

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 50 (1959)
Heft: 13

Artikel: Détermination de la résistance au cheminement de matériaux isolants organiques
Autor: Michel, K. / Hillenkamp, M.H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1057805>

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: 18.01.2025

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

BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

ORGANE COMMUN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS (ASE) ET
DE L'UNION DES CENTRALES SUISSES D'ELECTRICITE (UCS)

Détermination de la résistance au cheminement de matériaux isolants organiques

Par K. Michel et M. H. Hillenkamp, Baden

621.317.333.6 : 621.315.61

La question de la résistance au cheminement des isolants électriques et les méthodes d'essais développées dans ce but sont étudiées dans différents pays et sur le plan international. Six laboratoires d'essais suisses ont procédé, selon la méthode des gouttes, à des essais comparatifs avec un certain nombre représentatif de matériaux isolants organiques. Les auteurs indiquent les résultats de ces essais. Des conditions d'essais complétées ou modifiées sont proposées pour un projet de Recommandations de la CEI¹⁾. Une méthode d'interprétation des résultats d'essai, comprenant trois classes de résistance au cheminement, est recommandée. Ces classes sont ordonnées de manière à obtenir avec le minimum de complication un classement très sûr de chaque matériau isolant.

Die Frage der Bewertung der Kriechwegfestigkeit elektrischer Isolierstoffe und die hierfür entwickelten Prüfmethode werden in verschiedenen Ländern und international diskutiert. Mit dem Tropfenverfahren wurden von sechs schweizerischen Prüfstellen an einer repräsentativen Auswahl organischer Isolierstoffe Vergleichsversuche ausgeführt, über deren Ergebnisse berichtet wird. Zu einem Entwurf der CEI¹⁾ werden ergänzende und geänderte Prüfbedingungen vorgeschlagen. Eine Auswertungsmethode der Ergebnisse wird empfohlen, die zu drei Klassen der Kriechwegfestigkeit führt. Ihre Abstufung ist derart gewählt, dass bei kleinstem Prüfaufwand die grösste Sicherheit in der Klassifizierung jedes Isolierstoffes erreicht wird.

A. Formation de cheminements et résistance au cheminement

A la surface de matériaux isolants, qui présentent des résistances d'isolement élevées à l'état propre et sec, il se forme entre des parties sous tension des courants de fuite lorsqu'elle est encrassée par des matières conductrices. Quand ces matières sont sèches, les courants de fuite et leurs effets sont généralement sans importance. Une détérioration permanente de la surface et de sa résistance d'isolement est très souvent le résultat de l'action conjuguée de courants de fuite par des parties humides et des dépôts électrolytiques à la surface de matériaux isolants organiques. Il se forme des traces de cheminement, puis un cheminement continu [1]²⁾.

L'échauffement résultant du courant de fuite commence par dessécher la surface conductrice, de sorte que le courant est interrompu à certains endroits, ce qui donne lieu à des phénomènes de décharge avec production d'étincelles ou d'arcs. Dans le cas des isolants organiques, cet échauffement localisé et ces décharges provoquent une destruction sous forme d'une carbonisation ou d'une décomposition en produits généralement gazeux. Lorsque cette action des courants de fuite se poursuit, les endroits carbonisés deviennent toujours plus nombreux et plus étendus. Leur conductivité contribue à renforcer le courant de fuite et son action sur les endroits encore intacts de la surface entre les parties sous tension. Les parties carbonisées conductrices, qui sont des traces de cheminement, prennent

de plus en plus d'ampleur sous l'action des décharges continues, puis finissent par former un cheminement continu, c'est-à-dire une liaison conductrice par la surface de l'isolant entre les parties sous tension [2; 3].

La formation d'un cheminement sous l'influence du courant de fuite, par suite d'une carbonisation, ou la formation de rugosités ou d'une érosion de la surface de l'isolant, par suite d'une décomposition en produits gazeux, qui constitue un endommagement mécanique, plutôt qu'électrique, de la partie isolante, dépendent de la nature chimique du matériau isolant organique, du genre des charges et surtout de la constitution de la surface de la partie isolante.

Les matières plastiques à base de résines phénoliques ont généralement une nette tendance à se carboniser et résistent par conséquent moins bien à un cheminement. Les aminoplastes, c'est-à-dire les matières plastiques à base de résines mélamines et de résines d'urée, ainsi que la plupart des matières thermoplastiques, présentent une bien meilleure résistance effetsaux des courants de fuite.

B. Détermination de la résistance au cheminement

Avec les méthodes usuelles pour déterminer la résistance au cheminement, la surface du matériau isolant disposé entre deux électrodes est recouverte, d'une manière définie, de solutions électrolytiques ou d'une pellicule humide. Le degré de résistance au cheminement est donné soit par la quantité d'électrolyte nécessaire pour provoquer la formation d'un

¹⁾ Commission Electrotechnique Internationale.

²⁾ Voir la bibliographie à la fin de l'article.

cheminement, soit par le temps requis dans des conditions données, soit par le minimum de tension qui conduit à un cheminement [2].

Avec les méthodes des gouttes en usage depuis une vingtaine d'années pour l'essai d'isolants organiques, la solution électrolytique est versée goutte à goutte, à des intervalles qui permettent l'évaporation du solvant et la suppression progressive des décharges par étincelles qui s'ensuivent. Les prescriptions suisses selon la Publ. n° 177 de l'ASE [4] spécifient l'utilisation d'électrodes en forme de ciseau et une solution de chlorure d'ammonium à 0,1%. Le résultat de l'essai est exprimé en nombre de gouttes nécessaires pour provoquer un cheminement permanent. Il en est de même pour le procédé d'essai allemand selon DIN 53480 ou VDE 0303, sauf que la solution électrolytique renferme non seulement du chlorure d'ammonium, mais aussi un mouillant (par exemple du nekal BX), et que la grosseur des gouttes et leur séquence sont fixées de façon à permettre une exécution automatique de l'essai.

Des procédés d'essais anglais utilisent comme électrodes une tige et une bague concentrique, qui doit empêcher un écoulement de la solution électrolytique versée goutte à goutte. Cette méthode présente l'inconvénient que la surface en essai doit être plane, du fait de la forme des électrodes. Sur la base de recherches entreprises en Suède et en Norvège [5], la CEI a élaboré un projet de Recommandations internationales pour l'essai de détermination de la résistance au cheminement, sous forme du document 15 (Bureau Central)³. La disposition des électrodes et le procédé correspondent, en principe, aux méthodes des gouttes préconisées par la Suisse et l'Allemagne. Le liquide utilisé pour l'essai est une solution de chlorure d'ammonium à 0,1%. Au lieu d'un nombre de gouttes fixé pour une tension d'essai déterminée, le projet de la CEI propose comme indice de la résistance au cheminement la tension limite minimum pour un nombre déterminé de gouttes. L'essai a lieu sous différentes tensions. D'après le diagramme du nombre de gouttes en fonction de la tension, obtenu de cette manière, on détermine la tension à laquelle le cheminement s'établit après 50 gouttes. C'est cette tension qui est considérée comme étant l'indice de la résistance au cheminement.

Outre la méthode des gouttes, les prescriptions allemandes DIN 53480 prévoient un procédé qui consiste à immerger périodiquement l'échantillon dans la solution électrolytique, jusqu'à ce qu'un court-circuit se produise entre les électrodes.

Pour juger de la résistance au cheminement dans le cas de la haute tension, le procédé à la vapeur selon Micafil [6; 4] convient mieux que la méthode des gouttes. L'échantillon soumis à une tension d'essai de 10 kV est balayé par un courant de vapeur constant. L'indication de la résistance au cheminement est donnée par le temps qui s'écoule jusqu'au cheminement.

Le cheminement étant la conséquence d'une décomposition thermique provoquant une carbonisation de la surface du matériau isolant, il existe

³ Méthode pour déterminer l'indice de résistance au cheminement des matériaux isolants solides dans des conditions humides (projet de janvier 1957).

d'étroites relations entre la résistance au cheminement et la résistance à l'arc électrique. La méthode américaine ASTM D 495-58T pour la détermination de la résistance à l'arc est par conséquent utilisée aux Etats-Unis également pour juger de la résistance au cheminement de matériaux isolants; au point de vue du classement des matériaux isolants, cette méthode correspond bien aux méthodes utilisant des solutions électrolytiques. La grandeur déterminante est le temps qui s'écoule jusqu'à ce que l'arc intermittent produit à la surface du matériau pénètre dans celui-ci et provoque un court-circuit.

C. Motivation et but des essais

Le Groupe de Travail 3 du Comité Technique (CT) 17B, Appareils d'interruption à basse tension, du CES⁴), est chargé, en collaboration avec les CT 12, Radiocommunications, et 13, Appareils de mesure, d'élaborer un projet de Règles pour le dimensionnement de distances dans l'air et de lignes de fuite. Pour la détermination des lignes de fuite, il y a lieu de tenir compte non seulement de la tension nominale et des conditions d'ambiance, telles que la pression atmosphérique, l'humidité et l'empoussièrement, mais aussi de la résistance au cheminement des matériaux isolants utilisés. Une telle différenciation d'après la résistance au cheminement des matériaux isolants n'est réalisable que sur la base d'un classement précis de la résistance au cheminement et d'une méthode d'essai capable de permettre un classement parfaitement reproductible.

Les modes de classement existants, par exemple celui en 5 classes de résistance au cheminement figurant dans la Norme allemande DIN 53480, ou celui en 3 classes selon la Publ. n° 177 de l'ASE, ne sont pas satisfaisants à cet égard. Seule la classe supérieure, qui concerne notamment les matériaux moulés à base de résines mélamines et d'urée, est convenablement limitée. L'introduction dans les classes inférieures est incertaine, en raison de l'importante dispersion des résultats des essais.

