

rière en verre. Ils donnaient de très bons résultats en exploitation, sous la tension de 45 000 volts.

La détermination des formes et des dimensions d'un isolateur ne peut être faite qu'empiriquement, pas à pas, à mesure que les tensions employées s'élèvent, en s'inspirant du dimensionnement des isolateurs déjà faits, pour les tensions qui se rapprochent le plus de celle que l'on veut employer et éprouvés dans des installations faites sous le même climat.

On a obtenu de très bons résultats, pour isoler les conducteurs d'entrée et de sortie des transformateurs, en remplaçant la porcelaine cannelée par des tubes concentriques, en papier comprimé et verni que l'on sépare par des cylindres de clinquant. Ils constituent autant de surfaces de niveau. On tourne ensuite ces tubes, de façon à leur donner une surface conique très effilée. Les points, où les cylindres de clinquant sont mis à nu, sont ainsi très éloignés les uns des autres.

Protection des isolateurs. — Si un arc contourne un isolateur, en allant du conducteur qu'il supporte à sa ferrure, après avoir été amorcé par une cause quelconque, l'isolateur peut supporter son passage s'il n'est que de très courte durée. Si celui-ci se prolonge, l'isolateur se fêle et est mis hors de service.

Pour éviter cet inconvénient Creighton mesure la tension entre chaque conducteur et le sol au moyen d'un électromètre. Si cette tension subit une baisse anormale, l'électromètre agit sur un relais qui établit un court-circuit franc entre le conducteur et le sol, pendant un temps très court et l'interrompt ensuite. Cela suffit pour souffler l'arc à la surface de l'isolateur. Ce procédé fournit les meilleurs résultats et se généralise.

Toutefois, son application nécessite que le point neutre de la ligne ne soit pas relié au sol ou ne le soit que par l'intermédiaire d'un appareil de protection qui arrête les courants à la fréquence du réseau.

POINTS NEUTRES. — Si l'on mettait franchement à la terre les points neutres des stations et des lignes de transport, on les maintiendrait au potentiel zéro et il en résulterait un grand bénéfice, au point de vue de la facilité d'isolation. En particulier, la tension qu'auraient à supporter les isolateurs serait toujours égale à la tension simple des courants et ne courrait pas le risque de devenir égal à leur tension composée, qui est $\sqrt{3}$ fois plus grande. Il en serait de même pour les différences de potentiels, supportées par les transformateurs. Enfin, on ne courrait pas le risque de voir les appareils des stations acquérir une charge statique considérable, comme il sera indiqué tout à l'heure.

Mais, si le point neutre d'une ligne de transport communie avec le sol, toute mise à la terre momentanée d'un conducteur détermine la production d'un court-circuit franc. En particulier si un arc est amorcé à la surface d'un isolateur, non seulement il est impossible de le souffler, avec la méthode si simple de Creighton, mais tout le courant débité par le conducteur, d'où part l'arc, tend à s'écouler par cet arc et l'isolateur ne peut le supporter.

En ne mettant pas directement à la terre le point neutre d'une ligne de transport, et en faisant en sorte que les courants de travail ne puissent pas se rendre du point neutre au sol, on augmente les difficultés d'isolation de la ligne et des appareils; or cela se ramène à un surcroît de dépenses de premier établissement largement compensé par un supplément de sécurité dans l'exploitation.

Aussi on ne met plus les points neutres d'une ligne de transport en relation directe avec le sol. De même, dans les stations, les points neutres des appareils à basse tension ne sont reliés au sol que par l'intermédiaire d'une résistance.
(A suivre.)

A PROPOS DE «HOUILLE NOIRE»

La pose d'un câble armé, porteur d'énergie électrique à 3 000 volts, dans les rues de la cité industrielle de Decazeville, a ménagé aux électriciens une surprise d'un ordre si spécial qu'elle m'a paru digne d'être signalée.

Tout contre l'immense cuvette à ciel ouvert où la Compagnie de Commentry-Fourchambault-Decazeville exploite une couche de houille de 50 mètres de puissance, le long de la rue Deseilligny, une tranchée fut récemment ouverte pour la pose d'une canalisation électrique souterraine. Les ouvriers terrassiers occupés à la tranchée constatèrent avec surprise que, sur une longueur d'une vingtaine de mètres, la température du sol, sous la chaussée s'élevait rapidement. A un mètre de profondeur, le thermomètre marquait 75° C.

