

Conférence Internationale des Grands Réseaux Électriques à Haute Tension

54, avenue Marceau, Paris

Session 1937 — 24 Juin-2 Juillet

341. — RÈGLES POUR PARAFOUDRES

par K. BERGER,

Ingénieur de l'A. S. E., Zürich.

SOMMAIRE.

- I. *Introduction.*
- II. *But et définition du parafoudre.*
- III. *Fonctionnement du parafoudre.*
- IV. *Directives en vigueur pour les parafoudres.*
- V. *Définitions.*
- VI. *Règles pour la désignation des parafoudres.*
- VII. *Règles pour l'appréciation des parafoudres.*
 1. *Effet de protection.*
 2. *Essai de fonctionnement.*
 3. *Résistance aux intempéries et contrôle en service.*
 4. *Essais de pièces.*

RAPPORT

I. — INTRODUCTION.

La Suisse ayant présenté à la session de 1935 de la C.I.G.R.É. un projet de règles pour parafoudres (1) et un autre pays ayant présenté un autre projet d'ordre plus général sur l'établissement

(1) C. I. G. R. É., 1935, n° 350.

de règles de ce genre (1), le Comité des Surtensions de la C.I.G.R.É. décida d'établir pour la session de 1937 un projet de règles internationales pour parafoudres, dont il a confié l'élaboration au rapporteur, en collaboration avec le secrétariat de ce comité. Ce projet, sous forme de recommandation à la C.E.I., a pour but de fixer autant que possible sur une base normale et internationale l'appréciation de cette catégorie d'appareils pour haute tension, mis au point à la suite des études des orages entreprises au cours de ces dix dernières années. On pourra ainsi comparer selon les mêmes points de vue les fabrications des différents pays. Une base normale est d'autant plus désirable que les phénomènes des surtensions sont extrêmement rapides et que la notion de ces phénomènes évalués en microsecondes n'est pas encore d'un usage très courant pour les électrotechniciens. Un grand nombre de ceux-ci se rendent difficilement compte des propriétés caractéristiques d'un parafoudre moderne. Il est donc désirable de définir de façon uniforme et claire les caractéristiques d'un parafoudre, qui sont fondamentales pour la désignation et l'appréciation de cet appareil.

II. — BUT ET DÉFINITION DU PARAFONDRE.

La tâche des parafoudres est d'évacuer ou d'absorber les charges électriques trop considérables engendrées dans les installations à courant fort sous l'action de la foudre et de ramener ainsi les surtensions à une valeur admissible. Les présentes règles ne concernent que les appareils de ce genre. En principe, l'écoulement des charges a lieu par des résistances constantes ou variables, dans lesquelles l'énergie électrique des charges excessives est transformée, tout au moins partiellement, en énergie thermique. L'absorption des charges peut être assurée par des condensateurs qui accumulent l'énergie électrique et la restituent ensuite presque entièrement à l'installation.

Par *parafoudre* proprement dit, on n'entend généralement que la première de ces catégories d'appareils. Les expressions française (*parafoudre*) et anglaise (*lightning arrester*) donnent une meilleure notion de cet appareil que l'expression allemande (*Überspannungsableiter*) qui correspond au terme français plus général de *parasurtension*. Une confusion n'est certainement pas possible avec

(1) C. I. G. R. É., 1935, n° 310.

les *paratonnerres* (en anglais *lightning rods*, en allemand *Blitzableiter*), prévus pour la protection des bâtiments contre les coups de foudre directs.

