

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 27 (1936)
Heft: 3

Artikel: Le laboratoire d'essais à haute tension es Câbleries de Cossonay
Autor: Foretay, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1057482>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 25.12.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Le Laboratoire d'essais à haute tension des Câbleries de Cossonay.

Par E. Foretay, Cossonay-Gare.

600.62 : 621.315.21(494)

L'équipement électrique d'un laboratoire d'essais de Câblerie doit satisfaire à des conditions très particulières, différentes de celles d'un laboratoire de fabrication d'isolateurs par exemple. Les tensions d'essai varient dans des limites très étendues entre les 500 volts utilisés pour certains câbles de télécommunication et plusieurs centaines de mille volts nécessaires à la perforation d'échantillons de câbles à haute tension. Chaque tension, aussi bien les plus hautes que les plus basses, doit pouvoir être réglée et mesurée facilement et avec précision et la courbe de tension doit être bien sinusoïdale quelles que soient les conditions de fonctionnement. D'autre part, les câbles à essayer ont souvent une forte capacité qui absorbe une puissance apparente considérable sous un facteur de puissance zéro avance. Les génératrices sont alors le siège d'un effet d'auto-excitation important, pouvant même provoquer un fonctionnement instable; pour les transformateurs, le rapport entre les tensions primaire et secondaire varie beaucoup selon la charge.

Certaines conditions particulières interviennent dans notre cas. Les essais doivent s'effectuer dans un minimum de temps. Il est utile de pouvoir faire simultanément des essais à deux tensions différentes. Des essais, à quelques mille volts seulement, se font aussi dans le laboratoire des câbles téléphoniques situé dans un local indépendant. Ces diverses manœuvres exigent un appareillage simple, facile à manipuler, établi de façon à éviter sûrement les accidents de personnes et les erreurs. L'installation dont la description suit est établie sur la base de ces divers facteurs.

Caractéristiques principales.

Les caractéristiques principales du laboratoire de Cossonay sont déterminées par diverses considérations. La gamme des tensions d'essai doit être très étendue:

1° Tous les câbles dits «à basse tension» sont essayés à 2000 volts, tension qui est donc utilisée très souvent. La puissance du transformateur doit suffire pour essayer ensemble de nombreux câbles.

2° Dans les hautes tensions usuelles, il faut disposer d'une puissance suffisante pour les plus grandes longueurs de fabrication.

3° Les essais d'isolateurs de boîtes d'extrémité et les essais de perforation d'échantillons de câbles demandent une tension très élevée, mais une faible puissance.

Une première solution adoptée par plusieurs câbleries, consiste à utiliser trois transformateurs, l'un pour les basses tensions, le second pour les hautes tensions et le troisième, de faible puissance, pour les très hautes tensions. Une telle installation est coûteuse, encombrante et compliquée. Par l'emploi d'un type spécial de transformateur d'essai à haute tension, le programme proposé a pu être réalisé avec deux transformateurs seulement.

Les essais des câbles à basse tension se font avec un transformateur du type industriel à bain d'huile et refroidissement naturel de 30 kVA. 16 kV ont été choisis comme tension maxima en tenant compte des tensions d'essai les plus fréquentes et de la tension minima que doit donner le second transformateur. Un changement de couplage au primaire permet d'obtenir aussi la pleine puissance à 8 kV. A la tension de 2000 volts on a 10 kVA pendant une heure, ce qui suffit largement pour notre labora-

Die elektrische Ausrüstung eines Kabelprüflaboratoriums muss sehr speziellen Bedingungen genügen, die beispielsweise von denen des Laboratoriums einer Isolatorenfabrik verschieden sind. Die Prüfspannung muss in sehr weiten Grenzen zur Verfügung stehen, und zwar zwischen 500 V (für gewisse Telephonkabel) und mehreren 100 000 V (für die Durchschlagsprüfung von Abschnitten von Hochspannungskabeln). Jede Spannung, sowohl die allerhöchste als auch die allerniedrigste, muss leicht und genau eingestellt und gemessen werden können und die Spannungskurve muss möglichst sinusförmig sein, unabhängig von den Betriebsbedingungen. Hinzu kommt, dass die zu prüfenden Kabel oft eine grosse Kapazität darstellen, welche bei einem Leistungsfaktor 0, voreilend, eine beträchtliche Blindleistung aufnehmen; in solchen Fällen treten bei den Generatoren starke Selbsterregungserscheinungen auf, welche sogar den Betrieb instabil machen können. Bei den Transformatoren ist das Uebersetzungsverhältnis stark von der Belastung abhängig.

Einige besondere Forderungen mussten im vorliegenden Fall erfüllt werden. Die Versuche müssen in kürzester Zeit ausgeführt werden können. Oft wird verlangt, gleichzeitig Versuche bei zwei verschiedenen Spannungen zu machen. (Versuche bei nur einigen 1000 V können auf dem Versuchsstand für Telephonkabel, der in einem andern Lokal installiert ist, ausgeführt werden.) Diese verschiedenen Benützungsmöglichkeiten bedingen eine einfache Apparatur, die leicht zu bedienen ist und die Unfälle und Fehler mit Sicherheit ausschliesst. Beim Bau des im folgenden beschriebenen Laboratoriums wurde diesen verschiedenen Forderungen Rechnung getragen.

toire. Ici une remarque: un transformateur d'essai pour câblerie ne fonctionne que rarement à pleine puissance, mais est souvent appelé à fournir son courant nominal ou même davantage sous une fraction de la tension maxima correspondant au couplage utilisé. Ces conditions particulières de fonctionnement déterminent le choix de la puissance. Ce transformateur est alimenté par un régulateur d'induction.

Le second transformateur d'essai, d'un type spécial dont seuls les enroulements sont contenus dans une cuve à huile en matière isolante, est à trois rapports de transformation dans les proportions: 1 : 2 : 4. Les tensions secondaires sont de 90, 180 et 360 kV, les deux premières réservées aux essais normaux de câbles et la troisième aux essais d'isolateurs ou à la perforation d'échantillons de câbles. Pour 90 et 180 kV, la puissance est 500 kVA pendant une heure, et à la tension maxima utilisée pour des objets de faible capacité, elle est réduite de moitié.

L'énergie primaire est fournie par un groupe convertisseur composé d'un moteur d'induction triphasé et d'un alternateur monophasé avec excitatrice en bout d'arbre, le réglage de la tension s'effectuant par variation d'excitation de l'alternateur.

Les deux transformateurs permettent d'obtenir toute la gamme des tensions comprises entre 0 et 360 kilovolts, avec une puissance suffisante dans tous les cas. Ces deux sources d'énergie étant complètement indépendantes, rendent possibles des essais simultanés à deux tensions différentes.

Le laboratoire est subdivisé par des grillages métalliques en quatre sections: 1^o le poste de commande qui contient le tableau de la station à 16 kV et, sur un podium, le pupitre de la station à 360

180 kV, auxquelles sont reliés les câbles à essayer et que des sectionneurs permettent de connecter avec les transformateurs correspondants qui ont toujours un pôle à la terre.

