

duisent aussi du tétrachlorure de carbone CCl_4 , dont nous avons parlé plus haut.

La production mondiale de la soude par l'électrolyse a été de 51 000 tonnes en 1909. Cette quantité représente le dixième de la production totale.

Oxygène et hydrogène. — Depuis 1897, on a réalisé la préparation hydro-électrique de l'hydrogène et de l'oxygène, en électrolysant une solution de soude ou de potasse recouverte d'une couche d'huile pour empêcher l'acide carbonique de l'air de transformer les hydrates en carbonates.

Il existe divers procédés : ceux de Garutti et de Schmidt travaillent en solution alcaline avec électrodes en fer, celui de Schoop en solution acide avec électrodes en plomb.

Le plus employé est le procédé Garutti, qui est exploité à Tivoli, à Lucerne, à Bruxelles et à Schiedam (Hollande). En France, il est exploité à Saint-Vrain et par la *Société l'Oxydrique Française*, avec des productions respectives de 400 m³ d'hydrogène et 200 m³ d'oxygène.

La *Société Electro-Chimie* fabrique aux Clavaux l'*oxy-lithe* et l'*hydrolythe* : ce sont des produits agglomérés en bloc qui jouissent de la propriété de dégager de l'oxygène ou de l'hydrogène lorsqu'on les immerge dans l'eau. Un kilogramme d'oxylithe fournit 140 litres d'oxygène et un kilogramme d'hydrolythe 1 000 litres d'hydrogène.

Etant donné les nombreuses applications de l'oxygène et de l'hydrogène (gonflement des ballons, soudure autogène et découpage des métaux, approvisionnement des laboratoires et des pharmacies, etc.), cette industrie aurait été susceptible de prendre un grand essor, mais les procédés de distillation fractionnée de l'air liquide (Linde et Claude) ont été pour elle de redoutables et heureux concurrents et, en fait, la *préparation électrolytique* de l'oxygène et de l'hydrogène a presque disparue.

Carborundum. — Le carborundum n'est autre chose que du siliciure de carbone. Son extrême dureté, comparable à celle du diamant, le fait employer dans la fabrication des meules pour le polissage des métaux. On l'utilise aussi pour la construction des trottoirs et des marches non glissantes, où la circulation est intense.

Enfin, il a trouvé un autre emploi intéressant dans le garnissage des fours métallurgiques, car il est insoluble dans le fer en fusion.

Autres fabrications et applications diverses. — Les applications de l'électro-chimie s'étendent à un nombre extrêmement grand de produits, et des plus divers. M. Pinot n'a cité que les principaux d'entre eux, mais voici, pour terminer, l'énumération d'un certain nombre des autres, ces fabrications étant d'importance fort inégale et souvent fort minime : Persulfate d'ammonium (*Société d'Electro-Chimie* dans son usine de Vallorbe). Chromate de sodium. Ferricyanure de potassium. Carbonate de plomb (céruse). Couleurs minérales (jaune de cadmium, bleu de Paris). Couleurs d'aniline (*Badische Anilin und Soda Fabrik*). Chloroforme et iodoforme. Produits de réduction de la mono-nitrobenzine. Siliciures alcalino-terreux. Sels de baryte. Phosphore (*Maison Coignet*, à Moutiers). Ozone.

♦♦

On jugera, par cette revue empruntée dans une très large mesure au Rapport du distingué Secrétaire général de la *Chambre Syndicale des Forces hydrauliques*, quel intérêt présente le remarquable travail de M. Robert PINOT.

(A suivre).

H.-L. BERNARDIN,
Ingénieur des Arts et Manufactures.

TRANSPORT D'ÉNERGIE

Protection des lignes aériennes contre les surtensions et les décharges atmosphériques (1)

La protection des installations électriques contre les surtensions repose de nos jours sur des règles bien définies. Nous n'allons envisager, dans ce qui va suivre, que la question de la protection des lignes aériennes.

Nous avons défini ailleurs (2) ce que nous entendons par système complet de protection contre les surtensions dans les lignes aériennes à haute tension.

Comme on le voit sur la figure 1, on peut dire que la protection n'est complète qu'autant qu'il est prévu des dispositions de protection contre l'action des coups de foudre directs (A), des phénomènes atmosphériques à haute, moyenne et basse fréquence ou à fréquence nulle (B, C, D). Elle sera d'autant plus intéressante qu'on aura atteint ce but avec un nombre minimum d'appareils.

