

de se défendre des aberrations de ce protectionisme, le plus souvent issu bien moins de l'intérêt public que du développement du tourisme, de considérations locales de « clocher », de réclames à fins diverses (1).

En ce qui concerne particulièrement l'ensemble des régions actuellement boisées, surtout celles appartenant aux communes et établissements publics, une loi nouvelle étendant le rayon d'action du régime forestier a été, comme on l'a dit, récemment votée (2) : si on réussit à l'appliquer (3), elle assurera aux légitimes aspirations artistiques autant qu'aux intérêts économiques du pays, toutes les satisfactions et garanties actuellement désirables (4). Et cela, sans qu'il soit besoin de donner au reboisement du sol dans les zones montagneuses relativement stables et nettement pastorales, où il préjudicierait manifestement aux intérêts sociologiques « présents et prochains » du pays par le dépeuplement de ce sol, l'extension outrée que rêvaient certains techniciens de jadis. « En supposant, écrivait-on il y a 30 ans, « que le reboisement des Alpes eût pour conséquence d'en « chasser les habitants, ne vaudrait-il pas mieux mettre dans « ces montagnes des arbres qui s'y porteraient bien que d'y « laisser des hommes qui s'y portent mal (?) et causent à « la France entière, par leur imprévoyance, leur incurie et « leur avidité, d'incalculables dommages ? » (5).

Le pays doit se féliciter d'avoir échappé aux « incalculables dommages » qu'eût entraînés l'application d'un parcil système dont l'auteur, précurseur des Parcs nationaux français, passait cependant, à son époque, pour un esprit libéral.

La France est un trop vieux pays, et la propriété y est assise sur des droits et des traditions trop ancrées dans l'esprit et le tempérament de ses populations rurales, pour qu'on puisse, sans risquer des répercussions sociales d'autant plus dangereuses qu'elles progressent longtemps insoupçonnées, y tailler en plein drap des Parcs nationaux, surtout en haute montagne.

Jamais, évidemment, dans le feu croissant des convoitises et des réalisations immédiates, des luttes ardentes pour « la satisfaction d'intérêts présents et prochains » (6), trop souvent en antagonisme avec l'intérêt public, et qui ont si

manifestement exagéré la déforestation et la dépopulation de nos montagnes, on ne stimulera assez les initiatives orientées vers la restauration de leur sol par celle de la végétation spontanée, génératrice d'énergies comme de houille blanche (1) ; mais « encore faut-il conserver quelques habitants autochtones aux débris des hameaux et éviter que « nos petits-neveux, après le succès du reboisement que « nous souhaitons fort, ne répètent le mot d'un érudit du « terroir parlant d'un village alpestre que les forestiers ont « reconquis : charmant quartier à présent, mais il n'y reste « plus personne » (2).

Seul peut encore obvier à cette misère sociale incontestable, un Régime agraire résolument protecteur et non spoliateur du sol, adapté à l'ensemble des faits sylvicoles, pastoraux, agricoles, fiscaux et successoraux intéressant la propriété foncière, collective ou privée, en haute montagne : tous ces faits sont étroitement contingents, aussi bien à la parure qu'au peuplement des Highlands de France (3).

Comment imaginer qu'on aura, en quoi que ce soit, restauré les terres qui meurent dans nos hautes montagnes, quand, à l'instar de la très utile initiative prise par le Touring Club de France de signaler aux touristes pressés de s'assurer un record, les « tournants dangereux » des routes, l'Etat aura laissé placarder aux abords de quelque infime agglomération montagnaise, l'étiquette pompeuse d'un Parc national ? Pour les clairvoyants, il n'aura fait qu'y signaler le vestibule d'une future commune morte. L.-A. FABRE.

CONGRÈS DES INGÉNIEURS ÉLECTRICIENS D'ANGLETERRE ET DE FRANCE (4)

—(SUITE)—

CAUSES DE SURTENSIONS ET APPAREILS DE PROTECTION GÉNÉRALE. — Les principales causes de surtensions sont les suivantes :

1° Effet Ferranti. — 2° Résonances entre la ligne et les appareils générateurs ou récepteurs. — 3° Oscillations occasionnées par les fermetures ou les ouvertures de circuit. — 4° Décharges atmosphériques. — 5° Charges électrostatiques des circuits à basse ou à haute tension. — 6° Propagation de fronts d'onde, dans les appareils mis en service. — 7° Interruption de l'excitation des alternateurs.

Les surtensions sont particulièrement à redouter sur les lignes de grande longueur, à haute tension. Il convient de connaître leurs causes, pour pouvoir les faire disparaître.

