

Dans ce cas, la formule (12) nous donne :

$$D = \sqrt[7]{\frac{0,046 \times 200 \times 1,4^3 \times 6000}{560 \times 0,1 \times 450}} = \sqrt[7]{3,6} = 1^m20$$

On trouve alors, avec la formule de Lévy :

$$J = 0,00018 \quad h = 0,0018 \times 2000 = 3,60$$

La vitesse de l'eau est ici de 1^m20.

Le pourcentage de la perte de charge brute est donc :

$$\frac{3,60}{500} = 0,6 \text{ pour } 100.$$

L. PIERRE,
Ingenieur I. E. G.

INSTALLATIONS HYDRO-ÉLECTRIQUES

LES INSTALLATIONS DE LA SOCIÉTÉ ANONYME DES FORCES MOTRICES DE BRUSIO

(Suite)

Station de transformation de Fiattamala

La vallée du Poschiavino, particulièrement étroite depuis Campocologno, laissait peu de choix pour la construction d'un bâtiment d'une certaine importance, il fallut cependant faire sauter plusieurs centaines de mètres cubes de rocher pour pouvoir dégager l'emplacement nécessaire.

La station de Piattamala est destinée à élever, de 7.000 à 50.000 volts, la tension du courant venant de l'usine de Brusio.

Elle se compose d'un vaste bâtiment de 55 mètres de longueur sur 21 mètres de largeur, et d'une tourelle annexe pour le départ des lignes à haute tension. Elle contient 24 transformateurs monophasés, prévus pour une puissance de 1.250 K. V. A., qui ont été fournis par la Société Alioth ainsi d'ailleurs que tout l'appareillage de la station.

CHAMBRE DES MESURES. — Le tunnel contenant la double canalisation triphasée dont il a été parlé précédemment, aboutit au rez-de-chaussée de la station d'où les conduites d'arrivée montent dans la chambre des mesures. Des couteaux permettent de couper la canalisation ou de réunir en parallèle ses deux branches. La station peut donc fonctionner avec les deux moitiés séparées ou montées en parallèle. On n'a pas employé d'interrupteurs automatiques, car le déclenchement subit de la charge totale aurait pu être dangereux pour l'installation hydraulique.

La chambre des mesures comporte, immédiatement après les couteaux de sectionnement, deux tableaux, munis chacun : de trois ampèremètres avec transformateurs d'intensité, dont un pour chaque phase ; — d'un voltmètre avec commutateur ; — d'un voltmètre enregistreur ; — et de deux wattmètres enregistreurs montés en série et fournis par deux constructeurs différents, cela afin d'avoir un double contrôle.

La même salle contient également les ampèremètres et voltmètres des lignes de départ à 50.000 volts, ce qui permet de surveiller d'un seul point le fonctionnement de l'ensemble.

Les barres à 7.000 volts sortant de la chambre des mesures, se rendent dans la salle des transformateurs, qui sont montés en étoile par groupes de trois.

Chaque groupe de transformateurs est pourvu d'un interrupteur tripolaire du côté 7.000 volts, et d'un interrupteur simple sur chaque phase de la haute tension. L'interrupteur à 7.000 volts et les trois interrupteurs à 5.000 volts de cha-

que groupe peuvent déclencher automatiquement au moyen d'un disjoncteur à relai monté sur la basse tension, ce qui assure l'isolement complet d'un groupe en cas d'accident, et empêche les autres transformateurs de débiter sur ceux qui sont avariés.

Toutes les canalisations électriques sont séparées les unes des autres par des cloisons en béton, c'est d'ailleurs là une règle absolue que l'on a suivie dans toutes les stations et sous-stations.

TRANSFORMATEURS. — Les transformateurs à noyaux verticaux (fig. 19 et 20) sont à bain d'huile refroidie par circulation d'eau. Au lieu du serpentin généralement adopté, la Société Alioth entoure la partie supérieure de la cuve à huile d'une chemise en tôle, dans laquelle l'eau froide, entrant par la partie inférieure, et sortant par en haut, se renouvelle constamment. Des nervures intérieures permettent d'activer le refroidissement. Avec ce système, on n'a pas à craindre les fuites.

