



DISRUPTION DANS UN DIELECTRIQUE

On peut définir la rupture d'un isolant comme le commencement d'un état d'instabilité du courant. Il semble encore difficile à l'heure actuelle de donner une explication correcte et complète des faits qui provoquent cette instabilité. La rupture d'un diélectrique est essentiellement due à l'action des forces extérieures sur la structure moléculaire, laquelle est encore peu connue.

Miles Walker propose une théorie basée sur les pertes calorifiques des diélectriques. Bien que faibles à l'origine, ces pertes produisent une élévation de température qui favorise encore leur accroissement ; la quantité de chaleur qui peut être rayonnée augmente également. On peut donc atteindre soit un état d'équilibre, soit la destruction de l'isolant par la chaleur, si les pertes augmentent considérablement.

Si l'on considère la courbe (figure 45) de la variation de la tension

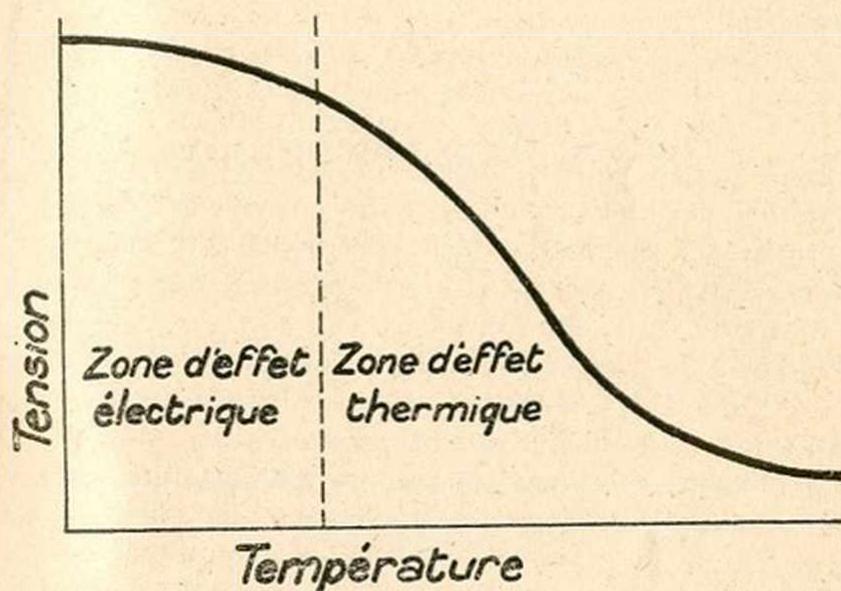


Fig. 45. — Variation de la tension de rupture en fonction de la température.

de rupture en fonction de la température, on y remarque deux zones. Dans la première, correspondant aux basses températures et appelée *zone d'effet électrique*, les phénomènes qui accompagnent la rupture sont :

Dépendance de la tension de rupture du courant maximum et de la forme du champ,

Faible action de la température,

Indépendance de la résistivité.

Dans la seconde zone, dite *d'effet thermique*, la température influence notablement sur la tension de rupture, laquelle varie avec la température, la durée et la résistivité.

K.-W. Wagner a exposé une théorie qui repose sur l'hétérogénéité

On détermine également la *résistance à la compression* et la *résistance aux chocs*, les isolants étant fréquemment soumis à de tels efforts.

b) **Dureté.** — La définition a été donnée dans l'étude des conducteurs électriques. Elle est valable pour les isolants ainsi que les différentes méthodes de mesure correspondantes.

c) **Flexibilité.** — Elle est caractérisée par la *résistance à la flexion*, laquelle est la composante des efforts mis en jeu au moment de la rupture d'un échantillon, dans des conditions d'essai déterminées, et rapportée à la section droite de cet échantillon, mesurée avant l'essai.

d) **Déformabilité.** — La déformabilité dépend surtout de la constitution chimique des isolants. Les uns sont pratiquement indéformables (produits céramiques); d'autres au contraire possèdent une certaine élasticité qui peut, en certains cas demeurer permanente : ce sont les produits plastiques.

e) **Facilités d'usinage et de moulage.** — Elles dépendent de nombreux facteurs : point de fusion, dureté superficielle, homogénéité, action des composants sur l'outillage, à froid et à chaud, état de formation pulvérulente, nature de la charge ou du liant...

C) PROPRIETES THERMIQUES.

a) **Résistance à la chaleur.** — Le comportement à la chaleur consiste à déterminer dans quelles conditions un échantillon, soumis à un certain effort de flexion atteint une flèche donnée, pour une certaine température appelée *degré de comportement* à la chaleur ou *degré Martens*. On détermine également la résistance à l'incandescence qui a pour but de caractériser l'effet destructif produit par une source de chaleur donnée, dans des conditions d'essais fixées.

b) **Conductibilité thermique.** — Voir définition dans l'étude des conducteurs.

c) **Résistance aux variations brusques de température.**

D) PROPRIETES CHIMIQUES.

a) **Teneur en impuretés.**

b) **Résistance à la lumière.**

c) **Absorption d'eau.**

d) **Résistance aux acides, bases et sels.**

e) **Résistance aux huiles.**

f) **Vieillessement.**

La mesure de ces qualités chimiques des isolants a fait l'objet d'une normalisation, Publication 46-1941, de l'Union Technique des Syndicats de l'Electricité, qui fixe dans quelles conditions doivent être réalisés les essais ainsi que les calculs auxquels conduisent les résultats.



CONDUCTIBILITE THERMIQUE DES DIELECTRIQUES SOLIDES

Une partie de la chaleur dégagée par effet Joule dans les machines, et appareils électriques doit être évacuée par les isolants; il est donc indispensable de connaître la valeur de la conductibilité thermique, surtout en ce qui concerne les diélectriques solides qui sont mauvais conducteurs de la chaleur. Néanmoins, ces valeurs, pour être pratiquement utilisables, doivent être établies suivant les conditions mêmes d'emploi de ces matériaux. Il faut tenir compte en particulier du degré de contact, de la pression mécanique, des températures, des échauffements répétés, du nombre de couches...

Rappelons qu'on dit qu'un corps a une *conductibilité thermique unité* quand il propage une quantité de chaleur de 1 calorie-gramme par seconde, à travers les côtés opposés d'un cube de un centimètre de côté, la différence de température entre ces deux faces étant de

	k
Acétate de cellulose	1,5 . 10 ⁻³
Amiante	2 . 10 ⁻³
Ardoise	15 . 10 ⁻³
Basalte	20 . 10 ⁻³
Béton (40 % de ciment)	1 . 10 ⁻³
Bois (perpendiculairement aux fibres)	
chêne	5,9 . 10 ⁻³
sapin	8,8 . 10 ⁻³
hêtre.	3 . 10 ⁻³
Caoutchouc	2 . 10 ⁻³
Caoutchouc vulcanisé	8,9 . 10 ⁻³
Carton	4,5 . 10 ⁻³
Cire d'abeilles	0,87 . 10 ⁻³
Coton comprimé	0,33 . 10 ⁻³
Ebonite	3,7 . 10 ⁻³
Fibre	1,3 . 10 ⁻³
Gutta-percha.	2 . 10 ⁻³
Lave	20 . 10 ⁻³
Marbre	22 . 10 ⁻³
Mycalex	6 . 10 ⁻³
Papier	1,5 . 10 ⁻³
Papier paraffiné.	0,7 à 1,5 . 10 ⁻³
Presspahn.	0,7 à 1,9 . 10 ⁻³
Paraffine	2 . 10 ⁻³
Porcelaine	10 . 10 ⁻³
Quartz	2,6 . 10 ⁻³
Soufre	6,3 . 10 ⁻³
Stéatite	2,6 . 10 ⁻³
Toile ordinaire	0,3 . 10 ⁻³
Toile vernissée.	2,1 . 10 ⁻³
Verre ordinaire	7,5 à 13 . 10 ⁻³



1° C. La conductibilité thermique se représente généralement par le symbole k .

Le tableau précédent donne la conductivité thermique des principaux isolants, exprimée en watts par degré centésimal, par centimètre et par centimètre carré.

En ce qui concerne la transmission de la chaleur dans les machines électriques, il est souvent plus commode d'exprimer la propriété ci-dessus en fonction de la *résistivité calorifique*, définie comme étant la différence de température, en degrés centigrades, nécessaire au transfert d'une énergie de un watt ou encore un joule par seconde ou encore de 0,24 calorie-gramme par seconde, entre les faces opposées

$$K = \frac{0,24}{k}$$

d'un cube de un centimètre de côté. On a donc alors :

Résultats d'essais concernant la conductibilité thermique de quelques isolants utilisés dans les machines électriques.

Substances	Epaisseur (mm)	Température moyenne (°C)	Résistivité thermique k
Fibre rouge	1,76	25	269
		44,7	268
		63	266
Fibre noire	2,21	31,7	427
		49,4	417
		70	422
Ebonite.	1,48	21,5	626
		35,4	616
		45,7	624
Micanite souple.	0,23	21,3	507
		27,9	445
		40,2	382
Micafolium	0,14	71	360
Mica-toile	0,265	61	590
Carton gris (leathéroïde).....	1,50	30,9	598
		38,3	600
		63,5	582
Presspahn glacé	1,69	32,8	457
		13	442
		51,4	412
Papier verni	1,49	21,1	373
		33,8	374
		47,5	378
Coton traité	1,94	30	348
		40,5	344
		52	575
Toile huilée jaune	0,19	52	575
Soie brute	0,05	48	1 680
Soie huilée.	0,12	51	577
		19,5	267
		29,8	262
Micanite pour collecteurs	0,78	29,8	262



Des essais systématiques ont été entrepris sur certains isolants solides, en particulier ceux utilisés dans la construction des machines électriques, essais tenant compte de l'épaisseur des isolants, de l'état de leur surface, de la pression auxquels ils sont soumis. Ces essais ont permis de démontrer que, pour une température constante, les résistivités thermiques diminuaient quand les pressions augmentaient et que, pour une même pression, elles diminuaient quand les températures augmentaient. Si, pour un échantillon donné, on recommençait l'essai à la température initiale, après celui à la température la plus élevée, la valeur de la résistivité thermique était la même. L'effet de la pression est d'autant plus prononcé que la surface de l'échantillon est plus rugueuse.

A titre d'exemple, le tableau précédent donne quelques valeurs des résistivités thermiques pour des isolants en simple épaisseur, soumis à une pression de 1,5 kilogramme par centimètre carré environ.

Ces essais ont été poursuivis en tenant compte de l'utilisation des produits mentionnés, en particulier dans les encoches des machines électriques, et il fut effectué une série d'essais sur des barres de dimensions normales isolées suivant les procédés usuels. Ces recherches permirent, en particulier, de déterminer les conditions de refroidissement des enroulements de turbo-alternateurs.

Si E est l'énergie dépensée pour maintenir une différence de température constante T , K la résistivité calorifique, S un facteur dépendant de la forme de la section et de la longueur des barres, on a :

$$E = \frac{S T}{K}$$

S : facteur de forme a pour expressions :

pour une section rectangulaire : $S = \left(\frac{2(b+c)}{t} + 2,2 \right) l$,

b et c : largeur et épaisseur de la barre.

l : longueur de la barre.

t : épaisseur de l'isolant.

pour une barre cylindrique : $S = 2 \pi l \log \frac{b}{a}$

t et a : diamètres extérieur et intérieur de la barre.

Les courbes représentées par la figure 47, traduisent les résultats obtenus avec des barres de cuivre isolées de plusieurs couches de mica-folium non pressées, d'une épaisseur de 2,05 millimètres.

- 1 - cas d'une petite barre rectangulaire;
- 2 - cas d'une grande barre rectangulaire;
- 3 - cas d'une petite barre rectangulaire après un premier chauffage;
- 4 - cas d'une barre cylindrique;
- 5 - cas de dix couches superposées sur une surface brute.



ESSAIS GÉNÉRAUX SUR LES ISOLANTS

La normalisation des méthodes d'essais n'a pas seulement pour but de préconiser les appareils de mesure ou des modes opératoires sur lesquels l'accord s'est réalisé. Quelque soin qu'on prenne de ne mesurer que des grandeurs caractérisant intrinsèquement les différentes propriétés intéressantes, il est de fait que les résultats des mesures dépendent en partie des conditions dans lesquelles on opère ; ceci est particulièrement vrai dans le domaine des isolants où, des points de vue mécanique et électrique, les phénomènes de viscosité et de plasticité rendent difficile l'interprétation des résultats. Les chiffres donnés par l'expérience ne peuvent donc être dissociés des méthodes expérimentales qui y ont conduit ; une certaine normalisation répond donc à une nécessité technique.

Cette normalisation a été établie, en ce qui concerne les matières dites plastiques, par l'Union Technique des Syndicats de l'Electricité dans sa brochure 46, édition 1935 intitulée « Méthodes d'essais des isolants moulés » modifiée et complétée par une édition 1941 « Méthodes d'essais des matières plastiques utilisées dans la construction électrique ». Sont donc exclus de cette publication les produits à base de caoutchouc et ceux à base de caséine, tant à cause des restrictions apportées actuellement à leur emploi que parce qu'il existe, pour les premiers tout au moins, une codification dans le cas particulier de leur emploi comme isolation des fils et câbles.

Nous ferons donc état, dans cet ouvrage, de la publication 46 mais nous développerons également des méthodes d'essais non normalisées correspondant à des cas particuliers et nous ferons surtout apparaître, pour les confronter, les méthodes utilisées à l'étranger. Nous nous sommes efforcé de recueillir les plus récentes, mais la bibliographie technique étant à peu près interrompue depuis 1940, les descriptions seront antérieures à cette date. Nous espérons un jour reprendre et développer ce chapitre important.

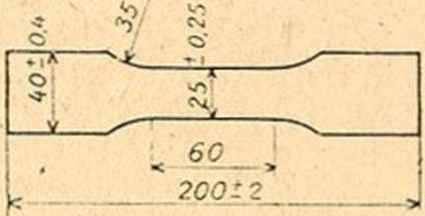
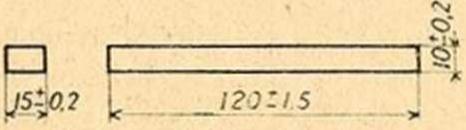
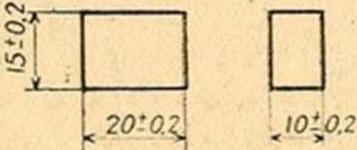
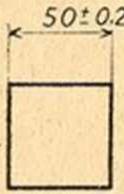
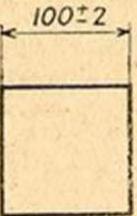
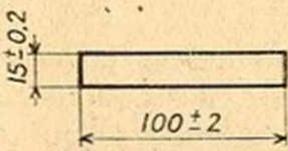
LES METHODES D'ESSAI SUR LES MATIERES PLASTIQUES

(Extraits de la Publication U.T.S.E. 46, édition 1941)

Il est prévu d'opérer, non sur des objets manufacturés, mais sur des éprouvettes spécialement établies à cet effet. On supprime ainsi un grand nombre de paramètres arbitraires, très difficiles à établir et qui, à travers la complexité des valeurs recueillies, ne permettraient pas de déduire des renseignements concernant la matière elle-même.

Ces facteurs éliminés sont plutôt caractéristiques de la fabrication : pression, température, forme, proportions... La spécification des méthodes d'essai ne peut être faite qu'en prévision d'un usage déterminé et on ne peut établir une normalisation générale des méthodes.

Types d'éprouvettes

Types	Forme et dimensions (cotés en mm)	Essais
I	<p align="center">Barreau profilé</p>  <p align="center">(Epaisseur : 5 mm)</p>	<p align="center">Résistance à la traction.</p>
II	<p align="center">Barreau parallélépipédique</p> 	<p>Résistance à la flexion. Résistance aux chocs. Essai de dureté. Comportement à la chaleur. Absorption d'eau (cas des matières moulées). Tenue dans l'huile, l'eau et l'essence (cas des matières moulées).</p>
II bis	<p align="center">Éléments découpés dans le barreau II pour les matières moulées</p> 	<p align="center">Résistance à la compression.</p>
III	<p align="center">Plaque</p>  <p align="center">(Epaisseur égale) à l'épaisseur de la planche)</p>	<p>Absorption d'eau (cas des matières stratifiées). Tenue dans l'huile, l'eau et l'essence (cas des matières stratifiées).</p>
IV	<p align="center">Plaque</p>  <p align="center">(Epaisseur : $3 \pm 0,25$)</p>	<p>Chaleur spécifique. Résistivité transversale. Résistance superficielle Rigidité diélectrique. Pertes diélectriques.</p>
IV bis	<p align="center">Éléments découpés dans la plaque IV</p> 	<p align="center">Résistance à l'incandescence.</p>

Néanmoins, les essais effectués doivent caractériser les matières en leurs différents usages et c'est pourquoi la normalisation a adopté pour la préparation des éprouvettes des modalités aussi voisines que possible de celles usitées lors de la mise en œuvre.

L'emploi d'éprouvettes bien définies et l'adoption d'un mode opératoire toujours identique ont pour but d'obtenir des résultats comparables. Malheureusement, certaines erreurs, indépendantes de l'expérimentateur peuvent se glisser et il subsiste toujours une certaine dispersion. Afin d'en tenir compte, il a été précisé, pour chaque essai, un certain nombre de déterminations minimum pour pouvoir établir une moyenne.

Le tableau précédent représente les types d'éprouvettes élaborées les différents essais.

ESSAI DE DENSITE.

Il doit être effectué, en principe, par la méthode classique, dite du flacon et porter sur un fragment de matière aussi gros que possible, en ayant soin d'éliminer les bulles d'air.

La mesure peut être faite également à l'aide de la balance hydrostatique, ce qui permettra d'opérer sur une pièce entière ou un fragment important.

On effectue deux mesures dont la moyenne arithmétique s'exprime avec trois chiffres significatifs.

ESSAI DE RESISTANCE A LA TRACTION.

L'essai porte sur 10 éprouvettes du type I; les dimensions sont mesurées à 0,1 millimètre près. On utilise pour l'essai une machine de traction exerçant un effort croissant. Cet effort est augmenté progressivement de 5 à 10 kilogrammes-poids par seconde, jusqu'à rupture.

Les valeurs mesurées rapportées à l'unité de section de l'éprouvette par la formule : $R_t = \frac{C}{s}$.

R_t : contrainte de rupture à la traction, en kg/cm²
C : effort de traction au moment de la rupture, en kg.
s : section droite de l'éprouvette, en cm²

On indique la moyenne arithmétique des résultats ainsi que la valeur et le signe des écarts que présentent les deux résultats extrêmes de cette moyenne. L'erreur relative admissible est de ± 10 %.

ESSAI DE RESISTANCE A LA FLEXION.

L'essai porte sur 10 éprouvettes du type II, mesurées à 0,1 millimètre près.

L'éprouvette repose par sa face de 15 millimètres de largeur, sur deux appuis simples constitués par des couteaux distants de 100 millimètres. On applique au milieu, par l'intermédiaire d'un troisième couteau, une charge partant de 0 et croissant progressivement à



l'allure de 5 à 10 kilogrammes à la seconde jusqu'à rupture. Les couteaux ont la forme d'un dièdre dont la rectiligne est égale et dont l'arête est arrondie suivant un rayon de 2,5 millimètres.

Les valeurs mesurées sont rapportées à l'unité de section de l'éprouvette par la formule :

$$R_f = \frac{3 P \cdot D}{2 b \cdot H^2}$$

- R : contrainte de rupture à la flexion, en kg/cm² ;
- P : effort exercé au moment de la rupture, en kg ;
- D : distance des appuis, en cm ;
- b : longueur du côté de l'éprouvette perpendiculaire à l'effort, en cm. ;
- H : longueur du côté de l'éprouvette parallèle à l'effort, en cm.

La contrainte de rupture à la flexion s'exprime avec deux chiffres significatifs.

ESSAI DE RESISTANCE A LA COMPRESSION.