Le plus souvent, on a affaire à une ligne de transport proprement dite, qui dessert un réseau de distribution, par l'intermédiaire de transformateurs abaisseurs. La ligne de transport est généralement homogène et ses ponts également chargés. Cela facilite l'analyse mathématique des phénomènes dont elle est le siège.

M. Blondel a donné, il y a quelques années, une méthode simple, pour faire cette analyse. En voici les principes :

1° Si l'on décompose, par la série de Fourier, la force électromotrice des alternateurs en un terme de fréquence fondamentale et ses divers harmoniques, les ondes électri-

(1) En Suisse, la Société pour la protection de la nature a obtenu de l'Etat l'interdiction de chasser les aigles, vautours, etc., qui constituent à ses yeux une des plus belles parures de la montagne. Elle rembourse aux bergers la valeur des moutons dévorés par ces rapaces.

E.-A. Martel : *La Montagne. Op. cit.*, août 1913, pages 434, etc.

(2) La discussion de cette loi a eu pour heureux effet de faire revenir la Chambre sur son vote inexplicable du 10 novembre 1908 (compte rendu, p. 2169) par lequel, sur l'avis d'ailleurs du Ministre de l'Agriculture, elle s'était formellement opposée à toute acquisition par l'Etat de forêt particulière.

L'acquisition de la forêt d'En décidée par la loi du 22 août 1913 est le premier fruit du mouvement forestier créé par la discussion de la « loi Audiffred », et préparé depuis longtemps au sein des nombreux Congrès de Navigation fluviale tenus dans les bassins de la Loire et de la Garonne.

(3) C. Guyot : A propos de la loi sur la « Conservation des forêts privées » (*Revue des Eaux et Forêts*, 15 novembre 1913, p. 161-172). — Id. : Etablissement de forêts de protection. Rapport au Congrès forestier international de 1913.

(4) Le régime forestier est assez souple pour se prêter à toutes les expériences que peuvent souhaiter les botanistes, géographes, sylviculteurs, etc.

Dans aucun de ses travaux de géographie botanique, et particulièrement ceux sur les *Jardins alpins*, le professeur C. Flahault n'a donné à penser qu'il fût partisan de nationaliser le territoire où il préconisait la création de ces « jardins ». — (C. Flahault : Rapport au Congrès forestier international de 1912 sur les : Jardins Alpins et Arboretums). Nous avons montré précédemment à propos des Parcs nationaux suisses l'opinion de cet éminent maître sur la nationalisation du sol.

(5) L. Tassy : *Restauration, etc., op. cit.*, p. 61.

(6) F. Briot. *Nouvelles études, sur l'Economie Alpestre 1907, cit.*, page 307.

(1) B. Brunhes : *La dégradation de l'énergie*. Paris : Flammarion, in-12, 394 p., 1908, pp. 30, 187, 191, 205, 361, 388.

(2) Comte A. de Saporta : Dans les Basses-Alpes. *Revue des Deux-Mondes*, 1^{er} juillet 1909, p. 228.

(3) Législation protectrice du sol montagnais en France (*Journal des Economistes*, avril 1911, p. 49-44, et *La Houille Blanche*, juillet et août 1911).

(4) Voir *La Houille Blanche* d'octobre 1913.

ques correspondantes se propagent indépendamment les unes des autres et le régime réel n'est que la superposition des divers régimes correspondant à la propagation de chacune des ondes.

2° Si l'on considère les phénomènes dont un conducteur est le siège, lorsqu'il transmet des courants de forme parfaitement sinusoïdale et de fréquence donnée : pour connaître les valeurs maxima de la tension V et de l'intensité I , en chacun de ces points, lorsque la tension, à son extrémité, a une valeur H et que le conducteur débite un courant d'in-

sur un circuit quelconque : de même, dans l'étude d'une ligne de transmission, il suffit de déterminer les régimes qui s'y établiraient à vide et en court-circuit.

c) La prédétermination de ces régimes peut être faite immédiatement au moyen de Tables de fonctions circulaires et hyperboliques.

Dans une note annexe, M. Leblanc expose rapidement la méthode Blondel. Il passe ensuite en revue les causes de surtensions et les moyens de prévenir leurs effets.

1° *Effet Ferranti*. — Sur une ligne de transport de grande longueur, l'intensité et la tension sont loin d'avoir les mêmes valeurs efficaces, tout le long de la ligne. Celle-ci se comporte comme un tuyau sonore et, comme lui, peut être le siège de réflexions qui déterminent des résonances.

Ces résonances produisent des surtensions particulièrement élevées, lorsque la longueur de la ligne est égale à un multiple impair du quart de la longueur des ondes qui s'y propagent. Il y aurait, au contraire, un nœud de vibrations à cette extrémité et il n'y aurait ni réflexion, ni résonance, si la longueur de la ligne était égale à un multiple pair du quart de la longueur d'onde des courants.