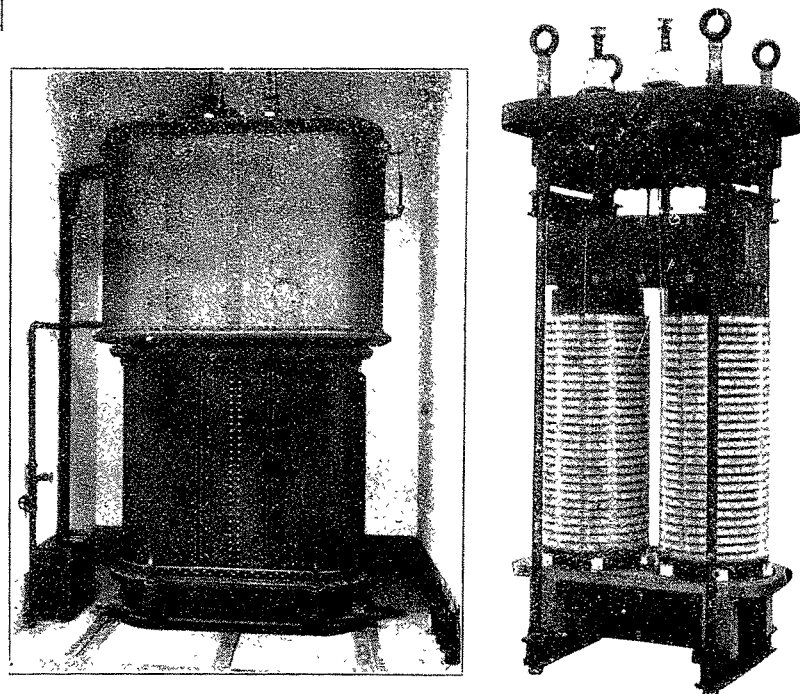


FIG. 19 ET 20. — TRANSFORMATEUR MONOPHASÉ DE 1.250 K.V.A.
A BAIN D'HUILE, REFRIGÉ PAR CIRCULATION D'EAU

La puissance normale des transformateurs est de 1.250 K. V. A. Le rapport de transformation de chaque groupe monté en étoile est, suivant la tension des aternateurs de la centrale,

$$\frac{7\,500}{47\,000} \quad \text{ou} \quad \frac{7\,700}{48\,300}$$

L'enroulement haute tension extérieur est constitué par 36 bobines empilées, et séparées les unes des autres par des cales isolantes en mécanite. De cette façon, la tension limite de 1.000 volts entre les extrémités d'une même bobine, que l'on s'impose généralement, n'est pas atteinte ; de plus, les réparations sont grandement facilitées, et le remplacement d'une bobine brûlée est une opération relativement rapide.

Les rendements imposés par le cahier des charges, soit 97,5 % à pleine charge, et 96,5 % à demi-charge, ont été facilement atteints (fig. 21).

Les chutes de tension prévues, et déterminées au moyen du diagramme classique de Kapp,

$$\text{soit } 1 \% \text{ pour } \cos \varphi = \bar{1}$$

$$\text{et } 2,2 \% \text{ pour } \cos \varphi = 0,80.$$

n'ont pas été dépassées.

L'élévation de température, mesurée par la méthode du thermomètre, n'a pas non plus dépassé les limites imposées, savoir :

- 45°C. au-dessus de la température ambiante, en utilisant 20 litres d'eau par minute ;
- 60°C. avec la même quantité d'eau, et une surcharge de 25 % pendant deux heures.
- 45°C. avec 40 litres d'eau, et une surcharge de 25 % pendant six heures.

