**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

**Band:** 60 (1969)

**Heft:** 24

**Artikel:** Problèmes d'isolement dans les installations de couplage

**Autor:** Béguelin, R.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-916200

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 02.07.2025

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

# Problèmes d'isolement dans les installations de couplage

Par *R. Béguelin,* Versoix-Genève

483 - 488

621.315.6.048:621.311.161

Les stations blindées doivent permettre une réduction d'encombrement, ainsi que la localisation d'un éventuel défaut, par cloisonnement des divers champs de départs. Le cloisonnement doit empêcher la propagation de l'arc, mais le meilleur chemin pour atteindre ce résultat est d'éviter avant tout son amorçage, sous l'effet d'une surtension par exemple.

Les causes d'un tel amorçage sont, d'une part une ionisation de l'air, qui réduit son pouvoir isolant, ou des distances trop réduites entre parties sous tension ou entre élément sous tension et la masse. Les distances qu'il faudrait alors adopter pour assurer la sécurité vont à l'encontre de la réduction d'encombrement recherchée, il faut trouver moyen d'y pallier.

Nous allons examiner successivement les divers aspects des problèmes qui se posent au constructeur, essentiellement dans le compartiment des barres collectrices, ainsi que dans le champ des disjoncteurs.

## Barres collectrices

Considérons deux conducteurs cylindriques parallèles. Le champ électrique est le suivant (fig. 1). On voit que le gradient est plus élévé sur la ligne joignant les centres et maximum à la surface des conducteurs.

A une distance $x$ de la surface d'un conducteur, sur la ligne des centres, le gradient est

$$g_x = \frac{e_n \sqrt{S^2 - 4r^2}}{\left[(r-x)(S-2r) - x^2\right] \ln\left[\frac{S}{2r} + \sqrt{\left(\frac{S}{2r}\right)^2 - 1}\right]} \quad \text{kV/cm}$$

avec

$e_n$ tension en kV entre conducteur et axe neutre;
$S$ distance entre centres des conducteurs en cm;
$r$ rayon du conducteur, en cm.

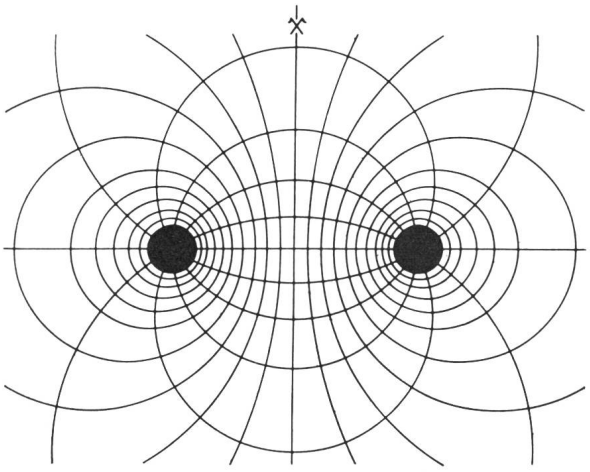

Fig. 1
**Lignes de forces et surfaces équipotentielles entre deux conducteurs cylindriques nus**

A la surface du conducteur, le gradient maximum est:

$$g_{max} = \frac{e_n \sqrt{\left(\frac{S}{2r}\right)^2 - 1}}{r\left(\frac{S}{2r} - 1\right) \ln\left[\frac{S}{2r} + \sqrt{\left(\frac{S}{2r}\right)^2 - 1}\right]} \quad \text{kV/cm}$$

En première approximation nous pouvons faire le raisonnement suivant: Si le rapport $S/r < 5{,}85$ on a, lorsque le gradient limite dans l'air est atteint, claquage direct entre les

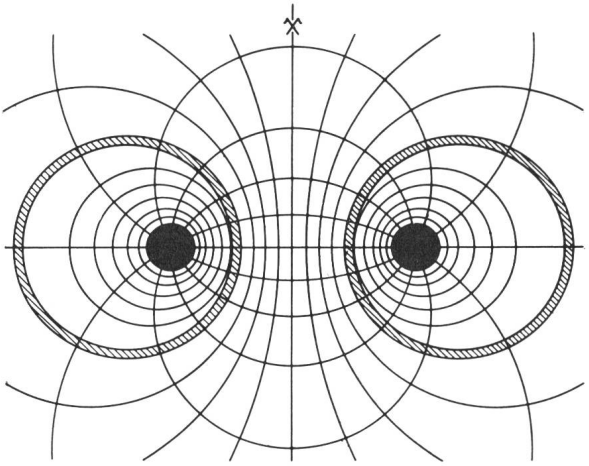

Fig. 2
**Une enveloppe isolante mince située sur une surface équipotentielle empêche l'implantation d'un arc sans modifier sensiblement le champ**

