Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 82 (1991)

Heft: 3

Artikel: Recherche et développement dans l'isolateur d'appareillage

Autor: Soubeyrand, Bernard

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902927

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.07.2025

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

Recherche et développement dans l'isolateur d'appareillage

Bernard Soubeyrand

La fabrication d'isolateurs en céramique relevant d'une technique traditionelle relativement ancienne, on pourrait être tenté de négliger les aspects de recherche et développement. Parallèlement aux études permanentes d'amélioration du matériau céramique, la recherche appliquée est indispensable à l'optimisation des performances des isolateurs d'appareillage. Trois exemples illustrent la diversité des problèmes abordés et des méthodes utilisées.

Ungeachtet der langen Tradition der Keramiktechnologie und der Technik der Keramikisolatoren hat die Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet immer noch eine ausserordentliche Bedeutung. Grosse Anstrengungen werden unternommen, den Werkstoff Keramik laufend zu verbessern, und auch die ständige Weiterentwicklung und Optimierung der Apparateisolatoren selbst ist weiterhin unerlässlich. Drei konkrete Beispiele zeigen die Vielfalt der aktuellen Probleme und der verwendeten Methoden.

Adresse de l'auteur
Bernard Soubeyrand, directeur technique, Ceralep, F-26240 Saint-Vallier, France

Comportement au séisme d'isolateurs d'appareillage

But de l'étude

Les contraintes induites par les phénomènes de séisme peuvent être, dans certains pays (Chili, Vénézuéla, Chine,..), déterminantes pour la définition des isolateurs. L'étude du comportement de colonnes supports de jeu de barre ou de sectionneur soumis à des séismes est donc indispensable. Une comparaison des contraintes obtenues par le calcul à celles mesurées en laboratoire permettra de valider les données de base retenues et le programme de calcul, pour des études plus poussées, plus rapides, et moins onéreuses.

Des calculs et essais ont été réalisés sur une colonne 420 kV, d'une hauteur de 3,47 m, et sur une colonne 800 kV, d'une hauteur de 4,62 m, dans le cadre de l'affaire Edelca au Vénézuéla.

Principes de calcul

Les calculs développés en collaboration avec l'Ecam (Ecole Catholique des Arts et Métiers) sur le programme SAP V, ou de manière interne à Ceralep sur le programme Ansys, font appel à une modélisation en éléments finis du type poutre à trois dimensions.

Chaque élément de colonne est décomposé en trois éléments avec ajout de masses additionnelles à chaque extrémité d'élément de colonne, représentant les armatures métalliques. Tous les nœuds sont laissés libres en rotation et translation, à l'exception du nœud inférieur qui est complètement bloqué (fixation de la colonne sur table vibrante). Les caractéristiques des sections et des matériaux sont introduites dans la modélisation ainsi que le spectre du séisme figurant au cahier des charges.

Une vue d'ensemble des résultats de calcul est donné dans la figure 1.

Procédure d'essais

La colonne est montée directement sur table vibrante; des capteurs de déplacement d'accélération sont fixés en tête de colonne, des jauges d'extensométrie à la base de la colonne. Les essais sont réalisés d'après le programme suivant:

1) Essai de lacher: Elimination soudaine d'une force horizontale de 0,3 fois le poids de la colonne, appliquée à son sommet. Détermination de la fré-

		Col. 420 kV	Col. 800 kV
f_o	[Hz]	7,64	5,077
d_t	[mm]	6,33	15,8
M_d	[Nm]	2576	5059
M_{gar}	[Nm]	27760	37000

Figure 1 Tableau des résultats de calcul
f_o fréquence propre
d_t déflection en tête de colonne
M_d moment de flexion correspondant à d_t
M_{gar} moment garanti des colonnes

		Col. 420 kV (H = 3,47 m)	Col. 800 kV (H = 4,62 m)
Essai de lacher			
f_o	[Hz]	7,78	5,09
α_o	[%]	5,07	4,68
Vibrations sinusoïdales			
f_o	[Hz]	7,40	4,60
α_o	[%]	3,37	6,52
Tenue aux séismes			
a_s		1,75 g	1,25 g
d_t	[mm]	6,00	12,50
d_b	[µm]	59,00	57,00
Essai de flexion			
M_{corr}	[Nm]	2750	3700