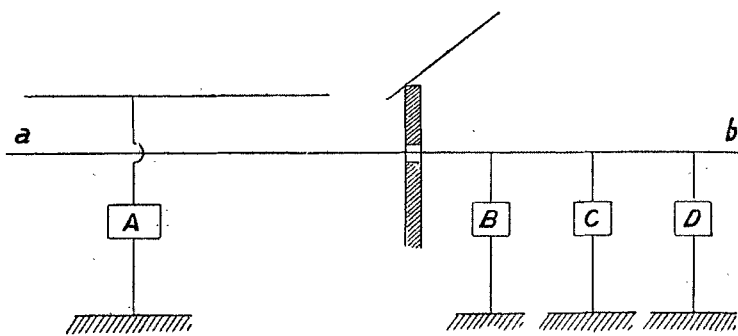


FIG. 1.

L'installation idéale de ce genre est représentée dans la figure 2. Dans celle-ci, A représente une ligne de terre en acier montée au-dessus de la ligne et destinée principalement à la protéger contre les coups de foudre directs ; B, une batterie de condensateurs branchée en deçà d'une self-induction en fil de fer B', le condensateur combiné à la self-induction ayant pour rôle d'étaler les fronts d'onde trop raides et d'an-

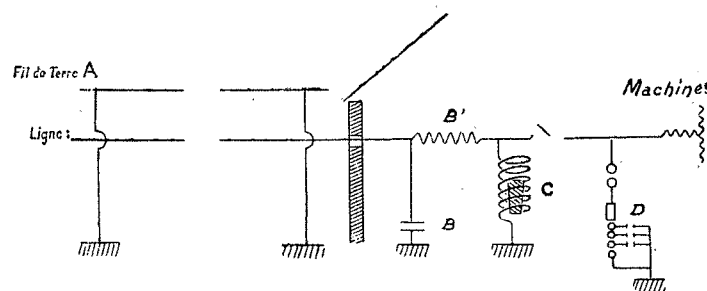


FIG. 2.

nihiler les effets destructeurs des phénomènes à haute fréquence ; C, une bobine d'induction à noyau de fer offrant un passage facile aux charges statiques des lignes pour les écouler à la terre ; D, une soupape Giles, appareil à très fort débit, destinée à écouler les surtensions de moyenne et de basse fréquence, et par conséquent celles d'origine interne au réseau.

Nous dirons quelques mots sur chacun de ces appareils, et nous expliquerons, aussi simplement que possible, leur fonctionnement.

(1) Conférence faite le 23 mars 1912 à la *Société Belge d'Electriciens*, par M. CAPART, sous-directeur de la *Société générale des Condensateurs électriques de Fribourg*.

(2) *La Technique moderne*, octobre, novembre et décembre 1911, janvier, février et mars 1912.

Fil de terre. — Des études faites sur l'électricité atmosphérique, on a pu établir qu'à partir du sol jusqu'à 6 000 m. d'altitude environ, la répartition des surfaces équipotentiellés successives se fait d'une manière assez irrégulière (1).

Alors que, par temps serein et en plaine, la valeur du potentiel varie d'environ 150 volts par mètre sur les premiers 100 m., elle n'est plus que de 40 volts par mètre environ vers les 1 000 m. et de 15 volts par mètre vers les 4 000 m. Ces valeurs n'ont rien d'absolu, comme on le sait, et varient même beaucoup au cours de la journée.

La formation d'électricité atmosphérique est, en effet, un phénomène dû au frottement de la vapeur d'eau dans l'atmosphère ou d'autres corps en suspens dans l'atmosphère. (Expérience d'Armstrong, 1842 : un jet de vapeur sortant d'une chaudière engendré de l'électricité, la chaudière s'électrisant négativement.) La meilleure preuve en est qu'au voisinage des chutes d'eau les phénomènes statiques dans les lignes présentent un caractère particulièrement aigu (2).

Une cause fréquente de troubles dans les lignes trouve son origine dans la variation diurne de l'électricité atmosphérique et dans les mouvements relatifs des surfaces équipotentiellés, s'observant principalement au moment du lever et du coucher du soleil (Loomis, 1865) (3).

Fait important à noter également, c'est que la répartition du champ dans l'atmosphère s'écarte complètement des valeurs indiquées précédemment au cours d'un orage. Dans ce cas, on a pu mesurer — 6000 à + 6000 volts par mètre et même de — 10000 à + 10000 volts par mètre (A. VIALAY, 1911, *op. cit.*).