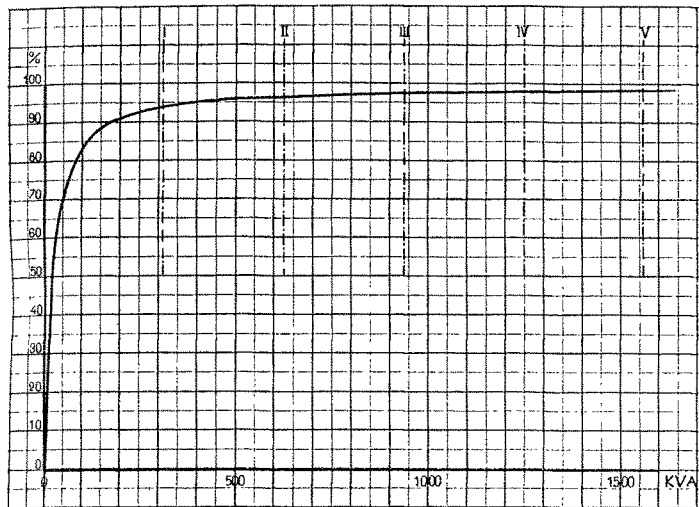


FIG. 21. — COURBE DE RENDEMENTS DES TRANSFORMATEURS

Enfin, l'essai de rigidité des enroulements, réalisé en appliquant pendant 10 minutes une tension alternative de 65.000 volts entre les deux enroulements, et entre la haute tension et la masse, n'a permis de relever aucun défaut d'isolement des bobines.

Nous croyons devoir signaler que la sous-station est munie de tout l'appareillage nécessaire pour le remplissage d'huile des transformateurs, ce qui permet de réduire considérablement la période de non-utilisation en cas d'accident. C'est, à notre connaissance, la première fois qu'une sous-station est aussi complètement équipée sous ce rapport.

Chaque transformateur est protégé par des bobines de self destinées à amortir les surtensions qui peuvent se produire lors de la mise hors circuit. Ces bobines d'induction sont constituées par un ruban de cuivre, de dimensions appropriées, enroulé sur un noyau en laiton, de façon à former une bobine d'une soixantaine de spires environ.

Le point neutre du primaire et du secondaire de chaque groupe est mis à la terre par un parafoudre à corne, de façon à dériver au sol les surtensions qui parviendraient aux enroulements. Ce dispositif implique un isolement parfait de toute l'installation et des lignes, en même temps qu'il est une garantie pour la bonne exécution et la sécurité de l'ensemble.

APPAREILS DE SÉCURITÉ AU DÉPART. — La tension particulièrement élevée, l'importance de l'énergie à transmettre, la longueur considérable de la ligne, et la fréquence des orages dans la région traversée, exigeaient un système de protection au départ très efficace et des plus complets. Après une étude approfondie des mesures à prendre, on s'arrêta aux dispositifs suivants :

En plus des bobines d'induction montées sur chaque groupe de transformateurs, une bobine identique est montée sur chaque ligne avant sa sortie de l'usine. Enfin, on a installé trois groupes de parafoudres ou limiteurs de tension ayant chacun un rôle bien déterminé :

1° Contre les décharges atmosphériques qui peuvent se produire à la terre, ou entre deux nuages, on a adopté des parafoudres ordinaires à cornes, réglés à 60 millimètres, en série avec des résistances liquides.

2° Des surélévations de tension, également très dangereuses, peuvent se produire, soit par induction quand une décharge atmosphérique se produit au voisinage des lignes, soit par une charge statique provenant du contact des lignes avec des nuages chargés statiquement ; des parafoudres à rouleaux, plus sensibles que les parafoudres à cornes, ont été prévus pour parer à ce danger.

