Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 39 (1948)

Heft: 8

Artikel: Résultats obtenus en France par l'emploi des textiles de verre dans la construction électrotechnique

Autor: Nouvion, F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1059268

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: 01.10.2025

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

Pour conclure on peut dire que le matériau nouveau mis à la disposition de l'industrie se présente sous la forme d'un textile résistant aux hautes températures et aux acides, incombustible, non hygroscopique, stable, de faible encombrement et possédant de remarquables qualités de tenacité; en outre, sa résistance à l'abrasion est normale dès qu'il est imprégné. Ses qualités électriques sont bonnes, et utilisé conjointement avec un imprégnant adéquat, conserve à celui-ci la totalité de ces qualités électriques propres, tout en permettant de porter la température d'emploi de l'isolant ainsi créé, au maximum de celle que peut supporter l'imprégnant, tout en conservant les qualités mécaniques du textile de verre.

Il en résulte que la température d'emploi du textile de verre est limitée par celle de l'imprégnant, et c'est la collaboration du verrier, du chimiste et de l'électricien qui mettra en définitive à la disposition de l'industrie un isolant nouveau permettant, avec un faible encombrement, d'admettre des températures de régime et des surcharges momentanées supérieures à celles pratiquées avec les isolants textiles classiques utilisés jusqu'ici.

Adresse de l'auteur:
J. Gaulis, administrateur-délégué de la S. A. Fibre de Verre, 2, chemin de Magnolias, Lausanne.

Résultats obtenus en France par l'emploi des textiles de verre dans la construction électrotechnique

Conférence présentée à la journée de la technique des isolants, organisée par l'ASE le 24 avril 1947, à Zurich,

par *F. Nouvion, Paris*

621.315.612.6

Seit dem Auftauchen der Glasseide als Isoliermaterial in Frankreich im Jahre 1938 beschäftigten sich die Französischen Staatsbahnen (SNCF) mit diesem neuen Produkt. Der zweite Weltkrieg verunmöglichte einerseits systematische Versuche, anderseits aber zwang er dazu, die Möglichkeit der Verwendung jedes brauchbaren Isoliermittels zu versuchen. Die Ergebnisse dieser Versuche unter ungünstigsten Voraussetzungen werden dargelegt und die daraus für den Betrieb der SNCF gezogenen Folgerungen genannt. Es ergibt sich, dass imprägnierte Glasseide für bestimmte Fälle sehr vorteilhaft ist, während für andere Fälle nach wie vor die Glimmerprodukte (Glimmerseide, Micanite) vorgezogen werden.

La Société Nationale des Chemins de fer Français (SNCF) s'est intéressée au nouvel isolant que constitue la soie de verre, dès son apparition en France en 1938. La deuxième guerre mondiale a empêché d'effectuer des essais systématiques; elle a par contre forcé d'essayer chaque matière isolante utilisable. L'auteur expose les résultats de ces essais effectués dans des conditions très défavorables, ainsi que les conséquences qui en ont résulté pour l'exploitation de la SNCF. L'expérience a démontré que la soie de verre imprégnée est très avantageuse dans certains cas, tandis que dans d'autres cas les produits à base de mica sont préférables.

Généralités

L'apparition comme isolants de produits à base de soie de verre eut lieu en France fin 1938.

Dès cette époque, la Société Nationale des Chemins de fer Français (SNCF) s'intéressa à ce matériau qu'elle considéra non comme un «Ersatz» mais comme un produit nouveau susceptible d'atténuer certains défauts des isolants de bobinage des moteurs électriques: irrégularité d'épaisseur, tenue médiocre à la température, mauvaise conductibilité thermique.

Les produits à base de verre livrés à cette époque se caractérisaient par une résistance mécanique insuffisante due à un tissage trop lâche et par une épaisseur trop élevée. Le canevas de verre était prépondérant dans les rubans micacés, à l'épaisseur égale, où il y avait moins de couches de mica que dans les produits courants. C'est ainsi qu'un ruban de verre mica de $^{13}/_{100}$ présentait une rigidité diélectrique environ trois fois plus petite qu'un ruban soie mica de même épaisseur.

La SNCF n'en avait pas moins décidé après quelques essais préliminaires, de rebobiner 10 moteurs de traction avec des produits à base de verre. Cette décision ne fut pas suivie d'effet; la guerre fit remettre à plus tard les essais qui ne présentaient pas un caractère d'impérieuse nécessité.

Fin 1940, à la suite de réquisitions massives des allemands, et de la suppression des importations de mica qui en tout état de cause n'auraient rien apporté à l'économie française, nous ne possédions pratiquement plus de mica du moins officiellement.

En réalité, la situation était un peu moins mauvaise car chacun s'était ingénié à dissimuler aux yeux étrangers autant qu'il le pouvait; par ailleurs, la récupération du mica des moteurs débobinés permit par des ententes directes entre utilisateurs et fabricants, en marge des réglementations en vigueur, la confection de certains produits.

