sont pratiquées un certain nombre d'ouvertures circulaires munies de vannes en bois.

Le gardien de la prise peut, en agissant sur ces vannes, assurer ainsi, en tout temps et avec la plus grande facilité, le débit exigé par la marche de l'usine, d'après les indications qu'il reçoit par téléphone.

Conduites forcées. — La conduite du Mas-Julien est, sur toute sa longueur (2.175 mètres), formée de viroles d'acier. Les diamètres vont de 55 à 40 centimètres ; le coefficient de résistance, qui était primitivement de 7 kilogrammes pour le haut et de 6 kilogrammes pour le bas, a été porté, avec la surélévation, à 8^{kg},5 et 7^{kg},5. Le poids total de la conduite est de 220.000 kilogrammes. Celle de la Gorge est composée de deux files de tuyaux. La conduite, construite en 1881, est en ciment sur 3.400 mètres de longueur, à pente régulière de 7 millimètres par mètre, et a 0^m,500 de diamètre. Elle verse l'eau dans une petite chambre munie d'un réservoir d'où part la conduite forcée métallique, laquelle a 1.860 mètres de longueur.

La canalisation, établie en 1896, suit sur tout son parcours la conduite précédente et est entièrement en tôle. Le diamètre du tuyau varie de 0^m,600 au départ à 0^m,400 à l'arrivée. Le coefficient de résistance adopté est de 7^{kg},5 et le poids est de 300.000 kilogrammes.

Ces conduites, tantôt sont noyées dans le sol, tantôt courent à même sur le terrain, où sont supportées de distance en distance par des massifs en maçonnerie. Elles sont recouvertes d'une peinture très soignée au goudron et sulfure de carbone ; les joints ont été l'objet de soins particulièrement minutieux pour résister aux énormes pressions qu'ils supportent, et les ajutages de sortie sont en bronze d'aluminium.

CHAPITRE XX

USINES DE 501 A 1.650 MÈTRES DE HAUTEUR DE CHUTE

416. Usine de Vernaraz (Suisse) (*chute, 500 mètres*). — La chute, de 500 mètres de hauteur, actionne six turbines développant chacune une puissance de 1.000 HP. Ces turbines, du genre Pelton, sont à axe horizontal et à admission partielle.

Elles reçoivent l'eau à l'intérieur par un seul-ajutage dont l'orifice peut être plus ou moins ouvert ou fermé par un obturateur glissant, manœuvré par le régulateur.

La vitesse normale de marche est de 600 tours par minute, ce qui avec un diamètre de 1^m,80 de la circonférence d'entrée de l'eau, donne une vitesse circonférentielle de 56 mètres, soit 0,56 de la vitesse de 100 mètres de la chute. La turbine peut, sans danger, atteindre une vitesse double, c'est-à-dire 1.200 tours par minute.

Elle est pourvue à cet effet de deux fortes ceintures en acier, qui servent en même temps de volant.

417. Usine de Porte. LIGNE TRANSPYRÉNÉENNE D'AX-LES-THERMES A PUYCERDA (*chute, 500 mètres*). — Le lac de Lanoux, à la cote 2100, dans le massif du Carlitte pourra fournir une réserve de 25 millions de mètres cubes et assurer un débit constant de 700 litres-seconde. Avec une chute de 500 mètres on obtient une puissance de 3.500 chevaux. Cette puissance n'est pas nécessaire pendant plus de la moitié de la journée, mais par contre elle doit être plus que doublée à certaines heures. Cette répartition de puissance sera facilitée par la présence d'un bassin de 5.500 mètres cubes prévu en tête des conduites forcées qui assure une réserve toujours prête de 6.000 chevaux-heures.

USINE HYDROÉLECTRIQUE DE FONTPEDROUSE (Ligne de Perpignan à Villefranche). — Les travaux d'aménagement concordent avec ceux de l'usine de Soulom (§ 385 et 394).

L'usine comporte deux groupes électrogènes constitués chacun par une turbine double à libre déviation genre Pelton et d'un alternateur mono-

phasé de 1.375 kilovolts-ampères débitant du courant à 13.500 volts, 16 $\frac{2}{3}$ périodes avec excitatrice en bout d'arbre. Les turbines et les alternateurs sont réunis par un accouplement élastique et tournent à 500 tours-minute.

418. Usine de Boulder (Colorado) (*chute, 556 mètres*). — Cette usine, avec le concours de l'usine de *Shoshone*, alimentent l'importante sous-station de Denver.

Rappelons que l'usine de *Shoshone*, près Glenwood, établie sur la Grande-Rivière, à 250 kilomètres environ de Denver, est destinée à fournir une charge constante de 5.000 kilowatts, et qu'elle a une réserve d'eau très peu abondante en cas de surcharges.

AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — L'*Usine de Boulder* possédant une très grande réserve d'eau, doit servir pour les surcharges et les circonstances imprévues. En fait, elle dépend presque entièrement de l'eau accumulée dans ses réservoirs, car le débit minimum du « *Middle Boulder Creek* » qui l'alimente, s'abaisse pendant la saison sèche, jusqu'à 0^m3,140 par seconde. Le réservoir « *Barker* » a une capacité de 14.560.000 mètres cubes et permet de régulariser le débit en lui donnant une valeur continue de 1 mètre cube par seconde environ. Ce réservoir est fermé par un barrage de 53 mètres de hauteur. Une conduite en béton, de 0^m90 de diamètre et de 19 kilomètres de longueur, amène l'eau de ce premier réservoir à un second, le réservoir *Kossler*, situé à l'origine de la conduite forcée qui alimente l'usine sous une hauteur de chute de 556 mètres. La puissance de l'usine est de 10.000 kilowatts. Le réservoir *Kossler* a une capacité d'environ 250.000 mètres cubes.

Dans ces conditions, l'usine développe une puissance de 15.500 chevaux pendant 100 heures. Ainsi, en cas d'arrêt de l'usine de Glenwood, ou d'avarie à la ligne de Glenwood à Denver, l'usine de Boulder constitue une réserve importante. Le diamètre de la conduite forcée à sa partie inférieure est de 1^m11, et les tôles qui entrent dans sa construction ont une épaisseur de 4,44 centimètres. Elle est enfouie dans une tranchée de 3^m30 de profondeur.

TURBINES. — Les deux turbines, de construction américaine, du type à action, peuvent chacune fournir une puissance de 10.500 chevaux.

ALTERNATEURS ET APPAREILLAGE. — Ces turbines actionnent chacune un alternateur triphasé de 5.000 kilowatts, 60 périodes, 4.000 volts, réuni aux barres collectrices par l'intermédiaire d'un interrupteur à huile de 1.200 ampères à commande par moteur. Un interrupteur à huile du même type est placé entre les barres collectrices et les transformateurs. Les interrupteurs à huile sont disposés le long d'un des côtés du bâtiment. Les transformateurs, élevant la tension de 4.000 à 100.000 volts, sont pla-

cés à une extrémité de l'usine. Les transformateurs de courant pour relais et appareils de mesure sont disposés au-dessous des interrupteurs à huile, et les transformateurs de potentiel au-dessus.

Les transformateurs principaux, de 3.330 kilowatts chacun, au nombre



FIG. 987. — Usine de Boulder. — Ligne aérienne avec fil de terre.

de trois, sont connectés en triangle. Leur rendement garanti, à pleine charge, est de 98,5 0/0. Leur régulation de voltage, sur charge non inductive, est de 1,2 0/0 entre la marche à vide et la pleine charge. Ils sont établis pour un

fonctionnement à pleine charge pendant vingt-quatre heures, avec une élévation de température de 35° C. La sortie des conducteurs à 100.000 volts se fait par le toit.

Sous-station. — La station de Denver peut être considérée comme le type des sous-stations américaines à haute tension. Toutefois une disposition qu'on ne rencontre encore qu'assez rarement est la suivante : les barres à haute tension sont situées à l'air libre entre les bâtiments où sont logés les coupe-circuits des lignes d'alimentation et la sous-station proprement dite, contenant les transformateurs qui délivrent à Denver du courant à 13.000 volts. Les lignes à haute tension arrivent à un bâtiment contenant les parafoudres, puis, de là, chacune d'elles se rend à un poste d'interruption séparé. L'interrupteur à huile qu'il contient est isolé entre deux jeux de connecteurs à couteaux, placés à l'extérieur et montés sur des isolateurs du type employé couramment sur la ligne.

De là, le courant se rend aux barres supportées par des pylônes à air libre, séparées en leur milieu par des connecteurs à couteaux et dont les extrémités sont reliées, toujours par l'intermédiaire de connecteurs à couteaux et d'interrupteurs à huile à deux transformateurs situés dans la sous-station proprement dite. Les entrées de lignes se font au moyen d'isolateurs à haute tension, arrivent directement, sans supports intermédiaires, aux bornes des transformateurs. Ceux-ci sont isolés du reste de la sous-station par des murs en briques. Les transfor-

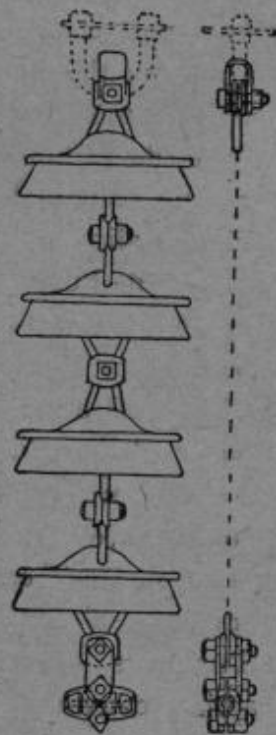


FIG. 988. — Usine de Boulder. — Type d'isolateur suspendu.

mateurs sont montés sur roues et on a prévu des voies ferrées, pour les transporter à un atelier de réparations où on dispose d'appareils de levage qui facilitent le démontage de leurs bobines.

Les secondaires des transformateurs sont reliés à une canalisation en boucle, divisée par des interrupteurs à huile et d'où partent les circuits à 13.000 volts que protègent également des interrupteurs à huile.

La sous-station contient l'appareillage d'interrupteurs à 13.000 volts et, en outre, une batterie d'accumulateurs que permet de charger un groupe moteur-générateur, et qui est destinée à l'alimentation des différents circuits de contrôle.

Nous nous bornons à signaler l'existence des autres sous-stations de Dillon, Leadville et Idaho-Springs, où se retrouvent les mêmes dispositions, mais qui sont moins importantes.

419. Usine de Barker (Colorado E. U.) (*chute, 550 mètres*). — Le barrage de cette usine est constitué par un mur rectiligne en béton, de 200 mètres de longueur et 49 mètres de hauteur. Le parement amont est vertical et le parement aval oblique.

L'eau du réservoir est conduite par un aqueduc en béton au bassin de mise en charge établi à Kessler, à une distance de 20 kilomètres du barrage.

De ce bassin part une conduite forcée constituée par un tuyau en tôle de 1^m,05 de diamètre et 2.900 mètres de longueur, aboutissant à l'usine.

La chute utilisée est de 550 mètres environ de hauteur.

Les turbines, au nombre de deux, sont des roues Pelton donnant 10.500 chevaux à 400 tours ; le débit utilisé est de 4 mètres cubes à la seconde.

Chaque turbine actionne un alternateur triphasé de 5.000 kilowatts, à 4.000 volts.

La puissance est transmise à Denver, à environ 56 kilomètres, par une ligne à 100.000 volts sur pylônes acier.

L'eau qui a servi à actionner les turbines est ensuite utilisée pour l'irrigation. Le canal de fuite de l'usine aboutit à cet effet au Boulder Creek, qui alimente un réseau de canaux d'irrigation.

420. Usine de Chippis (Suisse) (*chute, 600 mètres*). — La Société suisse pour l'industrie de l'aluminium, de Neuhausen, possède sur la Navizance une chute de 600 mètres qui peut fournir 18.000 HP.

La prise d'eau est faite par un tunnel qui a 8^{km},5 de longueur et une pente de 2 millimètres par mètre. De Vissoie, naissance de la prise d'eau à Chippis, où est établie l'usine génératrice, l'ancien lit de la Navizance est complètement à sec. À l'extrémité du tunnel, l'eau forme un vaste

réservoir d'où elle entre dans les conduites métalliques dressées à 45 0/0. Ces tuyaux, qui ont une longueur de 1.000 mètres, forment une triple conduite. Ils sont en tôle spéciale d'acier au nickel et résistent à la pression de 60 atmosphères.

La Société pour l'industrie de l'aluminium a fait en outre une prise d'eau dans le Rhône, à la Souste, à l'aide d'un canal à ciel ouvert continué par un tunnel de 6 kilomètres qui arrive à Chippis avec un débit de 20 mètres cubes et une chute de 100 mètres donnant 20.000 HP. Ces chutes réunies fournissent une puissance de 38.000 HP, constituant une des plus importantes installations de la Suisse.

Cette énergie sert à actionner des machines électriques pour la fabrication de l'aluminium.

421. Usines du Cernon et du Bréda (Isère) (*chutes*, 506 et 612 mètres). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Le ruisseau-torrentiel le Bréda, affluent de gauche de l'Isère, prend sa source dans le massif des Sept-Laïs, massif qui fait partie de la grande chaîne de Belledune et qui, parallèlement à la chaîne du mont Granier (rive droite), forme, le long de la rive gauche de l'Isère, la vallée du Grésivaudan. Les eaux du Bréda proviennent d'un massif montagneux très étendu, à hauts sommets, contenant des glaciers et des lacs qui constituent des bassins d'alimentation de premier ordre. Le débit du Bréda ne descend pas au-dessous de 3.000 litres à la seconde, même aux faibles étiages, qui n'ont lieu que dans les hivers froids, rigoureux et persistants. Son cours est régularisé par le lac Carré, d'où il sort en pente très rapide jusqu'à Fond-de-France, où son volume s'augmente encore des eaux du ruisseau de Combe-Madame. Avant d'atteindre Alleyard, qu'il traverse, il reçoit le Gleizin et le Veyton (30 kilomètres à partir de la source) et il parvient au barrage de prise de la Société des forces motrices du haut Grésivaudan.

Le torrent le Cernon, affluent de droite de l'Isère, a un débit qui varie de 30 litres à la seconde à 150 ou 200 litres en eaux moyennes et 2.000 ou 3.000 litres en très hautes eaux. Il prend sa source à l'altitude de 1.000 mètres dans la forêt des Éparres, et son régime est des plus irréguliers. La Société des forces motrices du haut Grésivaudan a aménagé deux chutes d'eau sur le Cernon, dont l'une de 506 mètres et l'autre de 612 mètres, alimentant l'usine des Gorges.

La chute de 612 mètres a été aménagée au moyen d'un barrage-réservoir d'une capacité de 1.000 mètres cubes, constitué par un mur en maçonnerie de 5 mètres de hauteur et 25 mètres à la base, fermant à l'aval le réservoir dont il vient d'être question. A ce point, une vanne qui se manœuvre depuis la crête du barrage obture l'origine du tuyau de prise encastré dans la maçonnerie. Ce tuyau, de 0^m,30 et de 0^m,35 de diamètre,

est en tôle, avec des épaisseurs de 0^m,004 et 0^m,014 ; sa longueur est de 3.200 mètres. Les tronçons de 6 mètres de longueur qui le constituent sont assemblés par brides avec joints au plomb. La pente de la conduite est extrêmement variable, ayant des parties presque horizontales et d'autres inclinées à 80°. Les travaux de mise en place, exécutés par la maison Joya, ont été des plus laborieux.

La chute de 506 mètres a été aménagée au moyen d'un léger barrage en maçonnerie destiné à capter simplement les eaux d'une source qui prend naissance dans le lit même du Cernon, à une altitude inférieure de 106 mètres à la précédente. Le débit d'étiage de cette source est de 15 à 20 litres à la seconde et est amené, par une très courte conduite en tôle d'acier, semblable à celle de la grande chute et qui vient se jonctionner à cette dernière, un peu en aval du second barrage. Un dispositif de robinets-vannes permet d'utiliser simultanément ou séparément les eaux des deux chutes. A l'usine, un collecteur en tôle d'acier, de 0^m,025 d'épaisseur et de 0^m,35 de diamètre, porte les tubulures alimentant les turbines. A la jonction de la conduite d'amenée et du collecteur existe une vanne permettant l'arrêt rapide des eaux en cas d'accident, et à l'extrémité aval du collecteur est placé un papillon de vidange qui donne le moyen de vider la colonne en charge, les turbines étant arrêtées, en rejetant les eaux directement dans le lit du Cernon sans passer par le canal de fuite, qui — très court — est un simple radier en béton en forme de cuvette.

La (fig. 989), empruntée à l'excellent ouvrage, *Compte rendu du Congrès de la Houille blanche* ⁽¹⁾, montre le jeu du Cernon agissant comme volant régulateur du Bréda.

La courbe des puissances maxima que peut fournir ce dernier torrent, à son étiage, est représentée graphiquement par la ligne $xy'z$.

Si on enveloppe cette courbe dans une autre de forme plus générale $xy'zz$, et si on admet que la puissance maximum correspond au débit d'étiage et que, par suite, AOB représente la limite des disponibilités à l'étiage, on a pour le débit d'étiage du Bréda, et dans la journée des plus fortes charges : 1° la puissance utilisée représentée par la surface comprise entre l'abscisse et la courbe $xy'z$; 2° la puissance disponible figurée par la surface AA'BB.

Si, maintenant, on porte au-dessus de AB, dont les ordonnées constituent le débit d'étiage du Bréda, des ordonnées égales entre elles et égales à la puissance disponible du Cernon à son débit d'étiage (soient AC, BD les ordonnées extrêmes), le rectangle ABCD représente par sa surface la puissance disponible dans une journée d'étiage du Cernon.

