

# LA HOUILLE BLANCHE

J. REY, Éditeur, GRENOBLE

Abonnement pour une Année { France... 36 francs } Le Numéro 6 francs  
 { Étranger . 46 francs }

Compte Chèques Postaux LYON 5-84

## SOMMAIRE

**LES FORCES HYDRAULIQUES.** — Un demi-siècle d'efforts pour la conquête de la Houille Blanche : Histoire du Transport de force en France, Conférence de M. Charles LÉPINE, Ingénieur A et M. — Les Grands Aménagements Hydrauliques Transalpins (4<sup>e</sup> étude) : L'Aménagement général de la Scoltena (*suite*), par J BOUDER, Ingénieur A. et M., Membre de la Société des Ingénieurs civils de France et de « l'Associazione Elettrotecnica Italiana » (Sez. di Torino). — Aménagement du Rhin de Bâle à Strasbourg et à Laüterbourg (*suite*), par L. MAHL, Ingénieur.

**TRANSPORT DE FORCE** — Détermination du nouvel équilibre, après rupture d'une portée, des lignes électriques suspendues par chaînes d'isolateurs, par le Commandant DEWULF, ancien élève de l'École Polytechnique et de l'I. E. G.

**LÉGISLATION** — Les Sociétés Coopératives et les Groupements Coopératifs en présence des Lois fiscales de toutes catégories, par Paul BOUGAULT, Avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

**DOCUMENTATION. — INFORMATIONS. — BIBLIOGRAPHIE.**

## LES FORCES HYDRAULIQUES

Un demi-siècle d'efforts pour la conquête de la Houille Blanche

### HISTOIRE DU TRANSPORT DE FORCE EN FRANCE

Conférence faite à la Chambre de Commerce de Grenoble, le 10 mars 1926, par M. Charles LÉPINE, Ingénieur des Arts et Manufactures, Président de la Chambre de Commerce de Grenoble, de la XII<sup>e</sup> Région économique, et Vice-Président de l'Association des Producteurs des Alpes françaises.

#### A. — LES ORIGINES DU TRANSPORT DE FORCE.

L'Exposition Internationale de la Houille Blanche et du Tourisme qui, de juin à octobre 1925, a attiré à Grenoble de si nombreux visiteurs, a mis en évidence de façon heureuse les travaux remarquables exécutés dans tous les pays pour la mise en valeur des forces naturelles tirées de la Houille Blanche.

Dans cette courte conférence, laissant de côté l'électro-chimie et l'électro-métallurgie, je vais essayer d'esquisser à grands traits devant vous l'histoire de la seule industrie du transport de force qui couvre aujourd'hui la France d'une véritable toile d'araignée dont les fils ténus vont portant dans toutes les directions ces trois éléments de prospérité :

La lumière, la chaleur, la force motrice.

Dès la plus haute antiquité, les hommes utilisèrent la force de l'eau pour faire mouvoir des artifices puisque, si l'on en croit l'histoire, dès l'an 135 avant Jésus-Christ, CRÉSIBIUS inventa une roue à augets.

VITRUBE décrit longuement dans ses ouvrages les roues qui étaient employées de son temps.

Beaucoup plus tard, en 1547, un roi de France, Henri II, réglementa pour la première fois l'usage de la force hydraulique employée pour faire mouvoir les moulins à blé ou autres engins.

En 1737, BÉLIDOR donne une description détaillée avec planches à l'appui des importants moulins du Basacle à Toulouse, dans lesquels vingt-cinq rouets actionnaient chacun une meule à axe vertical.

Une reconstitution d'un de ces rouets due à M. l'Ingénieur ROUTIN, figurait à Grenoble, dans l'Exposition rétrospective organisée par la Chambre Syndicale des Forces Hydrauliques.

Ce rouet, reproduit très fidèlement, était alimenté par l'eau d'une bêche et tournait au grand étonnement des visiteurs intéressés par le fonctionnement de cet appareil désuet.

En 1827, la turbine, qui devait remplacer tous ces engins plus ou moins primitifs, fut inventée par un Français, Benoît FOURNEYRON, sorti major de la première promotion de l'École des Mines de St-Etienne.

C'est à Pont-sur-l'Oignon, dans la Haute-Saône, qu'il installa la première turbine centrifuge à injection totale, turbine qui fournissait 6 HP sous une chute de 1 m. 40.

En 1835, il fournissait aux filatures de St-Blaise, dans la Forêt-Noire, une turbine de 60 HP, fonctionnant sous 114 m. de chute.

La conduite forcée était en fonte, seule matière employée à l'époque pour la construction des tuyaux. Les épaisseurs en furent calculées par FOURNEYRON lui-même, mathématicien émérite

autant que constructeur habile, qui obtint pour cette turbine un rendement de 80 %.

Le buste de FOURNEYRON, qui fut à la fois un grand ingénieur et un hydraulicien consommé, figurait en bonne place à l'Exposition de Grenoble dans le stand de la Chambre Syndicale des Forces Hydrauliques, qui avait tenu à rendre ainsi hommage mérité au génial inventeur de la turbine.

Vers 1868, dans la riche vallée du Grésivaudan, dominée par la chaîne de Belledonne aux cimes couronnées de neige, deux ingénieurs des Arts et Manufactures, BERGÈS et FRÉDET et un industriel dauphinois, MATUSSIÈRE, aménageaient près de Grenoble deux chutes, l'une de 200 m., bientôt portée à 500 sur le ruisseau de la Combe de Lancey, l'autre de 137 m. sur le ruisseau de Brignoud.

Les turbines de la première chute faisaient mouvoir les défibreurs de la fabrique de pâte de bois de Lancey ; celles de la seconde, la machine à papier et les piles de la fabrique de papier de Brignoud.

Pour l'aménagement de ces deux chutes, qui furent les premières hautes chutes utilisées en France, les constructeurs substituèrent la tôle à la fonte pour la confection des conduites forcées, en raison des pressions élevées auxquelles devait être soumis le métal.

Le remplacement de la fonte par la tôle marqua un progrès réel et contribua sans aucun doute au développement de l'équipement des chutes d'eau.

La Houille Blanche commençait ainsi à être utilisée dans les turbines, mais ces dernières ne pouvaient transmettre l'énergie disponible sur leurs arbres que par l'intermédiaire de transmissions mécaniques, c'est-à-dire à très faible distance ou avec un rendement déplorable.

En 1873, à l'Exposition de Vienne, un autre Français, Hippolyte FONTAINE, ancien élève de l'École des Arts et Métiers de Châlons, démontrait qu'il était possible de faire fonctionner en moteur une dynamo Gramme et consacrait par une expérience retentissante le principe de la réversibilité de la dynamo.

Mais, pendant dix années, cette découverte qui aurait dû, par ses applications, révolutionner l'industrie, demeura sans utilisation et les transmissions mécaniques continuèrent à être seules employées.

Ce ne fut que vers 1883 que Marcel DEPPEZ, au cours d'expériences faites à Munich, à Grenoble, à Creil, reprenant et complétant les travaux de FONTAINE, résolut le problème du transport de l'énergie à distance au moyen de l'électricité.

Ce savant réussit à transporter à une distance de 56 kilomètres une puissance utilisable de 52 HP, avec un rendement de 45 %.

La voie était tracée, il n'y avait plus qu'à la suivre en profitant judicieusement des travaux de FOURNEYRON, de BERGÈS, de FRÉDET, de MATUSSIÈRE et de ceux de FONTAINE et DEPPEZ.

L'industrie du transport de force tirée de la Houille Blanche était née.