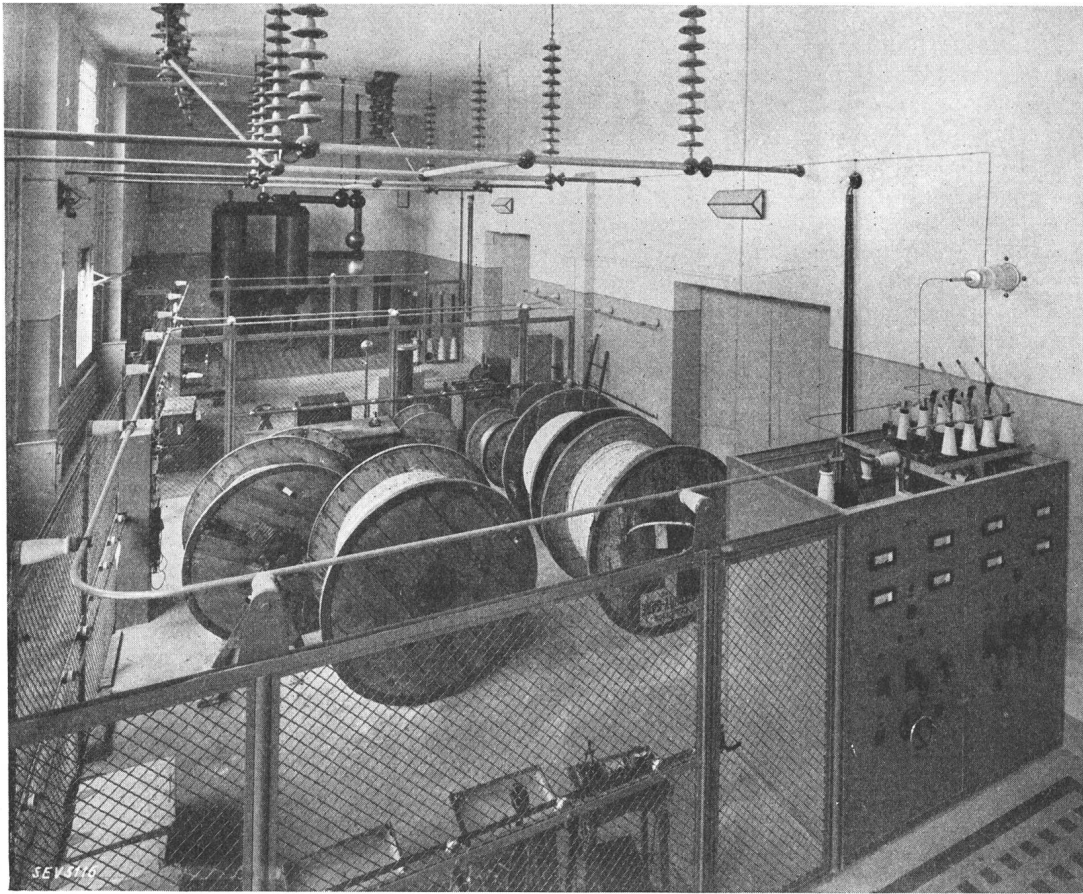


Fig. 1.
Laboratoire vu du podium.

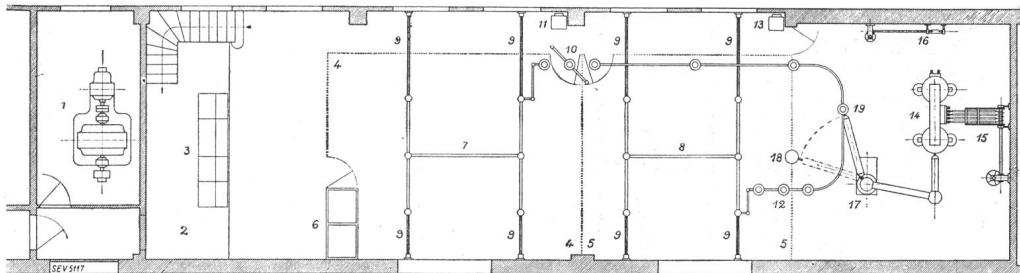


Fig. 2.

Plan du laboratoire.

- | | | |
|---|--|---|
| 1 Groupe convertisseur 380 kVA. | 9 Isolateurs en papier bakéliné. | 15 Sectionneur tétrapolaire (couplages 90 et 180 kV). |
| 2 Podium. | 10 Sectionneur 180 kV de la cellule 1. | 16 Sectionneur bipolaire (couplage 360 kV). |
| 3 Pupitre. | 11 Colonne de manœuvre. | 17 Spintermètre. |
| 4 1 ^{re} cellule d'essai des câbles. | 12 Sectionneur 180 kV de la cellule 2. | 18 Sphère d'extrémité 330 kV. |
| 5 2 ^e cellule d'essai des câbles. | 13 Colonne de manœuvre. | 19 Sphère de raccordement 180 kV |
| 6 Station 16 kV. | 14 Transformateur 360 kVA. | |
| 7 Barres à 180 kV de la cellule 1 | | |
| 8 Barres à 180 kV de la cellule 2. | | |

Nota: Les barres 16 kV ne sont pas représentées.

kV; 2^o et 3^o deux cellules pour les câbles à essayer; 4^o la cellule du transformateur à 360 kV. Les deux cellules réservées aux câbles permettent de faire des essais dans l'une, pendant qu'on prépare les câbles dans l'autre; chacune est équipée de deux systèmes de barres, l'un pour 16 kV, l'autre pour

**Description des installations.
Local (fig. 1).**

La salle réservée au laboratoire est longue de 28 m, large de 7,90 m et haute de 7 m. Elle est subdivisée, par des grillages métalliques, en quatre sections.

La première partie, de 5,70 m, constitue le poste de commande, avec un podium de 2,50 m de largeur, surélevé de 2,60 m. Deux cellules pour les câbles à essayer y font suite, l'une de 6,60 m \times 8,10 m, l'autre de 6,60 m \times 7,25 m, chacune communiquant avec l'atelier adjacent par une porte de 3 m de largeur. Enfin, la dernière cellule, de 6,90 m \times 7,55 m, contient le transformateur d'essais. Un couloir latéral de 1,30 m de largeur, situé devant les fenêtres, donne accès aux diverses cellules (voir plan fig. 2). Des rideaux noirs, coulissant dans des glissières, permettent de faire l'obscurité. L'éclairage artificiel est assuré par des luminaires en verre opale fixés aux parois, donnant une lumière uniforme, sans ombres portées. Les divers câbles: alimentation des transformateurs, circuits de mesure et de commande, etc., sont logés dans des caniveaux ménagés dans le sol; en des endroits appropriés, des dalles amovibles permettent les révisions ou modifications éventuelles.