Si donc, dit M. Juéry, on fait débiter le Cernon concurremment avec

(¹) M. Juéry, auteur de la communication.

le Bréda pour la marche de l'exploitation de l'affaire, et en supposant que l'étiage des deux torrents ait lieu en même temps, ce qui n'est qu'une hypothèse, heureusement, on voit que la puissance disponible totale est représentée par l'aire comprise entre la courbe $xy'z$ et la droite CD. D'autre part, si on trace $x'y'z'$ parallèle à $xy'z$, et que l'on suppose qu'au lieu que le Cernon débite d'une façon constante, on le fasse débiter de telle sorte que sa dépense pour chaque heure de la journée soit égale aux ordonnées comprises entre la droite AB et la courbe $x'y'z'$, dans ces conditions la puissance disponible entre le Bréda et le Cernon sera représentée à chaque instant par les ordonnées comprises entre la courbe $xy'z$ et la

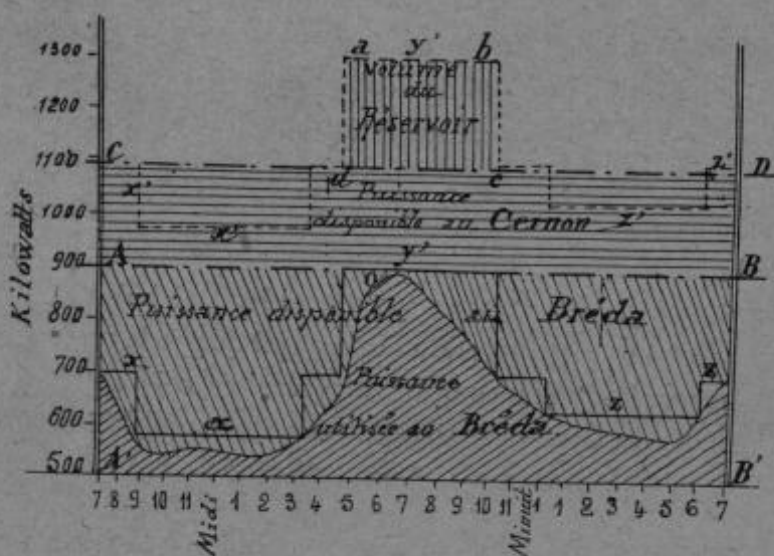


FIG. 989.

courbe $x'y'z'$. Or, ces deux courbes sont parallèles, donc les ordonnées comprises entre elles sont égales ; par suite, la puissance disponible à chaque instant devient une puissance continue.

Pour faire débiter le Cernon suivant les ordonnées de la courbe $x'y'z'$, il suffit d'utiliser le réservoir qui existe déjà à sa source et de s'adresser à un jeu convenable des vannes, qui peut être réalisé automatiquement d'ailleurs, de façon à ce que ce réservoir débite selon les nécessités de l'exploitation. Ainsi l'accouplement des deux chutes se fait à l'instar de celui de deux dynamos en parallèle.

USINE DU BRÉDA. — Le barrage disposé perpendiculairement au lit du cours d'eau, a ses ailes qui s'appuient d'un côté à la route et de l'autre au coteau. Sa forme est légèrement concave à l'aval. L'épaisseur des maçonneries est de 4 mètres à la base et 1^m,50 à la crête, lesquelles se trouvent protégées contre les affouillements par des pièces de sapin assemblées perpendiculairement à l'axe de l'ouvrage et qui reçoivent les eaux déversantes que n'absorbe pas le canal de prise d'eau. Sur le côté

droit du barrage est installée une vanne de décharge, et sur le côté gauche sont deux autres vannes affectées au même usage.

Canal de prise d'eau. — Le canal de prise d'eau — à ciel ouvert — part de l'aile gauche du barrage et est commandé par trois vannes de 1^m,50 chacune de section. La longueur de cet ouvrage est de 280 mètres ; sa largeur, de 2 mètres, et sa profondeur, de 1^m,50. L'eau y atteint une vitesse d'environ 2 mètres à la seconde.

Une grille légèrement inclinée, une vanne de chasse placée auprès de cette grille, des fagots d'épines noyés dans le canal et retenus aux parois par des chaînes de fer, servent à débarrasser les eaux des sables, graviers, corps flottants, feuilles, etc., que charrie le ruisseau.

Le canal aboutit à un tunnel de section rectangulaire et de 3.600 mètres de longueur, creusé dans des roches schisteuses.

La section du tunnel est de 6 mètres carrés ; le radier et les pieds-droits sont en maçonnerie et à parois lisses. Sa pente est de 0^m,0007, donnant, pour le débit normal de 6 mètres cubes, une vitesse de 1^m,60 à la seconde.

Chambre d'eau. — La chambre d'eau, qui fait suite au tunnel, a été en partie creusée dans le rocher. Elle a 28 mètres de longueur sur 3^m,70 de largeur et 2^m,60 de profondeur, et cube 259 mètres. Elle est munie de grilles et de vannes de chasse pour l'arrêt et l'évacuation des apports du torrent. Du côté regardant l'usine, elle est fermée par un mur dont la crête forme déversoir.

Conduite forcée. — La conduite sous pression part directement de la chambre d'eau sans le secours d'aucun vannage. Elle est constituée par 37 tronçons en tôle d'acier de 5 mètres de longueur, assemblés à l'aide de cornières avec joints au plomb. Son diamètre intérieur est de 1^m,70, sa longueur de 180 mètres, et l'épaisseur des tôles de 0^m,007. Construite et mise en place par la maison Bouchayer et Viallet, elle est encastrée dans le roc presque sur tout son pourtour. En certains points elle est supportée par des piliers en maçonnerie, et à la traversée du Bréda par une passerelle métallique de 19 mètres de longueur. Enfin, elle se termine par une partie horizontale, tenant lieu de collecteur, qui s'allonge sur toute la longueur de l'usine. L'extrémité aval du tuyau est fermée par une vanne de décharge à robinet.

La puissance produite par la chute du Bréda est d'environ 1.250 HP à l'étiage et de 2.500 à 3.000 HP en eaux moyennes.

TURBINES. — L'usine des Gorges renferme quatre unités hydroélectriques divisées en deux groupes très différents. Le premier groupe, le plus ancien, comprend deux turbines centrifuges de 200 HP chacune, construites par la maison Bouvier ; elles sont couplées directement aux alternateurs.

Le second groupe comprend deux turbines centrifuges de la maison Neyret et Brenier, de 400 chevaux chacune et marchant à 300 tours.

ALTERNATEURS. — Les alternateurs de cette usine proviennent des ateliers Brown et Boveri et de la Compagnie de l'industrie électrique de Genève. Ils fournissent du courant monophasé sous 5.500 à 6.000 volts, avec une fréquence de 50 périodes.

EXPLOITATION. — La régulation du Bréda, au moyen du Cernon, par une manœuvre automatique des vannes, a donné une solution rationnelle et élégante de l'insuffisance de la puissance de la chute du Bréda. Les demandes d'éclairage et de location de force qui se produisent journellement dans le périmètre des concessions de la Société des forces motrices du haut Grésivaudan imposaient cette transformation.

422. Usine de Viège (Valais, Suisse) (*chute, 700 mètres*). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Les « Usines électriques de la Lonza » sont concessionnaires des forces motrices des deux Vièges de Saas et de Zermatt ⁽¹⁾.

Le bassin d'alimentation de la Viège de Saas est d'environ 200 kilomètres carrés. Suivant les observations et les chiffres publiés par M. A. van Muyden dans son livre *les Régimes du Rhône alpestre*, la hauteur pluvio-métrique annuelle peut être évaluée à environ 1 mètre.

De la chute brute de 754 mètres, on ne peut utiliser pratiquement que 700 mètres environ.

Dans ces conditions et par suite du régime extrêmement variable de la Viège, la force disponible est de :

Pendant 125 jours de.....	4.000 à 7.000 HP
— 75 —	7.000 à 20.000 HP
— 160 —	20.000 HP et plus

Barrage. — La prise d'eau se trouve en aval du village de Saas-Balen, à un endroit où la vallée présente un seuil et où la Viège coule en deux bras séparés. Le barrage, établi sur le bras droit, a quatre ouvertures de 3 mètres de largeur munies de vannes. Le barrage proprement dit forme un canal transversal recouvert de tôles, perforées de trous de 12 millimètres de diamètre. Dès qu'on ouvre les vannes, l'eau arrive sur ces tôles et tombe dans le canal d'où elle passe par une vanne dans le canal d'amé-

⁽¹⁾ Le débit de la Viège de Zermatt est d'environ 70 0/0 supérieur à celui de la Viège de Saas ; la force disponible est au minimum de 6.000 HP, et l'on peut admettre que pendant environ quatre mois de l'année on dispose d'une force de 6.000 à 10.000 HP, pendant environ deux mois et demi de 10.000-30.000 HP, et pendant environ cinq mois et demi de 30.000 HP et plus.

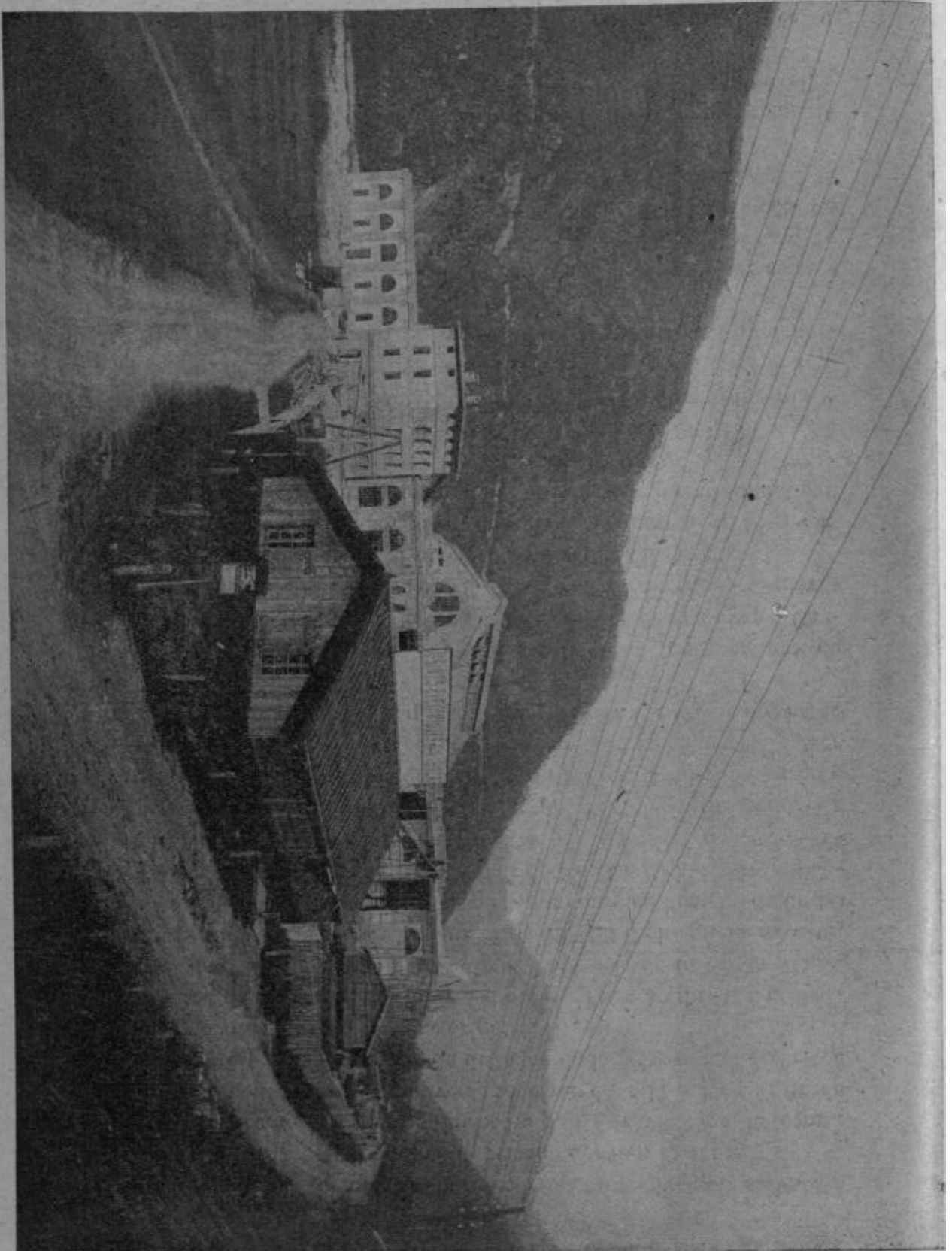


FIG. 990. — Usine de Viège. Vue générale de l'usine.

née. Les corps flottants sont arrêtés par les tôles qui tiennent lieu de grille.

Le bras gauche du torrent est barré par un mur déversoir servant à l'écoulement du trop plein pendant la période des hautes eaux.

Chambre de décantation. — Le sable et les petits graviers que le torrent charrie au moment des crues peuvent pénétrer dans la galerie ; afin de les en éloigner on a disposé à peu de distance de la prise une chambre de décantation ou désableur d'un type original.

Le principe de cette installation est d'obliger l'eau à effectuer un parcours ascendant tout en brisant sa vitesse. Pour cela on fait passer l'eau dans un canal de 2 mètres de largeur et de 23^m,50 de longueur avec un radier en forte pente. Perpendiculairement au cours de l'eau et de 0^m,50 en 0^m,50, sont placés des panneaux en bois de 1 mètre de hauteur. A l'entrée de la chambre, l'arête inférieure de ces panneaux est de 1^m,20 au-dessus du radier ; cet espace libre diminue graduellement jusqu'au dernier panneau qui ne se trouve plus qu'à 0^m,20 du radier. Celui-ci se termine à cet endroit par une cuvette transversale où viennent peu à peu s'amasser les matériaux déposés par l'eau, qui sont évacués par une vanne de chasse située latéralement.

Par mesure de précaution, on a établi parallèlement deux canaux de décantation afin de n'avoir pas à arrêter l'eau en cas de nettoyage. Chacun de ces canaux est en outre pourvu d'un déversoir permettant d'évacuer le trop plein dans un canal maçonné qui rejoint la Viège.

Tunnel d'amenée. — A la sortie du désableur, l'eau pénètre à travers une vanne dans la galerie d'amenée, dont la longueur jusqu'au château d'eau est d'environ 11 kilomètres et la pente de 2,5 0/00.

Cette galerie offre une section de 1^m,80 × 1^m,90, soit 3^m²,42 dans les parties non revêtues et de 1^m,60 × 1^m,80, soit 2^m²,88 dans celles qui le sont ; elle peut débiter 4^m³,5 par seconde. Les sources rencontrées le long du tunnel ont été captées et canalisées soit dans la galerie, soit au dehors par une des nombreuses fenêtres d'attaque.

Chambre de mise en charge. — Le château d'eau présente dans sa section transversale cinq canaux parallèles. Au centre, le canal d'amenée est fermé à son extrémité par une vanne de décharge. De chaque côté de celui-ci se trouvent un canal recouvert de tôles perforées conduisant à la chambre de charge, et un autre destiné à évacuer le trop plein.

Les eaux du trop plein et de la décharge sont conduites par une galerie de 500 mètres de longueur environ dans un vallon latéral d'où elles rejoignent la Viège au village de Neubrüecke.

Conduites forcées. — L'eau sous pression est prévue emmagasinée au moyen de trois tubes en fer. Chacun d'eux est muni d'une vanne de tête se fermant automatiquement en cas de rupture du tuyau.

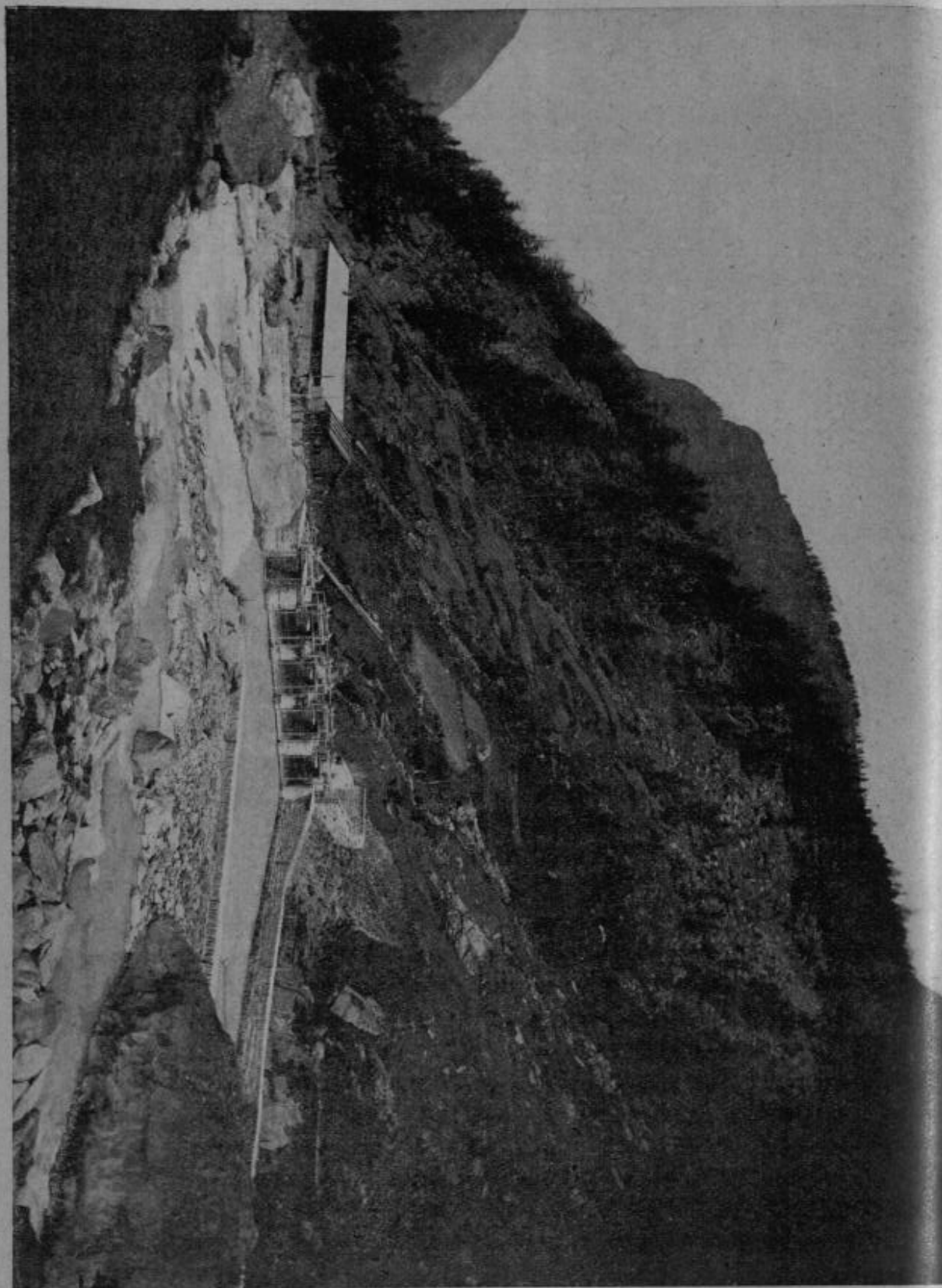


FIG. 991. — Usine de Viège. Barrage.

La partie supérieure, jusqu'à 24 atmosphères de pression, se compose de tuyaux rivés de 700 millimètres de diamètre et présente une longueur de 480 mètres.