Afin d'élucider ces questions, un Groupe d'Etudes commun a été constitué par des membres des Groupes de Travail 3 du CT 17B et 3 (cheminements) du CT 15. Ce Groupe d'Etudes a également eu à prendre position au sujet du projet international, document 15 (Bureau Central)⁸ de la CEI.

Des essais comparatifs avec la méthode des gouttes par plusieurs laboratoires d'essais⁵), pour un certain nombre représentatif de matériaux isolants, devraient permettre de prendre position sur les points suivants:

⁴ Comité Electrotechnique Suisse.

⁵ Ont participé à ces essais les stations d'essais des matériaux et laboratoires d'essais des entreprises et institutions suivantes:

Albiwerk Zurich S. A., Zurich 47
Ateliers de Construction Oerlikon, Zurich 50
Carl Maier & Cie, Schaffhouse
S. A. Brown, Boveri & Cie, Baden (AG)
Sprecher & Schuh S. A., Aarau
Station d'essai des matériaux de l'ASE, Zurich 8

Les matériaux isolants pour les essais ont été fournis par les fabriques suivantes:

Fabrique Suisse d'Isolants, Breitenbach (SO)
H. Weidmann S. A., Rapperswil (SG)
Landis & Gyr S. A., Zoug
Micafil S. A., Zurich 48
Suhner & Co. S. A., Herisau

- a) Fixation de la méthode d'essai, en partant du projet de la CEI. Discussion portant notamment sur la grosseur des gouttes, la séquence des gouttes, la limitation du nombre de gouttes, les tensions d'essai, la fixation des autres conditions d'essai.
- b) Possibilité d'un classement sûr des matériaux examinés, soit d'après le nombre limite de gouttes, soit d'après la tension limite.

D. Exécution des essais

Les essais comparatifs du Groupe d'Etudes ont été exécutés en deux séries successives, les expériences faites avec la première série ayant pu servir à établir le programme de la seconde.

Pour la première série d'essais, on s'est basé en principe sur la méthode des gouttes selon l'ASE, sauf que l'on a travaillé avec 5 tensions différentes et avec une grosseur de goutte de 20 mm^3 , selon le projet de la CEI. Conformément aux prescriptions de l'ASE et au projet de la CEI, on s'est servi pour ces essais d'une solution de chlorure d'ammonium à 0,1%. Il n'a pas été utilisé de mouillant prescrit dans la Norme allemande, car le mouillant favorise l'écoulement du liquide d'essai hors de l'espace

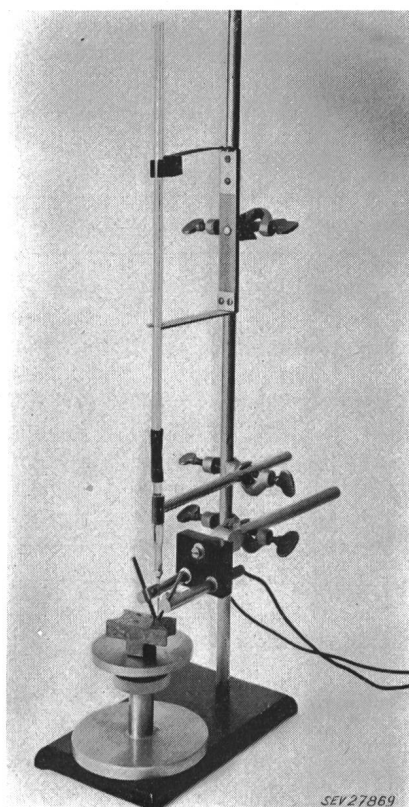


Fig. 1

Appareil pour l'essai de la résistance au cheminement, selon la méthode des gouttes correspondant au projet de la CEI

La burette capillaire est suspendue à un ressort, de sorte que les gouttes peuvent être déposées sur la surface de l'isolant entre les électrodes, par la pointe consistant en une aiguille creuse. L'appui convenable des électrodes et la pression de 100 g exercée par celles-ci sont assurés par l'articulation très mobile du porte-électrodes, par la possibilité de rotation autour de l'axe de celui-ci et par la possibilité d'ajuster en hauteur le porte-échantillon

compris entre les électrodes et entrave la reproductibilité des résultats de mesure, par suite de la formation de dépôts après l'évaporation de la solution. Des essais approfondis, entrepris en Allemagne [7], confirment l'effet perturbateur du mouillant (nekal), qui conduit à une répartition anormale des valeurs de mesure en augmentant le nombre de gouttes, sans compter la dispersion augmentée des résultats de mesure.

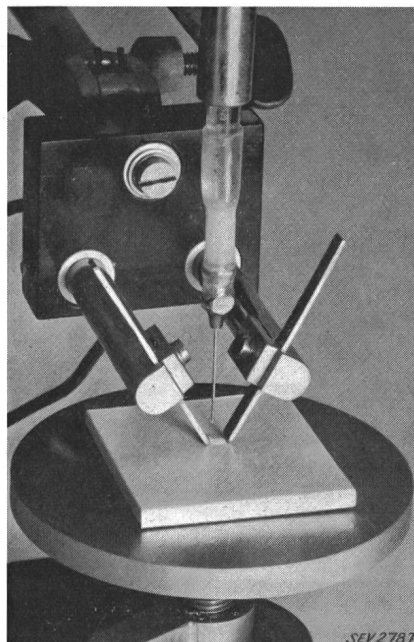


Fig. 2

Disposition des électrodes et de la burette capillaire de l'appareil pour l'essai de la résistance au cheminement

Les électrodes en tungstène d'une section de $5 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ peuvent être aiguës et rajustées à la suite d'une usure par brûlure. L'aiguille d'injection constituant la pointe de la burette capillaire présente un diamètre d'environ 1 mm et son extrémité forme une surface plane rectifiée

La première série d'essais donna lieu à de grandes dispersions d'un laboratoire à l'autre, de sorte qu'il a fallu prescrire plus exactement la puissance de la source de tension et les caractéristiques du relais d'amorçage, pour la seconde série d'essais. La séquence des gouttes fut fixée à $30 \pm 2 \text{ s}$ conformément à la Norme allemande, au lieu de 60 s proposé par le projet de la CEI. En effet, au bout de ce temps de 30 s, les décharges par étincelles cessaient pratiquement dans tous les essais, de sorte qu'en prolongeant le temps d'agissement des gouttes le résultat ne se modifiait plus guère. La première série d'essais ayant fait apparaître qu'une grosseur de goutte de 10 mm^3 permettait de mieux différencier les valeurs de mesure en fonction de la tension, qu'avec une grosseur de 20 mm^3 , la seconde série d'essais fut exécutée dans tous les laboratoires avec les deux grosseurs de gouttes. L'essai de cheminement avec des gouttes de 10 mm^3 n'est toutefois possible que si la goutte peut être posée directement sur la surface de l'échantillon et être répartie de façon à mouiller simultanément les deux électrodes. C'est ce que permet un appareil (fig. 1 et 2) muni d'une burette capillaire suspendue à un ressort, avec fermeture par une bille de verre et aiguille d'injection, selon le projet de la CEI. Le verseur

| | Série d'essais | |
|---------------------------------------|--|---|
| | I | II |
| Appareil d'essais | | |
| Electrodes | Selon Publ. n° 177 de l'ASE | |
| Largeur | 5 mm | 5 mm |
| Epaisseur | | |
| (dans la surface d'appui) | 0,5 mm | 0,5 mm |
| Ecartement | 4 mm | 4 ± 0,1 mm |
| Angle sur l'horizontale | 60° | 60° |
| Matériau | Tungstène | Tungstène ou carbure de tungstène |
| Pression d'appui | — | ≈ 100 g |
| Source de courant | Selon Publ. n° 177 de l'ASE (résistance limitant le courant 60 Ω sous 300 V) | Courant de court-circuit pour toutes les tensions 3 A ± 5% |
| Amorçage | — | Pour 2 A ± 10% avec relais à action instantanée |
| Tensions d'essai | 175, 250, 300, 400, 500 V (50 Hz) | 175, 250, 300, 400, 500 V ± 5% (50 Hz) |
| Solution électrolytique | Chlorure d'ammonium 0,1% | Chlorure d'ammonium 0,1% |
| Grosseur des gouttes | 20 mm ³ (2 laboratoires, en outre avec 10 mm ³) | a) 10 mm ³ ± 10% b) 20 mm ³ ± 10% |
| Séquence des gouttes | — | 30 ± 2 s |
| Exécution de l'essai | | |
| Nombre de déterminations par essai | 5 | 5 |
| Valeur mesurée | Nombre de gouttes jusqu'à formation d'un cheminement ou jusqu'à amorçage | |
| Fin de l'essai | 50 gouttes | 60 gouttes |

automatique à égouttement libre, selon la Norme allemande DIN 53480, fournit des gouttes plus grosses, de 30 mm³ par exemple.

Les conditions des essais pour les deux séries sont groupées au tableau I.

Comme échantillons, on s'est servi des matières plastiques les plus souvent utilisées pour l'isolement

électrique. Pour la seconde série d'essais, on a surtout tenu compte de produits dont le classement devait présenter certaines difficultés, tels que les résines phénoliques avec charges minérales, les matériaux moulés à base de mélanges de résines phénoliques et mélamines, ainsi que les stratifiés. Le tableau II donne la liste des matériaux ayant servi aux essais.