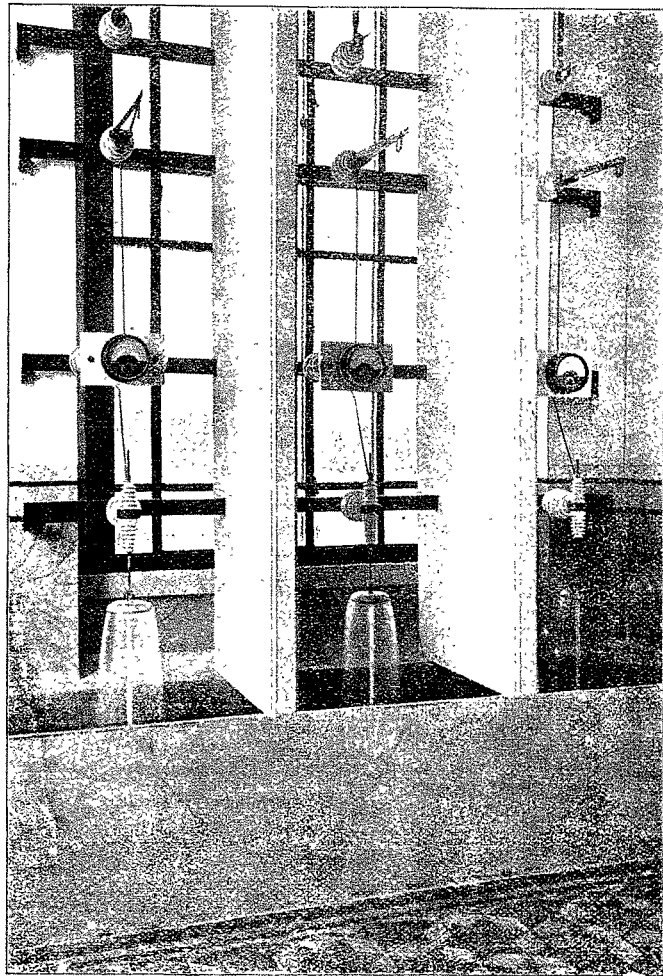


FIG. 22. — PARAFONDRE A JET D'EAU POUR 50 000 VOLTS

3° Enfin, les variations de courant ou de voltage donnant lieu à des surtensions parfois élevées, qui ne peuvent être éliminées par les deux systèmes précédents, à cause de leur fréquence et de leur pulsation très peu différente de la pulsation normale, mais contre lesquelles les parafoudres à jet d'eau (de plus en plus répandus aujourd'hui) sont très efficaces, chaque conduite de départ est mise à la terre par un jet d'eau, de dimensions et de pression déterminées, qui est projeté contre une plaque métallique reliée au fil de la ligne en passant par un ampèremètre (fig. 22).

L'ampèremètre permet de contrôler le courant traversant l'installation, et sert en même temps d'indicateur de terre, toute diminution de l'intensité dans une phase indiquant un défaut d'isolement. Les jets d'eau ascendants, d'un diamètre d'environ un centimètre pour une hauteur atteignant 50 centimètres, sont alimentés par une petite chute captée pendant la construction du tunnel.

Chaque parafoudre peut être mis hors circuit au moyen de couteaux. D'autres couteaux permettent de mettre toutes

les lignes à la terre après leur sortie de la tourelle de départ, de façon à permettre les réparations en toute sécurité. Enfin, chaque ligne à 50.000 volts est munie d'un interrupteur à huile (non automatique pour éviter le déclenchement subit de toute la charge).

Une dernière précaution a consisté à relier entre elles toutes les parties métalliques du bâtiment non parcourues par le courant, et à les mettre à la terre. La mise à la terre est assurée par trois plaques de fer éloignées les unes des autres et enterrées près du Poschiavino à plusieurs mètres dans la nappe d'eau souterraine. Les parafoudre sont reliés aux mêmes plaques.

sole en béton, et portent à leur partie supérieure six supports pour isolateurs à quadruple cloche en porcelaine.

La portée normale est de 120 mètres, mais un certain nombre de portées sont beaucoup plus grandes. La plus importante se trouve à la traversée du Gravina, près de Colico. Elle atteint 390 mètres. On a remplacé les câbles ordinaires par des câbles formés chacun de 19 fils de 2.65 millimètres de diamètre.

Les isolateurs, qui devaient présenter de sérieuses garanties au point de vue de la solidité mécanique et de l'isolement, ont été fournis par la *Société A. R. Ginori*, de Pise.

