

# Laboratoire d'Essai à très Haute Tension.

Par J. VALLET, Ingénieur I. E. G.

*Au moment où l'opinion publique se passionne à juste titre pour l'utilisation complète de nos forces hydrauliques et de la répartition de l'énergie ainsi produite sur l'ensemble du territoire, il nous a paru intéressant de signaler les efforts faits par une importante Firme Lyonnaise, pour résoudre les nombreuses difficultés d'ordre technique que ce projet d'électrification soulèvera.*

Si l'installation de grandes centrales hydrauliques ou thermiques ne crée point de problèmes absolument nouveaux, il n'en est pas de même du transport de l'énergie considérable ainsi engendrée à des distances dépassant 500 kilomètres, soit plus du double des distances actuelles.

Ces transports ne pourront être faits d'une façon économique et avec un rendement convenable que par l'emploi de très hautes tensions.

Quelques rares installations à 110.000 volts ont été réalisées sur le continent. En Amérique, des tensions plus élevées sont déjà employées. La tension qui sera adoptée en France pour le réseau de distribution générale, dont les études sont en cours, sera vraisemblablement celle de 120.000 volts. Pour certaines lignes spéciales, il est même question de 200.000 ou 220.000 volts. Nous sommes loin des tensions actuellement utilisées en France et les constructeurs Français se trouveront en face de problèmes présentant des difficultés d'exécution nouvelles pour eux.

Il importe, et cela est capital, que ces réseaux à très haute tension, qui alimenteront nos principaux centres industriels, présentent la plus grande sûreté de fonctionnement en même temps qu'une sécurité absolue pour le personnel. Ces conditions ne pourront être remplies qu'à la suite d'essais extrêmement sérieux faits en usine pour éliminer toute pièce défectueuse dans le matériel utilisé : transformateurs, appareillage, isolateurs, câbles souterrains, etc.

Ces essais nécessiteront des laboratoires judicieusement installés et permettant d'obtenir des tensions extrêmement élevées, supérieures à plus de deux fois la tension normale de service afin de se conformer aux règles d'essais que la pratique a reconnues nécessaires. Quelques chiffres permettront de mieux préciser notre pensée : Pour un transport à 120.000 volts, par exemple, les transformateurs devront être essayés à 240.000 volts, les isolateurs de la ligne à 250.000 volts, ces chiffres devront être à peu près doublés s'il s'agit d'une ligne à 220.000 volts.

Bien entendu, les tensions de claquage très intéressantes à connaître pour le constructeur sont bien supérieures à celles-ci. Elles correspondent environ pour un transformateur à trois fois la tension normale, pour un isolateur à quatre et cinq fois cette même tension.

Le laboratoire spécial d'essais que viennent de réaliser les *Ateliers de Constructions électriques de Lyon et du Dauphiné* permet d'obtenir la tension de 350.000 volts au moyen d'un transformateur monophasé, d'une puissance de 300 KVA, dont l'une des extrémités de l'enroulement haute tension est reliée à la borne, l'autre extrémité étant reliée à la masse. Il a été prévu l'adjonction d'un deuxième transformateur identique, monté en série avec le premier, ce qui permettra d'obtenir 700.000 volts entre les bornes extérieures des deux transformateurs.

Nous pensons intéresser le lecteur en lui donnant un bref aperçu sur cette installation.

## TRANSFORMATEUR 350.000 VOLTS

Ce qui frappe tout d'abord, ce sont les dimensions considérables du transformateur construit par les *Ateliers de Constructions Électriques de Lyon et du Dauphiné* : 4 m. 60 de hauteur totale ; 2 m. 50 de diamètre, poids total en ordre de marche, 15 tonnes dont 5 tonnes d'huile H. T. de première qualité.

Il faut noter que la puissance mise en jeu est relativement consi-

derable pour ce genre d'appareils. Il est, d'ailleurs, important que cette puissance ne soit pas trop faible car les effluves, claquages et amorçages se produisent avec de petites puissances d'une façon différente qu'en service normal lorsque l'appareillage est placé sur un réseau de grande puissance, le moindre courant de surcharge provoquant immédiatement une forte chute de tension dans l'appareil.

On peut, d'ailleurs, déterminer d'une façon assez précise, la puissance nécessaire pour un transformateur d'essai par les considérations suivantes. Ces appareils étant destinés à effectuer des essais d'isolement ne débitent normalement que sur des capacités (capacité entre enroulements et masse pour un transformateur, entre fil de ligne et terre pour un isolateur, entre conducteur et terre pour un câble, etc...) L'intensité du courant débité a pour valeur :

$$I = 2 \pi / C U 10^{-6}$$

formule dans laquelle C est la capacité en microfarads de l'appareil à essayer, U la tension d'essai et f la fréquence. La puissance en KVA du transformateur d'essai se déduit immédiatement :

$$KVA = 2 \pi / C U^2 10^{-9}$$

formule qui montre en particulier que cette puissance doit croître comme le carré de la tension.