L'essai porte sur 10 éprouvettes du type II bis ; 5 découpées dans une direction parallèle au plan de stratification pour les matières stratifiées, et 5 dans une direction perpendiculaire ; pour les matières moulées, elles sont découpées sur plusieurs éprouvettes du type II.

La pression d'essai est appliquée entre les deux petites bases de l'éprouvette, celle-ci étant placée entre deux plateaux métalliques parallèles qui exercent une charge progressivement croissante de 25 kilogrammes par seconde. La pression à l'écrasement est appliquée :

- pour les matières stratifiées, perpendiculairement et parallèlement au plan de stratification ;
- pour les matières moulées, dans le sens perpendiculaire à la pression de moulage.

Les valeurs sont rapportées à l'unité de section de l'éprouvette par

la formule :

$$R_c = \frac{P}{s}$$

- R_c : contrainte de rupture à la compression, en kg/cm² ;
- P : effort de compression, au moment de l'écrasement, en kg ;
- s : moyenne des deux surfaces de l'éprouvette en contact avec les plateaux, en cm².

ESSAI DE RESISTANCE AUX CHOCS.

La résistance aux chocs est caractérisée par le travail absorbé par la rupture d'éprouvettes lisses et d'éprouvettes entaillées. L'essai porte sur 20 éprouvettes du type II, la moitié étant entaillée suivant la figure 50.

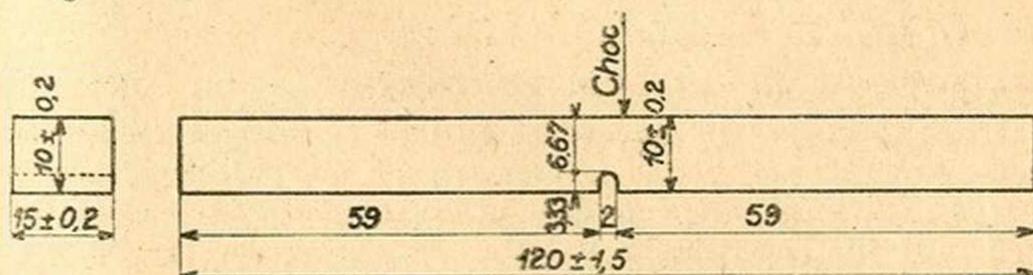


Fig. 50. — Eprouvette entaillée pour la détermination de la résistance au choc.



ULTIMHEAT®
VIRTUAL MUSEUM

On mesure le travail absorbé par la rupture de l'éprouvette en un seul choc, à l'aide d'un mouton-pendule Charpy à deux sensibilités, dont les caractéristiques sont définies sans et avec masse additionnelle.

Le travail de rupture est rapporté à l'unité de section par la formule :

$$W = \frac{T}{s}$$

W : travail spécifique de rupture, en $\text{kg} \times \text{cm} / \text{cm}^2$;

T : travail de rupture lu sur le tableau d'étalonnage du pendule, en kg / cm^2 ;

s : section droite de l'éprouvette, en cm^2 ; dans les éprouvettes entaillées on a : $s = 1 \text{ cm}^2$.

On fait la moyenne arithmétique des résultats obtenus sur les éprouvettes lisses et sur les entaillées et on indique :

— ces deux moyennes ;

— la valeur et le signe des écarts entre les deux chiffres extrêmes ;

— enfin le rapport $k = \frac{W_l}{W_e}$, qu'on appelle *influence de l'encoche*, lequel est exprimé avec deux chiffres significatifs.

ESSAI DE DURETE.

L'essai porte sur des éprouvettes du type II.

1°) Les éprouvettes reçues de moulage ou d'usinage sont laissées avant l'essai pendant 24 heures au moins à l'air libre, dans une température comprise entre 15° et 25° C .

2°) Elles sont ensuite immergées pendant 24 heures dans de l'eau distillée à une température de 15° à 25° C , puis essuyées avant essai avec du papier à filtrer non déchiré.

On prépare deux éprouvettes pour chaque matière.

Une bille en acier de 5 millimètres de diamètre est appliquée sur la surface de l'éprouvette sous une charge constante de 50 kilogrammes.

L'enfoncement de la bille est mesurée une première fois après 10 secondes d'application, une seconde fois après 60 secondes. Ces mesures sont répétées dix fois, sur les deux éprouvettes préparées à cet effet. La surface de l'empreinte se déduit pratiquement de l'enfoncement de la bille, lequel est mesuré à l'aide d'un micromètre.

$$\text{L'indice de dureté est donné par : } \Delta = \frac{P}{s}$$

Δ : indice de dureté, en kg / cm^2 ;

P : effort exercé sur la bille, en kg;

s : surface de l'empreinte laissée par la bille, en cm^2 .

DETERMINATION DU COMPORTEMENT A LA CHALEUR.

L'essai porte sur 10 éprouvettes du type II qui sont placées dans un appareil d'essai spécial. L'éprouvette est maintenue verticalement par son extrémité inférieure dans un encastrement fixe et soumise à son extrémité supérieure à un effort de flexion par l'intermédiaire d'un poids placé sur un levier horizontal. La flèche due à la déforma-



tion est lue sur un cadran. L'ensemble est placé dans une étuve électrique, réglé automatiquement et créant une température de 50°C par heure.

Lorsque l'éprouvette s'est déformée de façon que son extrémité supérieure se soit déplacée de 5 millimètres par rapport à sa position initiale, on relève la température dans l'étuve. Cette température constitue par définition le *degré Martens*; il est exprimé en degrés centésimaux, sans décimale.

DETERMINATION DE LA RESISTANCE A L'INCANDESCENCE.

Cet essai caractérise l'effet destructif produit par une source de chaleur déterminée; cet effet est exprimé numériquement par le produit de la perte de poids de l'éprouvette brûlée, exprimée en milligrammes, par la longueur atteinte par le feu, exprimée en centimètres.

L'essai a lieu à l'aide d'un appareil spécial représenté par la figure 51. La source de chaleur est constituée par une résistance chauffante, dont la température est réglée à l'aide d'un rhéostat d'après les indications d'un pyromètre relié à un couple thermoélectrique.

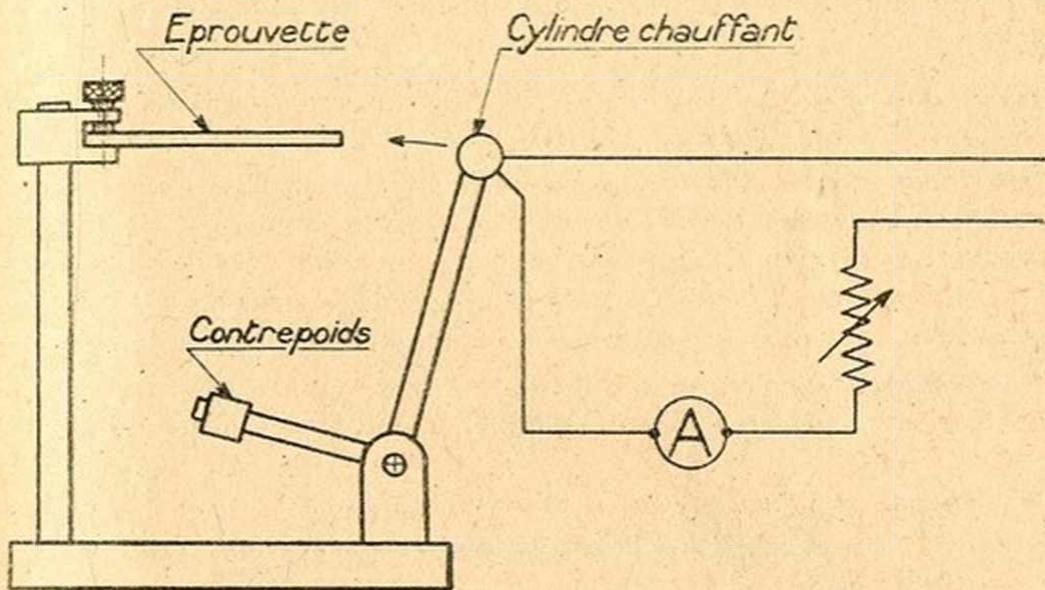


Fig. 51. — Appareil pour la détermination de la résistance à l'incandescence.

que inséré dans la résistance. Cette résistance est portée à 950°C . et maintenue constante; elle est mise en contact avec l'extrémité libre de l'éprouvette sous la pression d'un contrepoids et laissée en contact pendant 3 minutes, ou pendant le temps que met la flamme à atteindre la mâchoire qui tient l'éprouvette, lorsque ce temps est inférieur à 3 minutes.

On détermine ensuite la perte de poids de l'éprouvette, à 10 milligrammes près et la longueur dégradée, à 1 millimètre près, pour les longueurs inférieures à 1 centimètre, à 1 centimètre près pour les

longueurs supérieures. On fait le produit de la perte en poids exprimée en milligrammes, par la longueur dégradée, exprimée en centimètres. On fait la moyenne arithmétique des résultats obtenus sur les 10 éprouvettes et, suivant cette moyenne, on affecte aux matières le degré de résistance à l'incandescence, ou *degré Schramm*, indiqué dans le tableau ci-dessous.

Résultats destructifs	Degré Schramm
Au dessus de 100 000	0
De 99 999 à 10 000	1
De 9 999 à 1 000	2
De 999 à 100	3
De 99 à 10	4
Au dessous de 10	5

DETERMINATION DE L'ABSORPTION D'EAU.

On détermine le poids d'eau absorbée, par une éprouvette du type III pour les matières stratifiées, du type II, pour les matières moulées. Le résultat est le rapport du poids d'eau absorbé au poids de l'éprouvette avant immersion; il s'exprime en pour cent de ce dernier poids.

DETERMINATION DE LA TENUE DANS L'HUILE MINÉRALE, L'EAU PURE, L'EAU ACIDULEE ET L'ESSENCE.

La forme et les dimensions des éprouvettes sont les mêmes que dans l'essai précédent. Dans le cas de matières moulées, la moitié des éprouvettes (5) sont laissées brutes de moulage, cinq autres sont usinées sur l'une de leur face. Avec les matières stratifiées, les éprouvettes sont taillées à la fraise dans l'épaisseur de la planche.

a) **Tenue dans l'huile minérale.** — Les éprouvettes sont immergées pendant 8 heures dans de l'huile, à une température de $100 \pm 5^\circ \text{C}$;

b) **Tenue dans l'eau pure.** — Les éprouvettes sont immergées pendant 48 heures dans de l'eau distillée, à une température comprise entre 15°C et 25°C .

c) **Tenue dans l'eau acidulée.** — On procède à une immersion de 48 heures dans une solution d'acide sulfurique à 15° Baumé, à la température de 20°C ;

d) **Tenue dans l'essence.** — On utilise de l'essence normale française (définie dans la norme B 6-34) dans laquelle les éprouvettes sont immergées pendant 1 heure à une température comprise entre 15°C et 25°C .

On consigne pour chaque éprouvette les transformations qui se sont produites, telles que : gonflement, ramollissement, déformation, dissolution plus ou moins complète, coloration des attaquants, changement de coloration de l'éprouvette.

MÉTHODES DE MESURE DES CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES ET ÉLECTRIQUES DES ISOLANTS

MESURE DE LA CONDUCTIBILITE THERMIQUE.

Dans tous les appareils électriques, les isolants doivent non seulement canaliser le courant mais aussi permettre le passage du dégagement de chaleur produit par l'effet Joule. Il est donc bon de connaître la conductibilité thermique des isolants pour en fixer le choix.

Une méthode de mesure industrielle, utilisée par la General Electric Co. est décrite ci-après.

La conductibilité thermique se déduit expérimentalement de la différence de température nécessaire pour entretenir, dans un certain volume du matériau considéré, une quantité de chaleur donnée.

Dans la méthode G.E.Co., l'éprouvette est constituée par un disque de 200 millimètres ou plus de diamètre, et de 3 à 16 millimètres d'épaisseur ; elle est découpée dans les feuilles d'isolants s'il s'agit de papiers, toiles huilées... ou coulée si l'on a affaire à des compounds, vernis...

L'appareil de mesure est représenté par la figure 52. Il consiste en

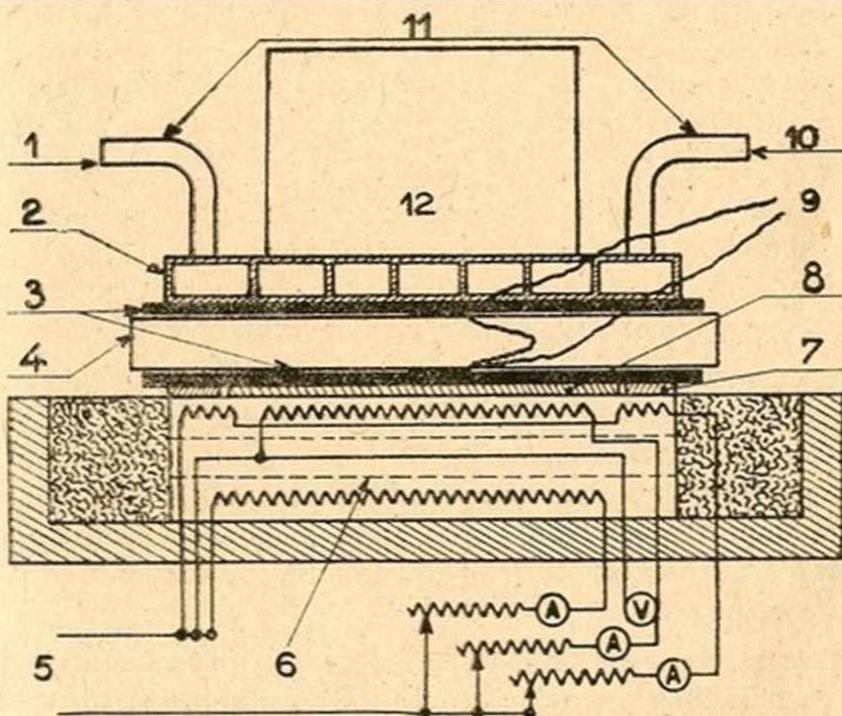


Fig. 52. — Appareil pour la mesure de la conductibilité thermique des isolants.



une plaque chaude et une plaque froide entre lesquelles on place l'échantillon traversé ainsi par une quantité de chaleur mesurable à l'aide d'un appareil ; la différence de température est également relevée entre les deux faces de l'éprouvette : le quotient des deux grandeurs détermine la valeur de la conductibilité thermique.

La plaque chaude, chauffée électriquement, comprend trois parties : un corps de chauffe principal 8, un anneau de garde 7 et une plaque de fond 6. Le corps de chauffe principal fournit le flux calorifique ; l'anneau de garde et la plaque de fond, chauffés électriquement, sont munis d'un dispositif réglable permettant de compenser exactement les pertes de chaleur par les parois et le fond de la plaque chaude.

Le corps de chauffe est formé d'un disque de cuivre de 150 millimètres de diamètre et 1,58 millimètre d'épaisseur ; le chauffage est obtenu par un enroulement placé entre plaques d'amiante, immédiatement au-dessous. L'anneau de garde et la plaque de fond sont semblablement constitués. Toutes les résistances de chauffage sont alimentées sous 12 volts.

Le flux de chaleur émis traverse l'éprouvette en essai et est absorbé par la plaque froide 2 ; celle-ci est constituée par une galette creuse parcourue par un courant d'eau de refroidissement assurant une température uniforme et constante sur toute la surface. La différence de température entre les plaques chaude et froide est mesurée par des thermo-couples montés de telle façon que cette différence est lue directement sur l'appareil de mesure très précis. Les différences de température entre le corps de chauffe principal, l'anneau de garde et la plaque de fond sont mesurées de la même manière.

Toute la chaleur émise par la résistance de chauffe traversant l'échantillon, on détermine la quantité de chaleur en mesurant la puissance électrique absorbée par la résistance, à l'aide d'un voltmètre et d'un ampèremètre.

Pour procéder à l'essai, on place échantillon et thermo-couples entre les deux plaques de l'appareil en interposant des feuilles de caoutchouc souples et en chargeant le tout d'un poids suffisant pour éviter toute pénétration d'air et assurer de bons contacts thermiques.

On règle le courant pour obtenir la température moyenne désirée qui est généralement choisie égale à celle correspondant sensiblement aux conditions d'utilisation de l'échantillon. Après un temps suffisant permettant l'équilibre des températures, on règle les courants de chauffage dans l'anneau de garde et la plaque de fond de façon à maintenir l'égalité entre les températures de ces éléments et du corps de chauffe principal.

On relève la chute de température entre les deux faces de l'échantillon et la puissance en watts absorbée, de demi-heure en demi-heure, jusqu'à ce qu'on soit assuré d'un parfait équilibre.



La conductibilité thermique est donnée par la formule :

$$k = \frac{l}{K} = \frac{W \cdot e}{t \cdot s}$$

- k : conductibilité thermique en watts par cm² par degré C et par cm ;
- K : résistivité thermique, en degrés C par cm., par watt et par cm² ;
- W : énergie calorifique, en watts ;
- e : épaisseur de l'échantillon, en cm² ;
- s : surface du corps de chauffe principal, en cm² ;
- t : chute de température à travers l'échantillon, en degrés C.

Le tableau suivant donne la conductibilité et son inverse, la résistivité thermique, de quelques isolants usuels obtenus avec l'appareil décrit ; la température moyenne était maintenue entre 40 et 50° C.

Isolant	Résistivité thermique (°C/cm/W/cm ²)	Conductibilité thermique (W/cm ² /°C/cm)
Textolite	300	0,003 3
Mycalex	175	0,005 7
Toile vernissée		0,001 9 à 0,002 3
Fibre	770	0,001 3
Caoutchouc	660	0,001 51
Acétate de cellulose	540	0,001 85
Compound bitumineux	640	0,001 55
Sable sec.	285	0,003 5
Sable + huile de transformateur . .	105	0,009 4
Béton (40 % ciment + 60 % sable)	100	0,001 00

La principale cause d'erreur, laquelle peut atteindre ± 5 %, réside dans la présence de films d'air, entre les plaques chaude et froide et la surface de l'échantillon, ou entre ces plaques et les contacts de mesure. On y remédie en utilisant des couches intercalaires de caoutchouc souple, recouvert ou non de glycérine et en égalisant la surface des isolants avec de la cire.

MESURE DE LA RESISTIVITE TRANSVERSALE.

Elle a fait l'objet d'une normalisation insérée dans la publication 46 de l'U.T.S.E. L'essai porte sur dix éprouvettes du type IV (voir page 235). Ces éprouvettes sont placées pendant 8 heures dans un dessiccateur au chlorure de sodium, à une température comprise entre 15° et 25° C.

L'essai est effectué au galvanomètre, par la méthode des déviations comparées, suivant le schéma de la figure 53, en utilisant une source de courant continu de tension égale à 1 000 volts. On peut utiliser une tension moindre, mais de 250 volts au moins, sous réserve de le spécifier expressément. La tension doit rester constante pendant la durée de l'essai.

