

L'importance d'un tel fait, qui semble corroboré par les expériences que nous venons de décrire, est de premier ordre pour l'emploi de l'ajutage Venturi dans le cas des essais des turbines hydrauliques, de débits un peu considérables, et en général de tous appareils hydrauliques très puissants.

L'intérêt qui s'attache à cette question ne peut échapper à personne, et elle mériterait certainement une étude spéciale sur d'autres types d'appareils. Nous espérons vivement que l'occasion nous sera fournie de revenir sur ce sujet plein d'intérêt; nous nous permettons d'attirer sur ce fait l'attention de la Commission des Turbines; à la générosité de laquelle, comme nous l'avons déjà dit, nous devons ces premiers résultats.

Essais divers. — Essai des petits compteurs d'eau.
A l'extrémité de la salle des essais hydrauliques, près de la rampe d'accès pour l'arrivée des machines, nous avons installé deux groupes d'appareils pour la vérification et pour les essais des compteurs d'eau.

Le premier de ces appareils, fourni par la Compagnie pour la fabrication des Compteurs, se compose de deux réservoirs à niveau constant, alimentés par l'eau de la ville, qui donnent respectivement des charges de 1 et 2 mètres.

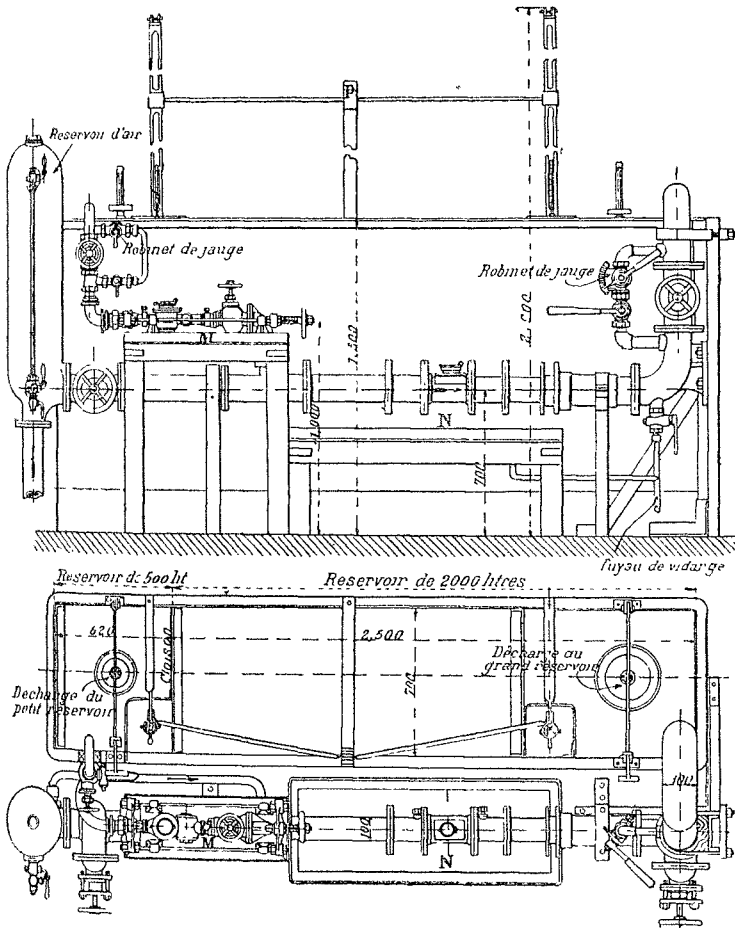


Fig. 26. — Appareil pour l'essai des compteurs d'eau.

Par un jeu de vannes et de robinets, on met en communication l'un de ces deux réservoirs avec les compteurs à essayer. L'eau évacuée par ces derniers est mesurée dans des bâches jaugées de 110 litres. Les débits sont réglés par des diaphragmes calibrés, et la jonction des compteurs à l'appareil d'essais est réalisée par des tubes souples en caoutchouc.

à Montrouge une série de mesures qui lui ont permis de constater que le débit de cet instrument calculé théoriquement était très rapproché du débit vrai. *Revue de mécanique*, septembre 1907.

Ce dernier appareil peut également être mis en communication directe avec l'eau de la ville, et l'on opère, au besoin, avec la pression totale de cette dernière.

Les compteurs sont aussi essayés, surtout pour les débits un peu plus importants, avec un appareil construit par la Compagnie générale des Conduites d'eau. Il est disposé en vue de mesurer non seulement le débit, mais encore la perte de charge.

Le compteur est mis en place sur un banc d'essai (fig. 26) au moyen d'un dispositif qui rend la manœuvre rapide et commode; l'eau qui le traverse est recueillie dans des bâches à flotteurs; une échelle graduée indique à chaque instant la consommation en eau. Un manomètre hydraulique différentiel P permet la lecture des pertes de charge pour les différents débits. Les compteurs au-dessous de 40 millimètres sont essayés en M; ceux de 50 à 100 millimètres, en N.

Appareils pneumatiques. — Une canalisation d'air comprimé à 12 kgs, qui court le long d'un mur de salle, permet de faire l'étude des moteurs à air comprimé, des freins, outils pneumatiques ou autres appareils.

Appareil d'essai des compteurs à gaz. — Enfin, dans cette salle, et dans un local complètement séparé, est installé un appareil pour l'essai des compteurs à gaz, il se compose d'un gazomètre de 500 litres, entièrement équilibré, qu'on peut remplir d'air ou de gaz. Ce gazomètre est en communication avec les compteurs à essayer, qui sont placés parfaitement d'aplomb sur un marbre. Le gaz entre et sort du compteur par des conduites en caoutchouc munies de joints hydrauliques. Ce banc permet l'essai de six compteurs à la fois. Des manomètres mesurent la perte de charge dans la traversée du compteur. Après avoir circulé dans tous les compteurs montés en série, le gaz passe dans un compteur étalon qui permet de contrôler les lectures faites au gazomètre; il se rend enfin à une rampe, où il est brûlé dans une série de becs papillons installés sous la hotte.

BOYER-GUILLON, *Ingénieur civil des Mines,*
Chef de la section des essais de machines au Laboratoire
d'Essais du Conservatoire National des Arts et Métiers.

LES CANALISATIONS SOUTERRAINES

Communication faite au Congrès de Marseille par M. DE MARCHENA, Ingénieur en chef de la Compagnie Thomson-Houston.

Les canalisations souterraines, de systèmes si divers aux débuts des applications électriques, dérivent maintenant toutes d'un type unique, celui créé il y a quelques vingt ans par Siemens. Les perfectionnements de détails apportés à ce type l'ont amené à un point de perfection qui a permis d'étendre singulièrement le champ de ses applications, et, à l'heure actuelle, ces dernières comportent des voltages qui, il y a peu de temps, étaient considérés comme représentant les limites extrêmes admissibles pour les installations électriques.

L'importance très considérable qu'a prise cette fabrication spéciale rend particulièrement désirable de fixer à son sujet quelques règles précises, qui puissent servir de bases et de guides aussi bien aux acheteurs qu'aux fournisseurs. Le sujet est maintenant suffisamment connu, et les données d'expériences assez nombreuses et caractéristiques, pour que ces règles puissent être tracées sans trop d'incertitude.

I. — CONSTITUTION DES CANALISATIONS SOUTERRAINES

On peut considérer les câbles souterrains comme constitués de trois parties nettement distinctes : a) Les conducteurs de travail ; — b) L'enveloppe protectrice extérieure ; c) L'isolant séparant les conducteurs de l'enveloppe protectrice.