Il suffisait d'accoupler à la turbine utilisant l'énergie produite par la chute d'eau une dynamo génératrice, de recueillir le courant électrique sur des fils de cuivre et de brancher sur ceux-ci des dynamos réceptrices fonctionnant comme moteurs.

Mais le courant continu, seul employé, ne pouvait être produit qu'à une tension peu élevée, en raison de la difficulté d'isoler les lames des collecteurs.

On ne pouvait songer à transporter à grande distance des puissances importantes ; il eût fallu adopter des sections considérables pour les fils ou câbles de la ligne de transport ou consentir une chute de tension incompatible avec le bon fonctionnement des appareils récepteurs.

Aussi, dès l'apparition en 1886 du transformateur statique pour courant alternatif et en 1888 du moteur asynchrone polyphasé Tesla, on renonça au courant continu et c'est le courant alternatif sous la forme monophasée ou plus généralement triphasée qui fut adopté par les transporteurs de force.

Mais il ne suffisait pas de substituer au courant continu le

courant alternatif, il fallait encore augmenter suffisamment la tension de celui-ci pour le rendre pratiquement transportable à longue distance.

La technique du moment ne permettait pas de dépasser 10.000 volts et c'est cette tension qui vers 1897 fut adoptée sous le nom légèrement prétentieux de haute tension.

Quelques chiffres vous donneront un aperçu de l'importance du rôle de la tension dans la détermination du poids de cuivre des conducteurs.

Pour transporter à 100 kilomètres de distance au moyen de courant triphasé une puissance de 10.000 kilowatts, en consentant une

perte de 10 % et en admettant pour le facteur de puissance une valeur de 0,80, il faut :

Avec une tension de 10.000 volts, 730 kilos de cuivre par kilowatt transporté ;

Avec une tension de 20.000 volts, 183 kilos de cuivre par kilowatt transporté ;

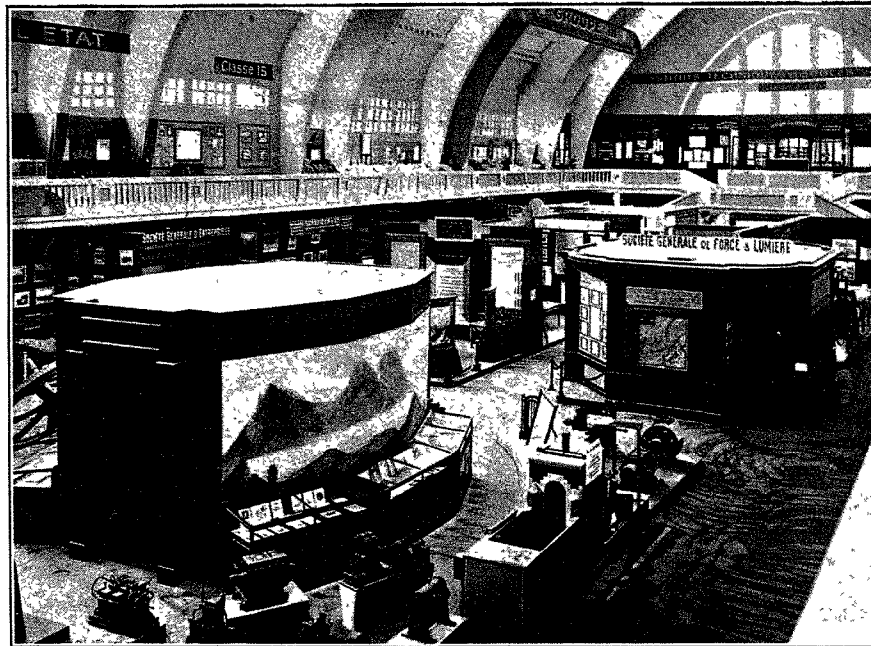
Avec une tension de 40.000 volts, 46 kilos de cuivre par kilowatt transporté ;

Avec une tension de 60.000 volts, 20 kilos seulement, le poids du cuivre étant inversement proportionnel au carré de la tension.

La seule dépense du cuivre, évaluée à 10 fr. le kilogramme, varie de 73 millions à 2 millions de francs selon qu'on adopte la tension de 10.000 ou de 60.000 volts.

La seule énonciation de ces chiffres montre la nécessité où se trouvèrent les transporteurs de force de renoncer très rapidement à la tension de 10.000 volts, insuffisante pour permettre de véhiculer à grande distance une puissance importante.

Aussi, dès 1898, une première ligne à 15.000 volts était réalisée



Exposition Internationale de la Houille Blanche de Grenoble 1925.  
Le Grand Palais.

avec succès par M. DUSAUGEY, ingénieur civil des Mines, pour un transport de force reliant les gorges d'Engins à Voiron.

En 1900, deux sociétés, la Société de Force et Lumière et la Société de Fure et Morge, qui aménageaient des chutes en Dauphiné, dans les environs de Grenoble, adoptaient la tension de 26.000 volts considérée à cette époque comme une tension excessivement élevée.

Je me rappelle encore cette journée de février 1902 où, pour la première fois en France, du courant à la tension de 26.000 volts fut lancé dans un réseau de distribution.

Je me trouvais sur la passerelle de l'usine de Champ avec M. BOISSONNAS, mon camarade RUL et les Ingénieurs de la Société BROWN-BOVERI.

Au moment où fut fermé l'interrupteur mettant la ligne sous tension, nous éprouvâmes une émotion bien compréhensible et nous attendions anxieux qu'il se produisît quelque chose d'anormal, d'extraordinaire.

Eh bien, il ne se produisit rien..., pas le moindre incident.

Mais, je puis bien l'avouer aujourd'hui, cet essai qui venait de démontrer d'une façon très nette que tout le réseau, lignes, transformateurs, appareillage, était capable de fonctionner normalement sous tension de 26.000 volts, ne m'avait pas entièrement rassuré sur les conséquences que pourrait avoir avec une tension aussi élevée un bris d'isolateur, une rupture de fil, un coup de foudre ou tout autre accident.

Comme on avait eu la précaution de prévoir les transformateurs d'usine et de réseau avec des enroulements primaires pouvant être couplés facilement en étoile ou en triangle, c'est ce dernier mode de couplage qui fut adopté provisoirement.

Le réseau de Fure et Morge fonctionna donc pendant quelques mois, sous 15.000 volts et ce ne fut que vers la fin de l'année 1902 que la tension de régime fut portée à 26.000 volts.

Ce souvenir personnel, que je m'excuse de rappeler, montre combien en peu d'années des progrès considérables ont été apportés dans l'industrie du transport de force puisqu'en 1902, une tension de 26.000 volts paraissait excessive et qu'aujourd'hui on utilise couramment des tensions de 120.000 et 150.000 volts.

On a même pu voir fonctionner, à l'Exposition de Grenoble, un poste en plein air de 220.000 volts.

Mais ces hautes tensions n'ont été adoptées que progressivement, les constructeurs perfectionnant leur matériel au fur et à mesure que les besoins des transporteurs de force l'exigeaient.

Ceux qui ont été les artisans de la première heure et les témoins attentifs des progrès réalisés pas à pas ont connu des jours sombres et n'ont pu oublier les difficultés rencontrées dans l'aménagement des premières usines de production d'énergie et de distribution de courant.

Le public ignorait tout de cette industrie nouvelle, les banques

ouvraient timidement leurs guichets et les ingénieurs devaient multiplier les conférences pour essayer de faire partager leur foi à des auditeurs incrédules.