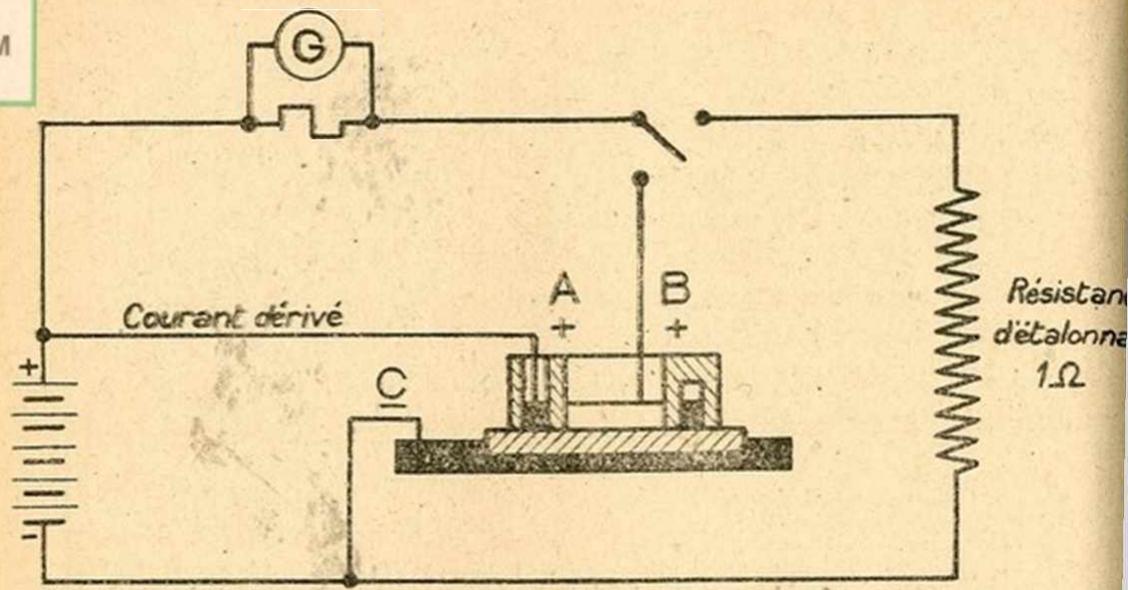


Fig. 53. — Schéma du montage utilisé pour la détermination de la résistivité transversale.

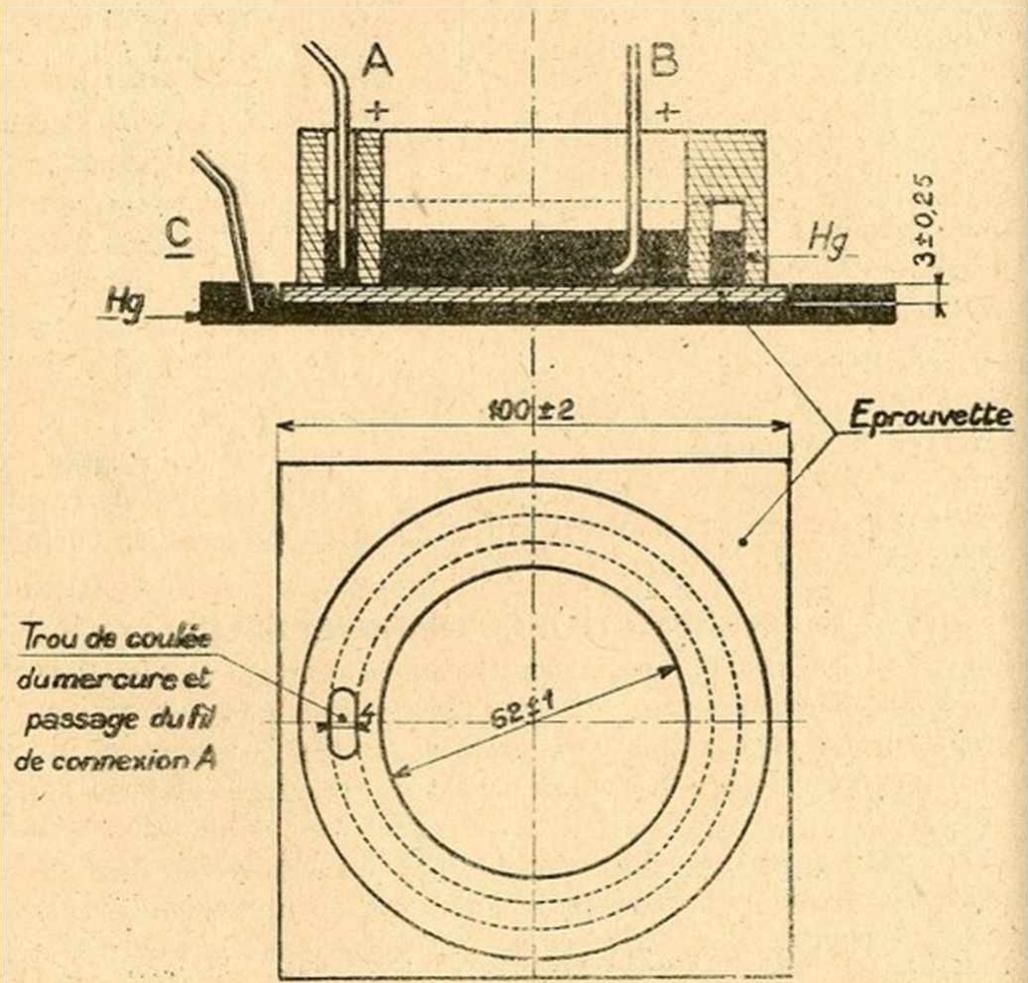


Fig. 54. — Dispositif pour la détermination de la résistivité transversale.



L'éprouvette à essayer flotte sur un bain de mercure contenu dans un récipient convenablement isolé. Ce bain est relié à l'un des pôles du circuit traversant l'éprouvette; l'autre pôle est relié à la partie supérieure de l'éprouvette par l'intermédiaire d'un second bain de mercure limité par un anneau de matière isolante. Une rainure circulaire, réservée dans cet anneau et garnie de mercure, est connectée comme l'indique la figure 54.

La mesure est effectuée après 30 secondes de mise sous tension et répétée après inversion du sens du courant. On prend pour résistivité, la moyenne des deux mesures.

R . s

Cette résistivité ρ est calculée par la formule : $\rho = \frac{R \cdot s}{e}$

- ρ : résistivité transversale, en $M\Omega \times cm^2/cm$;
- R : déviation du galvanomètre, en $M\Omega$ compte tenu du shunt et de la sensibilité ;
- s : surface de contact du bain de mercure avec la face supérieure de l'éprouvette, en cm^2 ;
- e : épaisseur de l'éprouvette, en cm.

La résistivité, moyenne arithmétique des chiffres obtenus, est exprimée par un nombre entier, multiplié par une puissance de 10.

MESURE DE LA RESISTIVITE SUPERFICIELLE.

La mesure (normalisation 46 de l'U.T.S.E.) est faite sur dix éprouvette du type IV (voir page 235). Comme dans l'essai précédent, la mesure est faite une première fois sur les éprouvettes séchées au dessiccateur et une seconde fois après un séjour dans l'eau. La méthode et les tensions utilisées sont les mêmes que précédemment.

On mesure la résistance superficielle de deux zones de 60 ± 5 millimètres $\times 10 \pm 1$ millimètre, situées, l'une sur la face supérieure de l'éprouvette, l'autre sur la face inférieure et placées en regard. La tension est appliquée entre deux paires de barrettes métalliques rectangulaires. Les quatre barrettes sont accouplées deux à deux ; les organes d'accouplement, s'ils sont métalliques, ne doivent pas toucher l'éprouvette.

Chaque barrette est préalablement chemisée en papier métallique jusqu'à épaisseur de 1 millimètre environ, sur toute la longueur en contact avec l'éprouvette. Les deux paires de barrettes sont disposées symétriquement par rapport au centre de l'éprouvette (fig. 55). Le tout est placé sur deux blocs isolants afin d'éviter le passage de courants dérivés.

La mesure est effectuée après 30 secondes de mise sous tension. La

2 R . L

résistance superficielle est calculée par la formule : $r = \frac{2 R \cdot L}{d}$

- r : résistance spécifique superficielle, en mégohms ;
- R : déviation du galvanomètre, en mégohms, compte tenu du shunt et de la sensibilité ;
- L : longueur des parties chemisées, en cm ;
- d : distance entre les faces parallèles des chemisages métalliques, en cm.

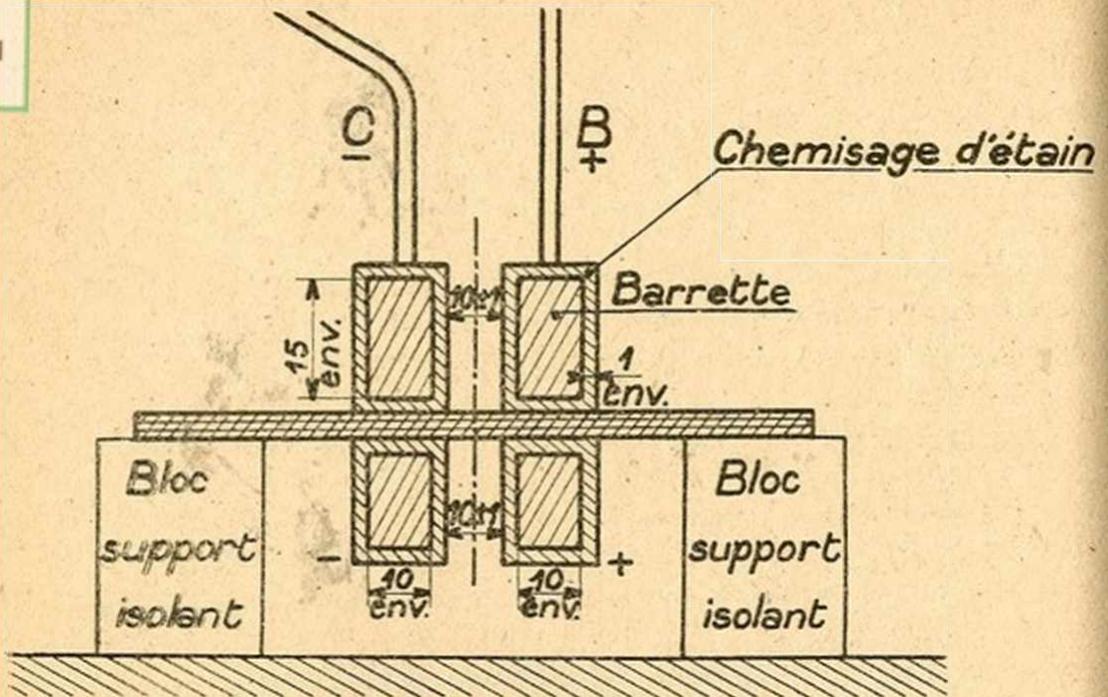


Fig. 55. — Dispositif pour la détermination de la résistance superficielle.

La résistance spécifique superficielle, moyenne arithmétique des résultats obtenus sur les dix échantillons, s'exprime par un nombre entier multiplié par une puissance de 10.

Le V.D.E. allemand a normalisé un appareil pour la mesure de la résistivité superficielle. Cet appareil (fig. 56), comporte deux électro-

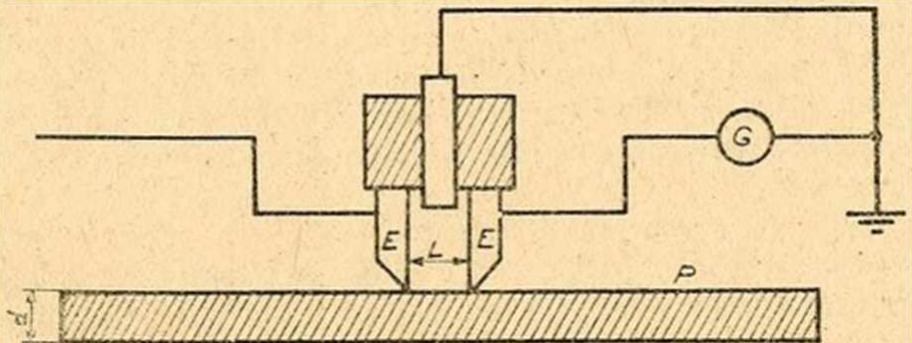


Fig. 56. — Appareil du V.D.E. allemand pour la mesure d'une résistance superficielle.

des E constituées par des bandes en caoutchouc recouvert de papier d'étain, reposant par leur tranche sur la plaque isolante P. Les électrodes ont 100 millimètres de largeur, sont distantes de 10 millimètres et sont soumises à une tension de 1 000 volts.

On admet que le courant passe par une bande superficielle de 100 millimètres de largeur et 10 millimètres de longueur, d'où la



notion de résistance superficielle. On définit la résistivité superficielle par l'expression :

$$\rho_s = R \frac{l}{L}$$

l : largeur des électrodes linéaires ;
 L : distance entre les électrodes.

MESURE DE LA RIGIDITE DIELECTRIQUE.

Cette mesure consiste à déterminer la tension à laquelle se produit la décharge disruptive à travers dix éprouvettes du type IV (Normalisation U.T.S.E.). Les éprouvettes sont placées pendant 8 heures dans un dessiccateur au chlorure de sodium.

L'essai est effectué :

- a) Pour les matières ne résistant pas à l'huile, dans l'air ;
- b) Pour les autres matières, soit dans l'huile à la température de l'ambiance, soit dans l'huile chaude.

On utilise pour ces essais une tension alternative de fréquence comprise entre 40 et 60 périodes par seconde, fournie par un transformateur d'une puissance de 5 kilovoltampères au moins.

1°) **Essai dans l'air.** — La température doit être comprise entre 15° et 25° C, l'état hygrométrique entre 60 et 80 degrés hygrométriques. L'éprouvette est pincée entre deux électrodes formées d'une tige de cuivre ou de laiton de 14 millimètres de diamètre, le raccordement avec la face plane étant assuré par un arrondi de 2 millimètres. On applique entre électrodes une tension alternative de valeur initiale comprise entre 0 et 500 volts, tension élevée progressivement de 500 volts par seconde jusqu'à claquage.

2°) **Essai dans l'huile.** — Electrodes et éprouvettes sont plongées dans de l'huile à une température comprise entre 15° et 25° C.

3°) **Essai dans l'huile chaude.** — Les deux électrodes sont constituées, l'une par un support métallique fixe, dont la surface portante est horizontale et plane, l'autre par un cylindre métallique plein de 30 millimètres de diamètre. Les électrodes sont immergées dans une cuve à huile, dont le contenu est porté à $90 \pm 5^\circ$ C, et maintenu à température constante.

L'essai commence 30 minutes après l'immersion, en appliquant une tension croissante et progressive de 500 volts par seconde, jusqu'à obtention de la décharge disruptive. On note cette tension U_1 . On déplace l'éprouvette de façon à amener les électrodes dans une zone n'ayant pas été atteinte par la décharge précédente ; on applique alors une tension égale à $4/10$ de U_1 pendant 1 minute, puis on l'augmente par paliers successifs à raison de $U_1/10$, en maintenant cette nouvelle tension pendant 1 minute. On note la décharge pour la tension U_2 , après un temps total t .

La tension disruptive s'exprime en kilovolts et le temps nécessaire pour provoquer la décharge, en minutes.



On indique la moyenne des chiffres obtenus pour les tensions de disruption; pour le troisième essai, la moyenne des chiffres obtenus pour les tensions U_1 et U_2 et pour le temps d'application t .

VERIFICATION INDUSTRIELLE DE LA RESISTANCE D'ISOLEMENT ET DE LA RIGIDITE DIELECTRIQUE.

Afin de mesurer industriellement la rigidité diélectrique des isolants utilisés dans la construction, il est nécessaire de disposer d'un ensemble permettant de vérifier la résistance d'isolement de machines et d'appareillage électriques de toute sorte, dans les conditions prescrites par les réglementations et également de procéder à des essais à haute tension.

Pour la mesure des résistances d'isolement, on doit pouvoir posséder une basse tension variable progressivement de 0 à 220 volts environ. Pour les essais diélectriques, une haute tension réglable, de 15 à 20 kilovolts suffit amplement pour les appareils de construction courante établis pour des tensions industrielles normales.

Bien souvent, lorsqu'il s'agit de vérifier des pièces détachées en cours de construction, on constitue des pupitres mobiles, facilement déplaçables et alimentés sur des prises de courant raccordées au secteur. Nous donnons ci-dessous la description et le schéma d'un tel pupitre, réalisation industrielle permettant d'atteindre des tensions de 20 kilovolts environ.

La tension d'essai est ajustable, de zéro à sa valeur maximum, d'une façon très progressive, au moyen d'un transformateur de réglage; la puissance du transformateur est, par ailleurs, suffisante pour obtenir une perforation nette de l'isolant, en cas de défaut.

Le courant de court-circuit qui en résulte est limité à une intensité sensiblement constante, au moyen de résistances de choc, quelle que soit la tension d'essai réglée. Ces résistances peuvent être shuntées à l'aide d'un commutateur afin de permettre, s'il y a lieu, d'éliminer complètement le défaut, par accroissement de la puissance en jeu.

Le schéma de montage correspond à la figure 57. Le pupitre est connecté au réseau au moyen de la fiche 1, munie d'un fil de terre. Afin d'empêcher la manœuvre par des personnes non autorisées, il comporte un interrupteur spécial à clé 2 placé avant le disjoncteur de protection 3. A la suite de l'introduction et de la manœuvre de cette clé, la lampe rouge de signalisation 5 s'allume, et le disjoncteur, dont la bobine à minima est connectée en série avec la lampe de signalisation, peut être enclenché. Cette disposition empêche la mise sous tension du pupitre lorsque la lampe est défectueuse. Le disjoncteur tripolaire, à relais thermiques et électromagnétiques, protège le circuit d'alimentation par deux de ses pôles et le circuit à tension réglée, par le troisième pôle. Ce disjoncteur est muni d'un contact de verrouillage 4, couplé électriquement avec un contact de fin de course 10 du transformateur de réglage 9, de telle sorte que l'enclenchement ne peut être effectué que lorsque la tension réglée est nulle. Quand la



prescription d'essai exige que l'enclenchement se fasse avec une certaine tension initiale, ce verrouillage peut être levé au moyen du poussoir 11.

La résistance de choc n'est pas placée en entier devant le transformateur d'essai, mais divisée en deux parties; l'une, 6, dans le circuit d'alimentation, l'autre, 7, dans le circuit à tension réglée, devant le transformateur d'essai 19. Cette répartition a pour effet que le courant de court-circuit ne varie pas avec la tension, mais reste dans une

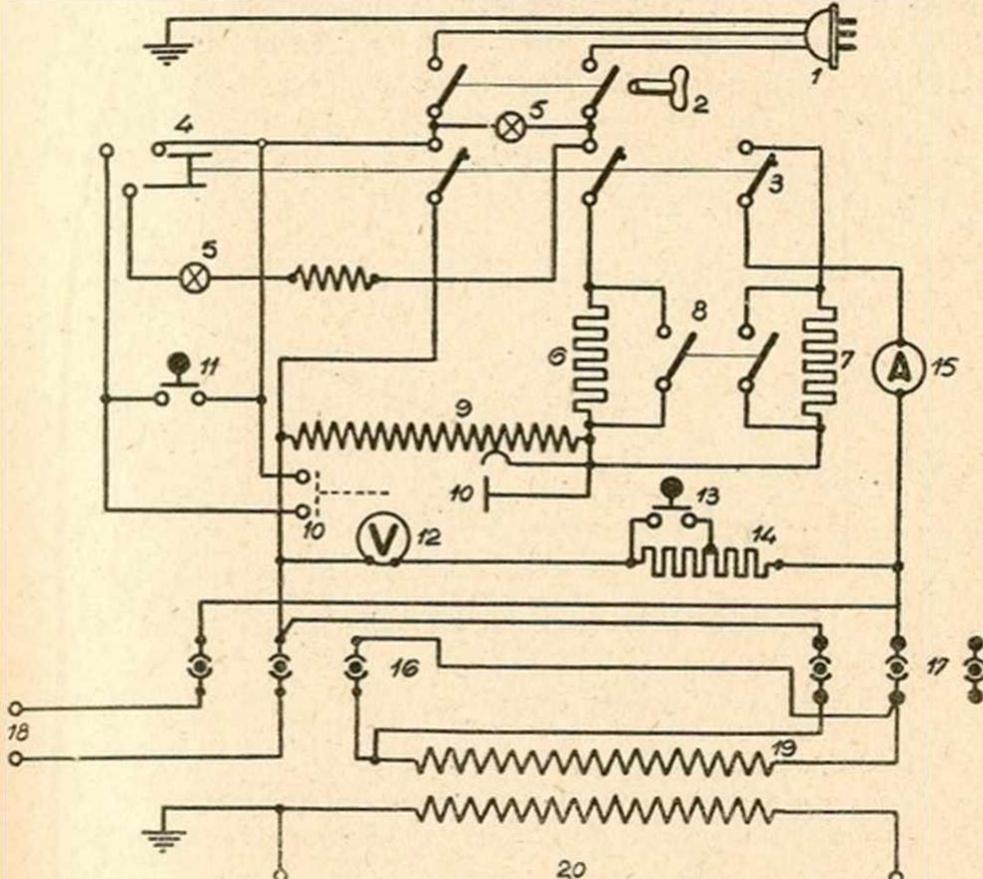


Fig. 57. — Pupitre d'essai mobile pour la mesure industrielle de la rigidité diélectrique.

large mesure, indépendante de la tension réglée. On obtient ainsi un courant de court-circuit énergétique, même quand la tension est faible. Le commutateur 8 permet de shunter les résistances de choc, pour augmenter la puissance en vue d'une perforation accentuée.

