

Congrès du Syndicat Professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Énergie électrique

(JUILLET 1929)

Le Congrès du Syndicat Professionnel des producteurs et distributeurs d'énergie électrique s'est tenu cette année à Nantes. Les différents rapports présentés montrent que leurs auteurs ont été guidés par le souci d'améliorer la production et surtout la distribution de l'énergie électrique, malgré l'augmentation des puissances en jeu, qui rendent l'exploitation plus difficile. Nous avons pensé qu'il serait intéressant, à tous ceux qui n'ont pu prendre part à ce Congrès et qui s'occupent des problèmes si complexes que pose une exploitation rationnelle, de résumer ici les principales communications qui y ont été faites.

Rapport de M. Wilwertz, sur les isolateurs de traversée à haute tension en carton imprégné et en papier bakérisé du type à condensateur.

Principaux types de traversées. — A partir de 65.000 volts et au-dessus, il existe trois types principaux de traversées.

1° Les isolateurs en porcelaine dans lesquels la contrainte électrique, tendant au percement, agit presque uniquement sur la masse de remplissage (compound, huile). La porcelaine ne joue qu'un rôle de réservoir et de gaine protectrice, contre les agents extérieurs. Le principal inconvénient de ces bornes est leur encombrement excessif et la difficulté de leur réalisation pour les très hautes tensions. Elles ont aussi le défaut de résister mal aux chocs. Comme l'huile a une rigidité diélectrique bien inférieure à celle du compound, on entoure souvent le conducteur d'un ou de plusieurs tubes en porcelaine, ou de papier bakérisé.

2° Dans le deuxième type, la contrainte diélectrique est presque entièrement localisée dans un diélectrique solide à rigidité élevée, comme la silice. Le manteau de recouvrement est maintenu et l'espace intermédiaire est rempli d'huile.

3° Enfin, les bornes les plus employées sont celles en carton imprégné ou en papier bakérisé, du type à condensateurs. Elles offrent l'avantage d'un encombrement réduit, d'une grande résistance au choc et d'une durée de fabrication plus faible.

Les bornes en papier bakérisé sont obtenues par enroulement autour du conducteur, à chaud et sous forte pression de papier imprégné de bakélite. Des armatures métalliques sont intercalées au cours de l'enroulement et constituent les condensateurs chargés d'assurer la répartition du potentiel. Lorsque l'enroulement est terminé, il est passé au four pour polymériser la bakélite. Il est tourné à sa forme définitive verni et étuvé de nouveau.

Après refroidissement, les bornes reçoivent les calottes et les brides de fixation présentant parfois une construction spéciale pour atténuer le champ dans l'air au voisinage de la bride.

L'isolateur prévu pour utilisation en plein air est toujours équipé d'une gaine en porcelaine, munie d'ailettes et recouvrant la partie de la traversée qui se trouve vers l'extérieur. L'intervalle entre la borne et le papier bakérisé est rempli d'huile ou d'une autre matière isolante.

ÉTUDE DES PRINCIPAUX FACTEURS AMENANT LE PERCEMENT DES TRAVERSÉES

Le but de cette note est de préconiser certaines directives, permettant de préparer les règles futures, destinées à fixer les caractéristiques que doit avoir une bonne traversée, pour que l'on ait toute sécurité sur sa tenue future.

La nature physique du phénomène de percement des diélectriques solides n'est pas encore parfaitement élucidée. On admet généralement que la destruction est obtenue par l'échauffement produit par le courant traversant le diélectrique, qui présente une certaine conductivité électrique.

Cette conductivité est fonction de la température et de la tension. Si la chaleur résultant des pertes Joule n'est pas évacuée avec la rapidité nécessaire, la température croît de plus en plus, jusqu'à la destruction de l'isolant.

Dans les isolateurs en papier bakérisé, la conductivité augmente par suite de l'humidité résiduelle qui peut subsister au moment de la transformation de la bakélite A en bakélite B, puis C, et par ionisation de l'air occlus entre les couches de papier, principalement sous l'effet du champ axial parallèle aux différentes couches de papier.

ESSAIS DE RÉCEPTION PRÉCONISÉS

On commence à attacher une importance croissante à la détermination des pertes diélectriques et c'est surtout l'étude de lois de variation des pertes en fonction des différents agents nocifs qui doit renseigner sur la qualité des traversées essayées. La méthode la plus fréquemment employée est celle du pont de Schering.

Ces essais sont utilement complétés par des essais de contournement, des essais de sifflement (*hissing test* des Américains) et des essais hygroscopiques en laissant les bornes pendant plusieurs heures dans une atmosphère saturée d'humidité.

* * *

Rapport de M. Wilwertz sur la mise à la terre du neutre dans les réseaux à haute tension.

La mise à la terre du neutre, directe ou par l'intermédiaire de résistance est réalisée en France par plus de quinze sociétés très importantes, soit sur des réseaux aériens, soit sur des réseaux souterrains. Dans certains cas, le réseau n'est mis à la terre qu'en un point, tandis que dans d'autres il est mis à la terre aux centrales principales.