Il fallait vaincre les difficultés techniques qui se présentaient nombreuses, vaincre les hésitations des industriels craignant de faire dépendre la bonne marche de leurs usines du fonctionnement d'un réseau, vaincre les craintes des financiers hésitant à confier des capitaux à une industrie qui n'avait pas fait ses preuves.

Mais si ceux qui ont contribué à doter la France de son magnifique réseau de distribution ont eu des débuts pénibles et parfois angoissants, ils sont récompensés aujourd'hui par le succès et le développement de leur œuvre puisqu'au 1<sup>er</sup> janvier 1924 la longueur des réseaux exploités dépassait 25.000 kilomètres.

Magnifique résultat si l'on considère que cette industrie ne compte véritablement qu'un quart de siècle d'existence.

## B. — LES PERFECTIONNEMENTS APPORTÉS AU TRANSPORT DE FORCE.

Pour se rendre compte d'une façon précise des progrès réalisés dans l'industrie du transport de force, il convient de considérer séparément chacun de ses éléments constitutifs.

Tout transport de force utilisant la houille blanche se compose essentiellement :

I<sup>o</sup> *D'ouvrages de prise et de dérivation*, barrages, grilles, vannes, chambres d'eau et de décantation, canaux, tunnels, conduites forcées, etc. ;

II<sup>o</sup> *D'usines génératrices*, bâtiments abritant turbines, alternateurs, transformateurs, tableaux, etc. ;

III<sup>o</sup> *D'un réseau de transport et de distribution* comprenant lignes, sous-stations de transformation, postes de répartition, postes de sélection, transformateurs abaisseurs, etc.

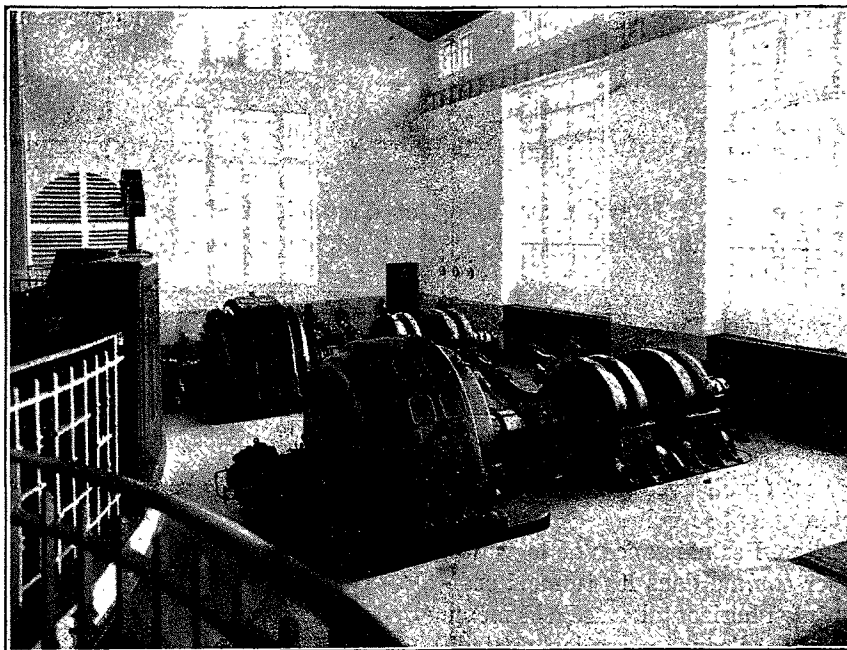
### I<sup>o</sup> *Ouvrages de prise et de dérivation.*

Les prises d'eau qui à l'origine étaient des plus sommaires ont été notablement perfectionnées. Les ingénieurs ont profité de l'expérience chèrement acquise par leurs devanciers et les ouvrages de prise et de dérivation nouvellement installés ont été étudiés en vue d'assurer à la fois la sécurité de l'alimentation et la réduction de la main-d'œuvre.

Tous les treuils de manœuvre des vannes sont mus électriquement et les chambres de décantation qui étaient très rudimentaires ont fait place à des bassins et à des désableurs aux formes savamment choisies dans lesquels se déposent les sables et les graviers.

Dans certaines usines, on a pu tripler la durée d'existence des roues de turbines par une bonne décantation des eaux d'alimentation.

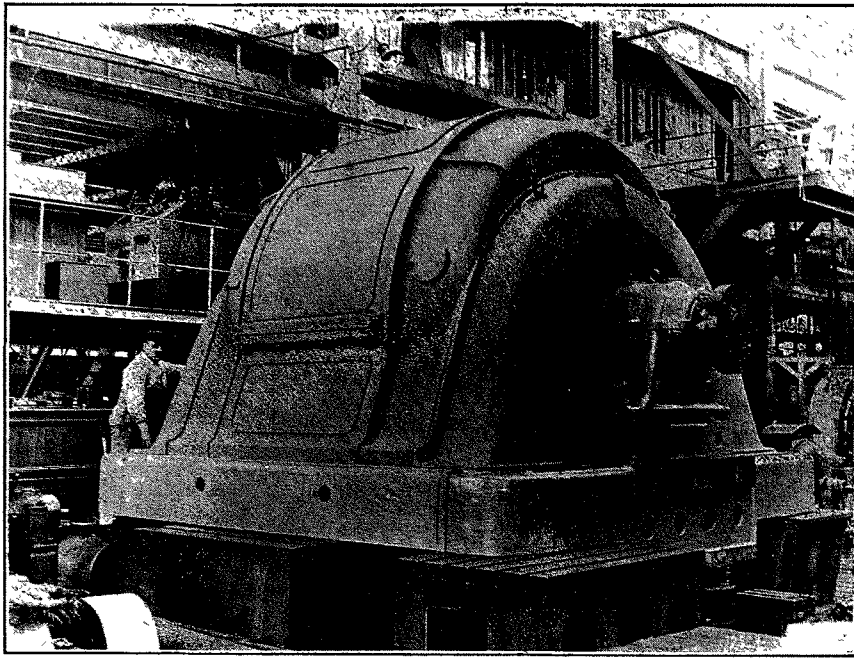
En 1910, un nouveau matériau, le gabion métallique, a fait son apparition. Il rend de grands services dans la construction des batardeaux et des digues de protection.



Usine de la Viclaire (Savoie).  
Groupes turbine-alternateur de 9.500 KVA, 500 tours, 16.500 volts

Ce matériau a été aussi employé avec succès pour la confection des barrages seuils établis dans des rivières à lit affouillable.

Une innovation heureuse est l'utilisation des tunnels de déri-



Alternateur triphasé de 9.000 KVA, 6.000 volts, 750 tours, destiné à la station de pompage de Belleville (Savoie). (Lac de la Girotte).

vation comme réservoirs journaliers destinés à fournir un volume d'eau supplémentaire au moment de la pointe d'éclairage.

Deux solutions sont adoptées :

La première consiste à donner au tunnel une *section constante* supérieure à celle nécessaire au passage du volume utilisé normalement et à mettre le tunnel en charge.

La seconde consiste à donner au tunnel une *section variable*, sans le mettre en charge.

Dans ce dernier cas, le radier est établi avec une pente suffisante pour débiter avec la section amont le volume d'eau nécessaire à la marche normale de l'usine. Les naissances de la voûte, au lieu d'être parallèles au radier comme dans les tunnels ordinaires, sont maintenues dans un plan horizontal arasé à la même cote que le déversoir de la chambre d'eau. La section aval du tunnel a la même largeur que la section amont, mais une hauteur beaucoup plus grande.