La tension, fournie par le transformateur de réglage 9, est lue sur le voltmètre 12; le bouton-poussoir 13 permet de réduire l'étendue de la mesure, en shuntant une partie de la résistance auxiliaire 14.

Les fiches 16-17 permettent de produire, dans l'une des positions, une tension alternative variable de 0 à 220 volts aux bornes de 18, pendant que le transformateur d'essai est coupé et court-circuité sur le côté primaire. Dans l'autre position, le transformateur d'essai est excité, de sorte que les bornes 20 reçoivent la haute tension; le secondaire du transformateur est mis à la masse par protection.

prend une bobine d'inductance L , deux résistances R_{n_1} et R_{n_2} , (que l'on peut mettre en court-circuit) et, suivant la position du commutateur S , le condensateur de capacité C_x (contenant le diélectrique dont on veut mesurer les pertes) ou le condensateur normal sans pertes C_n . Le circuit est parfaitement symétrique. VR est un redresseur de très faible capacité qui redresse la moitié de la tension de la bobine L ; cette tension redressée est mesurée par un électromètre EI. Le circuit détecteur DT sert à déterminer la résonance, l'ondemètre O à mesurer la longueur d'onde de l'émetteur.

Avec ce dispositif, il est possible de mesurer des angles de pertes de très faible valeur. Si U_1 désigne la tension de la moitié de la bobine L dans le circuit fermé sur le condensateur de capacité C_n ; U_2 , la tension dans le circuit dont est retiré R_{n_1} ou R_{n_2} et U_3 la tension après la commutation sur C_x sans mise hors circuit des résistances, on a :

$$R = R_n \frac{\frac{U_1}{U_3} - 1}{\frac{U_2}{U_3} - 1}$$

Trois lectures suffisent pour obtenir la résistance haute fréquence R . On détermine $\omega = \frac{2\pi C}{\lambda}$ à l'aide de l'ondemètre et du condensateur de capacité C_x par comparaison avec un condensateur variable de capacité connue ou avec le condensateur de capacité C_n . La mesure de $\text{tg } \delta$, pour une fréquence donnée, permet une exactitude de $\pm 3\%$.

Pour les angles de pertes supérieurs à 10^{-2} radian, on a recours à la mesure de l'amortissement θ . On détermine θ_1 correspondant à C_n , puis, après commutation, θ_2 pour C_x et on obtient :

$$R = 152,3 \left(\frac{\theta_2}{C_x} - \frac{\theta_1}{C_n} \right)$$

L'exactitude de cette méthode est du même ordre que pour la précédente. L'erreur commise, en admettant que le condensateur de comparaison est sans pertes, s'élimine facilement si l'on prévoit pour les plaques isolantes à contrôler un dispositif de fixation de même construction que le condensateur.

L'angle de pertes ainsi mesuré dépend, dans une certaine mesure, des armatures employées qui, à partir d'une fréquence déterminée, engendrent des pertes qui s'ajoutent à celles de l'isolant. Cette influence est néanmoins toujours faible, mais il est préférable d'employer des armatures épaisses et bien homogènes.



ÉTUDE TECHNIQUE DES ISOLANTS

ALSIFILM

C'est un isolant récent, mis au point aux Etats-Unis, courant 1939, dont on connaît peu actuellement, les caractéristiques. Il est constitué à partir de l'argile qui a la propriété de gonfler par addition d'eau. En plaçant un argile déterminé en suspension dans l'eau, on arrive à séparer, par dépôt, les différents constituants de cet argile. Si on décante le liquide surnageant et si on le centrifuge vigoureusement, on arrive à classer par tailles les particules colloïdales qu'il contient. Ces particules, concentrées, donnent des liquides visqueux qui ressemblent à de la vaseline.

Lorsqu'on étend ces liquides sur une plaque métallique placée dans une étuve, l'eau s'évapore et on obtient une pellicule solide transparente qui se détache facilement de la plaque support. Ce produit, auquel a été donné le nom d'alsifilm (aluminium et silice étant les constituants de l'argile) est insensible à l'action des huiles, des graisses, des solvants organiques et il résiste à l'action des solutions salines et des acides forts. On peut modifier sensiblement ses propriétés en le soumettant soit à la pression, soit à des températures de 450 à 500° C.

L'alsifilm possède des propriétés électriques remarquables. On peut transformer les pellicules en lames minces, résistant à l'eau, rigides comme le mica qu'elles peuvent remplacer dans nombre d'applications. On peut également obtenir des pellicules très flexibles servant à l'isolement des câbles électriques.

En recouvrant les feuilles d'un dépôt métallique, par condensation des vapeurs du métal par exemple, on réalise des éléments de condensateurs électriques.

AMIANTE

L'*amiante* ou encore *asbeste* est une variété de minéral naturel à base de silicates de magnésie; les principaux pays producteurs sont la Rhodésie, l'U.R.S.S. et le Canada. L'amiante possède une texture fibreuse et sa composition est sensiblement la suivante : silice 40 pour 100, magnésie 43 pour 100, oxydes ferreux et alumine 2 à 3 pour 100, eau 14 pour 100. C'est un mauvais conducteur de la chaleur, parfaitement incombustible, supportant des températures élevées sans perdre ses qualités électriques. Sa température de fusion est de 1 200° à 1 300° C.

Cette substance absorbe l'humidité et est le plus souvent combinée avec d'autres matières qui améliorent ses propriétés diélectriques et augmentent sa résistance mécanique.

L'amiante s'utilise surtout sous forme d'un aggloméré avec le ciment. La fabrication consiste à broyer et à désintégrer l'amiante et à mélanger celle-ci avec du ciment tamisé; on en fait avec de l'eau une pâte claire qui est filtrée dans une machine à carton. On obtient ainsi une feuille qui sert à réaliser les diverses variétés de produits commerciaux. On fabrique également des objets par moulage.

La caractéristique mécanique des ciments-amiante est leur assez grande résistance, comparée à celle des produits analogues préparés sans asbeste; la nature fibreuse de ce dernier accroît la résistance à la traction, à la compression et même au choc.

Le ciment-amiante permet de réaliser des revêtements incombustibles, plafonds, murs et toitures de postes de transformation, des supports de résistances électriques, des petits tableaux de distribution...

La mise au point d'un émaillage superficiel a permis de fabriquer, à partir des mêmes matières premières, de petits objets de lustrerie, abat-jour...

ARDOISE

L'ardoise est un silicate d'aluminium impur, présentant une structure lamellaire; elle se clive assez facilement mais elle est cassante.

Sa résistivité, de l'ordre de 200 mégohms×centimètre carré par centimètre à la température normale, diminue rapidement aux températures élevées.

L'ardoise est très hygroscopique. Sa résistivité superficielle, de 820 mégohms par centimètre carré et pour un degré d'humidité de 30 pour 100 tombe à 700 mégohms pour un degré d'humidité de 90 pour 100.

L'imprégnation de l'ardoise a pour but d'accroître ses propriétés diélectriques, ce qui permet de l'utiliser comme base isolante pour l'appareillage de tension jusqu'à 500 volts. L'ardoise employée doit être de bonne qualité, séchée longuement avant son imprégnation, 20 à 25 jours, à 110° C., dans une étuve et sous vide de 95 pour 100. Cette température doit être atteinte progressivement. On admet que le séchage est suffisant lorsque l'eau n'apparaît plus au condenseur.

A la sortie de l'étuve, les dalles d'ardoise sont rapidement plongées dans un bain d'huile de lin porté à 110° C ou dans un bain de paraffine et elles doivent rester immergées, à température constante, pendant quatre à cinq jours. On arrête le chauffage et on ne retire les dalles que lorsque l'huile est refroidie à la température ambiante. L'ardoise est ensuite, après égouttage, placée dans une chambre maintenue à 110° C pendant cinq jours. Souvent on lui applique une couche de gomme-laque avant son utilisation.



ASPHALTES, BITUMES ET BRAIS

Les *asphaltes* sont des corps minéraux, de consistance visqueuse, quelquefois solide, que l'on trouve à l'état naturel dans certains pays : France, Angleterre, Autriche, Palestine, Asie Mineure, Caucase. Ils comportent plus ou moins de matières minérales, de soufre et de corps divers. Ce sont des carbures d'hydrogène non saturés, d'où leur instabilité aux températures élevées.

A côté des asphaltes naturels, on rencontre des asphaltes artificiels, ceux-ci se divisant en deux groupes suivant que, dans leur traitement, ils ont été soumis ou non à une température de décomposition; les asphaltes décomposés donnent les *goudrons*.

Indépendamment des asphaltes, il existe des *asphaltites* qui se distinguent des asphaltes en ce que leur teneur en cendres est plus faible. Parmi eux on rencontre : le *manjac* qui vient des îles Barbades, le *bitume de Judée*, la *gilsonite* (Etats-Unis), et la *grahamite* (Mexique).

Le tableau suivant, dû à Seeligmann et Zicke, donne la composition de ces corps :

	Bitume	Eau	Impuretés minérales	Teneur en soufre	Point de goutte
Asphaltes naturels de la Trinité.....	39	27	34	2,5 à 10	100° C
des Bermudes....	90-98	6 à 7	2 à 4	5,9	75°-78° C
Asphaltites de Syrie	91-99	—	1 à 9	6,1 à 10	140° C
Manjac	95-99	—	1 à 5	2,7	130° C
Gilsonite	93-99	—	1 à 4	1,8 à 2	147-217°C
Grahamite	94-98	—	1 à 6	—	—

La rigidité diélectrique des asphaltes naturels est de 200 à 400 kilovolts par centimètre. Elle est plus faible pour les goudrons. Les asphaltes sont d'assez bons isolants électriques, non cassants et imper-

méables. Ils sont employés seuls ou en composition dans la confection d'enduits ou de dépôts recouvrant les métaux, dans certains vernis... Ils sont solubles dans le benzol.

Les *bitumes* sont des produits extraits, par fusion ou distillation simple, des asphaltes naturels.

Les *goudrons* et les *brais* sont des résidus de la distillation de produits variés :

a) *Brais de pétrole*, assez semblables aux asphaltes mais contenant moins de soufre (0,1 à 0,4 pour 100).

b) *Brais de houille*, dont le point de fusion est plus faible que celui des asphaltes (90 à 100° C pour les plus durs); ils ont une teneur en oxygène plus élevée et sont difficilement solubles dans les solvants habituels.

c) *Brais de lignite*, qui proviennent de la distillation des lignites à côté du gaz et du coke.

d) *Brais stéariques*, résidus de la distillation des acides gras et qui ont une forte teneur en matières saponifiables, ce qui leur communique des qualités de souplesse appréciables.

e) *Goudrons de bois* contenant beaucoup d'acides résiniques, d'oxyacides et d'anhydrides, ainsi que du phénol (0,5 à 2 pour 100).

CAOUTCHOUC

Le caoutchouc est un carbure d'hydrogène naturel. Il est obtenu par traitement du *latex*, suc que l'on fait découler par incision de diverses plantes tropicales. Sa valeur est variable avec son lieu d'origine; c'est celui obtenu dans la province de Para (Brésil) qui possède les meilleures qualités.

Le latex est une émulsion de caoutchouc contenant des résines à l'état de dissolution, dans une solution aqueuse de protéines, de sucres et de quelques matières minérales.

Il est combustible, se ramollit et distille à partir de 150° C; dur à l'état naturel, il devient cassant avec le vieillissement. Sa densité varie de 0,973 à 0,988.

Le caoutchouc sec est soluble dans les hydrocarbures aromatiques; le chloroforme, le tétrachlorure et le sulfure de carbone sont d'excellents dissolvants. Les alcools méthylique et éthylique et l'acétone le coagulent en retenant la presque totalité des résines.

Le caoutchouc est remarquable par ses propriétés mécaniques : il possède une résistance à la rupture et une élasticité considérables.

Vulcanisation du caoutchouc.

La vulcanisation est l'opération qui transforme le caoutchouc brut en un produit élastique, insensible aux variations de température,



insoluble dans l'eau et dans la plupart des solvants. L'opération consiste en un chauffage prolongé du produit avec du soufre, en présence ou non d'un agent accélérateur. On peut encore utiliser comme agents de vulcanisation : le sélénium, le tellure, certains nitrobenzènes. Les produits obtenus avec le sélénium résistent particulièrement aux frottements et aux effets de la chaleur et ils ont une très longue durée.

Récemment on a utilisé comme agents accélérateurs, des substances organiques nitrées, en particulier l'aniline, qui ont l'avantage de réduire la durée de l'opération et de prolonger la vie des produits manufacturés.

Antioxydants et produits incorporés.

La durée du caoutchouc vulcanisé dépend de l'action de l'oxygène, oxydation accélérée par la lumière et la chaleur. Pour éviter cette action, on a incorporé au caoutchouc certains antioxydants tels que l'hydroquinone.

Les produits qu'on ajoute au caoutchouc ont pour but, soit de modifier les qualités du composé, soit d'agir comme agent de dilution, soit de réduire le prix de revient. Parmi ces produits, il faut citer particulièrement le noir de fumée qui doit ses propriétés, à ce point de vue, à son extrême diffusion.

Propriétés électriques du caoutchouc brut.

Constante diélectrique	2,5 à 2,8.
Facteur de puissance	0,1 pour 100.
Résistivité	1 à $5 \cdot 10^9$ M Ω \times cm ² /cm.
Rigidité diélectrique	200 à 300 kV/cm.

Ces propriétés sont fréquemment altérées par la présence de certaines impuretés et d'humidité.

Propriétés électriques des produits vulcanisés.

A la température ordinaire, la constante diélectrique et le facteur de puissance commencent à croître avec la teneur en soufre, passent par un maximum puis décroissent tandis que la teneur en soufre continue à croître. Le pourcentage de soufre correspondant au maximum varie avec la température et la fréquence de la tension d'essai. Ces phénomènes se rapprochent de ceux observés sur certains isolants visqueux.

Des essais sur la compressibilité et la dilatation des composés du caoutchouc ont montré que, pour chaque teneur en soufre, il existe une température caractéristique en dessous de laquelle le composé se comporte plutôt comme un solide, alors qu'au-dessus de cette température, il présente les caractéristiques d'un liquide; les propriétés électriques, dans ce cas suivent des lois assez compliquées.

Propriétés électriques des composés du caoutchouc.

On peut, en agissant sur les produits incorporés au caoutchouc, obtenir des composés dont les caractéristiques varient dans de très

larges limites donc réaliser des produits ayant des propriétés bien définies et convenant au mieux pour l'utilisation envisagée.

C'est ainsi qu'on a fabriqué des composés du caoutchouc dont la constante diélectrique est aussi faible que celle de la gutta-percha, c'est-à-dire 2,7 à 3 ; d'autres dont la rigidité diélectrique varie de 200 à 800 kilovolts par centimètre, avec des facteurs de puissance allant de 0,05 à 2,5 pour 100 et dont la résistivité varie de 10^6 à 10^9 mégohms \times centimètre carré par centimètre, c'est-à-dire sensiblement les mêmes qualités que le caoutchouc brut.

Utilisation du caoutchouc au point de vue électrotechnique.

C'est surtout comme isolation des conducteurs électriques pour le transport d'énergie que le caoutchouc est utilisé. On en fait également des tapis isolants, des gants protecteurs pour le travail sur canalisations sous tension...

L'emploi du caoutchouc dans l'isolation des câbles à haute tension est possible, à la condition que le champ auquel est soumis l'isolant soit tel que le gradient de potentiel à la surface de l'isolateur soit inférieur à celui pour lequel se produisent l'effet de couronne et la formation d'ozone qui attaque le caoutchouc.

Les composés de caoutchouc vulcanisé tendent actuellement à remplacer en partie la gutta-percha pour les câbles téléphoniques et télégraphiques sous-marins. On constitue des mélanges stables de caoutchouc déprotéiné et de gutta purifiée. On a réussi à constituer pour ces câbles une isolation ayant une faible capacité et un facteur de puissance réduit, ce qui a permis, en combinant ces qualités avec la charge inductive de ces câbles, d'obtenir d'excellents résultats au point de vue transmission.

REGLEMENTATION CONCERNANT L'EMPLOI DU CAOUTCHOU DANS LES CONDUCTEURS ISOLÉS.

Une réglementation de l'Union Technique des Syndicats de l'Electricité qui a fait l'objet de sa publication C 30 (dernière édition 1940), concerne l'emploi du caoutchouc dans les conducteurs isolés. Nous extrayons de cette brochure les points ayant trait plus particulièrement aux qualités requises pour la matière ainsi qu'aux essais pratiqués sur elle.

A) Règles générales de fabrication.

Prescriptions concernant l'enveloppe de caoutchouc

Art. 12. — *Généralités.* — Les conducteurs dont la tension maximum de service est de 250 volts sont isolés soit par une enveloppe de caoutchouc vulcanisé (séries GE, GEP, IF, SV), soit par une enveloppe de caoutchouc naturel (séries LM, LC, EL). Les conducteurs dont la tension maximum de service est supérieure à 250 volts, sont isolés obligatoirement par une enveloppe de caoutchouc vulcanisé, à l'exclusion de caoutchouc naturel.



Art. 13. — *Enveloppes en caoutchouc naturel.* — Le naturel des enveloppes ne doit satisfaire à aucune autre condition que celle de contenir au moins 92 pour 100 de gomme pure, en poids, cette teneur étant vérifiée comme le prescrit l'art. 25. Toutefois, lorsque les bandes et les tubes de caoutchouc naturel formant les enveloppes ont été talqués, en cours de fabrication, il est admis que la teneur en gomme pure soit moindre, sans être inférieure à 85 pour 100.

Art. 14. — *Enveloppes en caoutchouc vulcanisé.* — Le caoutchouc vulcanisé des enveloppes doit contenir au moins 35 pour 100 de gomme pure en poids, cette teneur étant vérifiée comme le prescrit l'article 28.

$$\text{Il doit avoir un poids spécifique au moins égal à } \frac{178 - 0,85 \times R}{100}$$

R étant la proportion de gomme pure; toutefois une tolérance de 2 pour 100, en moins, est accordée sur le poids spécifique prescrit ci-dessus.

Commentaire. — Si $R = 35$, l'application de la formule précédente conduit à :

$$\frac{178 - 0,85 \times 35}{100} = 1,48$$

Le caoutchouc vulcanisé des enveloppes doit être établi pour supporter sans rupture (article 29) un allongement de 300 pour 100. Une fois vieilli (article 30) il doit supporter encore un allongement de 200 pour 100; dans les deux cas l'allongement résiduel ne doit pas excéder 25 pour 100. Il doit présenter également une résistance à la rupture au moins égale à 50 kilogrammes par centimètre carré (article 32). Une fois vieilli il doit présenter encore une résistance à la rupture supérieure à 40 kilogrammes par centimètre carré (article 33).