Soit une ligne ayant 500 kms de longueur, où l'on désigne par γ , λ et ρ ses capacité, coefficient de self-induction et résistance par unité de longueur et par $\frac{\alpha}{2\pi}$ la fréquence des courants, la vitesse de propagation W des ondes le long de la ligne a pour expression :

$$W = \frac{1}{\sqrt{\gamma\lambda}} \sqrt{\frac{2\alpha\lambda}{\alpha\lambda + \sqrt{\rho^2 + \alpha^2\lambda^2}}}$$

Sur les lignes à haute tension, les quantités λ et γ sont relativement grandes, parce que l'on se sert de gros conducteurs, très écartés les uns des autres, ce qui fait que la vitesse W ne dépasse guère 200 000 kms.

Il en résulte que les longueurs d'onde dangereuses sont, dans ce cas, de : 2 000, 666, 400, 286, 212, 182, . . . kms.

Les longueurs d'onde inoffensives sont de : 1 000, 500, 333, 250, 200, 167, . . . kms.

Si la fréquence normale des courants est 50 et si les alternateurs ne produisent ni harmoniques pairs, ni harmoniques dont le rang soit un multiple de 3, les rangs des harmoniques susceptibles d'être produits sont les suivants :

5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25, 29, . . .

et les longueurs d'onde correspondantes sont de :

800, 572, 363, 308, 235, 210, 174, 160, 138, . . . kms.

Le 19° harmonique sera en pleine résonance et tous les autres pourront donner des surtensions plus ou moins élevées.

Ceci montre combien il importe de disposer les enroulements de manière à supprimer les harmoniques. Il conviendra, pour cela, de donner un très grand nombre de dents par pôle aux couronnes du stator, ce qui sera facile, puisqu'elles auront un grand développement par pôle, et d'avoir recours aux divers moyens énumérés plus haut.

Toutefois, l'effet Ferranti n'est à redouter que lorsque la ligne n'est pas chargée, les réflexions se faisant, à son extré-



PYLONES A TÊTE GALVANISÉE (SOCIÉTÉ DES FORCES DU FIER) (1)

tensité maxima A , avec un $\cos \phi$ donné, il suffit de connaître les valeurs de la tension V et de l'intensité I lorsque :

a) La ligne fonctionnant à vide, la valeur maxima de la tension, à l'extrémité du conducteur, est égale à H ;

b) La ligne fonctionnant en court-circuit, la valeur maxima de l'intensité, à l'extrémité du conducteur, est égale à A . Autrement dit, de même que la connaissance des caractéristiques à vide et en court-circuit d'un alternateur permet de prévoir ce qui se passera, lorsque l'alternateur sera fermé

(1) Les clichés qui illustrent ce texte sont extraits du bel album sur la construction des lignes électriques que viennent de publier MM. BOUCHAYER ET VIALLET, constructeurs à Grenoble.

mité, sur un fond dur. Lorsqu'elles sont en charge, elles s'effectuent sur un fond mou, qui ne restitue pas intégralement l'énergie qu'il reçoit. C'est pourquoi M. Blondel propose de fermer d'abord sur des résistances liquides l'extrémité de la ligne, que l'on veut mettre en service, et de ne les retirer que graduellement, à mesure que l'on charge la ligne. Réciproquement, il faut les rebrancher sur la ligne, avant de la décharger.

Il serait plus simple de disposer des étouffeurs d'harmoniques sur les alternateurs, d'autant plus qu'il pourrait se produire des réflexions autre part qu'à l'extrémité d'une ligne, si elle n'était pas homogène : si, par exemple, la ligne aérienne était coupée, sur une certaine longueur, par une ligne souterraine en câbles armés.

Les surtensions dues à l'effet Ferranti, pouvant se manifester d'une manière prolongée, il ne convient pas de combattre leurs effets avec des limiteurs de tension, qui ne peuvent fonctionner que d'une manière intermittente. Il faut les supprimer en empêchant les alternateurs de produire des harmoniques ou en apparant des résistances effectives au passage des courants harmoniques.

2° *Résonances entre la ligne et les appareils générateurs et récepteurs.* — La ligne a de la capacité et de la self-induction réparties le long d'elle. Suivant la fréquence des courants qui s'y propagent et suivant sa longueur, elle peut se comporter comme un condensateur ou une bobine de self-induction pour les appareils branchés sur elle. Lorsqu'elle se comporte comme un condensateur, sa capacité peut résonner avec la self-induction des appareils.

Ces résonances sont fort à redouter dans les réseaux de distribution en câbles armés et à tension moyenne. Elles ne le sont pas dans les réseaux à haute tension, même très longs, à cause de la grandeur des coefficients de self-induction apparents des appareils branchés sur la ligne.