Pour remplacer le mica, nous nous sommes surtout attachés à trouver une solution d'avenir à appliquer au moment opportun. Aussi avons-nous été pendant l'occupation extrêmement audacieux dans les essais de produits les plus divers. Nous ne parlerons ici que de ceux exécutés sur le verre.

Avant la guerre, nous ne recherchions dans le verre que des qualités de support incombustible: bon conducteur de la chaleur et mécaniquement résistant; fin 1940, il fallait par surcroît remplacer le rôle isolant du mica.

Il faut reconnaître que le problème posé était particulièrement difficile à résoudre.

Il s'agissait en effet de rebobiner des moteurs de traction sans en altérer les caractéristiques de fonctionnement. Or, la puissance de ces moteurs est définie pour une élévation de température de 120 °C au-dessus de l'ambiante mesurée par variation de résistance et extrapolation de la courbe de refroidissement. En service la charge moyenne des trains de marchandises sur l'ensemble du Réseau Français,

remorquée par les locomotives du type BB de 72 t à 80 t atteint 800 t. En rampe de 5 ‰ les charges de 1300 t sont choses courantes.

En outre, la presque totalité des moteurs de traction de la SNCF est seulement suspendue par le nez et il n'existe aucune élasticité dans la transmission de l'effort moteur. Avec ces dispositions, les vitesses pratiquées en service, atteignent journellement 105 km/h pour les locomotives et 120 km/h pour les automotrices, pour bon nombre d'engins c'est dire la violence des chocs auxquels doivent résister les bobinages, surtout au passage des joints de rails et cela particulièrement lorsque la voie n'est plus entretenue correctement comme ce fut le cas pendant la guerre.

Enfin de très nombreux moteurs, tous ceux d'automotrices notamment, sont refroidis par autoventilation avec prise d'air directe sous la caisse du véhicule. Ils sont donc appelés à tourner dans des atmosphères poussiéreuse, neigeuse, humide ou sèche suivant les jours de l'année.

Au point de vue tension d'utilisation, à part les moteurs 750 V de la banlieue Ouest, l'alimentation de nos caténaires est faite sous 1500 V et nous imposons un essai de rigidité à 6000 V pour notre matériel neuf.

Avant la guerre, on résolvait le problème du bobinage par l'emploi de produits à base de mica réalisant une isolation de la classe B que l'on qualifie sans doute un peu rapidement, d'incombustible.

Nous utilisons dans la réparation les principaux produits suivants (tableau I):

Principaux produits isolants utilisés dans la réparation aux ateliers de la SNCF

Tableau I

Epaisseur mm	Désignation	Tolérance sur l'épaisseur mm	Matière combustible %	Pertes d'épaiss. après calcination %	Résistance mécanique kg/cm²	Rigidité moyenne kV	Rigidité après pliage (180° avec poids 2 kg) kV
0,07	Soie mica	0,03	50	50	2,5	3,5	2
0,10	Soie mica	0,04	40	30	3	4,5	2,5
0,13	Soie mica	0,04	30	25	3,5	6	3,5
0,20	Toile mica papier	0,05	70	75	5	2	1,5
0,20	Micafolium	0,05	50	40	4	4,5	2,5

L'enrubannage final de nos sections était réalisé par du ruban d'amiante dont la teneur en matières combustibles oscillait autour de 12 %.

L'isolation des collecteurs était évidemment faite avec des produits à haute teneur de mica.

L'imprégnation des induits se faisait au vernis gras sous vide et pression.

Sur le poids total des isolants employés dans un induit de moteur de traction, les matières combustibles représentent plus de 50 %. Si l'on veut bien noter qu'à partir de 120 °C environ ces matières se disqualifient rapidement, papier et soie d'ailleurs avant les vernis, on se rend compte à quel point l'expression «isolation incombustible» est peu justifiée.

Ces constatations ont orienté le choix des produits de remplacement du mica.

On sait que les rubans et tissus de verre se présentent sous la forme d'un canevas dont il faut boucher les interstices à l'aide d'un vernis pour constituer un film continu jouant le rôle du «mur» présenté par les splittings de mica.

Pour ce vernis on pouvait soit porter son choix sur des produits de même nature que ceux utilisés dans l'isolation mica, soit sur des vernis synthétiques résistant mieux à la chaleur.

Des essais rapides nous ont fait renoncer provisoirement à cette dernière solution.

A l'origine, les rubans «imprégnés» — mot certes quelque peu impropre lorsqu'on parle de verre — à l'aide de résines synthétiques n'étaient pas au point, le vernis utilisé sec et cassant emprisonnait les fibres de verre en un bloc solide, les obligeant à travailler solidairement, un pli franc coupait le ruban.

L'emploi de ces mêmes vernis à l'état non stabilisé s'avérait également difficile car le ruban supportait très mal les compressions locales, le vernis étant expulsé. L'obtention de bobinages constitués par des blocs rigides aussi indispensables pour bien évacuer la chaleur que pour résister aux efforts et trépidations mécaniques s'avérait irréalisable.