III. — FONCTIONNEMENT DU PARAFONDRE PROPREMENT DIT.

Le fonctionnement du parafoudre proprement dit est basé, dans la plupart des types modernes, sur le fait qu'à partir d'une certaine valeur de la tension (tension d'amorçage), une communication est établie avec la terre, ce qui permet aux charges en excès de s'écouler. Durant cet écoulement, le point de raccordement du parafoudre se trouve porté à une tension plus élevée qu'en régime normal (tension résiduelle), cette tension étant toutefois plus faible que celle qui se présenterait au même endroit s'il n'y avait pas de parafoudre. Tandis que la tension d'amorçage est généralement déterminée par un éclateur logé dans le parafoudre, la tension résiduelle dépend de la chute de tension du courant dérivé dans la « résistance » du parafoudre. C'est cette « résistance » qui caractérise le fonctionnement du parafoudre, et qui, pendant la brève durée de la surtension, supporte un courant limité, afin de ne pas subir d'avarie (pouvoir d'écoulement). Du fait que la durée de cette surtension est limitée par le phénomène de la foudre elle-même, l'écoulement de courant dû à la surtension cesse de lui-même au bout d'une petite fraction de seconde. La tension qui subsiste alors aux bornes du parafoudre équivaut à la tension de service fournie par les génératrices et, le cas échéant, par les transformateurs de l'installation. De ce fait, la « résistance » du parafoudre peut rester le siège d'un courant, qui doit être supprimé aussi rapidement que possible par le parafoudre lui-même (pouvoir d'extinction). Ensuite, le parafoudre doit être immédiatement prêt à supporter encore un certain nombre limité de fonctionnements, sans subir de modifications permanentes.

Le *fonctionnement des condensateurs* comme parafoudres est basé sur le fait qu'ils peuvent absorber, sans accroissement excessif de la tension aux bornes, les charges électriques excessives engendrées par la foudre dans l'installation. En principe, ces charges sont réintégréées dans l'installation quand leur arrivée a cessé. Il s'agit donc dans ce cas d'un équilibrage des charges et des tensions sur une certaine durée qui dépend de la capacité du condensateur.

Pour définir le fonctionnement des condensateurs, l'indication de cette capacité suffit.

IV. — RÈGLES EXISTANTES.

Dans les pays suivants, des règles nationales pour l'appréciation des parafoudres existent déjà :

1° U.S.A. : Standards for Lightning Arrester, *A.I.E.E., Standard*, n° 28, March 1936.

2° Allemagne : Règles pour l'appréciation et l'essai des appareils de protection contre les surtensions destinés aux installations à fort courant, *E.T.Z.*, n° 5, 1933 (1).

3° Suisse : Directives pour l'essai et l'appréciation des parafoudres *Bulletin A.S.E.*, n° 21, 13 octobre 1936.

4° Pays-Bas : Convention interne de la Vereeniging van Directouren van Electriciteitsbedrijven in Nederland.

En outre, l'élaboration des présentes règles a été grandement facilitée par le fait que le *Comité pour les essais de chocs de la C.E.I.* (sous-Comité du Comité 8, Tensions et Courants, Isolateurs haute tension) a déjà fixé de façon uniforme et internationale quelques principales définitions concernant les phénomènes de choc. Le projet correspondant 8-301 fut adopté à la Conférence plénière de la C.E.I., à Bruxelles, en juin 1935, et transmis aux divers pays pour critique éventuelle (document C.E.I., R.M. 124, novembre 1935).

Ce projet de la C.E.I. concerne les définitions suivantes : durée du front, raideur du front, durée jusqu'à la mi-valeur dans la queue, en outre, tension de contournement et de perforation à l'essai de choc, durée jusqu'au contournement, rapport d'impulsion ainsi que la forme du choc normal pour les essais de choc des isolateurs (choc normalisé $1/50 \mu s$).

En tenant compte d'une part de ces règles existantes et d'autre part des expériences faites jusqu'ici, on propose dans ce qui suit les définitions particulières aux courants de choc et aux parafoudres, ainsi que les règles pour la définition et l'appréciation des parafoudres.

V. — DÉFINITIONS.

1. **Définitions du courant de choc.** — 1° Un *courant de choc* est un courant de brève durée et de polarité uniforme, engendré

(1) Actuellement en revision.

par exemple par l'arrivée d'ondes de surtensions à des points fixes de l'installation.

2° L'*amplitude* d'un courant de choc est sa valeur de crête.

3° La *durée de mi-amplitude* d'un courant de choc est la durée pendant laquelle le courant de choc est égal ou supérieur à la demi-amplitude.

La durée de mi-amplitude du courant de choc pour les essais de parafoudres est de 25 à 30 μ s.