deux conducteurs. Si ce rapport est $> 5{,}85$, l'air cède à la surface du conducteur, il se forme des effluves en couronne et le diamètre apparent $r_1$ du conducteur s'augmente, réduisant le gradient superficiel. Tant que le rapport $S/r$ reste $> 5{,}85$ il y a effluve, dès qu'il est inférieur à cette valeur il y a claquage.

Quelles mesures peut-on prendre pour augmenter la sécurité?

*1er cas*

Par rapport à la tension max. à tenir, les distances et rayons sont tels que $g_{max} < 30$ kV/cm (valeur approximative).

Dans ces conditions il ne se passera théoriquement rien, l'air assurant un isolement suffisant. Toutefois, un accident pourrait survenir, provoquant l'amorçage. On peut se prémunir contre ce risque en enveloppant les conducteurs, à une distance quelconque, mais si possible suivant une surface équipotentielle, par une gaine isolante continue (fig. 2). Cette gaine, de faible épaisseur par rapport à la distance entre conducteurs, ne modifiera pratiquement pas le champ, mais formera barrière pour l'air ionisé et empêchera un amorçage d'arc sur le conducteur. Dans ce cas, on a augmenté la sécurité d'exploitation mais pas réduit l'encombrement.

*2e cas*

On enrobe le conducteur dans une gaine isolante adhérant à sa surface (fig. 3). Cette gaine, d'une constante diélectrique $\varepsilon > 1$, va avoir trois effets:

1. Augmenter le diamètre apparent du conducteur;
2. Absorber une partie de la tension dans la couche isolante (Peu, surtout si $\varepsilon \gg 1$);
3. Empêcher l'accrochage de l'arc sur le conducteur.

Dans ces conditions, la distance entre conducteurs peut être réduite par rapport au 1er cas, sans toutefois que des effluves apparaissent en surface de la gaine.

*3e cas*

Les conducteurs sont entièrement noyés dans une masse isolante, homogène et compacte, il n'y a plus d'air comme isolant. La répartition du champ reste la même que dans le premier cas, mais le gradient de rupture étant considérablement plus élevé que dans l'air la distance entre parties sous tension peut être réduite à quelques centimètres.

Pour des installations compactes, c'est le 3e cas qui semblerait le plus intéressant. Toutefois, si l'on doit se raccorder à des éléments ouverts (disjoncteurs, transformateurs, boîtes à câble ordinaires) on doit revenir à des distances normales et le système pert globalement de son intérêt.

C'est le 2e cas qui permet le mieux de gagner de la place et de la sécurité dans le compartiment des barres, tout en assurant un raccordement normal aux appareils ouverts. La gaine isolante autour du conducteur, correspondant à ce 2e cas, peut être réalisée de diverses façons:

*a) Par moulage.* Le conducteur nu est placé dans une forme et l'on coule autour de lui de la matière isolante. Cette technique est facile pour les barres droites, elle se complique pour celles de grandes dimensions, elle exige une grande précision des ployages dans les barres de forme tourmentée, afin d'assurer la constance de l'épaisseur de l'isolation sur toutes les faces de la pièce.

*b) Par fluidisation.* Le conducteur, porté à une température d'environ 200 °C, est plongé dans un nuage épais de résine pulvérulante et de durcisseur. La poudre entrant en contact avec le conducteur chaud s'y attache et se liquéfie pour durcir ensuite.

Plus l'opération dure plus la couche prend de l'épaisseur. On achève la polymérisation de la résine par passage au four. Cette technique est avantageuse pour les pièces de forme compliquée. Mais il faut un très grand bac pour les pièces d'une certaine dimension et répéter plusieurs fois le réchauffage de la barre, si l'on veut obtenir une couche d'isolation importante.

*c) Par giclage,* soit au pistolet à gaz, soit par procédé électrostatique. Ici aussi, il faut préchauffer le conducteur si l'on veut une bonne adhérence. Si les pièces sont grandes, ou de forme compliquée, il est difficile d'obtenir une couche d'épaisseur égale de l'isolation.