Dans les réseaux de distribution, il faut les éviter avec le plus grand soin. On y arrive, comme précédemment.

3° *Oscillations occasionnées par les fermetures ou ouvertures de circuits.* — Ces oscillations peuvent doubler, pendant un temps court, la tension des conducteurs. Etant donné le peu de durée du phénomène, il est logique d'éviter la fatigue qui en résulterait pour les isolants, au moyen de limiteurs de tension qui agissent comme de véritables soupapes de sûreté.

Il n'est malheureusement pas possible d'ouvrir un chemin au passage d'un courant de décharge oscillante, sans en ouvrir un, en même temps, au passage des courants de travail. Mais on peut observer que les courants de décharge oscillante ont toujours une fréquence très supérieure à celle du réseau et que, par suite, ils traversent bien plus facilement un condensateur que les courants normaux. Il est donc logique de protéger les lignes et les appareils au moyen de condensateurs branchés en dérivation, soit entre les entrées de poste, soit entre elles et la terre. Ce n'est pourtant que dans ces dernières années que l'on a eu recours à cette méthode, tant les condensateurs jouissaient d'une mauvaise réputation.

M. Moscisky a réussi à faire des condensateurs en verre, sur lesquels on peut compter, ils ont reçu de nombreuses applications et fourni de bons résultats. Toutefois, on les remplace avantageusement par des condensateurs électrolytiques à lames d'aluminium.

M. Leblanc étudie avec détails les conditions dans lesquelles peuvent fonctionner ces appareils, et montre comment dans tous les cas ils constituent des condensateurs.

On peut faire des condensateurs électrolytiques capables de supporter 450 volts par assiette, chacune d'elle constituant deux condensateurs associés en série, un pour chacune de ses faces. On les constitue avec des assiettes en aluminium que l'on superpose, en les séparant par des cales en porcelaine, et qu'on remplit avec un électrolyte. Ces piles d'assiettes, guidées par des montants en bois imprégné, sont logées dans des boîtes de transformateurs, que l'on achève de remplir avec de l'huile.

Comme il serait inutile de faire travailler ces appareils, alors qu'il n'y a pas de surtension, on les relie au point à protéger par un parafoudre à corne. Dès qu'un arc a éclaté, le courant oscillatoire superposé au courant normal traverse le condensateur avec la plus grande facilité, à cause de la rapidité de sa fréquence. La capacité est assez petite pour que l'intensité du courant de fréquence normale, dans le condensateur, soit suffisamment réduite pour que l'arc se soufuffle spontanément.

Mais, du moment que les éléments électrolytiques ne sont en service que pendant de courts instants, et à intervalles éloignés, il faut prendre garde aux actions chimiques secondaires, qui se produisent d'une manière continue. Or, on se trouve en présence d'un dilemme :

Si l'électrolyte est acide, il attaque la couche d'alumine ; s'il est basique, il attaque l'aluminium. Les solutions neutres conduisent mal.

Entre ces maux, on a choisi le moindre et on laisse attaquer la couche d'alumine. Or, si elle avait le temps de se réduire considérablement entre deux surtensions consécutives, le condensateur ne produirait plus son office et laisserait passer un très fort courant, jusqu'à ce qu'il soit reformé. Pour éviter cet inconvénient, on se sert de dispositifs permettant de rapprocher momentanément les cornes du paratonnerre et, de temps et temps, on fait passer un courant dans le condensateur, pour maintenir formées ses couches diélectriques.

M. Leblanc ne connaît pas la composition de l'électrolyte employé ; il suppose que c'est une solution de phosphate d'ammonium, comme dans la soupape Nodon. Mais, quand l'appareil est installé à l'air, ce qui est le cas général, il faut prévoir de grands froids et, pour empêcher la solution de se congeler, il faut lui ajouter un produit qui précipite l'attaque des couches diélectriques. Pour les entretenir, il convient alors de faire fonctionner l'appareil, en rapprochant les cornes, tous les deux jours, pendant 30 s. environ.

Quand l'appareil est installé dans un bâtiment chauffé comme d'habitude, on se sert d'une autre solution et l'on n'a besoin de procéder à cette opération que tous les quinze jours. Malgré cette sujétion, l'emploi de cet appareil a présenté tant d'avantages, qu'on s'en sert exclusivement dans les nouvelles installations. Pour prévenir les oscillations dues aux fermetures ou ouvertures de circuit, on dispose un semblable condensateur entre chaque entrée de poste et un point neutre.