4° La *durée du front* d'un courant de choc est la durée de l'accroissement entre zéro et l'amplitude. La valeur nominale de la durée du front est égale à 1,25 fois la durée qui s'écoule entre les points du front où la valeur momentanée du courant atteint le 10 et le 90 % de l'amplitude.

5° La *raideur* d'un courant de choc est sa vitesse d'accroissement moyenne en A : μ s, mesurée comme raideur de la droite reliant les points où la valeur momentanée du courant atteint le 10 et le 90 % de l'amplitude.

2. Définitions du parafoudre. — 6° La *tension d'amorçage sous tension alternative* est l'amplitude de la tension alternative à laquelle le courant commence à traverser le parafoudre.

7° La *tension d'amorçage par choc* est la valeur maximum de la tension aux bornes du parafoudre avant que le courant commence à traverser le parafoudre. (Le courant capacitif préliminaire n'entre ici pas en considération.)

8° La *tension minimum d'amorçage par choc* pour une forme de choc déterminée est l'amplitude de la tension de choc, dont l'application provoque dans la moitié des cas le passage du courant dans le parafoudre.

9° Le *retard à l'action* d'un parafoudre est le temps qui s'écoule entre l'instant où la tension alternative d'amorçage est atteinte et l'instant où l'effet protecteur commence à se faire pleinement sentir.

10° La *pointe de début* de la tension aux bornes du parafoudre est la plus grande tension aux bornes qui soit atteinte pendant le retard à l'action.

11° La *tension résiduelle* est la valeur maximum de la tension aux bornes du parafoudre pendant le passage du courant de choc après amortissement de la pointe de début.

12° Le *pouvoir d'écoulement* d'un parafoudre est l'amplitude du courant de choc d'une durée de mi-amplitude normale, qui peut

être absorbé à plusieurs reprises par le parafoudre, sans provoquer de modification permanente, ni d'avarie.

VI. — RÈGLES POUR LA DÉSIGNATION DES PARAFONDRES.

Chaque parafoudre doit être muni d'une plaque signalétique mentionnant :

- 1° Le nom du fabricant.
- 2° Le type de l'appareil (montage extérieur, intérieur, etc.). Désignation fixant sans équivoque les propriétés de l'appareil.
- 3° Le genre du courant (continu, monophasé, triphasé). Il y a lieu de préciser si l'appareil est destiné à un réseau à neutre isolé, ou à un réseau à neutre mis directement à la terre.
- 4° La tension nominale selon la C.E.I., et la tension maximum admissible de service aux bornes de l'appareil pour laquelle celui-ci est construit :

a. La tension nominale est la valeur efficace de la tension composée de service du système de courant mentionné sous 3°;

b. La tension maximum de service admissible aux bornes de l'appareil est la valeur efficace de la tension alternative entre la borne du parafoudre et la terre, à laquelle celui-ci fonctionne encore de façon irréprochable.

5° Éventuellement, le pouvoir d'écoulement :

A, amplitude du courant de choc maximum admissible;

μ s, durée de mi-amplitude du courant de choc maximum admissible.

VII. — RÈGLES POUR L'APPRÉCIATION DES PARAFONDRES.

1. **Effet de protection.** — Pour le type indiqué sur la plaque signalétique, les propriétés suivantes de l'effet protecteur doivent être connues ou déterminées lors de l'essai du type :

1° *Tension minimum d'amorçage par choc.* — L'onde d'essai est celle de $1/50 \mu$ s normalisée par la C.E.I. Il n'y a pas lieu de prescrire la polarité de la tension d'essai car un effet de polarité n'existe pour ainsi dire pas pour les éclateurs de parafoudres. Il y a cependant lieu d'indiquer cette polarité dans les procès-verbaux d'essai.

2° *Pouvoir d'écoulement en A et μ s.* — Cette définition exige l'indication de l'amplitude, de la durée de mi-amplitude, et de la forme du plus grand courant de choc qui puisse être supporté le nombre de fois prescrit par le parafoudre sans subir de modification permanente :

a. *L'amplitude du courant de choc* est prévue avec les valeurs d'essai suivantes :

En U.S.A. 1 500 A, (valeur recommandée par l'Appendice des « Standards ») et 750 A pour l'essai de fonctionnement sous tension de service;

En Allemagne 500, resp. 1 000 A, selon le type de parafoudre et la tension nominale (§ 16);

En Suisse 750, 1 500 et 2 500 A, selon le type de parafoudre et la tension nominale (III, A, 4);

Aux Pays-Bas ($44 \times$ kV tension nominale + 400) A.