La partie inférieure de la conduite, jusqu'à une pression de 65 atmosphères, est formée par des tuyaux soudés de 700 millimètres de diamètre ; sa longueur comporte 717 mètres.

Au bout de cette partie se trouve un tuyau de bifurcation et le reste de la conduite se compose de deux tuyaux soudés, qui doivent résister jusqu'à 75 atmosphères de pression. Chacun de ces tuyaux a une longueur de 220 mètres.

Toute la conduite simplement enterrée ne possède que deux ou trois ancrages et suit les sinuosités du terrain à l'aide de raccords coniques admettant des angles de déviation jusqu'à 10°.

TURBINES. — Le bâtiment des turbines, situé à l'Ackersand, près de Stalden, est disposé pour recevoir cinq groupes générateurs dont un de réserve. Les turbines, du système Pelton, ont été fournies par la Société des établissements Piccard, Pictet et C^{ie} ; elles ont une puissance de 5.500 HP et une vitesse de 500 tours par minute.

ALTERNATEURS. — Les génératrices, accouplées directement aux turbines, sortent des ateliers de la maison Siemens-Schuckert et produisent 5.100 kilovolts-ampères sous une tension de 15.500 volts.

EXPLOITATION. — Toute l'énergie électrique de l'usine de Viège est utilisée à la fabrication de produits électrochimiques.

423. Usine d'Eget (Hautes-Pyrénées) (chute, 710 mètres). — Cette usine établie dans la haute vallée de la Neste d'Aure, qui a son débouché aval à Arreau, dans les Hautes-Pyrénées, a été aménagée par la Compagnie des chemins de fer du Midi en vue de la traction électrique de son réseau pyrénéen. En raison du régime des rivières de cette région, c'est-à-dire débit excessivement faible, en dehors des périodes de grandes pluies, ce qui est le cas pour tout le pays situé sur la rive gauche de la Garonne, on a été conduit à réaliser tout un système de réservoirs, récoltant les eaux surabondantes en temps de pluies ou de la fonte des neiges pour les utiliser en périodes de basses eaux.

AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Les réservoirs naturels utilisés sont les lacs de Capedelong (7.000.000 de mètres cubes), d'Aumar (1.100.000 mètres cubes), d'Aubert (4.500.000 mètres cubes), d'Oredon (7.000.000 mètres cubes) et de Caillaouas (6.500.000 mètres cubes). De cette façon on a pu obtenir la régularisation du cours d'eau.

Pour la régularisation du débit à fournir à l'usine, on a projeté dans une vallée proche la construction d'un réservoir de 6.500.000 mètres cubes, dit réservoir de l'Oule, placé à l'aval d'un bassin versant de 30 kilomètres

carrés et qui est destiné à parer aux insuffisances de débit de l'émissaire du lac d'Oredon.

Prise d'eau. — Un canal d'amenée de 1^m,50 de largeur et pouvant débiter 3.000 litres avec un tirant d'eau de 0^m,70 ayant son origine à l'aval du lac d'Oredon à la cote (1.825 mètres) conduit, après un parcours de 3^{km},500, les eaux sortant de ce lac immédiatement à l'aval du barrage qui forme le lac d'Oule.

Ce dernier ouvrage a 168 mètres de longueur, 30 mètres de hauteur et 28 mètres de largeur à la base. Le niveau normal du réservoir plein est à la cote (1.798,50) et la tranche d'eau utilisable a une hauteur de 22^m,50, représentant 6.500.000 mètres cubes.

La prise d'eau dans le lac est formée par un tunnel traversant le rocher sur lequel est établi le barrage. Ce tunnel est formé par un massif en maçonnerie de 11 mètres d'épaisseur, dans lequel sont noyés 6 tuyaux de 40 centimètres de diamètre.

A l'effet d'obtenir un réglage parfait du débit, les tuyaux sont réunis, deux par deux, dans un grand corps cylindrique d'où part une conduite de 0^m,50 de diamètre sur lequel sont montés un compteur Venturi et un robinet conique.

Du lac d'Oredon part un canal de 5^{km},500 de longueur, avec une pente de 1 millimètre par mètre, de 2 mètres de largeur et pouvant débiter 4.800 litres à la seconde avec un tirant d'eau de 1^m,40.

Tous ces ouvrages sont souterrains, pour échapper à toutes causes d'obstruction. Ce canal aboutit à un réservoir de 3.000 mètres cubes de capacité formé par un tunnel à grande section, de 100 mètres de longueur. Il aboutit directement à la chambre de mise en charge.

Réservoirs. — Les études préliminaires ont montré la possibilité de compter sur un débit continu de 2.050 litres par seconde en été et de 1.600 litres en hiver, correspondant sous la chute nette de 710 mètres à l'entrée des turbines à une puissance moyenne de vingt-quatre heures, égale à 14.600 poncelets en été et 11.400 en hiver.

La présence des lacs et du réservoir de 3.000 mètres cubes permettent de parer à de grandes irrégularités soit instantanées, soit dans le cours de la journée. On a reconnu la possibilité d'atteindre des pointes de 22.500 poncelets à l'entrée des turbines.

Conduites forcées. — Les conduites forcées sont au nombre de 7, de 0^m,500 de diamètre intérieur, en acier soudé, et d'une épaisseur variant de 5 à 31 millimètres. Leur longueur moyenne est de 1.250 mètres, avec des tronçons de 12 mètres. Elles peuvent débiter 675 litres chaque à la vitesse de 2^m,75 à la seconde. Elles sont munies d'un siphon automatique d'arrêt de débit à l'origine et de Venturis au voisinage de l'usine.

Le travail dû à la dilatation des tuyaux est ici absorbé simplement par

des massifs d'ancrage divisés en deux catégories ; dans les uns, qui sont les massifs principaux, la conduite est simplement noyée et maçonnée après ancrage. Dans les massifs intermédiaires est noyé un tube extérieur à la conduite et formant jaquette dans lequel la conduite peut glisser tant qu'elle n'est pas rendue solidaire de la jaquette par un collier à boulons.

A l'origine, la conduite, soit par suite du joint de réglage, soit par suite de la présence de la jaquette, peut subir toutes les variations de longueur dues à la dilatation, sans exercer aucun effort sur les massifs qui peuvent ainsi faire prise sans aucun risque de dislocation. Au bout d'un laps de temps suffisant et par une température convenable, on bloque le joint de réglage, et on rend la conduite solidaire de la jaquette. La rigidité à ce moment est assurée sans inconvénient.

Le niveau dans la chambre de mise en charge variant entre les cotes 1.765,60 et 1.761,24 et le plancher de l'usine étant à la cote 1.016,50, on obtient une chute brute de 736^m,50 ou une chute nette de 710 mètres.

L'usine comporte 7 groupes turbines-alternateurs indépendants, les alternateurs étant 3.300 kilovolts-ampères chacun, dont 1 groupe de réserve.

TURBINES. — Les turbines de 5.000 HP chaque tournent à 500 tours ; elles sont accouplées à des alternateurs monophasés avec $\cos \varphi = 0,8$, 6.000 volts et à la fréquence de 16 périodes $2/3$.

ALTERNATEURS. — A chacun de ces groupes correspond un alternateur élévateur portant la tension à 60.000 volts.

En outre deux groupes électrogènes composés de une turbine de 450 HP et de deux dynamos dont l'une de 55 kilowatts sous 125 volts assure les services auxiliaires et l'autre de 175 kilowatts fournit le courant pour l'excitation des 7 alternateurs.

Les deux dynamos d'un même groupe sont directement accouplées et montées sur un même socle.

TABLEAUX DE DISTRIBUTION. — Deux tableaux dont l'un à courant continu et l'autre à courant alternatif, permettent les diverses manœuvres usuelles.

Tous les dispositifs accessoires ont été prévus comme à l'usine de Soulom (§ 394).

Toutes les études et le contrôle de l'exécution de cette usine si intéressante à bien des points de vue, ont été faits par le service des Ponts et Chaussées et par les services techniques de la Compagnie des chemins de fer du Midi.

424. Usine de Ritom (chute, 800 mètres) *Chemin de fer du Gothard (Tronçon Erstfeld-Bellinzona)*. — Cette usine utilise la chute du torrent de la Foss à partir du lac Ritom jusqu'à son embouchure dans le Tessin.

Le volume d'eau utilisable du lac est de 25 millions de mètres cubes et la prise d'eau est faite à 30 mètres au-dessous du niveau actuel. L'eau arrive par une galerie au château d'eau et est amenée par une conduite forcée à la centrale près de Piotta, sur la rive gauche du Tessin.

L'écoulement moyen du lac Ritom est de 1 mètre cube par seconde. L'usine de Ritom pourra fournir une puissance moyenne de 8.000 HP-24 heures à l'arbre des turbines dans une année normale, et de 6.400 HP dans une année de basses eaux, la chute moyenne étant de 800 mètres. A l'exclusion d'un groupe de machines, la centrale de Ritom est prévue dès le début pour 4 à 5 unités d'une puissance totale de 50.000 à 52.000 HP.

Prise d'eau. — La prise d'eau du lac Ritom est faite à proximité de l'écoulement naturel du lac, à la profondeur citée plus haut, correspondant à une retenue de 19 millions de mètres cubes. Cet ouvrage comprend un puits vertical avec canal d'entrée auquel aboutissent les galeries d'amenée et de vidange munies des appareils de fermeture appropriés.

Galerie d'amenée. — Elle a une longueur de 880 mètres, une section de $2\text{m}^2,66$ et une pente de 5 0/00. Elle aboutit au château d'eau d'Altanca. Afin d'obtenir automatiquement le réglage de l'amenée de l'eau du lac au château d'eau, la galerie a le caractère d'un souterrain sous pression.

Château d'eau. — Le château d'eau construit dans le rocher, comprend principalement un puits vertical de 5 mètres de diamètre, s'élargissant à 10 mètres, tant à sa partie inférieure, à l'endroit où débouche la galerie d'amenée, qu'à sa partie supérieure qui correspond à la hauteur du niveau du lac. Ces élargissements sont nécessités par les variations brusques de la demande d'eau.

Conduites forcées. — L'eau est amenée du château d'eau à l'usine par deux tuyaux métalliques de $1\text{m},100$ à $0\text{m},900$ de diamètre et d'une longueur totale de 1.413 mètres. A chaque changement de pente ou de direction, la conduite est fixée par des massifs de béton, au-dessous desquels sont des manchons extensibles. Des vannes équilibrées montées sur les branchements des turbines en dehors du bâtiment de l'usine sont prévues comme fermetures.

Canal de fuite. — A la sortie des turbines l'eau s'échappe par des canaux distincts d'environ 80 mètres de longueur, munis d'un revêtement en tôle d'acier et possédant à leur extrémité un déversoir avec installation pour les jaugeages. Un canal de fuite commun, de 100 mètres de longueur, conduit l'eau dans le Tessin.

Usine. — Les dispositions des machines, transformateurs et installations de couplage, sont identiques à celles de l'usine d'Amsteg (§ 397); la seule différence réside dans la puissance et le nombre des unités.

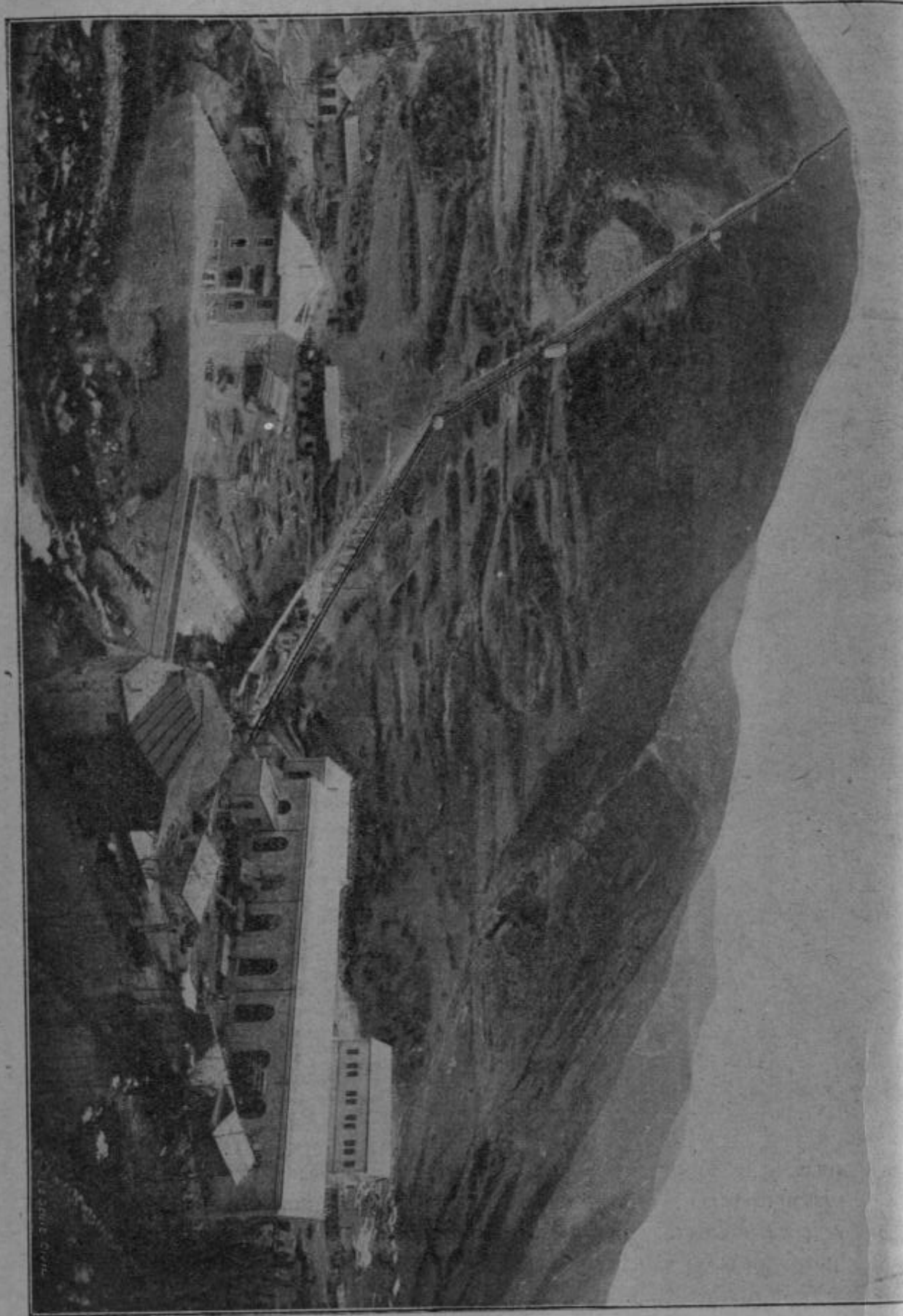


FIG. 993. — Vue générale des installations. (Usine de Capdella).

permet de porter le niveau maximum à la cote 2.037^m,40 (niveau normal, 2.029 mètres).

Pour l'exécution de cet ouvrage, le niveau du lac a été abaissé à la cote 2.022 mètres.

Le canal d'amenée ou galerie inférieure a 3^m,5 de section ; il aboutit à

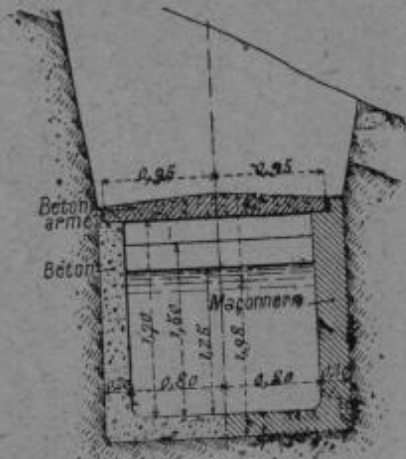


FIG. 995. — Canaux du barrage.

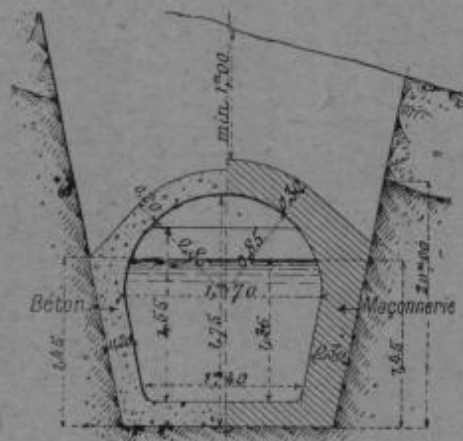


FIG. 996. — Canal d'amenée.

un premier puits où se trouve un jeu de vannes. De ce puits partent deux conduites de 1^m,20 de diamètre passant par une chambre de vannes et aboutissant à la galerie d'amenée d'eau (fig. 995 et 996).

Chaque conduite est pourvue de deux vannes en série, la première, qui reste toujours fermée ou ouverte en grand, permet la fermeture étanche ; la seconde est un papillon qui sert de régulateur pour le débit.

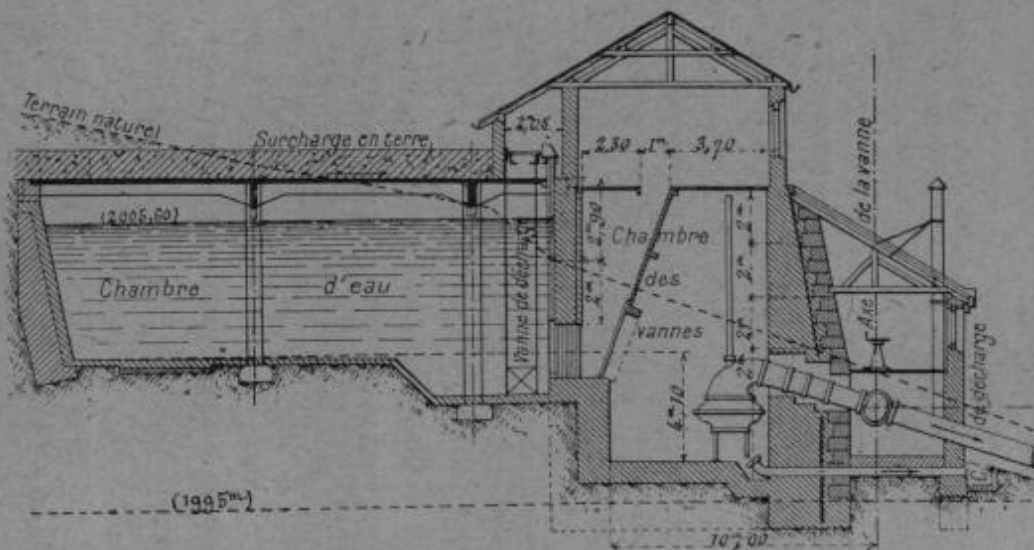


FIG. 997. — Chambre d'eau.