Liste des matériaux isolants essayés

Tableau II

| Numéros des échantillons ¹⁾ | Genre de produit | Désignation de type selon VSM | Résine de base | Charge Support | Série d'essais |
|--|-----------------------|--|---|--|----------------|
| 1...4 5 6...7 8 9...10 11 12...13 | Pièce moulée | H.POP H.PAP H.PAF H.MPOP H.MOP H.MAP H.MAF | Phénol Phénol Phénol Mélamine, phénol Mélamine Mélamine Mélamine | Farine de bois Poudre d'amiante Fibres d'amiante Farine de bois Farine de bois Poudre d'amiante Fibres d'amiante | I |
| 14 15 16 17 18 19 | Pièce moulée | H.PAP H.PAP H.PAF H.MPOP — — | Phénol Phénol Phénol Mélamine, phénol Polyester Alkyde | Poudre d'amiante 30% Poudre d'amiante 50% Fibres de verre Farine de bois Fibres de verre Poudre minérale | |
| 20 21 22 23 24 | Stratifié | H.POPb H.POPb H.PAPb H.PAGb — | Phénol (normal) Phénol (riche en résine) Phénol Phénol Epoxy, phénol | Papier Papier Papier d'amiante Tissu de verre Tissu de verre | II |
| 25 26 | Pièce coulée | — — | Epoxy (Araldite B) Epoxy (Araldite B) | — Poudre de quartz | |
| 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 | Pièce thermoplastique | — — — — — — — — — — | Acétate de cellulose (Courtaulds) Acétate de cellulose (Kodak) Acétobutyrate de cellulose (Kodak) Polyamide (nylon 1001) Polyamide (nylon NT) Polyamide (grilon) Polyméthylméthacrylate (plexigum) Polystyrène (Montecatini) Polystyrène, résistant aux chocs (Dow) Polyéthylène (ICI) | | |

¹⁾ Plusieurs numéros pour la même désignation de matériau reçoivent des échantillons de différents fabricants ou utilisateurs.

Pour chaque essai, on a procédé à 5 déterminations, comme cela est stipulé dans les prescriptions de l'ASE et dans les Normes DIN. Ce nombre peut paraître insuffisant, vu l'importante dispersion des différentes déterminations. Les résultats obtenus permettent néanmoins une bonne estimation, car chaque essai a été exécuté dans 5 laboratoires, avec 5 tensions différentes et 2 grandeurs de gouttes. Des essais détaillés portant sur un grand nombre d'échantillons, entrepris par *Claussnitzer* et *Siegel* [7; 8], montraient une concordance généralement très satisfaisante entre des essais comportant 50 à 200 déterminations et des essais n'en comportant que 5. La sûreté des résultats variait toutefois considérablement d'une substance à une autre.

E. Représentation et interprétation des résultats des essais

Les résultats des essais concernant les différents matériaux isolants peuvent être interprétés à l'aide des représentations données, pour 4 exemples, aux fig. 3, 4, 5 et 6. Les diagrammes regroupent toutes les valeurs de mesure d'un matériau essayé pour une grandeur de gouttes déterminée, valeurs obtenues par les 5 déterminations de tous les laboratoires d'essais participants, sous 5 tensions d'essai différentes.

Il est caractéristique que, dans tous les cas, le nombre de gouttes augmente quand la tension d'essai baisse. Lorsque le nombre de gouttes augmente, la dispersion relative des valeurs de mesure augmente également. Les conditions pour la détermination d'une tension limite inférieure, à laquelle le cheminement n'a pas lieu — selon le projet de la CEI, pratiquement jusqu'à ce que le nombre de gouttes dépasse 50 — sont par conséquent défavorables. D'autre part, la suite des points obtenus dans les diagrammes montre qu'il ne convient pas non plus de fixer le nombre de gouttes pour une tension d'essai déterminée, par exemple 300 V selon la Publ. n° 177 de l'ASE ou 380 V selon DIN 53480, comme critère exclusif pour la résistance au cheminement.

En comparant les résultats obtenus par les différents laboratoires d'essais, on constate certaines différences spécifiques qui doivent provenir d'écarts fondamentaux dans les dispositifs ou le procédé d'essais. C'est ainsi que les valeurs de mesure des laboratoires B et E sont généralement situées dans la partie supérieure de la zone de dispersion, tandis que celles de D le sont dans la partie inférieure. Pour le laboratoire F, la zone de dispersion est nettement plus étendue que la moyenne.

La valeur déterminante pour l'essai comprenant 5 déterminations est la moyenne dans le cas de la méthode de l'ASE et la valeur individuelle la plus faible dans le cas de la méthode allemande. Ces deux modes d'interprétation ont d'importants inconvénients. Lorsque l'essai est interrompu à 50 ou 60 gouttes, même s'il ne s'est pas produit de cheminement, il n'est pas possible d'établir la moyenne arithmétique, si les différentes déterminations se trouvent en partie en dessous et en partie en dessus du nombre maximum de gouttes obtenu. En outre,

les diagrammes des fig. 3 à 6 montrent, en ce qui concerne la répartition des différentes valeurs de mesure pour une tension déterminée, une dispersion latérale plus accentuée dans le sens des grands nombres de gouttes. Dans l'exemple reproduit par la fig. 7 (Matériau n° 14, type VSM H.PAP), les

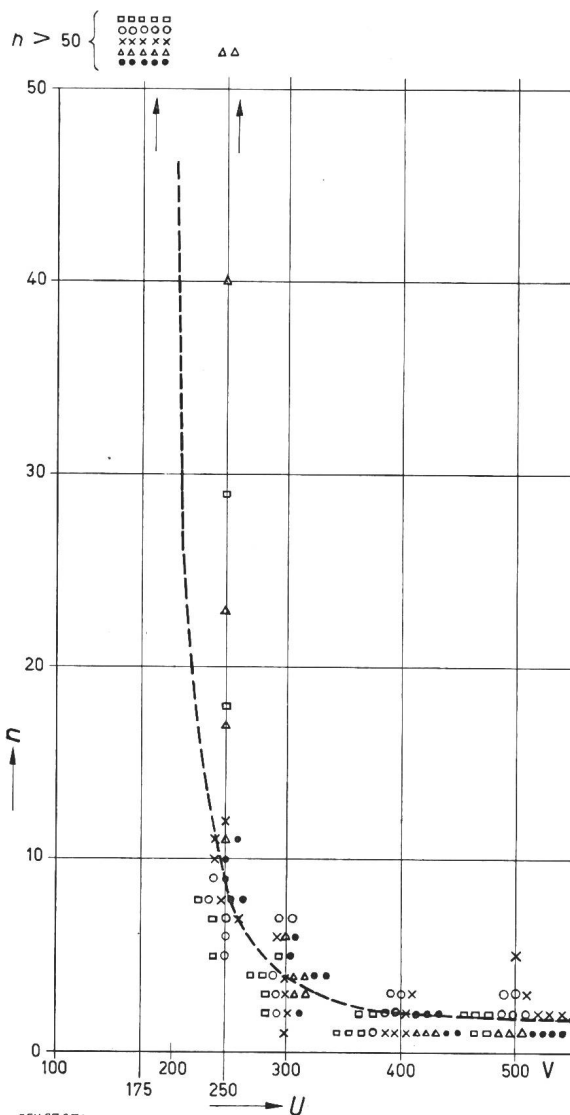


Fig. 3

Détermination de la résistance au cheminement de l'isolant moulé H.PAP (résine phénolique / 30 % de poudre d'amiante)
 Echantillon n° 14, avec gouttes de 10 mm³
 n Nombre de gouttes jusqu'à l'amorçage
 U Tension d'essai [V]
 □ ○ × △ ● Valeurs mesurées par les laboratoires B, C, D, E et F sous les tensions de 175, 250, 300, 400 et 500 V
 - - - - Nombre de gouttes en fonction de la tension d'essai (déterminé d'après les valeurs centrales des différentes déterminations)

résultats de tous les laboratoires sont représentés sous forme de courbes des fréquences cumulées pour les différentes tensions d'essai. Comme l'indique l'allure rectiligne, on a encore affaire à une distribution de Gauss pour les tensions d'essai de 300, 400 et 500 V. Pour 250 V, la courbe présente un coude très net, qui indique une distribution mixte due à des facteurs de perturbation. Ces anomalies de la distribution faussent la valeur moyenne considérée comme grandeur déterminante.

De même, la plus faible valeur de mesure, qui est affectée d'une grande erreur moyenne, vu le petit nombre de déterminations, ne convient pas pour caractériser le résultat des essais.

Pour ces motifs, on a adopté comme grandeur déterminante pour le résultat des 5 déterminations, la valeur centrale⁶⁾. Comme le montre l'exemple de la fig. 7, la valeur centrale est moins influencée par

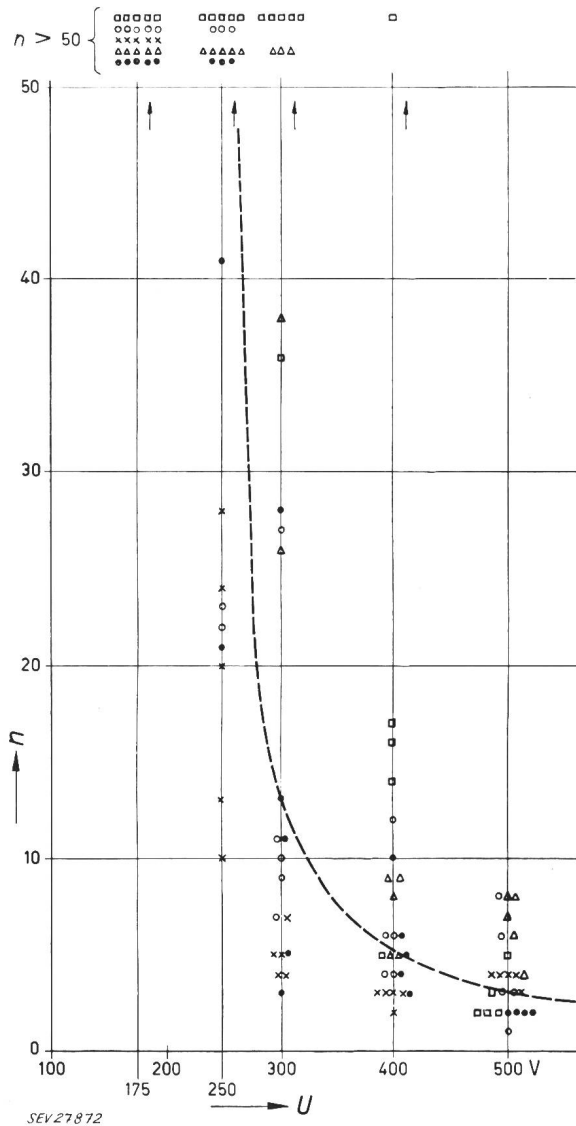


Fig. 4

Même représentation que celle de la fig. 3, mais pour l'isolant moulé H.MPOP (résines phénolique et mélamine / farine de bois) Echantillon n° 17 Désignations, voir fig. 3

toires que sont basées les courbes des diagrammes des fig. 3 à 6, caractérisant le nombre de gouttes en fonction de la tension. La fig. 8 donne les courbes du nombre de gouttes en fonction de la tension pour les principaux isolants des deux séries d'essais, avec des gouttes de 20 mm³, la fig. 9 les courbes concernant les essais avec des gouttes de 10 mm³. Les deux représentations ne tiennent pas compte des