On comprendra aisément l'importance que peut prendre le phénomène précédent au point de vue des applications des transports d'énergie par lignes aériennes. Comme on le sait, ces dernières doivent souvent passer à des altitudes considérables pour redescendre ensuite en plaine, elles doivent souvent traverser des contrées très étendues, de telle sorte qu'elles coupent parfois des surfaces équipotentiellés à des potentiels très différents, ce qui peut occasionner des phénomènes statiques dangereux (4).

Une autre cause de troubles encore dans les lignes, c'est le renversement du champ atmosphérique qui se produit généralement à quelques mètres au-dessus du niveau du sol, de 4 m. à 15 m., disent les météorologistes. On voit immédiatement les inconvénients qui peuvent résulter de ce phénomène, si l'on se rappelle que les lignes aériennes sont généralement tendues au-dessus du sol à des hauteurs tombant dans ces mêmes limites, de telle sorte qu'elles peuvent traverser alternativement des couches de l'atmosphère à des potentiels de signe différent.

Ceci posé, on se rendra très bien compte maintenant du

rôle d'un fil de terre courant au-dessus d'une ligne aérienne. Si l'on se reporte à la figure 3, sur laquelle nous avons représenté comment se répartissent les surfaces équipotentiellés au-dessus et au-dessous d'une ligne aérienne, on voit que l'application d'un fil de terre a pour effet de créer autour des conducteurs sous courant une zone à potentiel zéro. De cette façon, les décharges de la foudre sont détournées naturellement à la terre sans emprunter le chemin de la ligne active.

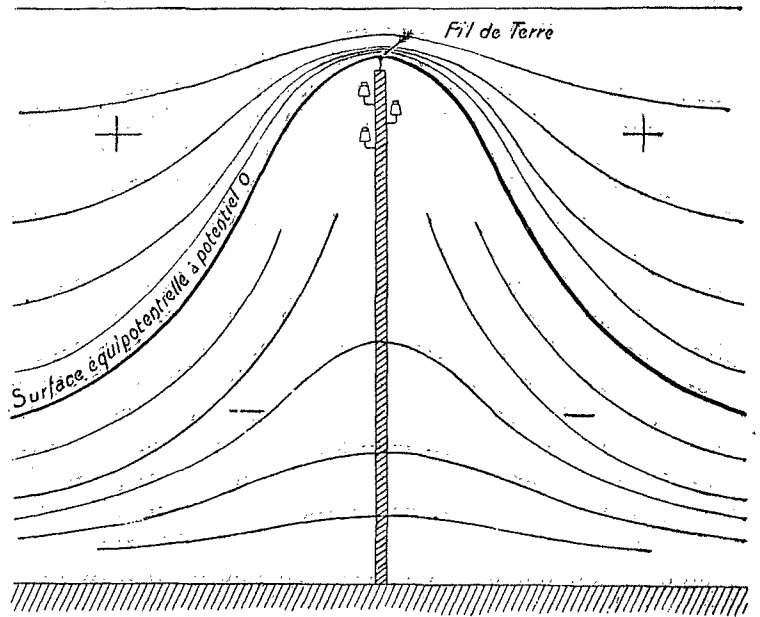


FIG. 3.

La ligne de terre présente également un sérieux avantage du fait qu'elle diminue l'importance des charges statiques des lignes, dans les parcours très accidentés.

En effet, les appareils placés aux extrémités des lignes pour l'écoulement des charges statiques sont surtout destinés à la protection efficace des enroulements des machines et seront souvent sans effet pour la protection de la ligne elle-même : il suffit simplement que la charge électrique, induite par un nuage électrisé, passe à une certaine distance des extrémités de la ligne et y reste en suspens (fig. 4); pour que cette protection ne soit plus complètement assurée.

Ceci montre également l'intérêt qu'il y a dans les transports d'énergie également l'importance d'une ligne de terre à prévoir dans les tranches de très grande longueur, non protégées par terre à prévoir.