Le câble étant isolé au papier imprégné et soigneusement engainé de plomb et de feuillard d'acier suivant les procédés habituels, on décida la construction d'un caniveau d'aération avec cheminées latérales. Ces cheminées sont juxtaposées au mur d'enceinte de l'usine métallurgique bordant la rue. Le câble est suspendu, au moyen d'attaches, dans l'axe du caniveau. Grâce à la dépression créée par les cheminées, il s'établit dans le caniveau une énergique ventilation. La cheminée d'amont évacue ainsi l'air chaud accompagné d'abondantes fumées de vapeur d'eau.

Des mesures thermométriques, effectuées le 8 août, dans les fumées de la cheminée amont ont indiqué 72° par temps chaud. Le lendemain, 9 août, par temps pluvieux et frais, le thermomètre descendait à 56°.

D'autres mesures thermométriques ont montré, depuis, que l'aération du caniveau était efficace, la température à la cheminée amont variant avec la température ambiante; elle n'a pas dépassé 75° au cours de l'été. Pour un câble armé, c'est déjà une honnête température.

D'après les habitants, le phénomène aurait pu être prévu. Cette partie critique de la rue Deseilligny, longue d'une vingtaine de mètres, ne garde pas les neiges d'hiver qui fondent en touchant le sol; en outre, les jours de pluie, on constate que la surface intéressée sèche très rapidement. Mais, ces renseignements ont surgi après coup et personne n'avait songé à donner un avis avant les travaux de pose du câble. — Quand la surprise fut passée, on chercha la relation de cause à effet. Il est évident que ce phénomène de feu souterrain, heureusement fort rare et probablement unique dans une rue de ville, a pour origine la combustion d'une veine de houille qui avoisine en profondeur.

Le feu souterrain semble, du reste, avoir pour lieu d'élection le bassin houiller de Decazeville; il y revêt, en tous cas, une ampleur telle qu'il m'a paru intéressant de réunir quelques notes.

Un mot, d'abord, sur le bassin houiller.

D'après les géologues, ce bassin formait, à l'époque carbonifère, une immense dépression lacustre où de multiples courants charriaient les végétaux. Il s'est formé ainsi, au hasard des soulèvements successifs, trois couches de houille distinctes à des étages sensiblement différents. L'étage supérieur, qui affleure en nombreux endroits et qu'on exploite en partie à ciel ouvert, est le système de Decazeville.

L'ensemble du bassin affecte une forme triangulaire dont un côté a, très exactement, la direction Nord-Sud suivant une cassure du terrain primitif. La plus grande largeur, sur le parallèle de Cransac, ne mesure que 8 kilomètres environ. Un grand méandre de la rivière, le Lot, découpe bizarrement la pointe Nord du triangle. Le terrain présente diverses dislocations et de nombreuses failles le sillonnent occasionnant des rejets de couches ou des anomalies.

Les houilles du bassin sont classées comme très grisouteuses et, dans les parties où l'on exploite en galeries, divers accidents du grisou ont laissé de tristes souvenirs. Le plus récent est d'hier puisqu'il s'est produit le 14 juillet dernier, aux houillères de Cransac. Grâce à l'heureuse coïncidence de la fête nationale, l'explosion n'a fait comme victimes que les 16 hommes de garde aux galeries. Un tout autre jour, les morts auraient pu se compter par centaines.

A part le grisou, on a gardé aussi le souvenir de malheurs d'un autre ordre, tel que l'essai des chassapots, en 1869, sur les grévistes du Gua et l'assassinat de l'ingénieur Watrin, en 1886, à Decazeville même. Ce malheureux ingénieur, à moitié assommé d'un coup de gourdin, fut jeté d'une fenêtre de l'Hôtel de Ville sur le sol de la place Decazes et son corps pantelant eût à subir d'abominables sévices de la part d'une bande de femmes déchaînées.

Dans le quadrilatère formé par les centres industriels de Decazeville, Aubin, Cransac et Firmi, les manifestations du feu souterrain sont nombreuses et importantes ; elles paraissent se grouper suivant la direction de la diagonale Decazeville-Cransac, sur une étendue d'environ 6 kilomètres de longueur.

A Decazeville, dans la grande cuvette à ciel ouvert, la moindre faille ou fissure, en corrélation avec les terrains profonds, émet d'abondantes fumées. Le terrain stérile qui recouvre l'épaisse couche de charbon semble en partie calciné.