Conducteurs. — Les conducteurs de travail peuvent être uniques ou multiples (2 ou 3 sous la même enveloppe). Dans ce dernier cas, ils sont presque toujours, à l'heure actuelle, constitués par des câbles en cuivre symétriquement placés et enroulés en hélices à pas plus ou moins allongé. On a à peu près renoncé à l'usage des câbles concentriques, même dans le cas des câbles à deux conducteurs. Ces câbles sont composés de torons à section sensiblement circulaire (à 7, 19 ou 37 fils, ou plus même, suivant la section totale à réaliser) ; et quoique, pour mieux utiliser l'emplacement disponible et réduire le diamètre intérieur, on ait parfois remplacé les torons à section circulaire par des faisceaux à section sensiblement triangulaire, on peut dire que cette manière de faire ne s'est pas répandue par suite de ses inconvénients pratiques, beaucoup plus grands que l'avantage cherché.

D'une manière générale, les conducteurs en cuivre sont étamés pour les mettre à l'abri des actions chimiques pouvant résulter du contact avec les matières isolantes.

Enveloppe protectrice. — L'enveloppe protectrice extérieure joue généralement un double rôle ; elle doit premièrement assurer l'étanchéité pour mettre l'isolant à l'abri de l'humidité et de toutes actions chimiques extérieures. En second lieu, elle doit servir de protection mécanique, non seulement après la pose, mais encore durant les opérations de transport et de mise en place.

L'étanchéité est obtenue à l'aide d'une ou de deux games de plomb continues, d'épaisseurs plus ou moins grandes ; la protection mécanique est réalisée soit par une enveloppe de fils d'acier, soit plus généralement par une double enveloppe en rubans d'acier. Un matelas de filin goudronné est interposé entre les games de plomb et les rubans d'acier ; généralement un autre matelas semblable forme l'enveloppe extérieure du câble.

La vie du câble étant déterminée par la résistance de l'enveloppe en plomb aussi bien aux agents chimiques qu'à l'électrolyse et aux actions purement mécaniques, il y a intérêt à la renforcer au delà de ce qui serait nécessaire pour assurer strictement l'étanchéité initiale. A l'heure actuelle, on ne descend pas au-dessous de 3 mm. d'épaisseur pour l'enveloppe en plomb, et on lui donne généralement entre 3 et 4 mm. Aussi (et principalement pour les câbles à haute tension) l'enveloppe en plomb entre-t-elle pour une part très importante dans le prix de revient total des câbles armés.

Pour certaines applications spéciales, le plomb a été remplacé par de la gutta-percha, qui donne une étanchéité absolue, et qui sert à la fois d'isolant et d'enveloppe protectrice. Mais ces applications sont très rares, vu le prix élevé de la gutta-percha, et elles se réduisent aux câbles destinés à être constamment immergés. Un exemple intéressant de ce dernier genre de câbles est celui posé en 1906 par la maison Pirelli pour la traversée du lac de Garde, et qui fonctionne sous la tension de 13000 volts à la fréquence de 50 périodes.

Isolants. — A l'heure actuelle, d'une manière à peu près générale, l'isolation des câbles est réalisée à l'aide du papier imprégné ; celui-ci a remplacé, presque complètement, à la fois le jute imprégné et le caoutchouc, qui ont été utilisés au début et jusqu'à une dizaine d'années.

Les conditions à remplir par l'isolant doivent permettre à la fois d'assurer un bon fonctionnement et de réaliser un prix de revient modéré. Ces conditions sont multiples. Il doit tout d'abord posséder une résistance diélectrique considérable ; — il doit être parfaitement homogène et régulier ; — il doit être stable, c'est-à-dire conserver toutes ses qualités, quel que soit la durée de son usage, et dans les conditions physiques variées ; — il doit posséder une grande souplesse et une grande résistance mécanique pour permettre, sans qu'il en résulte d'inconvénients, de faire subir aux câbles les multiples manutentions qu'exigent leur fabrication, leur transport et leur mise en place ; — enfin, il doit être d'un prix de revient peu élevé.

Le papier imprégné remplit ces diverses conditions à un degré des plus satisfaisants.

Dans ces dernières années, des études approfondies ont été faites qui ont donné lieu à des améliorations considérables, grâce au choix judicieux des matières employées et de leurs dosages. Naturellement, chaque fabricant conserve secrets, d'une manière jalouse, les résultats des expériences qu'il fait dans cet ordre d'idées ; mais la grande similitude des produits obtenus dans les diverses maisons de premier ordre montre que les règles de la fabrication ne doivent que bien peu s'écarter de l'une à l'autre. La condition essentielle du succès réside, dans tous les cas, dans une surveillance très minutieuse ayant pour but d'assurer aussi parfaitement que possible la régularité et l'homogénéité de la fabri-

cation et la réalisation, en pratique industrielle, des résultats obtenus au laboratoire.

L'imprégnation des câbles se fait après que ceux-ci ont été soigneusement séchés par l'action combinée de la chaleur et du vide. Elle se fait à une température voisine, en général, de 110° à 120° ; elle est calculée de façon à ne pas altérer la matière organique dont est constitué le papier, tout en étant suffisamment élevée pour que la matière imprégnante (qui doit faire prise aux températures ordinaires de fonctionnement des câbles) soit tout à fait fluide lors de l'imprégnation.

Dans ces dernières années, en vue de la fabrication des câbles à très haut voltage, on a proposé de divers côtés une constitution mixte de l'isolant, la nature de celui-ci variant suivant une certaine loi, depuis le centre, au contact du conducteur, jusqu'à la périphérie. On a proposé, notamment, d'employer autour du conducteur le caoutchouc vulcanisé en réservant le papier imprégné pour la périphérie. Cette proposition est fondée sur la répartition du potentiel très inégale dans les câbles à haut voltage comportant de très fortes épaisseurs d'isolant ; elle a pour but, d'une part, d'améliorer cette répartition en employant pour les premières couches d'isolant une matière ayant une capacité inductive spécifique plus élevée que celle des couches extérieures et, d'autre part, d'établir, là où la tension électrique (ou différence de potentiel par unité d'épaisseur de l'isolant) est la plus élevée, des matières isolantes plus chères que le papier imprégné, mais ayant une résistance diélectrique plus grande.

M. Jona, ingénieur en chef des établissements Pirelli, a fait à ce sujet, au Congrès de Saint-Louis, en 1904, une communication très intéressante, et très complète, à laquelle nous pouvons renvoyer ceux que la question intéresse. Cette communication contient de nombreux exemples numériques qui montrent très clairement le résultat cherché. Il est difficile de se prononcer à l'heure actuelle d'une manière absolue sur la valeur d'un tel système. Il semble que dans la grande majorité des cas les avantages pratiques en soient bien minimes et compensés par bien des inconvénients.

Les rigidités diélectriques obtenues maintenant pour le papier imprégné sont sinon égales, du moins bien peu inférieures à celles des meilleurs caoutchoucs, de telle sorte que la substitution partielle de l'un à l'autre ne peut avoir d'influence sur le calcul rationnel que par une amélioration de la répartition du potentiel bien peu sensible aux basses et moyennes tensions. D'autre part, le caoutchouc est un produit beaucoup moins régulier que le papier imprégné, et plus variable dans ses qualités intrinsèques ; il est moins stable et plus facilement altérable avec le temps, surtout sous l'influence de la chaleur et des effluves électriques. Il semble donc que son emploi partiel vienne compromettre sans suffisante compensation l'homogénéité qu'il est si désirable d'assurer aux câbles souterrains. Pour le moins, on peut dire qu'en ce qui concerne les voltages inférieurs à 12000 ou 13000 volts il constitue un raffinement inutile, et de nature à augmenter le prix des câbles plutôt qu'à le réduire.

