

Si médiocres qu'elles soient, ces utilisations anciennes n'en constituent pas moins un gros obstacle à un aménagement plus complet. A l'inverse de la Durance, qui divague dans de vastes champs de graviers, les cours d'eau du bassin de la Haute-Garonne ont des lits encaissés qui facilitent les petites utilisations agricoles ou industrielles.

Entre Toulouse et la mer, la puissance hydraulique de la Garonne n'a pas une grande importance ni une grande valeur, tant à cause des faibles pentes que des faibles débits d'étiage. Elle n'est pas comparable à celle du Rhône entre Lyon et la mer : le Rhône a des pentes plus fortes et des débits d'étiage six ou sept fois plus importants.

#### d). — IMPORTANCE DES LACS

C'est tout près des sommets où de nombreux lacs existent et où l'on peut en créer d'artificiels, comme l'a prouvé depuis longtemps déjà l'initiative du Ministère de l'Agriculture, que se trouve la véritable richesse des Pyrénées. C'est là d'ailleurs qu'on cherche surtout à l'aménager. La situation est toute autre que dans les Alpes provençales, où il n'existe pour ainsi dire pas de lacs et où les emplacements de réservoirs sont rares.

Les lacs des Pyrénées remplacent avantageusement les glaciers des Alpes. Qu'on aménage des lacs naturels ou qu'on en crée d'artificiels, on peut dans les deux cas régler à volonté les écoulements, ce qu'on ne peut faire avec les écoulements glaciaires qui présentent, dans la saison même de la fonte, des intermittences accentuées et gênantes.

Toutefois, il ne faut pas se dissimuler que tout en constituant une merveilleuse ressource, l'utilisation au mieux des intérêts généraux des réservoirs naturels ou artificiels soulève un problème extrêmement délicat. Dans bien des cas la solution du problème exigera une intervention administrative qui ne saurait être préparée trop à l'avance par une étude minutieuse des écoulements naturels.

Pour arrêter les conditions même de l'aménagement, déterminer la capacité des réservoirs, fixer les règles à suivre pour le remplissage et la vidange, il faudra jauger les émissaires autrement, et plus complètement à certains points de vue, que les cours d'eau principaux. Ce qu'il importe d'évaluer dans ce cas, ce ne sont pas seulement les variations journalières des débits compris entre l'étiage et les eaux moyennes, ce sont plutôt les débits totaux, susceptibles d'alimenter les réservoirs au cours de l'année.

Avec raison on a déjà constitué plusieurs postes de jaugeage sur les émissaires des lacs. Il conviendra de diriger les opérations de façon à jauger les eaux fortes comme les eaux moyennes ou basses, et à recueillir ainsi sur les écoulements totaux et sur les « modules » des données qui ont d'ailleurs leurs places dans les formules de notre Service.

En raison de la convexité accusée du profil en long des vallées principales, les émissaires des lacs, ou des plateaux élevés susceptibles d'être transformés en lacs, ont en général, dans leur partie médiane, de très fortes pentes, qui rendent avantageuse la création d'usines hydrauliques, mais qui ne facilitent pas l'établissement de postes de jaugeage, avec ou sans barrages. Peut-être sera-t-il plus facile de jauger les émissaires, soit à leur sortie des plateaux, soit à leur confluent avec les cours d'eau principaux.

\* \* \*

Le rapport de M. TAVERNIER se termine par un aperçu sur le mode d'utilisation des forces hydrauliques de la région pyrénéenne et notamment par la liste des usines hydrauliques créées pour l'électrification d'une partie des lignes du

réseau de la Compagnie des chemins de fer du Midi. Nous proposons de revenir en détail, dans quelque temps, sur ce sujet, nous ne dirons rien de cette partie du rapport, qui ne renferme du reste d'autres renseignements que ceux déjà donnés dans les précédents numéros de cette Revue par M. Bernardin en analysant le travail de M. Robert PINOR sur l'état actuel de l'Industrie des Forces hydro-électriques.

Le tome I des *Comptes rendus* contient entre autres études techniques, une note extrêmement intéressante sur la « Détermination de la capacité à donner aux réservoirs en haute montagne », par M. MALTERRE, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. Certain qu'elle intéressera un grand nombre de nos lecteurs, nous reproduirons cette note dans un prochain numéro.