Plus au Sud, à Combes, il y a 30 ou 40 ans, les flammes sortant des fissures de la montagne étaient si vives qu'elles illuminaient, la nuit, tout le paysage. Depuis, cette immense fournaise a décré d'intensité, mais, néanmoins, elle est encore active et, sous les pluies, la montagne s'environne de buées et de vapeurs. Le sol est aussi brûlant.

A la Buaygne, un mamelon, tout craquelé, par un feu disparu, et effondré en cirque, donne l'impression d'un volcan à cratère ébréché.

A Fontaynes, à travers les fissures, passent des fumées suffocantes et les bords de ces fissures se couvrent d'alun naturel qu'on exploita jadis avant la découverte de l'alun synthétique. — A Buffet, la montagne est encore brûlante ; le sol est composé de grès calcinés, blancs ou roses, le couronnement formé de magmas vitrifiés ; les fumées sortent toujours des crevasses.

Au Nord de Cransac, on relève sur la carte le nom d'Etuves. Il ne s'agit point là d'un nom de village : c'est la désignation d'une curiosité qui fut longtemps utilisée thérapeutiquement. Le sol de la montagne est, par endroits, brûlant à tel point que le piéton, gravissant la rampe, perce nettement par ses chaussures l'élévation de la température. Il suffit de creuser la terre à faible profondeur pour avoir une étuve sèche avec 50° C. Si l'on souffre de courbature rhumatismale, on n'a qu'à s'insérer dans le trou pour s'étuver avec transpiration abondante. Pendant un long temps, on a employé ces étuves naturelles au traitement de certaines affections. En outre, Cransac possédait une source minérale fortement magnésienne ; on y trouvait donc réunis deux modes de traitement qui eurent autrefois

une certaine vogue : sudation énergique et purge violente. La source minérale de Cransac a disparu par suite du traçage des galeries de mines ; il en existe, toutefois, une autre de même nature à Combes. Faut-il ajouter qu'en l'absence de tout casino, les malades ont porté leurs misères vers d'autres sources offrant des adjuvants tels que le tango et le baccara !

Enfin, au Montet, la montagne émet en abondance des vapeurs noires et sulfureuses ; des fissures nombreuses laissent passer les flammes asphyxiantes.

L'ampleur de ce volcanisme artificiel et son existence de temps immémorial, puisqu'il est rapporté dans les plus anciennes chroniques, tendraient à laisser croire à une origine plutonienne. Il n'en est rien et le simili-volcan de la Buaygne n'est que l'effondrement d'un mamelon calciné par le feu. Les eaux minérales magnésiennes ne sont point le dernier écho d'une ancienne activité éruptive ; elles relèvent des eaux d'infiltration à travers les couches géologiques.

Les phénomènes de la chaleur de contact, rapportés ci-dessus, montrent qu'on a affaire à un foyer gigantesque et non au feu central tellurique ; on sait, en effet, que de nombreux observateurs ont mis en relief le point suivant : l'action calorifique des volcans, par conductibilité ou rayonnement, est presque nulle en dehors de l'orifice qui sert d'exutoire ; les volcans ne fondent même pas les neiges qui enveloppent leur cône. Or, dans le territoire décrit, rien de semblable ; on se chauffe fortement les pieds sur tous les sols de montagnes en ignition, ce qui prouve que le foyer est peu profond, de grande activité et de longue durée puisqu'il a agi par conductibilité à travers des roches non conductrices. — Il est donc bien certain que les flammes de gaz combustibles brûlent les produits distillés d'une cornue fantastique qui dévore des richesses minérales inestimables et l'homme s'active à exploiter les bancs que le feu n'a pas encore atteints. — Comment a pu s'allumer cet incendie souterrain ? Dans les galeries de mines, le fléau se déchaîne généralement par l'échauffement des fines poussières de charbon et cet échauffement est consécutif d'éboulements partiels entraînant un frottement énergique des particules ; à ce moment, un accès d'air provoque l'inflammation. Parfois les conséquences sont bénignes ; le mineur combat vigoureusement le fléau et l'emmure ou l'étouffe sous des torrents de boue. Mais, dans le bassin aveyronnais, il est impossible d'émettre, sur l'origine du feu, une hypothèse plausible ; il a pris une telle allure que l'homme et la science n'ont qu'à reculer impuissants.