4° *Décharges atmosphériques.* — Il est rare que la foudre tombe directement sur une ligne ; mais cet accident est à prévoir, notamment si la ligne franchit une ligne de faite. Il n'y a qu'un moyen de l'éviter, c'est de faire passer en haut des pylônes un conducteur spécial dominant tous les autres et soigneusement relié à la terre, à l'endroit de chaque pylône. Ce moyen est efficace, mais coûteux. D'ordinaire, on n'aura pas besoin d'équiper ainsi la ligne de transport sur toute sa longueur.

A chaque orage, les éclairs déterminent des courants d'in-

duction dans la ligne, au moyen des forces électromotrices très considérables, mais de durée extrêmement courte. Les courants induits dans les trois fils sont alors de même sens. Il faut d'abord leur interdire l'entrée des postes en munissant chaque entrée d'une bobine de self-induction dite *bobine de choc*, qui peut se réduire à quelques spires de fil, étant donnée la brusquerie du phénomène.

Les conducteurs, qui vont des lignes aux parafoudres, doivent être raccordés tangentielllement aux lignes et ne pré-

le moindre trouble dans le fonctionnement de la ligne.

5° *Charges électrostatiques des circuits à basse ou à haute tension.* — Les différences de potentiel entre les divers conducteurs sont déterminées par le fonctionnement des machines, mais le potentiel du point neutre ne l'est pas, à moins qu'il ne soit relié au sol. Toutefois, si le point neutre d'une station est isolé, il se met de lui-même au potentiel de la ligne, comme il est facile de le voir.

Soit une ligne à 100 000 volts dont le point neutre soit isolé. Si l'un de ses conducteurs vient à être mis momentanément à la terre, son fonctionnement n'est pas troublé, parce que le point neutre est isolé, mais le potentiel de celui-ci passe de 0 à 73 000 volts. Il en est de même pour celui des points neutres de toutes les stations, s'ils sont isolés. Dans ces conditions, la mise à la terre des stations est fatale et il peut en résulter des accidents de personnel.

On évite cet inconvénient en reliant au sol le point neutre des stations par l'intermédiaire d'une résistance limitant à une très faible intensité les courants normaux qui viendraient à la traverser, si l'un des conducteurs de la station venait à communiquer aussi avec le sol.

Malgré cette résistance, le potentiel du point neutre ne différera jamais que très peu de celui du sol, parce que les courants de charge électrique, qui devront la traverser, auront une intensité très petite, à cause de la faiblesse de la capacité des condensateurs formés par les deux circuits de chaque transformateur.

Si tous les circuits sont montés en triangle ou s'il n'y a pas de point neutre accessible, on a recours à l'artifice suivant : On se sert d'un auto-transformateur branché entre les trois conducteurs du réseau et un point neutre relié au sol. Chacun des trois circuits comporte une bobine située sur un noyau magnétique et une autre bobine semblable montée sur un autre noyau mais enroulée en sens inverse de la première.