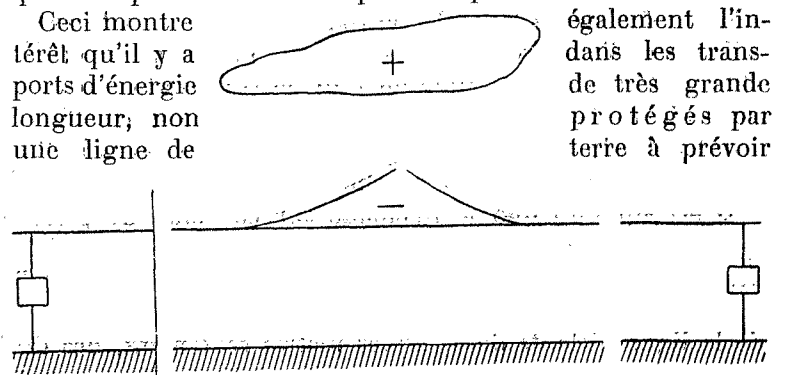


FIG. 4.

des coefficients de sécurité élevés pour les isolateurs. Comme je l'ai déjà dit par ailleurs (1), les conditions à réaliser pour l'établissement d'une ligne de terre devront être les suivantes :

1° Elle devra avoir une résistance élevée au point de vue mécanique, car sa rupture provoquerait un court-circuit direct au moment où elle entrerait en contact avec la ligne

(1) A. VIALAY, *Les circulations atmosphériques*, 1911 ; A. GÖCKEL, *Die Luftelektrizität*, 1908 ; MACHE et VON SCHWEIDLER, 1911.

Voir aussi les études de SIMPSON, 1909 ; LE CADET, 1904 ; CHAUVEAU, 1902 ; celles de LÉMON, BÉCCARIA, SCHÜBLER, DELMANN, PALMIERI, etc.

(2) ZIEF (*Blitzschutzapparate* : 1909) a observé sur une ligne téléphonique, coupée à ses deux extrémités, qu'il était possible d'en tirer des étincelles très fortes sous l'influence des charges statiques. Celles-ci étaient produites par la vapeur d'échappement d'une machine d'extraction très puissante qui montait dans l'atmosphère autour des fils.

(3) Nous connaissons des centrales de la Suisse où, en été, les interrupteurs automatiques déclenchent brusquement un peu après le coucher du soleil lorsqu'ils desservent des lignes de montagne, comme s'il se produisait un véritable court-circuit à l'une des extrémités du conducteur.

(4) On pourra s'en convaincre en lisant, par exemple, les descriptions documentées qui ont été données sur la mise en exploitation de la *Central Colorado Power Co* entre Glenwood et Denver (Amérique du Nord). Elle ont été publiées dans l'*Electrical World* (1910 et 1911) et dans les *Proceedings of the American Institute of Electrical Engineers* (1911).

active : c'est pourquoi on adopte généralement un câble tressé avec âme en chanvre plutôt qu'un simple fil ;

2° Le métal employé sera de l'acier doux galvanisé : on obtient de la sorte un meilleur amortissement des phénomènes inductifs à haute fréquence, dont nous parlerons plus loin, et il résiste mieux aussi aux effets de l'oxydation ;

3° Il conviendra, enfin, de la relier en différents points du sol en constituant de bonnes terres.

En fait, si l'application d'un fil de terre au-dessus de la ligne augmente les frais d'établissement de cette ligne dans une certaine proportion, il ne faut pas oublier que, dans les réseaux de très grande importance, il y a un intérêt évident à augmenter de toutes les manières possibles la sécurité de l'installation et à diminuer l'amplitude des phénomènes inductifs dans les conducteurs sous courant, et d'améliorer les communications téléphoniques lorsque les lignes téléphoniques sont montées sur les mêmes poteaux que ceux du transport de force.

Il est prouvé également que les couches équipotentielles atmosphériques se ferment parfois, au moment des orages, suivant des surfaces sphériques et, si elles sont très rapprochées, on arrive naturellement à la notion de « l'orage en boule », ce qui peut être considéré comme un cas limite.

Sans aller jusque-là, on peut s'expliquer de la sorte comment des machines électriques placées dans des postes traversés par des couches de ce genre, en mouvement, ont pu être claquées. Ce phénomène est d'autant plus subtil qu'il se produit souvent sans être accompagné de manifestation visible de la foudre : *éclair* ou *coup de tonnerre*.

Nous connaissons une installation, notamment, où deux alternateurs, marchant en parallèle, ont claqué de la sorte, en même temps, et tous les deux à *la quatrième bobine à partir de la borne d'entrée*. C'est pourquoi il est indiqué de prévoir, dans la construction des postes et des centrales, des réseaux métalliques extérieurs, comme l'a proposé Semenza, agissant en quelque sorte comme des cages de Faraday, et qui protégeront efficacement les machines contre ce genre de phénomène.

Condensateurs. — J'ai dit tout à l'heure que le condensateur, branché à l'extrémité d'une ligne aérienne, avait pour but d'empêcher l'introduction des ondes à front très raide ou à haute fréquence dans les enroulements des machines.