Chambre d'eau (fig. 997 et 998). — Elle a 5.800 mètres cubes de capacité et est couverte. Quatre vannes distinctes la mettent en commu-

nication avec quatre chambres de mise en charge correspondant chacune à une conduite forcée.

Conduites forcées. — Elles sont au nombre de quatre et ont une longueur développée de 2.050 mètres, desservant chacune deux des huit turbines prévues. Les tuyaux ont été soudés au gaz à l'eau ; leur diamètre est de 0^m,600 à la partie inférieure. La vitesse est de 6^m,80 par seconde ; la pureté de l'eau et le système de réglage a permis d'adopter une vitesse aussi élevée ; à la partie inférieure, les tuyaux travaillent à une tension maximum de 8 kilogrammes par millimètre carré. Sa perte de charge varie entre 5,3 0/0 et 8,2 0/0 de la chute brute.

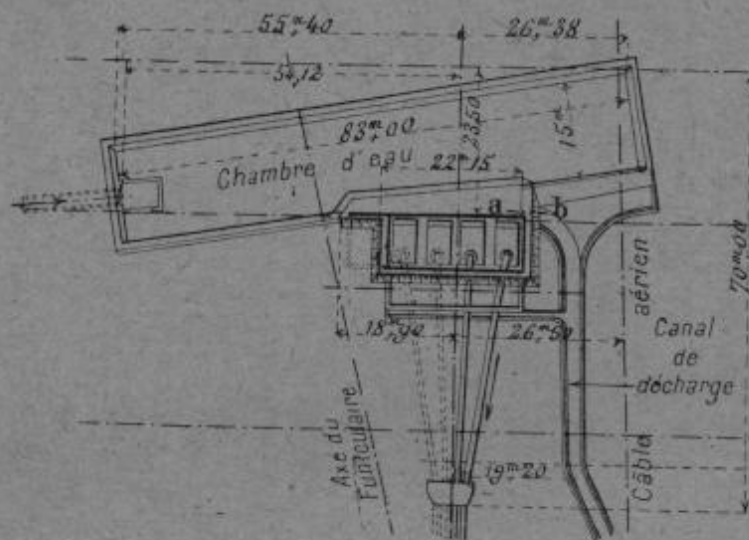


FIG. 998. — Chambre d'eau.

Chaque conduite (fig. 999) est munie à sa partie supérieure dans la chambre de mise en charge d'une vanne automatique de fermeture qui entre en fonction en cas de rupture de la conduite et prévient tout dommage. Elle est réglée pour fonctionner dès que la vitesse correspondant au débit maximum nécessité par la marche industrielle est dépassée. Un reniflard est destiné à laisser entrer dans la conduite, en cas de fermeture brusque de la vanne automatique, l'air nécessaire à empêcher la production du vide. Un flotteur, placé dans chaque chambre, transmet électriquement à l'usine l'indication du niveau.

Des joints de dilatation ont été posés au-dessous de chaque point fixe de la canalisation et chaque tuyau, noyé dans le béton, avec interposition d'une selle en tôle, est muni, à sa bride supérieure, d'anneaux mobiles permettant, au montage, la correction de l'angle des coudes. Enfin, aux points de changement de direction et d'inclinaison, les conduites sont maintenues par des ancrages dimensionnés selon la pression et la pente.

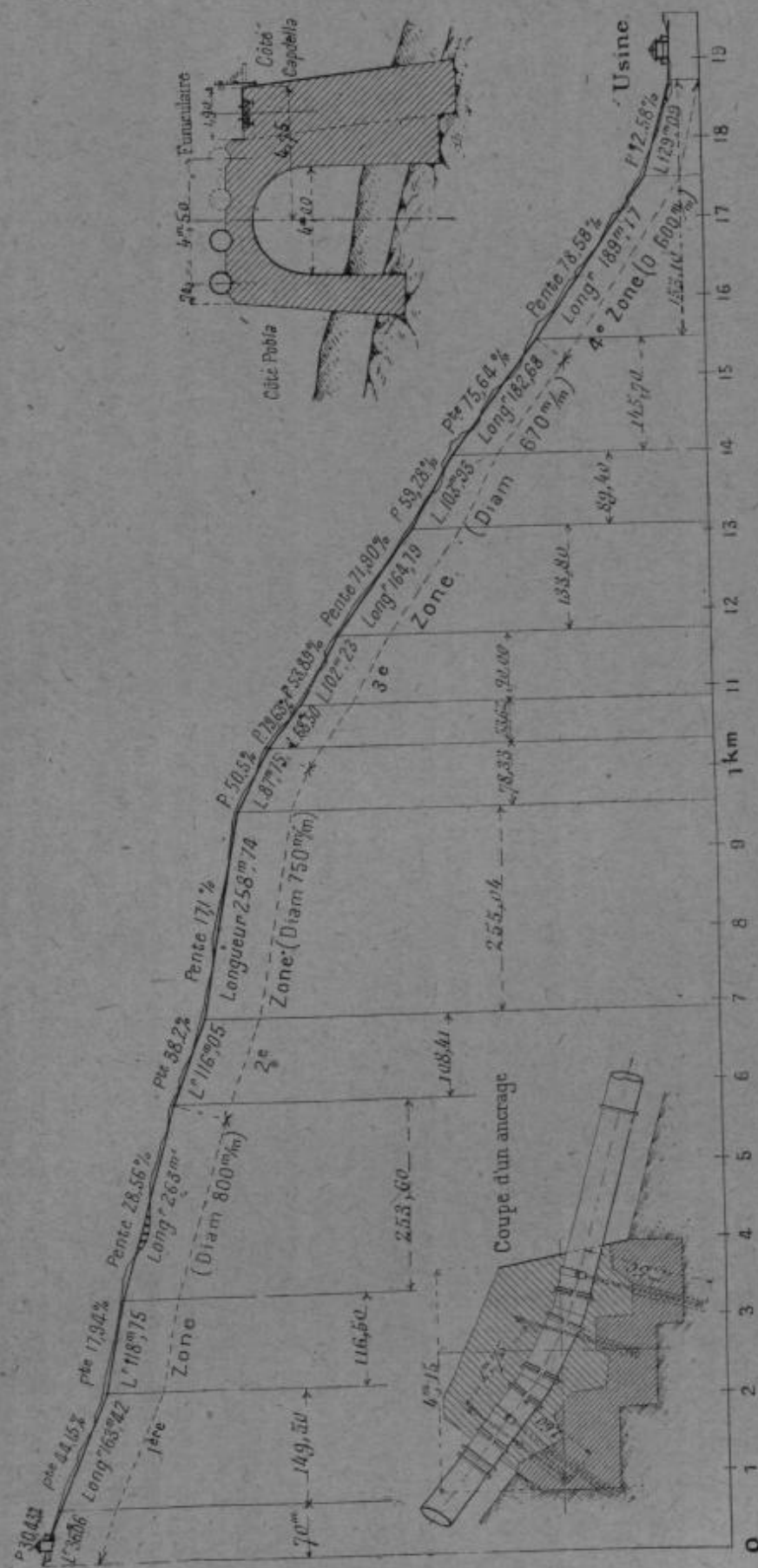


FIG. 999. — Profil en long et détail des conduites.

Cinq robinets régulièrement répartis sur toute la longueur de la conduite permettent de contrôler la formation éventuelle de glace.

Les conduites traversent le Flamisell par un pont en béton armé de 20 mètres de portée.

TURBINES. — L'usine est prévue pour recevoir huit turbo-groupes de 4.400 kilowatts. Chaque groupe est formé d'une turbine Pelton de 6.600-7.900 chevaux (selon le débit variable de 750-930 litres-seconde) directement accouplée à un alternateur triphasé. Deux turbo-dynamos et un convertisseur assurent l'excitation.

Les turbines principales, qui sortent de la maison Escher-Wyss, sont munies de régulateurs à pression d'huile, à déviation suivie d'étranglement. La variation entre la marche à vide et la marche en charge est de 2 0/0.

ALTERNATEURS. — Ces machines, d'une puissance de 4.500 kilowatts fonctionnent à la tension composée de 12.000 volts et à la fréquence 50.

Ils sont du type fermé et à ventilation radiale et ont été fournis par la Société alsacienne de constructions mécaniques de Belfort.

TRANSFORMATEURS. — Le poste élévateur de tension est dans un poste séparé. Ces appareils, d'une puissance unitaire de 7.000 kilovolts-am-pères sont reliés aux barres à 12.000 volts de l'usine par des disjoncteurs à rupture dans l'huile ; mais l'enroulement à haute tension de ces transformateurs ne comporte que des sectionneurs.

LIGNES DE TRANSMISSION D'ÉNERGIE. — Les sorties de lignes sont seules pourvues de disjoncteurs à maximum. Les conducteurs aériens sortent du poste par des bornes en « repellite » recouvertes extérieurement de porcelaine.

Deux lignes doubles à la tension de 88.000 volts relient Capdella et Barcelone suivant deux parcours distincts. Elles comportent chacune six fils de cuivre, de 10 millimètres de diamètre, montés sur isolateurs suspendus à cinq éléments fixés à des pylônes métalliques. La portée normale est de 170 mètres. Les trois fils d'une même ligne sont disposés du même côté du pylône, aux sommets d'un triangle isocèle dont la base (verticale) a 4^m,10 et chacun des deux autres côtés 2^m,20.

Les isolateurs ont répondu aux caractéristiques suivantes :

Tension d'apparition des effluves pour un élément à sec....	55.000 volts
— d'éclatement de l'arc pour un élément à sec.....	82.000 —
— — — — — sous pluie...	60.000 —
Effort de rupture à l'arrachement entre les deux armatures	3.000 kg
Tension d'éclatement de l'arc de l'isolateur complet à sec..	240.000 volts
— — — — — sous pluie.	160.000 —

Usine thermique de San Andrian, près Barcelone. — La ligne, après

avoir passé dans deux postes de coupure, arrive au poste abaisseur de tension de Maurea, puis à celui de Sabadell (Casa Barba), d'où une dérivation se rend au poste de Sans, la ligne continue jusqu'à San Andrian, près Barcelone, où se trouve établie une très importante usine thermique de secours. La ligne double y aboutit à un poste qui peut fonctionner indifféremment en abaisseur, lorsque l'énergie vient de Capdella, ou en élévateur, lorsqu'il est alimenté par l'usine thermique.

Cette usine est établie au bord de la mer. Elle est prévue pour une puissance totale de 60.000 kilowatts et comporte actuellement deux turbo-groupes de 6.000-7.500 kilowatts et un de 12.000-15.000 kilowatts.

Toutes les constructions de l'usine sont en béton armé.

Les chaudières, du type Belleville et au nombre de seize, vaporisent chacune 12.000 kilogrammes de vapeur, à 15 kilogrammes, avec surchauffeurs à 350° et économiseurs Belleville.

Les alternateurs sont à la fréquence 50 et à la tension de 11.000 volts. Les excitatrices sont montées en bout d'arbre.

L'excitation de secours est assurée par un convertisseur asynchrone et par un groupe formé d'un moteur Diesel accouplé directement à une excitatrice et à un alternateur de 200 kilowatts.

426. Usine d'Orlu (Ariège) (chute, 940 mètres). — Les forces hydrauliques dont dispose la Société pyrénéenne qui a créé l'usine d'Orlu se divisent en trois groupes dits d'Orlu (altitude, 2.709 mètres), de Siguer (altitude, 2.594 mètres) et de Luchon, ce dernier comprenant les forces d'Oo et de la Picadère.

Les forces d'Orlu, que nous allons décrire spécialement, sont situées à 7 kilomètres au-delà d'Aix-les-Thermes (Ariège), à 138 kilomètres de Toulouse et à 135 kilomètres de Barcelone. La puissance de ce groupe peut être estimée à 78.000.000 HPH annuels, correspondant à 9.500 HP constants ou 26.000 HP de 3.000 heures par an.

Les forces du torrent de Siguer sont également situées dans le département de l'Ariège, à 20 kilomètres de Tarascon sur Ariège, à 118 kilomètres de Toulouse et à 153 kilomètres de Barcelone. Leur aménagement porte sur deux chutes, celle de Brouquenat, d'une hauteur de 640 mètres et celle de Gniouère de 830 mètres. Ces forces sont partiellement régularisables par le rétablissement d'anciens étangs en amont des canalisations. Elles correspondent à une utilisation de 38.219.980 HPH pour la partie régularisable, plus 19.109.990 HP pour la partie non régularisable, soit au total 57.329.970 HPH correspondant à un peu plus de 7.000 HP fonctionnant jour et nuit.

Enfin le groupe de Luchon comporte l'aménagement : 1° des forces du lac d'Oo situé à 13 kilomètres de Bagnères-de-Luchon et à 150 kilo-

mètres de Toulouse ; la hauteur de la chute est de 800 mètres et la régularisation pourra être totale grâce au lac de Séculèze. La puissance est de 68.800.000 HPH, soit près de 9.000 HP fonctionnant jour et nuit.

2° Des forces de la Picadière, actuellement en cours d'aménagement, au confluent de la Neste d'Oo et de la rivière l'One, à 1.500 mètres en

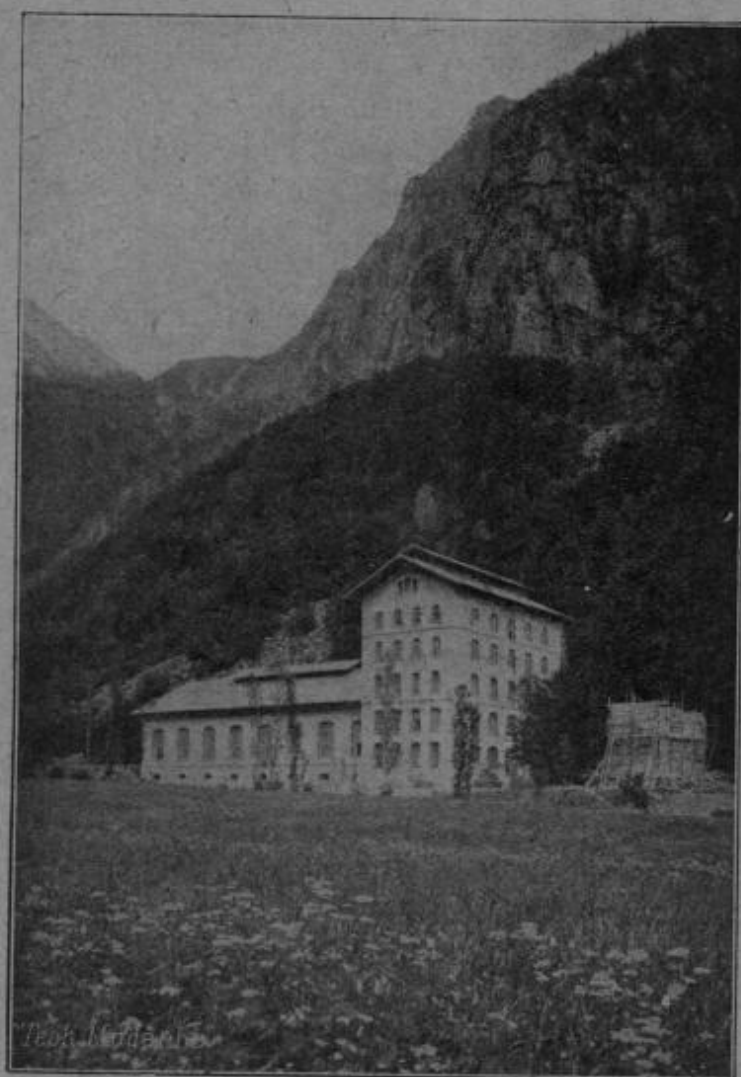


FIG. 1000. — Usine d'Orlu. Vue extérieure de l'usine.

amont de Luchon, où la Société luchonnaise d'électricité a aménagé une chute sous 100 mètres de pression, pour l'alimentation en énergie électrique de la ville et de ses environs. La puissance utilisable annuellement sera d'environ 27.000.000 HPH annuels sans régularisation. Mais comme cette énergie est destinée à être insérée sur le réseau de l'usine d'Oo, sa puissance, quoique variable, pourra être utilisée d'une façon complète, en augmentant légèrement le volume de la réserve créée avec le lac de

Séculèze. Dans ces conditions, les 27 millions de HPH de l'usine de la Picadière équivaldront à un appoint de 3.500 HP constants, qui, ajoutés aux 9.000 HP de l'usine d'Oo, donneront une puissance totale, pour le groupe de Luchon, de 12.500 HP constants.

L'ensemble des usines hydrauliques de la Société pyrénéenne équivaldront, après leur complet achèvement, à une puissance de 30.000 HP constants (8.000 heures-an) ou environ de 80.000 HP de 3.000 heures-an.

Indépendamment des trois groupes ci-dessus, la Société pyrénéenne a équipé une usine hydraulique à Bessières sur le Tarn, d'une puissance de 700 HP et elle a racheté à la Société l'Énergie du Sud-Ouest les usines hydroélectriques de Marsac et d'Arthez, sur le Tarn, d'une puissance totale de 2.000 HP. A l'usine d'Arthez, on a aménagé en outre une réserve thermique. Les usines de Bessières, d'Arthez et de Marsac distribuent du courant triphasé à la tension de 13.500 volts.

Enfin la Société pyrénéenne a à sa disposition l'usine thermique à vapeur des mines de Carmaux, d'une puissance de 10.000 chevaux.

AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — Il y a, à Orlu, trois sources d'énergie distinctes : l'Oriège, le lac d'En-Beys et le lac de Naguilhes.

La surface du bassin de la rivière l'Oriège est de 30 kilomètres carrés environ ; son débit moyen est de 50 litres par kilomètre carré, soit 1.500 litres, mais les basses eaux tombent à 300 litres. Avec une chute de 100 mètres, on a ainsi en eaux moyennes 1.500 HP et en eaux basses 300 HP. En admettant un fonctionnement en plein pendant six mois, et nul pendant deux mois, on obtient avec une turbine de 1.200 HP :

$$\frac{6 \times 1.200 + 4 \times 600}{12} = 800 \text{ HP,}$$

ou 7.000.800 HPH par an.