Pour certains essais de câbles armés, par exemple, la puissance nécessaire peut atteindre des valeurs assez considérables. Les exemples que nous donnons ci-dessous fixeront les idées à ce sujet :

La capacité kilométrique d'un câble armé 60.000 volts monophasé d'une section de 100 m/m<sup>2</sup> est de 0,17 microfarads environ. Ce câble doit être normalement essayé à deux fois sa tension normale plus 40.000 volts, soit 160.000 volts pendant trois minutes et à sa tension normale plus 40.000 volts pendant trente minutes. En appliquant la formule ci-dessus, on trouve que le premier essai à 50 périodes exige une puissance de 250 KVA pour une longueur de câble de 200 mètres et le 2<sup>e</sup> essai une puissance de 100 KVA pour la même longueur.

Un câble armé triphasé, 25.000 volts d'une section de 3 x 120m/m<sup>2</sup> possède une capacité kilométrique de 0,19 microfarad entre un conducteur et les deux autres mis à la terre. La tension d'essai est de 90.000 volts pendant trois minutes et 65.000 pendant 30 minutes, ce qui correspond à une puissance de 150 KVA pour une longueur de 300 mètres de câble pour le premier essai et 75 KVA pour le deuxième.

Enfin, la capacité d'isolateurs pour 70.000 volts variable dans des limites assez larges suivant les constructeurs atteint parfois  $\frac{1}{10^4}$  microfarad.

La tension d'essai est égale à deux fois la tension normale plus 10.000 volts soit 150.000 volts pendant 30 minutes.

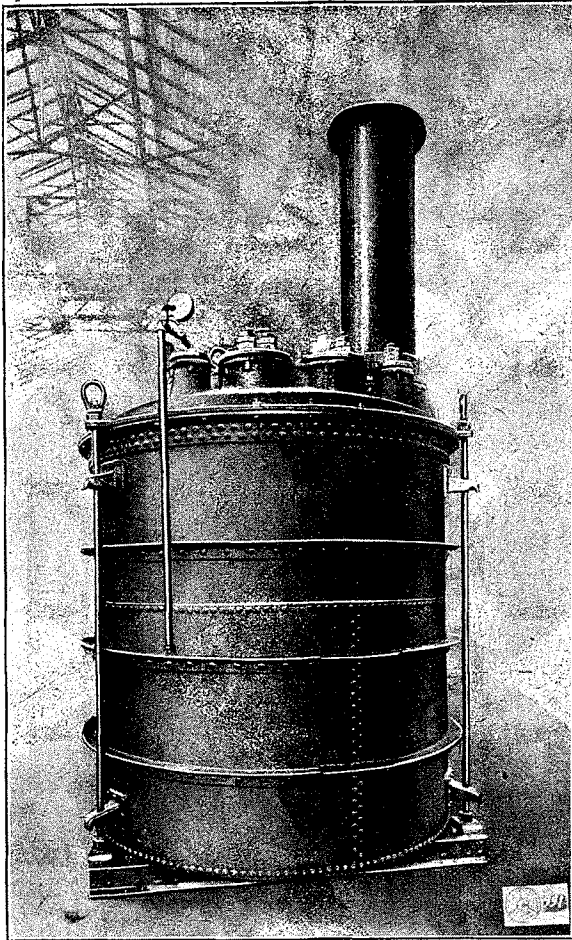
L'essai de 50 isolateurs à cette tension et à la fréquence de 50 périodes nécessite une puissance de 40 KVA environ.

Ces divers exemples montrent suffisamment la nécessité d'avoir un transformateur dont la puissance soit largement prévue lorsqu'on veut effectuer des essais d'appareils ayant une grande capacité et dont la construction soit très robuste pour pouvoir résister aux efforts assez considérables produits par un claquage toujours possible de l'appareil essayé.

Il faut ajouter que dans ce transformateur l'isolement de l'enroulement haute tension et de la borne de sortie par rapport à la masse

doit être dimensionné pour résister à la tension de 350.000 volts, alors que dans la plupart des transformateurs d'essai, le milieu de l'enroulement étant mis à la masse, l'isolement n'est prévu que pour la demi tension nominale du transformateur.

Cet isolement a été prévu très largement tant au point de vue claquage, que cheminement et effectué avec des isolants de première qualité ne travaillant, ainsi que l'huile, qu'à des contraintes admissibles.



Vue du transformateur d'essai  
350.000 volts-300 KVA.