Sources d'énergie.

Le laboratoire est alimenté par un transformateur triphasé de 220 kVA, 12500/380 volts, se trouvant à la station de transformation de l'usine, le réseau de force motrice à 380 volts constituant une réserve en cas de nécessité.

Station 16 kV (fig. 3).

Les tensions d'essai inférieures à 16 kV sont produites par un appareillage installé dans un tableau en tôle, à l'angle de la première cellule. Il com-

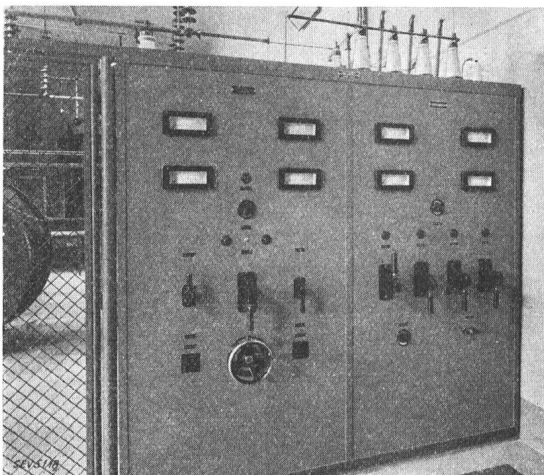


Fig. 3.
Station à 16 kV.

prend: Un régulateur d'induction monophasé de 30 kVA à ventilation naturelle, alimenté à 380 volts. Le rotor tournant par l'intermédiaire d'un volant placé devant le tableau, la tension réglée prend toutes les valeurs comprises entre 0 et 760 volts. Elle alimente le primaire d'un transformateur industriel de 30 kVA à bain d'huile, dont l'enroulement divisé en deux moitiés peut être couplé en série ou en parallèle par un inverseur, la tension maximum secondaire étant 8 ou 16 kV. La puis-

sance unihoraire est de 40 kVA. Par un jeu de quatre sectionneurs unipolaires avec contact de mise à la terre, l'énergie peut être envoyée soit aux barres à basse tension des cellules 1 et 2, constituées par un tube d'aluminium porté par des isolateurs horizontaux fixés à la partie supérieure du grillage (fig. 1), soit, par un isolateur de traversée, jusqu'au bassin situé dans l'atelier adjacent pour les essais de câbles dans l'eau, ou enfin, par un câble sous plomb, au laboratoire des câbles téléphoniques. La tension d'essai est contrôlée par un transformateur de tension de 1 kVA, 16000/500 V, dont le secondaire sera connecté à volonté à trois voltmètres mesurant respectivement 2,5, 8 et 16 kV. Le transformateur d'essai ayant toujours un pôle à la terre, on peut y intercaler un jeu de trois ampèremètres pour 6, 1 ou 0,2 A. Un commutateur spécial permet de choisir la sensibilité voulue, un contact auxiliaire met en circuit une sonnerie aussi longtemps que la manette n'a pas été ramenée à la position zéro, les trois ampèremètres étant alors court-circuités, ce qui évite de les endommager. Sans cette précaution, l'appareil de 0,2 A restant en circuit serait fortement surchargé si l'essai suivant absorbe 3 A. Le tableau est complété par des lampes de signalisation, un disjoncteur à maximum, un voltmètre 800 V et un ampèremètre 80 A pour le primaire du transformateur. Un inverseur permet d'utiliser la tension réglée du régulateur d'induction sans passer par le transformateur.

Station 360 kV (schéma fig. 4).

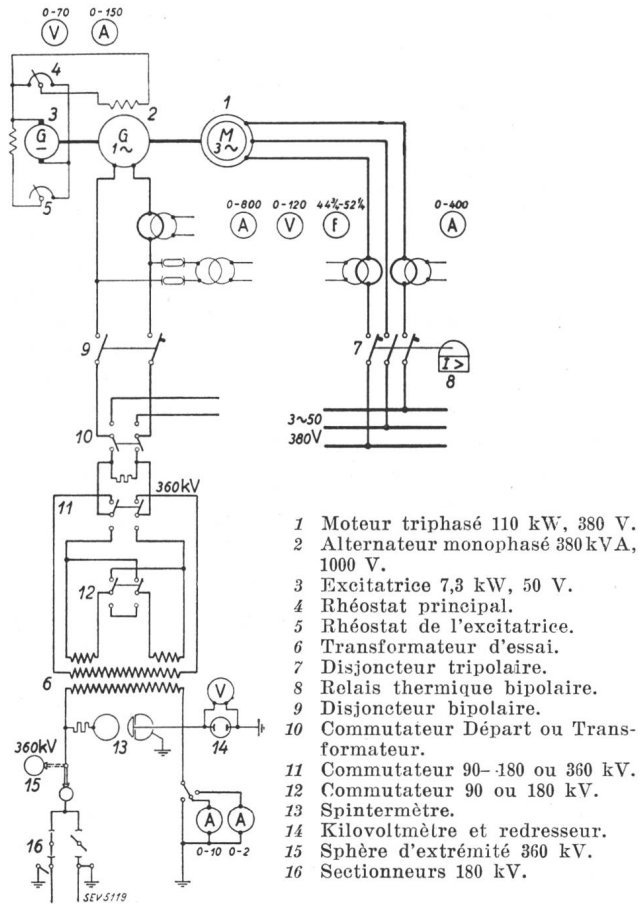
Données générales.

Les tensions d'essai supérieures à 16 kV sont fournies par un transformateur d'essai monophasé d'une puissance unihoraire de 500 kVA alimenté par un groupe convertisseur triphasé-monophasé. Dans certains laboratoires de câbleries, la puissance apparente qu'absorbent les câbles en essai est compensée par une bobine de self réglable mise en parallèle avec le primaire du transformateur d'essai. Il est possible ainsi de réduire d'environ 50 % la puissance de l'alternateur. Après étude, cette disposition a été abandonnée, car elle complique l'installation et la manœuvre, la bobine de self devant être réglée à nouveau pour chaque essai.

Groupe convertisseur.

Installé dans un local de 3,00 \times 6,20 m adjacent au laboratoire, il comprend un moteur d'induction triphasé de 110 kW, 380 V, 975 t/min, avec rotor bobiné et démarreur centrifuge, couplé par un manchon avec un alternateur monophasé de 380 kVA pendant 5 heures, 500 kVA 1 heure ou 760 kVA 5 minutes, 1000 volts, 1000 t/min, $\cos \varphi = 0,1$ avance. La roue polaire, à pôles saillants, porte un enroulement amortisseur. En bout d'arbre est montée l'excitatrice de 7,3 kW, 50 V, 145 A. Les deux machines sont fixées sur un bâti commun en fonte, ce qui a permis le transport et la mise en place de l'ensemble complètement monté, pesant

7,5 tonnes. Ce groupe est appelé à fonctionner dans des conditions très particulières. En effet, le transformateur de 360 kVA est utilisé pour toutes les



- 1 Moteur triphasé 110 kW, 380 V.
- 2 Alternateur monophasé 380 kVA, 1000 V.
- 3 Excitatrice 7,3 kW, 50 V.
- 4 Rhéostat principal.
- 5 Rhéostat de l'excitatrice.
- 6 Transformateur d'essai.
- 7 Disjoncteur tripolaire.
- 8 Relais thermique bipolaire.
- 9 Disjoncteur bipolaire.
- 10 Commutateur Départ ou Transformateur.
- 11 Commutateur 90-180 ou 360 kV.
- 12 Commutateur 90 ou 180 kV.
- 13 Spintermètre.
- 14 Kilovoltmètre et redresseur.
- 15 Sphère d'extrémité 360 kV.
- 16 Sectionneurs 180 kV.