La construction de la ligne, commencée en 1905, a duré

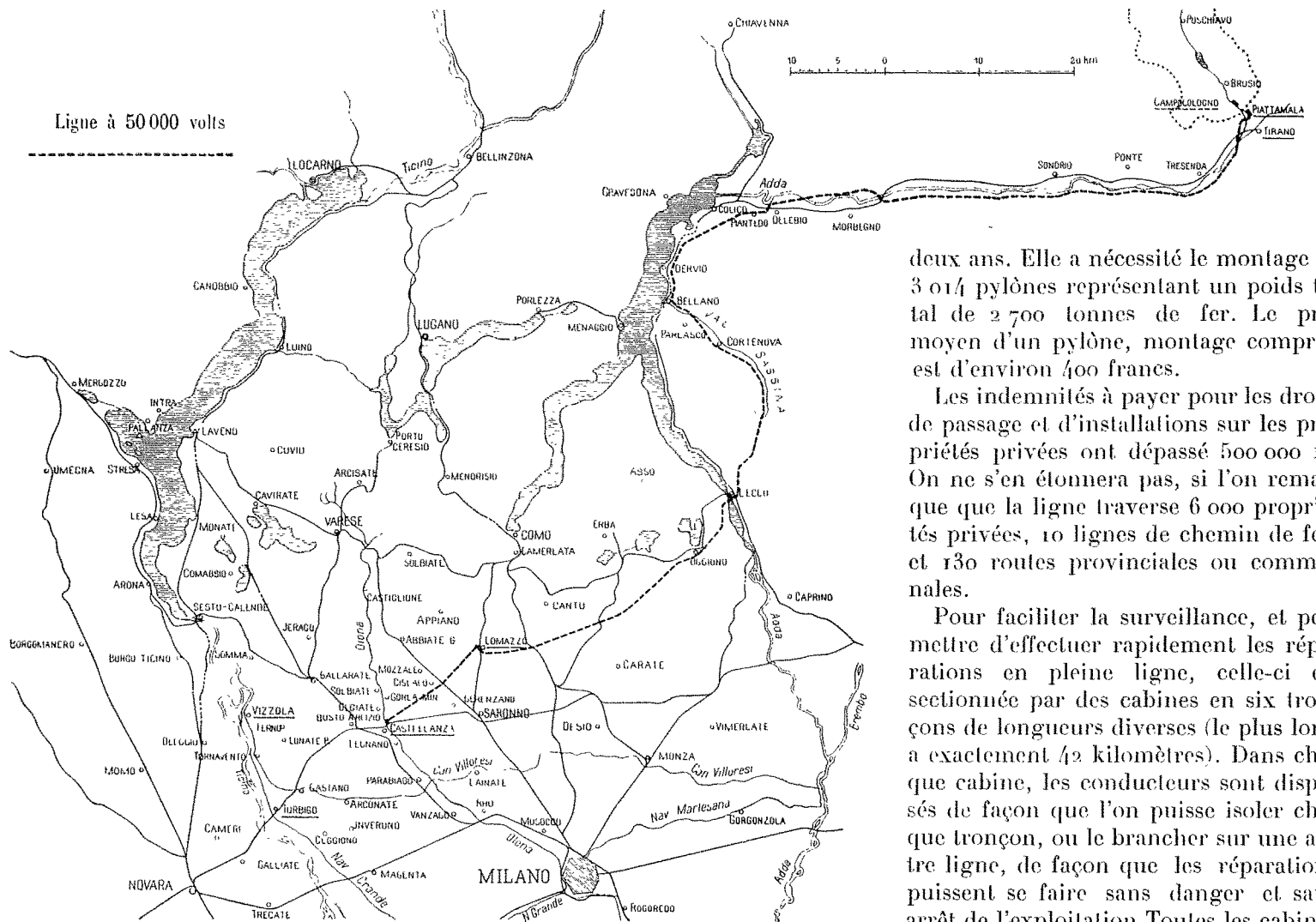


FIG. 23. — CARTE MONTRANT LE PARCOURS DE LA LIGNE A HAUTE TENSION QUI RELIE L'USINE DE BRUSIO A LOMAZZO ET CASTELLANZA.

Ligne à haute tension

La ligne haute tension, qui va de Piattamala à Lomazzo et Castellanza (voir fig. 23), en passant par Bellano et Lecco (sur le lac de Côme), a été étudiée et exécutée en entier par la *Société Lombarde pour la distribution de l'énergie électrique*. Elle suit généralement les routes ou les lignes de chemin de fer, ce qui facilite la surveillance et permet d'éviter les dénivellations brusques. Elle se compose de quatre lignes triphasées parallèles, montées par deux sur des pylones métalliques en treillis.