Lorsque le neutre est mis à la terre par l'intermédiaire de résistances, celles-ci ont une valeur variant entre 0,5 et 1,3 ohms par kilovolt de tension étoilée, suivant la valeur de l'intensité de court-circuit admissible.

La mise à la terre par l'intermédiaire de bobines d'induction est peu employée en France. Jusqu'à présent, une seule société a installé sur son réseau à 13.000 volts une inductance telle qu'elle serve de bobine de soufflage. La diminution du nombre d'interruptions constatées a incité cette société à appliquer ces bobines sur tous ses réseaux à moyenne tension.

Le grand avantage de la mise à la terre du neutre est d'éviter de porter à $\sqrt{3}$ fois la tension étoilée des deux phases saines dans le cas de la mise à la terre accidentelle de la troisième phase. La coupure du circuit évite les surtensions et les oscillations dangereuses qui prennent naissance, lors de l'extinction et du réallumage des arcs à la terre. Les statistiques de certaines sociétés ont montré que les percements des isolateurs ont diminué de 50 % par suite de la mise à la terre du neutre. La mise à la terre du neutre sert également à l'écoulement des charges statiques.

Les adversaires du neutre à la terre objectent l'augmentation des surintensités et les dangers que celles-ci présentent pour l'appareillage, les transformateurs et les alternateurs. En fait, aucune constatation défavorable n'a été faite à ce sujet par aucune société.

Au point de vue des réseaux téléphoniques, le fait que la surintensité augmente, fait également croître les courants induits dans les lignes téléphoniques. Mais, comme la perturbation est immédiatement éliminée par la mise hors circuit de la ligne, elle est bien moins gênante que si le réseau marche pendant des heures avec une phase à la terre rendant parfois les communications téléphoniques impossibles pendant ce temps.

Quant à l'insécurité supplémentaire pour les personnes, il semble prouvé qu'aucune société n'a enregistré d'accident dont l'origine ait pu être imputée à la mise à la terre du neutre.

Pour les réseaux aériens à haute tension et pour les réseaux souterrains à moyenne tension, la tendance est vers la généralisation des prises de terre en plusieurs endroits, le plus souvent sans l'interposition de résistances, ou avec résistances de très faible valeur.

Pour les réseaux aériens à moyenne tension, n'ayant pas de facilité de bouclage, la possibilité de pouvoir continuer l'exploitation pendant des heures avec une phase à la terre semble diriger les préférences vers le neutre isolé, avec parfois des bobines de soufflage.

* * *

Rapport de M. Mauchard sur la mise du neutre à la terre sur les réseaux à basse tension.

La question est examinée sous le double point de vue : fraudes chez les abonnés, dangers pathologiques.

Au point de vue fraude, qu'il s'agisse de distribution de courant continu à trois fils ou de courant triphasé, la facilité de fraude est bien plus grande lorsque le neutre est mis à la terre, ou bien il faut compliquer le comptage.

Au point de vue de pathologie, deux législations sont en présence, alors qu'en France l'arrêté ministériel du 30 avril 1927 prescrit la mise à la terre du point neutre des distributions triphasées jusqu'à 150/250 volts et la laisse facultative pour les réseaux à tension supérieure jusqu'à 250/430 volts, la réglementation danoise prescrit à peu près le contraire.

Comme cette opposition de mesure n'est pas imposée par des considérations locales d'exploitation, il faut en conclure que la question n'est pas encore résolue.

Sans doute, la mise à la terre du neutre évite d'élever la tension du réseau dans le rapport 1,7 lorsqu'une phase se met à la terre; mais les dangers d'électrocution sont surtout fonction de l'intensité qui traverse le corps. Bien que certains sujets aient pu supporter 100 milliampères, on admet généralement qu'un courant devient dangereux dès qu'il atteint 30 milliampères.

Pour un réseau à neutre isolé, 110/190 volts, cette intensité est atteinte dès que la résistance du circuit descend au-dessous de 3.500 ohms, tandis que si le neutre est isolé, il faut 6.000 ohms.

Tout ce qu'on peut en conclure, c'est que le réseau à neutre isolé est plus dangereux, si l'isolement entre une phase et la terre descend en dessous de 2.500 ohms. Il serait donc très intéressant d'avoir une statistique des accidents et de comparer leur fréquence et leur gravité, sur les réseaux à neutre isolé et sur les réseaux à neutre à la terre.

* * *

Rapport de M. Vial sur l'automatisme et la commande à distance dans les postes électriques.

L'accroissement du rendement de la main-d'œuvre n'est pas une question nouvelle. Les nécessités de l'exploitation ont, depuis longtemps, amené à rassembler en un certain nombre de points les appareils qu'il fallait soumettre à une surveillance permanente ou manœuvrer de façon fréquente.

A l'heure actuelle, on cherche à réduire l'intervention humaine et des centrales hydrauliques, des sous-stations de traction ont été réalisées, qui peuvent se passer de toute main-d'œuvre d'exploitation et n'exigent qu'une main-d'œuvre d'entretien réduite.