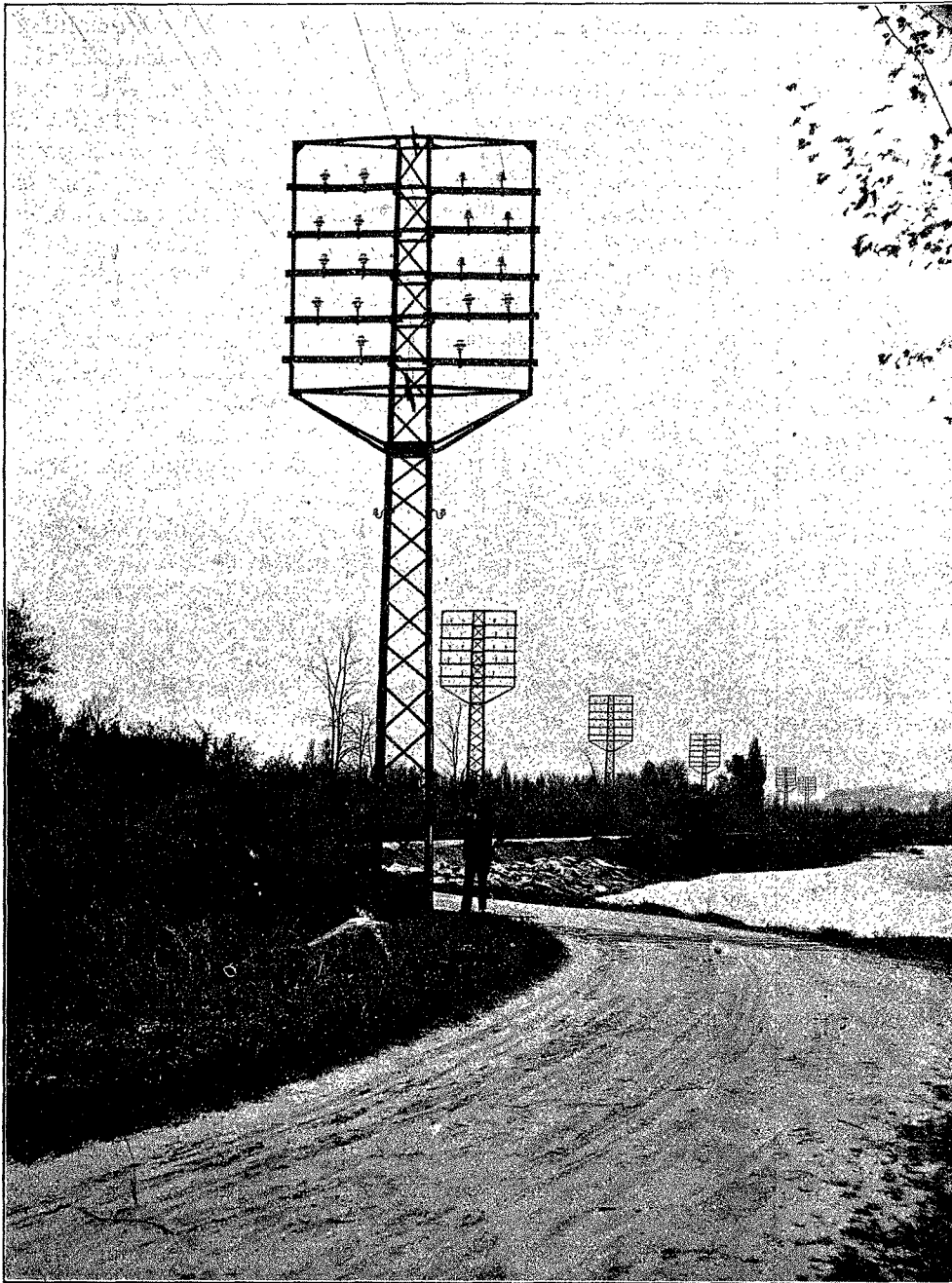
Dans ces conditions, chaque noyau du transformateur sera recouvert par deux bobines parcourues par deux courants différents tournant autour de lui, l'un dans un sens, l'autre dans l'autre sens. Leur coefficient de self-induction étant extrêmement grand, elles ne pourront laisser passer que des courants de même intensité et de même sens, dont les actions magnétiques se détrui-

ront et à la condition, que l'on remplisse, que leurs spires soient bien entremêlées, de façon qu'il n'y ait pas de fuites magnétiques.

Ces diverses bobines s'opposent donc d'une manière presque absolue au passage des courants triphasés, mais laisseront passer avec la plus grande facilité trois courants de même sens et de même intensité allant des trois conducteurs à la terre. Elles maintiendront, dans tous les cas, égal à celui du sol le potentiel moyen de la station.

L'auto-transformateur, employé dans ces conditions, est appelé *point neutre artificiel*.

Pendant les orages, les lignes de transport peuvent ac-



PYLONES SUPPORTANT DEUX LIGNES SUR LE BORD DE L'ISERE
(Société « Générale de Force et Lumière » et « Hydro-électrique de Fure et Morgé »)

sembler aucune combustion brusque. Il convient, au contraire, de torturer les bouts de ligne qui pénétreraient dans le poste.

Les courants induits dans les trois fils ne peuvent s'écouler, à travers les condensateurs électrolytiques précédents, que si leur point neutre est relié au sol. On opère cette jonction au moyen d'un quatrième condensateur électrolytique branché entre le point neutre des premiers et le sol. La capacité est suffisante pour empêcher toute surtension appréciable, à la suite du jaillissement d'un éclair. Elle est beaucoup trop faible pour que l'intensité des courants à la fréquence du réseau, qui le traverseront, puisse déterminer

quérir une charge électrostatique de la manière suivante. Un nuage électrisé passe au-dessus d'une ligne et exerce son induction sur elle. Pendant ce temps, un éclair jaillit et fait fonctionner les paratonnerres. La ligne est mise momentanément en communication avec le sol et prend une charge de signe contraire à celle du nuage, son potentiel étant celui du sol. La mise à la terre est interrompue, la ligne étant chargée. Lorsque le nuage s'en va, le potentiel de la ligne s'élève et elle est transformée en bouteille de Leyde.

Si l'on suppose maintenant qu'une ligne soit interrompue à l'arrivée, et qu'on la coupe au départ, elle demeure chargée électrostatiquement, et comme sa capacité est assez grande et qu'elle est très bien isolée, elle peut conserver sa charge pendant longtemps et foudroyer un homme qui viendrait y travailler en toute confiance, la sachant isolée à ses deux extrémités.