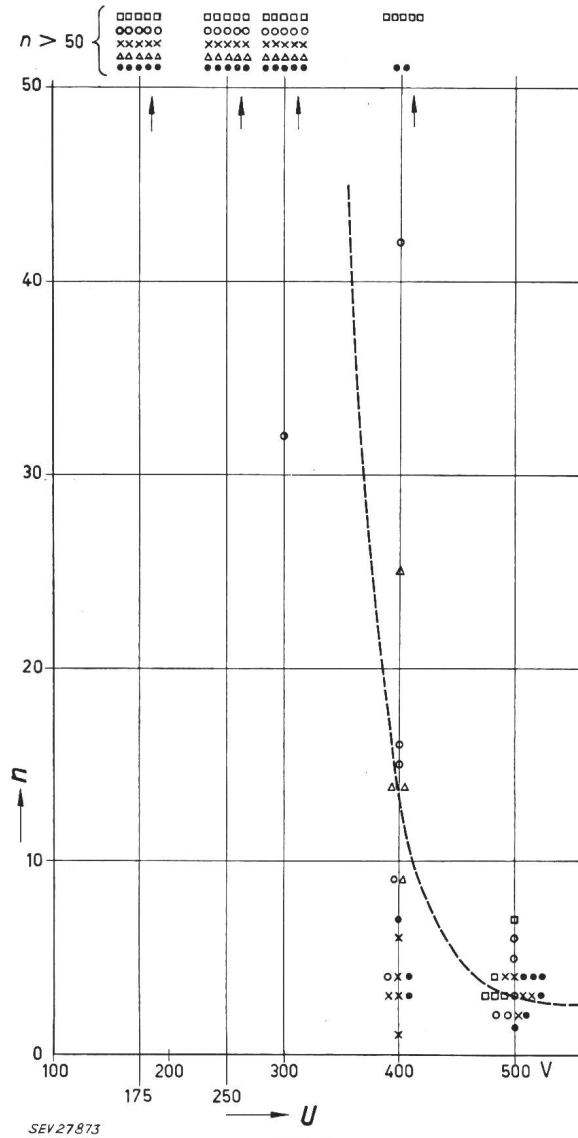


Fig. 5

Même représentation que celle de la fig. 3, mais pour l'isolant stratifié H.POPb (résine phénolique / papier) Echantillon n° 21 Désignations, voir fig. 3

des valeurs extrêmes et se détermine très simplement en donnant lieu à une erreur moyenne à peine plus grande, que la moyenne arithmétique.

Les valeurs centrales des essais exécutés par les laboratoires et la valeur centrale pour l'ensemble des déterminations d'un essai sont groupées au tableau III pour la première série d'essais et aux tableaux IV et V pour la seconde série. C'est sur ces valeurs centrales de toutes les déterminations des 5 labora-

⁶⁾ Pour déterminer la valeur centrale, on ordonne les résultats individuels selon des grandeurs croissantes. En biffant successivement les paires de valeurs se composant chacune d'un résultat individuel le plus élevé et le plus bas, on parvient avec un nombre impair de valeurs à une valeur centrale restante.

produits qui ont nécessité plus de 50 gouttes sous la tension d'essai de 500 V, à savoir les résines mélamines (échantillons n°s 9 à 13), les isolants moulés à base de résines polyesters, alkydes et époxy (n°s 18, 19, 25 et 26), ainsi que tous les isolants thermoplastiques (n°s 27 à 36). Ces matériaux isolants font donc nettement partie d'une classe de résistance au cheminement la plus élevée et parfaitement limitable.

Il est plus difficile de classer convenablement et sûrement les produits dont les courbes sont indiquées par les fig. 8 et 9. Il s'agit dans tous les cas d'isolants moulés ou stratifiés renfermant soit uni-

Tableau synoptique des résultats de la 1^{ère} série d'essais: pièces moulées

Tableau III

| Echantillon | | Grosseur de gouttes mm ³ | Nombres de gouttes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---------------------|--|---|-----|-----|----|---------------------|-------------|----|-----|----|---|---------------------|-------------|---|-----|---|-------|---------------------|-------------|---|-----|-------|---|---------------------|-----|---|-----|---|---|---|-----|
| | | | Valeur centrale de 5 déterminations des différents laboratoires A...E et valeur centrale du résultat de l'ensemble des laboratoires | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | Tension d'essai | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 175 V | | | | | 250 V | | | | | 300 V | | | | | 400 V | | | | | 500 V | | | | | | | | | |
| N° | Désignation de type | Laboratoire | | | | | Val. centrale Total | Laboratoire | | | | | Val. centrale Total | Laboratoire | | | | | Val. centrale Total | Laboratoire | | | | | Val. centrale Total | | | | | | | |
| | | A | B | C | D | E | | A | B | C | D | E | | A | B | C | D | E | | A | B | C | D | E | | A | B | C | D | E | | |
| 1 | H.POP | 20 | 4 | 17 | 10 | 14 | 10 | 10 | 2 | 6 | 4 | 5 | 5 | 4 | 1 | 4 | 4 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | H.POP | | 9 | 9 | 7 | 12 | 12 | 9 | 3 | 3 | 2 | 2 | 5 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 3 | H.POP | | 7 | 10 | 8 | 7 | 12 | 8 | 2 | 5 | 4 | 2 | 4 | 4 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 4 | H.POP | | 6 | 12 | 14 | 10 | 22 | 11 | 3 | 3 | 7 | 4 | 7 | 4 | 2 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 5 | H.PAP | | 13 | 18 | 13 | 13 | 20 | 15 | 4 | 9 | 6 | 4 | 7 | 6 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 6 | H.PAF | | 26 | 32 | >50 | 47 | >50 | 40 | 8 | 10 | 9 | 5 | 28 | 9 | 5 | 7 | 6 | 5 | 6 | 6 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 |
| 7 | H.PAF | | 20 | 24 | 22 | 10 | >50 | 22 | 4 | 8 | 7 | 4 | 8 | 7 | 3 | 5 | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 8 | H.MPOP | | 23 | 19 | >50 | 13 | >50 | 25 | 11 | 14 | 17 | 5 | 50 | 13 | 4 | 11 | 9 | 4 | 16 | 5 | 2 | 4 | 3 | 2 | 6 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 4 | 2 |
| 9 | H.MOP | | — | >50 | — | — | >50 | — | — | >50 | — | — | — | >50 | — | >50 | — | — | — | >50 | — | >50 | — | — | — | >50 | — | >50 | — | — | — | >50 |
| 10 | H.MOP | | — | >50 | — | — | >50 | — | — | >50 | — | — | — | >50 | — | >50 | — | — | — | >50 | — | >50 | — | — | — | >50 | — | >50 | — | — | — | >50 |
| 11 | H.MAP | | — | >50 | — | — | >50 | — | — | >50 | — | — | — | >50 | — | >50 | — | — | — | >50 | — | >50 | — | — | — | >50 | — | >50 | — | — | — | >50 |
| 12 | H.MAF | | — | >50 | — | — | >50 | — | — | >50 | — | — | — | >50 | — | >50 | — | — | — | >50 | — | >50 | — | — | — | >50 | — | >50 | — | — | — | >50 |
| 13 | H.MAF | | — | >50 | — | — | >50 | — | — | >50 | — | — | — | >50 | — | >50 | — | — | — | >50 | — | >50 | — | — | — | >50 | — | >50 | — | — | — | >50 |
| 1 | H.POP | 10 | 10 | — | — | — | — | — | 5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| 2 | H.POP | | 6 | — | — | — | — | — | — | 2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 3 | H.POP | | 7 | — | — | — | — | — | — | 5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 4 | H.POP | | 11 | — | — | — | — | — | — | 2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 5 | H.PAP | | 17 | — | — | — | — | — | — | 10 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 6 | H.PAF | | >50 | — | — | — | — | — | — | 26 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 7 | H.PAF | | 46 | — | — | — | — | — | — | 7 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 8 | H.MPOP | | 21 | — | — | — | — | — | — | 13 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 9 | H.MOP | | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 10 | H.MOP | | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 11 | H.MAP | | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 12 | H.MAF | | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 13 | H.MAF | | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