Fig. 4. Schéma de la station à 360 kV.

tensions supérieures à 16 kV, qui est la tension maxima de l'autre station. Au couplage 90 kV cela représente seulement 18 % de la tension nominale. Si, dans ces conditions, les câbles à essayer ont une

tension secondaire à vide et la génératrice débitant un courant fortement décalé en avant est le siège d'un effet d'auto-excitation important, pouvant même provoquer un fonctionnement instable.

Le diagramme fig. 5 donne les valeurs de la tension primaire U_1 du transformateur d'essai et du courant d'excitation I_e de la génératrice, en fonction du courant secondaire I_2 , pour une tension d'essai constante de 90 kV. La tension primaire de 1000 V à vide tombe à 760 V pour un courant secondaire de 6 A et le courant d'excitation de l'alternateur passe de 80 à 5 A. Pour le diagramme fig. 6, correspondant à une tension d'essai de 40 kV, le courant d'excitation I_e s'annule pour un courant secondaire de 2,86 A. C'est un point d'instabilité qu'il n'est pas possible de dépasser. Si la capacité des câbles à essayer est supérieure à celle correspondant à ce point, même en réduisant le courant d'excitation au minimum, la tension monte au delà de la valeur choisie; il se produit des variations pendulaires du courant d'excitation et de la tension aux bornes de la génératrice. A une tension plus basse, la limite sera encore inférieure. Pour éviter ces inconvénients, l'enroulement d'induit de l'alternateur est subdivisé en quatre parties égales donnant chacune la moitié de la tension et du courant. Avec deux sections en parallèle, la tension maximum aux bornes est de 500 V, le couplage série-parallèle donne 1000 V. Au couplage de 500 V, le régime est stable même à une tension de 20 kV, comme l'indique le diagramme fig. 7. Le courant d'excitation I_e passe par un minimum pour un courant secondaire (I_2) de 3,6 A et augmente ensuite, sans jamais s'annuler. En outre, le réglage est plus fin, la même variation du courant d'excitation provoquant une variation moitié plus faible de la tension aux bornes.

La tension est réglée par un rhéostat principal monté en potentiomètre entre l'excitatrice et la roue polaire, ce qui permet d'obtenir des courants d'excitation aussi faibles qu'on le désire. Le rhéos-

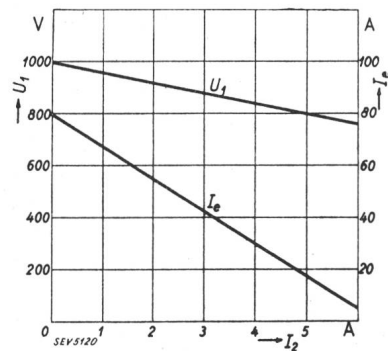


Fig. 5. pour $U_2 = 90$ kV, couplage 1000 V.

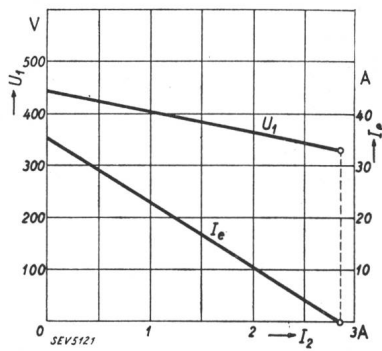


Fig. 6. pour $U_2 = 40$ kV, couplage 1000 V. Diagramme du groupe alternateur-transformateur

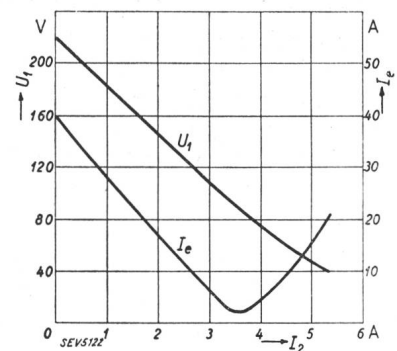


Fig. 7. pour $U_2 = 20$ kV, couplage 500 V.

forte capacité, ils absorbent une puissance apparente considérable sous un facteur de puissance zéro avance. La tension primaire du transformateur est alors plus petite que celle correspondant à la même

tat d'excitation de l'excitatrice sert au réglage fin. De nombreux essais à l'oscillographe dans diverses conditions de charge ont montré que la courbe de tension ne présente jamais d'harmoniques gênants.

Transformateur (fig. 8).

Ce transformateur, dont les enroulements sont logés dans des cylindres en papier bakélinisé remplis d'huile, est d'un type établi spécialement pour les essais¹⁾. Afin de répondre aux conditions particulières d'un laboratoire de câblerie, soit une gamme très étendue de tensions avec la possibilité d'obtenir une puissance apparente élevée et un régime stable même aux tensions réduites, il est établi avec trois rapports de transformation, la tension primaire nominale étant de 1000 volts.

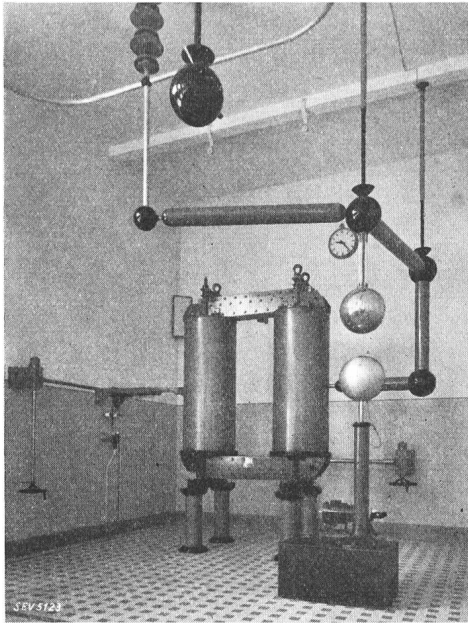


Fig. 8.
Transformateur 360 kV.

1° Tension secondaire 90 kV; puissance: 360 kVA pendant 5 heures, 500 kVA pendant 1 heure ou 720 kVA pendant 5 minutes.

2° Tension secondaire 180 kV; mêmes puissances.

3° Tension secondaire 360 kV; puissances 180, 250 ou 360 kVA.