Il y a lieu d'ajouter à ce sujet que certains fabricants construisent déjà des parafoudres dont le pouvoir d'écoulement dépasse en partie sensiblement les exigences minima ci-dessus prescrites pour l'amplitude du courant par les directives nationales.

b. *La durée de mi-amplitude* du courant de choc pour l'essai des parafoudres est actuellement :

En U.S.A., d'environ 18 μ s (correspondant à une durée d'environ 30 μ s entre les valeurs zéro du courant de choc, soit 10 μ s de front et 10 μ s pour redescendre à mi-valeur dans la queue);

En Allemagne, d'environ 20 μ s (*E.T.Z.*, 1933, p. 117, § 16);

En Suisse, de 25 à 30 μ s (*Bulletin A.S.E.*, n° 21, 1936);

Aux Pays-Bas, de 100 μ s.

c. *La durée du front du courant* dans le parafoudre :

En U.S.A., cet accroissement doit avoir lieu en 10 μ s;

En Allemagne, avec une durée de front de 1 μ s;

En Suisse avec une durée de front de 1 μ s normalement; toutefois, une durée de front plus grande est également admise si l'oscillogramme du courant est connu;

Au Pays-Bas, pas d'indication.

d. *Le nombre de chocs de courant*, lors de l'essai de type avec ce courant de parafoudre maximum, atteint :

En U.S.A., pas d'indication pour l'essai à 1 500 A; 30 chocs à 750 A sous tension de service, à des intervalles de temps d'un de maximum 1 mn;

En Allemagne, au moins 100 chocs, si possible avec l'amplitude indiquée sous *a.*, par groupes de 10 chocs à 1-5 s d'intervalle, séparés par 9 arrêts de 10 mn chacun pour refroidissement;

En Suisse, 20 chocs + au moins 10 autres avec un courant plus faible, à un intervalle de 1/2 mn chacun;

Aux Pays-Bas, 120 chocs, dont 20 avec intervalles de 15 s chacun + 100 avec intervalles de 5 s chacun.

Ces exigences concernant le pouvoir d'écoulement des parafoudres sont donc encore actuellement très variables, aussi serait-il désirable d'arriver par la discussion à des exigences plus uniformes, surtout pour la durée de mi-amplitude des courants d'essai et pour le nombre des chocs d'essai.

Remarques au point a. — Pour les amplitudes du courant de choc, il ne peut s'agir que d'établir des exigences *minima*, dont la valeur soit fondée au point de vue technique et économique.

La détermination d'une même amplitude de courant pour l'essai des parafoudres de toutes les tensions nominales semble être techniquement correcte, tant qu'il s'agit de parafoudres prévus pour installations avec lignes sur poteaux en bois ⁽¹⁾, mais elle est moins correcte pour les installations avec ligne sur pylônes métalliques. D'autre part, les exigences de la sécurité de service augmentent généralement avec la valeur de la tension nominale. La grandeur des contraintes naturelles exercées sur le parafoudre lors d'un coup de foudre variant sensiblement du fait qu'il se présente beaucoup de petites ondes de surtensions mais très peu de grandes, il semble raisonnable que l'acheteur de parafoudres ait la possibilité de choisir entre des appareils chers, mais à grande sécurité de service avec grand pouvoir d'écoulement, et des appareils meilleur marché avec un pouvoir d'écoulement plus faible et un risque d'avarie plus grand, en conséquence.

Pour tenir compte de ces considérations économiques, la classification suivante est proposée

Classe.	Pouvoir d'écoulement minimum (valeur de crête) (A).
1.....	300
2.....	750
3.....	1 500
4.....	2 500

(1) K. B. Mc EACHRON et W. A. Mc MORRIS, *El. Eng.*, décembre 1935.