Les premières proviennent de ce que le régime du réseau étant brusquement troublé en l'un de ses points, un nouveau régime tend à s'établir dans toute son étendue (Giles, 1912). L'onde ayant son origine au point de perturbation se propage de proche en proche dans la ligne.

Il est superflu que je m'étende sur ce genre de phénomène, M. Giles l'ayant développé récemment à l'Association des Ingénieurs électriciens sortis de Montefiore (1). Qu'il me suffise de rappeler que ces ondes créent, entre des points de la ligne distants de quelques mètres seulement, des différences de potentiel assez grandes pour arriver à faire claquer les enroulements des transformateurs et des machines, non de spires à masse, mais de spire à spire.

Les ondes à haute fréquence d'origine atmosphérique, engendrées par les décharges inductives, sont à courte période et produisent naturellement, dans les enroulements, un effet identique à celui qui est provoqué par la propagation des ondes à front raide. Et cela s'explique tout naturellement,

puisque un maximum et un minimum de l'onde à haute fréquence ne peuvent être séparés que par une faible épaisseur de coton de deux spires voisines. On voit de la sorte qu'il est possible de faire claquer l'enroulement d'un transformateur avec quelques centaines de volts, alors que l'appareil lui-même est construit parfois pour plusieurs milliers de volts, 30 000 ou 40 000 volts par exemple.

Le condensateur branché à l'entrée des enroulements agit de manière à étaler le front d'onde, s'il est trop raide, ou à absorber l'onde et à la renvoyer sur la ligne si le phénomène est à haute fréquence ; dans ce dernier cas, son action est d'autant plus énergique et efficace que sa résistance diminue, comme on le sait, d'une manière inversement proportionnelle à la fréquence du phénomène.

Les considérations précédentes montrent que le condensateur branché à l'extrémité d'une ligne aérienne agit comme une soupape ou une cloche d'air placée à l'extrémité d'une conduite soumise à des coups de bélier ou à des mouvements vibratoires de la colonne liquide. Elles montrent aussi que des appareils à coupures simples ou multiples, ou constituées par de fortes résistances, présenteront de graves inconvénients.

Ils n'entreront en jeu que lorsque le potentiel aura déjà acquis une valeur dangereuse dans la partie de l'installation à protéger. Comme l'a fait remarquer très judicieusement Creighton (1), le *retard* que met le parafoudre à cornes pour s'amorcer est assez considérable pour que l'action de l'appareil de protection ne se fasse sentir efficacement que lorsque presque toute la surtension est passée. De ce fait, si la corne arrive quand même à s'amorcer, elle n'aura pu agir que comme indicateur de surtension et le courant qu'elle écoulera à la terre ne sera pas celui de la surtension, comme on le dit à tort, mais bien celui des machines.

Au surplus, j'insiste sur les mots : *si elle arrive quand même à s'amorcer*, parce qu'il est évident qu'elle ne pourra s'amorcer par les phénomènes à haute fréquence et à basse tension, dangereux comme nous l'avons dit, source certaine d'un très grand nombre d'accidents dans les postes de transformation.

Enfin, comme la résistance des parafoudres à coupures est généralement très grande, l'efficacité de ces appareils est réduite d'autant. Donc, d'une part, si on la fixe à une valeur trop faible, 300 ohms par exemple, elle donne lieu à des perturbations dangereuses au moment de leur fonctionnement ; d'autre part, si elle est trop forte, de 2 000 ohms par exemple, la réduction de la valeur absolue de la surtension est insignifiante (10 à 15 pour 100) et l'efficacité du parafoudre, comme nous le disions tout à l'heure, devient illusoire.

A la suite d'expériences intéressantes (2), Steinmetz et Creighton (3) sont arrivés à la conclusion que l'application des parafoudres à cornes dans les installations de transports d'énergie était une source véritable de danger (Rapport de Creighton au Congrès de Turin, 1911).

D'autres encore sont arrivés à faire la même constatation. Nicholson, par exemple (4), a donné les résultats comparatifs d'une série d'observations faites sur la ligne Niagara

(1) *Proceedings of the American Institute of Electrical Engineers*, mars 1911, p. 579.

(2) *Proceedings of the American Institute of Electrical Engineers*, mars 1911, p. 241.

(3) Voir également PETERSEN, *Hochspannungstechnik*, 1911, p. 163.

(4) *Proceedings of the American Institute of Electrical Engineers*, 1910 p. 241.

(1) GILES, *Bulletin de l'Association des Ingénieurs sortis de Montefiore*, mai 1912.