Les tensions supérieures à 180 kV se rapportant à des essais de perforation d'échantillons, la puissance nécessaire est toujours réduite, c'est pourquoi elle est de moitié plus petite à 360 kV qu'aux deux autres couplages. A titre de renseignement, ce transformateur a des tensions de court-circuit relativement basses, comprises entre 4 et 15 %.

Le principe de fonctionnement est le suivant: Pour les essais à 90 kV ou 180 kV, la colonne de droite seule est utilisée. L'enroulement primaire, situé à l'intérieur, près du noyau, est formé de deux parties pouvant être couplées en série ou en parallèle. L'enroulement secondaire, situé à l'extérieur, occupe toute la hauteur de la colonne. Le point milieu est relié à la borne haute tension, alors que les extrémités supérieure et inférieure sont reliées ensemble et avec le noyau et la terre. Les deux

¹⁾ Voir Bull. ASE 1926, p. 437, et «Revue BBC», Avril 1927, p. 105.

moitiés de l'enroulement sont donc constamment en parallèle. La tension croît linéairement du bas et du haut de la colonne jusqu'au milieu où elle atteint son maximum, d'où une répartition très favorable des potentiels. Le changement de couplage série parallèle se fait instantanément par la manœuvre d'un inverseur au pupitre de commande.

Pour le fonctionnement à 360 kV, les deux colonnes du transformateur sont utilisées. Par un sectionneur bipolaire visible à gauche de la fig. 8, la tension de 1000 volts alimente un enroulement primaire dont les bornes sont placées à mi-hauteur de la colonne de gauche. Une partie de l'énergie passe à la colonne de droite par le noyau, une autre partie par un enroulement intermédiaire lié électriquement avec le primaire de la colonne de droite. Le noyau est alors isolé du sol par les quatre pieds en papier bakélinisé. Le secondaire de la colonne de gauche donne une tension de 180 kV à laquelle se trouve porté le noyau; elle s'ajoute à la tension de 180 kV de la colonne de droite pour donner 360 kV entre le milieu de la colonne de gauche relié à la terre et la borne haute tension à droite.

Le changement rapide de couplage s'obtient par deux sectionneurs spéciaux commandés à la main, dont les couteaux s'engagent dans des mâchoires de contact fixées au transformateur, un bipolaire pour le couplage à 360 kV et un tétrapolaire pour 90 et 180 kV. La manœuvre complète ne demande que 30 secondes.

Il n'a pas été prévu de résistances de protection dans le circuit à haute tension du transformateur. Selon la règle usuelle qui prescrit, en série avec l'objet à essayer, une résistance provoquant une chute de tension de 5 % sous le courant de pleine charge du transformateur, on devrait avoir trois résistances différentes pour les trois rapports de transformation:

$$90 \text{ kV}; 4 \text{ A}; \text{ Chute de tension } 4500 \text{ V}; R = \frac{4500}{4} = 1125 \text{ ohms.}$$

$$180 \text{ kV}; 2 \text{ A}; \text{ Chute de tension } 9000 \text{ V}; R = \frac{9000}{2} = 4500 \text{ ohms.}$$

$$360 \text{ kV}; 0,5 \text{ A}; \text{ Chute de tension } 18000 \text{ V}; R = \frac{18000}{0,5} = 36000 \text{ ohms.}$$

Ces résistances doivent pouvoir supporter, comme le transformateur, une surcharge de 100 % pendant 5 minutes. Un système de résistances commutables selon la tension utilisée conduit à une installation compliquée et encombrante. Le transformateur étant protégé contre les ondes à front raide par une construction spéciale, le constructeur admet que l'on fasse des essais de décharge sur isolateurs sans aucune résistance de protection. De tels essais à 330 kV ont été répétés plusieurs fois sans inconvénient. Pour les essais normaux, les câbles sont reliés directement au transformateur; ce n'est que pour les essais de perforation d'échantillons qu'une résistance hydraulique est mise en série.

Le générateur et l'appareillage à basse tension sont protégés contre les ondes à front raide par une résistance métallique de 250 ohms branchée en parallèle avec le primaire du transformateur d'essai.

Appareillage à haute tension.

Le conducteur à haute tension partant de la borne du transformateur est entouré d'un tube de papier bakélinisé contenant une feuille métallique dans son épaisseur. Le diamètre extérieur est de 200 mm, les raccords et changements de direction sont constitués par des sphères creuses en cuivre de 400 mm de diamètre. Le champ électrique superficiel est ainsi toujours faible; même aux plus hautes tensions d'essai, transformateur et tubes restent obscurs, sans production d'effluves. Le système est supporté par deux isolateurs en papier bakélinisé fixés au plafond. Le dernier tube horizontal est pourvu d'une genouillère du côté droit et d'un dispositif d'accrochage à l'autre extrémité; il peut être connecté à volonté, au moyen d'une perche de manœuvre, à l'une ou à l'autre des deux sphères de cuivre visibles sur la fig. 8. La plus grande des deux sphères, d'un diamètre de 400 mm, est fixée au plafond par un isolateur en papier bakélinisé; elle est utilisée pour les essais à des tensions supérieures à 180 kV, qui ne se font que dans la cellule No. 2. Les câbles ou autres objets à essayer sont alors reliés directement à cette sphère.

Pour les essais de câbles jusqu'à 180 kV dans l'une ou dans l'autre des deux cellules, le tube pivotant est connecté, comme le montre la fig. 8, à la sphère de cuivre de 270 mm de diamètre, reliée à un jeu de barres en aluminium aboutissant à deux sectionneurs unipolaires avec contact de mise à la terre, qui permettent de mettre sous tension chaque cellule séparément; à cet effet, au-dessus de chacune d'elles, trois tubes en aluminium sont disposés en forme de H et suspendus au plafond par quatre chaînes d'isolateurs de onze éléments. Pour donner à l'ensemble une rigidité suffisante, quatre isolateurs horizontaux en papier bakélinisé sont fixés entre les extrémités des tubes et les parois latérales du laboratoire. Si les barres d'une cellule ne sont pas reliées au transformateur, elles se trouvent automatiquement mises à la terre par les sectionneurs, ce qui évite tout danger de tensions induites. Ces sectionneurs sont commandés par des colonnes de manœuvre placées contre la façade; chacune contient un moteur monophasé à collecteur qui actionne, par un jeu d'engrenages, un treuil dont les câbles agissent sur le sectionneur. Les contacteurs pour les lampes-signal du pupitre et les circuits de verrouillage sont commandés directement par l'arbre du sectionneur, de fausses indications en cas de défaillance des câbles de manœuvre étant ainsi exclues. En outre, la construction même des sectionneurs indique clairement, au premier coup d'œil, s'ils sont enclanchés ou non. Pour les actionner, il suffit de manœuvrer, dans le sens voulu, les contacteurs montés dans le pupitre.