Remarquons ici la difficulté qu'il y a à contrôler, sans destruction, l'épaisseur d'une couche isolante sur un métal non magnétique.

*d) Par extrusion.* Ce procédé est très valable pour des barres de sections simples. Il faut toutefois procéder au ployage des barres après isolation, ainsi qu'à l'usinage des extrémités, ce qui ne va pas toujours sans risques de décollement de la couche isolante.

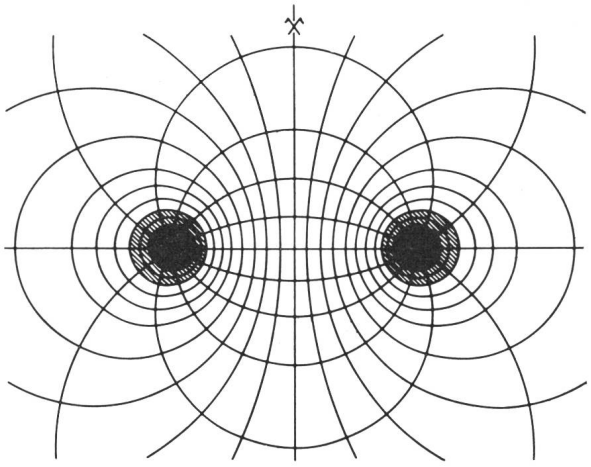

Fig. 3
**Isolation enrobant le conducteur**
Le gradient superficiel est légèrement réduit, le champ est peu modifié

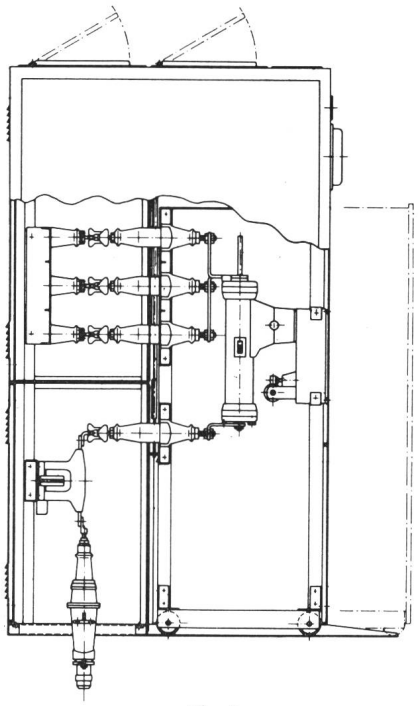

Fig. 4
**Cellule débrochable sur chariot avec isolateurs — traversées classiques solidaires de l'équipement mobile**

*e) Par enrubannage,* avec du papier ou autre matériau en ruban, du conducteur, suivi d'une imprégnation sous vide à la résine. Cette technique rappelle celle des câbles isolés au papier. Elle s'accommode de conducteurs longs et coudés et essure, par le multiple recouvrement des couches stratifées, une grande sécurité d'isolement. Si elle est la plus sûre, cette technique est aussi la plus coûteuse.

Ces diverses techniques de gainages isolants donnent lieu à des difficultés communes:

1. Il faut à tout prix éviter un espace d'air entre le conducteur et sa gaine. En effet, de par la distance réduite des pièces sous tension, le gradient d'ionisation à la surface du métal est toujours atteint et l'espace d'air effluve, ce qui amène progressivement la destruction de la gaine.

Pour éviter ce danger, deux solutions sont possibles: assurer une adhérence parfaite entre isolation et conducteur ou court-circuiter les éventuels espaces d'air. Cette dernière condition est relativement facile à réaliser. Le conducteur est enduit, avant isolation, d'une couche conductrice graphitée susceptible de se lier à la gaine. Si un décollement se produit en un point, les deux faces de l'espace d'air sont au même potentiel et aucune contrainte électrique ne s'exerce sur l'espace d'air.

2. Le métal conducteur et la gaine isolante ont toujours des coefficients de dilatation très différents, dans un rapport pouvant aller jusqu'à 1 : 10. Il en résulte de très fortes tensions internes lors des variations de températures dues à la charge des barres et à l'ambiance. Avec le temps, la gaine peut se fendiller et perdre son effet protecteur. Ici aussi deux possibilités: assurer une liaison souple entre barre et isolation, par exemple par une couche graphitée, ou utiliser un matériau isolant souple naturellement ou fortement plastifié pour lui permettre de s'adapter au régime du métal.