Syracuse, de 314 kms, 60 000 volts, 50 périodes par seconde, sur 11 078 isolateurs, pendant trois années successives. Nous les donnons à notre tour sous forme de tableau :

OBSERVATIONS	1907 Protection par 750 cornes	1908 Protection par 750 cornes	1909 Suppression des cornes
Isolateurs claqués.....	59	139	1
Isolateurs endommagés, mais ne demandant pas à être remplacés immédiatement.....	16	35	13
Interruptions de service par claquage d'isolateurs entraînant un arrêt durable dans l'exploitation.....	12	26	1
Interruptions assez courtes dans l'exploitation.....	32	38	19
Jours d'orage.....	41	54	44

On peut voir, par cet exemple, que la suppression pure et simple des cornes dans cette installation avait conduit déjà à une diminution considérable des claquages d'isolateurs et des interruptions de service.

Mais, dira-t-on, l'application pratique des condensateurs répond-elle entièrement aux conceptions théoriques qui viennent d'être exposées ?

A l'appui des explications données ci-dessus, il nous serait possible de remettre sous les yeux du lecteur les rapports excessivement intéressants qui ont été donnés à l'auteur par diverses exploitations de la Suisse romande, qui appliquent les condensateurs dans leurs réseaux, rapports que nous avons publiés dans *La Technique moderne*. Comme nous ne voulons pas nous exposer à des redites, nous citerons plutôt deux autres exemples, choisis entre plusieurs, le premier concernant une installation en France et le second une installation en Allemagne.

Le directeur de la Société des Forces motrices d'Auvergne nous a écrit en son temps la lettre suggestive suivante :

« Depuis le commencement de l'année 1908, époque à laquelle nous avons procédé à l'installation du matériel de protection de Fribourg sur notre réseau à 10 000 volts, il n'est plus survenu aucun accident de transformateur ou de machine du fait de perturbations atmosphériques et de surtensions en ligne.

« Nous sommes très heureux d'avoir à vous faire connaître ces heureux résultats, d'autant plus que les accidents avaient été nombreux pendant les précédentes années et que, d'autre part, pendant cette même période, il s'en est produit sur notre réseau à 25 000 volts que nous n'avons pas protégé jusqu'ici par le système des condensateurs. »

En ce qui concerne le deuxième exemple annoncé, on le trouvera décrit tout au long dans l'*Electrotechnische Zeitschrift* du 7 décembre 1911, n° 49. Dans une conférence donnée à Rheydt, à l'Association des Ingénieurs allemands, le docteur Frank, ingénieur en chef du réseau de Neuss, près de Cologne, a déclaré que l'application des condensateurs de Fribourg dans son réseau avait fait tomber le nombre des accidents de 70 pour 100 de ce qu'il était auparavant, lors de l'utilisation des cornes, malgré les conditions d'exploitation très difficiles.

Bobines d'induction à noyau de fer pour l'écoulement des charges statiques. — Nous avons insisté précédemment sur l'importance des phénomènes statiques dans les lignes aériennes. Pour les écouler à la terre, dans les centrales et dans les postes, on dispose de deux moyens assez opposés comme principe : appareils à jets d'eau ou à colonnes d'eau, ou bien bobines de self-induction à noyau de fer.

Comme on le sait, l'inconvénient du premier de ces appareils est d'avoir constamment le même débit en alternatif

et en continu et de conduire par conséquent à une grande perte d'énergie à la terre, sans compter qu'il n'est pas toujours possible de disposer facilement d'un courant d'eau.

C'est pourquoi, en nous appuyant sur une série d'expériences, nous préférons préconiser l'emploi de la bobine d'induction à noyau de fer. La résistance ohmique de cette dernière étant très faible, les charges statiques s'écouleront facilement à la terre sous forme de courant continu ; le débit en courant alternatif sera au contraire très faible et la perte d'énergie pourra donc être considérée comme insignifiante.

Ilâtons-nous d'ajouter que l'application d'appareils à coupures ne serait pas indiquée non plus en ce cas, l'adoption d'un limiteur à *fonctionnement continu* branché directement au réseau étant absolument nécessaire pour l'écoulement de ce genre de phénomène.