L'amenée de courant aux câbles à essayer se fait en suspendant aux barres à haute tension une légère perche isolante en tube de papier bakélinisé qui se termine à son extrémité supérieure par un crochet métallique et en bas par un bouton de connexion relié au crochet par un fil conducteur passant dans le tube.

Mesure de la haute tension.

Le procédé classique pour la mesure des hautes tensions est l'emploi d'un spintermètre à sphères dont la tension d'amorçage, pour chaque écartement des sphères, est fixée par des normes internationales. Ce système, simple et suffisamment précis pour des mesures industrielles, présente plusieurs inconvénients. La tension d'amorçage est fonction de la densité de l'air au moment de l'essai, ce qui oblige à faire chaque fois une correction basée sur les indications du baromètre et du thermomètre. Son fonctionnement est discontinu, l'étalonnage devant être effectué avant l'essai de tension lui-même. Pour l'essai de perforation d'un échantillon de câble, la tension n'étant pas déterminée à l'avance ne peut plus être contrôlée pendant l'essai, mais la mesure au spintermètre doit se faire après; la charge du transformateur n'étant pas la même, cela peut causer des erreurs assez importantes. Ces inconvénients ont fait adopter le procédé Haefely²⁾ qui utilise un spintermètre à axe vertical à sphères de 500 mm de diamètre. La sphère supérieure en cuivre est reliée à la haute tension, la sphère inférieure en fonte d'aluminium, se termine en haut par une calotte en bronze, isolée. L'ensemble formé par la sphère supérieure et la calotte constitue un condensateur à air, auquel le reste de la sphère inférieure, mis à la terre, sert d'anneau de garde. Pour un écartement donné, le courant de charge de ce condensateur est proportionnel à la tension appliquée. Ce faible courant, redressé par deux lampes de TSF, se mesure par un galvanomètre à cadre mobile, dont les indications sont directement proportionnelles à la tension. Quatre sensibilités différentes s'obtiennent en modifiant l'écartement des sphères et le shunt de l'appareil, la déviation totale de l'instrument (150 divisions) représentant respectivement 75, 150, 300 ou 450 kV. La calotte est reliée au tableau de redresseurs placé dans le pupitre par un câble spécial à faible capacité sous écran métallique mis à la terre.

L'écartement des sphères se règle à distance par un commutateur placé dans le pupitre, ce qui met en marche dans le sens voulu un petit moteur d'induction placé dans le socle du spintermètre, agissant par une démultiplication à vis sans fin sur le volant de réglage. Cette distance, qui peut être contrôlée sur place par une règle divisée en millimètres sur laquelle glisse un curseur, est également mesurable du podium. Aux systèmes de télémessure électriques a été préféré un dispositif plus simple

²⁾ H. König, *Helvetica Physica Acta* II, 1929, p. 152.

quoique précis, construit au laboratoire de Cossonay. Dans son mouvement, la sphère inférieure entraîne une règle en verre sur laquelle est gravée une division millimétrique. Un appareil de projection éclairé par une lampe à incandescence de 1000 watts, donne contre le mur l'image agrandie 50 fois de la graduation et de l'index de repère. Il est facile d'évaluer depuis le pupitre le $\frac{1}{5}^{\text{me}}$ de millimètre (fig. 9). Ce dispositif, donnant simple-

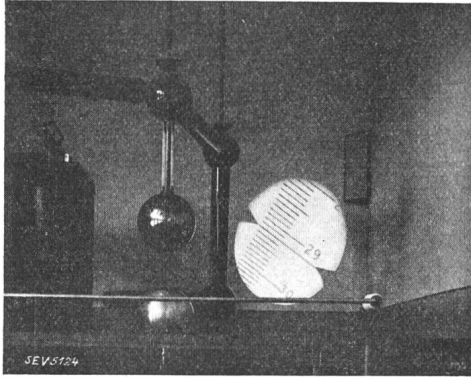


Fig. 9.
Mesure à distance de l'écartement des sphères.

ment par voie optique l'image de la règle divisée, ne peut introduire aucune cause d'erreur.

Cet appareillage peut également être utilisé comme spintermètre ordinaire en mettant la calotte à la terre, ce qui permet l'étalonnage. Lors d'un amorçage, le courant est limité par une résistance formée de six tubes en verre remplis d'eau distillée placés au-dessus de la sphère supérieure.

Pupitre (fig. 10).

Tout l'appareillage de manœuvre et de contrôle est rassemblé dans un pupitre installé sur le podium de commande. De ce point la vue s'étend sur l'ensemble du laboratoire. Les gros appareils: interrupteurs, inverseurs, rhéostat principal, transformateurs de mesure, sont montés dans une charpente en fer, fermée par des panneaux en tôle pleine et logée sous le plancher du podium.

Le pupitre, d'un modèle semblable à ceux des centrales électriques, est divisé en quatre sections: moteur, alternateur, transformateur et contrôle. Dans chaque section, les organes de commande (poignées des interrupteurs, volants des rhéostats) sont fixés contre le panneau vertical, le panneau horizontal portant les lampes de signalisation et commutateurs de manœuvre ou de mesure, tandis que le panneau incliné contient les instruments. Le voltmètre qui mesure la tension primaire du transformateur, la grandeur la plus importante, est un instrument électrodynamique de précision avec miroir à trois échelles de mesure 240, 600 et 1200 V, mais une seule échelle à 120 divisions, ce qui évite les erreurs de lecture si fréquentes avec les instruments à plusieurs échelles. Dans la section transformateur le couplage choisi est indiqué par un dispositif lumineux.

La dernière section du pupitre contient deux ampèremètres électrodynamiques de précision pour la mesure du courant secondaire du transformateur d'essai. Ils sont protégés contre les surcharges accidentelles comme ceux de la station à 16 kV par un commutateur qui actionne une sonnerie aussi longtemps qu'on n'est pas revenu à la position de repos. Les appareils eux-mêmes sont d'un modèle spécial établi à notre demande par le fabricant. En effet, les ampèremètres électrodynamiques usuels ont leur bobine fixe subdivisée en deux sections qu'on peut mettre en série ou en parallèle par un jeu de trois fiches. Si, par erreur, on retire les trois fiches à la fois, le circuit est interrompu, ce qui est dangereux pour l'appareil et même l'opérateur, si cette manœuvre est effectuée entre un transformateur d'essai à haute tension et sa mise à la terre. Dans les appareils utilisés, la bobine fixe n'est pas subdivisée, elle reste toujours en circuit. La bobine mobile comporte une résistance additionnelle en deux parties; une fiche peut court-circuiter une partie de la résistance, ce qui double le courant dans la bobine et la sensibilité de l'instrument.