Le présent rapport comprend deux parties principales : la première est consacrée aux appareils qui peuvent être commandés à distance, soit par intervention humaine, soit automatiquement; la seconde comprend la description des moyens employés pour manœuvrer à distance les ensembles constituant les postes électriques. Il s'agit surtout des appareils en service sur le réseau des « Transports en Commun de la Région Parisienne. »

I. — APPAREILLAGE

Les problèmes peuvent être présentés dans l'ordre suivant, qui est à peu près celui dans lequel ils ont pu être étudiés et résolus :

a) Assurer la manœuvre d'un appareil isolé;

b) Assurer, dans un ordre déterminé, la manœuvre de plusieurs appareils répondant à un but limité, tel que la mise en service d'une machine sur un réseau ce que, pour simplifier le langage, nous appellerons une séquence.

c) Grouper plusieurs séquences en les reliant l'une à l'autre, soit automatiquement, soit par commande humaine. Nous en verrons des exemples dans le fonctionnement d'une usine génératrice automatique, ou la commande à distance d'une sous-station de traction.

a) *Appareil élémentaire isolé.* — L'appareil élémentaire isolé a été la base des premières études et a fait l'objet des premières réalisations : les installations les plus complexes ne sont d'ailleurs que des juxtapositions et des groupements d'appareils élémentaires.

Cet appareil consiste essentiellement en un contact qui ferme ou rompt un circuit. Les réalisations varient selon les différentes fonctions qu'on peut demander et la nature de l'énergie dont elles relèvent; elles peuvent donc être de la plus extrême variété. Le contacteur peut être monopolaire ou multipolaire, rompre ou fermer des circuits parcourus par des courants continus ou alternatifs, de grande ou de faible intensité, à haute ou à basse tension. Pour manœuvrer, il a besoin d'une certaine puissance qui peut lui être fournie par l'une quelconque des formes usuelles d'énergie, fluide sous pression, électricité. Enfin, cette puissance peut être elle-même contrôlée à distance par fluide ou courant.

Il ne sera question ici que des appareils dont toutes les fonctions sont assurées électriquement,

Ce contacteur peut être :

1° ou commandé à distance, c'est-à-dire relever de l'action lointaine mais unique de l'homme ;

2° Ou automatique, c'est-à-dire que son fonctionnement sera asservi aux caractéristiques du courant qu'il doit établir ou rompre et à celles du circuit correspondant ; cette automacité peut lui être demandée à l'ouverture seulement, ou bien à l'ouverture et à la fermeture.

Dans chacun de ces cas, il peut comporter la signalisation, c'est-à-dire que sa position sera indiquée en un point défini qui peut être très éloigné ou ne pas le comporter ;

3° Enfin, il peut être complexe, et comporter la totalité de ces fonctions.

1° *Contacteurs commandés à distances.* — Ils peuvent être simples sans signalisation. Dans ce cas, la manœuvre de l'appareil est assurée par le courant de traction et le courant de commande est pris sur la batterie d'accumulateurs qui existe dans la sous-station. Le contacteur est relié à la sous-station de manœuvre par un fil pilote et par le rail.

Si l'on veut une signalisation indiquant les positions d'ouverture et de fermeture du contacteur, la question est très simple lorsqu'on dispose de fils pilotes supplémentaires ; sinon on peut utiliser le même circuit que celui de la commande, en alimentant la signalisation par du courant alternatif.

2° *Contacteurs automatiques.* — Ceux qui ne sont qu'à ouverture automatique sont les disjoncteurs à maximum de courant et à manque de tension. Après une interruption, il faut remettre le réseau en service, on peut soit le faire à la main, soit utiliser des appareils à refermeture automatique. Généralement, ces appareils se referment automatiquement trois fois à des intervalles déterminés, après quoi, si le court-circuit persiste, ils se verrouillent dans la position d'ouverture.

Dans le cas du courant continu, au lieu de remettre le courant directement sur un court-circuit, on a intérêt à faire un essai préalable en courant alternatif. Ces essais en alternatif peuvent se faire à une cadence régulière, jusqu'à disparition du défaut ; à ce moment seulement, on envoie le courant continu. Si les sous-stations sont interconnectées, il faut que les contacteurs automatiques éliminent la section défectueuse, tout en maintenant la continuité du service des autres tronçons.

3° *Contacteurs complexes, réunissant l'automacité, la commande à distance et la signalisation.* — On utilise un fil pilote qui sert à commander la mise en service ou hors service du contacteur ; le même fil pilote sert à la signalisation, en superposant du courant alternatif au courant continu.

B) *Groupement d'appareils répondant à un but limité.* — Ici, le but principal est de réaliser une opération à but limité, mais présentant déjà une certaine complexité telle que la mise en service d'une machine précédemment au repos.

Les solutions varient naturellement selon les cas particuliers. Quelle que soit la manière dont l'ordre de départ est formulé et la nature de la machine à démarrer, la première idée est de faire réaliser par l'équipement les opérations qui auraient été exécutées manuellement dans les conditions ordinaires. Cette conception se perfectionnera par la suite, les conditions nouvelles dans lesquelles l'équipement travaille permettant, tantôt de simplifier les manœuvres, tantôt d'accroître la sécurité, puisqu'il devient facile de faire dépendre un mouvement non pas de l'exécution du mouvement qui doit normalement le précéder, mais bien de la réalisation de l'état électrique correspondant, en sorte que toute fausse manœuvre devient impossible.