Pour les tensions très élevées, il serait mieux justifié, car la meilleure répartition du potentiel qui correspondrait à une isolation mixte permettrait de réduire les épaisseurs d'isolant, et par suite le prix de l'enveloppe en plomb et de l'armature métallique ; l'économie qui en résulterait pourrait dans certains cas compenser et au delà la plus-value résultant de l'emploi partiel du caoutchouc. Quoi qu'il en soit, l'idée est intéressante, au moins théoriquement, et ce sera à l'expérience d'en démontrer la véritable valeur pratique.

Avant de terminer la question des isolants, nous devons signaler un procédé qui a pris ces derniers temps une assez grande extension en Amérique : nous voulons parler des câbles à isolants dits *Varnished Cambrie*. Ces câbles, dont la fabrication date de 1902, et s'est surtout répandue aux Etats-Unis, sont isolés au moyen de bandes de toiles revêtues d'un vernis isolant spécial passé en une ou plusieurs couches. Entre les différentes bandes, il est fait application d'une mince couche d'une matière isolante plastique, également de composition spéciale, et qui assure l'adhérence des différentes bandes vernissées entre elles, tout en leur permettant au besoin de glisser un peu l'une par rapport à l'autre. Cet enduit spécial a en outre pour effet d'empêcher l'absorption par capillarité de l'humidité et la présence de petits intervalles d'air entre les couches. Chaque bande de toile vernissée, d'une épaisseur de un quart à un cinquième de millimètre, peut résister quelques secondes à une tension de 8000 à 10000 volts, et leur nombre est varié suivant le voltage auquel le câble doit travailler.

La protection extérieure des câbles ainsi isolés est assurée d'une manière différente suivant leur destination (tresse ordinaire, tresse

d'amiante, enveloppe en plomb avec ou sans armature de feuillets (Jard) ; les diverses méthodes applicables aux câbles au papier et aux câbles au caoutchouc sont également employées pour ces câbles spéciaux. Ces câbles sont d'un prix de revient plus élevé que les câbles au papier, mais ils présentent pour quelques applications, et notamment pour les connexions intérieures d'usines, certains avantages qui, d'après les fabricants, sont surtout les suivants : 1° Plus grande régularité de la fabrication et plus d'homogénéité pour la résistance à la tension résultant du mode même de fabrication ; — 2° Plus de flexibilité des matières composant l'isolant. Cette flexibilité permet de cintrer les câbles *Cambric* sous un rayon réduit à six fois le diamètre extérieur du câble. Elle est précieuse pour les canalisations intérieures ; — 3° Plus grande résistance à la chaleur que le caoutchouc, et à l'humidité que les câbles au papier imprégné.

Les câbles *Cambric* se font aussi du système composite pour les très hautes tensions, c'est-à-dire avec isolation au caoutchouc au voisinage du conducteur et à la toile vernissée dans la partie extérieure. Ces câbles *Varnished Cambric* donnent lieu à des phénomènes d'hystérésis diélectrique plus marqués que les câbles au papier et sont, de ce chef, plus exposés à s'échauffer lors des essais sous très haute tension.

II. MISE EN PLACE DES CANALISATIONS SOUTERRAINES

Deux systèmes sont en présence pour l'établissement des canalisations souterraines.

Le premier système, dit des *câbles armés*, est employé d'une manière à peu près exclusive en France, en Italie et en Allemagne ; il consiste à poser les câbles munis d'une armature métallique extérieure à même dans les tranchées ouvertes dans la chaussée. Généralement, les câbles sont posés sur un lit de sable, en une seule nappe, à une profondeur d'au moins 0 m. 75, et, en outre de leur armature propre, ils sont protégés, soit par des grillages établis au-dessus de la nappe, et qui en signalent la présence lors des travaux de fouille les mettant à nu, soit par un cours de planches ou de briques cassées, soit par les deux moyens réunis.

Ce système a l'avantage d'être d'une exécution très simple et très facile ; il se prête facilement à l'établissement des boîtes de jonction et de dérivation et, de ce chef, est adopté à l'exclusion de tout autre pour les câbles de distribution. Il permet d'employer de plus grandes longueurs de câbles d'un seul tenant, et évite d'avoir à calculer à l'avance avec précision les valeurs qu'il convient de donner à ces longueurs.

D'autre part, l'armature métallique est très précieuse pour protéger le câble durant les opérations d'enroulage, de déroulage et de tirage. Grâce à sa raideur, elle soulage de tout effort l'enveloppe en plomb et les couches isolantes durant les divers cintrages auxquels donnent lieu les diverses manipulations du câble. Enfin, elle constitue une protection sérieuse de l'enveloppe en plomb contre les actions chimiques et l'électrolyse.

Le second système, dit *solid system* ou *conduit system*, est sur tout employé en Amérique, en Angleterre et ses colonies, et, d'une manière générale, dans les pays anglo-saxons.

Il consiste à tirer les câbles (simplement revêtus de leurs gaines de plomb) dans des conduits cylindriques de types variés. De distance en distance, des regards et des fosses de visite sont ménagés sur le tracé des canalisations pour permettre le tirage des câbles et l'établissement des jonctions. Celles-ci se font généralement au moyen de manchons en plomb, de plus grand diamètre que les câbles, et soudés à leurs gaines extérieures. Les fosses sont munies de tampons d'accès et d'évacuation à l'égout. Quant aux conduits, ils sont généralement enrobés dans une maçonnerie de béton qui en font un bloc unique, percé d'alvéoles correspondant à chaque câble.

Les avis sont très partagés sur les avantages et les inconvénients de ce système. Son principal avantage est de réduire encombrement en plan occupé par les canalisations. Il permet, en outre, de réserver la possibilité d'ajouter de nouveaux câbles sans avoir de nouveau à ouvrir la chaussée ; il suffit de réserver les alvéoles correspondantes lors de l'exécution des conduits. De même, les réparations et les remplacements peuvent s'effectuer sans ouverture de tranchées. Les remplacements d'un câble avarié ou défectueux peuvent donc s'effectuer avec de très faibles frais de pose, et l'on peut récupérer le prix de vieux matériaux entrant dans ce câble (plomb et cuivre) sans avoir à payer des frais élevés de reprise, c'est-à-dire avec le minimum de déchets. Cette facilité permet d'admettre un taux d'amortissement moindre pour les câbles posés de cette façon.

L'absence de toute armature sur l'enveloppe en plomb permet, au moment du tirage, de constater très facilement et avec une grande certitude, le bon état du câble, les moindres défauts et meurtrissures s'apercevant très bien sur l'enveloppe en plomb quand elle reste à nu. Ce système offre enfin une protection presque absolue contre les accidents mécaniques postérieurs à la pose.

Les inconvénients sont : Le coût sensiblement plus élevé de ces canalisations, surtout quand il y a peu de câbles (moins de 4 à 6) à tirer dans la même tranchée ; — les précautions plus grandes à prendre pour le transport et les manutentions diverses de câbles non armés ; — les déchets plus grands au moment de la pose, par suite des longueurs strictement fixées que doivent avoir les différents tronçons entre deux jonctions ; — les difficultés de tirages auxquelles donnent lieu les changements de direction entre les deux fosses de visite ; — la moins facile radiation de la chaleur, et par suite l'échauffement plus grand des câbles.

Ce système paraît plutôt indiqué pour les canalisations importantes à établir dans les villes à rues étroites, régulières, constituant des îlots de dimensions similaires telles qu'on les trouve dans les cités nouvelles des pays anglo-saxons. Il constitue même la seule solution possible quand le nombre de câbles à poser dans la même rue devient très considérable.

Les conduites employées sont de divers types : grès, poteries ou fibres spéciales. Ces dernières sont plus coûteuses, mais semblent présenter, par leur légèreté, la longueur la plus grande de leurs tronçons et la meilleure protection qu'elles offrent contre l'électrolyse et les courts-circuits, des avantages qui tendent à en répandre l'emploi.