On est arrivé à ce résultat en répartissant judicieusement le travail du diélectrique isolant-huile. La construction a été conçue de façon à éviter toute concentration de potentiel par des arêtes vives ou des angles et à donner une répartition de potentiel nettement pré-déterminable.

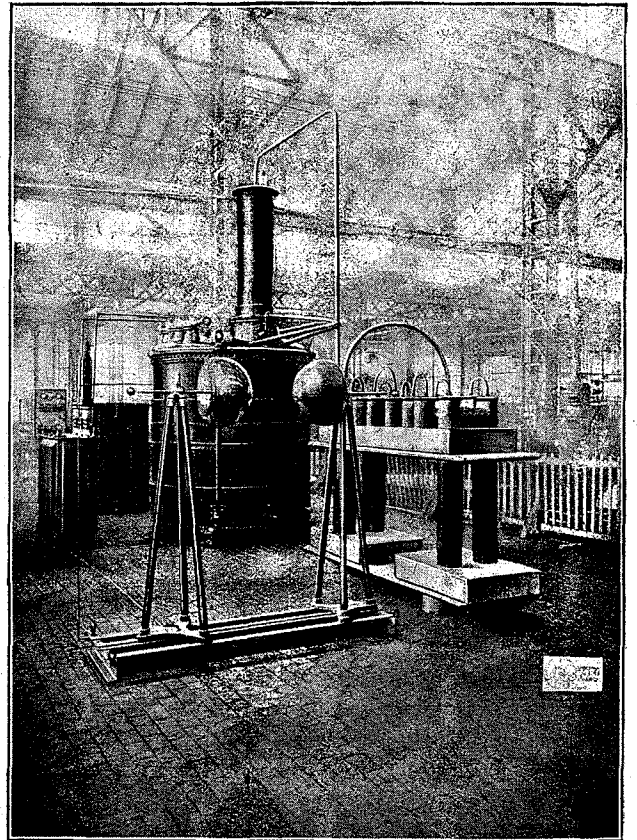
L'isolement des galettes d'entrée a été réalisé d'une façon très méthodique et très large de manière à pouvoir résister à des tensions bien supérieures à celles prévues (galettes de choc). Un dispositif spécial permet d'assurer une égale répartition du potentiel sur toutes les spires de plusieurs galettes d'entrée. On remédie ainsi aux surélévations énormes de tension se produisant toujours sur les premières spires de l'enroulement.

En outre, les galettes de choc sont suivies d'autres galettes dans lesquelles l'isolement a été augmenté (galettes de demi-choc, galettes renforcées).

La borne de sortie du transformateur mérite une attention spéciale. Cette borne a été prévue pour 400.000 volts. Elle est du type condensateur » et a une longueur totale de 2 m. 70 dont les deux

tiers environ sont dans l'air, distance largement suffisante pour la tension en jeu. Elle se compose d'un certain nombre de cylindres concentriques séparés les uns des autres par une couche d'huile et comprenant chacun d'eux un tube métallique noyé dans un tube en hæfelyte. Tous ces condensateurs sont de capacité identique et se répartissent également la tension de 400.000 volts. Le nombre des condensateurs et les épaisseurs des diélectriques ont été calculés pour que ces derniers ne soient soumis qu'à des contraintes acceptables.

Signalons que l'étanchéité est parfaite entre la cuve et son cou-



Vue montrant l'installation provisoire du transformateur d'essai  
avec les résistances, l'éclateur, le transformateur auxiliaire.  
(Au 2<sup>e</sup> plan transformateur d'essai à 150.000 volts.)

vercle, de sorte que le transformateur et sa borne haute tension sont complètement remplis d'huile, la borne servant de conservateur pour le bac. On évite ainsi à l'huile le contact de l'air, condition essentielle pour lui conserver toutes ses qualités isolantes, qualités qui diminuent rapidement par l'oxydation et surtout par la moindre trace d'humidité.

Nous terminons cette rapide description en donnant quelques indications sur le circuit primaire. Ce dernier est prévu pour être alimenté à 5.000 volts et comporte quatre enroulements identiques dont les extrémités sont sorties sur le couvercle. Suivant le couplage adopté : parallèle, série-parallèle ou série, le rapport de transformation est 5.000 / 350.000-5.000 / 175.000 ou 5.000 / 87.500. Dans les deux derniers cas, la puissance du transformateur est réduite proportionnellement.

Le choix de la tension primaire à 5.000 volts a permis, malgré la puissance assez considérable en jeu, d'utiliser une section de conducteur relativement réduite et de faciliter ainsi l'isolement des galettes et des prises par rapport à la haute tension.