Il se présente même un avantage supplémentaire de rapidité qui peut n'être pas négligeable : l'équipement est toujours prêt

à répondre ; les manœuvres se produisent aussitôt que les conditions nécessaires sont remplies : un résultat qui demandait parfois quelques minutes va être obtenu en quelques secondes.

Toutes les machines électriques peuvent être commandées ainsi et il n'en est pas dont la mise en route et la commande automatique n'aient pas été réalisées.

Les premières réalisations importantes ont, croyons-nous, concerné les appareils de levage et la traction : nous citerons pour mémoire les ascenseurs et les équipements à unités multiples, qui sont tellement répandus qu'ils paraissent aujourd'hui chose toute naturelle et que les mots « commande à distance » et « automacité » ne paraissent pas les concerner.

Une autre application est le démarrage des commutatrices et leur mise en service sur le réseau continu. Les manœuvres s'exécutent au moyen de combinaisons de relais et de contacteurs.

c) *Equipements réalisant la commande d'une station complète.* — La commande d'une station complète possède maintenant ses organes de manœuvre. Pour que sa réalisation soit possible, il a fallu créer une gamme complète de relais permettant de franchir les différents stades de l'opération.

La préférence doit aller à celles qui s'astreignent à suivre un principe directeur logique et particulièrement le suivant :

Toute manœuvre est décidée et ordonnée par le relais qui a constaté l'existence de l'état électrique que doit produire la manœuvre précédente.

Un des premiers exemples de réalisation d'une station complète a été la mise au point des petites usines hydroélectriques fournissant un appoint à un réseau plus important : c'est, en effet, le cas où la main-d'œuvre peut être la plus difficile à trouver et où elle grève le plus lourdement le prix de l'énergie.

Cette usine est actuellement la plus simple possible, et, en général, ne comporte qu'un seul groupe turbine alternateur.

Nous ne dirons rien de la partie hydraulique.

La simplicité apparente de son fonctionnement a fait parfois choisir la génératrice asynchrone, mais l'inconvénient d'une alimentation en courant réactif par le réseau fait préférer aujourd'hui l'alternateur synchrone normal ; l'excitatrice est en bout d'arbre, ce qui est plus sûr que de la commander par courroie.

L'équipement peut comporter la signalisation, à un poste central, des manœuvres effectuées. Les opérations de démarrage ou d'arrêt sont groupées chacune en une seule séquence. L'ordre est donné par le poste central où est provoqué automatiquement par la hauteur de l'eau ou par un interrupteur horaire, ou encore par une baisse de fréquence trahissant une surcharge du réseau, etc.

Les manœuvres se succèdent de la façon suivante :

Impulsion de mise en route donnée par fermeture d'un contact actionné comme il vient d'être dit :

Fermeture d'un contacteur général de contrôle dans le circuit duquel se trouvent placés en série tous les appareils de protection (c'est sur ce contacteur que l'on agit pour provoquer l'arrêt).

Ouverture électrique des vannes :

Au fur et à mesure de l'ouverture des vannes, augmentation de la vitesse de turbine et amorçage de l'excitatrice ;

A 5 % environ avant le synchronisme, couplage de l'alternateur, sans excitation, sur les barres à haute tension ; aussitôt après : excitation de l'alternateur, le couple synchronisant s'ajoute alors au couple moteur de l'eau et amène le moteur au synchronisme.

Pour l'arrêt :

Impulsion d'arrêt donnée par ouverture du contact qui avait été actionné pour la mise en route ;

Ouverture du contacteur général de contrôle :

Fermeture électrique des vannes, ce qui diminue progressivement la charge du groupe ;

Un peu avant la fermeture complète des vannes, mise hors circuit de l'alternateur, son excitation étant connectée à une résistance de décharge.

L'usine est prête à une nouvelle mise en service.

Protections. — Des appareils spéciaux protègent continuellement le groupe contre tout dérangement en provoquant, suivant le cas, sa mise hors service temporaire ou permanente.

L'arrêt temporaire est prévu dans les cas suivants :

Surintensions dues à des troubles sur le réseau principal, à un emballement du groupe, à une surexcitation, etc. ;

Baisses de tension momentanées, dues à l'action de la foudre ou à des perturbations de courte durée sur le réseau.

Excès de vitesse dus au mauvais fonctionnement du régulateur ;

Manque de vitesse : le couplage à une vitesse trop éloignée du synchronisme est impossible ;

Surintensions de l'excitatrice ;

Echauffement des enroulements dû à une surcharge faible, mais prolongée.

L'arrêt permanent est prévu dans les cas suivants :

Surcharges très élevées dues par exemple à un court-circuit sur la ligne reliant l'usine au réseau ;

Manque d'excitation ;

Court-circuit interne de l'alternateur ;

Echauffement des paliers de la turbine ou du groupe ;

Mauvais fonctionnement du dispositif de commande électrique des vannes.