En outre, il apparaissait inutile d'accroître des difficultés déjà importantes en recherchant des isolants résistant mieux à la chaleur dans leur ensemble que les produits micacés.

Cette résistance à la chaleur que l'on prônait si souvent, avant guerre, pour l'isolation des moteurs de traction, était-elle vraiment la donnée fondamentale du problème à résoudre?

On pouvait en douter simplement en songeant au pourcentage élevé en matières combustibles de nos isolants; ce doute se transforma en certitude par un examen attentif des moteurs avariés. On constata sur ceux bobinés il y a plus de 20 ans ayant assuré de très longs services en ligne dépassant largement 1 million de km qu'à côté du mica subsistent toujours papier, coton, soie et vernis devenus très fragiles certes, mais conservant leurs places et n'ayant pratiquement pas diminué d'épaisseur. Le travail à l'abri de l'oxygène de l'air préserve les matières les plus délicates.

Ainsi est réduit à néant le slogan: «En service tous les isolants disparaissent sauf le mica qui constitue un isolement incombustible».

On peut se demander d'ailleurs comment un moteur vidé d'au moins 50 % du poids de ses isolants qui enregistrent de ce fait des pertes d'épaisseurs pouvant atteindre 75 %, pourrait fonctionner ne fut-ce que quelques minutes dans les conditions que nous avons indiquées précédemment.

Par ailleurs, nous avons effectué des relevés de températures en service sur un certain nombre de trains réputés *difficiles*. Les résultats sont consignés dans la fig. 1.

On peut constater que les températures dépassant 120° sont exceptionnelles. Tenant compte des températures ambiantes des jours les plus chauds on peut estimer que 160 à 180 °C constituent des maxima

rarement atteints et seulement pendant des temps très courts.

Tous ces motifs nous ont conduits à l'origine à porter notre choix sur des rubans de verre imprégnés de vernis gras ordinaires mais qui résistent mieux à la chaleur que soie et papier supports de nos anciens produits (130 à 140 °C contre 120 °C environ).

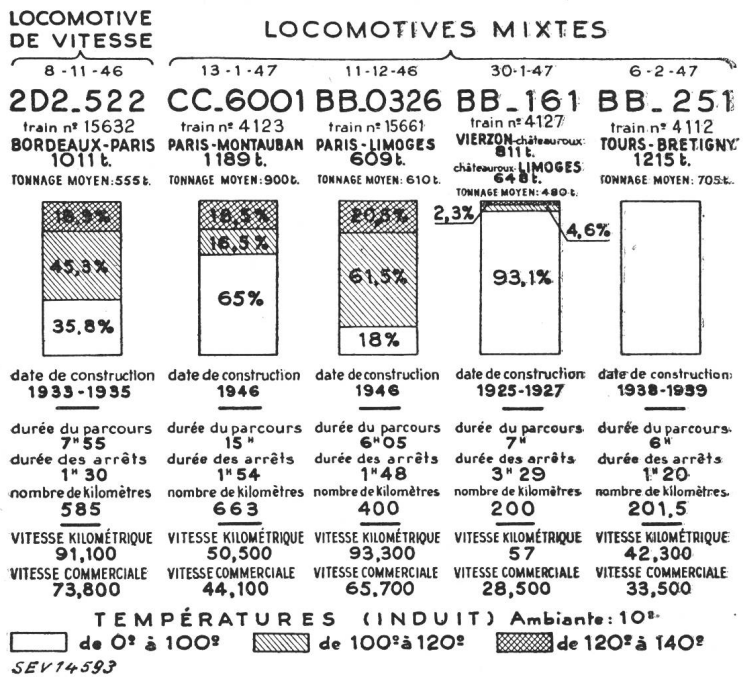

Fig. 1
Températures relevées en service sur la SNCF

C'est sur ces données que furent livrés nos premiers isolants à base de verre.

En tant que produits à l'état naturel, que donnaient-ils par rapport aux isolants micacés?

Nous nous bornerons à comparer rubans soie mica et rubans verre imprégnés vendus en France sous les dénominations de Vétronite et de Vétric.

Les premiers rubans que nous avons utilisés avaient une épaisseur moyenne de 0,12 mm. Le pourcentage des matières combustibles atteignait 58 % environ contre 30 % avec le mica. La rigidité diélectrique était réduite d'environ 60 %.

Avant de préciser les endroits où le verre a été le plus souvent utilisé, nous dirons quelques mots sur les essais que nous avons effectués sur chaque partie d'induit.