Il est assez difficile de chiffrer d'une manière précise la différence de dépenses à envisager dans l'un ou l'autre système, car cette différence dépend beaucoup des conditions particulières à chaque installation. Toutefois, on peut dire qu'elle varie peu avec le nombre de câbles constituant la canalisation, et qu'en moyenne elle peut osciller entre 3000 et 6000 frs par kilomètre de canalisation. Cette différence très appréciable quand il n'y a qu'un ou deux câbles à poser dans une même tranchée, devient beaucoup moins importante quand ce nombre s'élève à 6 ou à 8.

Un autre bon système à employer dans le cas des câbles armés consiste à les dérouler dans de petits conduits en bois remplis ensuite d'asphalte. On obtient ainsi une excellente protection contre l'électrolyse et les actions chimiques, et aussi un supplément appréciable de sécurité contre les accidents mécaniques. Cette disposition, très recommandable dans tous les cas où l'électrolyse est à craindre, peut entraîner un supplément de dépenses d'environ 800 à 1000 frs par kilomètre de câble.

Quel que soit le système de canalisation adopté, les câbles souterrains principalement ceux au papier, demandent à être posés avec certaines précautions. D'une manière générale, cette pose ne doit être confiée qu'à des ouvriers spécialistes bien habitués à ce genre de travail ; les câbles doivent être brutalisés le moins possible, et il faut éviter de les cintrer en aucun point sur des rayons trop courts. Les boîtes de jonction doivent être suffisamment vastes en proportion des voltages adoptés et être remplies avec soin, en tenant compte du retrait que prend la matière isolante en se refroidissant.

Le papier imprégné devient rapidement plus dur et plus cassant au fur et à mesure que la température s'abaisse. Aussi est-il très important de ne pas faire la pose de câbles au papier à des températures basses : 6° à 7° C., doivent être considérés comme un minimum, et, surtout pour les câbles à haute tension, il est préférable de rester plutôt au-dessus de 10° C. Quand les circonstances obligeront absolument à faire la pose de câbles à des températures inférieures à 6° C., il faudra avoir soin, avant d'utiliser les bobines, de les conserver dans un endroit convenablement chauffé assez longtemps pour que la température se soit élevée dans toute leur masse au niveau de celle de ce local. Les conditions climatiques les plus favorables se rencontrent vers 25° C. ; les températures supérieures sont également avantageuses, mais il faut prendre garde, à ces températures, que les différentes spires des bobines n'adhèrent trop les unes aux autres et observer, de ce chef, quelques précautions au déroulage.

Mise à la terre du point neutre. — Avant de terminer ce chapitre nous dirons quelques mots sur la question très controversée s'il convient ou non de mettre à la terre le point neutre des réseaux de câbles souterrains.

La plupart des fabricants sont favorables à l'adoption de cette mesure ; mais quelques-uns, et non des moindres, y sont forté-

ment opposés. Si nous examinons la question au seul point de vue des câbles, nous constaterons que la mise à la terre du point neutre donne plus de stabilité aux conditions électriques de fonctionnement ; elle diminue beaucoup les différences de potentiel possibles entre conducteurs et terre, ce qui permet de réduire en proportion les épaisseurs d'isolant entre conducteurs et l'enveloppe en plomb, c'est-à-dire en définitive le coût du câble.

Toutefois, pour que cet avantage soit pleinement réalisé, il faut que la mise à la terre soit franche, c'est-à-dire que la résistance de cette connexion soit assez faible pour empêcher que jamais en aucune circonstance la différence de potentiel entre point neutre et terre ne puisse prendre une grande valeur. Il en résulte de cet inconvénient que, en cas de mise à la terre d'une phase par claquage de l'isolant (par exemple à la suite d'un accident mécanique ayant affecté l'isolant en un point), un courant intense peut passer par le défaut et la connexion à la terre en circulant à travers l'enveloppe en plomb, et y causer souvent de graves dégâts, lesquels se révéleront ultérieurement par d'autres claquages.

Le danger est surtout grand avec les câbles à basses et moyennes tensions, pour lesquels les sections des conducteurs et les intensités des courants qui peuvent y circuler sont importantes par rapport aux dimensions de l'enveloppe en plomb, et pour lesquels aussi les appareils de sécurité (fusibles, déclencheurs, etc.) sont réglés pour des intensités considérables, et sont parfois susceptibles de ne pas fonctionner en cas d'accident sur une phase. Comme, d'autre part, aux basses et moyennes tensions, les réductions sur l'épaisseur des couches isolantes rendues possibles par la mise à la terre du point neutre sont très minimes et d'une influence presque nulle sur le coût du câble, cette mise à la terre n'offre guère d'intérêt.

Pour ces raisons, nous croyons préférable de fonctionner avec le point neutre isolé toutes les fois que la tension de service sera inférieure à 6000 volts. La situation change au fur et à mesure que la tension de service s'élève, et, à partir de 10000 à 12000 volts, nous considérons la mise à la terre du point neutre comme tout à fait désirable et sans inconvénient sérieux. Il est intéressant de remarquer que cette mise à la terre conduit à supprimer ou tout au moins à réduire considérablement la couche d'isolant qui enveloppe l'ensemble des trois conducteurs. Cette suppression est très avantageuse, car c'est précisément cette couche d'isolant qui se trouve la plus fatiguée lors des manutentions du câble et de ses cintrages sous de faibles rayons ; c'est par suite celle dont l'efficacité a le plus de tendance à diminuer pendant les opérations de mise en place.

Les différents conducteurs d'un câble à conducteurs multiples étant enroulés en hélice, leurs enveloppes isolantes individuelles ne tendent au contraire pas à s'allonger ou se raccourcir les unes par rapport aux autres du fait d'un cintrage de l'ensemble, et elles sont par suite soumises à des fatigues beaucoup moindres. Ce fait est suffisamment important pour qu'il nous paraisse préférable, même quand leur point neutre n'est pas mis à la terre, de supprimer toute enveloppe isolante extérieure sur les câbles devant fonctionner sous tensions égales ou inférieures à 6000 volts. Au-dessus de 10000 à 12000 volts, la possibilité de cette suppression devra être considérée comme un avantage spécial à revendiquer en faveur de la mise à la terre du point neutre.

III. — ESSAIS DES CÂBLES SOUTERRAINS

Ces essais doivent servir, d'une part, au contrôle normal de la fabrication et, d'autre part, à fixer les conditions de réception, c'est-à-dire à concilier les points de vue différents du fabricant et de l'acheteur.

Le fabricant a pour désir naturel de limiter sa responsabilité, et de se borner à vendre, pour un prix déterminé, un objet bien déterminé. L'acheteur a surtout en vue l'usage qu'il compte faire de l'objet acheté et désire que cet usage lui donne entière satisfaction. La concurrence commerciale, en poussant à l'extrême la recherche de la réduction des prix, a pour conséquence naturelle de tendre à empêcher ces deux objectifs de se confondre, et il en est résulté trop souvent, entre les fabricants et leurs clients, de graves contestations où cependant la bonne foi se trouvait des deux côtés.

En principe, l'acheteur, quand il y a mis le prix, est en droit de demander que le matériel acquis par lui fonctionne en toutes circonstances d'une manière normale et sans accidents ; c'est au fabricant, mieux au courant des limites qui conviennent à l'usage de ses produits, qu'il appartient de faire le nécessaire pour qu'il en soit ainsi. Il ne doit jamais perdre de vue qu'en aucun cas la

sécurité du fonctionnement ne doit être sacrifiée à une question de réduction du prix de vente. Ce principe ne peut cependant être poussé à l'extrême, car les accidents peuvent aussi provenir de faits anormaux ou de fautes graves commises par l'acheteur, dont le fabricant ne peut toujours porter la responsabilité.