Le fonctionnement automatique a été appliqué fréquemment aux sous-stations de conversion destinées à l'éclairage et à la traction. A signaler celles de la T.C.R.P., des Voies ferrées du Dauphiné, à Uriage, des Chemins de Fer Néerlandais, des tramways de la ville de Brno. Celles des chemins de fer du Maroc ne sont que partiellement automatiques, en ce sens que le personnel de surveillance a été maintenu. C'est par centaines que l'on compte les sous-stations automatiques aux Etats-Unis, où certains réseaux n'ont pas craint d'équiper ainsi la totalité de leurs sous-stations.

d) *Consommation d'énergie.* — En matière industrielle, les considérations économiques dominent toute la question et peuvent seules rendre viables les solutions que proposent la technique. Les économies du procédé sont nombreuses ; les unes sautent aux yeux, comme la suppression du personnel ; d'autres sont facilement mises en évidence, comme les économies de rendement et d'entretien qu'apportent la répartition plus judicieuse des manœuvres d'arrêt ou de mise en route des machines.

Les dépenses immédiates sont connues par les devis et les factures des constructeurs ; mais il est une autre cause de dépenses qu'il est difficile d'apprécier avant la mise en service : c'est la consommation propre d'énergie. A la sous-station de Sèvres, qui a deux groupes de 500 KW, la consommation annuelle est de 19.000 KWh., soit 1,9 % du débit de la sous-station. A la sous-station de Vitry, elle est de 12.000 KWh pour deux groupes de 425 KW. et à la sous-station d'Uriage de 8.000 KWh. pour deux groupes de 200 KW. On peut donc dire qu'à l'heure actuelle les problèmes posés par l'équipement automatique sont résolus et dans de bonnes conditions.

II. — COMMANDE A DISTANCE

Nous venons de passer successivement en revue diverses sortes d'appareillages, fonctionnant sans intervention humaine immédiate, contacteurs élémentaires — séquences — groupes constituant des postes complexes.

Leur manœuvre peut être assurée de trois façons :

1° *L'automatisme pure*, dans laquelle un appareil inanimé constate et juge un état électrique ou matériel en fonction duquel il doit agir sur la suite des opérations : disjoncteurs à maximum avec refermeture automatique après *test*, interrupteur horaire, relais de tension ou de fréquence, flotteur de niveau d'eau, en sont de frappants exemples : l'homme qui les a conçus et réalisés leur a délégué son pouvoir et est absent au moment de l'action.

2° *La commande à distance.* — L'appareil est asservi à la manœuvre humaine, mais cette manœuvre s'exerce de loin : quelques mètres ou plusieurs kilomètres, la distance importe peu.

3° Enfin ces deux catégories peuvent se combiner pour obtenir la *semi-automatisme* : l'action humaine se manifestant à distance pour déclencher une suite d'opérations automatiquement liées entre elles, comme dans les sous-stations dont nous venons de parler.

Il est impossible de dire a priori que l'une de ces trois solutions soit meilleure que l'autre. Seule l'étude technique et économique permettra de faire un choix dans chaque cas particulier.

Nous allons examiner succinctement les divers systèmes de commande, d'après la nature de la canalisation joignant le poste de commande au poste commandé.

1° *Commande simple.* — Nous avons vu que pour commander un contacteur il faut un fil pilote et la terre ou le rail des tramways. La commande simple comporte autant de fils pilotes qu'il y a de conducteurs, le retour étant commun. On diminue le nombre de fils en constituant autant de séquences qu'il est possible ; mais dès que le nombre de circuits est grand et la distance importante, ce système devient impraticable.

2° *Commande à nombre de fils réduits.* — Ce système existe dans la téléphonie automatique et la télégraphie avec impression. C'est aux sélecteurs de ces dispositifs que l'on a eu recours, mais en prenant des précautions spéciales car « un faux numéro » pourrait avoir des conséquences très graves. La majorité des systèmes emploie les sélecteurs rotatifs synchrones.

3° *Commandes à deux fils.* — Les commandes précédentes emploient toutes au moins quatre fils. Le nombre de fils peut être réduit à deux au moyen des deux procédés suivants :

En premier lieu, on peut affecter à chaque appareil commandé quatre plots du seul jeu de sélecteurs conservés : on peut ainsi transmettre avec un seul circuit les quatre indications nécessaires :

Ordre de fermeture	indication fermé
Ordre d'ouverture	indication ouvert

Ce système limite le nombre des appareils commandés au quart du nombre des plots disponibles sur un jeu de sélecteurs.

En second lieu, on peut faire de la sélection à deux degrés et faire commander par un présélecteur un groupe de sélecteurs qui, chacun, contrôlent une série d'appareils.

4° *Commandes sans fils spéciaux.* — On a cherché à utiliser pour la transmission des ordres les réseaux de puissance. On peut toujours, sur un réseau à courant continu, superposer dans

le même fil des courants alternatifs de fréquence variable. On peut, par ce moyen, faire opérer une même manœuvre par tous les postes d'un réseau. Ce procédé est employé par la Compagnie Parisienne de Distribution d'Electricité, pour manœuvrer les compteurs à changements de tarif. Des procédés de sélection pour n'effectuer que la manœuvre d'un seul poste sont actuellement à l'étude.