Ces pylones, que l'on a construit de quatre types différents pour satisfaire aux diverses conditions locales (angles, traversées de rivière, etc.), ont en moyenne 14^m50 de hauteur, et pèsent 700 kilogs. Ils sont cimentés dans un

deux ans. Elle a nécessité le montage de 3 014 pylones représentant un poids total de 2 700 tonnes de fer. Le prix moyen d'un pylône, montage compris, est d'environ 400 francs.

Les indemnités à payer pour les droits de passage et d'installations sur les propriétés privées ont dépassé 500 000 fr. On ne s'en étonnera pas, si l'on remarque que la ligne traverse 6 000 propriétés privées, 10 lignes de chemin de fer, et 130 routes provinciales ou communales.

Pour faciliter la surveillance, et permettre d'effectuer rapidement les réparations en pleine ligne, celle-ci est sectionnée par des cabines en six tronçons de longueurs diverses (le plus long a exactement 42 kilomètres). Dans chaque cabine, les conducteurs sont disposés de façon que l'on puisse isoler chaque tronçon, ou le brancher sur une autre ligne, de façon que les réparations puissent se faire sans danger et sans arrêt de l'exploitation. Toutes les cabines sont pourvues de parafoudres à cornes à résistances liquides, deux de parafoudres à rouleaux, et deux à jet d'eau.

Une ligne téléphonique, parallèle à la ligne à haute tension, relie les différentes cabines et les points extrêmes de l'installation. Elle est située à une distance moyenne de vingt mètres de la ligne principale, et montée sur poteaux en bois.

Sous-station de Lomazzo

La station de transformation de Lomazzo, où aboutissent les deux lignes venant de Brusio, constitue le véritable centre de distribution du transport d'énergie dont nous venons d'esquisser l'étude, car c'est elle qui fournit le courant aux différents réseaux de la Société italienne Lombarde.

Cette sous-station a été construite pour le compte de cette Société, d'après les plans de la Société Alioth, qui a également fourni tout l'appareillage électrique : transformateurs,

parafoudres, interrupteurs, etc. Elle est reliée par une ligne triphasée à la sous-station extrême de Castellanza, ce qui permet, grâce à un jeu de couteaux des plus simples :

1° d'alimenter les deux sous-stations avec les deux lignes d'arrivée en parallèle ;

2° d'alimenter chaque sous-station avec une ligne, ou avec les deux lignes montées en parallèle ;

3° d'alimenter Lomazzo par Castellanza, où se trouvent des groupes à vapeur de secours, en cas d'accident sur les deux lignes principales.

Nous ne nous attarderons pas à décrire la station de Lomazzo qui a été construite d'après les mêmes idées générales que celle de Piattamala. Contentons-nous de signaler qu'elle contient six transformateurs monophasés de 1 250 K. V. A., abaissant la tension à 11 000 volts (voltage normal des réseaux de la Société Lombarde), et six transformateurs triphasés de 500 kilowatts, de 11 000/20 000 volts, destinés au transport de 3 000 kilowatts à Côme. Les appareils de sécurité et de mise à la terre à l'entrée et à la sortie des lignes sont les mêmes qu'à Piattamala et nous n'y reviendrons pas.

Les transformateurs, toutefois, sont à ventilation forcée, et cela parce que l'on voulait voir, pendant la période d'essais, quel serait le meilleur système des deux. On a pu constater par la suite que tous les deux remplissaient parfaitement leur rôle. On peut cependant préférer le transformateur à ventilation forcée comme étant d'une surveillance et d'un entretien plus faciles. Par contre, le rendement est légèrement diminué, et un arrêt accidentel, toujours possible du ventilateur, est dangereux, car tout dispositif de refroidissement est alors supprimé. On a d'ailleurs prévu ce cas à Lomazzo, en installant deux puissants ventilateurs dont l'un est toujours en réserve.

Sous-station de Castellanza

La sous-station de Castellanza, point extrême de la ligne, est une annexe de la centrale à vapeur que possède la Société Lombarde, et qui comprend deux turbo-alternateurs de 5.000 chevaux, et deux groupes à vapeur de 2.500 chevaux. Cette usine sert de réserve aux centrales de Turbigio et Vizzola dont nous avons dit un mot au début. Il était donc naturel de la relier au réseau général.