Ce panneau contient aussi le relais à minimum de tension³⁾ très utile pour un transformateur d'essai de câblerie dont le courant primaire est fourni par une génératrice. En effet, si la capacité du câble en essai est forte, la réaction d'induit dont l'alternateur est le siège produit un effet d'auto-excitation intense. Le courant d'excitation en charge est plus petit que celui qu'on aurait à vide pour la même tension aux bornes secondaires du transfor-

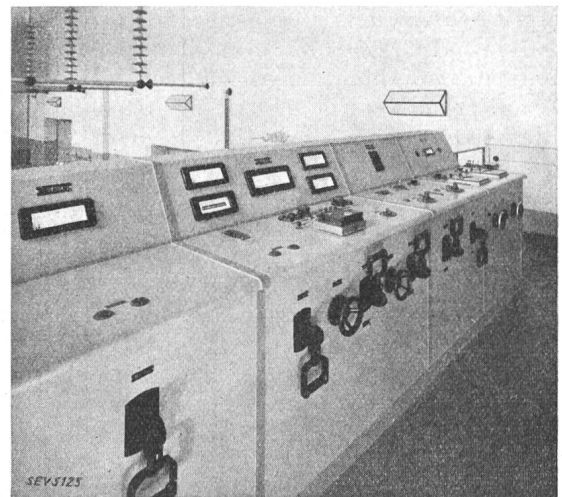


Fig. 10.
Pupitre.

mateur. Si, dans ces conditions, il se produit un claquage du câble en essai, le courant de court-circuit qui prend naissance peut être plus petit que l'intensité nécessaire pour actionner le relais à maximum du disjoncteur qui ne déclanche donc pas. Le schéma du relais à minimum de tension diffère

³⁾ L. Tschiasny, Selbsttätige Abschaltung von Hochspannungsprüfanlagen beim Durchschlag des Prüfstückes, ETZ 1928, Heft 26, S. 978.

un peu de celui de Tschiasny. Un transformateur de tension 1000/500 V a son primaire relié aux bornes de l'alternateur, le secondaire étant connecté aux extrémités d'un rhéostat monté en potentiomètre. La tension réglée alimente, en passant par une résistance variable, la bobine d'un relais à minimum de tension. Un voltmètre dont l'échelle porte un seul trait correspondant à la tension de fonctionnement du relais est monté en dérivation. Quelle que soit la tension de l'alternateur, on peut, par le réglage du potentiomètre et de la résistance, obtenir aux bornes du relais la tension voulue pour qu'il attire son armature. Un circuit se ferme, allumant la lampe de contrôle. En même temps, un second contact ferme le circuit de la bobine à tension nulle du disjoncteur principal, qui peut ainsi être enclanché. Pour faciliter ce réglage, le fonctionnement du relais est commandé par un commutateur à trois positions: hors service, réglage, en service. Dans les deux premières positions, le contact du relais est court-circuité, ce qui permet d'enclancher le disjoncteur, le réglage du relais n'étant effectué qu'ensuite. Si, en cours d'essai, il se produit une chute de tension par suite de claquage du câble, le relais laisse tomber son armature, provoquant le déclenchement du disjoncteur et un contact auxiliaire met en circuit une sonnerie pour prévenir le personnel de service.

Verrouillages et dispositifs de sécurité.

Dans un laboratoire d'essai où sont utilisées des tensions de plusieurs centaines de mille volts, des mesures de sécurité sont indispensables pour éviter les accidents. Comme l'indique la description qui précède, les sectionneurs à haute tension qui relient les barres 16 kV ou 180 kV aux transformateurs d'essai sont tous munis d'un contact de mise à la terre évitant que des tensions dangereuses puissent être induites d'un système sur l'autre. De plus, un dispositif très complet de verrouillage empêche absolument d'envoyer de la tension dans une cellule dont toutes les portes ne sont pas fermées ou provoque le déclenchement immédiat, si par inadvertance quelqu'un ouvre une porte d'une cellule dont les barres sont sous tension. Ce résultat s'obtient par le schéma de la fig. 11. Les deux disjoncteurs, celui du régulateur d'induction de la station à 16 kV comme celui de l'alternateur de la station à 360 kV, possèdent une bobine à tension nulle alimentée par le secondaire d'un petit transformateur de 3 kVA, sur lequel sont branchées également les lampes-témoin. Si la tension du réseau manque pour un motif quelconque, les disjoncteurs déclanchent, ainsi que celui du moteur du groupe convertisseur, évitant tout retour intempestif du courant. En outre, il suffit de déclencher le petit transformateur auxiliaire pour paralyser toute l'installation.

Toutes les portes, y compris celle de la cellule du transformateur, sont munies d'un dispositif de contact qui coupe le circuit dès que la porte s'ouvre. Tous ces contacts sont mis en série dans un circuit

comprenant en outre la bobine d'un relais dit relais de verrouillage, alimenté par le secondaire du transformateur 380/125 V. Les sectionneurs à haute tension, soit à 16 kV, soit à 180 kV, actionnent dans la position «déclanché» des contacteurs qui court-circuitent les contacts des portes de la cellule correspondante. Si, par exemple, le sectionneur à 180 kV de la cellule 1 est enclanché et les deux sectionneurs à haute tension de la cellule 2 déclanchés, les contacts des portes de cette deuxième cellule sont court-circuités. Le relais de verrouillage est donc alimenté par l'intermédiaire des contacts des portes de la cellule 1 et celui de la porte de la cellule du transformateur. Toutes les portes étant fermées, le circuit est continu, le relais attire son armature et ferme le circuit d'alimentation de la bobine à tension nulle du disjoncteur de l'alternateur. Une lampe-témoin spéciale indique qu'il est prêt à enclancher. En ouvrant une des portes de la cellule 1 ou celle de la cellule du transformateur, le circuit d'alimentation de la bobine du relais de verrouillage est interrompu, il laisse tomber son armature, coupant l'alimentation de la bobine à tension nulle du disjoncteur qui déclenche immédiatement. Ce système est beaucoup plus sûr que la combinaison avec courant de déclenchement, dont le fonctionnement est empêché par une défaillance de la source de courant auxiliaire ou une interruption accidentelle du circuit.

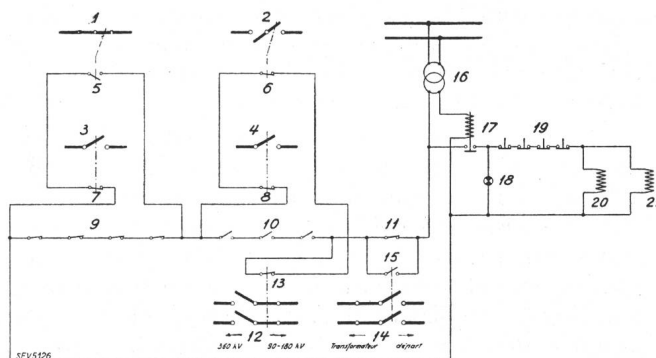


Fig. 11.

Schéma du verrouillage.