## Traversées

Le principe des compartiments séparés exige la traversée d'une paroi, généralement métallique, entre le champ des barres et celui des disjoncteurs. Il y a deux cas:

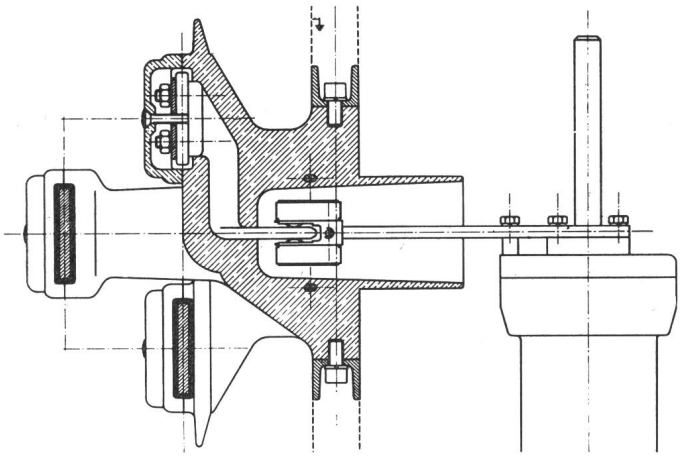

Fig. 5
**Isolateur de passage combiné servant également de support de barre**
L'air autour du contact mobile est déchargé par un écran noyé dans la masse isolante et relié électriquement au contact fixe

1. L'emplacement du disjoncteur, lorsque ce dernier est entièrement déconnecté, est fermé par une porte extérieure.
2. L'emplacement du disjoncteur reste ouvert, mais toutes les parties sous tension sont rendues inaccessibles par des écrans de fermeture métalliques mis à la terre (Schott).

Dans le premier cas, on peut utiliser des simples traversées. Dans le second cas, les isolateurs de traversées peuvent être montés sur le chariot du disjoncteur et se déplacer avec lui (fig. 4). On peut également les installer fixes dans la paroi de séparation et leur donner une forme de cloche, de façon à avoir une distance suffisante, entre le contact sous tension et l'écran de protection mis à la terre (fig. 5) pour éviter tout amorçage.

Nous ne nous attarderons pas sur les traversées du premier cas qui sont classiques, mais examinerons plus en détail les isolateurs du type cloche.

Ces isolateurs peuvent être de simples isolations de passage ou bien servir également de support aux barres isolantes, en supprimant les joints de connexion. Dans les deux cas ils ont, outre leur rôle isolant, à assurer mécaniquement la fixation des éléments conducteurs, et cela pour résister aux courants de court circuit prévus dans l'installation. C'est dire que leur forme, leur fixation, la matière utilisée feront l'objet d'un soin particulier. Voici un exemple de réalisation (fig. 5).

Les isolateurs-cloche posent en outre un problème d'effluvage. En effet, ils sont fixés à la masse et constitués de matière isolante de constance diélectrique importante. A l'intérieur, les parties métalliques du contact débrochable font des saillies dans un espace d'air assez réduit qui supporte la presque totalité de la tension. Les parties métalliques vont donc effluver, à moins que l'on ne court-circuite cet air par un écran noyé dans la matière isolante et relié aux parties sous tension, ou que l'on enduise la surface interne de la cloche d'un vernis semi-conducteur qui fasse le même effet pour réduire la sollicitation de l'air (partie xxx de la fig. 6).

## Passage entre champs

On retrouve un problème d'isolement pour la traversée des parois séparant les champs. Si ces dernières sont métalliques, la gaine isolante des barres est insuffisante pour assurer le passage et il faut prévoir une traversée isolante supplémentaire. Si les parois sont isolantes, elles séparent quand même les champs mais n'exigent pas une rupture du système d'isolation des barres. Toutefois une difficulté doit être surmontée: la paroi isolante et la gaine ayant une constante diélectrique élevée, l'espace d'air qui subsiste entre eux est fortement sollicité et risquera certainement d'effluver. Il faudra prévoir un dispositif conducteur entre les deux surfaces isolantes pour court-circuiter cet espace.

Selon les dispositions, les parois de séparation peuvent être de simples passages ou constituer en même temps des points de fixation mécanique des barres. Dans cette alternative, il y a lieu de leur donner la résistance nécessaire.