Prescriptions concernant la gaine de caoutchouc

Art. 15. — a) *Gaine de protection.* — Lorsque les conducteurs recouverts de leur enveloppe isolante sont enrobés dans une gaine de caoutchouc vulcanisé destinée à protéger ces conducteurs contre les dégradations mécaniques ou physiques et à assurer notamment leur étanchéité (par exemple les conducteurs des séries PP et GE), le caoutchouc de cette gaine doit satisfaire à toutes les conditions spécifiées à l'article 14 (composition, poids spécifique, allongement, résistance à la rupture) à l'exception de celles qui concernent l'allongement résiduel.

b) *Gaine de bourrage.* — Lorsque les conducteurs recouverts de leur enveloppe isolante sont câbés entre eux, puis enrobés dans une gaine de caoutchouc vulcanisé destinée à assurer seulement le bour-

rage du câble (par exemple câbles PRT et PFT, câbles CC), le caoutchouc de cette gaine doit contenir 35 pour 100 de gomme pure sans autres conditions.

B) Conditions générales de réception.

Vérification du caoutchouc naturel

Art. 25. — La teneur en gomme pure du caoutchouc naturel sera vérifiée par une analyse chimique comportant une extraction acétonique et une calcination au rouge vif.

Le poids des cendres et de l'extraction acétonique ne doit pas dépasser 8 pour 100 du poids de l'échantillon primitif; toutefois lorsque cet échantillon provient de bandes ou de tubes de caoutchouc naturel qui ont été talqués en cours de fabrication, le poids des cendres peut être plus élevé, mais ne doit pas dépasser 15 pour 100 du poids de l'échantillon.

Vérification du caoutchouc vulcanisé

Art. 26. — *Énumération des essais.* — La vérification du caoutchouc vulcanisé porte sur la composition et sur la résistance mécanique.

1° La vérification de la composition comporte :

- la détermination du poids spécifique,
- l'analyse des constituants,
- le dosage du soufre libre.

2° Le contrôle de la résistance mécanique comporte :

— des essais d'allongement exécutés sur une série d'échantillons prélevés sur le caoutchouc de l'enveloppe ou de la gaine elle-même; ces essais se divisent en deux groupes, l'un fait avant et l'autre après vieillissement accéléré.

— des essais de résistance à la rupture exécutés sur des plaquettes en caoutchouc de même nature que celui de l'enveloppe ou de la gaine à vérifier. Les plaquettes sont prélevées sur les machines en fonctionnement au cours de la fabrication. Ces essais se divisent également en deux groupes, l'un fait avant et l'autre après vieillissement accéléré.

CAOUTCHOUC SYNTHÉTIQUE

Le caoutchouc synthétique est un matériau de remplacement dont les qualités se sont révélées supérieures, à certains points de vue, à la gomme naturelle. C'est ce qui existe en particulier, pour les propriétés physiques, du fait que cette matière ne contient pas certaines substances en suspension dans le caoutchouc naturel, telles que : sels, sucres, protéines... lesquelles sont une cause de diminution des qualités du latex.

C'est en 1909, qu'un professeur allemand découvrit la possibilité de transformer l'hydrocarbure isoprène en une masse analogue au



caoutchouc, par simple chauffage, avec ou sans agent de polymérisation.

Actuellement, le caoutchouc synthétique est fabriqué par polymérisation du butadiène en présence de corps polymérisants dont le plus courant est le sodium métallique.

A) CAOUTCHOUCS SYNTHETIQUES ALLEMANDS.

Aux divers produits résultant des polymérisats employés, les Allemands ont donné le nom générique de *Bunas* (alliance Butadiène-Natrium).

Le butadiène est obtenu en partant de l'acétylène qui, lui-même, se prépare par décomposition du carbure de calcium par l'eau. L'acétylène, par transformations successives, se présente sous forme de butadiène-glycol, gaz facilement liquéfiable par compression. Le butadiène liquide est polymérisé sous forme d'émulsion aqueuse de savon, en présence de catalyseurs appropriés. Après addition de sels, il se coagule en flocons blanchâtres qui sont malaxés par des cylindres qui le transforment en aggloméré homogène. Actuellement (1942) on fabrique industriellement près de trente qualités de *Bunas* dont les propriétés sont assez variables et dont l'évolution se poursuit de façon permanente. Nous en citons cinq principaux, dont deux (32 et N) sont pratiquement abandonnés, mais qui donnent des points de comparaison utiles. Ce sont : *Buna N*, *Buna S*, *Buna 32*, *Buna 85* et *Buna 115*. L'avantage de ces mélanges à base synthétique est qu'ils se préparent comme les mélanges à base de gommes naturelles : on peut donc utiliser les mêmes machines et, en particulier, la vulcanisation s'effectue avec le soufre et en présence d'accélérateurs et d'oxyde de zinc. On incorpore également au *Buna*, pour améliorer ses propriétés mécaniques, du noir de carbone et d'autres charges renforçatrices.

Le *Buna 32* est un liquide visqueux, de la consistance du miel. Le *Buna 85* est un produit dense (compact) mais non encore sous forme stable. Le *Buna 115* est dense et stable.

PROPRIETES GENERALES DES PRODUITS BRUTS.

Buna 85.

Composition chimique : polymérisat du butadiène.

Consistance : dense, encore instable.

Couleur : par suite de sa teneur en divers corps devant le préserver du vieillissement, il est plus ou moins coloré en jaune sombre.

Poids spécifique : 0,89.

Buna 115.

Composition chimique : polymérisat du butadiène.

Aspect : compact.

Poids spécifique : 0,89.

Conductibilité calorifique : sensiblement celle du caoutchouc naturel.



Stabilité : à la température ambiante, un peu moins bonne à celle du produit naturel; après un long séjour et à plus haute température, sensiblement meilleure que celle du caoutchouc naturel.

Buna S.

Composition chimique : polymérisat mixte, styrol-butadiène, thermoplastique, de couleur brune.

Poids spécifique : 0,92.

Il se dissout, sans se décomposer, dans la benzine et est insoluble dans les acétones. Il est employé en *mélanges* (noirs, régénérés, caoutchouc naturel en toutes proportions) et avec des *plastifiants* (résine, colophane...) avec un amolissant liquide (goudron de sapin ou résine de caoutchouc).

Le Buna S est vulcanisé avec une teneur en soufre du même ordre que pour le caoutchouc naturel.

Le tableau ci-dessous donne les propriétés mécaniques comparatives des caoutchoucs naturel et synthétique.

Types	Résistance à la traction (kg/cm ²)	Allongement (en %)	Charge pour un allongement de 300 %	Dureté Shore	Elasticité
Caoutchouc naturel	260	600	70	65	50
Buna N	300	600	90	70	45
Buna S	275	650	80	65	50
Buna 115	200	700	55	60	40
Buna 85	175	600	50	65	30
Méthylcaoutchouc (1)	125	500	50	plastique	10

Au point de vue résistance à l'usure, les Bunas se classent dans l'ordre suivant : Buna N, Buna S, Buna 115, Buna 85. Les trois premiers sont, sur certains points, supérieurs au caoutchouc naturel. Le Buna S est plus résistant à la chaleur que le produit naturel, les autres lui sont comparables mais peuvent être améliorés par addition de charges appropriées.

(1) Le méthylcaoutchouc est un ancien produit synthétique allemand fabriqué à partir du diméthylbutadiène.



Au point de vue vieillissement les Bunas 115 et 85 sont bien supérieurs au caoutchouc naturel; le Buna N est deux fois plus imperméable aux gaz que ce dernier.

B) CAOUTCHOUCS SYNTHETIQUES AMERICAINS.

Le plus connu est le *Néoprène*. Celui-ci est également préparé en partant de l'acétylène, qui, par polymérisation est transformé en monovinylacétyène, puis traité par l'acide chlorhydrique en présence de chlorure cuivreux comme catalyseur; on obtient un chlorobutadiène. Ce produit, désigné également sous le nom de *chloroprène*, est un liquide incolore, à odeur étherée qui se polymérise très facilement. Si on l'abandonne dans un récipient parfaitement étanche, il se forme au bout de quelques jours une masse transparente, élastique, qui rappelle le caoutchouc souple vulcanisé. En modifiant les conditions de la polymérisation, on obtient toute une gamme de caoutchoucs synthétiques Néoprène.

On fabriquait également, à l'origine aux Etats-Unis, par un procédé d'ailleurs différent, toute une gamme d'autres succédanés du caoutchouc, auxquels on a donné le nom de *Thiokols*; ils sont obtenus par réaction du polysulfure de sodium et du chlorure d'éthylène. Actuellement, la fabrication s'est étendue à tous les pays, en particulier en France.

Les Néoprènes se caractérisent par leur résistance aux hydrocarbures, huiles et essences ainsi que par une meilleure résistance à l'action des rayons solaires, à l'action de l'ozone et à celle des effluves résultant de l'effet Corona. Le Néoprène est moins imperméable aux gaz que le caoutchouc naturel, ses propriétés de vieillissement sont supérieures à celles de la gomme et, par certaines de ses propriétés physiques, en particulier sa résistance à la traction, il s'est révélé meilleur que les mélanges à base de caoutchouc pur.

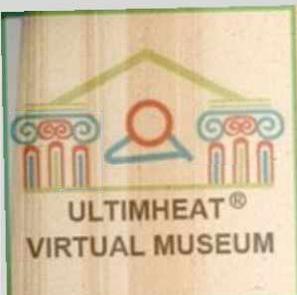
C) CAOUTCHOUCS SYNTHETIQUES RUSSES.

On a d'abord tenté, en U.R.S.S., de remplacer la gomme d'hévéa, par un extrait de petits arbustes dénommés tau-sagyz, mais le rendement industriel s'avéra insuffisant.

On utilise actuellement deux procédés de fabrication du caoutchouc synthétique :

- a) Le procédé *Sovprène* dérivé du Néoprène américain;
- b) Le procédé *S. K.*, par polymérisation du butadiène.

Le butadiène n'est pas ici, obtenu en partant de l'acétylène, mais on utilise, d'une part certaines fractions du pétrole brut, duquel on extrait des proportions variables de butadiène, d'autre part de l'alcool de pommes de terre. L'amidon de ces dernières est transformé en alcool éthylique; ce dernier est oxydé en acétaldéhyde puis, par combinaison de l'alcool éthylique et de l'acétaldéhyde en présence d'aluminium comme catalyseur, on obtient du butadiène.



Propriétés électriques des caoutchoucs synthétiques.

Le tableau suivant donne les propriétés isolantes comparées, des Bunas, avec différentes matières plastiques.

PRODUIT	Résistivité à 20° C ($\Omega \times \text{cm}^2/\text{cm}$)	Angle de pertes $\text{tg } \delta$ à 20° C et 50 p/s		Constante diélectrique k à 20° C et 50 p/s	
		non chargé	chargé	non chargé	chargé
		Perbunan	10^6 à 10^7		
Buna S	10^{14} à 10^{15}	0,000 9	0,003 à 0,03	2,9	2,9 à 7
Bunas 85 et 115	10^{14} à 10^{15}	0,000 7	0,006 à 0,03	2,7	2,9 à 7
Caoutchouc naturel	10^{14} à 10^{15}	0,001	0,005 à 0,01	2,5	2,7 à 7
Polystyrol	10^{16}	0,000 1		2,5	
Oppanol	10^{16}	0,000 9		2,3	

En ce qui concerne les Bunas chargés, les valeurs données sont des valeurs moyennes qui peuvent varier avec la nature des charges, des plastifiants et des accélérateurs de vulcanisation.

La variation des caractéristiques électriques, en fonction de l'élévation de température est donnée par la figure 65, qui montre l'influence de l'échauffement sur l'angle de pertes et la résistivité pour le caout-

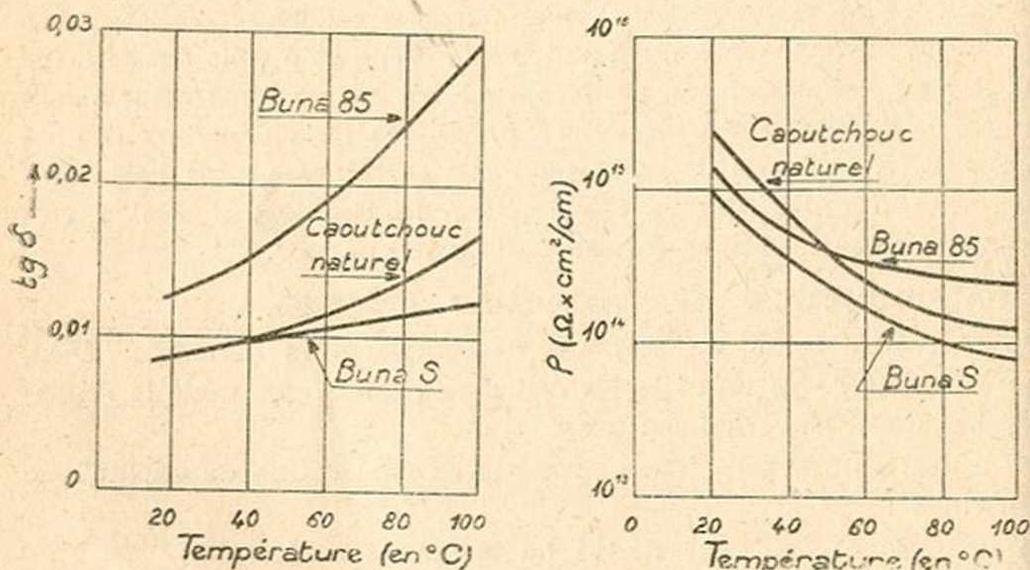


Fig. 65. — Variation de l'angle de pertes et de la résistivité du caoutchouc naturel et des Bunas S et 85.

chouc naturel, le Buna S et le Buna 85; cette influence est du même ordre sur les trois produits et peut d'ailleurs varier avec la nature des charges.

Le Buna S est supérieur au caoutchouc naturel dans le vieillissement sous l'action prolongée d'une température élevée. Si l'on soumet



pendant une dizaine de jours, à une température de 100°C de l'air, des conducteurs isolés respectivement au caoutchouc naturel et au Buna S et que l'on mesure la résistance d'isolement à différentes températures, avant et après vieillissement, on constate que la courbe du Buna n'a pas changé, tandis que celle du caoutchouc naturel, qui était précédemment au-dessus de celle du Buna, est passée, après vieillissement, nettement au-dessous, ainsi que l'indique la figure 66.

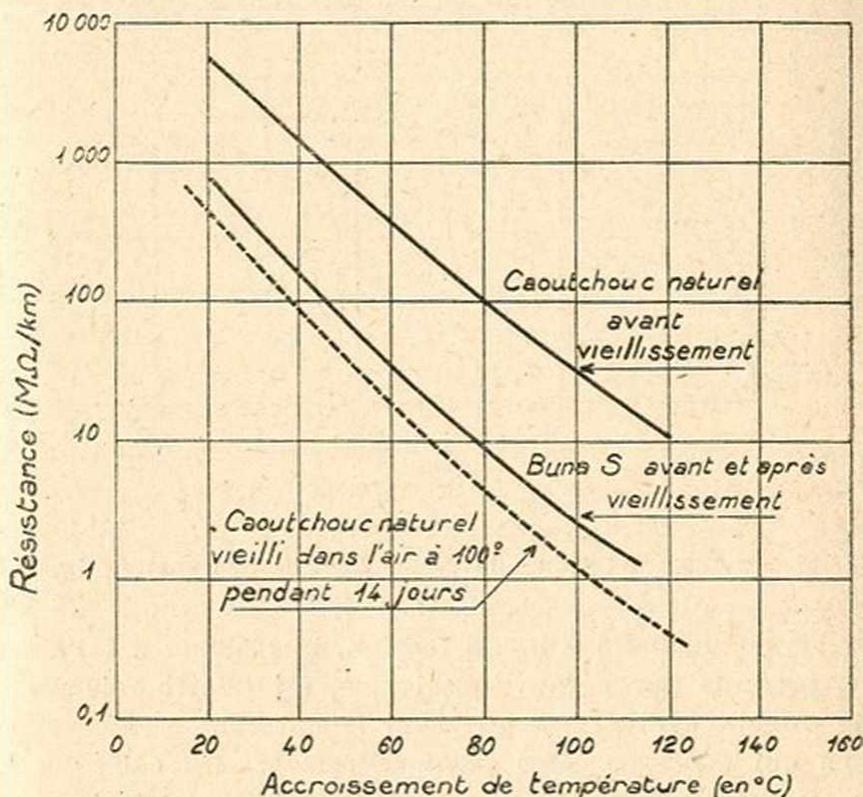


Fig. 66. — Variation de la résistance du caoutchouc naturel et du Buna S avec le vieillissement et la température.

Applications du caoutchouc synthétique dans l'industrie électrique.

Bien qu'il soit encore très peu utilisé en France, l'industrie des fils et câbles électriques doit pouvoir faire une grande consommation de caoutchouc synthétique par suite des qualités de ce produit au point de vue isolement et de son excellente résistance au vieillissement, tout au moins pour certains types.

La déformation permanente du Buna soumis à pression est beaucoup moins grande qu'avec du caoutchouc naturel. Cette supériorité se fait d'autant plus sentir que la température est plus élevée. Cette propriété est intéressante dans les câbles souples soumis à des efforts importants dus aux déformations.

La résistance à la pénétration par l'eau est également plus grande pour le Buna S que pour le caoutchouc naturel; la figure 67 montre



2°) *Cylindres ou moulages de même section.*

Isolation des enroulements des transformateurs entre eux et par rapport à la masse ;

Revêtement de cuves de disjoncteurs ;

Cheminées pour disjoncteurs à air ;

Construction des bornes à haute tension type condensateur.

3°) *Plaques.*

Panneaux et cloisons isolantes employés dans la construction des postes de transformation à haute et basse tensions ;

Panneaux supports d'appareils pour la distribution de l'énergie ;

Supports de matériel radioélectrique ;

Ecrans pour transformateurs et disjoncteurs dans l'huile.

4°) *Bande souple à base de toile.*

Réparation de transformateurs à basse fréquence et à moyenne tension ;

Renforcement de l'isolation de barres-traversées ;

Fabrication d'engrenages silencieux pour électro-outillage ;

Isolation d'organes d'appareillage sous tension dont les pièces doivent supporter des contraintes mécaniques importantes.

Usinage des produits à base de résines synthétiques.

Les produits constitués par du papier, du carton, des tissus imprégnés de résines synthétiques, ne peuvent être usinés qu'avec de grandes précautions. Les outils doivent toujours être bien tranchants et ne peuvent guère travailler plus de une demi-heure sans réaffûtage ; il est même bon de réduire encore ce temps dès qu'il est constaté la moindre fatigue de l'outil.

Toute décoloration de la pièce en cours de travail, indice de brûlure, est le signe d'un émoussement de l'outil.

Les outils en acier au carbone ne conviennent pas ; il faut employer des aciers à grande vitesse en carbures frittés ou, si l'on désire un haut degré de fini, choisir le diamant.

Il faut travailler à sec et maintenir l'outil toujours propre ; le meilleur agent refroidisseur est un jet d'air comprimé. Le seul lubrifiant admissible est un peu d'huile minérale très fluide, dont l'emploi doit être limité aux cas où le fini doit être particulièrement soigné. Tous les savons peuvent nuire beaucoup aux propriétés isolantes de la matière.

Perçage. — Pour le perçage, les mèches doivent être différentes suivant qu'on travaille dans le sens de la stratification ou dans le sens perpendiculaire ; l'angle au sommet doit être de 120 à 130 degrés dans le premier cas, d'environ 55 degrés dans le second. Il faut relever fréquemment la mèche, tant pour extraire les copeaux que pour assurer le refroidissement. Pour les trous de petit diamètre, les perceuses ordinaires conviennent en général, mais on recommande le forage au tour pour les trous de 20 millimètres et plus.



Utiliser de préférence des mèches à téton pyramidal à base carrée ayant deux lèvres coupantes (mèches à tonneau). Tourner et avancer lentement. Quand le téton apparaît, retourner la plaque et reprendre le trou.

Sciage. — Utiliser des scies à ruban ayant 3 à 4 millimètres d'entredent ou des scies genre égoïne de mêmes caractéristiques. Utiliser la même vitesse que pour le bois dur.

Taraudage. — Utiliser toujours des tarauds en excellent état et ne servant à aucun autre usage.