## ISOLATEURS POUR LIGNES A HAUTES TENSIONS (1)

L'utilisation des forces hydrauliques, de plus en plus éloignées des centres industriels, conduit à augmenter la tension des lignes de transport d'énergie à longue distance. Mais l'un des obstacles les plus importants qu'on trouve dans l'emploi des hautes tensions, et le plus grave de tous, est la difficulté d'assurer un isolement suffisant des lignes, surtout dans les régions humides et pluvieuses.

De diverses expériences faites, il résulterait que les isolateurs rigides, du type habituellement employé, ayant les conducteurs fixés à la partie supérieure, et un pivot ou support en fer pénétrant dans l'isolateur par la partie inférieure, ne sont pas pratiquement conseillables pour des tensions d'utilisation supérieures à 75 000 volts. Encore leur coefficient de sécurité est-il toujours assez faible, malgré leurs dimensions et leurs poids très élevés : placés sous la pluie, de tels isolateurs commencent à donner des pertes sensibles pour des tensions peu supérieures à celles d'utilisation.

Pour ce qui concerne les dimensions, et par suite le coût et la difficulté de transport et de montage, il faut se rappeler que la grandeur d'un isolateur, pour être résistant sous la pluie à une tension donnée, croît non pas proportionnellement à la tension, mais d'une manière beaucoup plus rapide.

En outre, les constructeurs des lignes électriques déplorent aussi que les isolateurs, pour des tensions de plus de 70 000 volts d'utilisation, soient trop pesants et, par suite, de transport et de montage très difficiles, surtout dans les régions montagneuses. Cette plainte est justifiée, car un isolateur, pour une tension de 70 000 volts d'utilisation, pèse environ 24 kgs et le support 14 kgs. Pour 80 000 volts, le poids de l'isolateur arrive à 30 kgs et celui du support à 17 kgs. Mais il ne faut pas oublier que les types d'isolateurs plus légers (toujours dans le genre rigide, à support inférieur), s'ils sont moins coûteux, n'ont donné que de mauvais résultats.

Dans les isolateurs formant bloc rigide, c'est-à-dire formés de deux ou plusieurs cloches, enfilées et cimentées concentriquement l'une sur l'autre, un autre défaut grave est que la distribution du potentiel, tant à travers l'isolant qu'à la surface de l'isolateur, est assez mauvaise.

En ce qui concerne la distribution de la chute de potentiel sur la surface externe de l'isolateur, l'étude analytique est

(1) Extrait d'une communication faite par M. E. ALESSANDRI, à l'Associazione elettrotecnica italiana, à Milan, le 12 janvier 1912. (*Atti della Associazione elettrotecnica italiana*, t. XVI, mars 1912, p. 167). — Voir aussi *La Revue électrique* du 28 juin 1912.

presque impossible. L'unique affirmation que nous puissions déduire de l'expérience est que le gradient superficiel de la tension est tout autre qu'uniforme. Il est maximum au voisinage du collier de l'isolateur et de la cavité interne de la cloche qui contient le support ou tige de fer, ce qui est mis en évidence par la production d'effluves et d'aigrettes en ces points pendant que les autres parties de l'isolateur ne présentent aucun phénomène, lorsqu'on fait croître la différence de potentiel entre le collier et le support.

Pour éliminer les inconvénients que présentent les isolateurs ordinaires, on eut l'idée de mettre plusieurs isolateurs en série, et d'en former une chaîne à l'extrémité inférieure de laquelle est suspendu le conducteur. Ainsi furent construites diverses lignes américaines, avec des isolateurs formés de disques disposés les uns au-dessus de autres. Mais ce type ne donna pas des résultats excellents.

Par suite de la mauvaise distribution du potentiel à la surface, le gradient de potentiel a des valeurs beaucoup plus élevées aux points d'entrée de la corde métallique utilisée pour la liaison, que dans les autres régions de la surface ; pour mettre ce fait en évidence sans aucune mesure, il suffit de soumettre, dans les ténèbres, une chaîne d'isolateurs d'un type ci-dessus à une différence de potentiel élevé ; tous les trous de passage de la chaîne de liaison et le voisinage de ceux-ci deviennent lumineux par suite des effluves et des étincelles crépitantes.

De plus, ces isolateurs sont mal protégés contre la pluie, ce qui diminue la résistance à l'arc superficiel.