En marche normale, il reste au-dessus de la lame d'eau un vide, prisme triangulaire ayant pour hauteur la largeur du tunnel, pour base un triangle rectangle dont l'un des côtés est la longueur du tunnel et l'autre la différence entre la hauteur de la section aval et celle de la section amont.

Ce vide se remplit pendant la nuit et les heures creuses de la journée et le volume supplémentaire emmagasiné permet de fournir pendant les deux ou trois heures de « pointe » une énergie qui vient s'ajouter à celle produite par le débit de la rivière « au fil de l'eau ».

Cette disposition a été appliquée pour la première fois en 1903 au tunnel de la Roisonne et a donné d'excellents résultats ; elle a été adoptée en 1913 pour le tunnel de la Bourne, en 1916 pour celui du Bens et en 1924 pour celui du Bâton.

Les conduites forcées qui, au temps de FOURNEYRON étaient en fonte, au temps de BERGÈS en tôle, sont fréquemment construites en ciment armé lorsque le diamètre intérieur dépasse 3 m. et que la pression d'eau à supporter n'excède pas 50 m.

C'est en 1900 que, pour la première fois on construisit une conduite en ciment armé de 3 m.30 de diamètre, de 2 kilomètres de

longueur devant résister à une pression de 20 m. de hauteur d'eau. Elle venait se souder à un tuyau en tôle d'acier de même diamètre et de 2.500 m. de longueur.

Cette conduite en ciment armé, considérée à l'époque comme une entreprise très audacieuse, fut construite près de Grenoble. Les calculs en furent faits par M. DELAMARCHE, ingénieur civil des Mines, qui s'est spécialisé dans la construction des conduites en ciment de gros diamètre.

Placée dans la plaine de Champ-sur-Drac, elle fut dès sa mise en eau parfaitement étanche et depuis 23 ans qu'elle est en charge, elle n'a subi aucune réparation et se trouve en parfait état.

De nombreuses conduites en ciment armé ont été construites depuis 1903 et ont permis l'aménagement des chutes qu'il eût été difficile de réaliser économiquement sans l'emploi du ciment armé.

La dernière construite est celle de 6 m. de diamètre de l'Usine du Drac-Romanche, qui résiste à une pression de 20 m. et détient aujourd'hui par ses dimensions le record du monde.

Lorsque la pression dépasse 50 m., on renonce généralement à l'emploi du ciment armé et les conduites sont composées de viroles en tôles d'acier assemblées par des rivets. Pour les grandes pressions, on substitue aux conduites rivées les conduites soudées qui permettent de réaliser une économie appréciable

et d'obtenir une sécurité plus grande.

C'est grâce à ce nouveau mode de construction des conduites



Poste de Moirans.

Mise sous tension progressive et sélections de lignes 26.000 volts.

en tôle qu'on a pu aménager de très hautes chutes comme celles de Fully, des Sept-Laux et du Bâton, qui mesurent respectivement 1.635, 1.035 et 1.050 m. de hauteur.



L'emploi de conduites de gros diamètre donnant passage à des volumes d'eau pouvant atteindre 80 m<sup>3</sup> seconde et l'usage de conduites de grande longueur ont amené les constructeurs à étudier les dispositifs spéciaux supprimant ou tout au moins rendant inoffensifs les coups de bélier.

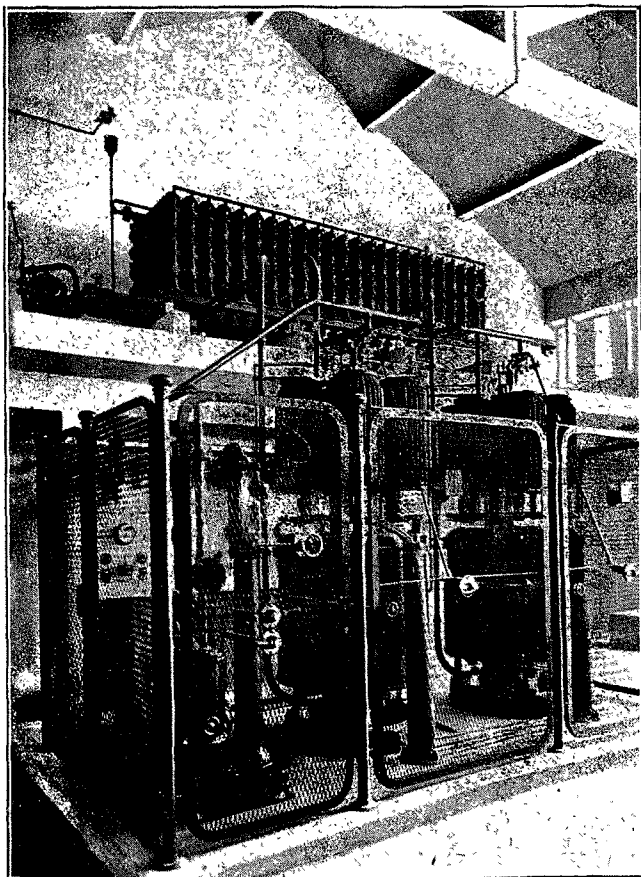
Ces dispositifs sont les régulateurs automatiques de pression, les vannes compensatrices, les déflecteurs, les cheminées d'équilibre.

Pour atténuer les dégâts causés par les ruptures de conduites, on place depuis quelques années au départ de la chambre de mise en charge des appareils de fermeture automatique, siphons ou papillons, qui obturent l'entrée de la conduite dès qu'une rupture s'est produite.

La première cheminée d'équilibre importante a été construite en 1900 à l'extrémité de la conduite d'alimentation de l'Usine de Champ. Elle mesure 37 m. de hauteur, 3 m. 30 de diamètre à la base et 2 m. au sommet.

L'une des plus curieuses dispositions prises pour supprimer complètement les coups de béliers dans une conduite de gros diamètre et dans le cas de basse chute, est celle adoptée à Pont-de-Claix dans l'usine du Drac-Romanche.

Le bâtiment d'usine est couronné par une vaste chambre d'eau en ciment armé régnant sur toute sa longueur et munie de déversoirs capables d'évacuer 80 m<sup>3</sup> seconde. La conduite de 6 m. de diamètre qui sert à l'alimentation de l'usine se relève à son extrémité aval pour venir déboucher dans la chambre d'eau d'où partent les puits verticaux d'alimentation des turbines.

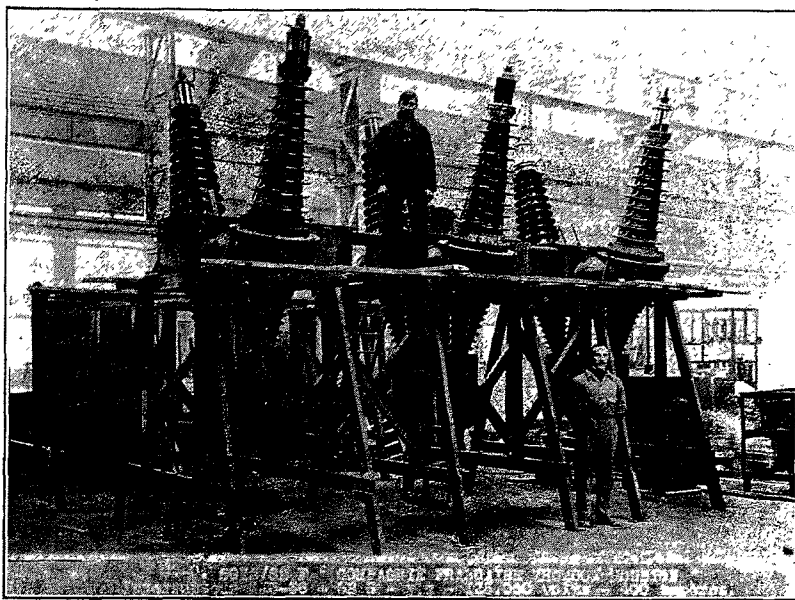


Transformation moderne des courants alternatifs en courant continu.