Dans l'industrie des câbles souterrains, la question est d'autant plus délicate qu'il est plus difficile de tracer une ligne de démarcation précise entre ce qui devra être considéré comme un fait normal et ce qui pourra, au contraire, être considéré comme vraiment anormal et exceptionnel. D'autre part, la recherche des responsabilités à la suite d'un accident est toujours très difficile, l'accident ayant généralement pour premier effet de faire disparaître toute trace de son origine première et entraînant avec lui des conséquences qui peuvent, à tort, être confondues avec les causes.

Il est donc logique de soumettre les câbles souterrains à des essais ayant pour objet d'indiquer nettement à l'acheteur le degré de sécurité que leur emploi peut présenter et de limiter par suite, dans une certaine mesure, la responsabilité du fabricant.

Les essais de vérification ordinairement prescrits portent : sur la résistance kilométrique d'isolements et sur la résistance à la rupture, ou rigidité diélectrique de l'isolant.

Essais d'isolement. — L'utilité de ces essais est très contestée. Avant de la discuter, il convient de se rendre bien compte de la nature des renseignements qu'ils peuvent fournir.

Ces essais ont pour objet de déterminer quelle est l'importance du courant qui, après une durée d'électrification déterminée, sous une différence de potentiel constante et bien déterminée, passe dans l'isolant d'un câble. On peut remarquer de suite que cette mesure n'a guère d'intérêt au point de vue de l'usage même du câble. En effet, avec les courants continus à voltage modéré, la perte à vide correspondant aux isolements ordinaires des câbles est tellement réduite, qu'on peut la considérer comme absolument inappréciable par rapport au courant traversant les conducteurs.

Il en est de même, quoique à un degré moins marqué, avec les câbles à haute tension ; mais, en outre, ces hautes tensions sont généralement alternatives, et les phénomènes qui se passent alors n'ont qu'un rapport éloigné avec ceux auxquels donne lieu le courant continu. Cela tient à ce qu'un régime permanent ne s'établit pas aussitôt après qu'un câble est soumis à une différence de potentiel déterminée, ni même après la période d'électrification de 1 à 2 minutes qui précède généralement la mesure de l'isolement. Celle-ci se fait dans une période de régime variable, et l'allure de cette variation peut changer sensiblement d'un cas à l'autre. Les données que procurent les mesures d'isolement sont donc d'ordre très complexe et n'ont aucune signification physique bien précise.

D'autre part, la valeur de l'isolement varie dans des limites très étendues avec la température, et, quoique des Tables de correction soient employées pour ramener les mesures faites à une même température, la correction ainsi faite n'a guère de précision, parce que les Tables de correction sont loin d'être exactes pour tous les cas, et aussi parce que la température véritable à appliquer est souvent difficile à connaître avec précision et laisse planer beaucoup d'incertitude sur l'inexactitude de la correction.

Les résultats fournis par les essais d'isolement ne doivent donc être interprétés qu'avec une certaine réserve. En réalité, ces essais doivent être considérés surtout comme pouvant servir de contrôle empirique de la fabrication, et encore devons-nous ajouter que ce contrôle ne peut porter efficacement que sur la nature des matières isolantes employées, et non pas sur leur plus ou moins bonne mise en œuvre, les défauts de fabrication intérieurs pouvant fort bien passer inaperçus dans cette mesure, surtout dans les câbles à faible ou moyen isolement.

Ces essais ont donc raison d'être pour l'acheteur surtout quand il désire s'assurer que les matières isolantes employées sont bien d'une certaine nature, et d'une certaine qualité demandées par lui. Ce cas se présente avec les câbles au caoutchouc ; un très haut isolement peut être considéré, chez ce genre de câble, comme l'indice de l'emploi de gommages où entre une proportion convenable de caoutchouc de bonne provenance à faible teneur en matières résineuses ; ces gommages de bonne qualité, et de prix élevé, donnent de bien plus grandes garanties de bonne conservation que d'autres mélanges de produits inférieurs, lesquels pourraient cependant permettre, dans certains cas, de subir d'une manière en apparence satisfaisante les essais de rigidité diélectrique qui auraient été prescrits.

Pour les câbles au papier, la situation est très différente, car les hautes valeurs de l'isolement kilométrique ne sont pas du tout

l'indice d'une meilleure fabrication ni de l'emploi d'une matière de meilleure qualité. L'inverse serait plutôt vrai, car les hautes valeurs de l'isolement (telles que celles autrefois prescrites) sont plutôt l'indice de l'emploi d'une matière d'imprégnation chargée de produits résineux, peu plastique, plus facilement cassante, et offrant à la fois moins de rigidité diélectrique, moins de régularité d'imprégnation, et moins de résistance aux efforts mécaniques lors du transport et de la pose.

Ce fait est maintenant universellement connu, et la généralité des fabricants a renoncé aux mélanges qui leur permettaient d'obtenir des isolements kilométriques de plusieurs milliers de mégohms, et se contentent d'obtenir quelques centaines, et même quelques dizaines de mégohms. Dans ces conditions (et une valeur quelconque de l'isolement au-dessus de quelques mégohms ne présentant en elle-même pour l'exploitant aucun intérêt, même dans le cas de très hautes tensions), il semble préférable de s'abstenir de toute prescription à ce sujet. L'imposition soit d'une limite inférieure, soit d'une limite supérieure, ne peut que gêner inutilement le fabricant dans le choix de ses matières isolantes et contrarier la marche du progrès.

On concevrait mieux la prescription de maintenir la valeur de l'isolement entre deux limites relatives en vue d'assurer l'uniformité de la fabrication. Mais, dans ce cas, il faudrait avoir soin de faire tous les essais dans des conditions de température aussi voisines que possible. Etant données, d'ailleurs, les nombreuses circonstances qui peuvent influencer sur la valeur de l'isolement sans que la qualité des câbles ne puisse en aucune façon, être incriminée, il nous paraît difficile de donner à des prescriptions de ce genre un caractère absolu, à moins d'adopter deux limites très éloignées, c'est-à-dire d'enlever toute valeur réelle à cette prescription.

En conséquence, pour les câbles autres que ceux en caoutchouc, nous proposerons d'abolir toute prescription relative à la valeur de l'isolement, et de n'effectuer les mesures correspondantes qu'à titre de renseignement documentaires sur la régularité de la fabrication. Les essais d'isolement doivent, de préférence, être effectués aussitôt après l'essai sous haute tension, de manière à permettre de constater que ce dernier n'a donné lieu à aucune altération ni à aucun échauffement anormal de la matière isolante.

Essais de rigidité diélectrique. — Les essais sous haute tension à la rupture du diélectrique sont, de beaucoup, ceux qui intéressent le plus vivement l'acheteur, car ils constituent le contrôle direct des aptitudes les plus essentielles des canalisations souterraines.

Sous quelles tensions doivent être effectués ces essais et quelle doit être leur durée d'application ? Les opinions sont très variables sur ce point ; les uns préconisent des essais sous tensions très supérieures à la tension normale de service ; les autres estiment préférable, au contraire, de ne dépasser cette tension que très modérément. Toutefois, si l'on examine les choses de plus près, on constate que cette divergence est plus apparente que réelle. Elle réside surtout dans la confusion qui s'établit parfois entre le coefficient de sécurité intrinsèque que doivent présenter les câbles souterrains et la manière dont il convient de constater l'importance de ce coefficient.

Tous les spécialistes sont maintenant d'accord pour reconnaître que les câbles souterrains doivent présenter un coefficient de sécurité très considérable, c'est-à-dire être isolés de telle façon que la rupture de l'isolant ne puisse se produire que sous une tension très considérablement supérieure à la tension normale de service.