Il est donc nécessaire de faire écouler tout de suite au sol les charges électrostatiques des lignes de transport. Rien ne vaut pour cela le point neutre artificiel. Toutefois il ne permet pas de supprimer la mise à la terre du point neutre des paratonnerres, par l'intermédiaire d'un condensateur électrolytique, parce que sa self-induction sera toujours trop grande, pour empêcher les surtensions dues à l'action des éclairs.

6° *Propagation des fronts d'onde.* — Tout appareil récepteur, que l'on branche sur un réseau, risque de voir ses premières spires mises à la masse, sans qu'il y ait aucune surtension produite. C'est que la première onde électrique, qui s'écoule le long de lui, est précédée par un talus à pente d'abord très raide et qui va ensuite en s'adouissant, comme l'onde liquide qui parcourt une vallée, à la suite de la rupture d'un barrage.

Toute la tension du réseau est alors supportée par un très petit nombre de spires, qui n'ont pas été isolées en conséquence. D'où la nécessité de munir les appareils récepteurs de bobines de choc, dont les spires seront très fortement isolées, pour que le talus de l'onde qui les traversera d'abord se soit suffisamment adouci, avant qu'elle aborde l'appareil récepteur.

7° *Interruption de l'excitation des alternateurs.* — En général, une excitatrice dessert plusieurs alternateurs, il faut donc pouvoir interrompre le courant d'excitation d'un alternateur lorsqu'on le sort du service.

Or, les inducteurs des alternateurs emmagasinent une grande quantité d'énergie et celle-ci tend à se manifester sous forme explosive lorsqu'on interrompt le courant.

Le moyen le plus simple d'éviter toute surtension consiste à monter en dérivation, entre les extrémités de leur circuit, un condensateur électrolytique semblable aux précédents, mais sans aucun intervalle d'air. On protège, en même temps, les inducteurs et les excitatrices contre les surtensions, dont ils tendent à devenir le siège, en cas de court-circuit survenu sur le réseau.

RÉSUMÉ ET CONCLUSION. — En résumé, les courants triphasés ont permis de transporter de l'énergie à des distances de 500 kms environ avec des tensions composées atteignant 150 000 volts.

De semblables installations n'ont de raison d'être que si la puissance transportée est très considérable. On est conduit alors à faire des unités génératrices de 20 000 kilowatts. Avec des unités aussi puissantes et l'emploi de très hautes tensions, les courts-circuits survenus sur le réseau peuvent



PYLONE POUR LA TRAVERSÉE DU RHONE (350 MÈTRES DE PORTÉE)
(Ligne « Dauphiné-Centre » de 150 kilomètres de longueur)

déterminer des désordres très graves dans les machines. On n'a pu les prévenir qu'en montant en série, avec chacun des circuits d'armature, une très forte bobine de réaction ou en produisant beaucoup de fuites magnétiques, dans les circuits inducteurs et induits des alternateurs. Cela diminue l'autorégulation des machines et il devient nécessaire de leur adjoindre des régulateurs automatiques d'excitation.

Les grands interrupteurs à huile permettent de couper le courant débité par ces machines, même en cas de court-circuit sur le réseau.

Dans les stations, le point neutre doit être mis à la terre, par l'intermédiaire d'une forte résistance. S'il n'y a pas de point neutre accessible, on en crée un artificiel. Tout le matériel de haute tension est enfermé dans des réservoirs étanches remplis d'huile. On se sert d'un transformateur et d'un interrupteur spéciaux renfermés chacun dans un réservoir séparé, pour chaque phase de chaque ligne. Enfin tout le matériel à haute tension, ainsi enfermé, est disposé à l'air libre.

Aucun conducteur à haute tension n'arrive au tableau, d'où toutes les manœuvres sont commandées et effectuées à distance, par l'intermédiaire de relais.

Tous les appareils doivent être munis de bobines de choc, pour les protéger contre les fronts d'onde à talus trop rapide.

Le point neutre des lignes de transport ne doit jamais être en contact direct avec le sol. Pour empêcher la ligne d'acquiescer une charge statique, le mieux est de lui donner un point neutre artificiel branché d'une manière permanente sur le réseau. Cela suffit, si la tension normale des lignes de transport est peu différente de celle qui déterminerait la production d'effluves. On se trouve naturellement conduit à remplir cette condition, lorsque la ligne est à très haute tension.

Dans le cas contraire, il faut protéger la ligne. Dans ce but :

1° Aux deux extrémités de la ligne, on relie à un point neutre chaque conducteur par un circuit renfermant un paratonnerre à cornes et un condensateur électrolytique. Le point neutre est relié lui-même au sol par un condensateur électrolytique.

2° Afin d'éteindre immédiatement tout arc qui prendrait naissance à la surface d'un isolateur, on emploie la méthode de Creighton, qui assure la mise à la terre momentanée de tout conducteur, d'où vient à jaillir un arc.