- | | |
|---|--|
| 1 Sectionneur 180 kV de la 1 ^{re} cellule. | 12 Inverseur du pupitre 360 kV ou 90—180 kV. |
| 2 Sectionneur 180 kV de la 2 ^e cellule. | 14 Inverseur du pupitre transformateur ou départ. |
| 3 Sectionneur 16 kV de la 1 ^{re} cellule. | 13 et 15 Contacteurs de verrouillage. |
| 4 Sectionneur 16 kV de la 2 ^e cellule. | 16 Transformateur 380/125 V, 3 kVA. |
| 5 à 8 Contacteurs de verrouillage des 4 sectionneurs. | 17 Relais de verrouillage. |
| 9 Contacts de portes de la 1 ^{re} cellule. | 18 Lampe-témoin. |
| 10 Contacts de portes de la 2 ^e cellule. | 19 Boutons de déclenchement. |
| 11 Contact de porte de la cellule du transformateur. | 20 Bobine à tension nulle du disjoncteur (station 16 kV). |
| | 21 Bobine à tension nulle du disjoncteur (station 360 kV). |

Pour prévenir le personnel quand une cellule est sous tension, deux lanternes de signalisation superposées sont disposées en haut du grillage, à côté de chaque porte; celle d'en haut s'allume quand les barres supérieures (180 kV) sont sous tension, celle d'en bas est relative aux barres inférieures (16 kV). De même une lanterne de signalisation à deux lampes se trouve au-dessus de chacune des entrées

de l'atelier. Ces portes étant formées de deux parties, chaque moitié a son contact de verrouillage individuel. Celle de la cellule du transformateur possède aussi une lampe de signalisation et un contact de verrouillage qui entre en action dès que le transformateur est sous tension, même si aucun sectionneur à haute tension n'est enclenché. Les essais à 360 kV se faisant toujours dans la deuxième cellule, sans qu'il soit nécessaire d'enclencher le sectionneur à 180 kV, un contacteur spécial verrouille les portes dès que le transformateur est couplé pour 360 kV. Par contre, quand l'alternateur envoie son courant aux bornes des tableaux des cellules, le transformateur n'étant pas en service, il n'y a pas de haute tension et les verrouillages sont libérés. Enfin si l'on doit, pour un motif quelconque, déclencher rapidement l'un ou l'autre des transformateurs d'essai, des boutons de «déclenchement en cas de danger» sont prévus, à l'entrée, en deux points du couloir correspondant au milieu des cellules et sous le podium où se trouvent des appareils de mesure spéciaux. Chacun d'eux est surmonté d'une lampe-témoin rouge qui le rend visible lors d'essais dans l'obscurité.

Pour éviter qu'une personne entrant dans une cellule puisse refermer la porte en la poussant derrière elle, ce qui enclencherait le contact de verrouillage permettant de mettre les barres sous tension, les gâches sont d'un modèle spécial qui ne peut se fermer qu'en pesant sur la poignée. Enfin, au tableau 16 kV et au pupitre un bouton spécial actionne une trompe électrique pour prévenir le personnel avant de mettre l'installation sous tension.

Pour le laboratoire d'essai des câbles téléphoniques situé à une vingtaine de mètres de la station à 16 kV, à l'extrémité d'un corridor qui ne permet pas une visibilité suffisante, des précautions spéciales sont prises. Dans ce local même, un tableau porte deux voltmètres alimentés par un transformateur de tension 5000/150 V. Une lampe témoin reste allumée aussi longtemps que le sectionneur à 16 kV est enclenché. Un bouton mis en série avec un interrupteur rotatif permet de déclencher le disjoncteur en coupant le circuit de la bobine à tension nulle. Cet interrupteur ne reste enclenché que pendant la durée des essais, ce qui évite tout danger.

Le schéma de verrouillage est établi de façon que, dans toutes les combinaisons de fonctionnement des transformateurs d'essai, au nombre d'une vingtaine, aucune fausse manœuvre ne soit possible.

Prises de terre.

Pour mettre à la terre le manteau de plomb des câbles en essai, une barre de cuivre méplat est placée à hauteur de main à l'intérieur des cellules, portée par des isolateurs fixés à la charpente du grillage et reliée, ainsi qu'une extrémité de l'enroulement de chacun des deux transformateurs, à une prise de terre de faible résistance formée d'une plaque de cuivre enterrée dans le sol devant le laboratoire, à une profondeur où il y a toujours de

l'eau. Le câble isolé y aboutissant est également relié à un fort collier de cuivre fixé à une conduite d'eau de gros diamètre. Toutes les ferrures: grillage, pupitre, tableaux, supports d'isolateurs, machines, etc. sont connectées à une seconde plaque de terre distincte de la première et enterrée aussi dans un sol humide.

Divers.

Outre l'appareillage déjà décrit et servant à la production et à la mesure de la haute tension, le laboratoire est encore équipé de divers appareils spéciaux.

Les *essais d'échauffement* de câbles et accessoires utilisent un transformateur de 15 kVA à basse tension pouvant débiter jusqu'à 3000 A.

Les mesures de *pertes diélectriques*, actuellement de pratique courante pour les câbles à haute tension, se font au moyen du pont de mesure d'après Schering. Cet appareillage, installé dans une petite chambre noire sous le podium, est relié avec le câble à essayer et le condensateur de comparaison placé dans la cellule du transformateur par des câbles spéciaux à très faible capacité.

Un oscillographe à cathode incandescente se trouve dans le même local. Par un tableau spécial de commutation, il peut être relié à diverses parties de l'installation pour observer les *courbes de tension et de courant* au primaire et au secondaire des transformateurs d'essai, ainsi que le courant et la tension d'excitation de l'alternateur. Cet appareil permet également d'étudier les décharges à haute tension; les images observées peuvent être enregistrées par des appareils photographiques spéciaux sur plaque ou sur film cinématographique.

Chaque longueur de câble sortant de fabrication passe au laboratoire pour l'essai de tension. La résistance électrique des conducteurs est mesurée ensuite, soit par un pont de Wheatstone, soit par un ohmmètre de précision à trois étendues de mesure 1,5, 0,15 et 0,015 ohm, puis la résistance d'isolement et la capacité, par comparaison avec des étalons appropriés en utilisant un galvanomètre à miroir.

Pour permettre d'exécuter facilement des essais d'échauffement, des étalonnages d'appareils ou des mesures spéciales, les diverses sources de courant du laboratoire: alternateur, excitatrice, régulateur d'induction et un groupe convertisseur à courant continu 125 V peuvent être reliées, par un tableau de couplage, avec des bornes placées sur les tableaux des cellules, ou avec des tableaux situés dans deux salles du laboratoire d'essais à courant faible. Divers câbles de mesure relient ces deux laboratoires qui communiquent entre eux par plusieurs téléphones aboutissant à une petite centrale.

Les expériences faites depuis la mise en service du laboratoire à la fin de 1933 ont montré qu'il se prête parfaitement bien au programme prévu, soit pour les essais normaux de fabrication qui se font rapidement et avec facilité, soit pour les travaux de recherches les plus divers. La marge adoptée pour les tensions et les puissances est largement suffisante.