Au surplus, il n'est pas mauvais qu'on sache que certains appareils à coupures peuvent être considérés comme dangereux si on les branche à une ligne aérienne dans laquelle il y aurait production éventuelle de charges statiques. Par exemple, les appareils à rouleaux, d'une part, s'amorcent plus difficilement avec du courant continu, et, d'autre part, sont tels que le soufflage s'y effectue plus facilement avec le courant alternatif qu'avec le courant continu. Nous avons pu observer nous-mêmes que sur des appareils Würtz construits pour 45 000 volts alternatifs, l'arc pouvait encore être entretenu avec du courant continu d'environ 17 000 volts. Or, comme les phénomènes statiques s'écoulent à la terre sous forme de courant continu, nous croyons inutile d'insister sur le danger que peuvent présenter ces appareils, s'ils sont branchés à une ligne exposée à ce genre de phénomènes.

Soupapes Giles. — Nous avons dit tout à l'heure que cet appareil est destiné à écouler les surtensions à moyenne et à basse fréquence. Celles-ci prennent généralement leur origine dans le réseau même : résonances, fonctionnement d'interrupteurs, claquage de câble, variations brusques de régime, mauvaises mises en parallèle, etc.

Ces phénomènes sont également assimilables aux coups de bélier dans les conduites hydrauliques, mais ne se produisent pas avec la même soudaineté que lorsqu'ils sont d'origine atmosphérique.

En poussant plus loin la comparaison de ce qui se passe dans les conduites hydrauliques et électriques, nous pourrions rappeler que, sur les premières, on place des soupapes et des réservoirs d'air ayant des sections comparables à celle de la conduite elle-même et « il ne viendrait à l'idée de personne de donner à une soupape une section de 1 dm² quand la conduite elle-même aurait 1 m² de section. » (Giles.)

Il en est de même dans les canalisations électriques dans lesquelles il fallait pouvoir arriver à placer des soupapes ayant une résistance ohmique du même ordre de grandeur que l'impédance du réseau.

Encore faut-il réaliser cette condition de telle manière qu'il ne puisse se produire une espèce de coup de marteau en cas de fermeture brusque de la soupape. En intercalant de même, d'un seul coup, une résistance trop faible (comme dans les parafoudres à cornes par exemple) entre deux conducteurs d'une ligne électrique, on engendrera de la sorte une surtension aussi forte que celle qu'il fallait éviter.

Dans la soupape Giles, au contraire, par suite du grand nombre de colonnes en parallèle et par suite d'un autre dispositif qui permet le soufflage de l'arc à chaque demi-période, on arrive à n'intercaler cette très faible résistance que progressivement, c'est-à-dire au fur et à mesure de l'augmentation de la valeur de la surtension : l'appareil fonc-

tionne donc en quelque sorte comme un rhéostat bien gradué. La pratique a d'ailleurs montré qu'il en était bien ainsi et qu'il était possible de prévoir, s'il le fallait, l'adoption de soupapes pour lesquelles la résistance combinée atteigne seulement 70 ohms.

Enfin, une des caractéristiques de la soupape Giles est de faciliter l'amorçage des distances explosives d'une même colonne. En effet, le nombre d'intervalles d'air de cet appareil est tel que la surtension d'amorçage serait considérable s'il n'y avait pas un dispositif spécial prévu à cet effet. Ce dernier consiste à reporter successivement la totalité de la tension du réseau sur chacune des distances explosives, de telle sorte qu'on amorce celles-ci les unes après les autres au lieu de les amorcer toutes en même temps, comme cela a lieu dans les autres appareils.

Il nous reste à ajouter un mot sur le groupements ou mode de connexion donné habituellement à ces soupapes ; comme les surtensions à basse et moyenne fréquence peuvent se faire sentir aussi

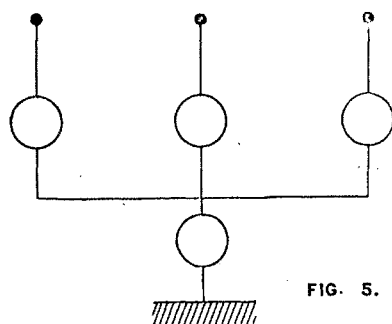


FIG. 5.

bien entre phases qu'entre chaque phase et la terre, il sera préférable d'adopter le montage par 4 de la figure 5. Ainsi qu'on peut le voir, cette disposition a, comme avantage, d'opposer aux surtensions toujours deux appareils en série, calculés

pour la moitié de la tension normale, qu'elles se produisent entre conducteurs ou entre chaque conducteur et la terre.

Avant de terminer, je crois devoir dire un mot sur la question de la mise à la terre du point neutre dans les installations à courants triphasés. Cette question a toujours préoccupé installateurs et exploitants et a été, depuis longtemps, le sujet de nombreuses controverses.