La surface du lac d'En-Beys est de 6.640.000 mètres carrés qui reçoivent 1^m,60 d'eau utilisable, soit 10.624.000 mètres-cubes. Avec une chute de 900 mètres, chaque mètre cube fait un cheval pendant deux heures et demie, soit 26.560.000 HPH par an. La surface du bassin de Naguilhes est de 11 millions de mètres carrés ; il reçoit 1^m,60 d'eau utilisable. Dans les mêmes conditions d'utilisation que le lac d'En-Beys, on arrive à obtenir 44.400.000 HPH annuels. Le volume à donner à la réserve est par suite, pour le lac de Naguilhes seul :

$$17.600.000 \text{ m}^3 \times \frac{4}{10} = 7.040.000 \text{ mètres cubes.}$$

Et pour le lac d'En-Beys et de Naguilhes ensemble :

$$28.384.000 \text{ m}^3 \times \frac{4}{10} = 11.353.600 \text{ mètres cubes}^{(1)}.$$

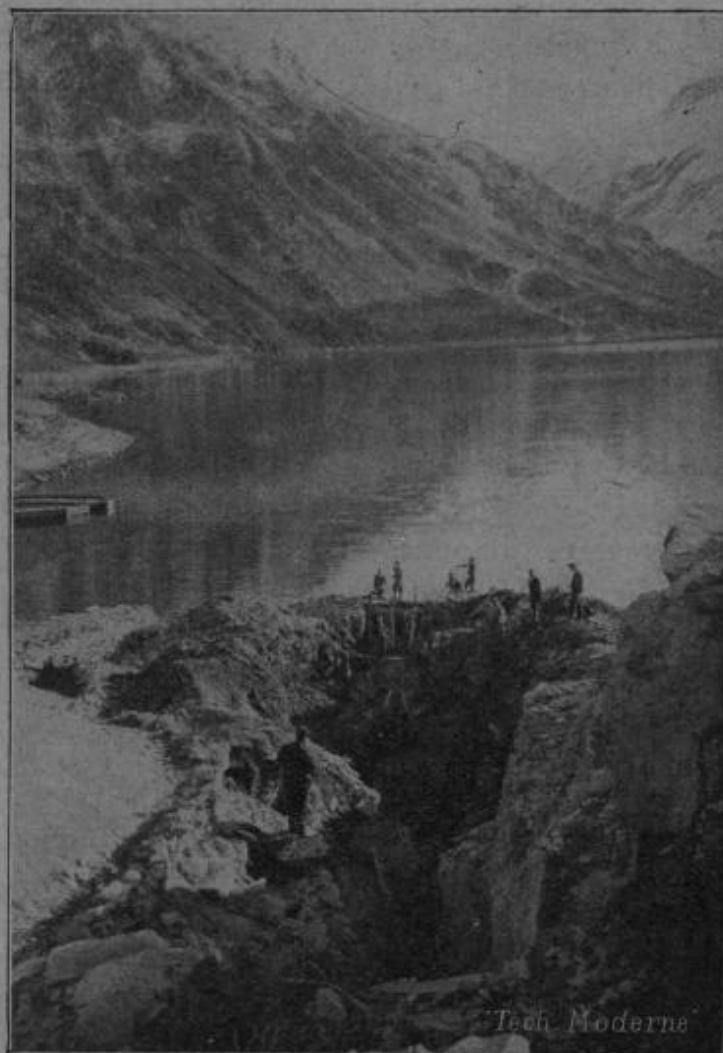


FIG. 1001. — Usine d'Orlu, Prise d'eau du lac de Naguilhes.

Prise d'eau. — Le lac d'En Beys est situé plus de 100 mètres plus haut que le lac de Naguilhes et celui-ci est assez grand pour servir seul de régulateur à la chute. L'écoulement des eaux du lac de Naguilhes se faisait avant sa régularisation, à ciel ouvert, par une fente dans la roche de quelques mètres de largeur seulement et d'une dizaine de mètres de profondeur. Préalablement aux travaux définitifs on a percé sur la rive

(¹) Pendant la guerre on a haussé de 2 mètres le mur du barrage du lac donnant ainsi une augmentation de réserve de 1.300.000 mètres cubes et un accroissement proportionnel de la puissance.

gauche un petit tunnel à 10 mètres au-dessous du niveau des eaux du lac, et, une fois arrivé en dessous de la berge, on a foncé un puits que l'on a continué par une tranchée à ciel ouvert, à l'effet d'évacuer les eaux qui s'écoulaient par éclusées à travers ce petit tunnel. A cet égard on avait disposé un batardeau rustique que l'on démolissait et rétablissait de temps en temps. De cette façon le plan d'eau a été abaissé jusqu'au niveau de la galerie.

Par suite de ces travaux, l'exutoire a été mis à sec et on a pu le décaper soigneusement et fonder sur le roc à vif un barrage en maçonnerie qui a plutôt la forme d'un gros bouchon que d'un barrage proprement dit (fig. 1002). Cet ouvrage, de 18 mètres de hauteur, constitue une retenue de 13 millions de mètres cubes, par la surélévation de la nappe d'eau du lac de 10 mètres de hauteur. La tête de prise d'eau débouchant à 17 mètres au-dessous du niveau des eaux du lac avant sa régularisation, on dispose

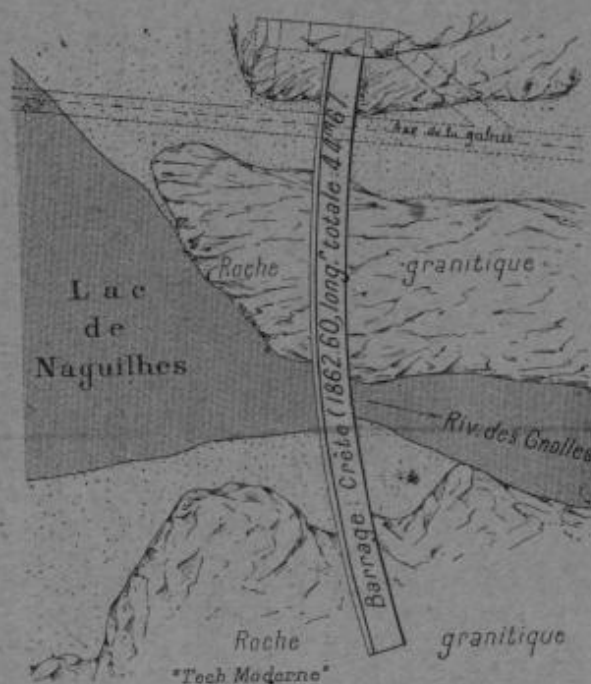


FIG. 1002. — Usine d'Orlu. Barrage.

donc d'une tranche d'eau de 27 mètres de hauteur. A une cinquantaine de mètres à l'aval de son entrée dans le lac, la galerie de prise d'eau (fig. 1003) est surmontée d'un puits partagé en deux parties par une cloison en tôle perforée, et dans la moitié d'aval se trouvent trois soupapes commandées par de longues tiges et des mécanismes placés à la partie supérieure du puits. Ces soupapes ne sont pas automatiques. Ces dernières, en aval, communiquent avec une série de tunnels creusés dans le granit et cimentés pour la plupart, lesquels ont une longueur d'environ 2.000 mètres et aboutissent à une chambre de mise en charge (fig. 1004, 1005 et 1006) taillée dans le roc et renfermant des dispositions tout à fait analogues à ce qui a été fait à l'usine des Farettes (§ 303).

De la chambre de prise en charge, part une galerie de 30 mètres de long perpendiculaire à la direction du tunnel et aménagée pour trois départs de conduites sous pression.

Conduites forcées. — Les tuyaux de pression ont 0^m,600 de diamètre.
M. A. Boucher, l'éminent ingénieur hydraulicien suisse, qui a conçu

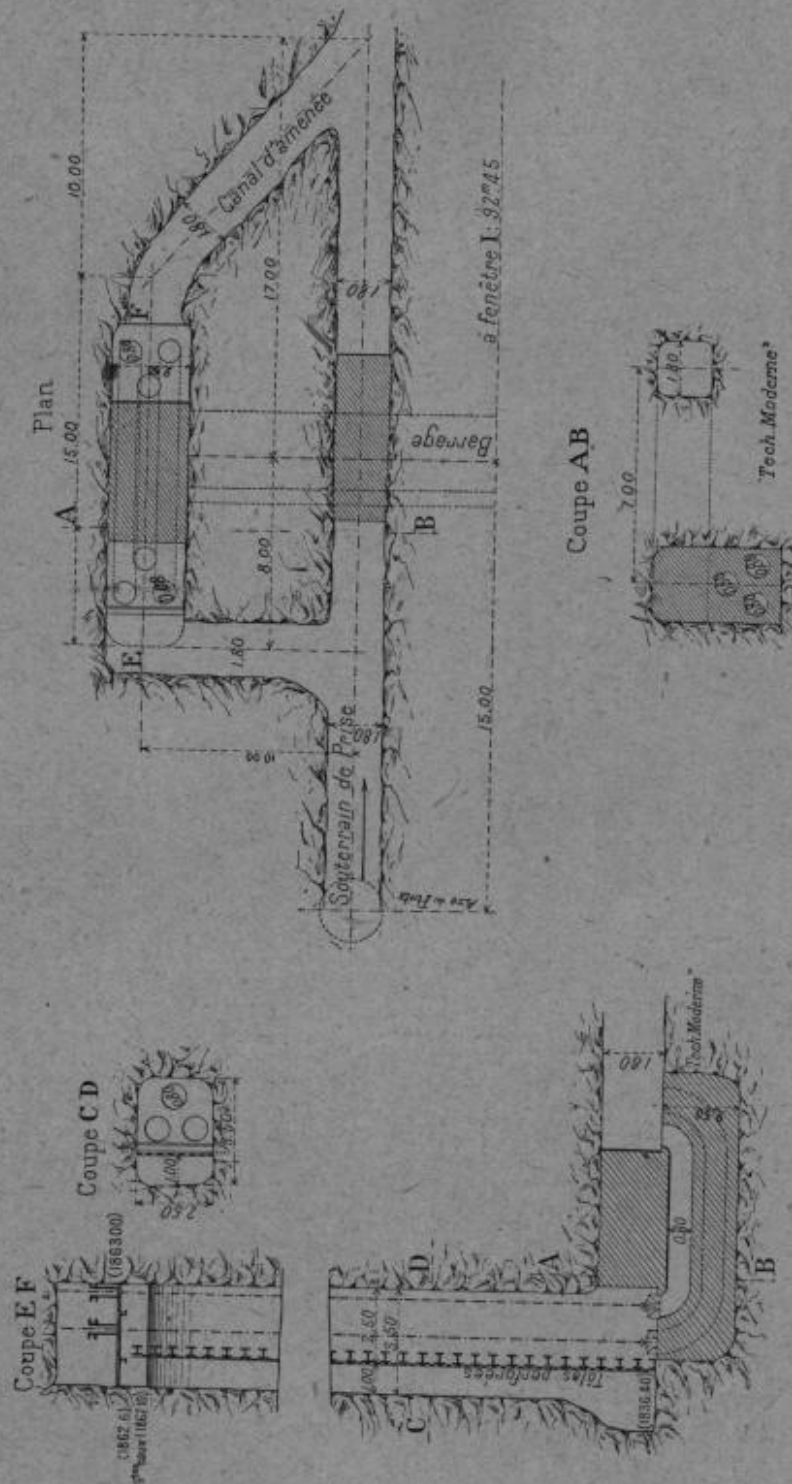


FIG. 1003. — Usine d'Orlu. Prise d'eau.

et réalisé depuis avec succès la belle installation de Fully — la plus haute chute d'eau du monde entier — a pu établir la canalisation forcée

de canalisation pèse davantage, mais est meilleur marché que la tôle soudée. La tôle rivée commence avec une épaisseur de 5 millimètres, et finit avec une épaisseur de 18 millimètres. La partie en tôle soudée, qui fait suite à la tôle rivée, part avec une épaisseur de 14 millimètres pour finir avec une épaisseur de 32 millimètres, pour des pressions de service de 40 à 94 atmosphères. La tôle rivée travaille à 7 kilogrammes par millimètre carré et la tôle soudée à 9 kilogrammes.

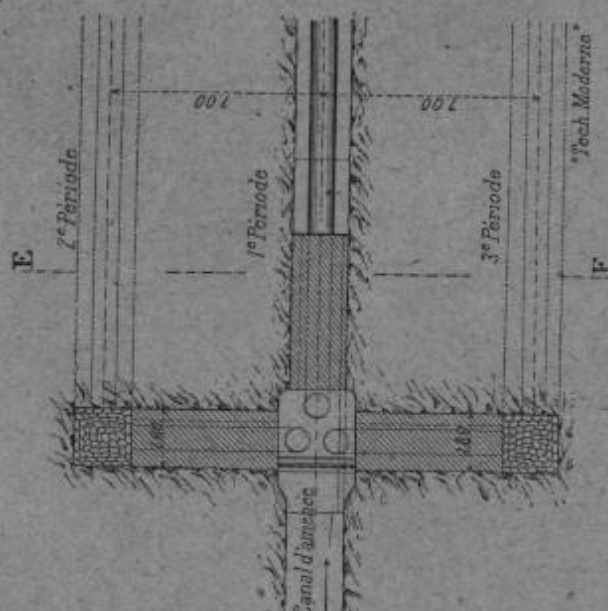


FIG. 1007. — Usine d'Orlu. Galerie de départ des conduites sous pression.

Les joints pour la tuyauterie en tôle soudée ont été exécutés de la façon décrite au tome I. Toutes les fois que l'on avait monté une centaine de mètres de conduite, on remplissait d'eau, on mettait un joint plein et au moyen d'une petite pompe, on augmentait ainsi la pression normale de 30 0/0 qui servait à la vérification des joints. Tous ceux-ci ont bien tenu du premier coup.

Les joints des tuyaux rivés ont la même forme et ont été installés et essayés de la même façon.

Les chargements de direction en plan et en profil ont été obtenus, comme à l'usine de Vouvry, en partie avec des bagues biaises et en partie avec des têtes biaises. A cet effet, les tuyaux rivés ont chacun une tête droite normale à leur axe et l'autre oblique. En plaçant deux têtes biaises en regard, de façon à ce que la longue génératrice d'un tuyau soit dans le prolongement de la courte génératrice de l'autre, on obtient les deux axes en ligne droite. En faisant pivoter un des tuyaux sur son axe, tout en maintenant les deux brides en contact, on fait opérer aux deux axes un angle quelconque en dessous d'une certaine valeur égale au double de l'angle du biais de chacune des têtes. Cette disposition permet de faire des changements de direction en plan et en profil, non pas à chaque joint, mais à un joint sur deux.

La partie de la canalisation en tôle rivée a été exécutée par la maison A. Bouchayer et Viallet de Grenoble, et celle en tôle soudée par la Société d'Escaut et Meuse à Arzin.

L'installation d'Orlu porte en soi un progrès du plus haut intérêt au

point de vue de l'avenir des canalisations soumises à de très hautes pressions, aujourd'hui que les constructeurs peuvent faire travailler les tuyauteries soudées à un coefficient de sécurité que ne peut atteindre la clouure. On évite de cette façon la division en plusieurs branches, dans la partie basse des canalisations à très haute chute ⁽¹⁾. Les faits suivants sont bien de nature à corroborer notre affirmation ; c'est d'abord l'installation de l'usine de Fully, dans le Valais (chute d'eau de 1.660 mètres), et la création par les grands constructeurs, MM. A. Bouchayer et Viallet, d'un atelier spécial pour la fabrication des tôles soudées.

En ce qui concerne les coups de bélier, on s'est arrangé, à Orlu, pour qu'aucune vanne et aucun distributeur ne puissent, quoi que l'on fasse ou quoi qu'il arrive, se fermer ou s'ouvrir qu'avec des vitesses donnant des coups de bélier dont la valeur maximum soit inférieure à 10 0/0 de la pression statique.

Les tuyaux ayant été essayés en usine avec 50 0/0 de surpression et tous les joints éprouvés avec 30 0/0 de surpression, il n'y a, en réalité, rien à craindre de coups de bélier astreints à ne pouvoir dépasser 10 0/0.

Pour un degré de régularisation déterminé et une valeur de coup de bélier fixée, on peut toujours remplir les conditions voulues en augmentant le diamètre de la conduite et en diminuant celui des volants dont on munit les turbines, ou bien en augmentant le poids et la vitesse des volants et en diminuant le diamètre de la conduite. On adopte la solution qui donne le minimum de dépenses.

Les durées de fermeture faibles et l'obligation d'avoir un bon coefficient de régularisation ont imposé pour l'usine d'Orlu l'emploi de puissants volants, mais ceux-ci étant en tôle d'acier on a pu leur donner une vitesse double de ce qu'on aurait pu faire avec l'acier fondu même fretté, et par conséquent, à poids égal, obtenir quatre fois plus d'effet.

Au pied de la conduite en pression, avant l'entrée dans l'usine, se trouvent deux vannes dont l'une est une simple vanne-tiroir avec by-pass et l'autre est une vanne cylindrique automatique qui se ferme dès que l'eau dépasse une vitesse déterminée, et cela dans un temps fixé. On peut régler le déclenchement de la fermeture pour une vitesse quelconque et régler également la durée de cette fermeture. En raison des pentes escarpées de la montagne, on a été obligé de recourir à des plans inclinés et à des transporteurs pour la mise en place des tuyauteries ainsi que pour le charroi des matériaux de construction et de prise d'eau.

(1) Il faut, en effet, quand on se trouve en présence de conduites d'eau à haute pression, s'attacher, pour un débit donné, à prendre le plus petit nombre de tuyaux parce que, à section égale, la perte de charge diminue et le prix aussi. Ainsi pour l'usine d'Orlu, avec des tuyaux rivés, il eût fallu diminuer le diamètre et par conséquent admettre, pour le débit qui a été considéré, la division en plusieurs branches.

prement dite avec son injecteur et son volant, le régulateur de vitesse et le manchon d'accouplement.