Essais exécutés

1° Isolation des conducteurs unitaires

Nous avons reconnu indispensable de recouvrir le cuivre nu d'une couche de vernis gras pour obtenir une bonne adhérence de l'isolant et constituer un matelas un peu élastique pour les pressages à chaud et à froid. Il fallait en quelque sorte remplacer l'effet du support textile ou papier. Les rubans vétronite ont été enrubannés à 1/2 recouvrement sur les conducteurs unitaires sauf sur quelques centimètres aux extrémités, isolées elles, soit par du ruban micacé, soit par du ruban de verre non imprégné dénommé vétrotex. La soudure au collecteur d'une part, le brasage à l'argent à l'arrière des deux plans de bobinage d'autre part, échauffent les extrémités des barres à un point tel que le vernis de la vétronite se carbonise. C'est pour faire écran à la chaleur ainsi dégagée qu'avant guerre nous plaçions un cordonnet d'amiante juste au seuil de la partie soudée ou brasée. Ce cordonnet d'amiante a été remplacé par du verre. Comme pour les rubans micacés, nous avons exécuté des pressages à chaud et à froid des conducteurs unitaires pour obtenir une adhérence parfaite des isolants sur le cuivre. La température de nos moules de pressage à chaud est d'environ 140 °C. Nous avons dû particulièrement à l'origine utiliser des pressions moins fortes qu'avec le mica, pour éviter des détériorations importantes du ruban à la pliure. Avec les rubans employés au début nous avions une dispersion importante de tensions de claquage. Depuis, les choses se sont considérablement améliorées. Nous verrons pourquoi plus loin.

2° Isolation de la section

Les éléments constituant la section sont d'abord rassemblés, pressés à chaud et à froid. Ceci pour toujours partir d'un corps ayant une figure géométrique bien définie. Cette opération faite, on vernit la section surtout au sommet des conducteurs tant pour boucher les légers intervalles d'air entre conducteurs, que pour remédier aux pertes d'isolation à la pliure des rubans. Puis on enrubanne comme pour les conducteurs avec de la vétronite à 1/2 recouvrement. On presse à chaud et à froid. On réalise ensuite l'isolement à la masse. Nous avons essayé les procédés suivants:

gaine en: vétronite en feuilles de 0,18 mm d'épaisseur,
gaine en: ruban vétronite de 0,12 mm placé à 1/2 recouvrement,
gaine en: papier imprégné.

Seuls les deux derniers procédés ont fourni des résultats acceptables. Nous n'avons jamais réussi à faire des gaines homogènes, compactes, et sans pli avec de la vétronite en feuilles sans du moins y intercaler du papier.

Le tableau II illustre les résultats obtenus:

Tensions de claquage de différents produits isolants

Tableau II

Produits employés pour l'isolement de la section		Tensions de claquage	
Enrubannage	Gainage d'épaisseur moyenne 0,8 mm	Entre éléments V	A la masse V
Ruban soie-mica	Micafolium	6 500	38 000
Rub. Vétronite (épais. 0,12 mm)	Vétronite feuille (épais. 0,18 mm)	1 500	5 500
Rub. Vétronite (épais. 0,12 mm)	Ruban Vétronite (épais. 0,12 mm)	1 500	14 000
Rub. Vétronite (épais. 0,12 mm)	Papier imprégné	1 500	12 400

3° Enrubannage final des sections

L'amiante peut être remplacée par du ruban vétrotex.

4° Isolation des armatures d'induit, entre-plans de bobinage et sous-frette

Les toiles de verre imprégnées remplacent les isolations en toile mica ou en micanite.

5° Pièces moulées en verre

a) Garde-arrières d'induits

Le tissu de verre bakélisé remplace avantageusement les gardes en micanite, car il reste indéformable.

b) Cônes de collecteur

Nous n'avons enregistré que des échecs. Toutes les pièces réalisées étaient cassantes et incapables de supporter des efforts mécaniques.

6° Entre-lames de collecteurs

Là aussi les résultats n'ont pas été concluants en ce qui concerne du moins les moteurs de traction. Au début les lames étaient constituées seulement de soie de verre; le fraisage pour mise à épaisseur provoquait des court-circuits. Une amélioration fut apportée par l'utilisation de verrane imprégnée recouverte d'un papier sur les deux faces et dont la tranche était surchargée de résine. La mise à épaisseur de la lame se faisait par fraisage des papiers. Nous avons ainsi monté un collecteur, mais il a été avarié après un faible parcours. Le produit a finalement été abandonné. Les étincelles qui peuvent se produire à certains moments de la commutation font fondre le verre et engendrent de véritables cratères.

7° Imprégnation

On a pu lire, à un certain moment dans la Presse Technique, que les isolants à base de verre permettaient de supprimer l'imprégnation. Nos expériences nous conduisent, au moins pour les moteurs de traction, à un avis diamétralement opposé. Nous estimons l'imprégnation indispensable; en plus du rôle normal qu'elle joue et qui est d'ailleurs très renforcé dans l'emploi du verre, elle constitue en quelque sorte un matelas élastique et permet au verre de mieux supporter les vibrations en service.

Dans quelle mesure avons-nous utilisé toutes ces possibilités offertes par le verre?

Pendant l'occupation, nous avons été très loin dans la diversité des applications; nous voulions fixer notre doctrine d'isolation pour les lendemains de la Libération.