Station de redresseurs à vapeur de mercure à grand débit de la Croix-Rousse à Lyon (900 KW. — 500 Volts).

C'est une solution nouvelle, excessivement ingénieuse, qui supprime le collecteur, les vannes compensatrices et permet, en cas

d'arrêt total de l'usine, de rejeter dans le canal de fuite les 80m<sup>3</sup> seconde nécessaires à l'alimentation des usines situées en aval.



Interrupteur tripolaire à haute tension.  
Type 135.000 volts, 400 ampères (Les cuves sont enlevées).

Elle paraît devoir être retenue pour l'équipement des chutes à gros débit et faible hauteur.

## II. — Usines génératrices.

Pour abriter les turbines, alternateurs et transformateurs, on se contentait autrefois d'édifier de grands halls bien éclairés, suffisamment aérés, sans aucune prétention architecturale. Aujourd'hui on s'applique à donner à ces bâtiments un certain caractère, de façon à les harmoniser avec le site dans lequel ils sont placés.

C'est une satisfaction donnée aux grandes organisations touristiques qui ne cessaient d'accuser les industriels d'enlaidir les paysages les plus réputés. C'était d'ailleurs une accusation injustifiée, car si parfois les industriels ont par leurs constructions altéré la beauté d'un site, le plus souvent ils l'ont embelli par les déversoirs de leurs canaux, cascades artificielles, ne le cédant en rien pour la beauté aux cascades naturelles.

On peut citer comme exemple d'installation étudiée pour ne pas déparer le site dans lequel elle est placée, l'usine des Vernes qui, avec sa façade monumentale, ses effets d'eau obtenus par une disposition ingénieuse du déversoir, ses jardins suspendus, constitue une véritable œuvre d'art qui force l'admiration des touristes.

Cette usine modèle, que je ferai passer dans un instant sous vos yeux, est l'œuvre de M. Ch.-A. KELLER, aussi habile architecte que savant électro-métallurgiste.

Les turbines, qu'elles soient à axe vertical ou à axe horizontal, se rattachent toutes à deux types :

*La turbine à réaction, type Francis*, avec vannage à directrices mobiles, utilisée pour basses et moyennes chutes ;

*La turbine à impulsion, type Pelton*, avec injection tangentielle utilisée pour les hautes chutes.

Les unes comme les autres sont munies de régulateurs qui maintiennent la vitesse constante quelles que soient les variations de charge.

Les turbines Francis sont munies de vannes compensatrices lorsqu'elles sont alimentées par des conduites de grande longueur.

Ces vannes sont commandées par le régulateur et ont pour objet d'éviter la production de coups de bélier en cas de fermeture brusque du vannage de la turbine.

Au fur et à mesure que le régulateur ferme le vannage du distributeur, il fait ouvrir par la vanne compensatrice un orifice de section équivalente en communication avec le canal de fuite. Le débit restant le même, la vitesse dans le tuyau est maintenue constante.

Pour éviter toute perte d'eau, la vanne compensatrice une fois ouverte se referme automatiquement avec une certaine lenteur calculée pour rendre impossible la production d'un coup de bélier.

Les turbines Pelton sont munies de déflecteurs, sortes de volets actionnés par le régulateur qui, en cas d'augmentation de vitesse de la roue rabattent tout ou partie du jet dans le canal de fuite. Le déflecteur reprend sa position normale une fois que le pointeau en se rapprochant lentement de son siège a réduit la dimension du jet et mis le débit en harmonie avec la charge de la turbine.

Le rendement des turbines modernes atteint 85 à 90 %.

Pour diminuer le poids et par suite le prix des parties tournantes, on a recherché le moyen d'augmenter la vitesse des turbines. Les constructeurs ont été amenés ainsi à créer les turbines « Hélice », turbines à réaction à grande vitesse conservant un rendement élevé entre la demi-charge et la pleine charge.

Les alternateurs n'ont pu faire de grands progrès, car il y a vingt-cinq ans leur construction donnait déjà toute satisfaction. Ils étaient d'ailleurs plus largement dimensionnés qu'aujourd'hui et je pourrais citer des usines dans lesquelles, depuis 1902, des alternateurs tournent jour et nuit sans que leurs coussinets aient été changés ou même retouchés.

Les transformateurs sont de plus en plus poussés, souvent au détriment de la sécurité de fonctionnement.

Dans les usines modernes, la tendance est aux grosses unités. On voit fréquemment des turbines de 20.000, 30.000 et même 35.000 HP alors qu'il y a vingt ans une turbine était considérée comme imposante lorsqu'elle fournissait 5.000 HP.

Le choix de grosses unités permet de réduire les dépenses de premier établissement, par contre il présente l'inconvénient de priver les réseaux d'une puissance importante quand une machine est avariée ou en réparation.

Si l'emploi de très grosses unités est justifié dans les centrales thermiques par le meilleur rendement, l'économie de personnel, il ne semble pas, *a priori*, qu'il en soit de même dans les usines hydrauliques.

Quoi qu'il en soit, la mode est aux super-machines comme aux super-réseaux et aux super-centrales. Nous subissons l'influence des Américains qui ont toujours contemplé avec étonnement et quelque dédain nos petites installations. Nous avons tendance à les imiter bien que les conditions de la vie industrielle en France et en Amérique ne soient pas comparables et que nous ne puissions juger les choses avec la même échelle.

Les tableaux de distribution ont été complètement transformés. Les disjoncteurs, interrupteurs sont commandés électriquement de la passerelle où sont placés les boutons ou leviers permettant la conduite de l'usine. Dans certaines installations, les turbines mêmes sont mises en marche de la passerelle.

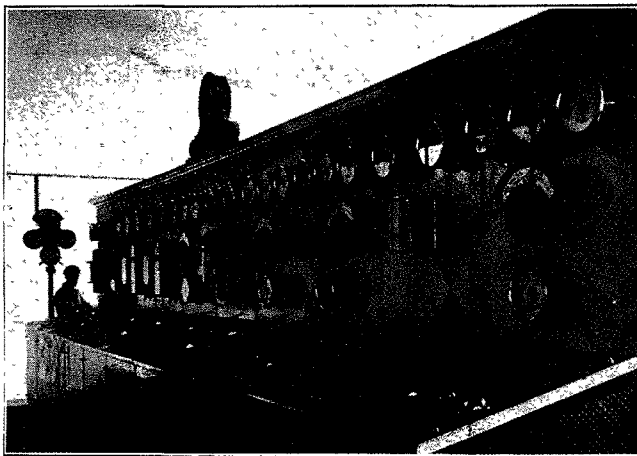
On peut assimiler la passerelle d'une centrale moderne à celle

d'un bateau de guerre d'où l'officier de quart peut, sans se déplacer, agir sur tous les organes vitaux du navire. Des lampes à feux diversement colorés servent de contrôle et indiquent la position de manœuvre des différents appareils.

Lorsque l'usine est alimentée par un tunnel-réservoir, lac ou bassin artificiel, un indicateur placé sur la passerelle donne à tout instant le niveau des eaux afin que l'électricien de quart puisse utiliser au mieux les réserves d'eau emmagasinées.