5° *Commandes par ondes radioélectriques sans fils.*— D'autres chercheurs se sont attaqués aux ondes hertziennes pour obtenir des commandes sans fil. Les difficultés proviennent de la faible puissance reçue et des possibilités de brouillage. Au point de vue industriel, il ne semble pas que ce système ait un grand avenir. Il n'en est pas de même au point de vue militaire.

Rapport de M. Villiers sur la sécurité de l'exploitation dans les tableaux de distribution à moyenne tension et grande puissance.

Comment concevoir la construction des tableaux pour que l'explosion d'un disjoncteur ait le minimum de répercussion sur le reste de l'installation ?

Quels sont les moyens à préconiser pour lutter contre les incendies de tableaux ?

Jusqu'à présent, ces deux questions n'ont pas été étudiées avec une méthode suffisante, parce que les tableaux sont, en général, construits par des installateurs qui, n'ayant pas l'occasion d'assister aux accidents d'exploitation, ne peuvent se rendre un compte exact des précautions à prendre pour en limiter les conséquences, et qu'ensuite il n'existe pas une documentation suffisante sur les accidents de tableaux, permettant d'en étudier les causes et les effets.

L'accident type est l'incendie d'un appareil contenant de l'huile, transformateur ou disjoncteur. Tous nos efforts devraient donc se porter vers la suppression de l'huile.

Il existe des transformateurs d'intensité dans l'air fonctionnant avec satisfaction sous des tensions de 16.000 volts. Les transformateurs de tension ne sont pas faits, jusqu'à présent, dans l'air pour des tensions supérieures à 8.000 volts. Rien ne paraît s'opposer a priori à ce que cette tension soit dépassée. Les appareils les plus dangereux sont les fusibles destinés à protéger ces appareils à cause des vapeurs métalliques qui se dégagent et mettent en court-circuit franc les pièces restées sous tension. Des améliorations sensibles ont été apportées en noyant le fusible dans du tétrachlorure de carbone, ou dans des matières inertes comme le talc.

Les appareils dont le mauvais fonctionnement ont les conséquences les plus graves sont les disjoncteurs dans l'huile. De nombreuses études de disjoncteurs sans huile se font tant en France qu'à l'étranger ; mais, en attendant que ces appareils soient au point, il faut bien se contenter de ce que l'on a.

Sans doute il existe des disjoncteurs dans l'huile capables de couper les courts-circuits des grosses centrales, mais ce sont des engins trop coûteux et trop encombrants pour pouvoir être utilisés dans des tableaux de distribution importants, qui comportent 40 ou 50 départs de feeders.

Le distributeur doit avoir recours à deux palliatifs :

1° Limiter la puissance mise en jeu pendant les courts-circuits, soit par des bobines d'inductances convenablement disposées, soit par la division du tableau en paquets de feeders alimentés par des machines ou des transformateurs séparés.

2° Considérer l'explosion et l'incendie d'un disjoncteur comme incident normal d'exploitation et construire le tableau de façon

que cet incident n'ait qu'une répercussion aussi minime que possible sur la continuité du service et que la sécurité du personnel soit bien assurée.

Si les exploitants ont fait, malheureusement, des expériences nombreuses, elles n'ont jamais été rassemblées pour être étudiées scientifiquement.

Lorsqu'on veut étudier la propagation de l'incendie et l'extinction de l'huile enflammée, il faut se placer dans les conditions où cette inflammation se produit.

DISPOSITIONS A OBSERVER DANS LA CONSTRUCTION DES TABLEAUX EN VUE D'ÉVITER LA PROPAGATION DE L'INCENDIE

Quelques dispositions sont à observer dans l'établissement des canalisations d'évacuation d'huile. Le diamètre de ces canalisations ne doit pas être inférieur à 10 $\frac{\text{cm}}{\text{m}}$, pour être certain que la canalisation ne sera pas obstruée par des corps étrangers, car, en pratique, ces canalisations ne sont ni entretenues ni vérifiées.

Lorsqu'on place au-dessus d'un bac d'huile enflammée un tuyau voisin de la verticale, le foyer prend une activité formidable, que rien ne peut plus limiter. Pour que cet effet de cheminée ne se produise pas, il faut :

1° Limiter à 5 % la pente de la tuyauterie ;

2° Réaliser une fermeture étanche à la base des collecteurs, soit par siphon, soit par joint hydraulique.

3° Faire tous les joints très étanches, de façon à empêcher les rentrées d'air dans les tubulures.

Avec ces précautions, on n'a pas à craindre de retour de flammes dans les cellules voisines.

Il n'est pas toujours possible, surtout dans des installations existantes, d'aménager des tuyauteries d'évacuation. Une disposition qui donne de bons résultats consiste à placer au fond des cellules des cuvettes d'absorption.

Ces cuvettes, remplies de cailloux, refroidissent et absorbent l'huile enflammée qui se trouve éteinte très rapidement.