| Echantillon | Grossueur des gouttes mm ³ | Nombres de gouttes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|--|---|-----|-----|-----|-----|---------------------|-------------|-----|-----|-----|-------|---------------------|-------------|-----|-----|-------|-----|---------------------|-------------|-----|-------|----|-----|---------------------|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|
| | | Valeur centrale de 5 déterminations des différents laboratoires B...F et valeur centrale du résultat de l'ensemble des laboratoires | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Tension d'essai | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 175 V | | | | | 250 V | | | | | 300 V | | | | | 400 V | | | | | 500 V | | | | | | | | | | |
| N° | Désignation de type | Laboratoire | | | | | Val. centrale Total | Laboratoire | | | | | Val. centrale Total | Laboratoire | | | | | Val. centrale Total | Laboratoire | | | | | Val. centrale Total | | | | | | | |
| | | B | C | D | E | F | | B | C | D | E | F | | B | C | D | E | F | | B | C | D | E | F | | B | C | D | E | F | | |
| <i>Pièce moulée</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | H.PAP, 30% d'amiante | >60 | 44 | 21 | >60 | 49 | 50 | 5 | 4 | 8 | 16 | 8 | 7 | 3 | 4 | 2 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | |
| 15 | H.PAP, 50% d'amiante | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | 17 | 6 | 13 | 30 | 30 | 14 | 9 | 6 | 4 | 8 | 9 | 6 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 16 | H.PAF Fibres de verre | >60 | >60 | 20 | >60 | >60 | >60 | 5 | 6 | 6 | 5 | 2 | 4 | 5 | 6 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 | — | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | — | 2 | 2 | |
| 17 | H.MPOP | >60 | >60 | 36 | >60 | 7 | 29 | >60 | >60 | 17 | >60 | 4 | 30 | 45 | 10 | 6 | 38 | 5 | 10 | 9 | 4 | 4 | 4 | 2 | 4 | 2 | 1 | 2 | 5 | 2 | 2 | |
| 18 | Polyester/Fibres de verre | >60 | | | | | >60 | >60 | | | | | >60 | >60 | | | | | >60 | >60 | | | | | >60 | | | | | | | |
| 19 | Alkyde/Poudre minérale | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | 17 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | 44 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | 21 | >60 | 7 | >60 | >60 | >60 | 8 | >60 | >60 | >60 |
| <i>Stratifié</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | H.POPb, normal | >60 | 43 | 10 | >60 | 26 | 43 | >60 | 9 | 6 | >60 | 6 | 9 | 56 | 10 | 4 | 13 | 6 | 10 | 4 | 3 | 2 | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 | 1 | — | 2 | 2 | |
| 21 | H.POPb, riche en résine | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | 6 | 5 | 14 | 41 | 14 | 3 | 2 | 3 | — | 2 | 3 | |
| 22 | H.PAPb, Papier d'amiante | >60 | >60 | 9 | >60 | >60 | >60 | 3 | 3 | 33 | 29 | 23 | 36 | 5 | 4 | 17 | 4 | 6 | 5 | 5 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | — | 1 | 2 | | |
| 23 | H.PAGb, Tissu de verre | >60 | 18 | 8 | >60 | 13 | 27 | 19 | 4 | 5 | 20 | 11 | 11 | 6 | 3 | 1 | 8 | 4 | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | 1 | 2 | |
| 24 | Epoxy, phénol/Tissu de verre | >60 | >60 | 4 | >60 | >60 | >60 | 30 | 6 | 3 | 25 | 6 | 8 | 10 | 3 | 2 | 8 | 2 | 4 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 2 | |
| <i>Pièce coulée</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | Epoxy | >60 | | | | | >60 | >60 | | | | | >60 | >60 | | | | | >60 | >60 | | | | | >60 | | | | | | | |
| 26 | Epoxy/Poudre de quartz | >60 | | | | | >60 | >60 | | | | | >60 | >60 | | | | | >60 | >60 | | | | | >60 | | | | | | | |
| <i>Pièce moulée</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | H.PAP | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | 8 | 7 | 10 | 40 | 10 | 10 | 4 | 4 | 3 | 4 | 5 | 4 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | |
| 15 | H.PAP | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | 5 | >60 | >60 | >60 | >60 | 21 | 5 | >60 | 12 | >60 | 12 | 2 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | |
| 16 | H.PAF | >60 | >60 | >60 | >60 | 12 | >60 | 15 | 5 | 20 | 7 | 5 | 6 | 7 | 5 | 8 | 5 | 3 | 5 | 3 | 2 | 3 | — | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | — | 3 | 2 | |
| 17 | H.MPOP | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | 20 | >60 | 52 | >60 | >60 | >60 | 10 | 5 | >60 | 13 | 24 | 16 | 6 | 3 | 8 | 5 | 5 | 2 | 3 | 4 | 7 | 2 | |
| 18 | Polyester/Fibres de verre | >60 | | | | | >60 | >60 | | | | | >60 | >60 | | | | | >60 | >60 | | | | | >60 | | | | | | | |
| 19 | Alkyde/Poudre minérale | >60 | | | | | >60 | >60 | | | | | >60 | >60 | | | | | >60 | >60 | | | | | >60 | | | | | | | |
| <i>Stratifié</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | H.POPb | >60 | >60 | 11 | >60 | 29 | >60 | >60 | 43 | 14 | >60 | 9 | 17 | 30 | 10 | 5 | 37 | 57 | 11 | 15 | 5 | 2 | 5 | 16 | 5 | 3 | 3 | 2 | — | 3 | 3 | |
| 21 | H.POPb | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | >60 | 15 | 3 | 14 | 7 | 14 | 3 | 3 | 3 | — | 4 | 3 |
| 22 | H.PAPb | >60 | >60 | 36 | >60 | >60 | >60 | >60 | 15 | 2 | >60 | >60 | 39 | >60 | 34 | 20 | 33 | >60 | >60 | 29 | 9 | 12 | 2 | 4 | 5 | 6 | 5 | 2 | 2 | — | 3 | 3 |
| 23 | H.PAGb | 59 | >60 | 9 | >60 | >60 | >60 | 23 | 5 | 5 | 15 | 6 | 9 | 8 | 6 | 10 | 12 | 5 | 6 | 4 | 3 | 2 | 5 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | |
| 24 | Epoxy, phénol/Tissu de verre | >60 | >60 | 13 | >60 | >60 | >60 | 34 | 8 | 3 | >60 | >60 | 8 | 6 | 5 | 3 | 7 | >60 | 6 | 6 | 7 | 1 | 6 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 5 | 2 | 2 | |
| <i>Pièce coulée</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | Epoxy | >60 | | | | | >60 | >60 | | | | | >60 | >60 | | | | | >60 | >60 | | | | | >60 | | | | | | | |
| 26 | Epoxy/Poudre de quartz | >60 | | | | | >60 | >60 | | | | | >60 | >60 | | | | | >60 | >60 | | | | | >60 | | | | | | | |

| No. | Échantillon | | Observations faites lors de l'essai sous 500 V |
|-----|---|--|---|
| | Désignation de type | Nombre de gouttes Valeur centrale de 5 déterminations du laboratoire B avec gouttes de 20 mm ³ . Tensions d'essai 175, 250, 300, 400, 500 V | |
| 27 | Acétate de cellulose (Courtaulds) | > 60 | Légère rugosité, formation de bulles, pas de carbonisation, électrodes ayant pénétré dans la surface ramollie |
| 28 | Acétate de cellulose (Kodak) | > 60 | Analogue à n° 27, mais moins accentué |
| 29 | Acétobutyrate de cellulose (Kodak) | > 60 | Analogue aux n°s 27 et 28, mais encore moins accentué |
| 30 | Polyamide (nylon 1001) | > 60 | Fort creusement par fusion du matériau, boursofflement, changement de teinte par des produits de décomposition foncés |
| 31 | Polyamide (nylon NT) | > 60 | Analogue à n° 30, plus fort boursofflement |
| 32 | Polyamide (grilon) | > 60 | Analogue à n° 30 |
| 33 | Polyméthylméthacrylate (plexigum) | > 60 | Faible rugosité de la surface, pas d'enfoncement des électrodes |
| 34 | Polystyrène (incolore) (Montecatini) | > 60 | Légère rugosité de la surface |
| 35 | Polystyrène (résistant aux chocs, pigmenté blanc) (Dow) | > 60 | Forte rugosité, produits de décomposition foncés |
| 36 | Polyéthylène (noir) (ICI) | > 60 | Forte rugosité de la surface |

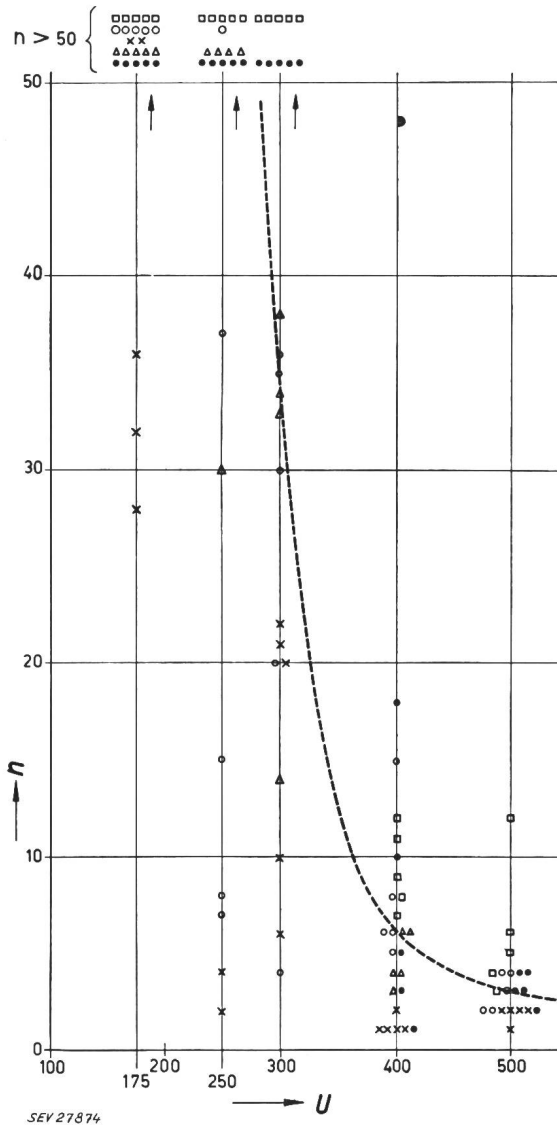


Fig. 6

Même représentation que celle de la fig. 3, mais pour l'isolant stratifié H.PAPb (résine phénolique / papier d'amiante)
Échantillon n° 22
Désignations, voir fig. 3

quement des résines phénoliques, soit des combinaisons de ces résines avec des résines mélamines ou époxy.