Depuis cette dernière, dans des conditions matérielles meilleures, un climat psychologique transformé, nous avons pu, grâce à notre expérience, mettre le verre là où il le faut, le proscrire là où il ne convient pas.

Compte tenu, par ailleurs, de notre stock de mica récupéré, nous avons seulement utilisé le verre à grande échelle en remplacement des rubans micacés.

Depuis la guerre, une évolution favorable s'est manifestée dans nos isolants de verre.

Très rapidement, nous avons éliminé les rubans droit fil, qui, à l'enrubannage à 1/2 recouvrement, provoquent des plis en raison des tensions différentes des fibres de verre, pour n'utiliser que des rubans diagonales à hélice inclinée de 20 °.

Précisons à ce propos que tous les rubans imprégnés que nous utilisons proviennent d'un découpage du tissu de verre et non de l'imprégnation proprement dite dont les liserets gênent après imprégnation l'obtention du 1/2 recouvrement. Après avoir essayé des rubans de différentes largeurs, nous avons adopté 15 mm pour l'enrubannage de nos conducteurs unitaires dont les sections sont d'environ 20×2 mm.

En outre, nous avons réclamé le tissu à canevas le plus serré possible car le vernis y est plus facilement emprisonné et conservé que dans les tissus à canevas plus grossier. Il est certain que de très gros progrès ont été faits dans cette voie et que l'on tend à se rapprocher de ce que nous considérerions comme l'idéal: le film de verre. Le vernis constituant le produit inférieur des rubans vétronite, il importe évidemment de n'en mettre que la quantité la plus faible possible nécessaire pour obtenir un ruban sans manque d'isolation. Mais dans cette voie, il faut réaliser un certain compromis. En effet, c'est le vernis qui permet d'obtenir une bonne rigidité diélectrique. Par ailleurs si on veut un ruban souple, un support fin est préférable. En un mot, le ruban le plus facile à enrubanner et qui présente la meilleure rigidité diélectrique est celui qui est le plus vulnérable à la chaleur. Pratiquement, nous limitons à 0,02 ou 0,03 mm la surépaisseur provoquée par l'imprégnation à partir d'un ruban nu. C'est dire que pour un ruban vétronite de 0,10 mm on part d'un tissu de verre de 0,07 à 0,08 mm. Toutefois, pour des rubans vétronite de 0,05 mm on limite à 0,015 mm la surépaisseur de vernis.

En résumé, nous n'avons pas voulu adopter de produits qui semblent meilleurs lorsqu'on les considère à l'état brut alors que c'est exactement l'inverse en service.

En ce qui concerne les vernis d'imprégnation nous avons adopté à l'origine des vernis gras, puis nous avons évolué. D'une part, la rareté des huiles, la disparition de celle de bois de Chine notamment, ont appauvri considérablement les vernis qui ne présentaient plus que peu de souplesse. D'autre part, nous avons recherché progressivement des produits résistant mieux à la chaleur. Ce sont les vernis phénoliques gras dont la mise au point a demandé pas mal d'efforts par suite de la disparition de certaines huiles et de l'étude qu'a entraînée leur remplacement, qui nous ont donné les meilleurs résultats.

Finalement, on peut dresser le tableau III des comparaisons des rubans de verre imprégné utilisés à l'origine et maintenant.

Comparaison des rubans de verre imprégné utilisés à l'origine et actuellement

Tableau III

Produit	Tension de claquage au 0,01 mm V	Tensions moyennes de claquage entre éléments après bobinage V	Souplesse	Matières combustibles %
Vétronite 1941	300	1500	Mauvaise; ruban cassant	587
Vétronite 1947 coupée biais	550	2500	Bonne	40

La comparaison des caractéristiques du ruban vétronite actuel et du ruban soie mica donne les chiffres du tableau IV.

Caractéristiques des rubans vétronite actuels et du ruban soie mica

Tableau IV

Epaisseur mm	Désignation	Tolérance sur l'épaisseur mm	Matières combustibles %	Pertes d'épaiss. après calcination %	Résistance mécanique kg/cm²	Rigidité moyenne kV	Rigidité après pliage (180° avec poids 2 kg) kV
0,10	Soie mica	0,04	40	30	3	4,5	2,5
0,10	Vétronite	0,02	40	30	10	5,5	1...2

On voit que les pourcentages des matières combustibles et les pertes d'épaisseurs sont les mêmes, que la résistance mécanique est meilleure pour le ruban de vétronite, que la rigidité diélectrique sensiblement égale dans les deux cas pour les produits bruts, devient nettement plus mauvaise pour le ruban vétronite après pliage à 180 °C, après passage d'un cylindre de 2 kg. On peut regretter à ce propos que les tests de comparaison des isolants soient par trop éloignés de la réalité. Il est certain que le mode d'évaluation des rigidités après pliage fournit des résultats meilleurs que ceux que l'on enregistre en pratique. Dans ce dernier cas, le pli est maintenu et les chiffres donnés par le tableau sont donc trop optimistes pour les deux produits.