Depuis combien de temps le fléau sévit-il ? J'ai dit plus haut qu'il est rapporté dans les anciennes chroniques. Il est cependant douteux qu'il ait une haute antiquité et voici sur quoi je base mon opinion. Les légions romaines ont occupé le pays : après la prise d'Alésia, notamment, la première légion de César vint occuper, sous les ordres de Rebilus, le Rouergue et le territoire des Ruthènes ; l'hiver terminé, ce Rebilus, ramenant sa légion au siège d'Uxellodunum, traversa le bassin houiller. Or, les *Commentaires* qui sont si précis sur les accidents géographiques de notre pays, sont muets sur le sujet qui nous occupe. Il est certain que César n'aurait pas omis de signaler une chose aussi extraordinaire qu'un territoire en feu ; il y aurait vu, sans aucun doute, une succursale de l'autre où, sous l'Etna, Vulcain forgeait inlassablement en compagnie des Cyclopes.

D'autre part, les chroniques anciennes désignent en langue romane « *lou pech qué ard* » (la montagne qui brûle) et le « *foc sulfrenc* » (le feu de soufre). Il est donc certain qu'au Moyen Age, le feu était déjà en pleine activité.

D'après l'inspection des vestiges calcinés, il est probable que le feu est aujourd'hui en régression. Mais, les couches de houille intactes sont si puissantes et rapprochées qu'une extension, due, par exemple, à des éboulements ou effondrements souterrains de grande étendue, reste dans la limite des contingences.

Il est vraiment impressionnant de voir, dans ce bassin aveyronnais, qu'à côté du grisou tueur d'hommes, un feu souterrain quasi permanent dévore la richesse noire, génératrice de tant d'efforts et de labeurs industriels.

Gabriel PATROUILLEAU,
Directeur général
de la Société Grenoble-Electricité

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

PHYSIQUE

Sur l'obtention aisée de températures atteignant — 211° par l'emploi de l'azote liquide. Note de M. GEORGES CLAUDE, transmise par M. d'Arsonval. Séance du 28 juillet 1913.

M. G. Claude signale la simplicité avec laquelle il est possible, en l'absence d'hydrogène liquide encore difficile à se procurer, d'atteindre en quelques minutes la température de solidification de l'azote, soit — 211°, quand on dispose de l'azote liquide que peuvent fournir aujourd'hui de nombreuses usines.

Le procédé employé à cet effet, dont le principe est d'ailleurs bien connu, est souvent beaucoup plus commode, plus rapide et permet d'opérer avec un matériel restreint sur des quantités d'azote liquide plus importantes que l'évaporation dans le vide.

On sait que quand on fait passer dans un gaz liquéfié un courant d'air rapide, le liquide est refroidi très au-dessous de son point d'ébullition normal. M. J. Duclaux, en particulier, a étudié ce phénomène et a montré qu'on pouvait atteindre ainsi, sans récupération de froid, une température approximativement égale à la moitié de la température critique absolue du liquide.

M. Claude a eu l'occasion d'utiliser ce procédé, dans le cas de l'azote liquide, en employant l'hydrogène comme gaz refroidisseur. L'azote liquide à refroidir remplit jusqu'à 4 cm. du bord une éprouvette d'Arsonval-Dewar de 6 cm. de diamètre intérieur et 30 cm. de hauteur utile. Dans cette éprouvette plonge un tube ouvert qui constitue l'extrémité d'un serpentif de 12 spires d'un tube de cuivre de 6 mm. de diamètre intérieur enroulé en 12 spires de 7 cm. de diamètre. Ce serpentif, refroidi dans un autre bain d'azote liquide, est traversé par un courant d'hydrogène fourni par une bouteille du commerce et qu'il est inutile de dessécher si la pression de la bouteille est élevée. Cet hydrogène se refroidit dans le serpentif et traverse tumultueusement le liquide du récipient argenté, dont la température est suivie à l'aide d'une résistance étalonée. Le happage de l'air extérieur par le liquide très froid est évité en recouvrant l'éprouvette argentée d'un carton d'amiante percé d'un trou de 1 cm. de diamètre, qui laisse seulement l'hydrogène s'échapper.