Des nombreuses expériences qui ont été faites avec l'un ou l'autre système, et que nous avons pu observer personnellement, nous croyons pouvoir dire, sans être contredit par personne, que la mise directe du neutre à la terre présente trois sérieux inconvénients :

1° Augmentation du danger de mort, au cas où quelqu'un vient à toucher des conducteurs sous courant ;

2° Mise en court-circuit directe sur la machine de la phase qui serait mise accidentellement à la terre, ce qui enlève toute possibilité éventuelle de marcher avec les deux autres phases, s'il y a un défaut d'isolement à la troisième ;

3° Perturbations téléphoniques très fortes dans les réseaux de ville à câbles souterrains, ces dernières rendant même l'exploitation téléphonique impossible si les alternateurs ont des harmoniques de denture d'ordre 3 (1).

Toutefois, comme la mise du neutre à la terre présente de nombreux avantages, nous préconisons de la réaliser par l'intermédiaire d'une résistance hydraulique, ou par un artifice de ce genre, ce qui supprime, par conséquent, la plupart des inconvénients que nous venons de citer. Il ne nous est malheureusement pas possible de nous étendre plus longuement sur ce point dans une causerie où l'on ne s'occupe que de la question de la protection des réseaux contre les surtensions.

Bruzelles, le 23 mars 1912.

SERVICE D'ÉTUDES DES FORCES HYDRAULIQUES DANS LA RÉGION DES PYRÉNÉES

Nous avons tenu nos lecteurs au courant de l'organisation du *Service d'études des grandes Forces hydrauliques*, et des résultats obtenus dans la région des Alpes. Inutile d'en faire, une fois de plus, ressortir toute l'importance, car il n'est personne qui, ayant à s'occuper de chutes d'eau, n'ait eu recours aux précieux documents publiés par le Service.

On sait qu'il a été étendu aux cours d'eau des Pyrénées, et prochainement nous nous proposons de donner ici une analyse des travaux effectués dans cette région. Mais, sans attendre davantage, nous tenons à signaler la publication qui vient d'être faite en librairie des premiers résultats obtenus au 31 décembre 1910.

Ils occupent deux tomes des *Annales de la Direction de l'Hydraulique agricole*. Le premier, de 260 pages, illustré de superbes vues photographiques, contient les rapports de M. R. TAVERNIER, inspecteur général et de M. MALTERRE, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, sur les opérations faites, puis les résultats obtenus pour le bassin de l'Adour. Le tome II est formé de 510 pages de barèmes et courbes de jaugeages, plus 62 graphiques de débits des cours d'eau du bassin de la Garonne.

Nous pensons que ce renseignement sera utile à plus d'un lecteur, car les Pyrénées, tout d'abord délaissées pour les Alpes, exportant leur houille blanche par de grandes lignes de transport, semblent par contre devoir être bientôt le pays d'élection du four électrique, apte à faire mettre en valeur leurs richesses minérales très nombreuses.

LA DURANCE ET SON UTILISATION POUR L'AGRICULTURE ET L'INDUSTRIE

Nos lecteurs se rappellent certainement les études publiées ici sur cette question par M. WILHELM, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Grenoble. Dans les numéros de février, mars, mai et décembre 1910, l'inlassable et savant ingénieur, à qui ses travaux si importants sur le régime des torrents valent une incontestable autorité en matière d'aménagement des rivières alpestres, nous a donné avec un aperçu de l'utilisation actuelle des eaux de la Durance, l'esquisse des grands projets de régularisation dont ce cours d'eau est susceptible pour le plus grand bien de l'agriculture en Provence et de l'industrie dans la zone de notre grand port méditerranéen.

« L'œuvre qui a été réalisée, disait excellemment M. WILHELM dans les conclusions résumant cette série d'articles, est considérable, mais elle n'est pas terminée. Les irrigations ont pris un tel développement que l'eau de la Durance devient souvent insuffisante, et cependant il y a de nouveaux besoins qui se manifestent. L'industrie de la houille blanche vient à peine de naître et déjà elle réclame une régularisation du régime de la capricieuse rivière. La même question se pose d'ailleurs plus ou moins pour tous les cours d'eau des Alpes, car partout l'industrie des grandes forces hydrauliques souffre du manque d'eau, surtout pendant l'hiver. C'est donc à juste titre que l'on se préoccupe de remédier à cette fâcheuse situation. Malheureusement, il sera le plus souvent impossible d'arriver à une solution

(1) Voir *La Revue électrique*, t. XI, 30 avril 1909, p. 304.