Dans certaines usines, des « Venturi » intercalés entre le collecteur et chaque turbine permettent de jauger le volume d'eau absorbée. En comparant les indications du « Venturi » et celles du wattmètre, on peut connaître à chaque instant le rendement du groupe turbine-alternateur et en déduire le degré d'usure de la roue mobile. Ces renseignements sont précieux pour le service d'exploitation et il est regrettable que le prix élevé des « Venturi » n'en permette pas la vulgarisation.

Toutes les usines dépendant de la même Société, de même que les prises d'eau, postes de distribution, postes de sélection, sont reliées entre elles par téléphone privé ou T. S. F., de façon à permettre l'exécution rapide de toutes manœuvres en vue d'obtenir le rendement maximum, tout en assurant la sécurité des personnes et du matériel.



Pupitre de manœuvre d'une grande centrale moderne.

### III. — Réseaux de transport et de distribution.

Actuellement les feeders et les lignes principales sont posés sur pylônes métalliques ou poteaux en ciment armé ; seules les lignes secondaires continuent à être établies sur poteaux de bois.

Le cuivre, qui était seul employé pour les fils et câbles des lignes électriques, est fréquemment remplacé par l'aluminium dont la technique est aujourd'hui parfaitement connue. Pour les lignes de grande portée, on emploie l'aluminium-acier souvent préféré au cuivre en raison de son coût moins élevé.

Les industriels de notre pays ne doivent pas oublier que l'aluminium est un métal essentiellement français et que nos importations de cuivre atteignent annuellement pour la seule industrie électrique plus de 500 millions de francs.

La situation de notre change doit donc les inciter à employer l'aluminium de préférence au cuivre pour la construction de leurs lignes.

Nous avons dit plus haut que le courant alternatif triphasé avait pris la place du courant continu dans les transports de force ; il existe cependant une exception.

En 1906, la Société Générale de Force et Lumière installait un transport de force par courant continu série entre Moutiers et Lyon en vue de convoyer sur 200 kilomètres un courant de 75 ampères sous 60.000 volts.

En 1911, le courant fut porté à 150 ampères sous 100.000 volts. Cette installation a donné d'excellents résultats et la Société de Force et Lumière se propose d'augmenter son importance en portant à 135.000 volts la tension entre fil et terre et en transportant une puissance de 40.000 kilowatts.

Les machines spéciales employées sont des génératrices à 3 induits montés sur le même arbre pouvant donner 5.000 HP. Le voltage de chaque induit est de 8.000 volts.

Ce transport de force par courant continu série est, à notre connaissance le seul fonctionnant en France et méritait d'être signalé.

Au fur et à mesure que les réseaux alimentés avec du courant triphasé se développaient, il fallut adopter des tensions de plus en plus élevées et arriver à 120.000 et 150.000 volts. Ces dernières tensions ont été adoptées par les Compagnies de chemins de fer du Midi et d'Orléans pour leurs grands feeders, par l'Energie Electrique de la Basse-Isère pour sa ligne de Beaumont-Montoux à St-Chamond, par la Société de Transport d'Energie des Alpes pour sa ligne de Viclaire à Lyon.

Pour ces très hautes tensions, il a fallu employer des isolateurs à chaînes et constituer tout un appareillage spécial qui donne d'ailleurs toute satisfaction.

L'extension des réseaux, en augmentant la longueur et le nombre des lignes desservies par des usines fonctionnant en parallèle afin d'en tirer la meilleure utilisation, a augmenté le nombre des arrêts fortuits. On a cherché à remédier à ces inconvénients en installant au nœud de croisement des diverses lignes des postes de sélection qui isolent automatiquement le tronçon avarié, réduisant ainsi notablement le nombre des arrêts.

*C'est là un des progrès les plus intéressants réalisés au cours de ces dernières années.*

En même temps qu'on perfectionnait les réseaux proprement dits, on améliorait les sous-stations de transformation et particulièrement celles qui transforment le courant alternatif en courant continu pour les services de traction et l'alimentation des tramways.

Les sous-stations de convertisseurs ou de commutatrices, véritables usines contenant du matériel en mouvement nécessitant pour leur conduite un personnel spécial, ont été remplacées avantageusement par des sous-stations munies de redresseurs de courant à vapeur de mercure.

De poids réduit, ne nécessitant pas de fondations spéciales, leur marche est silencieuse, leur mise en route simple, leur surveillance presque nulle. Ils peuvent supporter pendant quelques minutes des surcharges de 100 % et leur rendement est élevé, 92 à 94 %.

Ces appareils ingénieux et robustes constituent un perfectionnement réel.

Lorsqu'on eut amélioré successivement tous les éléments de cet ensemble qu'est un transport de force, on s'aperçut qu'en vulgarisant l'emploi du moteur individuel pour chaque outil, on diminuait la valeur du facteur de puissance du réseau qui, dans certains cas, devenait voisin de 0.50.

Conséquence, les alternateurs ne pouvaient donner leur pleine puissance et fournissaient un courant dévatté qui encombrait les réseaux ; le matériel mécanique et électrique était mal utilisé.

On dut recourir à des appareils spéciaux pour améliorer le facteur de puissance : moteurs synchrones, compensateurs de phase, condensateurs synchrones, condensateurs statiques, moteurs asynchrones, synchronisés, etc... et le rendement général put être ainsi notablement augmenté.

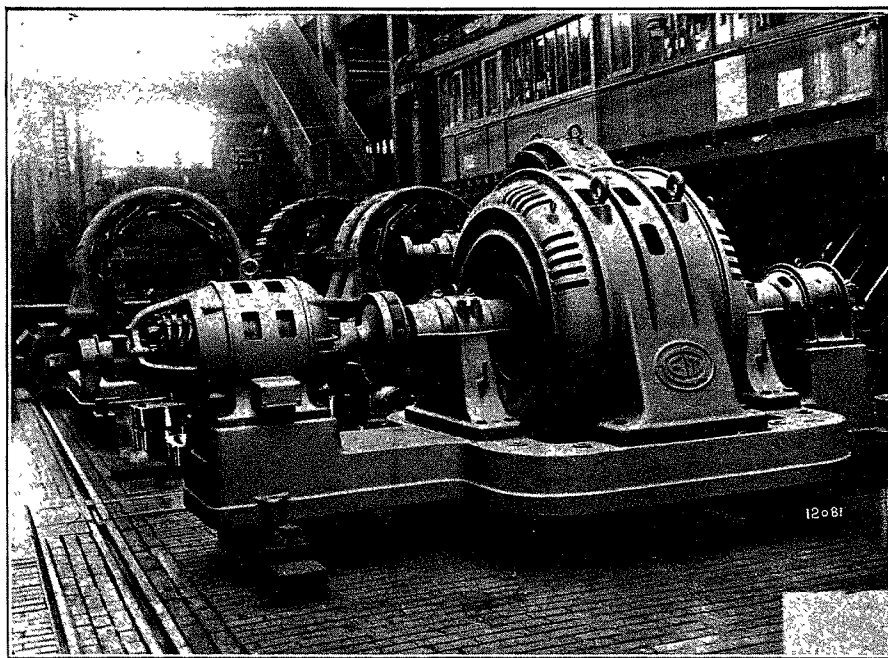
Mais chaque fois qu'un progrès était réalisé, une nouvelle difficulté se présentait qu'il fallait vaincre.

Ainsi l'adoption des très hautes tensions, 120.000, 150.000 volts a donné naissance à des phénomènes quelque peu déconcertants.