Figure 2 Tableau des résultats des essais aux séismes
f_o fréquence propre
α_o amortissement
a_s accéleration au sommet
d_t déplacement maxi en tête
d_b déplacement maxi à la base
M_{corr} moment correspondant au déplacement en tête ou à la déformation à la base

quence propre f_o et de l'amortissement α_o.
2) Essai de flexion: Application d'un effort horizontal en tête de colonne augmenté graduellement de 0 à F_{max}. La valeur de F_{max} est celle qui produit au sommet de la colonne un déplacement D_{max} relevé sur le spectre de réponse du cahier des charges pour la fréquence f_o et l'amortissement α_o ci-dessus. Enregistrement des courbes effort/déflection en tête, et effort/microdéformation à la base.
3) Essai de vibrations sinusoïdales: Pour un balayage en fréquence de 0,3...30 Hz, et en réglant le niveau d'excitation à la base de l'équipement, de manière telle que la réponse au sommet reste inférieure au spectre préconisé, détermination de la fréquence de résonance la plus sévère et du taux d'amortissement correspondant.
4) Essai de tenue aux séismes: Applications de trois sinusoïdes modulées distinctes à la base de l'isolateur, chaque sinusoïde comportant cinq cycles à la fréquence de résonance trouvée précédemment. Le niveau d'excitation est réglé pour que la réponse au sommet soit celle du spectre préconisé majoré d'un facteur de 4,4%, pour tenir compte d'une composante latérale possible lors d'un séisme.
5) Essai final de flexion: Identique à l'essai selon point 2) ci-dessus. Vérification de l'absence de dommage sur la colonne.

Un tableau des résultats de ces essais est donné dans la figure 2.

Conclusion

Les principes de modélisation retenus permettent d'obtenir une très bonne estimation des valeurs de fréquence propre et de flèche en tête de colonne. On peut également noter que les contraintes dues aux séismes sont relativement faibles (≤10% du moment de rupture garanti) pour ce type de matériel dans la configuration décrite.

Caractéristiques mécaniques des isolateurs creux – comportement au froid

Origine de l'étude

Tout fabricant d'isolateurs en céramique dispose d'un grand nombre de résultats d'essais mécaniques obtenus au cours des essais de réception ou de prélèvement. Certaines expériences, parfois pénibles, lui ont permis de fixer, de manière empirique, quelques règles de définition des encastrements des isolateurs creux. Se fixant comme but l'analyse des différents paramètres:

- hauteur d'encastrement
- épaisseur céramique
- type de crantage ferrure

sur la tenue mécanique en pression et en flexion, Ceralep s'est équipé du logiciel de calcul de structure Ansys' S PC, version PC d'Ansys full.

Technique utilisée

Les limitations du logiciel dans sa version PC conditionnent:

- le nombre de degrés de liberté de la structure
- le nombre de matériaux différents.

Pour pallier à ces limitations, on effectue:

- un maillage grossier de la structure complète en tridimensionnel, avec le cas de charge
- le calcul de la structure en déterminant les déplacements des nœuds limitrophes au matériau n° 1 (la céramique) sur un secteur de 15° située de part et d'autre de la fibre tendue (valeurs maximales)
- un maillage fin du matériau n° 1 sur une tranche de 15° de secteur angulaire sur laquelle on introduit, comme conditions aux limites, les déplacements obtenus par le calcul précédent
- le calcul des contraintes aux nœuds
- une visualisation du gradient de contrainte dans la zone tendue de la céramique

Résultats

Calculs pression: Les résultats suivants sont relatifs à un isolateur de chambre de disjoncteur SF_6 de dimensions suivantes:

- diamètre extérieur sur fût à l'encastrement de 460 mm

Hauteur d'encastrement [mm]	Epaisseur de paroi [mm]	σ_x maxi Ansys [N/cm²]	σ_x Lame [N/cm²]	σ_z maxi Ansys [N/cm²]	σ_z eff. de fond [N/cm²]
90	25	2000	1480	2250	660
	35	1500	1040	1820	440
135	25	1610	1480	1400	660
	35	1210	1040	1080	440

Figure 3 Comparaison des contraintes calculées selon de différentes méthodes
Les valeurs calculées pour un isolateur de chambre de disjoncteur SF_6 se réfèrent à une pression interne de 17 bar.