Le lit de filtration doit être fait de cailloux de 3 à 4 $\frac{\text{cm}}{\text{m}}$. Il faut laver au moins une fois par an les cailloux pour qu'ils ne soient pas colmatés par l'huile. Le lit de cailloux doit naturellement être calculé de façon que le volume des interstices entre cailloux soit très nettement supérieur à celui de l'huile à absorber. On peut d'ailleurs se contenter de disposer sur une grille une épaisseur de 20 à 30 $\frac{\text{cm}}{\text{m}}$ de cailloux. L'huile s'éteint en traversant le lit et vient s'accumuler dans le fond de la cuvette.

Ces deux dispositifs, tuyauteries d'évacuation et cuvettes d'absorption, ne sont pas suffisants pour éliminer tout danger d'incendie, car, lorsqu'un appareil éclate, il projette sur les parois de la cellule une pellicule d'huile enflammée, qui brûle pendant un temps suffisant pour déterminer la destruction du matériel et mettre le feu aux installations voisines.

Pour éviter la propagation des flammes, il y a lieu de chercher à compartimenter les installations et à isoler dans des cellules étanches les appareils susceptibles de devenir des foyers d'incendie.

C'est ce principe qui a été suivi par la Société d'électricité de la Seine dans son usine de Vitry. Tous les appareils susceptibles d'exploser ou de brûler sont placés dans des cellules en béton armé très résistant. Ces cellules fermées par des rideaux métalliques très légers sont accessibles seulement de l'extérieur du bâtiment, au moyen de passerelles de service, formant balcons. Grâce à cette disposition, l'explosion d'un appareil fait sauter le rideau vers l'extérieur et les flammes et fumées, au lieu de se propager par les couloirs, vers les installations voisines, se dégagent simplement le long de la façade du bâtiment.

Il est également nécessaire de placer les barres omnibus dans des compartiments étanches. Les communications entre cellules situées à des étages différents doivent être rigoureusement prosrites, car elles créent des cheminées d'appel qui activent l'incendie.

Il faut aussi attacher une grande importance à l'évacuation des fumées qui empêchent toute remise en service. Ces fumées sont, non seulement produites par l'huile enflammée, mais également par les nuages d'oxydes métalliques dégagés, lorsqu'un arc violent s'amorce entre deux conducteurs.

La filerie des services auxiliaires doit faire l'objet d'une installation soigneuse, car, souvent, la remise en service d'un tableau est retardée parce que la filerie a été avariée. On a intérêt à réduire la filerie au minimum, en plaçant par exemple sur chaque cellule de feeder ses appareils de commande et de contrôle.

Pour loger les nombreux câbles armés qui partent des tableaux, il est commode de construire des galeries. Cette disposition n'est pas sans danger, car les câbles, recouverts de filin goudronné, sont susceptibles d'alimenter des incendies fort gênants, car ils provoquent des interruptions de longue durée.

Les incendies de câbles sont, en général, causés soit par une explosion de boîte, soit par des courants de défaut circulant dans le plomb. Dans les galeries toutes les jonctions doivent être réalisées en reconstituant le câble.

Lorsque le neutre est mis à la terre, les plombs des câbles armés peuvent avoir à véhiculer des courants de retour très intenses. Pour éviter les échauffements locaux, il faut donc, s'il existe des boîtes de jonction, soit connecter très soigneusement les plombs des deux tronçons de câbles réunis, soit, au contraire, les isoler complètement.

Signalons qu'en Allemagne, lorsque des câbles sont posés dans des immeubles ou dans des galeries, on a l'habitude d'enlever le filin après la pose.

MOYENS A EMPLOYER POUR COMBATTRE LES INCENDIES

Les moyens actuellement connus, se divisent en deux classes :

1° Extincteurs à main ou sur chariot, qui peuvent être transportés facilement sur le lieu du sinistre et qui nécessitent l'intervention directe du personnel.

2° Extincteurs fixes, qui fonctionnent automatiquement, ou dont la commande est faite à distance.

Extincteurs à main. — Les extincteurs qui peuvent être utilisés sans danger d'électrocution sont les appareils à poudre ou à tétrachlorure de carbone. Ils doivent être soigneusement entretenus, de façon à être toujours prêts à fonctionner.

Les extincteurs à poudre ont l'avantage de ne pas dégager de gaz toxiques. Cinq ou six extincteurs sont, au moins, nécessaires pour l'extinction d'un petit disjoncteur.

L'action extinctive du tétrachlorure de carbone est extrêmement puissante; il semble agir à la fois par étouffement des flammes et par refroidissement. Le gros inconvénient du tétrachlorure de carbone est que, porté à haute température en présence de vapeur d'eau, il donne naissance à du chlore, à de l'acide chlorhydrique et à une certaine quantité d'oxychlorure de carbone (CO Cl). Ce dernier, connu sous le nom de phosgène, est un toxique très dangereux.

Lorsque l'incendie n'a pu être circonscrit à la première attaque, il faut donc que le personnel se munisse de masques contre les gaz et mieux, de masques respiratoires munis de bouteille d'oxygène.

Il faut, après l'incendie, mettre en action tous les moyens de ventilation dont on dispose, pour évacuer non seulement les fumées, mais surtout les vapeurs irrespirables du tétrachlorure et de ses composés.