Résultats obtenus

Nous avons employé plus de 8 t de verre pour rebobiner un grand nombre de moteurs de traction, la plupart d'entre eux après la Libération.

Il est incontestable qu'on ne pouvait concevoir une application plus sévère pour un produit nouveau que celle que nous avons réalisée.

Quelle a été la vie en service des moteurs isolés au verre?

Il est impossible de répondre à cette question posée isolément, en un mot de juger la valeur absolue de l'isolation au verre. Trop de facteurs sont intervenus dans les très nombreuses avaries de moteurs de traction pendant la guerre.

Certaines d'entre elles ont été provoquées volontairement. D'autres ont eu pour cause un relâchement bien compréhensible dans l'entretien courant. Les soucis absorbants de la vie quotidienne, l'emploi — hélas! — forcé d'un personnel non formé, ont évidemment diminué la qualité moyenne de notre main-d'œuvre. Par ailleurs, nous avons dû employer du cuivre récupéré pour constituer les nouveaux bobinages avec tous les aléas qu'une semblable pratique entraîne. Les produits étaient, comme nous l'avons dit, de qualité extrêmement variable, très défectueuse par moments.

Enfin l'état des voies laissait grandement à désirer et on sait toute l'importance de cette question dans la tenue des moteurs suspendus par le nez. On jugera combien cet état de choses a été encore aggravé quand nous dirons que faute de ressorts nous avons dû faire circuler de nombreux moteurs dont les matelas élastiques de suspension étaient remplacés par des pièces de bois.

Pour tous ces motifs, nous comparerons seulement la tenue des moteurs isolés au verre avec celle de ceux rebobinés au mica pendant les mêmes années.

Cette comparaison est possible, car nous avons tenu avec notre stock clandestin à refaire des moteurs avec des produits sensiblement équivalents à ceux d'avant-guerre.

La comparaison est illustrée par le tableau V.

Relation des avaries des moteurs rebobinés au mica et au vétronite

Tableau V

		Types de moteurs		
		GE 276	GE 277	M 1
Avaries des moteurs rebobinés	$\frac{\text{Mica}}{\text{Vetronite}}$	0,94	1,4	0,75

On voit qu'en moyenne les avaries ont été les mêmes que les moteurs soient isolés à la vétronite ou au mica.

Sur les moteurs avariés nous avons procédé à un examen soigneux des sections retirées.

Tout d'abord les difficultés de démontage sont du même ordre que pour les sections isolées au mica. On a enregistré absolument aucune perte d'épaisseur. L'isolement est aussi compact qu'on pouvait le souhaiter. L'adhérence de l'isolement sur le cuivre et entre couches est parfaite. Jamais nous n'avons constaté, comme on pouvait le craindre, une pulvérisation du verre. Nous avons procédé à des essais de rigidité diélectrique entre éléments de sections. Sur un induit bobiné en décembre 1942 pour l'ensemble des sections, nous avons trouvé une moyenne de 1250 V comme tension de claquage à froid. Sur des moteurs plus récents, cette moyenne a été de 2500 et même 3000 V. Sur des moteurs bobinés avant guerre à la soie mica la moyenne de claquage se situe aux environs de 3700 V.

Conclusions de notre expérience d'emploi du verre

Les induits au verre ont tenu aussi bien que ceux isolés au mica bien que la marge de sécurité électrique y soit beaucoup plus réduite. Ceci montre bien que cette question ne constitue pas au point de vue traction, au moins en ce qui concerne les moteurs suspendus par le nez, le point crucial du problème.

Ce dernier réside dans la tenue mécanique des bobinages qui doivent former un bloc et éviter ainsi les usures par blessure ou frottement. Pour y parvenir il est incontestable que la main-d'œuvre et la facilité d'emploi des produits utilisés ont une part prépondérante. Dans les qualités qu'on peut réclamer des isolants: résistance à la chaleur, rigidité diélectrique, résistance mécanique, souplesse, adhérence, il faut classer nettement en tête les trois dernières. Or, les isolants à base de verre, l'expérience l'a prouvé, répondent bien à un tel programme.

Position actuelle de la SNCF en matière d'isolation des moteurs de traction

Nous sommes heureusement revenus à une époque où on peut exprimer des préférences. La SNCF qui, rappelons-le, ne considérait pas à l'origine la soie de verre comme un produit de remplacement, ne prétend pas non plus en faire un produit universel capable de résoudre tous les problèmes d'isolation.

Dans l'état actuel des choses, nous désirons à nouveau utiliser le mica pour profiter des qualités essentielles de ce produit: incombustibilité, pouvoir diélectrique élevé, hygroscopicité quasi nulle.

Mais nous voulons l'employer maintenant, associé au verre, pour obtenir des isolements dont la vie sera plus longue que ceux d'avant guerre. Notre désir est d'en finir avec les produits associant d'une part le mica et d'autre part le papier, la soie ou le coton.