La turbine marchant à pleine ouverture et développant 3.500 chevaux,

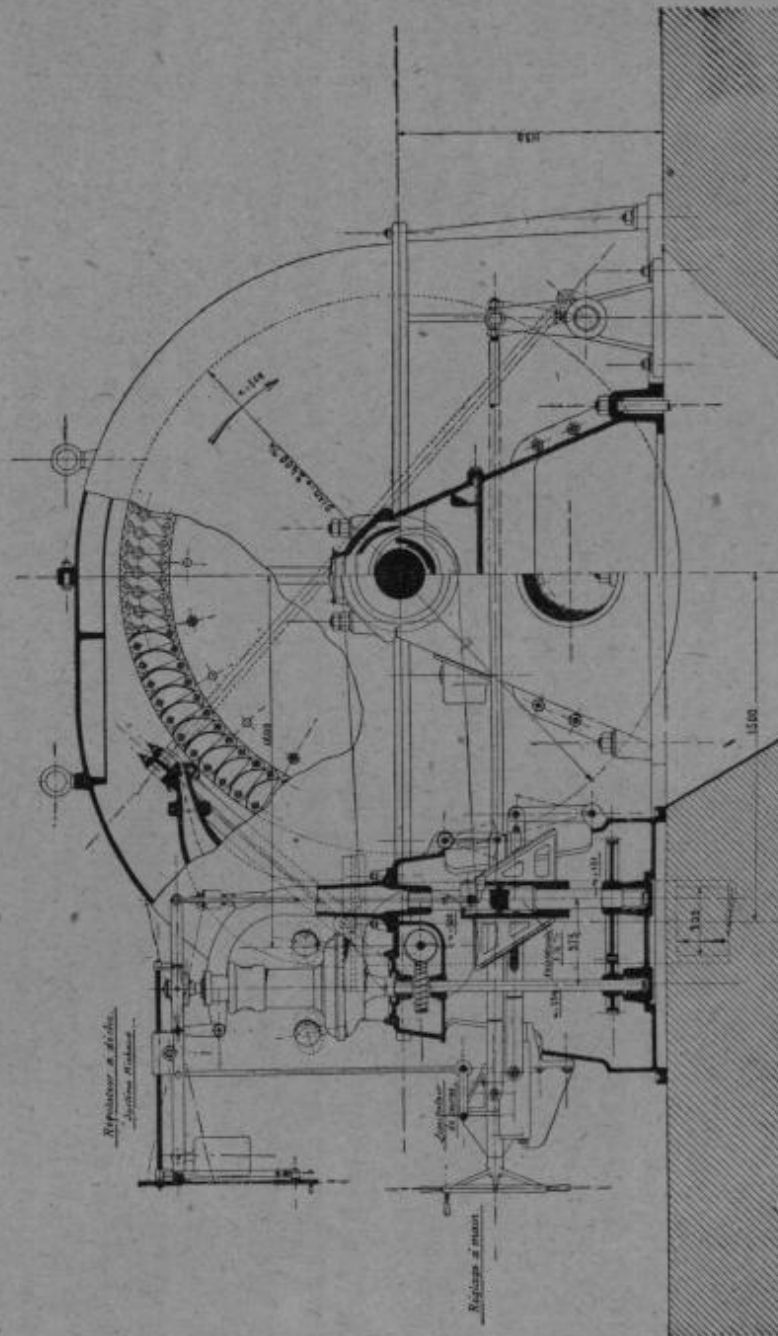


FIG. 1009. — Usine d'Orlu. Turbine hydraulique genre Pelton de 2.500 HP (coupe).

si un accident de la ligne électrique fait tomber brusquement la puissance à zéro, l'accroissement momentané de la vitesse ne doit pas dépasser 18 à 20 0/0 de la vitesse normale. D'autre part, la fermeture du distributeur doit s'opérer en dix secondes au moins pour que l'augmentation de pression due au coup de béliet ne dépasse pas 10 0/0. Le réglage par

déviât du jet n'est pas admis
puisque'il faut économiser l'eau
motrice provenant d'un lac.

Dans ces conditions, il devient indispensable d'avoir un volant très lourd en plus de la masse tourante de l'alternateur, de là l'adoption des volants dont il a été parlé plus haut. Les roues motrices des turbines et les volants sont calés sur l'arbre entre les deux paliers et seul le manchon est en porte-à-faux; chaque volant est composé d'une série d'anneaux en tôle épaisse assemblés par rivets et portés par quatre disques aussi en tôle, calés sur un moyen en acier coulé. Deux economies d'arbres symétriques sont fixées de chaque côté du volant au moyen de rivets. Chaque arbre est reliée à la suivante par de petits anneaux en acier, afin de mieux répartir continuellement sur les voisins la plus grande partie de l'effort moteur reçu directement par une ou deux arbres seulement.

Ces turbines sont établies très robustement et capables de supporter sans inconvénient la violence d'emballlement. Les paliers sont à graissage au'omatique et pourvus d'une circulation d'eau froide pour le rafraîchissement de l'huile.

L'injection de l'eau motrice se fait à la partie supérieure de la roue turbine ; on perd de ce fait une partie de la chute, ce qui est insignifiant en regard de

Technical drawing of a steam engine and boiler system, showing a side view of the boiler and a front view of the engine. The boiler is labeled "Foyer d'incendie" and "Moteur à vapeur". The engine is labeled "Moteur à vapeur" and "Moteur à vapeur". The drawing includes various mechanical components, pipes, and structural elements.

la culotte totale. Le principal avantage de cette disposition est qu'une fois la culotte de la turbine enlevée, l'injecteur est parfaitement visible et accessible, ce qui n'est pas le cas lorsque l' injection se fait dans le bas de la roue. L'organe obturateur est un tiroir réglable à guidage circulaire.

Les manœuvres d'accouplement des turbines et des alternateurs sont du type élastique, comportant deux plateaux, en acier coulé, dont l'un porte deux rangées concentriques de doigts en acier sur lequel s'enroule en zig-zags une courroie sans fin et dont l'autre n'a qu'une rangée de doigts qui viennent s'engager dans les zig-zags de la courroie. Les régulateurs automatiques de vitesse sont du système Michaud à servo-moteur à déclin, dont la rapidité d'action (fermeture ou ouverture) est parfaitement déterminée et ne peut être dépassée. Ce système paraît devoir éviter plus efficacement les accidents que les appareils à action très rapide, dont l'action se combine avec celle d'une décharge automatique. Ce régulateur est semblable à ceux de l'usine de Vouvry. Mais depuis, à l'aide d'un dispositif ajouté au régulateur proprement dit, on peut, à chaque instant, en fournissant un petit volant, modifier du maximum à zéro la puissance totale que la turbine peut développer et cela sans la déréglar et

sans courir le risque que le tachymètre avec son déclic puisse entraîner le tiroir en dehors des limites de la course prévue et ne brise un organe du mécanisme.

A l'ordinaire, à la mise en marche d'une turbine, on commence par déclancher la liaison entre le tachymètre et le servo-moteur et on opère le réglage à la main jusqu'à ce que la bonne vitesse étant acquise, on repasse l'enclanchement. Avec le dispositif appliqué aux régulateurs de l'usine d'Orlu on n'a qu'à manœuvrer le volant de mise en marche jusqu'à ce que la bonne vitesse soit atteinte.

Puis, poursuivant la manœuvre de ce volant et sans que le nombre de tours change on limite à volonté le champ d'action du régulateur au prorata de la puissance que l'on prévoit pour les besoins prochains. Pour l'arrêt on opère de la même manière en tournant sans précautions spéciales et en sens inverse le même volant de mise en marche. L'avantage de cette limitation de la puissance de la turbine (avantage apprécié des chefs d'usine) c'est qu'en cas de court-circuit, le régulateur ne peut pas ouvrir la turbine en grand, ce qui atténue les effets habituels du court-circuit : freinage intense et ouverture en plein du distributeur immédiatement suivis de la disparition totale de toute résistance et de l'emballement de la turbine.

Le balancier du régulateur est muni d'un contrepoids mobile actionné par une vis qui permet de faire varier la vitesse de régime de 2,5 0/0 environ en plus ou en moins ; le décrément du régulateur, c'est-à-dire la différence relative des vitesses correspondant à la marche à vide et celle à pleine charge est de 5 0/0.

MATÉRIEL ET INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES. — *Alternateurs.* — Les machines génératrices de l'usine d'Orlu ont été fournies par la Compagnie générale d'électricité de Creil, dont la construction est à la fois robuste et ramassée. Elles fournissent du courant triphasé à 5.000 volts, à la fréquence 50 et à la vitesse de 500 tours à la minute. Leur puissance apparente est de 3.060 kilovolts-ampères et l'énergie nécessaire pour l'excitation est de 22,6 kilowatts à la tension de 110 volts. Le poids de chacune d'elles est de 40 tonnes.

Ces machines sont d'une construction telle qu'elles peuvent supporter sans inconvénient la vitesse d'emballement des turbines, en cas de fonctionnement des régulateurs. La vitesse alors pourrait atteindre 900 tours à la minute. Les rendements garantis sont les suivants :

Charge.....	1/1	3/4	1/2	1/4
$\cos \varphi = 1$	96,4	95,5	93,6	88
$\cos \varphi = 0,8$	95,5	94,4	92,0	85,4

Les dynamos shunt pour la production du courant d'excitation des

alternateurs ont une puissance individuelle de 95 kilowatts ; elles débitent le courant à la tension de 110 volts et à la vitesse de 1.200 tours à la minute. Elles sont munies de pôles auxiliaires.

Les dynamos destinées à l'alimentation des divers services auxiliaires de la station centrale sont de même construction que les excitatrices. Elles sont normalement accouplées avec des turbines hydrauliques. Les groupes qu'elles forment portent entre les deux machines une poulie dont la toile peut également recevoir par l'intermédiaire d'une courroie le mouvement d'un moteur triphasé.

Transformateurs. — Les transformateurs élévateurs de la tension des génératrices, d'une puissance individuelle de 3.000 kilovolts-ampères, ont été fournis par la Société française d'Oerlikon. Ils sont du type à bain d'huile avec refroidissement par circulation d'huile obtenue de la façon suivante. Chaque appareil est logé dans une caisse à huile ; le niveau de ce dernier liquide dépasse d'environ 50 centimètres la partie supérieure des enroulements et vient se déverser dans un entonnoir à la base duquel est fixée la tubulure d'aspiration d'un serpentin noyé dans le canal de fuite de l'usine. L'huile refroidie est refoulée à la base de la caisse à huile et la circulation est assurée par un groupe moteur pompe centrifuge.

Le tableau de distribution contenu dans le bâtiment d'appareillage, qui sort des ateliers Siemens et Schuckert, comporte tous les appareils nécessaires au réglage des différents alternateurs, à leur mise en parallèle, au contrôle et enfin à la fermeture ou à l'ouverture des différents circuits intérieurs et des feeders de distribution. Pour la simplification et la rapidité des manœuvres et pour la facilité des contrôles tous les appareils nécessitant des manœuvres mécaniques, interrupteurs automatiques à 55.000 volts, rhéostats de champ magnétique, sont commandés à distance. Les appareils de contrôle sont constamment sous les yeux de l'électricien qui assure le service.

Ligne de transport d'énergie électrique. — La ligne se dirigeant de

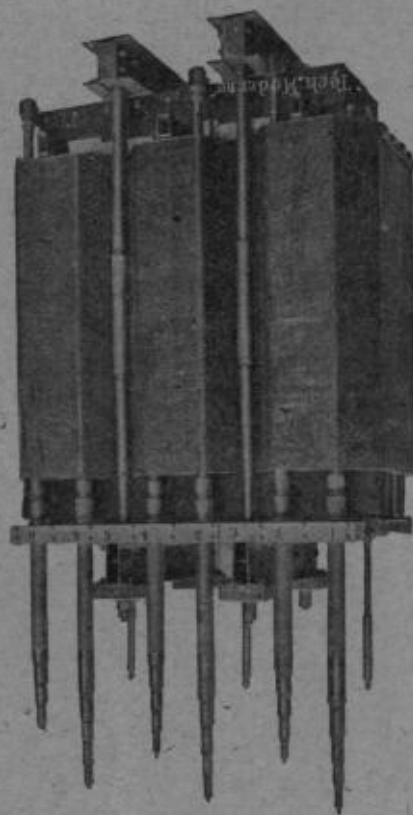


FIG. 1011 — Usine d'Orlu.
Transformateur de 3.000 k v. a.
55.000 volts.

l'usine sur Toulouse (140 kilomètres) et le Tarn, passant par Vernet d'Ariège est composée de six fils nus aériens de 55 millimètres carrés de section. L'embranchement jeté sur le Tarn et constitué par six conducteurs de 25 millimètres carrés de section aboutit à un poste de transformation situé à Navez, à 6 kilomètres de Castres.

A Vernergues, sur le parcours de Revel à Toulouse (*fig. 1012*), existe un poste de transformation pour desservir la région sud de Toulouse, et dans cette dernière ville un poste de transformation assure la distribution du

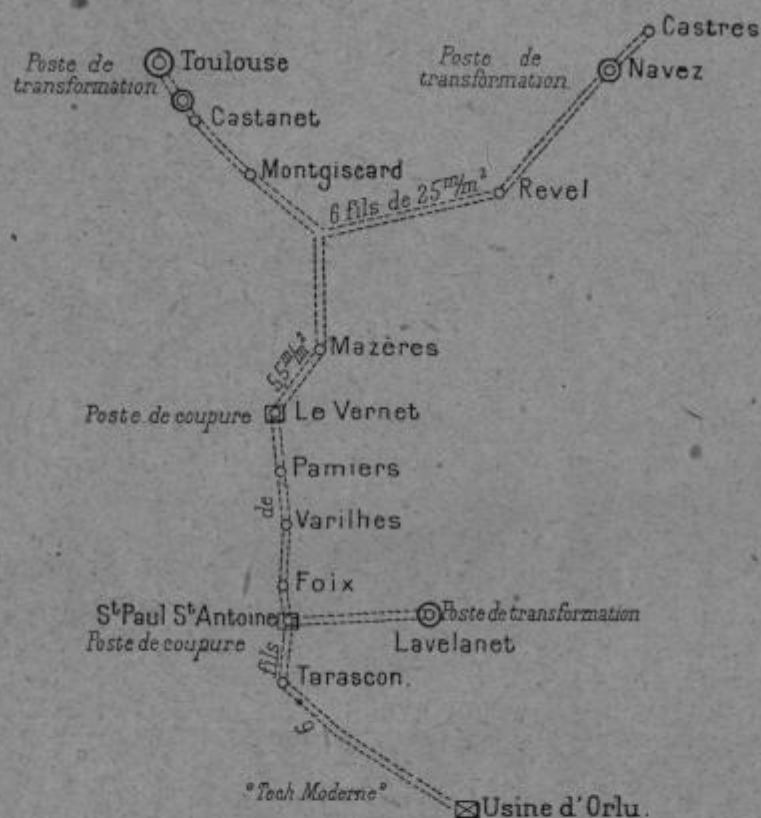


FIG. 1012. — Usine d'Orlu. Tracé de la ligne de transport d'énergie à 55.000 volts.

courant dans les régions ouest et nord. Entre Orlu et Vernet, à Saint-Paul-Saint-Antoine, on a installé un poste de coupure avec embranchement sur la ville de Lavelanet où existe un poste de transformation pour desservir cette localité et les pays avoisinants.

Le courant triphasé à 5.000 volts généré par les alternateurs est élevé à la tension de 55.000 volts sur la ligne de transport au moyen des transformateurs élévateurs de l'usine, puis abaissé à 13.500 volts dans les postes de transformation. Le réseau d'Alby est relié à l'usine génératrice par une ligne partant d'Orlu pour aboutir au poste de transformation de Navez, et l'usine de Bessières marche en parallèle avec la sous-station de Navez.

427. Usine de Vouvry (Suisse) (chute, 950 mètres). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — L'usine de Vouvry a été créée pour venir en aide à l'usine de Vuarchy, située de l'autre côté du Rhône (fig. 1013) et appartenant à la Société des Forces motrices de la Grande-Eau. Cette dernière usine est alimentée par une dérivation de la rivière de la Grande-Eau, qui crée une chute de 200 mètres avec un débit de 1.250 litres, soit une puissance de 2.500 HP.



FIG. 1013.

La dérivation prise sur la Grande-Eau ne comportant aucun réservoir d'emménagement, la puissance de l'usine de Vuarchy est ainsi limitée à celle

correspondant à son débit d'étiage, soit au quart environ du débit moyen.

L'usine de Vouvry utilise les eaux du lac de Tanay (fig. 1011), situé à la

cote 1.416 ; les turbines étant installées à la cote 466, la chute brute est donc de 950 mètres. La superficie du lac est de 45 hectares, et celle de son bassin de 750 hectares ; son débit moyen constant est de 346 litres par seconde, donnant lieu à une puissance utile de 3.000 HP sur l'arbre des turbines, soit $3.000 \text{ HP} \times 8.760 \text{ heures-an} = 27.000.000$ de chevaux-heures, en nombre rond.

On voit ainsi que, par suite de la très grande hauteur de chute dont on dispose, il suffit d'une capacité relativement faible pour emmagasiner une puissance considérable.

Les deux usines dont nous venons de parler fournissent de l'énergie électrique à un grand nombre de villages de la vallée



FIG. 1014. — Usine de Vouvry. Le lac Tanay.

du Rhône. L'accouplement des deux usines, qui possèdent des alternateurs de même voltage et de même périodicité, leur permet ainsi de

fonctionner sur un réseau commun. Il a été facile d'augmenter la puissance de l'usine de Vuarchy (qui, comme on l'a vu, ne possède pas de réservoir d'emmagasinement) en la faisant travailler non plus avec le débit d'étiage, mais bien avec le débit moyen. Alors, pendant les périodes de basses eaux, où le débit est insuffisant pour actionner toutes les machines, on met en service l'usine de Vouvry, qui, elle, n'a rien à craindre de la variation de régime de son cours d'eau et qui peut, en quelque sorte, donner pendant un certain temps une puissance aussi considérable qu'on le veut.

Prise d'eau. — La prise d'eau dans le lac de Tanay est située à la cote 1.390 (fig. 1014), c'est-à-dire à 20 mètres au-dessous du niveau normal du lac et à 26 mètres au-dessous du plan d'eau maximum. Elle consiste en une galerie aboutissant à un puits de 30 mètres de profondeur, dont l'orifice a été placé assez haut pour ne pas être atteint par les crues anormales. Ce puits est divisé en deux par une cloison verticale en tôles perforées. Le compartiment amont est lui-même divisé par un plancher horizontal en fer et ciment qui se trouve à 2 mètres au-dessus de son fond. Dans le compartiment amont inférieur débouche une crevasse naturelle qui est en communication directe avec le lac et donne, en temps de basses eaux, 200 litres par seconde. Toujours, du compartiment amont, part un tunnel à faible pente de 300 mètres de longueur et de 3 mètres carrés de section et dont la direction est à peu près normale au grand axe du lac.

L'entrée de cet ouvrage est formée par un mur en maçonnerie, armé de poutrelles en fer et traversé par cinq tuyaux. Le premier, le plus élevé, est un trou d'homme de 0^m,800 de diamètre, muni d'un bouclier étanche. Un peu en dessous est un tuyau de 0^m,100 de diamètre avec robinet-vanne et, vers le fond, sont les trois autres tuyaux de 0^m,80 de diamètre, terminés chacun, du côté du puits, par un ajutage en forme de pipe. Au-dessus de chacune de ces pipes est un bouchon conique, en fonte, suspendu au moyen d'une chaîne. Il suffit de mollir les chaînes pour que les bouchons s'appliquent sur les pipes et que l'eau du puits ne puisse plus pénétrer dans le tunnel. Quand le lac est haut, il faudrait un effort de 3 tonnes sur chaque chaîne pour lever son bouclier, s'il n'y avait pas de contre-pression, laquelle est demandée au petit tuyau de 0^m,100, signalé plus haut, qui fonctionne avec sa vanne comme by-pass.