Dans la classe inférieure, avec les nombres de gouttes les plus faibles, on a les isolants moulés phénoplastiques avec charges organiques, puis les iso-

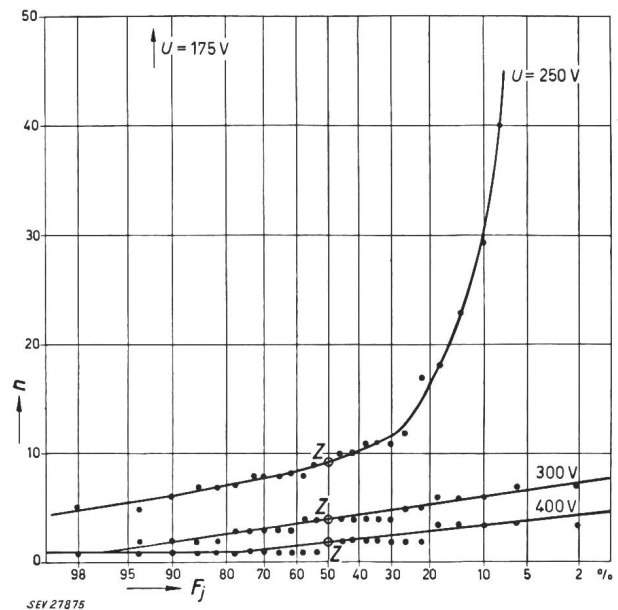


Fig. 7

Courbes des fréquences cumulées des nombres limites de gouttes pour l'isolant moulé H.PAP

Échantillon n° 14 (comme fig. 3) sous différentes tensions, avec gouttes de 10 mm³
n Nombre de gouttes jusqu'à l'amorçage. F_j Fréquence cumulée [%]; U Tensions d'essai [V]; Z Valeurs centrales des nombres de gouttes

lants moulés ou stratifiés phénoplastiques avec fibres de verre ou tissus de fibres de verre et, enfin, ceux avec charge en fibres d'amiante. Les nombres de gouttes les plus élevés sous 300 à 400 V sont ceux des stratifiés à la résine phénolique et au papier ou à l'amiante, ainsi que des isolants moulés mixtes aux résines phénoliques et mélamines.

Lors de l'essai avec des gouttes de 20 mm³ (fig. 8), les courbes du nombre de gouttes en fonction de la tension de la plupart des produits essayés sont si rapprochées, qu'il n'est plus guère possible d'opérer une subdivision, d'autant plus que ces courbes se recoupent souvent.

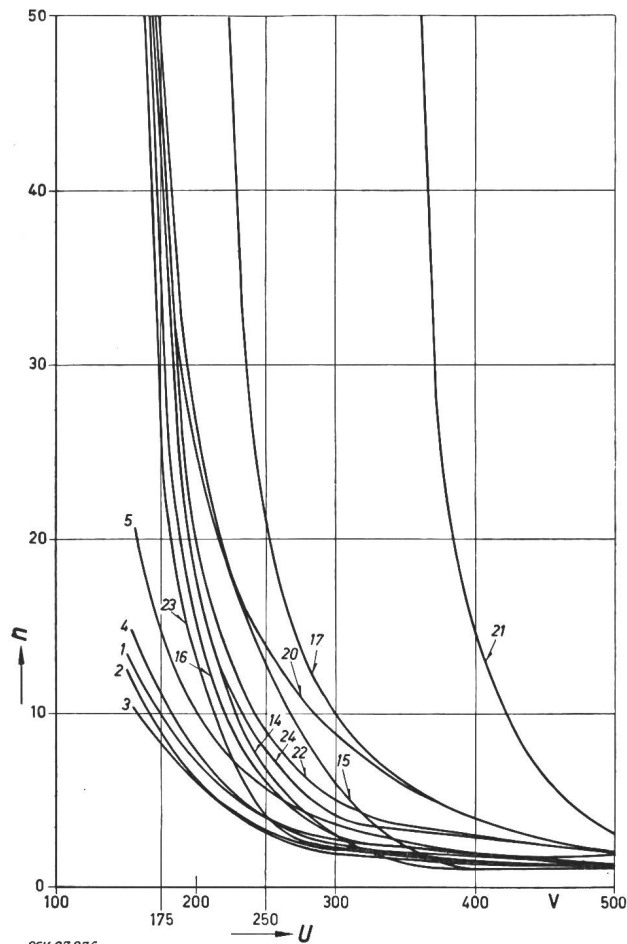


Fig. 8

Nombre limite de gouttes en fonction de la tension d'essai pour différents matériaux isolants organiques essayés avec des gouttes de 20 mm³

1...24 Courbes des nombres de gouttes en fonction de la tension, pour les échantillons 1...24, déterminées d'après les valeurs centrales de tous les laboratoires

Pour les autres désignations, voir fig. 7

Les conditions sont plus favorables pour l'essai avec des gouttes de 10 mm³. Les courbes de la fig. 9 sont nettement plus espacées et on distingue deux groupes qui correspondent bien avec les échelonnements usuels, ainsi qu'avec les expériences pratiques au point de vue de la résistance au cheminement. L'échelon le plus bas, avec moins de 7 gouttes sous 300 V, concerne principalement les isolants moulés avec charges de farine de bois, fibres de verre et une faible proportion d'amiante. Le groupe suivant, avec plus de 7 gouttes sous 300 V, concerne les isolants moulés avec une plus grande quantité de charge minérale, la plupart des stratifiés et les phénoplastes modifiés avec des résines mélamines. Les essais montrent qu'une subdivision plus poussée ne se justifie pas, car un classement dans un plus grand nombre de classes serait trop peu sûr, du fait de la forte dispersion constatée.

Les trois classes de résistance au cheminement sont indiquées à la fig. 9 par les trois aires *a*, *b* et *c*, limitées par les courbes *A* et *B*.

Pour l'exécution pratique de l'essai, les classes peuvent être caractérisées comme suit :

La classe *a* de résistance au cheminement est atteinte lorsqu'il faut plus de 30 gouttes de 10 mm³, sous 500 V, pour qu'un cheminement s'établisse (point *A*₁ de la courbe *A*). Les essais prouvent que le nombre de 30 gouttes suffit pour une nette délimitation, ce qui simplifie considérablement les essais.

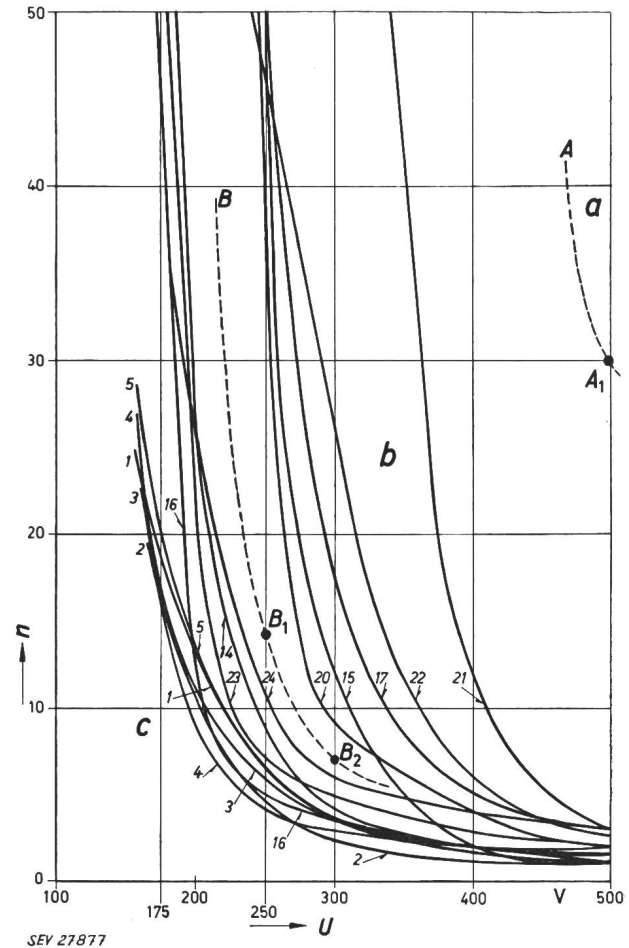


Fig. 9

Nombre limite de gouttes en fonction de la tension d'essai pour différents matériaux isolants organiques essayés avec des gouttes de 10 mm³

1...24 Courbes des nombres de gouttes en fonction de la tension, pour les échantillons 1...24

a, *b*, *c* Etendues d'attribution des classes de résistance au cheminement *a*, *b* et *c*

A Courbe délimitant les étendues d'attribution *a* et *b*

*A*₁ Critère d'attribution à la classe *a*

B Courbe délimitant les étendues d'attribution *b* et *c*

*B*₁, *B*₂ Critères d'attribution à la classe *b*

Pour les autres désignations, voir fig. 7

Les conditions pour l'attribution à la classe *b* sont remplies lorsqu'il faut plus de 15 gouttes sous 250 V ou plus de 7 gouttes sous 300 V (points *B*₁ et *B*₂ de la courbe *B*) pour qu'un cheminement s'établisse.

Font partie de la classe *c* les isolants qui ne satisfont pas à l'une ou aux deux conditions d'attribution à la classe *b*.

La classification donnée au tableau VI pour les matériaux isolants essayés résulte de l'application de ces principes aux essais exécutés.