## Ecrans isolants

Dans une même disposition générale, on utilise souvent des éléments communs pour 12 et 24 kV, la tension inférieure de service étant normalement tenue par l'installation tandis que la plus élevée exige l'emploi d'écrans supplémentaires, soit entre phases, soit contre terre.

Ces écrans doivent être utilisés avec prudence, car ils déforment considérablement le champ électrique et déplacent souvent les problèmes au lieu de les résoudre absolument. Il doivent être réalisés avec des matériaux à constante diélectrique faible, non hygroscopiques, non inflammables.

## Matériaux isolants

L'exécution de cellules blindées n'a été possible que depuis l'avènement des matériaux isolants synthétiques. Comme nous l'avons vu, il nous faut disposer de plaques pour des parois ou des écrans, de pièces minces mais de formes compliquées pour des enveloppes, de gaines souples et adhésives, de pièces robustes servant en même temps d'isolants et de fixation.

Pour les plaques, les stratifiés verre-polyester ou verre-époxy assurent la rigidité et le pouvoir isolant, même en faibles épaisseurs.

Les pièces minces de formes plus ou moins compliquées peuvent être moulées sous pression en polyamides, en polyester ou en époxy, chargés de fibre de verre, ou même sans charge dans certains cas. La matière la plus favorable pour les gaines entourant directement les conducteurs variera selon le mode de fabrication. Pour le moulage, les résines époxy chargées de

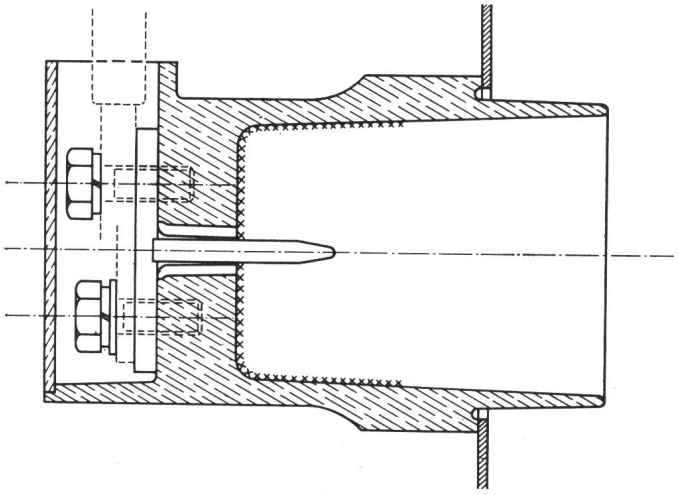

Fig. 6
**Isolateur «cloche» de passage à travers une paroi métallique, pour contact débrochable**
La surface ××× est induite de vernis conducteur à grande résistance pour éviter l'effluvage du contact mobile

quartz et flexibilisées conviennent parfaitement. Pour la fluidisation les résines époxy donnent également satisfaction. Avec le pistolet, les polyamides donnent de bons résultats.

Enfin, pour l'extrusion, on peut utiliser soit du PVC soit du polyéthylène. Il faut toutefois remarquer qu'en cas d'incendie le PVC dégage du chlore naissant susceptible d'attaquer gravement les métaux, y compris les armatures du béton armé.

L'imprégnation des enrubannages papier ou plastique peut se faire avec des résines polyester ou époxy.

Pour les pièces massives et robustes, c'est la résine époxy chargée qui résoud le problème. En effet, c'est la seule matière qui puisse être moulée avec des épaisseurs diverses et importantes, qui assure en même temps des qualités mécaniques et électriques et qui permette l'incorporation de grosses insertions métalliques et d'écrans délicats.

La place qui nous est accordée pour cet exposé ne nous permet pas d'examiner en détail chacun de ces produits. Aussi allons-nous nous limiter aux résines époxy qui sont les plus utilisées et peut-être les moins connues.

Ces résines existent aujourd'hui dans des formes très diverses selon l'emploi qu'on veut en faire.

Des poudres à mouler, avec ou sans charge, permettent en tant que thermodurcissables, la réalisation sous pression et à chaud de toutes sortes d'objets. La technique du moulage sous pression exige toutefois une grande uniformité des épaisseurs.

Des résines liquides permettent l'imprégnation de stratifiés de toute nature.