Extincteurs fixes. — Tout système automatique qui n'a occasion de fonctionner que tout à fait exceptionnellement et qui, en pratique, ne peut être vérifié régulièrement, doit être aussi simple que possible et ne comporter aucune pièce mécanique.

Le dispositif le plus simple consiste à établir des canalisations, en cuivre, remplies de tétrachlorure sous pression, ne comportant ni vanne, ni robinet, ni aucun organe mécanique.

Dans chaque cellule, où se trouvent les appareils susceptibles de s'enflammer, sont disposées des tubulures dérivées, terminées chacune par une tête de Grinnel. La tête de Grinnel est constituée par un ajutage conique obturé par une bille de cristal. Cette bille est pressée sur son siège par une lame de ressort fusible, dont le point de fusion est réglé à 60° C. environ. La chaleur dégagée par l'incendie naissant fait fondre le fusible et l'ajutage déverse alors sur le foyer le liquide divisé en plusieurs jets.

Le jet doit avoir une pression de 3 à 4 kg./cm² et il est bon de prévoir plusieurs têtes de Grinnel par cellule.

La fusion de la tête de Grinnel demande de 40 à 50 secondes. Ce temps est trop long et il serait intéressant d'arriver à le réduire.

La centrale de Kligenberg a une installation automatique qui projette de la neige de gaz carbonique. De telles installations seraient intéressantes à suivre, car le gaz carbonique présente, comme agent extincteur, moins d'inconvénients que le tétrachlorure.

* * *

Rapport de M. Neu sur l'application éventuelle des machines frigorifiques et des gaz à haute pression pour augmenter la sécurité de l'exploitation des usines génératrices et des postes de transformateurs.

Dans toute machine électrique, il faut évacuer la chaleur dégagée. L'évacuation des calories est obtenue par des circulations d'air atmosphérique ou d'eau à la température ambiante. Si, au contraire, on avait recours aux basses températures que l'on obtient facilement avec les machines frigorifiques industrielles, on pourrait, toutes choses égales d'ailleurs, augmenter la quantité de calories évacuées, tout en abaissant la température du matériel électrique, c'est-à-dire augmenter sa puissance d'utilisation tout en améliorant grandement sa sécurité de fonctionnement et sa longévité.

On peut se demander si le travail à fournir à la machine frigorifique ne sera pas prohibitif.

L'exemple d'un transformateur montre, au contraire, qu'on a un gain intéressant. La résistivité du cuivre croît avec la température, et, par suite, les pertes Joule, pour une charge donnée. Si l'on abaisse la température du cuivre, ces pertes diminuent. Sur un transformateur, on constate que, par KW, on a un gain de 4,6 watts avec une machine frigorifique qui consomme seulement 0,5 watt.

Dans un turbo-alternateur, on pourrait accroître très notablement la puissance de l'alternateur en employant une machine frigorifique. On pourrait ainsi profiter des capacités de surcharge importantes dont jouissent les turbines à vapeur. On réaliserait ainsi une importante économie sur les frais de premier établissement.

La présence d'air comprimé dans une centrale permettrait d'entrevoir la suppression de l'huile, cause de bien des incendies. Car, en effet, si l'huile a un pouvoir isolant bien supérieur à l'air à la pression atmosphérique, cette supériorité va en diminuant jusqu'à devenir négative si on augmente suffisamment la pression de l'air. Il est donc permis de présenter la proposition suivante qui peut paraître bien hardie.

« Remplacer dans les transformateurs et disjoncteurs le « bain d'huile par une atmosphère gazeuse sous une pression « de quelques kilogrammes par centimètre carré.

Comme gaz à employer, on peut envisager par exemple l'air, l'azote, l'anhydride carbonique, ces deux derniers gaz ayant, en plus, l'avantage de n'être pas carburants. L'anhydride carbonique est maintenant un produit très répandu dans le commerce, sous la forme de liquide contenu dans des bouteilles de fer.

On peut imaginer, même pour des postes de transformateurs isolés de moyenne importance, que le poste comportera, à côté du transformateur, une bouteille d'acide carbonique, munie d'un détendeur maintenant une pression de quelques kilogrammes par centimètre carré, malgré quelques légères fuites.

Il y a lieu de remarquer, en outre, que la disponibilité dans une centrale de gaz sous pression permettrait très avantageusement de réaliser les manœuvres à distance des disjoncteurs.

En résumé, on pourrait améliorer grandement la puissance et les conditions de fonctionnement du matériel électrique de grande puissance et à tension élevée par les diverses solutions suivantes :

1° Sans rien modifier aux dispositifs généraux d'installation des transformateurs et génératrices, refroidir énergiquement leur bain d'huile ou leur circulation d'air par l'emploi de machines frigorifiques et accroître ainsi grandement leur sécurité et leur possibilité de surcharge.

2° Dans les transformateurs, remplacer le bain d'huile par une atmosphère gazeuse sous pression, cette atmosphère étant refroidie, soit par les moyens usuels de circulation avec des faisceaux tubulaires placés à l'air atmosphérique, ou dans de l'eau courante, soit avec utilisation de machines frigorifiques.

3° Remplacement dans les disjoncteurs du bain d'huile par une atmosphère gazeuse sous pression.