Filetage. — Adopter de préférence le filet carré, plus robuste.

Découpage. — Chauffer la plaque à 120° C. dans l'huile pendant quelques minutes et poinçonner avec des outils identiques à ceux employés pour la tôle.

Polissage :

1°) *Sur faces :* Utiliser des disques en coton tournant à une vitesse périphérique de 2 500 mètres par minute ;

2°) *Sur champs :* Utiliser au préalable la courroie abrasive à base de carborundum ou de verre.

ISOLANTS CÉRAMIQUES

Les isolants céramiques sont des sortes de porcelaines dont la composition diffère des produits céramiques courants. Ils sont préparés par les mêmes procédés et durcis ensuite grâce à l'intervention de réactions chimiques, de phénomènes de prise ou de cristallisation à température élevée. Les propriétés particulières sont obtenues en modifiant la proportion des composants normaux ou par addition de substances supplémentaires.

Tous les produits céramiques spéciaux, appelés parfois *porcelaines électriques*, résistent à la chaleur, aux variations de température et à l'humidité. Ils ne sont attaquables ni par les alcalis, ni par les acides sauf l'acide fluorhydrique.

Les produits de base sont l'*argile* ou le *kaolin* (*silicates d'aluminium*) ou le *talc* (*silicate de magnésie*). Les constituants secondaires sont nombreux. On utilise l'*alumine*, le *corindon*, et le *mullite* pour les produits très réfractaires. La stéatite, le talc et d'autres composés magnésiens servent pour les substances à faibles pertes diélectriques. Le *carbure de silicium* est employé pour certaines matières isolantes soumises à une température élevée. Il faut encore ajouter toute une série d'oxydes et de silicates, notamment les dérivés des métaux des groupes de terres rares.

Les matières céramiques à forte constante diélectrique ne sont pas des silicates ; elles sont principalement constituées par de l'oxyde de titane. Le corindon, autre produit céramique très dense est préparé à partir de l'alumine pure.



Au point de vue de la structure, ces isolants présentent toutes les transitions possibles, depuis les matières fortement vitrifiées jusqu'à des textures entièrement cristallines. On établit parfois une subdivision des produits d'après leur étanchéité. Les substances céramiques poreuses présentent des avantages au point de vue thermique, elles résistent mieux aux variations de température, mais sont inférieures quant à la résistance mécanique.

PORCELAINE

La porcelaine est obtenue par cuisson, vers 1 400° C, d'un mélange d'argile et de kaolin, de quartz et de feldspath. Ce sont le kaolin et l'argile qui donnent à la pâte sa plasticité, tandis que le quartz et le feldspath y constituent un élément dégraissant. Ce dernier corps, dont le point de fusion est nettement plus bas que ceux des autres constituants, assure en outre la vitrification du mélange.

Les teneurs les plus habituelles sont sensiblement : 50 pour 100 de kaolin, 25 pour 100 de feldspath, 25 pour 100 de quartz. Le kaolin pur est un mélange de 39,6 pour 100 d'alumine, 46,5 pour 100 de silice et 13,9 pour 100 d'eau.

Au lieu de feldspath, ou avec lui, les mélanges peuvent contenir des fondants tels que les oxydes alcalino-terreux, de l'oxyde de bore... et au lieu de quartz, des oxydes tels que ceux de zirconium et de titane.

Ordinairement, les pièces sont recouvertes avant cuisson d'une pâte spéciale, dont la vitrification au four donne l'émail. En modifiant les proportions des constituants, il est possible d'obtenir toute une gamme de produits de qualités très différentes.

Les propriétés de la porcelaine électrique sont les suivantes :

Chaleur spécifique	0,258 cal.
Coefficient de dilatation linéaire	2×10^{-6} à 3×10^{-6} .
Résistance à la compression	10 à 40 kg/mm ²
Résistance à la traction	1,6 à 3,5 kg/mm ²
Module d'élasticité.	6 800 à 7 800 kg/mm ²
Constante diélectrique	4,38
Résistivité	2×10^9 MΩ × cm ² /cm

La rigidité diélectrique est variable avec la composition et avec l'épaisseur du diélectrique. Voici quelques résultats d'essais, sous courant alternatif à 50 périodes par seconde.

Epaisseur du diélectrique (en mm) ..	1	2	3	4	5	6
Rigidité diélectrique (en kV/cm)	350	270	230	230	220	210

Jusqu'à 150° C., la rigidité diélectrique est indépendante de la température. Au-dessus, la porcelaine perd ses propriétés diélectriques au fur et à mesure de l'augmentation de température. Au-dessus de 300° C., elle subit des transformations chimiques qui en font un mauvais isolant. Ce phénomène correspond à une diminution de la résistivité ainsi que l'indique la courbe figure 78.

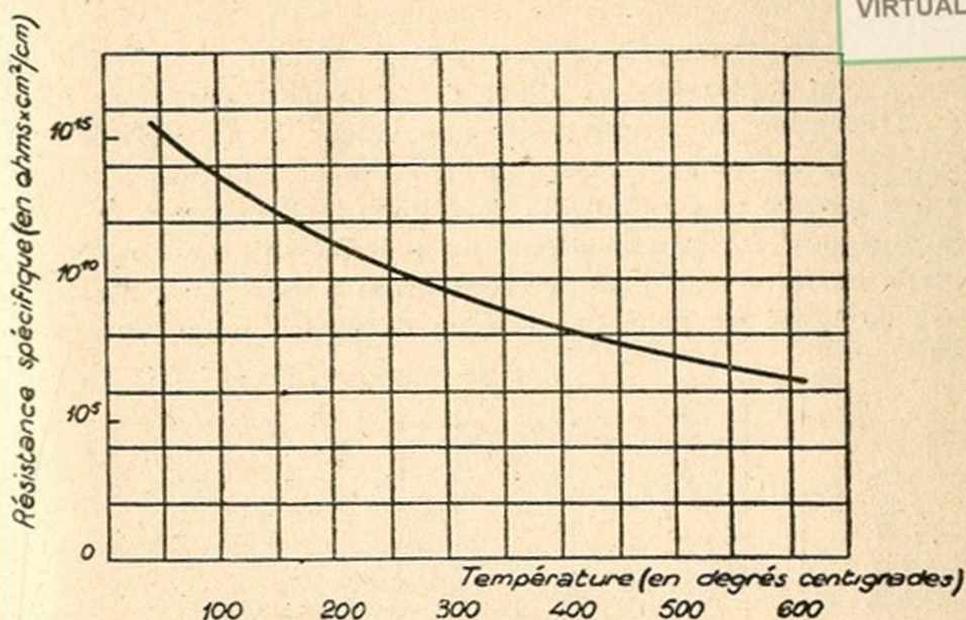


Fig. 78. — Variation de la résistivité de la porcelaine en fonction de la température.

En outre, ainsi que le montre la figure 79, une forte diminution de la résistance au claquage se manifeste pour des températures dépassant 70° C., indépendamment de la nature de la tension; alternative, continue ou par impulsions.

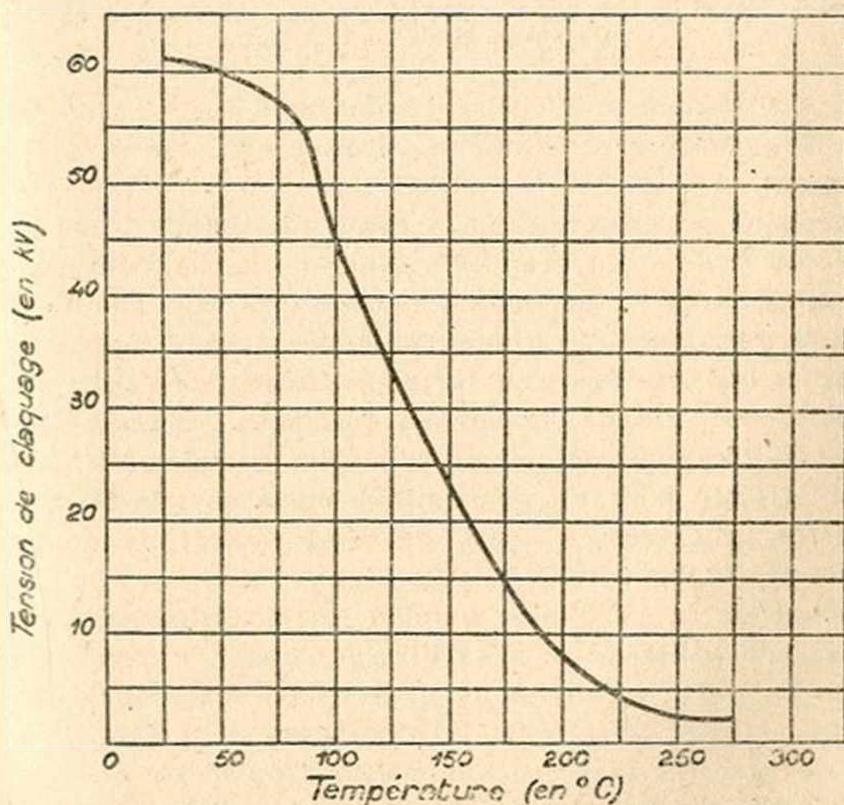


Fig. 79. — Variation de la tension de claquage de la porcelaine en fonction de la température à la fréquence 50 p/s.

Il existe de même une étroite dépendance entre les pertes diélectriques et la température; dès que celle-ci atteint 60° C., les pertes croissent très rapidement. L'allure de la courbe des pertes diélectriques en fonction du temps, pour une valeur bien déterminée de la tension et de la température confirme cette dépendance, attendu que, pour une tension de 50 kilovolts, le régime tend encore à se stabiliser après quelques fortes variations au début de l'essai. La porcelaine supporte parfaitement bien cette tension tandis que, ainsi que le montre la figure 80, pour une tension de 60 kilovolts, pertes et tem-

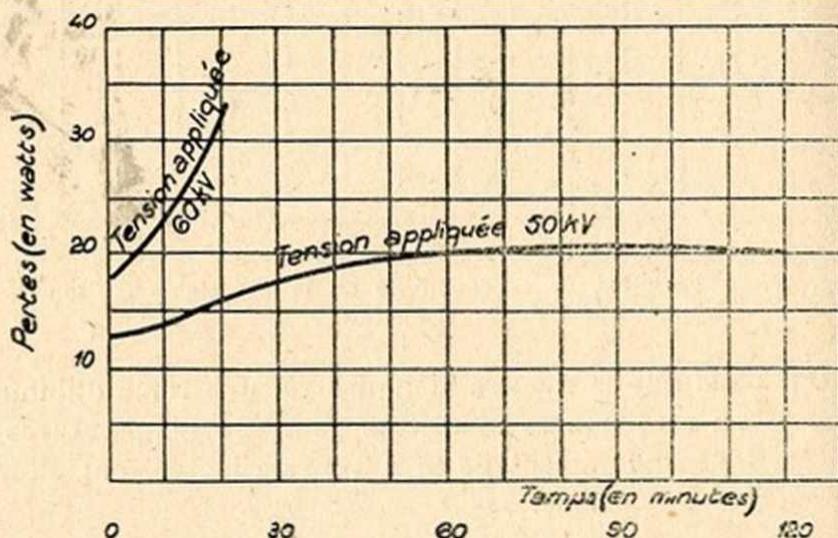


Fig. 80. — Variation des pertes diélectriques de la porcelaine en fonction du temps et de la tension.

pératures s'entraînent mutuellement sans jamais se stabiliser puisque, pour une température constante, les pertes croissent très fortement avec le temps.

La porcelaine est imperméable à l'eau, inattaquable aux acides et supporte sans crainte de grandes variations de température.

Les propriétés de la porcelaine : résistance aux changements de température, résistance électrique, résistance mécanique sont fonction des éléments constitutifs. Une forte proportion de kaolin augmente la première, une grande teneur en feldspath est nécessaire pour augmenter la résistance électrique et la plus grande résistance mécanique est atteinte pour un pourcentage élevé en quartz. La qualité des matières premières a aussi de l'importance; le feldspath de sodium est préférable à celui de potassium.

L'émaillage de la porcelaine élimine les aspérités superficielles et évite le rapide salissement. L'émaillage n'améliore pas les qualités électriques car on a affaire à un diélectrique composé de matériaux isolants de natures différentes; la répartition du potentiel peut être telle que le gradient atteigne une valeur trop élevée pour l'élément de rigidité diélectrique plus faible susceptible d'être perforé, ce qui peut entraîner la destruction complète de l'isolateur.



On a pu améliorer la porcelaine en introduisant du magnésium dans les pâtes; le coefficient de dilatation diminue si l'on augmente la durée et la température de cuisson; il est minimum pour une pâte contenant 30 pour 100 de silicate de magnésium.

Les qualités diélectriques sont accrues : la rigidité diélectrique dépasse 30 kilovolts par millimètre, la constante diélectrique est égale à 2 et le coefficient de pertes diélectriques en haute fréquence est de 0,64 par rapport à la porcelaine ordinaire.

LA PORCELAINE DANS LA FABRICATION DES PIÈCES ISOLANTES D'APPAREILLAGE.

Les pièces d'appareillage en porcelaine sont fabriquées suivant deux méthodes générales :

A) Porcelaines en pâte sèche.

Elles s'obtiennent par moulage sous pression dans des moules en acier, la porcelaine étant réduite à l'état pulvérulent et légèrement humidifiée; avec des moules appropriés on peut obtenir toutes variétés possibles de formes.

Ce procédé permet une certaine précision dans les dimensions mais donne une porcelaine ayant de moins bonnes qualités diélectriques. En ce qui concerne le moulage, il doit être tenu compte du retrait qui a lieu pendant la cuisson et de l'impossibilité d'obtenir un retrait identique pour toutes les pièces, malgré le contrôle des températures des fours; il est d'ailleurs admis, à ce point de vue, une tolérance sur les dimensions, de $\pm 1,5$ pour 100. Lorsqu'il y a des trous à ménager, il faut prévoir un jeu de 3 à 4/10 de millimètre, même pour de petits diamètres. Les trous placés trop au bord de la surface extérieure présentent généralement des fêlures et il faut prévoir au moins deux millimètres d'épaisseur de matière. On doit également admettre une dépouille suffisante pour obtenir un démoulage sans provoquer la rupture de la pâte.

Les porcelaines en pâte sèche conviennent surtout pour l'utilisation en basse tension : coupe-circuits, socles de petit appareillage, supports de fils de rhéostats...

B) Porcelaines en pâte humide.

Elles sont obtenues à l'aide de pâtes présentant la consistance du mastic. On leur donne une première forme et la pièce est séchée au four pendant un certain temps. La forme définitive est donnée à la main, sur un tour de potier à axe vertical ou sur une machine à l'aide d'outils spéciaux.

La précision est moins grande que dans le premier procédé, mais la porcelaine conserve toutes ses propriétés diélectriques. La tolérance admise dans les dimensions est de ± 2 pour 100. On peut obtenir, avec le procédé en pâte humide, de grandes variétés, en dimensions et en formes, des rainures qui permettent d'accroître les lignes de fuite dans les isolateurs, traversées...



STÉATITE

La stéatite est un silicate naturel de magnésie, variété de talc, grasse au toucher.

La stéatite se recommande par des propriétés électriques et mécaniques remarquables en haute fréquence. Jusqu'à 3 000 kilocycles, son pouvoir inducteur spécifique est de 6 à 6,4; le facteur de puissance varie de 0,2 à 0,4 pour 100 et le facteur de pertes de 1,2 à 1,5 pour 100, donc très inférieur à celui des porcelaines ordinaires.

On fabrique des pièces en stéatite par compression ou moulage. Avant cuisson elles sont travaillées avec des outils très durs, en aciers spéciaux ou en carborundum.

On les cuit ensuite vers 1 400° C, mais cette température de cuisson doit être surveillée avec le plus grand soin.

Pour maintenir une bonne résistivité superficielle et éviter le dépôt de poussières conductrices ou la condensation de l'humidité, on enduit la stéatite d'un vernis superficiel ou on la recouvre de cire ou de trolitul.

Les matières réfractaires à base de stéatite possèdent des qualités de résistance mécanique supérieures à celle de la porcelaine, ainsi que l'indique le tableau comparatif ci-dessous, établi d'après des résultats obtenus sur des éprouvettes identiques en porcelaine ordinaire et en stéatite.

Caractéristiques	Porcelaine	Stéatite
Densité	2,3	2,6
Résistance à la traction (kg/cm ²)..	500	1 000
Résistance à la flexion (kg/cm ²)....	790	1 540
Résistance à la compression (kg/cm ²)..	5 000	9 500
Résil'ence (kg/cm/cm ²)	3	6,1
Rigidité diélectrique (sur des éprouvettes de 8 mm d'épaisseur) (kV/mm)	28	28
Constante diélectrique	4,5	6,6
Tangente de l'angle de pertes	60 × 10 ⁻⁴	12 à 20 × 10 ⁻⁴

Pour l'application de la stéatite aux condensateurs, on a pu obtenir, par incorporation d'oxyde de titane, des porcelaines dont la constante diélectrique atteint 80 (au lieu de 4,5 pour la porcelaine ordinaire), sans altération des propriétés électriques.

Les courbes figure 85 montrent la variation de la résistance d'iso-



lement de la porcelaine (courbe I), de la stéatite (courbe II) et du quartz (courbe III) en fonction de la température.

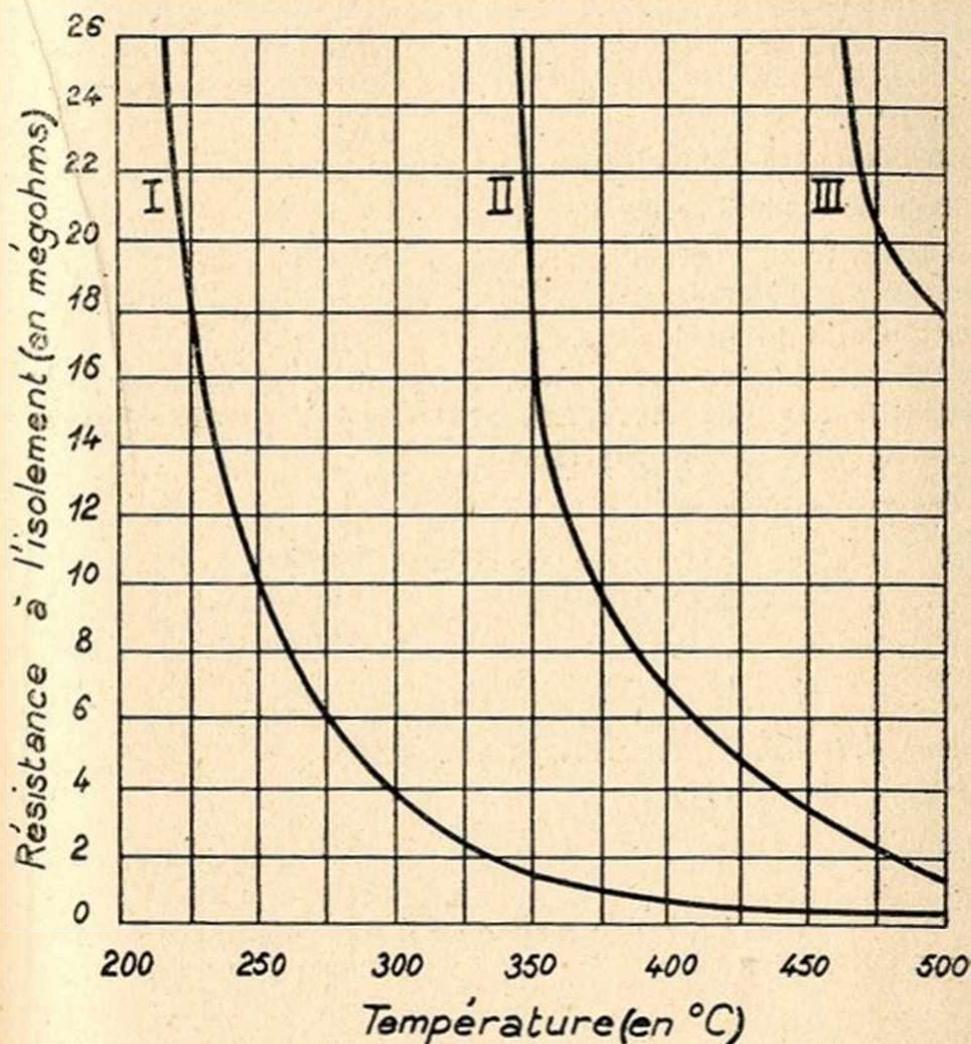


Fig. 85. — Variation de la résistance d'isolement de la porcelaine (I), de la stéatite (II) et du quartz (III) en fonction de la température.