M. LAVANCHY a constaté que, sous l'influence de la capacité entre les 3 conducteurs d'une ligne de grande longueur à 150.000 volts, la tension mesurée à l'extrémité réceptrice était supérieure à celle mesurée à l'extrémité génératrice. Aussi, d'après cet ingénieur, pour réaliser avec ces très hautes tensions, une transmission à tension constante à tout régime, il faut installer une puissance apparente en condensateurs synchrones du même ordre de grandeur que celle de la puissance transmise.

Le condensateur synchrone devient ainsi l'organe régulateur de tout réseau de transport à très haute tension.

Comme on le voit, c'est pas à pas et par étapes successives que l'industrie du transport de force est arrivée au degré de perfection qu'elle possède aujourd'hui, degré de perfection dû au travail persévérant et ininterrompu des ingénieurs qui consacrent leur temps, leur intelligence, leurs connaissances et leurs facultés à cette grande industrie nationale dont la France a le droit d'être fière !



Amélioration du facteur de puissance.  
Compensateur synchrone de 2.000 KVA. 5.000 volts. 1.000 tours  
en usine du constructeur.

#### C.— L'UTILISATION DES LACS ET RÉSERVOIRS POUR LE TRANSPORT DE FORCE.

Les techniciens qui ont visité l'Exposition de Grenoble ont été frappés de la *concordance des efforts faits dans tous les pays* pour régulariser les débits inconstants des cours d'eau non plus par de l'énergie demandée à des usines thermiques, mais par l'utilisation des lacs naturels ou de réservoirs artificiels.

Les merveilleux lacs bleus des montagnes étaient autrefois réservés à la seule admiration des touristes. Aujourd'hui, sans rien enlever à la beauté des sites, ces lacs servent

à régulariser la marche des usines situées dans leur voisinage.

Ce sont les accumulateurs gigantesques qui fournissent pendant des semaines et des semaines une énergie complémentaire au moment où le volume des eaux des torrents issus des glaciers diminue de jour en jour pour tomber à l'étiage, cet épouvantail des exploitants d'usines hydrauliques.

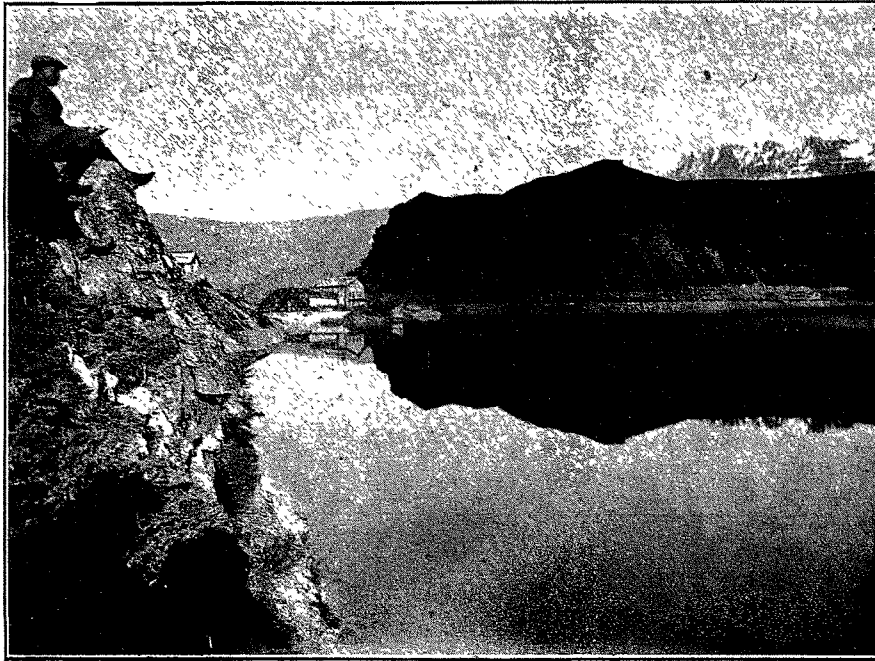
L'utilisation des lacs et des réservoirs a été un très grand perfectionnement apporté à la marche des réseaux de distribution et aujourd'hui, en France comme à l'étranger, il n'est pas de Société importante qui ne possède un ou plusieurs réservoirs saisonniers pour régulariser sa distribution d'énergie.

BERGÈS, ce précurseur de génie, avait compris tout l'intérêt que présentaient pour l'industrie les lacs de montagne et, dès 1897, il creusait un tunnel permettant d'utiliser les eaux du lac Croset sur une épaisseur de 25 m., ce qui lui assurait une réserve de plus d'un million de mètres cubes.

En 1903, c'est AUBRY, un autre industriel, qui songe à mettre en valeur le lac de la Girotte suivant un programme qui, modifié

à plusieurs reprises et considérablement agrandi par M. Paul GIROD, n'a été réalisé que l'année dernière par la Société d'Electro-Chimie et d'Electro-Métallurgie.

Ces travaux grandioses assurent à cette Société une réserve de



Le lac de la Girotte (Savoie), 1.730 mètres d'altitude. Déjà utilisé en 1892 par M. Aubry, a été percé à 80 mètres de profondeur en janvier 1925, par la Société d'Electro-Chimie et d'Electrométallurgie pour l'alimentation de l'usine de Belleville et la régularisation du Doron de Beaufort.

28 millions de mètres cubes; une station de pompage permet, pendant les périodes des hautes eaux, d'employer des résidus d'énergie à refouler dans le lac des eaux qui seront utilisées au moment des étiages.

En 1905, c'est la Société de Fure et Morge et Vizille qui aménage les lacs de Laffrey et Petichet, qui lui assurent une réserve de 6 millions de mètres cubes.

La Société de la Bridoire aménage le lac d'Aiguebelette, la Société Générale de Force et Lumière, les Sept Laux qui lui procurent une réserve de 9 millions de mètres cubes pouvant être utilisés sous 1.000 m. de chute.

Dans les Pyrénées, on voit successivement utiliser les lacs de Nalguilhes, d'En Beys, d'Oo, de Néouville, les lacs d'Orédo, de Cap-de-Long, d'Aumar et d'Aubert, les lacs de Pouchergues, de Callouas, le Lac bleu et nombre d'autres.

Lorsqu'il n'existe pas de lacs dans le voisinage des usines, on crée des réservoirs artificiels à l'aide de barrages, de façon à emmagasiner l'eau des crues.

Parmi les principaux ouvrages établis dans ce but, il convient de citer le barrage de la Sioule, celui de Rochebut sur le Cher, celui de Luzières sur l'Agout, celui d'Eguzon sur la Creuse, celui du Chavanon, sans compter tous les barrages projetés dont la construction sera prochainement entreprise, le barrage du Chambon sur la Romanche qui créera un réservoir de 52 millions de mètres cubes, le barrage du Sautet sur le Drac, qui constituera un lac de plus de 100 millions de mètres

cubes, ceux de Pradal sur la Truyère, de Graffeuille sur la Dordogne, etc...

Cette énumération, empruntée en partie à l'intéressant ouvrage de M. SYLVESTRE, montre la préoccupation de tous les distributeurs d'énergie de régulariser par l'accumulation d'eau dans des lacs ou des réservoirs les débits variables des cours d'eau.

En retenant les eaux des crues dévastatrices et en les transformant ultérieurement en énergie bienfaisante, les ingénieurs rendent un double service :

Aux agriculteurs et aux riverains, ils évitent les dégâts causés par les inondations, aux industriels ils fournissent une énergie jusqu'alors perdue et inutilisée, qui leur est distribuée aux périodes critiques d'étiage et de pénurie d'eau.