Attribution des isolants essayés aux classes de résistance au cheminement a, b et c
(Essai avec grosseur de gouttes de 10 mm³)

Tableau VI

| Isolant | Échantillon No | Classe de résistance au cheminement ¹⁾ | Attribution à une classe selon le résultat obtenu par les différents laboratoires | | | | | |
|----------------------------------|----------------|---|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | | A | B | C | D | E | F |
| <i>Pièces moulées</i> | | | | | | | | |
| H.POP | 1 | | c | | | | | c |
| H.POP | 2 | | c | | | | | c |
| H.POP | 3 | | c | | | | | c |
| H.POP | 4 | | c | | | | | c |
| H.PAP (amiante) | 5 | | c | | | | | c |
| H.PAP (30% amiante) | 14 | c | c | c | c | c | c | c |
| H.PAF (amiante) | 7 | | c | | | | | c |
| H.PAF (fibres verre) | 16 | | c | c | b | | | c |
| <i>Stratifiés</i> | | | | | | | | |
| H.PAGb (tissu verre) | 23 | | | b | c | c ²⁾ | c ²⁾ | c |
| Epoxy, phénol/Tissu de verre | 24 | | | c ²⁾ | c | c | c ²⁾ | b |
| <i>Pièces moulées</i> | | | | | | | | |
| H.PAP (50% amiante) | 15 | | | b | c | b | b | b |
| H.PAF (amiante) | 6 | | b | | | | b | |
| H.MPOP | 8 | | c | | | | b | |
| H.MPOP | 17 | b | | b | b | c | b | b |
| <i>Stratifiés</i> | | | | | | | | |
| H.POPb, normal | 20 | | | b | b | c | b | c ²⁾ |
| H.POPb, riche en résine | 21 | | | b | b | b | b | b |
| H.PAPb (amiante) | 22 | | | b | c ²⁾ | c ²⁾ | b | b |
| <i>Pièces moulées</i> | | | | | | | | |
| Alkyde/Poudre minérale | 19 | | | a | a | b | a | a |
| Polyester/Fibres verre | 18 | | | a | a | a | a | a |
| H.MOP | 9 | | | | | | a | |
| H.MOP | 10 | | | | | | a | |
| H.MAP (amiante) | 11 | | | | | | a | |
| H.MAF (amiante) | 12 | | | | | | a | |
| H.MAF (amiante) | 13 | | | | | | a | |
| <i>Pièces coulées</i> | | | | | | | | |
| Epoxy, sans charge | 25 | | | a | | | | |
| Epoxy/Poudre quartz | 26 | a | | a | | | | |
| <i>Pièces thermoplastiques</i> | | | | | | | | |
| Acétate de cellulose | 27 | | | a | | | | |
| Acétate de cellulose | 28 | | | a | | | | |
| Acétobutyrate cellul. | 29 | | | a | | | | |
| Polyamide (nylon) | 30 | | | a | | | | |
| Polyamide (nylon) | 31 | | | a | | | | |
| Polyamide (grilon) | 32 | | | a | | | | |
| Polyméthylméthacrylate | 33 | | | a | | | | |
| Polystyrène, normal | 34 | | | a | | | | |
| Polystyrène, résistant aux chocs | 35 | | | a | | | | |
| Polyéthylène | 36 | | | a | | | | |

¹⁾ Attribution selon la valeur centrale du résultat de l'ensemble des laboratoires.

²⁾ L'une des deux conditions d'attribution à la classe b est remplie.

La comparaison entre le classement obtenu par le résultat des différents laboratoires et la classification réalisée en tenant compte de l'ensemble des résultats de tous les laboratoires montre une concordance presque parfaite pour les classes a et c.

Dans la classe b, l'attribution est moins sûre. Elle devrait toutefois être améliorée par de nouveaux perfectionnements de la méthode d'essai, en tenant

compte des expériences faites avec les deux premières séries d'essais.

C'est ainsi que des essais supplémentaires effectués par l'un des laboratoires ont montré que l'amorçage à 0,5 A avec un retardement maximum du relais de 1 s réduit la dispersion des valeurs mesurées, par rapport aux conditions avec un courant d'amorçage de 2 A et amorçage instantané.

La fig. 10 donne quelques images caractéristiques qui résultent de l'essai du courant de cheminement. Un cheminement conducteur ne se forme qu'avec

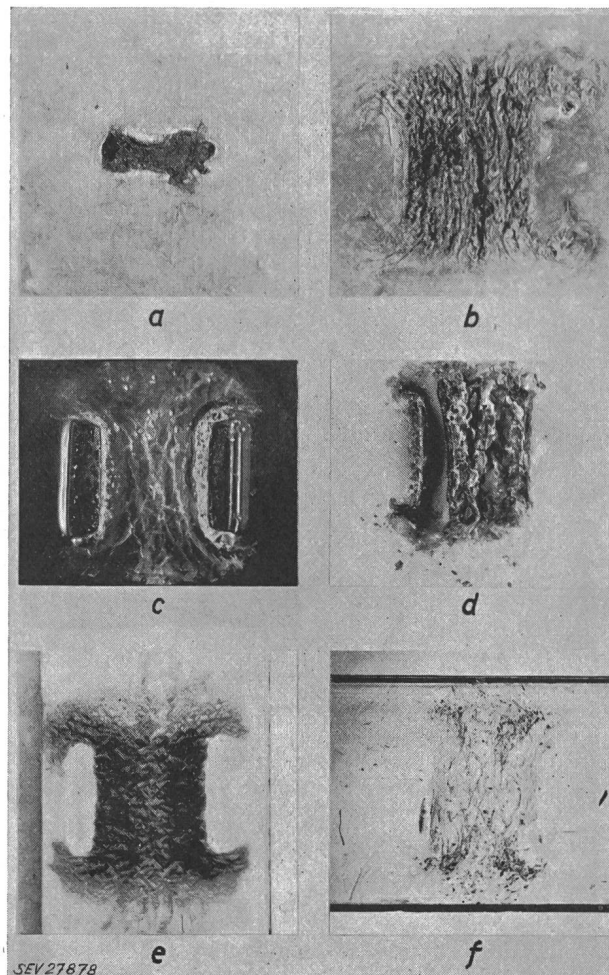


Fig. 10

Etat de différents matériaux isolants après l'essai de la résistance au cheminement avec solution de chlorure d'ammonium à 0,1 %

- a Isolant moulé à la résine phénolique et aux fibres de cellulose
300 V, 4 gouttes. Net cheminement dans le sens du champ électrique
- b Isolant moulé à la résine mélamine et à la cellulose
300 V, 60 gouttes. Formation de rayures transversalement au champ électrique, sans cheminement
- c Acétate de cellulose (échantillon n° 27)
500 V, 50 gouttes. Légère rugosité, sans cheminement. Enfoncement des électrodes dans la surface ramollie
- d Polyamide (échantillon n° 32)
500 V, 50 gouttes. Fort creusement par fusion et décomposition du matériau, sans cheminement
- e Polystyrène résistant aux chocs (échantillon n° 35)
500 V, 50 gouttes. Rugosité uniforme et teinte foncée par incorporation de suie dans la couche superficielle fondue, sans cheminement
- f Polyméthylméthacrylate (échantillon n° 33)
Légère érosion de la surface, mais sans produits de décomposition visibles et sans cheminement

des phénoplastes (exemple *a*). Avec des résines mélamines (*b*), la décomposition de la surface, principalement sous forme de produits gazeux, donne lieu à des rainures transversalement au sens du champ électrique, sans formation d'un cheminement. Avec les isolants thermoplastiques (exemples *c* à *f*), il se produit des modifications plus ou moins accentuées de la surface, telles que des aspérités, une formation de fines rayures ou un creusement par fusion ou décomposition thermique, mais également sans formation d'un cheminement.

F. Conclusions et recommandations

Les essais entrepris en commun montrent que la méthode proposée dans le projet de la CEI, document 15(Bureau Central)⁸, pour l'essai de la résistance au cheminement peut être considérée, en principe, comme étant appropriée. Certaines modifications et précisions complémentaires paraissent toutefois indispensables pour réaliser une méthode capable de permettre un classement reproductible des isolants en classes de résistance au cheminement et l'application de l'essai à des échantillons d'une forme peu favorable. En outre, il y aurait lieu d'établir une méthode d'interprétation déterminée.

En conséquence, nous pouvons proposer les *conditions d'essai* suivantes :

Appareil d'essais avec électrodes en tungstène de 5 mm × 2 mm de section :

| | |
|---|-------------------|
| Ecartement des électrodes | 4 mm |
| Angle formé par les électrodes avec l'horizontale | 60° |
| Surface d'appui | 5 mm × 0,5...1 mm |
| Pression d'appui | 50...100 g |

Source de courant et amorçage

| | |
|------------------------------|-------|
| Courant de court-circuit | 3 A |
| Courant d'amorçage du relais | 0,5 A |
| Retardement maximum | 1 s |

Solution électrolytique :

| | |
|---------------------------------|------------------------|
| Solution de chlorure d'ammonium | 0,1% |
| Grosueur des gouttes | 10 ± 1 mm ³ |
| Séquence des gouttes | 30 ± 5 s |

Tensions d'essai : 250, 300, 500 V (50 Hz)

Nombre minimum de déterminations : 5

Par rapport aux électrodes en platine ou en métaux vulgaires proposées dans le projet de la CEI, le tungstène présente l'avantage de s'user moins vite et de ne pas être attaqué par la solution électrolytique.

Un intervalle de 30 s entre les gouttes est suffisant, comme l'ont montré les essais. La grosueur de goutte de 10 mm³ est préférée, car cela permet de mieux différencier les résultats et aussi à cause de la nécessité d'essayer des échantillons qui ne sont pas plans et présentent des formes irrégulières, de sorte qu'avec de trop grosses gouttes une partie du liquide risque de couler hors de la surface d'action des électrodes, ce qui influe grandement sur le résultat de l'essai. La méthode préconisée devant également être considérée pour la nouvelle teneur des Prescriptions de l'ASE pour matières isolantes moulées non céramiques (Publ. n° 177), il y a lieu de tenir particulièrement compte de ce fait, car ces essais doivent être exécutés dans le cadre des prescriptions légales de sécurité, pour des pièces isolantes terminées.