ISOLANTS CERAMIQUES SPECIAUX

A) PRODUITS ETANCHES

Les produits étanches, qui peuvent être vernissés comme la porcelaine ou la stéatite peuvent se classer en quatre groupes d'après leur composition.

1°) PRODUITS EXTRA-ALUMINEUX.

Sinterkorund.

Le *sinterkorund* ou *corindon fritté* créé par la Société Siemens et Halske est un isolant céramique réfractaire possédant une grande résistance mécanique et un pouvoir isolant élevé, même aux fortes températures. Ce composé est un oxyde d'aluminium fondu (99,2 % d'alumine, 0,8 % de silice) et se présente sous l'aspect d'un corps



complètement cristallisé, assez semblable extérieurement à de la porcelaine, mais dont la structure et les propriétés sont totalement différentes.

Il ne renferme aucune matière vitreuse, cause d'une diminution rapide des propriétés mécaniques et électriques au-dessus d'une certaine température.

Ses propriétés générales sont les suivantes :

a) *Propriétés mécaniques :*

Résistance à la traction	350 kg/cm ²
Résistance à la pression	6 190 kg/cm ²
Résistance à la flexion	1 210 kg/cm ²
Résistance au choc	3,12 cm.kg/cm ²
Etanchéité aux gaz	absolue jusqu'à 1 720°
Dureté (chiffre de Brinell)	9

b) *Propriétés thermiques :*

Point de fusion	2 050° C
— Conductibilité calorifique :	à 16° C. : 16,8
	à 95° C. : 12
	à 300° C. : 6,2
	à 800° C. : 4,1
Chaleur spécifique	0,20

c) *Propriétés électriques :*

Rigidité diélectrique	à 24° C. : 46 kV/cm
	à 520° C. : 19 kV/cm
(essai sur une plaque de 3 mm immergée dans l'huile).	
— Résistivité :	à 300° C. 1,2 × 10 ⁷ MΩ/cm
	à 500° C. 1,3 × 10 ⁵ MΩ/cm
	à 800° C. 3,5 MΩ/cm

Sa résistance aux variations brusques de température est telle que l'on peut tremper dans l'eau froide le sinterkorund porté au rouge.

On l'utilise dans les meilleures conditions pour la fabrication des bougies d'allumage et pour toutes applications où l'on désire réaliser des isolements élevés à haute température. En particulier il sert à la confection des supports de résistances de fers à souder électriques; ceux-ci peuvent parfaitement tomber sur le sol, la résistance étant incandescente, sans que le support en souffre. Enfin on l'emploie de plus en plus dans la construction des fours électriques.

Isomar.

L'isomar est un silicate d'alumine exempt de stéatite, mais contenant beaucoup d'alumine; sa coloration va du blanc au gris bleu. Ses propriétés électriques mécaniques et thermiques sont très supérieures à celles de la porcelaine. Il a sensiblement les mêmes applications que le corindon.



Pyranite.

La pyranite, autre silicate d'alumine contient de la sillimanite. Elle ressemble extérieurement à de la porcelaine; on l'utilise également pour la fabrication des bougies d'allumage. Elle résiste mieux aux variations de température que les isolants en stéatite, tout en ayant le même pouvoir isolant.

Pyrodur.

Le pyrodur, de couleur blanche, est un produit alumineux utilisé pour le matériel de laboratoire: nacelles, creusets, tuyères et principalement pour les gaines pyrométriques dont la température d'utilisation varie de 1 100 à 1 500° C.

Masse de Pythagore.

La masse céramique de Pythagore possède une forte résistance à la chaleur et aux variations de température. Les pièces sont imperméables au vide élevé jusqu'à 1 580° C. Elle fond vers 1 770° C et convient aux atmosphères très réductrices; elle est indifférente aux agents chimiques. La masse *Extra P*, en plus de l'imperméabilité aux gaz résiste parfaitement au contact des métaux en fusion. On l'utilise pour la fabrication des gaines pyrométriques, des tubes pour le chauffage et la combustion ainsi que des creusets jusqu'à 1 700° C.

2°) PRODUITS A FORTE TENEUR EN SILICATE DE MAGNESIUM.

Les matières premières sont des hydrosilicates de magnésie, tels que le talc, la stéatite et la *brucite* qui est un oxyhydrate de magnésium. Ces produits se rencontrent dans le commerce sous le nom de *calite*, *calan*, *ultra-calan*, *fréquenta* et *fréquenta D*.

Le *calite* et les *fréquenta* présentent une structure cristalline analogue à celle du métasilicate de magnésium. La forme cristalline du *calan* est celle de la forstérite. Le *calan* possède une grosse proportion de magnésie, encore accrue dans l'*ultra-calan*.

Les céramiques à base de *fréquenta* ont une coloration jaune verdâtre à la surface et une cassure gris-blanc; le *calite* et le *calan* ont une couleur allant du blanc pur à l'ivoire, l'*ultra-calan* est brun à la surface et sa cassure est violet foncé.

Les produits de ce groupe sont caractérisés par des pertes diélectriques faibles, une conductivité peu élevée aux hautes températures et une forte résistance mécanique aux chocs.

Les objets façonnés peuvent être obtenus avec une grande précision. Ils ont l'avantage de pouvoir être tournés, moulés ou étirés avant cuisson, qui a lieu vers 1 400° C environ. On peut ensuite les rectifier et les polir et les pièces ainsi constituées peuvent être calibrées à ± 3 pour 100 au tour. Les écarts sont réduits à $\pm 1,5$ pour 100 pour la pâte pressée humide et à ± 1 pour 100 pour la pâte pressée à sec.

Le facteur de pertes diélectriques diminue dans tous les cas avec l'augmentation de la fréquence, ainsi que l'indique le tableau comparatif suivant établi pour des isolants solides utilisés en haute fréquence.

Diélectrique	Angle de pertes ($\text{tg } \delta$ en %) pour f en kilocycles				
	300	1 000	3 000	10 000	50 000
Quartz	0,010	0,010	0,010	0,010	0,011
Ultra-calan		0,010	0,010	0,010	0,011
Mica	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017
Fréquenta D		0,038		0,019	0,019
Calan	0,036	0,032	0,028	0,026	0,025
Fréquenta	0,047	0,038	0,030	0,028	0,026
Calite	0,041	0,038	0,037	0,034	0,032
Mycalex	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18
Stéatite	0,21	0,20	0,18	0,17	0,15
Ebonite	0,65	0,54	0,51	0,57	0,53
Porcelaine	0,70	0,55	0,49	0,63	0,85
Condensa C	0,072	0,06	0,041	0,032	0,028
Condensa	0,097	0,08	0,072	0,061	0,057
Kérafar R		0,1-0,15		0,05-0,01	
Kérafar S		0,15-0,20		0,05-0,01	
Kérafar T		0,15-0,20		0,05-0,01	

Ces produits sont parfaitement insensibles à l'action de la chaleur et de l'humidité et ne subissent aucun phénomène de vieillissement ou de fatigue. De plus, ils peuvent être recouverts, au four, d'un dépôt superficiel renforcé ensuite par électrolyse ou par projection de métal; cela permet de réaliser des soudures électriques.



Ces porcelaines à faibles pertes sont employées dans la technique des appareils de la haute fréquence, pour les parties sous tension, pour les appareils électro-médicaux ainsi que comme diélectriques de condensateurs. On les utilise pour les parties isolantes à forte résistance mécanique, dans les installations à haute et basse fréquence et en particulier en électrocalorique à cause de leur faible conductibilité aux hautes températures (isolement des résistances, fours électriques, supports...).

Pour le fréquenta, la courbe donnant la variation du facteur de pertes en fonction de la température présente une allure particulière, avec maximum à 150° C et minimum vers 200-250° C. L'hystérésis diélectrique est faible, les valeurs sont plus élevées pendant le refroidissement que pendant l'échauffement; à la température ordinaire, les courbes se rapprochent l'une de l'autre.

3°) PRODUITS CONTENANT DE L'ALUMINE ET DU SILICATE DE MAGNESIUM.

Ces produits comprennent trois composants : oxyde de magnésium, alumine et silice auxquels on ajoute du feldspath. En réalisant différents mélanges on a pu obtenir des masses ayant un très faible coefficient de dilatation massique.

Les produits dénommés **Ardostan** et **Sipa** constituent des pièces étanches grises qui sont caractérisées par un coefficient de dilatation thermique très faible et, par conséquent, une forte résistance à l'arc électrique. Ces pièces ne peuvent être vernies mais on peut leur donner une surface lisse en les cuisant de façon spéciale.

On emploie ces isolants en haute et basse tensions aux endroits soumis aux variations brusques de température : supports pour les conducteurs de fours électriques, protection contre les arcs et les étincelles et dans tous les cas où les pièces soumises à la haute tension doivent être étanches à l'humidité.

4°) PRODUITS A FORTE TENEUR EN TITANE.

Ils sont dénommés commercialement **Condensa** et **Kérafar**. Leur constituant de base est l'oxyde de titane. La cuisson en provoque la transformation en une substance cristalline et leur communique une constante diélectrique extrêmement élevée, atteignant jusqu'à 80. Ces masses isolantes, à haute capacité, présentent en même temps des pertes très faibles pour des courants de haute fréquence. Par contre, pour des fréquences basses et moyennes, les angles de pertes sont plus considérables.

Ces produits ont une propriété remarquable, celle d'avoir un coefficient de température négatif de leur constante diélectrique, contrairement aux autres isolants céramiques. Le tableau suivant donne la valeur de l'influence de la température sur la constante diélectrique de quelques isolants solides.



ISOLANT	Variation % de la constante diélectrique par 10° C.
Quartz	+ 0,02 à + 0,04
Mica	+ 0,06 à + 1
Ultra-calan	+ 0,10 à + 0,12
Fréquenta - fréquenta D	+ 0,10 à + 0,12
Calit - calan	+ 0,12 à + 0,16
Condensa	- 0,34 à - 0,38
Condensa C	- 0,70 à - 0,74
Kérafar R	- 0,58 à - 0,62
Kérafar S	- 0,48 à - 0,52
Kérafar T	- 0,28 à - 0,32

Le tableau de la page suivante donne les caractéristiques des isolants céramiques spéciaux non poreux.

B) PRODUITS POREUX.

On emploie principalement ces produits en électrocalorique, où ils doivent servir en même temps de support et d'isolant pour les fils chauffants. Ils doivent posséder à la fois une bonne résistance mécanique, une conductivité faible même aux températures élevées et une certaine résistance aux variations brusques de température ; cette dernière condition est favorisée par la structure poreuse et granuleuse.

1°) PRODUITS CERAMIQUES TERNAIRES.

Ils sont à base d'oxyde de magnésium, d'alumine et de silice. Ils sont connus sous le nom de **magnésolite** et **thermisol** et comprennent toute une série de masses allant de pièces très poreuses à des pièces presque étanches en rejoignant ainsi les premiers groupes. Ces céramiques sont dénommés **St G, Ost, Elwa, Thermisol-supra...**

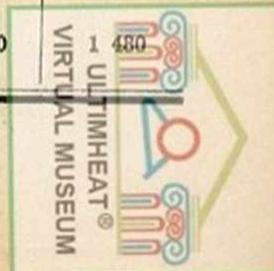
La composition et les propriétés de ces masses sont intermédiaires entre celles des grès et de la stéatite. Les grosses pièces, à fortes parois, telles que plaques chauffantes, supports... sont préparées à partir de produits très poreux. Les pièces plus fines sont obtenues par le travail à la presse ou à l'étireuse.

2°) PRODUITS A FORTE TENEUR EN ALUMINE.

Ils sont plus réfractaires que les précédents. On y incorpore souvent de l'alumine, du corindon ou du carborundum, soit afin d'élever le

Caractéristiques des isolants céramiques spéciaux non poreux

	I			II				III		IV	
	Sinterkorund	Isomar	Pyrodur	Calite	Calan	Ultra-Calan	Fréquenta D	Ardoestan	Sipa	Condensa	Kérafar S
Poids spécifique (gr/cm ³)	3,78	2,7	2,6	2,6-2,7	2,8	2,7-2,8	2,6-2,8	2,2	2,2	3,7	3,6
Résistance à la compression (kg/cm ²)	6 000	8 000	6 700-8-500	9 500-10 000	5 000-6 000	5 000-6 000	9 000-9 500	2 800-4 000	3 000-5 000	3 000	9 500-12 900
Résistance à la traction (kg/cm ²)	350	600	250-300	650-950	400-500	400-500	500-850	300-360	260-350	300	500-600
Résistance à la flexion (kg/cm ²)	1 200	1 750	1 200-1-400	1 400-1 600	1 000	1 600	1 400-1 600	830-850	1 500	1 500	1 500
Module d'élasticité (kg/mm ²)	23 500	18 000	9 000	10 860	12 000	11 000	9 000-11 000	7 000	9 000	11 000	11 000
Tension de percement, à 50 p/s (kV/mm)	11-16	40	25-30	35-45	35-45	35-45	27	20	20	15-20	10
Résistance d'isolement (M Ω /cm) :											
-- à 300° C	12×10 ⁶	40×10 ³	32	32×10 ³	26×10 ³		25×10 ³	80	6		
-- à 400° C	1,6×10 ⁶	2×10 ³	2	1,6×10 ³	1,3×10 ³	250×10 ³	2,3×10 ³	5,6	0,8		
-- à 500° C	130×10 ³	200	0,2	180	310	10×10 ³	200	0,8	0,1		
-- à 600° C	19×10 ³	33		32		630	41	0,23	0,024		
Coefficient de dilatation thermique	4,6×10 ⁻⁶	2,5×10 ⁻⁶	4,4×10 ⁻⁶	7,8×10 ⁻⁶	7,6×10 ⁻⁶	8,6×10 ⁻⁶	6-6,8×10 ⁻⁶	1×10 ⁻⁶	1×10 ⁻⁶	6,7×10 ⁻⁶	8×10 ⁻⁶
Température de ramollissement (°C)	1 730	1 520	1 645	1 440	1 390	1 580	1 440	1 300	1 400	1 430	1 480



point de ramollissement, soit pour améliorer la conductibilité thermique.

La **rhéostite** et le **K 5** contiennent du corindon et conviennent pour les tubes de supports, les parois ou les traverses qui servent à attacher les gros fils chauffants. Ces masses ne permettent d'obtenir que des pièces simples.

Le **Q** et le **Q 5** sont très peu poreux et contiennent beaucoup d'alumine avec très peu de fondants. Ils résistent aux très hautes températures.

Le **calodure** contient du corindon et du carborundum. Il possède une bonne conductibilité thermique et une forte résistance aux variations brusques de température. On l'utilise pour préparer des résistances chauffantes dont les fils ou les bandes font corps avec la masse céramique. Il permet de réaliser des masses chauffantes de très grandes dimensions, en tubes ou en plaques. On utilise le calodure pour la construction de fours électriques atteignant jusqu'à 1 000° C.

3°) **PRODUITS DIVERS.**

Il existe de nombreux produits dont les constituants principaux sont la chamotte, la silice, la bauxite, la magnésie, la chromite, le zircon...

Parmi ces masses, presque toutes d'origine allemande, citons : l'**Aloska**, la masse de **Marquardt**, la **pyrolite**, la **sil-carbine**, la **sillimanite**, le **carbure de silicium** et deux produits assez semblables : la **morganite** et le **globalar**.

La masse de Marquardt est à base de silice et d'alumine; c'est un réfractaire qui comporte 66 à 67 pour 100 d'alumine, 1,5 pour 100 d'alcalis et environ 0,1 pour 100 d'impuretés. On l'obtient en enrichissant du kaolin par addition d'alumine pure. Des tubes de cette matière résistent verticalement jusqu'à 1 600° C; s'ils sont horizontaux, ils commencent à se plier vers 1 500° C.

Le tableau de la page suivante donne les caractéristiques principales des masses céramiques poreuses.

CHATTERTON

Le chatterton est une composition isolante, à base de goudron, extrêmement adhésive. On le rencontre pratiquement sous deux formes ;

a) Le *bâton de chatterton* formé de matière isolante résineuse, de poix et de gutta-percha, que l'on utilise comme isolant pour obturer des trous en le faisant fondre comme la cire à cacheter.

b) La *toile ou ruban chattertonné* qui est un tissu imprégné de chatterton et qui est utilisé pour reconstituer un guipage isolant autour d'un conducteur dénudé (jonction de fils, épissures...).

Caractéristiques principales des isolants céramiques poreux

	MAGNESOLIT						PRODUITS TRES ALUMINEUX		
	St G gros grain	Elwa grain fin	Ost perles isolantes	Sipa poreux	Thermisol	Thermisol Supra	Q Q 5	Rhéostit	Calodur K 5
Poids spécifique (g/cm ³)	1,05	1,8	1,9	2,05-2,2	1,55-1,7	1,6-1,7	1,9	2,3	2,4
Porosité (vol. %)	30	23	10-15	1,4	32-37	30-31	17	20	25
Résistance à la compression (kg/cm ²) ..	520	2 000	2 000	3 000-5 000	800-1 000	1 000-1 500	1 000	650	620-730
— traction — ..	90	150	150	280	100	130-160	120	110	125
— flexion — ..	150-180	300-400	300-350	500-650	250-300	340-400	360	330	320
Module d'élasticité (kg/mm ²)				9 000	7 500	8 300			
Résistance d'isolement (M Ω /cm):									
— à 300° C	250	400	400	400	1 800	2 800	400	40	740
— à 400° C					130	160			
— à 500° C	3	4	4	3	13	20	4	0,6	
— à 600° C					1,8	2,8			
— à 700° C	0,15	0,35	0,35	0,60			0,35	0,05	
Coefficient de dilatation linéaire	4×10 ⁻⁶	2,2×10 ⁻⁶	4,1×10 ⁻⁶	1,5×10 ⁻⁶	4,5×10 ⁻⁶	1,9×10 ⁻⁶	4×10 ⁻⁶	4×10 ⁻⁶	4×10 ⁻⁶
Température de ramollissement (°C)	1 430	1 430	1 500	1 430	1 300	1 300	1 700	1 650	1 680



laboratoire. Les enroulements des petits transformateurs haute tension sont noyés dans la paraffine et sont ainsi protégés de façon parfaite contre toute trace d'humidité.

L'*huile de paraffine* coulée sur l'électrolyte des batteries d'accumulateurs évite une évaporation trop rapide du liquide.

La *superla* est une cire de pétrole raffinée et purifiée, point de fusion 76° C, possédant de très faibles pertes diélectriques, même en haute fréquence.

L'*ozokérite* est une cire minérale fossile naturelle à point de fusion élevé, variable suivant les qualités et la provenance entre 65 et 95° C. L'ozokérite brute fond entre 70 et 72° C; l'ozokérite raffinée jaune entre 75 et 76° C.

Elle est plus ou moins colorée en brun verdâtre; on la rencontre en Roumanie, en Amérique et surtout en Galicie, près des puits de pétrole. Elle contient des carbures analogues à ceux de la paraffine.

L'ozokérite ne se décompose pas et ne s'altère pas, même aux températures dépassant 120° C. Très plastique, elle résiste sans se fendiller aux brusques variations de température.

Sa résistance électrique est très élevée; elle est, en surface, 3 à 7 fois plus grande que celle de la paraffine et, en épaisseur, de 200 à 1 500 fois plus grande.