#### D. — RÉSUMÉ ET CONCLUSION.

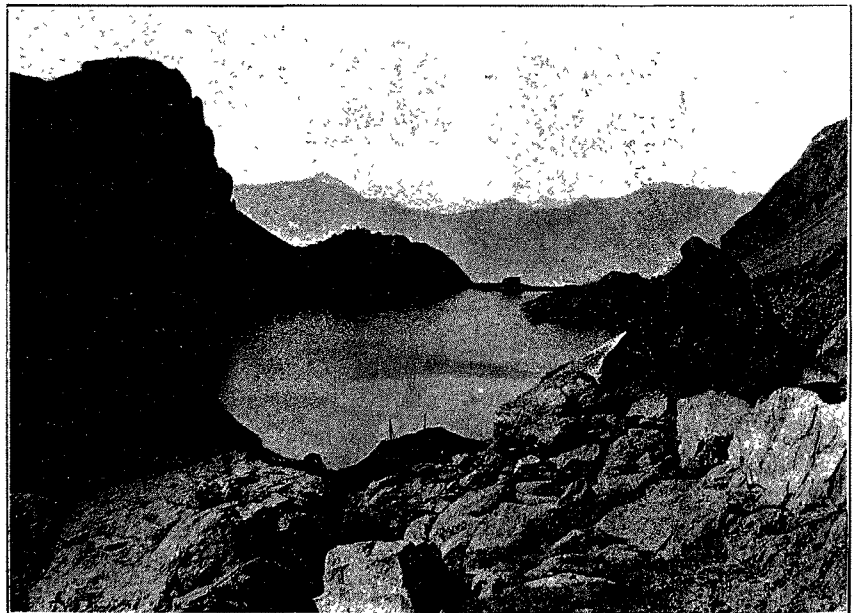
J'ai essayé de vous exposer très simplement l'histoire du transport de force depuis son origine jusqu'à nos jours.

Cette industrie, après des débuts difficiles, s'est développée grâce à l'incessable labeur des pionniers de la Houille Blanche qui avaient foi dans leur œuvre, grâce aussi aux avantages que procurait aux industriels la substitution de l'énergie hydraulique à l'énergie thermique.

Pendant ces vingt-cinq dernières années, elle a suivi une marche nettement ascendante.

En même temps qu'elle perfectionnait techniquement ses organes de production et de distribution, elle augmentait parallèlement ses ressources financières.

Les capitaux investis par les seules Sociétés de production et



Lac Crozet, massif du Belledonne. Utilisé dès 1897 par Aristide Bergès.

de distribution d'électricité qui s'alimentent sinon en totalité, du moins pour la plus grande partie aux sources d'énergie hydraulique, sont passés :



de 93 millions de francs en 1900		
à 200 — — en 1905,		
à 486 — — en 1910,		
à 724 — — en 1915,		
à 1.725 — — en 1920,		
à 2.545 — — en 1924.		

La France est riche en houille blanche; elle possède des ressources hydrauliques qu'on peut évaluer à 4.600.000 HP en période d'étiage.

Et à 9.200.000 HP en eaux moyennes.

Au 1<sup>er</sup> janvier 1924, un million de HP étaient en service et 500.000 en aménagement.

5.500.000 HP sont à l'étude ou en projet ou en instance de demande de concession.

Malgré le prix élevé du loyer de l'argent, notre pays a le devoir de mettre en valeur ses ressources hydrauliques, ne serait-ce que pour réduire l'importation onéreuse de la houille noire et contribuer ainsi dans une certaine mesure à redonner à notre franc déprécié une partie de sa valeur d'antan.

N'oublions pas que la France consomme annuellement vingt millions de tonnes de charbon de plus qu'elle n'en produit, ce qui représente un tribut d'au moins 2 milliards de francs payé chaque année à l'étranger.

D'ailleurs les gisements de charbon vont s'épuisant avec le temps; les réserves de houille blanche, au contraire, sont inépuisables.

Elles se renouvellent périodiquement suivant un cycle.

L'eau des pluies, des neiges et des glaciers, après avoir abandonné dans les turbines l'énergie qu'elle contient, s'écoule par les rivières et les fleuves jusque dans les mers pour être évaporée par les rayons solaires et retomber sous forme de neige ou de pluie bienfaisante, prête à être utilisée de nouveau.

*Cycle admirable dans lequel l'énergie solaire se transforme indéfiniment.*

Profitons de ces richesses que la nature nous prodigue si généreusement.

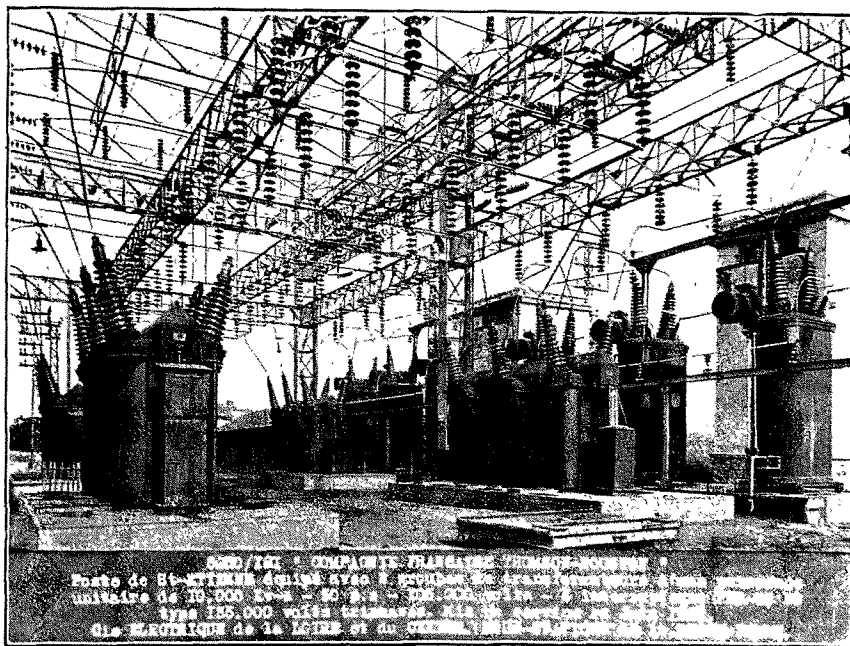
Ce n'est que lorsque les forces naturelles contenues dans les torrents qui dévalent des sommets, dans les lacs qui ornent les montagnes, dans les fleuves et les rivières qui serpentent dans les vallées, dans les marées qui baignent alternativement les côtes auront été utilisées, que les centrales thermiques devraient entrer en jeu. Elles rempliraient ainsi leur véritable rôle, celui d'usines de secours, d'usines de complément, de régulateurs d'étiages.

Qu'il me soit permis, en terminant cet exposé, de rappeler qu'en France c'est dans les Alpes Dauphinoises que furent équipées les premières chutes d'eau.

Aristide BERGÈS, Alfred FRÉDET, Amable MATUSSIÈRE furent les précurseurs de l'utilisation des forces naturelles tirées de la Houille Blanche. Dans leur petite patrie, leurs noms sont indissolublement liés à l'histoire de l'évolution économique de l'industrie dauphinoise, conséquence de l'aménagement des chutes d'eau.

*Ils ont été les premiers pionniers de la Houille Blanche.*

Ils ont eu le mérite de tracer la voie que depuis près d'un demi-siècle ont suivie avec tant de courage, de science, d'ardeur et de ténacité les ingénieurs et industriels dont l'Exposition de Grenoble a solennellement magnifié les remarquables travaux.



Poste de transformation 6.000/120.000 volts de la Basse-Isère.