## ALIMENTATION DU TRANSFORMATEUR D'ESSAI

Un transformateur auxiliaire 200 / 5.000 volts alimenté par le courant basse tension de l'usine est nécessaire et sa puissance a été choisie sensiblement égale à celle du transformateur à haute tension. Pour une installation de laboratoire d'essais, la détermination de cette puissance doit tenir compte de la durée des essais à effectuer. Pour des essais de câbles armés, d'isolateurs par exemple qui demandent parfois une marche presque ininterrompue pendant plusieurs heures, la puissance du transformateur d'alimentation sera égale à celle du transformateur d'essai. Elle lui sera notablement inférieure s'il s'agit d'un fonctionnement intermittent de très courte durée.

Ce transformateur auxiliaire est, lui-même, alimenté par l'intermédiaire d'un régulateur d'induction monophasé dans l'air qui permet d'obtenir une variation continue de la tension d'alimentation et, par conséquent, de la tension d'essai.

## MESURE DES TENSIONS D'ÉPREUVE

La mesure de tensions aussi élevées se fait par éclateur. L'éclateur employé est constitué par des sphères de 500 m /m de diamètre. Ce genre d'éclateur doit toujours être utilisé à l'exclusion de l'éclateur à aiguilles pour les tensions supérieures à 50.000 volts.

Le montage de l'éclateur doit être établi en tenant compte d'un certain nombre de précautions pour éviter notamment que les sphères ne soient soumises à l'influence de champs électriques extérieurs.

Le réglage de la distance de l'éclateur sera différent selon que l'appareil à essayer a une forte capacité ou, au contraire, une faible capacité. Il devra, en outre, tenir compte de la pression atmosphérique et de la température ; cette correction peut être considérable aux hautes altitudes. A titre d'indication, la distance d'éclatement à 25° Centigrades et 760 m/m de pression barométrique pour 350.000 volts avec des sphères de 500 m /m dont l'une est à la terre, est de 224 m /m.

Il peut être utile cependant de brancher un voltmètre sur le circuit à 220 volts qui permettra un contrôle de la tension obtenue et de suivre ses variations pendant l'essai.

Afin d'éviter les surtensions qui pourraient être provoquées par les décharges des éclateurs, une résistance non inductive doit être insérée en série avec l'éclateur. Cette résistance, dont la valeur est approximativement de 1 ohm par volt, est constituée par une série

de cylindres en carborandum (1). Elle amortit les oscillations des hautes fréquences au moment des éclatements et limite le courant à une valeur admissible. Il faut, d'ailleurs, ajouter que la tension de réactance du transformateur relativement élevée (environ 15 %) agit dans le même sens et le courant de court-circuit ne peut atteindre une valeur dangereuse. Cette disposition est préférable à celle qui consiste à établir les lignes à haute tension avec des fils fins pour utiliser l'effet de protection par effet « corona » sur ces fils.

## INSTALLATION D'UN LABORATOIRE D'ESSAI A TRÈS HAUTE TENSION

Nous venons d'examiner les principaux éléments constitutifs d'un tel laboratoire. Nous insisterons beaucoup moins sur l'installation elle-même qui sera évidemment variable suivant la nature des essais à effectuer, ainsi que sur tous les appareils accessoires de mesure et de commande qui se retrouvent dans tous les laboratoires.

Les dispositifs de protection et de sécurité ont été particulièrement bien étudiés. Le laboratoire sera complètement entouré d'un grillage avec dispositif de verrouillage pour le rendre inaccessible lorsque la tension élevée est appliquée. La distance minima entre les murs, charpentes, etc... et les conducteurs sous tension est de 3 mètres. Ces derniers sont constitués par des tubes dont le diamètre est de 40 m /m et ne présentent aucun coude brusque.

Nous avons déjà vu que la protection était assurée par l'emploi de résistances et par la forte tension de réactance du transformateur ; de plus, un disjoncteur à huile sur le côté, 5.000 volts avec commande automatique de divers points du laboratoire permettra en cas de danger de mettre le transformateur hors circuit.

Les laboratoires de cette importance, tant au point de vue de la tension obtenue que de la puissance mise en jeu, sont actuellement assez rares. En dehors de leur utilité pour effectuer tous les essais que nous avons mentionnés précédemment, nous estimons qu'un laboratoire de ce genre permettra de pousser plus loin les recherches scientifiques et de contrôler par l'expérience les résultats obtenus par le calcul dans le domaine des très hautes tensions. Bien des questions, notamment sur le champ électrique, effluves, effet corona, contraintes diélectriques, répartition de potentiel, etc... gagneront à être précisées pour toutes les applications futures qui semblent devoir être très nombreuses.

(1) Provisoirement l'installation a été réalisée avec des résistances à liquide.