La *cérésine* est de l'ozokérite raffinée, incolore et jaunâtre ayant un point de fusion de 55 à 80° C.

La *cire noire* ou *poix* est un mélange isolant constitué par de l'asphalte, de la résine et de la cire fondus ensemble. C'est surtout comme matière de remplissage ou de bouchage de trous dans certaines pièces, qu'on l'utilise.

EBONITE

L'ébonite est une substance isolante dont le nom rappelle sa couleur noire qui la fait ressembler à l'ébène. Elle est constituée par un mélange de caoutchouc et de soufre dans la proportion de 20 à 40 pour 100, vulcanisé à la température de 150° C et soumis à une pression de 4 à 5 atmosphères pendant 8 à 12 heures.

Son pouvoir inducteur spécifique varie à l'état pur de 2,5 à 3,2; suivant la nature des substances qui entrent dans sa charge, cette valeur peut atteindre jusqu'à 5.

L'ébonite de bonne qualité a une cassure grise et non pas noire et elle possède une résistivité très élevée qui atteint 50 000 mégohms \times centimètre carré par centimètre. Sa rigidité diélectrique, pour de faibles épaisseurs de l'ordre de 1/10 de millimètre atteint 1 000 kilovolts par centimètre; elle diminue lorsque l'épaisseur augmente et, pour 2 millimètres, elle n'est plus que de 300 kilovolts par centimètre. Sa résistance superficielle varie beaucoup avec le degré d'humidité.



C'est l'un des meilleurs isolants solides faciles à travailler. Elle se fabrique en planches, tubes, cylindres, rondelles... Mate et granuleuse à l'état naturel, elle se polit très facilement et présente un beau brillant. L'ébonite est très cassante et doit être travaillée avec précaution. On utilise pour son usinage des outils à métaux ordinaires : forets hélicoïdaux, râpes, scies à dents fines. On peut également la découper à l'aide de ciseaux, si elle est suffisamment mince et préalablement plongée dans de l'eau bouillante qui la ramollit; dans les mêmes conditions, elle peut être cintrée ou pliée suivant une forme appropriée.

On a pu fabriquer également de l'ébonite en partant de caoutchoucs synthétiques, tel que le caoutchouc H ou métyl-caoutchouc. Ce produit d'origine allemande, après vulcanisation, était assez résistant au point de vue mécanique, et supérieur, par ses qualités isolantes, à l'ébonite classique.

GALALITHE

La *galalithe*, quelquefois appelée pierre de lait, est un produit dérivé de la *caséine*, laquelle est extraite du *petit-lait* (caséine animale) ou du *soja* (caséine végétale).

La galalithe peut imiter l'ivoire, l'écaille, le celluloid... Elle a l'avantage sur ce dernier d'être incombustible. On prépare généralement la galalithe par moulage et par compression de la caséine en présence de vapeurs de formol. Cette méthode a l'inconvénient de ne pas permettre la fabrication de plaques de plus de 25 millimètres d'épaisseur. Au-dessus, il est nécessaire de réunir plusieurs feuilles en les soudant, avec de la colle de poisson par exemple, et à une très forte pression.

La couleur de la galalithe varie selon la pureté des matières utilisées. Elle est généralement transparente ou légèrement translucide et peut être teintée par incorporation d'oxydes métalliques. Elle ne possède aucune odeur, ni à l'état brut, ni après frottement. Chauffée à haute température, elle se consume lentement en dégageant une fumée abondante et une odeur de corne brûlée. Sa densité est d'environ 1,3 et sa dureté égale à 2,5.

Rendue malléable, même après fabrication, par chauffage à 150° C. dans un bain d'huile ou de paraffine, elle se prête facilement au moulage.

Grâce à ses propriétés isolantes, la galalithe peut remplacer le bois, le marbre, l'ardoise, la fibre... dans la construction du petit appareillage électrique demandant une certaine présentation : couvercles d'interrupteurs, prises de courant, boutons, boîtiers de sonnerie, petits interrupteurs de fils souples, plaques d'encastrement... Comprimée, elle se travaille très facilement et sert pour la fabrication de plaques, tiges ou tubes.

pendant 15 minutes, en courant alternatif à 50 périodes par seconde et sous une tension de 5 000 volts.

On admet comme satisfaisants les résultats suivants :

Résistance maximum par mille marin (1 852 m.)	9,2 ohms
Capacité maximum par mille marin	0,38 microfarad
Résistance d'isolement après 2 minutes de charge :	
— minimum	300 mégohms
— maximum	1 500 mégohms

L'épreuve de rigidité diélectrique ne doit entraîner aucune détérioration de l'isolant et la résistance d'isolement, mesurée deux minutes après l'épreuve de rigidité, ne doit pas être inférieure à celle mesurée avant cette épreuve.

MARBRE

Le marbre est un calcaire à grain fin, composé de chaux et de magnésie, compact et dur, dont la cristallisation est due au métamorphisme, de sorte que les gisements sont assez localisés. Les marbres sont colorés par diverses substances (oxydes métalliques ou matières organiques), de façon régulière ou irrégulière. Les plus utilisés en électrotechnique sont les blancs et les bleus turquins.

Le marbre est très cassant mais il se travaille facilement. Son aspect décoratif le fait employer comme support isolant d'appareillage à basse tension et dans la construction des tableaux de distribution, quoiqu'ils aient tendance à être remplacés par des tableaux en tôle.

La résistivité du marbre, de valeur comprise entre 10^2 et 10^4 mégohms \times centimètre carré par centimètre, est très variable avec le degré d'humidité du milieu. Sa résistance à la compression est de 3 à 6 kilogrammes par millimètre carré pour le marbre blanc, de 8 à 14 kilogrammes pour le marbre bleu.

La rigidité diélectrique varie de 14 à 28 kilovolts par centimètre et la constante diélectrique de 6,1 à 8,3.

MICA ET DERIVES

On groupe sous le nom de micas des minéraux dont la composition chimique et les propriétés mécaniques, calorifiques et électriques sont assez variables.

Ce sont généralement des composés de silice, d'aluminate de potasse, de fer et de magnésie qu'on rencontre à l'état naturel, principalement aux Indes et à Madagascar sous les noms de *moscovite* ou de *biotite*. Leur qualité est variable suivant leur transparence et on les classe généralement en micas blancs, micas gris, micas ambrés.

Ils se clivent facilement en lamelles plates, très minces et très élastiques pouvant atteindre 0,005 millimètre et ils possèdent des propriétés électriques sensiblement voisines : leur constante diélectrique varie de 6 à 8. Au point de vue thermique, à des températures variant de 600 à 900° C., suivant leur origine, les micas perdent leur eau de cristallisation et se désagrègent.



Le facteur de puissance et la constante diélectrique sont variables avec la fréquence, la température et le gradient de potentiel. Des essais précis, effectués au pont de Schering ont donné les résultats donnés dans le tableau ci-dessous, pour différentes qualités d'échantillons, à 60 périodes par seconde et à la température de 20° C.

Qualité	Facteur de puissance	Constante diélectrique
Micas blancs	0,000 32	7,06
	0,000 24	7,22
	0,000 24	7,07
	0,000 20	7,14
	0,000 26	7,12
Micas gris	0,000 80	7,11
	0,000 76	7,01
Micas ambrés	0,002 6	6
	0,008 9	5,94

La rigidité diélectrique des feuilles de mica obtenues par clivage peut atteindre 500 kilovolts par centimètre pour un échantillon d'épaisseur 1 millimètre, 1 200 kilovolts par centimètre pour une

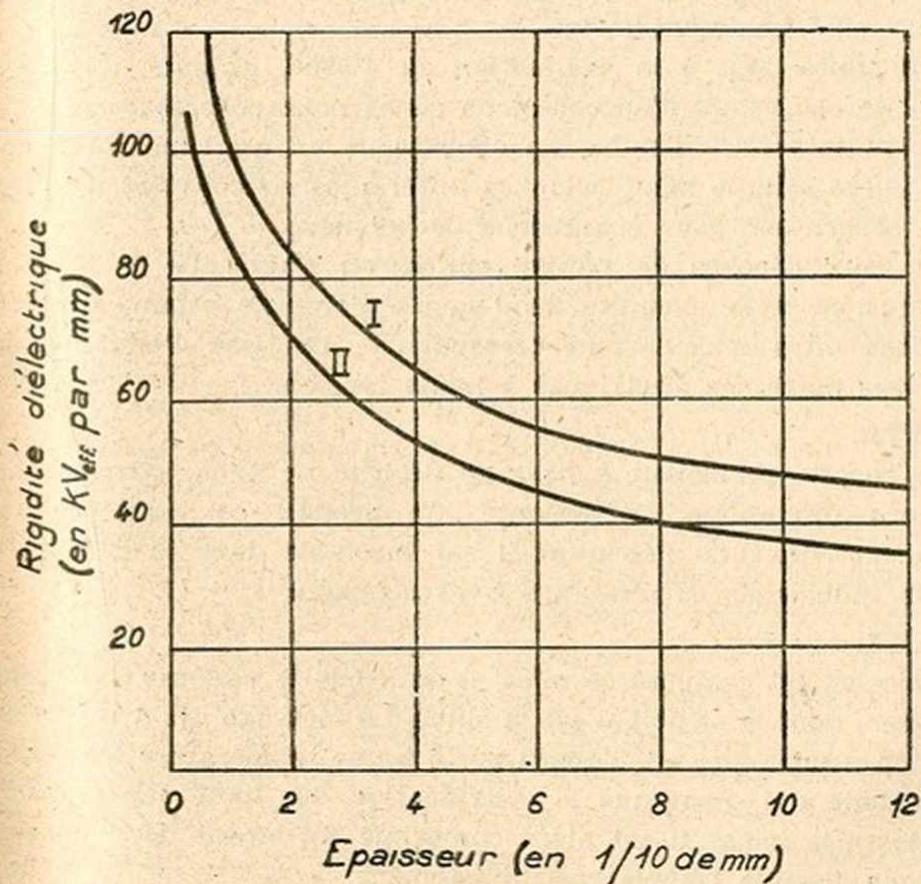


Fig. 92. — Rigidité diélectrique du mica naturel : I) mica blanc; II) mica ambré.

épaisseur de 0,1 millimètre, et jusqu'à 5 000 kilovolts par centimètre pour une épaisseur inférieure à 0,01 millimètre. Le mica blanc est à ce point de vue supérieur au mica ambré, ainsi que le montrent les courbes de la figure 92.

Le mica rend de grands services dans la construction électrique, partout où l'emploi de feuilles minces est possible ; mais son utilisation sous fortes épaisseurs est délicate. Aussi a-t-on cherché à utiliser un liant organique (résine synthétique, laque...) pour assembler les feuilles ou les paillettes. Les produits obtenus conservent néanmoins certains défauts des isolants organiques et ne peuvent être soumis, ni à un fort échauffement, ni à des courants de haute fréquence sans crainte d'être détériorés.

Les empilages de lamelles de mica comprimées sous forte pression, mais sans agglomérant, ne répondent qu'à des emplois limités.

MICANITE.

Le corps liant est de la gomme-laque qui agglomère des déchets de mica clivé. En raison de sa contexture, son isolement est plus régulier que celui du mica naturel, mais inférieur au mica de bonne qualité.

Sa résistance à la compression atteint 40 kilogrammes par millimètre carré. Sa résistivité varie entre 300 et 2 500 mégohms×centimètre carré par centimètre. Quant à sa rigidité diélectrique elle atteint de 30 à 40 kilovolts par millimètre, à 20° C et pour une épaisseur de 5/10 de millimètre.

La micanite sert à la confection de tissus isolants, d'isolateurs moulés, de caniveaux d'encoches, de cônes pour collecteurs...

On peut la rendre flexible en choisissant un agglomérant souple ; elle est alors utilisée pour isoler les différentes couches des bobinages, comme séparateur pour connexions de bobines...

Avec deux couches de papier mince, on augmente la résistance mécanique et cette micanite demi-souple s'emploie comme gouttières d'encoches entre deux cartons presspahn ou du tissu d'amiante, dans les grosses machines électriques à haute tension.

MICARTA.

C'est encore un isolant à base de déchets de mica, possédant une résistance mécanique intéressante. Ce produit est surtout utilisé comme succédané de l'ébonite. Il est insoluble dans la plupart des solvants industriels et n'est pas hygroscopique.

MICALEX.

Le micalex est composé de mica et de produits minéraux vitrifiables par fusion, dont le principal est la silice. Le mélange des divers constituants en poudre fine est d'abord porté à une température très exactement définie qui provoque la vitrification du liant sans toutefois décomposer le mica. Il est alors comprimé fortement dans un moule métallique jusqu'à complet refroidissement.

Le micalex se moule très facilement et avec une grande finesse de



détails; son coefficient de dilatation permet sa soudure à chaud et les parties métalliques incorporées dans les moulages et l'étanchéité peut être assurée d'une façon absolue à toute les températures.

Malgré sa dureté assez élevée, il peut être usiné avec l'emploi d'aciers rapides. Sa structure est homogène et la vitrification superficielle supprime toute porosité. Les agents atmosphériques n'ont aucune action sur lui.

Il résiste aux efforts mécaniques et aux chocs, ainsi qu'aux effets de l'arc de rupture, étant pratiquement incombustible. Il peut subir sans déformation des températures voisines de 450° C. et ses propriétés électriques se conservent jusque vers 400° C. Il est possible de le recouvrir de corps ou d'alliages à faible point de fusion, tels que plomb, étain, aluminium... Enfin il constitue un excellent diélectrique vis-à-vis des courants de haute fréquence.

Caractéristiques du micalex.

Rigidité diélectrique	15 kV/mm
Résistivité	$8 \times 10^7 \text{ M}\Omega \times \text{cm}^2/\text{cm}$
Constante diélectrique	5 à 7
Coefficient de pertes diélectriques en H.F.	0,002
Poids spécifique	2,5 à 3 kg/dm ³
Coefficient de dilatation moyen	0,000 000 9 environ
Température de ramollissement.	450° C
Dureté Brinell	40 à 50
Tension de rupture à la traction	500 à 700 kg/cm ²
Rupture à la flexion	1 300 à 1 900 kg/cm ²
Rupture à la compression	1 200 à 3 500 kg/cm ²

Principales applications.

- Joints d'introduction de courant d'anode pour redresseurs à vapeur de mercure ;
- Bougies d'allumage pour automobiles ;
- Tiges porte-balais de moteurs soumis à de grosses secousses (traction) ;
- Boîtiers de soufflage d'interrupteur ;
- Bielles de commande de sectionneurs ;
- Supports isolants pour matériel radio...

FEROMIX.

Lorsqu'on incorpore à de la pâte de micalex en moulage une proportion convenable de limaille d'acier doux, dont toutes les parcelles se trouvent ainsi enrobées dans la matière, on obtient un produit qui est à la fois un diélectrique minéral et un corps magnétique auquel on a donné le nom de *féromix* (Société Quartz et Silice).

Sa perméabilité magnétique est quatre à cinq fois celle de l'air. Il est surtout utilisé, sous forme de réglettes, pour la fermeture des encoches de machines tournantes; de cette façon le flux se referme facilement d'une dent à l'autre et on évite une saturation magnétique

dans les dents, en même temps qu'une réduction des courants de Foucault.

ISOLOID.

C'est une substance artificielle constituée par du mica broyé réuni à un agglomérant. Elle possède les caractéristiques suivantes :

Charge de rupture à la traction	26 kg/mm ²
Résistivité à 15° C sous 600 volts	$3 \times 10^5 \text{ M}\Omega \times \text{cm}^2/\text{cm}$
Rigidité diélectrique pour 3 mm d'épais- seur	14 kV
Constante diélectrique à 18° C pour $f = 42 \text{ p/s}$	9,5

L'isoloid est uniquement utilisé en radiotechnique pour la confection de condensateurs fixes étalonnés, d'isolateurs d'antenne, de bornes universelles à rotule...

QUARTZ

Le quartz est de la silice cristallisée naturellement sous la forme de prismes hexagonaux terminés par des pyramides. Ces cristaux présentent des propriétés remarquables au point de vue optique, diélectrique et piézoélectrique.

La fusion du sable siliceux pur donne le *quartz fondu* dont la résistivité est de 5×10^{12} mégohms \times centimètre carré par centimètre dans l'air sec et encore de 5×10^7 mégohms en atmosphère dont le degré hygrométrique est 50.

Son facteur de puissance est très faible : 0,02 pour 100, comparable à celui de l'air sec. Son facteur de pertes est de 0,09 pour le quartz transparent et de 1,6 à 2,8 pour le quartz opaque. Il se ramollit vers 1 500° et fond à 1 750° C. Il possède un coefficient de dilatation extrêmement faible : $0,55 \times 10^{-6}$. Sa tension de perforation, de l'ordre de 25 kilovolts par millimètre, est inférieure à celle des porcelaines électriques.

Le quartz est inattaquable par les acides, sauf par l'acide phosphorique, à une température supérieure à 400° C. ; par contre, le quartz fondu est attaqué par les hydrates et carbonates alcalins. La constante diélectrique du quartz est comprise entre 3,2 et 3,5. Sa rigidité diélectrique varie de 350 à 400 kilovolts par centimètre pour la silice transparente, de 150 à 200 kilovolts seulement pour la silice opaque.

Voir courbe de variation de la résistance d'isolement du quartz, en fonction de la température, figure 85, page

C'est surtout en radiotechnique qu'il est utilisé en raison de sa résistivité élevée pour la fabrication des isolateurs, carcasses pour bobines de self-inductance et transformateurs à haute fréquence. Les pièces isolantes en quartz s'obtiennent par fusion, moulage, puis usinage si l'on désire obtenir une surface polie. Pour la très haute fréquence, les pièces en quartz sont étirées à travers des filières qui leur donnent une surface lisse et satinée.

RESINES



A) RESINES NATURELLES

Les résines naturelles sont des produits minéraux, d'origine fossile ou encore des produits d'exsudation de végétaux les plus divers.

Pour donner aux résines naturelles une dureté plus grande, ainsi qu'une meilleure résistance à la lumière et aux agents atmosphériques, on les combine généralement avec la glycérine. Ces produits sont connus sous le nom de *résines naturelles modifiées* ou *résines éthérifiées*.

AMBRE.

C'est le nom donné à certaines substances résineuses et aromatiques qui ont la consistance de la cire.

L'*ambre jaune* ou *succin* est une résine fossile, dure, cassante, presque transparente, d'une couleur qui varie du jaune pâle au rouge. L'ambre jaune a donné son nom à l'électricité parce que, frotté, il acquiert la propriété d'attirer les corps légers. On le rencontre en Allemagne (Prusse), en Asie Mineure et en Birmanie.

L'*ambre gris* est constitué par des concrétions intestinales de quelques cétacés marins et formé par la matière noire que sécrètent les mollusques dont ces cétacés se nourrissent. On le trouve à la surface de la mer, sous forme de masses compactes, cireuses, de couleur grise.

Les ambres sont mélangés aux cires et aux résines pour la fabrication de certains vernis.

COLOPHANE.

Résine jaune, solide, transparente, résidu de la distillation de la sève de certains végétaux du genre pin. Elle se présente sous la forme d'une masse résineuse, jaunâtre ou brun clair; elle est insoluble dans l'eau mais se dissout rapidement dans l'alcool et l'éther. On s'en sert pour la fabrication des vernis et pour réaliser des mélanges avec des huiles minérales comme masses d'imprégnation des câbles électriques.

COPALS.

Les résines copals proviennent d'exsudations de plusieurs espèces d'arbres tels que conifères, légumineuses, térébenthacés... Les copals commerciaux sont presque uniquement des résines fossilisées recueillies dans des terres sabonneuses ou marécageuses et dans les rivières. Ces résines se présentent sous forme de blocs plus ou moins compacts allant de la grosseur d'une noisette à celle d'un gros œuf, suivant les lieux d'origine et les espèces. Quelquefois on rencontre des morceaux pesant 20 kilogrammes et plus.