La classe 1 ne doit être utilisée que pour des tensions jusqu'à 1 kV. Au reste, on propose d'utiliser la classe 2 de 0 à 20 ou 33 kV; la classe 3 de 0 à 80 kV et la classe 4 de 0 à 220 kV, tension de service.

Remarques au point b. — Afin de tenir compte des coups de foudre multiples ⁽¹⁾ et des durées de mi-amplitude de surtensions mesurées lors des orages ⁽²⁾, les durées de mi-amplitude pour l'essai de type de moins de 25 à 30 μ s doivent être considérées actuellement comme réellement trop faibles; d'autre part, on peut s'attendre à ce que des durées de mi-amplitudes plus longues soient relativement rares. Pour tenir compte de la capacité actuelle des installations de choc, on propose une durée de mi-amplitude de 25 à 30 μ s.

Ainsi qu'il ressort du point c. ci-après, la détermination de la désignation de *durée de mi-amplitude* est absolument nécessaire en cas de courant de choc, tandis que les normes C.E.I. définissent jusqu'ici pour les tensions de choc la « durée jusqu'à la mi-valeur dans la queue ».

Remarques au point c. — Par contre, il n'est pas possible de prévoir des durées d'accroissement de 1 μ s pour les très forts courants d'essai, surtout quand il s'agit de l'essai d'un parafoudre complet. En outre, même en service pratique, les forts courants ne présentent pas un front raide, mais bien un front en gradins ⁽³⁾. Dès qu'il s'agit d'amplitudes de courant dépassant sensiblement 1 000 à 1 500 A (ondes de tension de plus de 300 à 400 kV), une durée de front supérieure à 1 μ s devrait être admissible. Il y a en tout cas lieu de faire un oscillogramme du courant.

On propose l'adoption d'une durée de front de 1 μ s pour les courants de choc jusqu'à 1 000 A pour l'essai de type normal (onde C.E.I.) et l'admission d'une durée de front plus grande pour les courants plus forts. Il va de soi que des raideurs encore plus grandes sont recommandables pour les essais spéciaux, entre autres pour la détermination des phénomènes de retardement dans la « résistance » du parafoudre, ce qui exige selon les directives suisses l'indication de la pointe de début, si celle-ci dépasse la tension d'amorçage.

Remarques au point d. — Le nombre des chocs de valeur maximum

(1) Mc EACHRON, *El. Eng.*, décembre 1934.

(2) Par exemple, W. W. LEWIS et C. M. FOUST, *El. Eng.*, août 1934.

(3) C. I. G. R. É., 1935, n° 350 et *Bulletin A. S. E.*, 1936, n° 6.

doit correspondre aux exigences pratiques, y compris un certain coefficient de sécurité. L'expérience a montré qu'en un point fixe d'une installation électrique les fortes contraintes, qui ne peuvent se produire que sous l'action de coups de foudre directs dans la ligne aérienne, sont très rares. Il ne semble donc pas indiqué de choisir un nombre de chocs inutilement élevé. Un nombre total de 30 chocs avec courant d'écoulement maximum devrait suffire. Pour des raisons d'ordre technique, un intervalle jusqu'à 20 ou tout au plus 30 s entre chaque choc est désirable pendant l'essai des parafoudres complets.

3° La *tension résiduelle* du parafoudre lors de l'essai du pouvoir d'écoulement n'est précisée que dans les propositions hollandaises, qui prescrivent que cette tension ne doit pas dépasser quatre fois la tension nominale du parafoudre (valeur efficace). La tension résiduelle doit permettre la coordination de l'isolement de toutes les parties d'une installation. Il semble qu'il soit un peu prématuré de fixer dès maintenant des chiffres précis. Sans doute, la tension résiduelle doit toujours être mesurée à l'oscillographe cathodique lors de l'essai de type et être indiquée par le fabricant, afin de pouvoir tabler sur cette valeur pour coordonner l'isolement. Les courants de choc servant à la mesure de la tension résiduelle sont ceux du tableau précédent pour le pouvoir minimum (750-1 500-2 500 A).