Nous avons dit plus haut comment il était possible d'effectuer entre Lomazzo et Castellanza, toutes les combinaisons possibles permettant l'alimentation de l'une ou l'autre des sous-stations, voire de toutes les deux de différentes façons.

La disposition intérieure de la sous-station, conçue d'après des plans analogues à ceux des stations de Piattamala et de Lomazzo, ne présente aucune particularité, si ce n'est que la place faisant défaut, on fut obligé de disposer les conduites et appareils divers dans trois étages différents.

Une modification mérite cependant d'être signalée ici : les relais des disjoncteurs automatiques peuvent être branchés sur la bobine de déclenchement de l'interrupteur, de façon que ce soit ceux du circuit haute tension qui déclenchent quand Castellanza fonctionne comme sous-station, et ceux du circuit basse tension quand elle fonctionne comme station génératrice, cela en vertu de son rôle éventuel comme usine de secours. C'est également pour la même raison que des bobines d'induction ont été placées sur les deux enroulements des transformateurs.

Mise en marche

Dès le mois de novembre 1906, les installations étaient suffisamment avancées pour que l'on pût songer à une mise en exploitation graduelle et, dès le mois suivant, on pût procéder aux essais de mise en charge. Le 7 décembre, on fit les premiers essais à 40.000 volts entre les sous-stations de Lomazzo et Castellanza, puis sur toute la ligne, depuis Piattamala, et après des essais de débit en charge sur résistances. Le 8 mars 1907, l'exploitation régulière commença avec une charge de 3.000 kilowatts. Huit mois après, elle était passée à 12.000 kilowatts et, dans le courant de l'année 1908, elle atteignit rapidement 16.000 kilowatts, chiffre prévu au contrat passé entre les deux sociétés intéressées.

Les prévisions des ingénieurs et des constructeurs chargés de l'entreprise avaient ainsi été réalisées, et au-delà, sans aucun incident, et c'est là une raison de plus qui fait que ce transport de puissance de 180 kilomètres, dont nous n'avons pu donner, ici, qu'une très sommaire et bien imparfaite description, transport remarquable par son agencement irréprochable et les dispositions particulièrement heureuses adoptées, peut être considéré, à juste titre, comme l'un des plus parfaits existant actuellement en Europe.

Georges FERROUX,

Chargé de Conférences

à l'Institut Electrotechnique de Grenoble.

HYDRAULIQUE

LA DURANCE ET SON UTILISATION

(Suite)

Nécessité de régulariser le régime de la Durance

Les indications que nous avons données au sujet du débit de la Durance montrent combien est variable le régime de cette rivière torrentielle. A Roussel, elle descend à 19 m³ par les basses eaux d'hiver, pour atteindre en temps de crue 1.500 et même 1.800 m³ par seconde. A Mirabeau, ses débits extrêmes ont été de 41 et de 6.000 mètres cubes.

Ce régime torrentiel s'accommode mal avec les besoins de l'agriculture et de l'industrie. De plus, les grandes crues sont très dommageables aux riverains dont elles corrodent les terres et les inondent quelquefois. C'est surtout dans la basse Provence, en aval de Mirabeau, que les inondations ont été désastreuses. On a conservé, notamment, le souvenir des crues de 1843, 1856, 1882 et 1886, qui ont emporté des ponts, submergé et rompu des digues et inondé de vastes plaines cultivées.

Pénuries d'eau agricoles. — Pendant longtemps, le débit de la Durance a été toujours suffisant pour assurer largement l'alimentation des canaux d'irrigation qui en sont dérivés. Ceux-ci étaient moins nombreux, et les besoins moins grands qu'aujourd'hui. D'un autre côté, il n'est pas douteux que le débit d'étiage d'été tend à diminuer, par suite de la régression des glaciers qui existent dans les parties supérieures du bassin de la Durance. Ce phénomène a été nettement constaté par les géologues, surtout pour les petits glaciers, dont certains sont appelés à disparaître avant longtemps.

Quoi qu'il en soit, il est un fait certain, c'est que, depuis 1895, pour ne pas remonter plus haut, il arrive en moyenne une année sur deux que le débit disponible est insuffisant