Grâce à ces précautions, on est parvenu à une grande sécurité de fonctionnement et, à l'heure actuelle, les courants triphasés constituent le moyen le plus pratique de transporter de grandes quantités d'énergie à de très grandes distances.

En sera-t-il toujours de même ? M. Leblanc ne le croit pas.

Il y aurait un intérêt majeur à substituer des lignes souterraines en câbles armés aux lignes aériennes, qui seront toujours soumises aux intempéries et à la malveillance. Rien ne serait plus facile avec les courants continus.

Avec les courants alternatifs, il n'en est plus de même, à cause des phénomènes de capacité. Les lignes souterraines devraient être accompagnées de bobines de self-induction, qui leur fourniraient leur courant de charge, dont la puissance apparente serait bien supérieure à la puissance réelle transportée. Non seulement elles coûteraient cher et consommeraient beaucoup d'énergie, mais des surtensions dues aux résonances entre elles et la ligne seraient fort à redouter. Les courants triphasés, même à fréquence réduite, telle que 15, exigent que l'on se serve de lignes aériennes pour les grands transports.

Or, les progrès rapides de la soupape à mercure de Cooper Hewitt permettent de prévoir que, dans un avenir peu éloigné, il sera facile de redresser, avec elle, les courants des plus grands alternateurs et de les transformer en courants continus de haute tension. On obtiendrait ainsi des courants continus de tension constante faciles à transmettre le long de lignes souterraines.

Mais il faut se préoccuper de leur utilisation. Il conviendrait que l'on pût retransformer à l'arrivée le courant con-

tinu de haute tension en courant alternatif de fréquence voulue, par un processus inverse de celui employé au départ.

Les phénomènes utilisés dans la télégraphie sans fil et ceux de l'arc chantant montrent que le problème est possible. Il faudrait disposer d'un éclateur coupant imperturbablement le courant qui le traverserait, la première fois que son intensité s'annulerait d'elle-même, ne se réamorçant que sous une tension élevée, 100 000 volts par exemple, et ne faisant plus subir au courant, une fois réamorcé, qu'une chute de tension insignifiante, telle que 14 volts.

Or, l'interrupteur à mercure de Cooper Hewitt, que l'on peut considérer comme l'appareil réciproque de sa soupape, paraît remplir ces conditions.

M. Leblanc termine sa conférence par ces quelques mots qui sont une véritable profession de foi :

« Il y a quelques années, en prenant possession de la présidence à laquelle avait bien voulu m'appeler la Société internationale des Electriciens, je disais aux jeunes ingénieurs qui m'entouraient : Croyez-moi, il n'y a plus rien à faire avec l'induction, c'est dans les tubes à vide qu'il faut chercher. Eh bien, c'est de plus en plus ma conviction et je terminerai en le répétant. »

MESURES ÉLECTRIQUES

Règles officielles de la Société allemande des electriciens pour la fixation du "régime" et l'essai des machines électriques et transformateurs (1).

Il est d'abord donné une définition précise des termes de générateur, moteur, etc... et autres désignant les diverses catégories du matériel électrique. La réglementation doit être entendue comme s'appliquant à l'exécution de toute commande quelconque, à moins que le contraire n'ait été spécifié expressément. L'application des diverses prescriptions doit être entendue comme faite à un matériel parvenu à une température stationnaire.

Pour les moteurs d'une puissance inférieure à 0,2 Kw., la plaque indicatrice doit seulement mentionner le numéro de série, la tension (V), l'intensité (I), la fréquence (symbole \sim) et le nombre de tours par minute.

Pour les puissances plus grandes, les indications particulières qui doivent être fournies sur la plaque sont : type, — numéro de série, — puissance, — tension normale, — mode de connexion (en se servant des symboles Δ et Y), — intensité normale, — facteur de puissance, — régime au point de vue de la durée d'application de la charge, — fréquence, — tension de démarrage dans le cas des moteurs asynchrones, — tension d'excitation dans le cas des machines à excitation indépendante.

Dans le cas des transformateurs, on doit trouver mentionné : le rapport de transformation, — la tension de court-circuit, — les connexions, avec référence à un diagramme dans le cas des transformateurs triphasés.

On doit faire en sorte que des transformateurs destinés à être groupés en parallèle le soient en connectant ensemble les bornes *marquées des mêmes lettres*. Si la tension, l'intensité, ainsi que le nombre de tours par minute sont susceptibles de variations, on doit indiquer les limites de leur

(1) (Normalien für Bewertung und prüfung von Electricischen Maschinen und Transformatoren) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 34, 17 avril 1913, pages 451-454.

Ces règles sont revues périodiquement par la *Société Allemande des Ingénieurs Electriciens*. Ce nouveau texte contient des modifications et des précisions nouvelles.