2. Essai de fonctionnement. — Pour apprécier la sécurité de service d'un parafoudre, il est très important de procéder à un essai de fonctionnement au cours duquel on provoque le fonctionnement du parafoudre se trouvant sous la tension de service. Les nombres de chocs et les tensions de service prévus sont les suivants :

En U.S.A., 30 chocs sous au moins 95 % de la tension de service maximum passagèrement admissible (Maximal Dynamic Voltage) indiquée actuellement sur la plaque signalétique des appareils américains. La fréquence de la tension alternative est de 25 à 60 p : s. La puissance de la source doit être telle que la chute de tension soit au maximum de 10 % pendant l'absorption du courant alternatif. L'intervalle de temps entre deux essais est au maximum égale à 1 mn.

En Allemagne, la tension nominale (selon la plaque signalétique) + 15 % (selon § 8), au total 100 chocs, par groupes de chocs à 1-5 s d'intervalle chacun, séparés par 9 intervalles de 10 mn chacun ;

En Suisse, 10 chocs à la tension nominale, puis 10 chocs à la tension nominale + 20 % (Chap. III, B, 1), à 30 s d'intervalle chacun. La puissance des génératrices et transformateurs d'alimentation doit être suffisante pour que la tension de service ne s'abaisse pas en dessous de 85 % de la valeur nominale, pendant la durée du courant débité dans le parafoudre;

Aux Pays-Bas, 100 chocs à la tension nominale + 50 %, à 5 s d'intervalle chacun. Les chocs sont envoyés au parafoudre à l'instant où la tension alternative atteint l'amplitude de même polarité que celle du choc.

Remarques au point 2. — Quand la plaque signalétique indique la *tension de service maximum admissible*, comme c'est le cas des appareils américains, l'acheteur doit estimer la valeur de cette tension. Il peut aisément oublier dans ce cas qu'à l'instant des perturbations dues à des surtensions (mises à terre accidentelles, etc.) la tension de service peut atteindre passagèrement des valeurs plus élevées qu'en régime normal. Si un parafoudre fonctionne à cet instant — comme cela est fort possible — il court le danger d'un fonctionnement imparfait et d'une avarie. L'indication de la *tension nominale* sur la plaque signalétique sous forme de tension normalisée oblige le constructeur du parafoudre à prévoir ce coefficient de sécurité.

Les expériences faites jusqu'ici avec les parafoudres modernes paraissent montrer que ce coefficient de sécurité pour la tension de service maximum admissible a pratiquement la même portée que le choix d'un pouvoir d'écoulement suffisant. Le supplément de 10 % selon les tensions nominales C.E.I. ou de 15 % selon les directives allemandes correspond pour tous les appareils à haute tension à l'écart maximum admissible entre la tension de service réelle et la tension nominale (valeur moyenne à l'extrémité réceptrice). Afin de tenir compte des accroissements de tension mentionnés ci-dessus, qui se présentent à l'instant du fonctionnement des parafoudres, il semble très recommandable de prévoir un pouvoir d'extinction assuré pour une tension supérieure de 20 % à la tension nominale.

Pour autant que faire se peut, l'essai de fonctionnement doit être exécuté avec des parafoudres complets. Font exception les types pour tensions nominales supérieures à 33 kV, et cela seulement lorsque l'installation d'essai ne permet pas un essai de l'appareil complet.

Il y a lieu de veiller à ce que les chocs (moments d'amorçage) se répartissent sur toute la période du courant alternatif; où bien il est nécessaire de prévoir un dispositif qui amorce le choc à l'instant de contrainte maximum sur le parafoudre.

3. Résistance aux intempéries et contrôle en service. —

1° *Influences atmosphériques.* — Une exécution capable de résister aux intempéries est surtout désirable pour les parafoudres destinés à l'extérieur, afin que leurs propriétés ne se modifient pas sensiblement sous l'action permanente de la tension de service, ainsi que de la pluie, du brouillard, de la neige et des fortes variations de température. En particulier, une formation d'eau de condensation dans le parafoudre doit être empêchée. Ces effets ne se faisant sentir qu'à la suite d'un service de longue durée, un essai de type est presque impossible à exécuter en peu de temps; par contre, une recommandation dans le sens ci-dessus est désirable.