Ces produits qui ont toujours constitué un paradoxe doivent en quelque sorte disparaître. Si le mica est nécessaire, il ne faut pas l'associer avec des corps résistant aussi peu à la chaleur que les isolants classe A.

Il ne semble pas que la question du prix doive intervenir au moins en France, pour le choix des isolants. Les rubans soie mica sont à l'heure actuelle légèrement plus chers que les rubans verre mica.

Nous allons indiquer maintenant l'ordre de préférence de la SNCF en matières d'isolants suivant les disponibilités du marché.

Isolation des conducteurs unitaires ruban vétro mica, soie mica, papier mica papier, vétronite

L'enrubannage du vétro mica sur les conducteurs unitaires a causé au début quelques difficultés car l'adhérence des splittings de mica était insuffisante. L'ensimage des fils de verre s'opposait à un collage correct.

La question a été résolue en chauffant les tissus de verre avant fabrication à 300 °C. Par ailleurs pour faciliter l'enrubannage il faut, avant emploi, amollir les rubans dans des vapeurs de benzol.

Entre soie mica et papier mica papier, la préférence va actuellement nettement à la soie mica, bien qu'elle soit peut-être moins résistante à la chaleur, mais nous ne disposons pas pour le moment de bon papier Japon ce qui rend nos rubans papier mica papier insuffisamment solides.

En ce qui concerne la soie de verre nous manifestons une légère préférence pour les produits imprégnés de vernis phénoliques gras en raison de leur meilleure tenue à la chaleur, 160 °C environ contre 130 °C pour les vernis gras ordinaires, bien que la souplesse de ces derniers soit incontestablement supérieure.

Isolation à la masse

Nous préférons l'isolement obtenu par couches successives d'enrubannages à 1/2 recouvrement à une gaine en micafolium.

L'isolement est plus flexible, la rigidité diélectrique plus grande, la résistance à la chaleur meilleure, et on évite enfin une solution de continuité dans l'isolement. Il y a toujours un point faible au sortir de la gaine qui joue en quelque sorte le rôle d'un encastrement pour les sections. Une partie des avantages que nous venons de citer provient de la quantité notablement plus grande de mica existant dans un isolement fait par enrubannage par rapport à celui réalisé au micafolium.

Pour l'enrubannage, nous classons les produits dans le même ordre que précédemment. Signalons à ce propos que nous estimons nécessaire de faire maintenant les pressages à chaud et à froid dans un même moule sans faire baisser la pression de serrage en passant du chauffage au refroidissement.

L'expérience a montré que le foisonnement est moins grand qu'en opérant dans des moules différents. On gagne donc de la place et de la robustesse d'isolants. Le chauffage des moules se fera par induction, ce qui évitera des variations brutales de température.

Par ailleurs, nous estimons que les moules ainsi constitués doivent également assurer des pressages dans tous les plans sur les développantes des sections. Ceci permet d'obtenir des sections se rapprochant davantage encore des pièces mécaniques de celles que nous réalisions il y a quelques années. Cette manière d'opérer exige que lors de la mise en place des sections sur l'induit on réchauffe les sections aux environs de 60 °C de manière à leur redonner un peu de souplesse pour la mise au collecteur.

Protection extérieure de la section

Nous hésitons entre ruban vétronite et vétrotex. Bien qu'il s'agisse d'une simple protection mécanique, l'isolement de la section étant obtenu par ailleurs, il n'est cependant pas sans intérêt d'utiliser le meilleur isolant possible. Or, le ruban imprégné donne à ce point de vue de meilleurs résultats que le tissu de verre imprégné après pose sur la section. Les rubans vétronite doivent cependant avoir, pour présenter une résistance mécanique convenable, une épaisseur d'au moins 0,12 mm. Bien que provenant d'un tissu coupé en biais le produit ainsi obtenu est un peu moins souple que le ruban vétrotex. C'est pourquoi notre choix n'est pas définitif. En tout cas nous classons nettement derrière ces deux produits, le ruban d'amiante en raison de son manque d'homogénéité des impuretés qu'il contient, de la facilité avec laquelle il absorbe l'eau, de son manque de résistance mécanique à la traction et de sa trop grande épaisseur. On peut employer la place d'une manière plus utile bien qu'on doive reconnaître à l'amiante l'avantage de permettre des moulages de sections

alors que c'est impossible avec le verre non imprégné sans détériorer d'une manière inadmissible le tissu à chaque angle.

Pour les isolements entre plans de bobinages, nous classons en tête le vétro mica papier, puis les toiles mica papier et micanite sur un pied d'égalité.

Voici, à titre d'indication, les caractéristiques comparées de quelques produits que nous avons essayés ou utilisés jusqu'à ce jour (tableau VI).