Enfin, des résines à couler, à froid ou à chaud, auxquelles on peut incorporer une forte proportion de charge pulvérulante, permettent la réalisation de pièces, même très volumineuses, avec inclusion d'éléments métalliques importants, sans exiger de la pression lors du moulage.

Notre but n'est pas d'analyser ici toutes les possibilités des résines époxy mais plus simplement de renseigner les utilisateurs de l'appareillage sur les propriétés de celles essentiellement employées.

Depuis bientôt 20 ans on se sert, pour réaliser des pièces isolantes avec sollicitation mécanique, de la résine à couler époxy. Mélangée avec de la charge, constituée pratiquement toujours par de la farine de quartz, et du durcisseur, la résine est versée dans des formes et durcie, à la pression atmosphérique, dans des fours à une température variant entre 120 et 180 °C.

Les pièces coulées se caractérisent par de bonnes qualités diélectriques et mécaniques. Toutefois, la matière se comporte relativement bien à la torsion et présente une résilience modeste qui gêne parfois le constructeur et l'oblige à surdimensionner des pièces devant subir des chocs ou des efforts alternatifs répétés.

Pour situer la résine époxy par rapport à la porcelaine, on peut dire qu'à performances mécaniques égales, l'isolateur en résine pèse 3 fois moins que son homologue céramique.

Ce qui importe le plus à l'utilisateur, c'est la tenue superficielle de l'isolant, face aux conditions rencontrées en service.

La résine à couler, type B, avec charge de quartz, se comporte parfaitement, et sans vieillissement, dans une ambiance sèche et sans poussière. La poussière seule et en quantité raisonnable, n'affecte pratiquement pas son comportement.

Il en va autrement de l'humidité, en particulier de la condensation. Tous les isolants, y compris la porcelaine, donnent lieu à des décharges superficielles lorsqu'ils sont humides ou mouillés. Généralement, après quelques minutes de mise sous tension, la chaleur développée par les pertes joule dans la couche superficielle suffit à sécher la surface et tout rentre dans l'ordre. C'est ici qu'intervient la matière de l'isolant. La porcelaine peut supporter la répétition fréquente de ce processus, tandis que la résine B chargée au quartz s'altère.

Les décharges attaquent la surface et burinent des arborescences charbonneuses qui réduisent progressivement la ligne de fuite et, partant, le niveau d'isolement de l'installation. Cette même matière présente encore un autre inconvénient. En cas d'incendie elle dégage une épaisse fumée. Ces inconvénients, qui ne se manifestent qu'en cas d'humidité répétée, ont amené les chimistes à rechercher une nouvelle résine à couler. Elle existe, aujourd'hui, sous le nom de résine cycloaliphatique.

Les isolateurs de cette matière se comportent aussi bien que la porcelaine et, s'ils sont chargés avec de l'alumine trihydratée, peuvent être utilisés à l'extérieur, insensibles à la pluie et au soleil. Malheureusement deux facteurs viennent limiter leur utilisation dans l'appareillage d'intérieur. Le prix tout d'abord qui est plus élevé, tant pour la résine que pour la charge; les performances mécaniques ensuite, la résilience principalement, qui sont inférieures à celles de la B. Il en résulte une nouvelle augmentation du prix puisque, à résistance mécanique égale, il faut mettre davantage de matière.

Je ne voudrais pas toutefois inquiéter les utilisateurs par ces dernières remarques. Je les ai faites par souci d'objectivité, mais l'expérience accumulée en exploitation depuis bientôt vingt ans prouve que les cas d'humidité sont exceptionnels et que la résine B chargée de poudre de quartz satisfait pleinement aux exigences d'une exploitation normale.

J'espère, par ces lignes, avoir renseigné sur la manière dont sont traités par les constructeurs les problèmes d'isolation dans les installations de couplage et particulièrement dans les postes compacts et démontré qu'ils sont pleinement résolus par les matières et techniques actuellement disponibles sur le marché.

**Adresse de l'auteur:**
*R. Béguelin,* Directeur, Appareillage Gardy S. A., la Jonction, 1205 Genève.

---

**Berichtigung:** Auf Seite 1092 der Nr. 23/1969 ist durch ein Versehen der Druckerei unter dem Titel des Artikels «Der Erker der Nordostschweiz» von Prof. *G. Thürer* eine falsche Zeile abgedruckt worden. Diese sollte richtig heissen: «Ansprache, gehalten an der Jahresversammlung des SEV und VSE vom 7. September 1969 in St. Gallen.»