La chose est d'ailleurs bien naturelle. Quand il s'agit de la résistance mécanique des matériaux, tels que le fer et l'acier, l'usage général est d'admettre un coefficient de sécurité d'au moins 4 à 5, alors qu'on a cependant affaire à des matériaux parfaitement homogènes et identiques à eux-mêmes, et que les efforts maxima tels que ceux résultant de l'application de charges statiques sont aussi bien connus que possible. Quand il s'agit de matériaux moins homogènes et réguliers dans leurs qualités physiques et d'effort moins exactement connu, le coefficient de sécurité est toujours considérablement augmenté et porté souvent à 8, 10 et même au-dessus.

C'est là précisément le cas des canalisations souterraines dont les isolants sont constitués au moyen de matières organiques complexes dont l'identité à un échantillon type ne peut jamais être complètement assurée dans toutes leurs parties, et qui doivent résister à des efforts maxima difficiles à prévoir d'avance et lais-

sant toujours place à un très grand aléa. En outre, le coefficient de sécurité, tel qu'il est constaté aux usines de fabrication, ne peut, comme nous l'avons déjà fait remarquer, que s'affaiblir dans la suite, du fait des diverses manutentions dont les câbles sont l'objet jusqu'au moment de leur entrée en service.

Ces considérations justifient donc l'adoption, pour les câbles souterrains, d'un coefficient de sécurité élevé, d'au moins 6 à 8 pour les câbles de 6000 à 12000 volts, et encore plus élevé pour les câbles fonctionnant à plus basses tensions. On y a d'autant plus de motifs que, grâce aux progrès réalisés dans ces derniers temps, ces coefficients de sécurité élevés peuvent s'obtenir sans aucune exagération des prix de revient.

Pour apprécier ce qu'il convient de considérer comme le coefficient de sécurité, il est bon de porter son attention sur les faits suivants qui contribuent à mettre beaucoup d'indétermination sur la valeur véritable de ce terme.

Tout le monde sait qu'en soumettant à des essais sous tension des tronçons de câbles de faibles longueurs, on constate en général des résistances sensiblement plus considérables qu'en essayant des bobines complètes de grande longueur. Ce fait provient de ce qu'un câble s'avarie d'abord en ses points faibles ; or, malgré toutes les précautions prises, on ne peut éviter que, par suite de petites irrégularités dans la fabrication, un câble ne présente quelques points plus faibles que la moyenne. Plus la longueur soumise à l'essai est grande, et plus on a de chances de rencontrer les points de résistance minima, et plus la tension produisant la rupture s'abaisse. Le coefficient de sécurité doit s'entendre par rapport au point le plus faible, puisque ce sont ceux-là qui fixent la véritable valeur de la résistance d'un câble.

Actuellement, avec les progrès et les soins minutieux apportés dans la fabrication, on est arrivé à réduire considérablement les écarts entre les tensions de claquage des divers tronçons d'un câble ; dans une bonne fabrication, on peut compter que ces écarts ne dépasseront pas 15 à 20 pour 100. Cette régularité permet, tout en conservant le même coefficient de sécurité aux points les plus faibles, de l'abaisser pour la moyenne du câble. Elle est donc très importante pour la réduction des prix de revient.

Un autre point sur lequel il convient d'attirer l'attention réside dans l'influence très marquée de la durée d'application de la haute tension sur la rupture des isolants du genre de ceux qui entrent dans la constitution des câbles.

Les phénomènes qui se produisent au voisinage de la rupture dans les diélectriques soumis à des tensions très élevées sont encore peu connus et n'ont guère été étudiés expérimentalement que pour quelques diélectriques homogènes.

Pour l'air, il a été reconnu que, pour une certaine valeur de la tension électrique à la surface d'un conducteur, dépendant de la pression, de la température et des diverses conditions physiques de l'atmosphère ambiante, l'air cessait de se comporter comme un isolant au voisinage du conducteur. Celui-ci apparaît dans l'obscurité comme entouré d'une gaine lumineuse, et ce phénomène est accompagné d'un dégagement de chaleur et d'un accroissement très sensible de la déperdition d'énergie par la surface du conducteur, surtout dans le cas des courants alternatifs de fréquences élevées. L'air, dans cette région, paraît être devenu lui-même conducteur, et le dégagement de chaleur peut alors s'expliquer par la circulation, à travers cette gaine conductrice, des courants de capacité. Le phénomène s'accroît au fur et à mesure que le voltage augmente, mais l'arc ne s'amorce véritablement entre conducteurs que quand ce voltage est devenu tel que la tension électrique a dépassé la valeur critique pour toutes les parties de l'atmosphère qui les sépare.

Des phénomènes de même genre doivent, probablement, se produire dans tous les diélectriques ; mais ils deviennent naturellement bien plus complexes quand ceux-ci, au lieu d'être parfaitement homogènes comme l'air sont constitués au moyen de plusieurs matières organiques. Dans ces conditions, la répartition du potentiel à l'intérieur de l'isolant peut ne plus suivre de lois simples et les tensions critiques peuvent ne pas être partout les mêmes ; elles peuvent être dépassées par places en donnant lieu à des ruptures partielles de l'isolant, cette rupture ne devenant totale avec production d'un véritable court circuit que quand la tension électrique a dépassé la valeur critique pour toutes les parties de l'isolant entre les conducteurs de polarités opposées.

D'autre part, il ne faut pas oublier que la rigidité diélectrique des isolants varie en sens inverse de leur température. Elle est diminué par les échauffements sensibles qui se produisent aux très hautes tensions du fait des pertes par conductibilité (laquelle

croit elle-même très vite avec la température) et du fait des pertes par hystérésis diélectrique très appréciables avec la plupart des isolants usuels.

Ces deux catégories de pertes croissent, à température égale, comme le carré de la tension. Elles augmentent donc très rapidement.

Au delà d'un certain voltage, à ces causes d'échauffements viennent s'ajouter les phénomènes calorifiques spéciaux qui se produisent quand la tension électrique dépasse en certaines parties la valeur correspondant à la rigidité diélectrique en ces points. L'élévation de température résultant de ces diverses causes est d'autant plus sensible que la durée d'application du haut voltage est plus grande, et elle a pour effet de rendre plus facile la rupture du surplus de l'isolant. Enfin, il n'est pas impossible qu'au delà d'une certaine valeur les hautes tensions même alternatives n'aient une influence sur l'organisation chimique et physique de certaines catégories d'isolants, de même que les efforts mécaniques donnent lieu, dans les matériaux, à des déformations permanentes aussitôt que la limite d'élasticité est dépassée, et longtemps avant que soit atteinte la limite de rupture.

En fait, et quel qu'en soit le motif exact, on constate qu'un câble s'échauffe généralement beaucoup lorsqu'il est soumis à une tension voisine de sa tension de rupture, et que cette rupture peut ne pas se produire si la tension n'est maintenue que peu de temps, alors qu'elle se produirait infailliblement si cette dernière était appliquée plus longtemps, le câble semblant perdre progressivement de sa capacité de résistance.

Ces contestations expliquent comment des surtensions très importantes, mais de très courte durée, peuvent ne pas produire la rupture immédiate d'un câble, mais aussi comment elles peuvent, en étant souvent répétées, en causer l'affaiblissement graduel par place jusqu'à un moment où ce câble arrive à se rompre.

Elles montrent aussi pourquoi il faut éviter de soumettre un câble à des tensions d'essai excessives, et elles expliquent la répugnance de beaucoup de constructeurs à l'application de telles tensions, surtout quand elles doivent être prolongées longtemps. Il est maintenant hors de doute que de tels essais constituent pour les isolants une fatigue très sérieuse, et qu'ils sont susceptibles, quand ils ont été exagérés, de les détériorer d'une manière permanente.