Tableau VI

Epaisseur mm	Désignation	Tolérance sur l'épaiss. mm	Matière combustible %	Pertes d'épaiss. après calcination %	Résistance mécanique kg/cm²	Rigidité moyenne kV	Rigidité après pliage (180° avec poids 2 kg) kV
0,10	Soie mica	0,04	40	30	3	4,5	2,5
	Silicone mica	0,04	15	négligeable	6	4,5	2
	Vétronite	0,02	40	30	10	5,5	1...2
0,20	Toile mica papier	0,05	70	75	5	2	1,5
	Vétro mica papier	0,05	15 à 20	10 à 15	10	6	2,5
	Micafolium	0,05	50	40	4	4,5	2,5

Imprégnation

Nous nous orientons vers l'utilisation de vernis phénoliques gras mais comportant une quantité importante d'huile de lin.

Ceci nous conduit à prendre pour la polymérisation du vernis un certain nombre de précautions: essorage, égouttage en atmosphère saturée, etc., pour éviter les poches de vernis.

Le vernis phénolique gras semble préférable au vernis gras ordinaire. D'une part il résiste mieux à la chaleur, on peut aller jusqu'à 160 °C, d'autre part, il a un meilleur pouvoir agglomérant, c'est un liant plus complet qui forme un ciment souple qui tolère les dilatations différentielles du cuivre et du fer.

Il est bien entendu que pour les cônes et entre-lames de collecteurs nous nous en tenons au mica.

La SNCF applique, ou se prépare à appliquer, tout ce que nous venons de dire, au matériel qu'elle répare dans ses ateliers. En ce qui concerne le matériel neuf, la situation se présente de manière un peu différente.

La SNCF a, au lendemain de la Libération de la France, commandé des séries importantes de locomotives. Les moteurs de ces dernières ont été conçus avec des produits micacés ordinaires.

Les constructeurs français, ne possédant pas l'expérience de la SNCF sur l'emploi de la soie de verre, sont peu enclins, alors qu'on les harcèle pour des livraisons rapides, à une reprise de leurs fabrications dans des conditions différentes de celles d'avant-guerre.

La SNCF qui a grand besoin de locomotives neuves, ne veut pas heurter de front cette position de prudence bien compréhensible.

Cependant, dans les circonstances actuelles, la soie naturelle, et le ruban d'amiante sont plus difficiles à trouver en France que la soie de verre.

Aussi, une vingtaine de moteurs de traction, équipant une fin de série de locomotives BB en cours de terminaison, sont partiellement bobinés avec du verre.

Pour les moteurs à livrer l'année prochaine, le remplacement des supports de soie ou papier par du verre est admis, sous réserve d'avoir en quantité suffisante des tissus de verre de 0,03 mm au maximum, permettant de réaliser des rubans vétro mica de 0,07 mm et de la vétronite de 0,05 mm.

La SNCF a appliqué le verre à d'autres usages que ceux dont nous venons de parler, parmi les principaux citons:

Le guipage des fils de bobinage;
l'isolation des tiges de résistances de traction au verre imprégné de vernis synthétiques, près de 1000 caisses ont été ainsi traitées.

Les résultats sont excellents.

Là aussi nous commençons à associer verre et mica pour réalier un produit nettement supérieur à celui d'avant-guerre.

Adresse de l'auteur:
F. Nouvion, ingénieur principal à la Société Nationale des Chemins de fer Français (SNCF), 41, Bd. de la Gare, Paris 13e.

Einige Eindrücke aus Amerika

Vortrag, gehalten an der Isolationstagung des SEV vom 24. April 1947 in Zürich,
von *H. Tschudi*, Rapperswil

338 : 621.3 (73)

Der Verfasser erzählt von Eindrücken und Beobachtungen, die er anfangs 1946 auf einer Reise durch die Vereinigten Staaten sammelte. Ausgehend vom Einfluss, den die Kriegsrüstung auf die industrielle Tätigkeit Amerikas ausübte, betrachtet er im besonderen die Neuerungen auf dem Gebiet der Isoliertechnik und schliesst mit interessanten Hinweisen auf die Rückkehr zur Friedensproduktion.

L'auteur raconte quelques impressions et observations qu'il a remportées d'un voyage au début de l'année 1946 à travers les Etats-Unis. Parlant de l'influence qu'exerçait l'armement sur l'activité industrielle américaine, il considère en particulier les nouveautés dans le domaine de la technique des isolants et conclut avec d'intéressantes indications sur le retour à la production en temps de paix.

1

Während der 5 Kriegsjahre 1941...1945 war unser Land fast ganz von der übrigen Welt abgeschlossen. Wir erlebten nur als Zuschauer die Resultate der neuesten Entwicklung des Luftkrieges, die Landung grosser, reichlich bis in alle Einzelheiten aufs modernste ausgerüsteter Armeen. Es war eine Invasion Amerikas auf unseren Kontinent. Die Wiederaufnahme der Verbindungen mit dem Ausland wurde zur Notwendigkeit. Was hat die Zeit des Weltkrieges in den USA Neues gebracht, was für Aenderungen auf dem Gebiete des elektrotechnischen Isolier-