A 30 mètres de son extrémité aval, on rencontre un second tunnel de 100 mètres de longueur, qui sert à l'évacuation du trop plein, et, un peu en amont de l'intersection des deux souterrains, est disposé un tampon en fer et en ciment traversé par un trou d'homme, par deux tuyaux de 0^m,40 munis de vannes à flotteurs et par un troisième tuyau avec vanne de purge. Enfin, un peu à l'aval de la rencontre des deux tunnels, existe un petit mur-barrage formant retenue d'eau.



FIG. 1015. — Usine de Vouyry. Plan de situation des ouvrages hydrauliques.

Ainsi, dès la mise en marche des turbines, il y a appel d'eau par le second tunnel ; le plan d'eau baisse, les flotteurs des vannes suivent le mouvement et celles-ci s'ouvrent et débitent.

A l'arrêt, les flotteurs remontent et l'écoulement cesse. Pour faire baisser le niveau du lac, de façon à l'empêcher de dépasser le niveau maximum admis, on charge les contrepoids des flotteurs des vannes et, si cela n'est pas suffisant, on ouvre la purge, et l'eau s'écoule par le tunnel de trop plein.

CONDUITE FORCÉE. — La conduite forcée, qui part de l'extrémité aval



FIG. 1016. — Usine de Vouvry. Vue générale de l'usine et de la conduite sous pression.

du tunnel de prise d'eau, est établie partie en tube métallique, partie en tunnel.

Elle commence par un tuyau en tôle de 0^m,80 de diamètre et 100 mètres de longueur, puis vient un tunnel de 300 mètres de longueur. Elle reprend ensuite avec un tuyau en tôle de 0^m,80 et 1.200 mètres de longueur avec une pente de 0,5 0/0. Cette première partie de la canalisation repose sur une plate-forme de 3 mètres de largeur, munie d'un mur sec de 1 mètre de hauteur. Cette plate-forme est remblayée d'une couche de terre de 2 mètres de hauteur, afin que partout il y ait au moins 1 mètre d'épaisseur de matériaux mauvais conducteurs de la chaleur au-dessus des tuyaux. L'extrémité aval de cette conduite de 0^m,80 entre dans une cave

voûtée et se termine par une pièce à trois tubulures de 0^m,500 de diamètre. Jusqu'ici, la pression ne dépasse pas 21 mètres d'eau, mais, à partir de là, elle croît très rapidement.

La canalisation à grande pente, qui continue la conduite forcée, a 1.940 mètres de longueur avec un diamètre de 500 millimètres et une épaisseur variant de 7 à 11^{mm},5 ; elle rachète une différence de niveau de 900 mètres. Elle se termine par une culotte dont chaque branche porte une vanne qui est le point de départ d'une tuyauterie de 1.300 mètres de longueur et 0^m,341 de diamètre extérieur, avec une épaisseur de 8 à 18 millimètres.

A la suite de la partie de la canalisation en tunnel, c'est-à-dire au raccordement avec la tuyauterie métallique, on a disposé une soupape de retenue qui se compose d'un corps sphérique renfermant la cloche de la soupape proprement dite. Cette cloche est guidée par un axe horizontal et maintenue écartée de son siège par un levier portant un contrepoids mobile. En passant dans l'espace annulaire libre qui se trouve entre la cloche et son siège, l'eau subit une perte de charge qui croît comme le carré de sa vitesse et crée une très grande différence de pression entre les deux faces de la soupape. Il est donc bien facile de régler la position du contrepoids de façon que la soupape se ferme pour une vitesse déterminée. Cet appareil est muni d'un by-pass et de deux valves à air, l'une pour la rentrée quand la soupape se ferme, l'autre pour la sortie au moment du remplissage de la colonne.

Les tuyaux à forte pression sont en acier Martin-Siemens, sans aucune rivure, les plus gros soudés à la main, les autres au laminoir. Chacun d'eux a été essayé à l'usine avec 50 0/0 de surpression. Le métal ne travaille pas à plus de 7 kilogrammes par millimètre carré, quoique la pression atteigne, à la partie inférieure de la conduite, le chiffre énorme de 95 kilogrammes par centimètre carré.

Les joints, formés d'anneaux mobiles, mais prisonniers sur chaque tube, sont serrés à force au moyen de boulons. L'étanchéité est obtenue par l'introduction d'une garniture en cuivre embouti enveloppant une corde d'amiante, ayant la forme de la moitié intérieure d'un tore, et dont l'épaisseur initiale de 3 millimètres est réduite, après serrage, à une fraction de millimètre.

Les tuyaux ont été placés dans une fouille de 1^m,50 de profondeur, épousant ainsi toutes les sinuosités du sol. Les changements de direction ont été obtenus au moyen de paires de faux joints biais à emboîtements, composés de deux pièces semblables et que l'on peut orienter différemment en les faisant tourner à l'aide d'une clef spéciale, de façon à créer, par exemple, dans le plan vertical, un angle de 10°. Pendant la pose, on suspend le tuyau, on met les faux joints biais dans une position quel-

conque, puis trois boulons avec serrage lâche. On tourne ensuite les anneaux biais, et le tuyau se déplace dans l'espace jusqu'à ce qu'il ait pris la direction voulue.

Les différents tronçons de la conduite ont été amenés à pied d'œuvre par un transporteur aérien.

Chaque branche de la canalisation se termine à sa partie inférieure par une vanne-tiroir en acier mue à la main, mais munie d'un by-pass déterminant une contre-pression, car sans cela il serait impossible de manœuvrer un tiroir sur lequel s'exerce une pression de 65.000 kilogrammes.

Après la vanne d'arrêt de la conduite d'aménée s'en trouve une autre qui, au lieu d'être actionnée à la main, est commandée hydrauliquement et se manœuvre à distance au moyen d'un tiroir placé près du tableau de distribution. A partir de cette dernière vanne, la conduite se divise en deux parties alimentant chacune un groupe de turbines. Une seconde canalisation, de 500 millimètres de diamètre, du haut en bas, apporte son appoint à celui de la première.

TURBINES. — Les bâtiments de cette usine ont été aménagés, en principe, pour recevoir 20 groupes électrogènes de 500 HP. L'une des branches de la canalisation dont nous avons parlé alimente deux turbines construites par la Société de constructions mécaniques de Vevey, et l'autre deux turbines établies par M. Duvillard, à Lausanne. Ce sont des roues Pelton constituées par un disque en fonte portant des ailettes courbes et venues de fonte sur chacune des deux faces de sa couronne. Ces aubages adhèrent au disque d'un seul côté et laissent ainsi l'alvéole ouverte de trois côtés. Chaque turbine est alimentée par deux distributeurs ou injecteurs, dont l'un seulement est réglable au moyen d'un vannage commandé par un régulateur Michaud. Chaque distributeur comporte deux ajutages convergents correspondant à chacun des côtés de la couronne mobile.

Les turbines sont montées en porte-à-faux sur les arbres des alternateurs. Leur diamètre est de 1^m,20 et leur vitesse de 1.000 tours.

La (fig. 1017) montre la disposition de la tuyauterie allant de la conduite principale aux injecteurs des turbines, ainsi qu'une turbine et son régulateur.

Les petites turbines des excitatrices (fig. 1018), d'une puissance unitaire de 25 HP, sont d'une construction analogue aux turbines principales, mais avec des ailettes d'un seul côté du disque et un seul distributeur réglable à la main. C'est un petit jet rond, de 5 millimètres, commandé par une fermeture à pointeau extérieur mû par une vis. Leur diamètre est moitié moindre que celui des turbines principales et leur vitesse normale double, c'est-à-dire 2.000 tours.

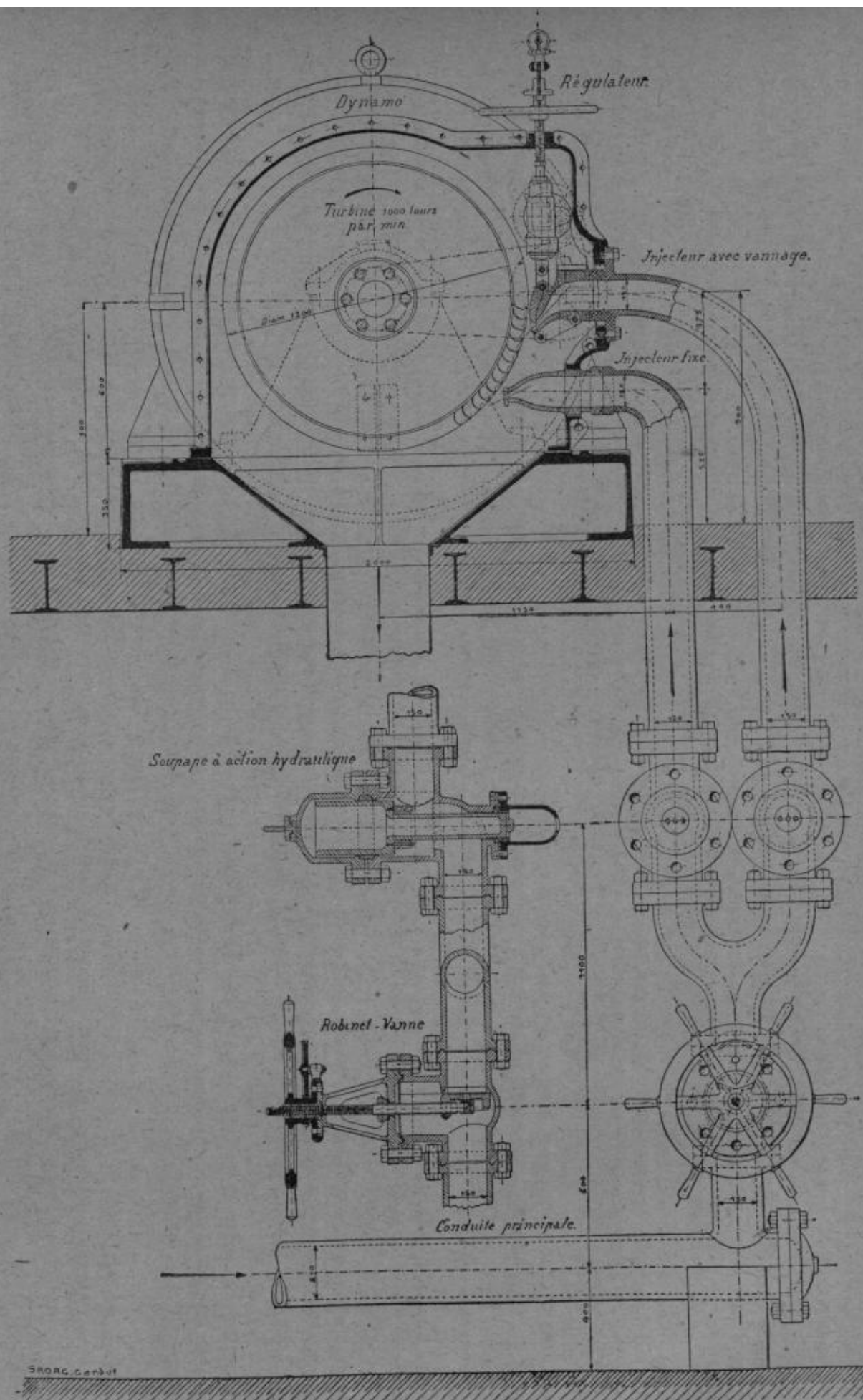


FIG. 1017. — Usine de Vouvry. Turbine de 1.000 HP avec tiroir et vanne-piston.

à contrepoids agissant sur une des articulations de la transmission s'oppose à la réaction du jet du distributeur sur la languette.

Le tachymètre porte lui-même un ressort réglable et deux leviers à contrepoids, réglables également, ce qui permet de faire varier dans les limites voulues le nombre de tours qu'on désire obtenir.

Les données ci-avant se réfèrent à la première installation de l'usine de Vouvry, qui comportait ainsi quatre groupes de 500 HP avec deux excitatrices de 25 HP. Depuis, sous les auspices de la Société romande d'élec-

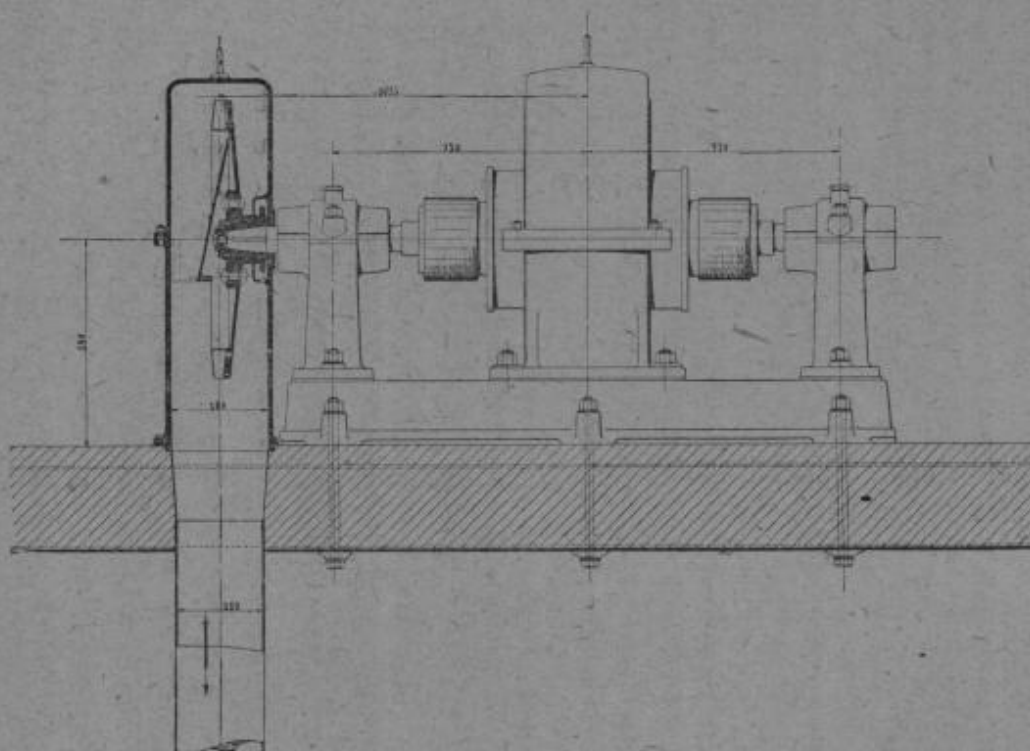


FIG. 1019. — Usine de Vouvry. Groupe de génératrices excitatrices.

tricité, on a installé deux groupes générateurs de 2.000 HP, tournant à 500 tours, avec deux excitatrices de 125 HP, à 1.500 tours.

Les nouvelles turbines de 2.000 HP ont été établies par les ateliers de Vevey ; nous en donnons la description au paragraphe (usine d'Orlu). Les turbines des excitatrices (*fig. 1019*) sont du type à porte-à-faux. La roue est composée d'un moyeu en acier coulé, d'un disque en tôle d'acier rivé sur le moyeu et d'aubes en acier coulé, rivées sur le pourtour du disque. L'injecteur est à jet circulaire avec obturateur à aiguille en bronze. Le bec rapporté de l'injecteur est aussi en bronze ; il est facilement accessible et remplaçable ; pour cela, il suffit d'enlever la calotte du récepteur. Ces turbines ne sont pas munies de régulateurs automatiques de vitesse, le réglage se faisant à la main. Le tuyau vertical d'arrivée de

l'eau a un diamètre intérieur de 100 millimètres (débit 15 litres à la seconde). Le robinet-vanne d'arrêt est placé en sous-sol.

USINE ET ALTERNATEURS. — Le bâtiment des machines est un grand hall de 14 mètres de largeur et 60 mètres de longueur. La ligne de plus grande pente du terrain sur lequel il repose est perpendiculaire à son grand axe, de sorte que le sous-sol forme rez-de-chaussée d'un côté et le premier, forme rez-de-chaussée de l'autre côté. Le sous-sol a 4 mètres de hauteur et renferme toute la tuyauterie et toutes les vannes. L'allée centrale porte les conducteurs électriques et les deux allées latérales renferment la tuyauterie et les vannes, ainsi que les canalisations d'évacuation. Le premier étage se compose d'une seule grande salle, ayant à chaque extrémité une partie surélevée de 1^m,50 de hauteur et 5 mètres de profondeur. Sur ces estrades se trouvent les tableaux électriques et les tiges des appareils de commande hydraulique des différentes vannes. Au-dessous de chaque estrade, il y a un entresol et un sous-sol de 2^m,75 de hauteur chacun : ces étages servent de chambre d'accumulateurs, de magasins et de logement pour une partie du personnel.

L'usine est entièrement couverte en fer ; non seulement les fermes, mais les lattis sont métalliques et supportent des hourdis de 35 millimètres. On a ainsi une double couverture bien étanche, bien calorifuge et parfaitement incombustible, comme tout le reste du bâtiment.

L'installation électrique de l'usine de Vouvry comporte actuellement deux alternateurs triphasés de 2.000 HP, 5.500 volts, 500 tours, 150 périodes et quatre alternateurs triphasés de 500 HP, 5.500 volts, 1.000 tours 50 périodes, plus les excitatrices. Des transformateurs élèvent la tension, d'une partie du courant, à 22.000 volts.

428. Usine de Fully (Suisse) (chute, 1.650 mètres). — AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES. — C'est la reine des chutes d'eau à ce jour.

Prise d'eau. — L'usine de Fully est alimentée par les eaux du lac de même nom, en Valais, situé à 2.150 mètres d'altitude, l'installation des turbines étant à la cote 500. Sa conception et sa réalisation sont dues à M. Boucher, l'éminent hydraulicien suisse.

La prise d'eau est faite par un tunnel établi à une trentaine de mètres au-dessous du niveau primitif du lac. Pour augmenter la capacité de la retenue, on a disposé à la sortie du lac un barrage en maçonnerie de 15 mètres de hauteur.

Conduite forcée. — Cette conduite, longue de 4.625 mètres, est constituée par des files de tuyaux de 600 et 500 millimètres de diamètre et de 6 à 45 millimètres d'épaisseur de paroi. La partie supérieure est réalisée à l'aide de tuyaux soudés au gaz à l'eau et la partie inférieure est formée

de tuyaux en acier sans soudure, obtenus du bloc d'acier au moyen de fortes presses à étirer.