En conséquence, si l'on pouvait arriver à assurer une régularité de la fabrication aussi parfaite que celle réalisée, par exemple, en métallurgie, mieux vaudrait évidemment éviter ces essais sur les câbles destinés à entrer en service, et se contenter de les effectuer sur des échantillons prélevés *ad hoc*. Toutefois, dans la situation actuelle, nous pensons que ce serait là une mesure très dangereuse et de nature à enlever toute garantie à l'acheteur ; il nous semble préférable, jusqu'à nouvel ordre, de conserver les essais actuellement en usage sur l'ensemble de la fabrication, mais en évitant toute exagération nuisible dans les prescriptions d'essais, et en ayant soin de toujours les proportionner convenablement aux facultés de résistance du matériel à essayer, *c'est-à-dire, en définitive, au prix qu'on a consenti à payer*.

Nous ajouterons que les tensions maxima d'essai ne devront être maintenues que peu de temps, et que la valeur de ces tensions devra être diminuée au fur et à mesure que leur durée d'application sera augmentée. En aucun cas, les tensions maxima d'essai ne devront soumettre aucune partie de l'isolant à une fatigue dangereuse : elles devront réserver encore aux points les plus fatigués un coefficient de sécurité raisonnable par rapport à celles susceptibles de produire certainement la rupture, d'après les expériences faites sur l'isolant employé. En d'autres termes, il conviendra de prescrire des épaisseurs *minima* d'isolant en rapport avec la sévérité des essais prescrits.

Pour plus de sécurité, l'importance de la marge ainsi réservée lors des essais sous tension maxima devra être vérifiée sur des échantillons de faibles longueurs pour lesquels la tension d'essai sera poussée jusqu'à ce que le claquage effectif se produise. Ces échantillons étant ordinairement prélevés aux extrémités des bobines où l'imprégnation a chance d'être mieux faite, il sera en outre prudent de vérifier que les résultats obtenus sur des échantillons prélevés dans le corps d'une bobine sont similaires.

Enfin, pour la détermination des tensions à adopter pour les divers essais envisagés, il est bon de prendre en considération les trois points suivants :

1° Le coefficient de sécurité constaté aux usines de fabrication devant couvrir non seulement les aléas d'ordre électrique, mais aussi les causes d'affaiblissement d'ordre mécanique provenant

des maintenances auxquelles le câble sera soumis durant sa mise en place, il est logique que les essais en usine soient plus sévères que les essais après pose.

2° Par suite de considérations de fabrication, les épaisseurs d'isolant ne peuvent être diminuées au-dessous d'une certaine limite. Il en résulte que, pour les câbles à bas voltage, ces épaisseurs sont proportionnellement plus forte que pour ceux à haut voltage. Les essais devront tenir compte de ce fait, et être proportionnellement plus sévères pour les câbles à bas voltage.

3° Les surtensions momentanées auxquelles les câbles sont exposés ne sont pas toutes proportionnelles à la tension. Celles qui peuvent se produire à la fermeture du circuit, et dont l'importance ne peut dépasser au maximum le double du voltage normal, sont seules dans ce cas ; au contraire, les surtensions consécutives à l'ouverture du circuit, aux productions de courts-circuits, aux décharges atmosphériques (c'est-à-dire les plus dangereuses), ont une importance relative beaucoup moindre pour les câbles à très haute tension que pour ceux à basse et moyenne tension. C'est un motif de plus pour admettre un coefficient de sécurité moindre et des essais proportionnellement moins sévères pour les câbles de tensions croissantes.

En passant, nous ferons remarquer que, pour ce même motif, il convient de protéger, au moyen de limiteurs de tension, surtout les câbles à basse et moyenne tension. Aux hautes tensions, ces appareils de protection deviennent d'un fonctionnement beaucoup plus délicat, sont beaucoup plus coûteux et encombrants, et ont en outre beaucoup moins d'utilité.

Valeurs à admettre pour les tensions d'essai — Presque tous les fabricants sont actuellement d'accord pour admettre, après pose, un essai au double du voltage de service, maintenu pendant une demi-heure à une heure, c'est-à-dire durant un laps de temps suffisant pour permettre à tous les défauts de se révéler. Une telle prescription est d'autant plus logique qu'elle correspond à peu près aux essais imposés pour le matériel électrique alimentant la canalisation, et que les câbles doivent rationnellement présenter un coefficient de sécurité au moins égal (sinon supérieur) à celui du matériel des stations qu'ils desservent.

Pour ce qui concerne les essais en usine, les avis sont plus partagés, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer ; néanmoins, la tendance générale est plutôt d'admettre des essais beaucoup plus sévères que ceux qui étaient de règle il y a quelques années. Pour les voltages usuels de 5000 à 10000 volts, beaucoup de maisons conseillent un essai prolongé au triple du voltage avec pointes momentanées au quadruple ; en particulier, l'essai au triple du voltage appliqué pendant un quart d'heure a été recommandé par le Syndicat professionnel des Industries électriques pour les câbles au-dessus de 5000 volts, et l'essai au quadruple pour les câbles au-dessous de 5000 volts ; fort peu de maisons (en général étrangères) conseillent de descendre au-dessous de 2,5 fois le voltage pour l'essai de durée, et encore plusieurs de celles-là admettent-elles que, dans certains cas où une sécurité plus grande est recherchée, il peut convenir d'aller au delà, sauf bien entendu, à augmenter en conséquence les épaisseurs d'isolant et le prix du câble.

L'expérience a montré que l'augmentation de la sévérité des essais en usine a eu des résultats très favorables pour le bon fonctionnement en service courant, et qu'elle a amené, sinon la disparition complète, du moins la très grande réduction des accidents. Il nous paraît donc préférable de rester dans cette voie, sauf à tenir compte des précautions dont nous avons montré ci-dessus l'utilité.

Pour donner notre opinion personnelle, nous résumons ci-après les conditions d'essai, et les prescriptions diverses que nous croyons devoir conseiller aux intéressés pour les câbles destinés à fonctionner sous tensions supérieures à 2000 volts.

Câbles au papier : essais en usine. — Les bobines entières seront soumises pendant au moins un quart d'heure à une tension d'essai égale à deux fois la tension de service, augmentée d'une quantité fixe de 10000 volts, c'est-à-dire déterminée par la formule suivante $V = 10000 + 2E$, dans laquelle V est la tension efficace d'essai, et E la tension efficace de service.

Dans le courant de cet essai, la tension devra être progressivement augmentée de 33 pour 100 au-dessus de cette valeur, maintenue pendant environ 1 minute à cette valeur maxima, puis ramenée jusqu'à la fin de l'essai à sa première valeur. Il est préférable que l'application momentanée de la tension maxima n'ait pas lieu à la fin, mais plutôt au commencement, ou vers le milieu de l'essai, de telle sorte que la tension normale d'essai

soit encore maintenue pendant au moins 10 minutes après l'application de la tension maxima.

Des épaisseurs minima d'isolant devront être imposées, calculées de telle façon que l'isolant ne travaille dans aucune de ses parties à plus de 7500 volts par millimètre lors de l'essai de durée, ni à plus de 10000 volts sous l'essai de tension maxima de durée inférieure à 1 minute. Avant de procéder aux essais des bobines entières, on devra constater que des échantillons de câbles, prélevés sur ces bobines, ne donnent pas lieu à rupture avec une tension supérieure d'au moins 50 pour 100 à la tension maxima prescrite, cette tension étant appliquée graduellement en partant de la tension maxima prescrite et l'augmentant de 10 pour 100 chaque demi-minute jusqu'à ce que la rupture se produise.