En outre, la corde métallique assemblant les éléments de la chaîne s'use rapidement, et se rompt sous l'effet des oscillations et vibrations de la ligne produites par les variations continues du champ entre la porcelaine et le métal, ainsi que sous l'action de l'ozone et des vapeurs nitriques formés dans les trous des attaches, où la densité électrique est plus grande.

On imagina alors des isolateurs avec des éléments en série, mais, au lieu d'attacher les éléments entre eux au moyen de chaînes d'anneaux ou de cordes métalliques, on enferma la partie supérieure des éléments dans une cloche ou chapeau métallique et, dans la partie inférieure, on fixa avec du mastic une tige de fer munie de boulons ou crochets, destinés à s'engager dans l'anneau du chapeau de l'isolateur suivant. On obtient ainsi le type d'isolateur moderne représenté figure 1.

Les isolateurs de ce modèle donnèrent, au point de vue électrique, des résultats parfaits, bien supérieurs à ceux qu'on aurait pu prévoir par l'examen de leurs dimensions. En effet, la première fois qu'on expérimenta avec une chaîne de trois éléments, on fut surpris de la valeur énorme de la différence de potentiel qu'on put établir entre les extrémités de la chaîne, sous une forte pluie inclinée à 45° sur la verticale, sans donner naissance à des effluves ou luminosités quelconques et sans que l'oreille perçoive le crépitement caractéristique dû aux pertes superficielles.

L'arc superficiel ne s'amorçait que pour une tension bien supérieure à celle prévue ; et les premières effluves lumineuses à la surface de la porcelaine ne prenaient naissance qu'environ un millier de volts en dessous de cette tension de production d'arc.

Donnons quelques chiffres. Les diamètres de chacune des trois cloches de porcelaine formant la chaîne étaient de 310 mm. et la hauteur (moins la partie cimentée dans le chapeau de fonte) de 65 mm. L'isolateur formé des trois éléments, secs, supporta une différence de potentiel de 220 000

volts entre les extrémités sans qu'il se produisit de décharges. Les fils d'adduction du courant seuls devinrent très lumineux. Les expériences ne purent être poussées plus avant, l'isolement du transformateur ne le permettant pas.

Cette même chaîne de trois éléments, placée sous une pluie de 500 mm. à l'heure, inclinée à 45° avec la verticale, ne commença à donner les premières décharges bleuâtres que sous une tension de 147 000 volts, et l'on a obtenu l'arc à 160 000 volts.

Emerveillés par de tels résultats, on mit en parallèle avec la chaîne décrite précédemment un isolateur du type Paderno, construit pour des lignes à 90 000 volts d'utilisation, dont le diamètre maximum était de 420 mm. et la hauteur 450 mm. L'épreuve des deux isolateurs mis en parallèle confirma pleinement les premières expériences. Sous une pluie inclinée à 45°, l'isolateur du type Paderno commença à donner des effluves et des étincelles à 83 000 volts et un arc superficiel prit naissance à 127 000 volts ; l'isolateur du type à condensateurs en série ne présentait encore aucun phénomène lumineux ni acoustique.

Quelque temps après, à Bologne, M. Alessandri eut l'occasion d'assister, en compagnie de plusieurs ingénieurs électriciens, à une série d'expériences analogues à celles exposées ci-dessus, faites par M. Aldo Righi, dans la superbe salle d'essais des Chemins de fer de l'Etat. Les transformateurs employés étaient des transformateurs Brown-Boveri biphasés de 120 kw., qu'on pouvait mettre en série, permettant ainsi d'obtenir des tensions jusqu'à 240 000 volts. Les résultats de ces expériences furent, pour les isolateurs à condensateurs en série, encore plus brillants que ceux obtenus dans les expériences précédentes.

Essayons de donner une explication de la propriété que possèdent les isolateurs en série ayant des calottes métalliques de donner lieu à un meilleur isolement.

Une chaîne de tels isolateurs forme une association de condensateurs en série, dont les divers éléments sont identiques et dont l'armature externe entoure presque complètement l'armature interne. La capacité de chacun de ces condensateurs est la même, par suite la capacité de l'ensemble de  $n$  éléments en série est égale au  $n^{\text{mo}}$  de la capacité d'un seul élément. La différence de potentiel  $V$ , appliquée aux extrémités de la série, se divisera (étant donnée l'égalité des capacités des éléments) en  $n$  parties égales ; on aura donc, entre la calotte supérieure et le crochet inférieur de chaque élément, une différence de potentiel égale à  $V/n$ .