Dans la conduite de 0^m,500 de diamètre la vitesse de régime est de 1^m,0188.

Sauf sur les 870 mètres de longueur où la conduite est en tunnel,

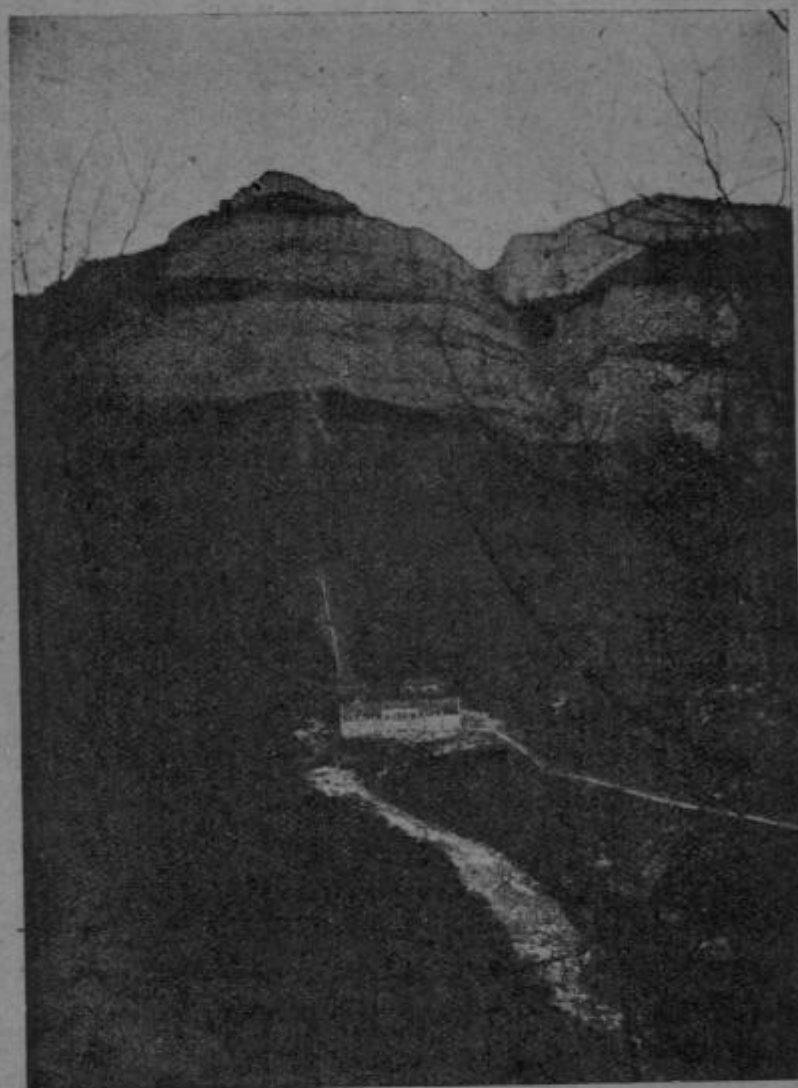


FIG. 1020. — Vue de la prise d'eau.

le reste est renfermé dans une fouille de 1 mètre à 1^m,50 de profondeur. La conduite ne possède aucun joint de dilatation et n'est ancrée qu'à l'entrée de l'usine dans un grand massif de butée. Les changements de direction sont obtenus au moyen de bagues biaises. Des vannes de sûreté sont établies à la sortie du lac ainsi qu'à l'entrée dans l'usine. La tuyauterie a été exécutée par la maison Thyssen et C^{te} de Mulheim.

Turbines. — Cette installation comporte quatre turbines Peltón à aubes interchangeables en acier forgé, maintenues sur la couronne au moyen d'un disque en acier forgé, aussi spécialement étudié par les ateliers Piccard et Pictet. La roue motrice dont le diamètre est de 3^m,715 porte 54 aubes rapportées qui reçoivent la poussée d'un jet de 34 milli-

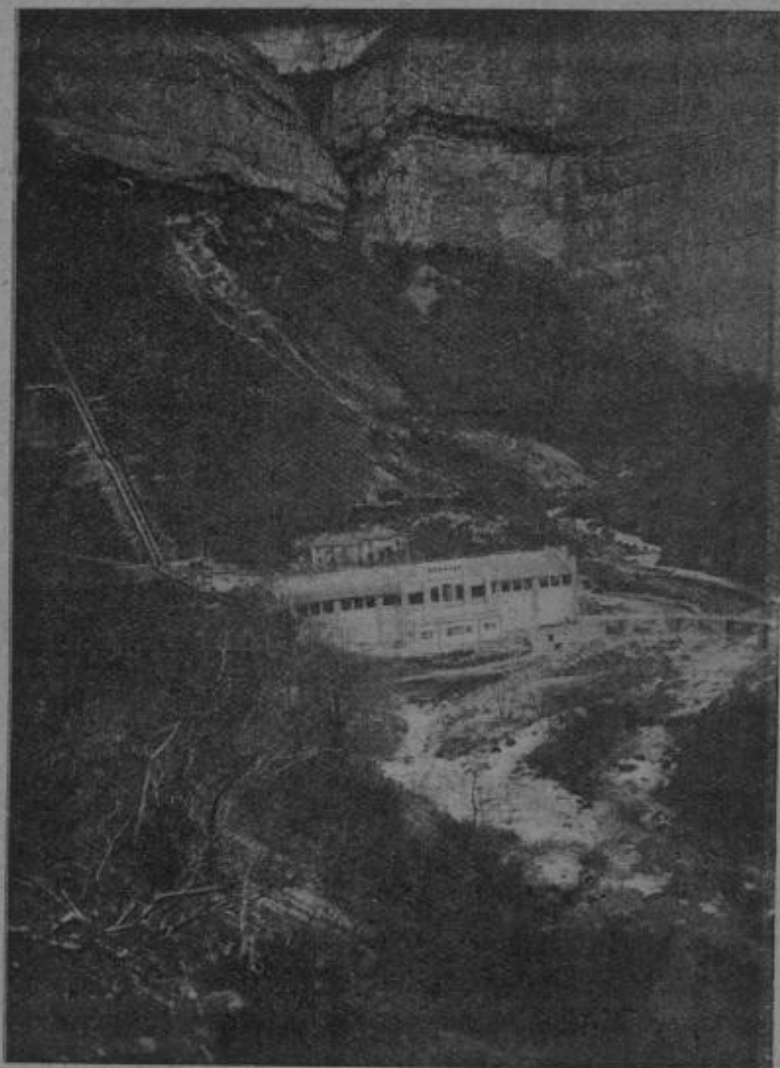


FIG. 1021. — Vue générale de l'usine et des conduites forcées.

mètres de diamètre. La puissance de chaque turbine est de 3.000 HP. L'une des extrémités de leur arbre porte le plateau d'accouplement pour l'alternateur et l'autre l'embrayage de la pompe à huile du servo-moteur, entraîné de ce fait directement à la vitesse de 500 tours à la minute de la turbine.

La mise en place des aubes a été effectuée à l'usine de Fully même.

Le bâti de la turbine se prolonge en aval par un caisson en fonte, puis

en tôle soudée qui débouche dans un tuyau amortisseur de 1^m,30 de diamètre et 9 mètres de longueur. Ce tuyau fermé en aval sur une partie de sa section contient toujours une certaine quantité d'eau destinée à absorber sans danger la force vive du jet lorsqu'il est dévié par l'écran. Ce dispositif a donné toute satisfaction. Le jet dévié frappe d'abord un renvoi disposé sur le bâti en face du distributeur ; de là il descend dans le tuyau amortisseur où il détermine un remous qui absorbe la majeure partie de sa force vive. On comprend qu'un jet, en raison de l'énorme chute utilisée par la turbine, où la vitesse normale à la sortie des aubes est encore de 30 à 40 mètres-seconde, puisse endommager soit le béton,

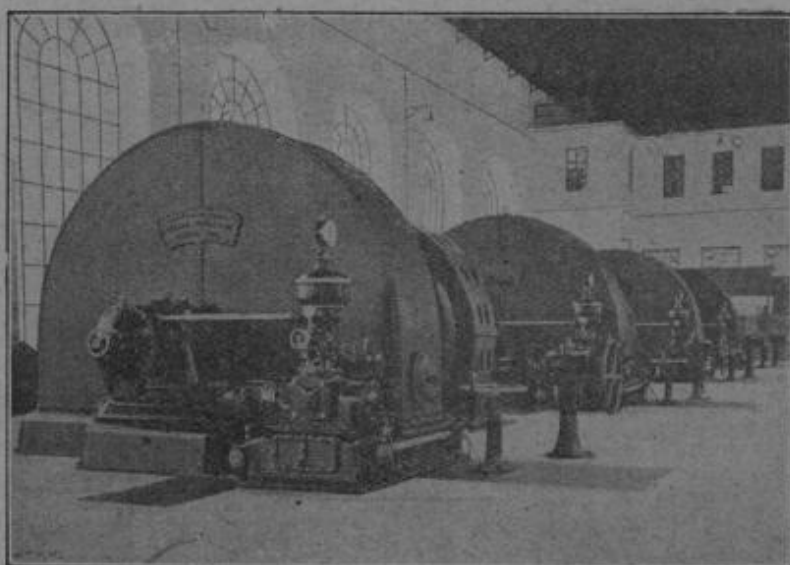


FIG. 1022. — Salle des Machines.

soit la maçonnerie si des précautions n'étaient prises pour éviter un pareil inconvénient.

Le régulateur est du type automatique à double action agissant sur un écran déviateur et sur le pointeau distributeur ; il est semblable à celui utilisé à l'usine de Rjukan, sauf que le piston du daspot, commandant l'écran, est reporté à l'extérieur du servo-moteur principal.

Le robinet à pointeau est remplacé par un canal de forme hélicoïdale, de section constante et de longueur réglable, et c'est la résistance qu'il oppose au passage de l'huile qui permet de régler à volonté le temps de fermeture du pointeau (quarante à cinquante secondes). Ce dernier est construit de façon que les poussées provenant de l'eau tendent constamment à l'ouvrir.

Pour une décharge brusque de 3.200 HP, l'augmentation de vitesse

pendant cette décharge n'a été que de $3\frac{1}{2}$ 0/0. La surpression pendant cette décharge a été au maximum de 6 0/0, soit de moins de 10 mètres.

USINE. — Elle renferme quatre groupes hydroélectriques de 3.000 HP chacun. Les turbines sont accouplées directement aux alternateurs, triphasés de 2.800 k. v. a., 10.000 volts, tournant comme il est indiqué plus haut, soit à 500 tours par minute.

TABLE DES MATIÈRES

TOME II

DESCRIPTIONS ET ÉTUDES D'USINES HYDROÉLECTRIQUES

CHAPITRE XVI

Usines jusqu'à 50 mètres de hauteur de chute

	Pages.
295. Usine hydroélectrique de Mazarin (Ardennes) (France)	1207
296. — Pases (Eure) (France)	1208
297. — Rheinfelden (Allemagne)	1211
298. — Chèvres (Suisse)	1213
299. — Brème (Suisse)	1217
300. — Augst et Wilhem (Allemagne)	1220
301. — Beznau (Suisse)	1229
302. — Hagneck (Suisse)	1235
303. — Hanfort (États-Unis)	1237
304. — Tuilière (Dordogne) (France)	1238
305. — Uppernborn (Allemagne)	1246
306. — Wangen (Suisse)	1251
307. — Canal Guiliari (Italie)	1253
308. — Jonage (Rhône) (France)	1258
309. — Stations de Chicago (Amérique)	1270
310. — Koebeck (États-Unis)	1274
311. — Cook (États-Unis)	1279
312. — Albi et Rungdalen (Allemagne)	1281
313. — Aelf et Karleby (Allemagne)	1283
314. — Pont-de-Claix (Isère) (France)	1288
315. — Saint-Félix (Savoie) (France)	1289
316. — Vinca (Pyrénées-Orientales) (France)	1290
317. — Saut Mortier (Jura) (France)	1291
318. — Fier (Haute-Savoie) (France)	1293
319. — Kikkelsrud (Norvège)	1300
320. — Usines Littoral Méditer. (France)	1304
321. — Gullipang (Suède)	1304
322. — Entraygues (Var) (France)	1307
323. — Great-Falls (Amérique)	1309
324. — Avignone (Isère) (France)	1311
325. — La Brillanne (Bas es-Alpes) (France)	1316
326. — Queille (Puy-de-Dôme) (France)	1331
327. — Marklissa (Silésie) (Allemagne)	1337

			Pages.
328.	Usine hydroélectrique de Teillet-Argenty (Cher) (France)		1338
329.	— — — Tre Monte et Piano d'Orte (Italie)		1345
330.	— — — Vizolla (Italie)		1348
331.	— — — Sauviat (Puy-de-Dôme) (France)		1351
332.	— — — Paderno et Brembo (Italie)		1355
333.	— — — Valteline (Italie)		1356
334.	— — — Saint-Maurice (Suisse)		1358
335.	— — — Trollhättan (Suède)		1360
336.	— — — La Vézère (Limoges) (France)		1362
337.	— — — Massaboden (Suisse)		1363
338.	— — — Trusca (Hérault) (France)		1366
338 bis.	— — — La Praz (Savoie) (France)		1368
339.	— — — Niagara (Amérique)		1368
340.	— — — Eymoutiers (Haute-Vienne) (France)		1377
341.	— — — Ventavon (Basses-Alpes) (France)		1381
342.	— — — Swalgfos (Norvège)		1394

CHAPITRE XVII

Usines de 51 à 100 mètres de hauteur de chute

343.	— — — Brigue (France)	1395
344.	— — — Porjus (Suède)	1398
345.	— — — Ponsonnas (Isère) (France)	1402
346.	— — — Canadian Niagara (Amérique)	1404
347.	— — — Cellina (Italie)	1405
348.	— — — Séchilienne (Isère) (France)	1406
349.	— — — Livet (Isère) (France)	1407
350.	— — — Le Refrain (Doubs) (France)	1410
351.	— — — Bucay (État de l'Équateur)	1424
352.	— — — Mordane (Ardèche) (France)	1425
353.	— — — La Kander (Suisse)	1426
354.	— — — La Pomblière (Savoie) (France)	1427
355.	— — — Molinar (Espagne)	1432
356.	— — — Saint-Jean de Maurienne (Savoie) (France)	1434
357.	— — — Genissiat (Rhône) (France)	1438
358.	— — — Giffre (Haute-Savoie) (France)	1457
359.	— — — Subiaco (Italie)	1458
360.	— — — Ulu Guroh (Malaisie)	1460
361.	— — — Jajce (Bosnie)	1461
362.	— — — Trenton-Falls (Amérique)	1462
363.	— — — La Vallée d'Areuse (Suisse)	1462
364.	— — — Fersina et Sarca (Italie)	1468
365.	— — — Thusis (Grisons) (Suisse)	1470
366.	— — — Kubel (Suisse)	1472
367.	— — — Banca (Basses-Pyrénées) (France)	1475
368.	— — — Ruetzbach (Autriche)	1478
369.	— — — Heimbach (Allemagne)	1479
370.	— — — Pescara (Italie)	1483

CHAPITRE XVIII

Usines de 101 à 200 mètres de hauteur de chute

371.	— — — Saint-Georges (Aude) (France)	1485
372.	— — — Bourailon (Isère) (France)	1488
373.	— — — Hofenfurt (Bohême) (Autriche)	1489

TABLE DES MATIÈRES

1661

			Pages.
374.	Usine hydroélectrique	Chutes du Zambèze (Afrique)	1489
375.	—	de Madières (Hérault) (France)	1491
376.	—	Darfo (Italie)	1495
377.	—	Calypso (Savoie) (France)	1495
378.	—	Gaucin (Espagne)	1500
379.	—	Venthon (Savoie) (France)	1502
380.	—	Somport (France)	1504
381.	—	Tivoli (Italie)	1508
382.	—	Rutz (Autriche)	1511
383.	—	Empreza (Portugal)	1512
384.	—	Bex (Suisse)	1514
385.	—	Fontpédroux (Aveyron) (France)	1514
386.	—	L'Argentière (Basses-Alpes) (France)	1516
387.	—	Chedde (Haute-Savoie) (France)	1516
388.	—	Montana Power (Amérique)	1519
389.	—	Froges (Isère) (France)	1520
390.	—	Gesse (Aude) (France)	1521

CHAPITRE XIX

Usines de 201 à 500 mètres de hauteur de chute

391.	—	Gampel (Valais) (Suisse)	1526
392.	—	Notre-Dame-de-Briançon (France)	1529
393.	—	Caffaro (Italie)	1532
394.	—	Soulom (Hautes-Pyrénées) (France)	1533
395.	—	Kern River (Amérique)	1538
396.	—	Tusciano (Italie)	1541
397.	—	Amsteg (Suisse)	1546
398.	—	Engins (Isère) (France)	1547
399.	—	Rjukanfos (Norvège)	1550
400.	—	Look Leven (Norvège)	1558
401.	—	Los Angeles (Californie)	1560
402.	—	Kundergrund (Suisse)	1561
403.	—	Rio de Janeiro (Brésil)	1563
404.	—	Obermatt (Suisse)	1564
405.	—	Flums (Suisse)	1567
406.	—	La Siagne (Alpes-Maritimes) (France)	1568
407.	—	Farettes (Suisse)	1572
408.	—	Snædon (Grande-Bretagne)	1576
409.	—	La Règeat (France)	1576
410.	—	Auzat (Ariège) (France)	1579
411.	—	La Cassagne (Aveyron) (France)	1590
412.	—	Campocologno (Suisse)	1593
413.	—	Stanislauss (Californie)	1599
414.	—	Adamello (Espagne)	1599
415.	—	Lancey (Isère) (France)	1603

CHAPITRE XX

Usines de 501 à 1.650 mètres de hauteur de chute

416.	—	Vernaraz (Suisse)	1606
417.	—	Porte (France)	1606
418.	—	Boulder (Colorado)	1607
419.	—	Barker (États-Unis)	1609
420.	—	Chippis (Suisse)	1609

			Pages.
421.	Usine hydroélectrique de Cernon et Bréda (Isère) (France)		1610
422.	— — — Viège (Valais) (Suisse)		1614
423.	— — — Eget (Hautes-Pyrénées) (France)		1618
424.	— — — Riton (Suisse)		1620
425.	— — — Capdella (Espagne)		1622
426.	— — — Orlu (Ariège) (France)		1629
427.	— — — Vouvry (Suisse)		1645
428.	— — — Fully (Suisse)		1654