Les essais d'isolement seront fait aux usines de fabrication aussitôt après les essais sous tension, et autant que possible dans des conditions de températures similaires pour toutes les bobines d'une même fabrication, de manière à permettre d'apprécier la régularité des résultats obtenus. Les isollements kilométriques les plus favorables nous paraissent ceux compris entre 50 et 500 mégohms par kilomètre ; dans une bonne fabrication bien régulière les isollements à température égale ne devront pas différer de plus de 20 à 25 pour 100 pour les câbles à 50 mégohms, ni de plus de 40 à 50 pour 100 pour ceux à 500 mégohms. Toutefois, aucune prescription ne devra être faite à ce sujet pour les raisons que nous avons déjà exposées.

Essais après pose. — Après mise en place, les câbles devront être soumis à une tension d'essai maintenue au moins pendant 1 heure au double de la tension de service. Il ne sera pas mauvais, pour autant que les circonstances le permettront, de ne procéder à ce dernier essai qu'après avoir fait fonctionner les câbles en court-circuit pendant 2 ou 3 heures à un régime de courant égal au régime maximum prévu, de telle sorte que ceux-ci soient, durant l'essai, à la température maxima qu'ils atteindront en service courant.

Les différentes tensions d'essais aux usines, et après pose, indiquées ci-dessus, s'appliquent aux essais entre conducteurs de polarités différentes des câbles à conducteurs multiples. Dans les installations n'ayant pas le point neutre mis à la terre d'une manière permanente, et fonctionnant sous tensions inférieures à 10000 ou 12000 volts, les mêmes essais aux mêmes tensions devront être effectués entre conducteur et enveloppe en plomb.

Pour les voltages supérieurs à 12000 volts, et inférieurs à 20000 volts, ces tensions pourront être réduites de 10 pour 100 pour les essais effectués entre conducteurs et plomb. Au delà de 20000 volts, cette réduction pourra être portée à 20 pour 100. Ces réductions sont justifiables aux très hautes tensions, parce que la capacité du réseau prend alors une telle valeur que le point neutre se trouve toujours à peu près au potentiel de la terre, et aussi parce que le fonctionnement ne devient guère possible avec un défaut d'isolement sur une phase.

D'ailleurs, comme nous l'avons dit, aux très hautes tensions, il sera toujours préférable de mettre franchement le point neutre à la terre. Quand cette mise à la terre sera réalisée sans aucune intercalation de résistance, les tensions prescrites pourront être réduites de 30 pour 100 pour les essais entre conducteurs et plomb. Quand il y aura une résistance intercalée dans la connexion à la terre, la réduction possible pourra varier de 20 à 30 pour 100 suivant l'importance de cette résistance.

Câbles Varnished Cambrie et au caoutchouc. — Les câbles Varnished Cambrie offrent, par leur fabrication même, plus de garantie de régularité que les câbles au papier, et ils sont moins sujets à se détériorer durant la mise en place ; en outre, ils ont plus de tendance à s'échauffer par hystérésis diélectriques sous les très hautes tensions. Pour ces deux raisons il sera préférable de réduire quelque peu pour ces câbles la sévérité des essais en usines. Par exemple, la formule : $V = 10000 + 2 E$, pourra avoir son terme constant réduit, et être remplacée par la formule $V = 5000 + 2 E$. A part cette modification, toutes les autres conditions d'essai déjà indiquées pour les câbles au papier pourront être conservées sans changement.

Pour des motifs similaires, les tensions d'essais des câbles au caoutchouc pourront être un peu moindres que celles conseillées pour les câbles au papier, surtout quand les essais seront prescrits après immersion dans l'eau : ces tensions pourront être les mêmes que celles indiquées pour les câbles Cambrie.

Épaisseurs minima d'isolant. — Nous terminerons ce chapitre en indiquant ci-après les épaisseurs minima d'isolants entre deux

conducteurs et entre conducteurs et plomb au-dessous desquelles nous conseillons de ne pas descendre pour les câbles de sections comprises entre 30 et 150 mm. par conducteurs, devant fonctionner à tensions de 5000 volts et au-dessus, et être soumis aux essais prescrits ci-dessus. Ces indications sont valables aussi bien pour les câbles au caoutchouc et les câbles Cambrie que pour les câbles au papier.

Tension de service en volts	5000	10000	15000	20000	
Épaisseur de l'isolant en mm	Entre deux conducteurs	5	7,5	10	12,5
	Entre conducteur et plomb . . .	3,5	5	7	9

(A suivre).

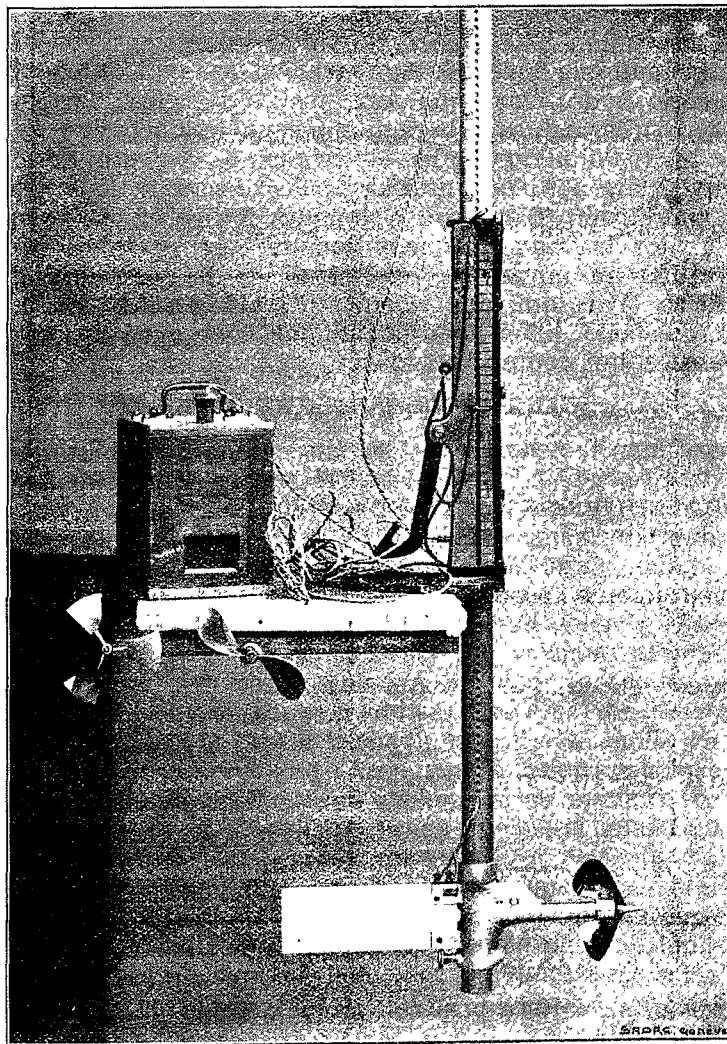
EXPOSITION DE MARSEILLE

(Suite)

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

La Direction de l'Hydraulique et des Améliorations agricoles avait organisé deux sections très intéressantes. La première de ces sections était consacrée au Service d'Etude des grandes forces hydrauliques, la seconde au service des Améliorations agricoles.

L'exposition du Service d'Etude des grandes forces hydrauliques, organisée par M. de La Brosse, ingénieur



Moulmet électrique Ott à tige ovalisée, avec son support, la pile de sonnerie et ses hélices de rechange.

en chef des Ponts et Chaussées, chef de ce service d'étude pour la région des Alpes, était des plus remarquables, et comportait 58 pièces, réparties en 4 groupes.

1° Le groupe des modèles comprenait un relief au 1/100 de la station de jaugeage du Pont de la Beaume, sur la Durance, à Sisteron ; un relief au 1/500 de la station de