Les isolateurs en série déterminent donc, pour la différence de potentiel entre le conducteur et la terre un premier fractionnement uniforme, tel que la porcelaine de chaque élément quelconque se trouve dans des conditions de travail identiques, ce qui n'a pas lieu dans les isolateurs rigides, où la porcelaine est soumise à un travail électrique différent d'une couche à une autre.

De plus, la subdivision de la chute de tension totale en  $n$  chutes successives égales donne la meilleure répartition du potentiel à la surface. Ceci est prouvé par la faible augmentation de tension nécessaire pour passer des effluves à l'arc superficiel.

C'est donc à cette propriété de fractionner d'une façon uniforme la chute de potentiel qu'on doit l'efficacité des isolateurs du type en série avec armatures métalliques.

À égalité d'épaisseur utile de porcelaine, la tension électrostatique est environ 50 pour 100 plus grande dans l'ancien type d'isolateur que dans le nouveau modèle à condensateur en cascade.

Les trois éléments de 310 mm. de diamètre, représentés sur la figure 1, réalisent complètement toutes les conditions désirées pour une ligne à 100 000 volts. Bien que la chaîne soit formée de trois éléments, deux de ceux-ci suffisent pour résister à la tension de la ligne, même en cas de pluie. On a, par suite, en marche normale, un coefficient élevé. Aussi, en cas de rupture de l'un des isolateurs, peut-on attendre en toute tranquillité, sans interrompre le service, le jour opportun pour effectuer la réparation.

Au point de vue mécanique, la chaîne représentée par la figure 1 fut soumise à un effort de traction de 3 000 kgs sans être rompue. Il faut remarquer que, ici, la porcelaine

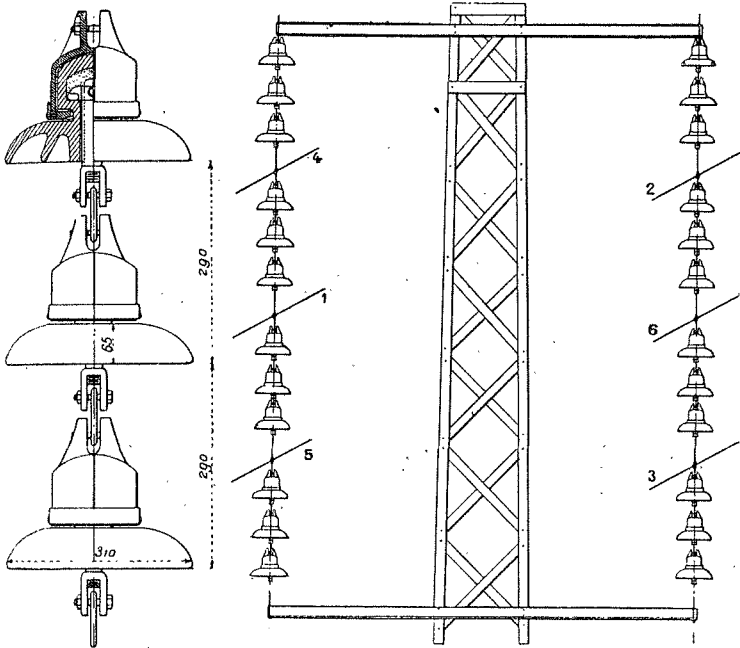


FIG. 1.

FIG. 2.

travaille à la compression. Or, la charge de rupture par compression est de 27 kgs par mm<sup>2</sup>, tandis que pour la traction on atteint la rupture avec 0,65 kg. par mm. carré.

Si l'on montait la ligne simplement suspendue au-dessous d'une chaîne d'isolateurs, comme cela a, du reste, été fait dans plusieurs installations américaines importantes, on peut craindre qu'un vent un peu fort puisse imprimer aux conducteurs des mouvements oscillatoires tels que les fils viennent en contact. En outre, dans les poteaux d'angle, les chaînes d'isolateurs prendraient une position inclinée.