Pour juger de la résistance au cheminement, un essai sous une seule tension est souvent insuffisant. Par contre, la détermination de l'indice de cheminement selon le projet de la CEI est relativement compliquée et trop peu précisée pour une exécution pratique. L'essai que nous proposons et qui a lieu sous trois tensions différentes (250, 300 et 500 V) permet de déterminer la résistance au cheminement avec beaucoup de sûreté et avec le minimum de complication.

Le *résultat de l'essai* est donné par les nombres de gouttes pour les trois tensions d'essai, la valeur centrale de 5 déterminations étant considérée comme grandeur déterminante pour le nombre de gouttes sous une certaine tension.

L'application de la méthode d'essai et du mode d'interprétation que nous avons décrits permet d'attribuer avec sûreté les matériaux isolants organiques à l'une ou l'autre des trois classes suivantes :

| <i>Résistance au cheminement</i> | | <i>Conditions d'attribution</i> | |
|----------------------------------|----------|--|--------------------------|
| | Classe | Nombre de gouttes jusqu'à l'amorçage | |
| Bonne | <i>a</i> | > 30 | sous 500 V |
| Moyenne | <i>b</i> | > 7 et > 15 | sous 300 V sous 250 V |
| Faible | <i>c</i> | lorsque l'une ou les deux conditions pour la classe <i>b</i> ne sont pas remplies. | |

Les échelons ainsi définis de la résistance au cheminement correspondent en général aux expériences pratiques concernant le degré de sensibilité des matériaux isolants au cheminement. Ils conviennent par conséquent comme base de dimensionnement échelonné des lignes de fuite.

Les représentants caractéristiques de ces trois classes de résistance au cheminement sont, à titre d'exemples :

| | |
|-----------------|--|
| Classe <i>a</i> | Isolants minéraux (céramique, verre, mica, amiante) |
| | Matières plastiques à base de résines mélamines résines d'urée résines époxy ⁷⁾ résines polyesters ⁷⁾ résines alkydes ⁷⁾ |
| | Matières thermoplastiques, tels que polyméthacrylate polystyrène polyéthylène chlorure de polyvinyle polyamide matériaux celluloseux |
| Classe <i>b</i> | Isolants moulés à base de mélanges de résines phénoliques et mélamines résines phénoliques avec une forte proportion de charges minérales Stratifiés à base de résines phénoliques sur papier ou produits d'amiante |

⁷⁾ Selon le type de résine, la charge et les adjuvants, tels que des résines phénoliques, les matériaux à base de résines époxy, polyesters et alkydes peuvent également rentrer dans les classes inférieures.

Classe c Matériaux à base de résines phénoliques
avec charges principalement organiques,
telles que farine de bois, fibres de cel-
lulose ou rognures de tissus
avec charges en produits de fibres de
verre
avec une faible quantité de charges
minérales

Bibliographie

- [1] VSM 77114: Matières synthétiques et isolantes pour l'élec-
trotechnique. Résistance au cheminement et sécurité contre
le cheminement, définitions.
VDE 0303. Teil 1/10.55: Leitsätze für elektrische Prüfungen
von Isolierstoffen. Teil 1: Bestimmung der Kriechstrom-
festigkeit bei Betriebsspannungen unter 1 kV.
DIN 53480 — Okt. 1955: Prüfung von Isolierstoffen. Bestim-
mung der Kriechstromfestigkeit bei Betriebsspannungen
unter 1 kV.

- [2] Knappe, W.: Die Kriechstromfestigkeit von Isolierstoffen.
ETZ t. 72(1951), n° 8, p. 224...228.
[3] Schumacher, K.: Kriechwegbildung bei Kunststoffen.
ETZ-A t. 76(1955), n° 11, p. 369...376.
[4] Association suisse pour l'essai des matériaux. CT 23: Prü-
fung von elektrotechnischen Isolierstoffen auf Kriechweg-
festigkeit. Ann. suisses Sci appl. techn. t. 12(1946), n° 10,
p. 323...328.
[5] Liander, H. et A. Asplund: Creepage Flash-Over Testing of
Plastics. CEE/032/S 105/50.
[6] Kappeler, H.: Isolants résistant aux courants de fuite super-
ficiels. Rev. Micafil t. -(1945), p. 15...16.
[7] Claussnitzer, W. et V. Siegel: Zur Kennzeichnung der
Kriechstromfestigkeit nach dem Tropfverfahren durch
Grenzspannungen oder Grenzspannungen. Kunststoffe
t. 48(1958), n° 7, p. 299...305.
[8] Claussnitzer, W. et V. Siegel: Über die Bestimmung der
Kriechstromfestigkeit von Isolierstoffen in Grosszahlver-
suchen. ETZ-A t. 79(1958), n° 5, p. 144...149.

Adresses des auteurs:

K. Michel, D^r phil., Laboratoire de chimie de la S. A. Brown,
Boveri & Cie, Baden (AG), et M. H. Hillenkamp, ing. dipl., Dé-
partement de construction des grands appareils de la S. A.
Brown, Boveri & Cie, Baden (AG).

Commentaires d'un exploitant concernant le projet de code international d'essais de modèles réduits de turbines

Conférence donnée à l'assemblée de discussion du 13 février 1959 à Zurich¹⁾,
par P. Bourguignon, Chatou

621.224.001.57

Indépendamment de buts non couverts par le projet de code international tels que la contribution à l'étude des effets d'échelle, les essais de réception sur modèle réduit n'ont de réel intérêt que si les conditions de mesure in situ conduisent à des frais élevés ou à une précision trop faible. Dans cet esprit leur emploi est surtout recommandé pour les installations de basse-chute. Dans sa rédaction actuelle le projet répond sensiblement aux désirs de l'exploitant. Il insiste à plusieurs reprises sur l'intérêt du doublement systématique des mesures au moyen de procédés ou d'appareils différents et recommande par priorité les méthodes de mesure de débit aisément contrôlables. Il prévoit la possibilité de contrôles de similitude au moyen d'essais effectués in situ. Par contre, il n'insiste peut-être pas assez sur la nécessité de prévoir au contrat de fourniture l'indication aussi précise que possible de toutes les conditions de mesure.

Unabhängig davon, dass der Entwurf von Empfehlungen der Commission Electrotechnique Internationale (CEI) für Abnahmeversuche am Modell hydraulischer Maschinen gewisse Anliegen, z. B. einen Beitrag an das Studium der Frage des Einflusses des Modellmaßstabes, ausser Betracht lässt, sind Abnahmeversuche am Modell nur dann von wirklichem Interesse, wenn die Versuche an der fertigen Maschine entweder hohe Kosten verursachen oder zu wenig genaue Ergebnisse liefern. Sie werden daher vorzugsweise bei Anlagen mit kleinem Gefälle angewendet werden. In der vorliegenden Fassung entspricht der Entwurf weitgehend den Bedürfnissen des Kunden. Er enthält wiederholt Hinweise auf die Wichtigkeit der Wiederholung der Messungen mit anderen Verfahren oder anderen Messgeräten und empfiehlt in erster Linie die leicht überprüfbareren Wassermengen-Messungen. Ferner enthält der Entwurf die Möglichkeit von Vergleichsmessungen an der an Ort und Stelle eingebauten, fertigen Maschine. Dagegen betont er vielleicht zu wenig, wie wichtig es ist, im Liefervertrag alle Messbedingungen so genau wie möglich festzulegen.

Dans le cadre de l'assemblée de discussion consacrée aux essais sur modèles réduits de turbines hydrauliques, le Président de l'assemblée, Monsieur le Professeur Gerber²⁾ m'a demandé d'exprimer mon opinion concernant le projet de code international d'essais de réception sur modèle réduit en tant que membre d'une firme exploitant des usines hydroélectriques et possédant une station d'essais.

Il n'est donc peut-être pas sans intérêt de rappeler d'abord les raisons qui ont conduit l'Electricité de France à se constituer une telle station.

I. Intérêt d'une station de modèles réduits chez un exploitant d'usines hydroélectriques

Dès sa création, l'Electricité de France s'est souciee de constituer des équipes susceptibles de contrôler le fonctionnement technique de son matériel.

¹⁾ Assemblée de discussion consacrée aux «Essais sur modèle réduit des machines hydrauliques», organisée par l'Institut des machines et installations hydrauliques à l'EPF, l'ASE, l'Association Suisse pour l'aménagement des eaux et le Groupe des ingénieurs mécaniciens de la Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes.

²⁾ Cf. Gerber, H.: Modellversuche und Abnahmeversuche am Modell hydraulischer Maschinen. Bull. ASE t. 50(1959), n° 10, p. 469...471.

Pour la production hydraulique en particulier, ce souci était guidé par le désir de connaître aussi exactement que possible les performances de ses nombreuses turbines en vue d'en assurer la meilleure exploitation. Très rapidement, ces équipes se sont préoccupées de perfectionner les méthodes de mesure, en vue de réduire la marge d'incertitude inhérente à toute détermination des performances d'une machine industrielle, dans le but de pouvoir comparer entre elles, d'une manière plus satisfaisante, les réalisations de ses différents fournisseurs et de déterminer avec plus de précision l'intérêt économique des rénovations de matériel envisagées.

Pour les installations fonctionnant sous de grandes hauteurs de chute nette, les Services de la Production Hydraulique d'Electricité de France reprirent à la base l'étude de la méthode thermodynamique de mesure des rendements. Grâce à l'utilisation d'une méthode de zéro et à la mise au point d'un matériel très précis, ils purent rapidement utiliser cette méthode d'une manière intensive. Compte tenu de l'expérience acquise à la suite de ces essais, ainsi que des nombreuses comparaisons avec d'autres méthodes, on peut estimer actuellement que les rende-