Lorsque les parafoudres doivent être installés à une altitude dépassant 1 000 m au-dessus du niveau de la mer, il faut tenir compte de la modification éventuelle de la tension de fonctionnement par suite du changement de la pression atmosphérique. Les directives suisses prescrivent par conséquent l'indication facultative de l'altitude admissible sur la plaque signalétique.

2° *Essai d'isolement.* — L'exécution d'un parafoudre doit être telle qu'il ne puisse jamais se produire de contournement. Même sous la tension résiduelle qui s'établit au cours de l'écoulement, le coefficient de sécurité extérieur du parafoudre doit être suffisant pour empêcher un contournement dans n'importe quelles conditions atmosphériques. Le maintien de cette exigence peut être vérifié lors de l'essai du pouvoir d'écoulement. A ce sujet, les directives américaines, allemandes et hollandaises prescrivent un essai d'isolement du *boîtier* du parafoudre.

Bien que le démontage des parties internes du parafoudre modifie sensiblement les conditions de résistance au contournement, il vaut mieux faire l'essai d'isolement du boîtier vide sous pluie — ce qui permet de contrôler la qualité de la porcelaine et la formation des lignes de fuites — que de n'en pas faire du tout. Cependant cet essai est considéré comme relevant du fabricant de la porcelaine ou du parafoudre.

3° *Signalisation du fonctionnement.* — Une signalisation du

fonctionnement est désirable pour permettre de contrôler la manière dont les parafoudres se comportent en service. Une telle signalisation n'est exigée par aucune des directives nationales. Quand il s'agit d'appareils qui ne sont pas enfermés de façon étanche, il est possible de contrôler l'éclateur et d'obtenir ainsi une indication sur la fréquence du fonctionnement. Un compteur qui indique directement la fréquence du fonctionnement est très utile; il est généralement monté séparément. Ces compteurs ne sont prescrits par aucun pays, mais ils sont extrêmement utiles au contrôle du service et sont donc recommandés. On peut avantageusement contrôler l'intensité du courant éconduit par le parafoudre à l'aide de barrettes d'acier magnétisables.

4° *Signalisation de l'avarie d'un parafoudre.* — La signalisation de l'avarie n'est recommandée expressément que par les directives hollandaises, qui recommandent également un dispositif permettant d'éviter une mise à terre accidentelle ou un court-circuit permanent en cas d'avarie du parafoudre. Dans les directives des autres pays, cette signalisation n'est pas mentionnée. Il semble toutefois qu'il serait recommandable de la mentionner dans les règles internationales, au sujet de l'essai de fonctionnement.

Il serait particulièrement désirable de prévoir un dispositif qui, en cas de défektivité, couperait le parafoudre du réseau, de manière absolument sûre et bien visible de l'extérieur. Pour un parafoudre de ce genre, il y aurait lieu d'exécuter un essai de type en le surchargeant en position de service, tandis qu'on fait débiter sur lui une source de courant de puissance suffisante dont la tension est de 1,2 fois la tension nominale du parafoudre. Après 1 à 2 s, cette source de courant est déconnectée du parafoudre à l'aide d'un interrupteur. A la suite de cet essai, le dispositif de sectionnement doit avoir séparé le parafoudre du réseau ou de la terre de façon suffisante pour que le parafoudre, ou plutôt son point de raccordement, supporte une tension d'essai à courant alternatif conforme à sa tension nominale, sous pluie dans le cas des appareils pour montage à l'extérieur et à l'état sec pour les appareils pour montage à l'intérieur. Le bien-fondé d'un tel essai spécial est soumis à la discussion.

4. **Essais de pièces.** — L'importance des propriétés et les difficultés de la fabrication du matériel des « résistances » des parafoudres nécessitent des essais de pièces. Ces essais peuvent se borner

à l'application d'un petit nombre de chocs (10 chocs par exemple) selon le tableau I. En même temps, les valeurs de la tension résiduelle et de la tension d'extinction doivent être contrôlées, de préférence sous forme de la caractéristique U-I de la résistance. Cependant, cet essai relève uniquement du fabricant.

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS,
106300 Quai des Grands-Augustins, 55.

Imprimé en France.