Ces inconvénients sont supprimés si, au lieu d'être simplement suspendus par une chaîne, les conducteurs sont, en outre, tendus inférieurement par une seconde chaîne, de manière à être solidement reliés à deux traverses horizontales. On peut ainsi mettre sur un seul poteau deux séries de trois fils, comme le montre la figure 2. Cette disposition permet de disposer les lignes en triangles équilatéraux, en prenant pour la première ligne les fils 1, 2, 3, et pour la deuxième ligne les fils 4, 5 et 6.

De l'étude analytique de M. Alessandri, il ressort qu'il vaut mieux, au point de vue électrique, augmenter le plus possible le nombre des éléments en série, et diminuer en proportion le diamètre des cloches de porcelaine. Par contre, le prix de la partie métallique, pour chaque élément, reste à peu près constant, quelle que soit la variation du diamètre de la cloche en porcelaine, de sorte que la dépense correspondante augmente avec le nombre des éléments. Il y a donc un certain nombre *n* d'éléments qui correspond au minimum de dépense. Pour une tension de 150 kilovolts, *n* devrait être sensiblement égal à 3.

Pour dissiper la crainte que les isolateurs à calotte métallique puissent avoir des inconvénients en raison de leur capacité trop grande, quelques mesures furent faites en employant un galvanomètre balistique, avec le courant continu, et un électromètre à quadrant avec le courant alternatif. Comme appareil de comparaison, on prit un condensateur à air construit par l'Officine Galileo, de capacité usuelle. Voici le résultat de ces mesures :

0,000061 microfarad pour la capacité d'un seul élément du type et dimensions indiqués figure 1 ;

0,000023 microfarad pour la capacité d'une chaîne de trois éléments disposés comme sur la figure 1.

Dans les lignes modernes, à tensions supérieures à 75 000 volts, les portées sont généralement de 150 m. ; on n'a donc que sept poteaux par kilomètre, et la capacité kilométrique due aux isolateurs seuls, en supposant la ligne montée avec des chaînes de trois éléments, sera de :

$$C' = 7 \times 0,000023 = 0,000161 \text{ microfarad.}$$

Supposons maintenant que la ligne soit en fils de 10 mm. de diamètre, situés à 10 m. du sol au milieu et distants les uns des autres de 2 m., pour une ligne triphasée. La capacité kilométrique *C''* par rapport à la terre est d'environ 0,0093 microfarad.

On voit donc que le rapport de la capacité due aux isolateurs à celle due au conducteur est égale à :

$$C'/C'' = 0,0173 \text{ microfarad.}$$

On peut par suite admettre que la capacité des isolateurs du type à calotte métallique est insignifiante vis-à-vis de celle due aux conducteurs.

Du reste, pour faire une comparaison avec les isolateurs du type Paderno, M. Alessandri a recherché quelle était la capacité d'un isolateur de la ligne de Brusio (à 50 000 volts). Les mesures effectuées en 1909, avec les mêmes appareils et les mêmes méthodes que pour le type à calotte, donnèrent 0,000016 microfarad. La différence entre les capacités des deux types d'isolateurs est donc de l'ordre du millionième de microfarad, ce qui est négligeable.

Si, pour la tension d'utilisation, on est conduit à prendre des chaînes à quatre éléments au lieu de trois, la capacité de la chaîne tombe en dessous de celle mesurée pour l'isolateur de Brusio.

Avec le nouveau type d'isolateurs à calotte métallique enchaînés, le problème de l'isolement des lignes à hautes tensions est donc résolu d'une façon satisfaisante.

## NITRURE D'ALUMINIUM

M. Walter FRAENKEL vient de publier, dans le numéro du 15 avril dernier des *Zeitschrift für Elektrochemie*, une étude fort remarquable « sur la formation du nitrure d'aluminium à partir de l'alumine, du charbon et de l'azote ».

Vu l'extrême intérêt qui s'attache à cette question, nous croyons devoir signaler tout particulièrement ce travail.

Les conclusions du mémoire de W. FRAENKEL, qui comprend un très grand nombre de déterminations expérimentales précises, sont les suivantes :

1° La formation de  $AlAz$  à partir de  $Al_2O_3$ , de charbon et d'azote, commence, en employant du charbon très finement divisé (noir de fumée), presque au-dessous de 1/100° C. et devient très active au-dessus de 1500°.

2° La réaction s'effectue à peu près aussi rapidement si on emploie de l'azote, non plus à la pression atmosphérique