Le courant d'hydrogène est utilement aussi intense que possible. Pour ne pas projeter trop violemment le liquide au dehors, on le limite d'abord à 20^l ou 25^l par minute et, à mesure qu'il y a plus de place libre dans l'éprouvette, on le pousse progressivement à 50 ou 60 litres.

Dans ces conditions, le refroidissement est très rapide. M. Claude a noté dans un essai : — 200° après 2 minutes, — 206° après 6 minutes, — 210° après 12 minutes. A partir de ce moment, on est sensiblement en régime, car après 20 minutes on n'est qu'à — 211°, température limite qui correspond d'ailleurs à la lente congélation de l'azote : ceci fournit un point fixe, d'un usage aussi commode que celui des points d'ébullition de l'oxygène et de l'azote, soit qu'on prolonge le courant d'hydrogène, car la congélation se poursuit lentement, soit qu'on arrête ce courant, car les parties congelées se reliquéfient. C'est ainsi que dans cet essai, j'ai noté la constance de la température à 0°, 1° près, pendant 8 minutes après l'arrêt de l'hydrogène, tandis qu'elle se met ensuite

à remonter de 0°,05 par minute. C'est une chose assez singulière que le courant d'hydrogène peut être arrêté entièrement sans que l'air extérieur soit condensé par ce liquide très froid, à la condition, bien entendu, que le vase soit préservé de toute agitation.

Dans l'essai ci-dessus relaté, il restait encore dans l'éprouvette, à la cessation du courant d'hydrogène, les 2/3 du volume, soit près de 0,5, du liquide à — 211° ; la dépense d'hydrogène avait été de 0,6 m³ d'hydrogène et la quantité d'azote liquide évaporée dans le bain refroidisseur de 0,8 environ. Le procédé pourrait naturellement être amélioré au point de vue économique, mais aux dépens de sa commodité et de sa simplicité d'emploi, et en supprimant notamment le grand avantage d'opérer en vase ouvert, en récupérant le froid d'une façon analogue à celle qui a été décrite par M. J. Duclaux.

Avec le même dispositif expérimental que ci-dessus, l'oxygène liquide subit un abaissement de température plus important que l'azote, car on n'est pas, avec lui, limité par la congélation. Toutefois, comme on part de — 182°,5 on n'aboutit qu'à — 204°. L'emploi de l'azote liquide est donc à tous égards préférable.

Dans l'un et l'autre des cas indiqués ci-dessus, surtout dans le dernier, on tombe, comme on le voit, notablement au-dessus de la moitié de la température critique. Pour atteindre avec l'oxygène la même température par réduction de pression, il faudrait le faire bouillir dans 5 cm. de mercure. Le résultat obtenu est donc très remarquable.

PHYSIQUE COSMIQUE

Sur la conservation et l'origine du magnétisme terrestre. Note de M. KR. BIRKELAND. Séance du 28 juillet 1913.

L'auteur a montré dans une note précédente comment le mouvement des ions et des électrons autour du soleil servait à augmenter le magnétisme solaire. Il cherche dans cette étude si l'on peut imaginer de quelle façon l'émission des électrons solaires dans l'espace peut donner naissance au magnétisme terrestre.

M. Birkeland pense qu'il existe à présent autour de la Terre magnétique un système de rayons héliocathodiques, dont il n'a cessé depuis 15 ans de chercher à révéler les traits les plus caractéristiques. Il se trouve par exemple dans le plan de l'équateur un anneau, où les rayons circulent nécessairement de façon à augmenter le magnétisme terrestre. Mais de tels rayons ne pouvant, par leur action magnétique directe, rendre compte de plus de 1/40 de la force magnétique terrestre, il faut chercher si ce système de rayons extérieurs peut créer, par induction dans la Terre en rotation, des courants qui puissent expliquer les variations diurnes du magnétisme terrestre et même le magnétisme général de la Terre.

Il est cependant impossible de penser qu'un tel système extérieur donne naissance par induction à des courants électriques circulant toujours dans le même sens autour de l'équateur, à l'intérieur de la Terre, parce que, même pour ces rayons pour lesquels H_p doit être de l'ordre 10^6 , il faut que l'intégrale curviligne de courant autour de l'équateur soit zéro.

Mais le système extérieur héliocathodique crée par induction des courants telluriques ; il en existe plusieurs espèces qui changent de direction pendant la journée. On reste d'accord avec la théorie électronique en admettant que cet échange perpétuel des