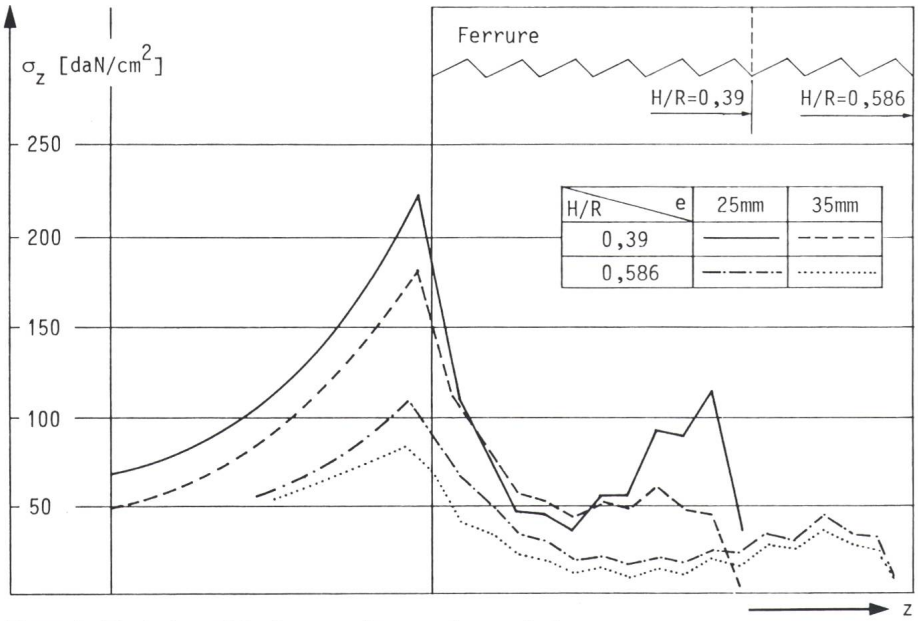

Figure 4 Evolution axiale des contraintes σ_z dans un isolateur
e épaisseur de paroi
H hauteur de l'encastrement
R rayon extérieur sur fût à l'encastrement
z distance axiale
Les contraintes se réfèrent à une pression interne de 17 bar
1 daN = 10 N

- diamètre extérieur sur fût à l'encastrement variant de 390 à 410 mm
- hauteur utile d'encastrement variant de 90 à 135 mm.

Les contraintes sont calculées suivant l'axe de l'isolateur (σ_z), et dans une direction perpendiculaire à l'axe (σ_x). Elles sont comparées aux contraintes calculées par les formules de résistance des matériaux classiques soit contrainte due à l'effet de fond pour σ_z et contrainte de Lame pour σ_x.

Les valeurs relatives à une pression interne de 17 bars sont indiquées dans la figure 3. On constate que, dans certaines conditions dimensionnelles d'épaisseur et de hauteur d'encastrement, les contraintes longitudinales, dues à l'effet de fond, deviennent prépondérantes, et que seuls des moyens de calculs appropriés permettent de les évaluer.

Une représentation, des contraintes σ_z à l'intérieur de l'encastrement révèle une concentration de contraintes proches de la portée de joint qui augmente très nettement en fonction de la diminution d'épaisseur et de la hauteur d'encastrement (cf figure 4).

Calculs flexion: Les calculs en flexion revèlent un pic de contrainte suivant σ_z à la limite de l'encastrement, supérieur au calcul de RDM classique (cf figure 5). Le rapport (Coéfficient de Concentration de Contrainte: CCC) entre le calcul Ansys et le calcul RDM ne varie pas suivant l'épaisseur de paroi céramique et augmente quand la hauteur de ferrure diminue (cf figure 6).

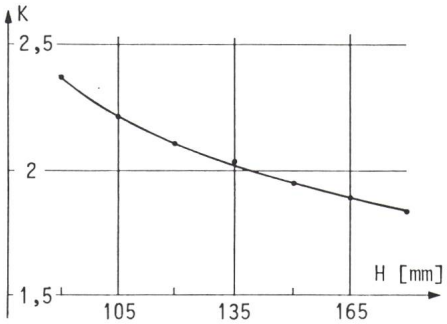

Figure 6 Coéfficient de concentration de contrainte
K coéfficient de concentration de contrainte qui indique le rapport
$K = \sigma_z$ (Ansys)/σ_z (RDM)
H hauteur de ferrure

Le crantage interne de la ferrure a également une influence. Les calculs effectués sur les crantages type *A* et *B* (voir figure 7) révèlent une réduction

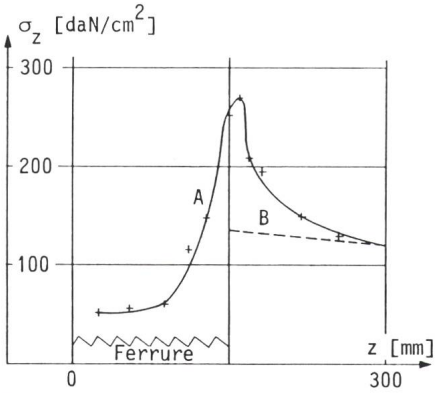

Figure 5 Calcul des contraintes σ_z en flexion
Comparaison des contraintes σ_z calculées par RDM et par Ansys
A calcul par Ansys
B calcul RDM
z distance axiale
1 daN = 10 N

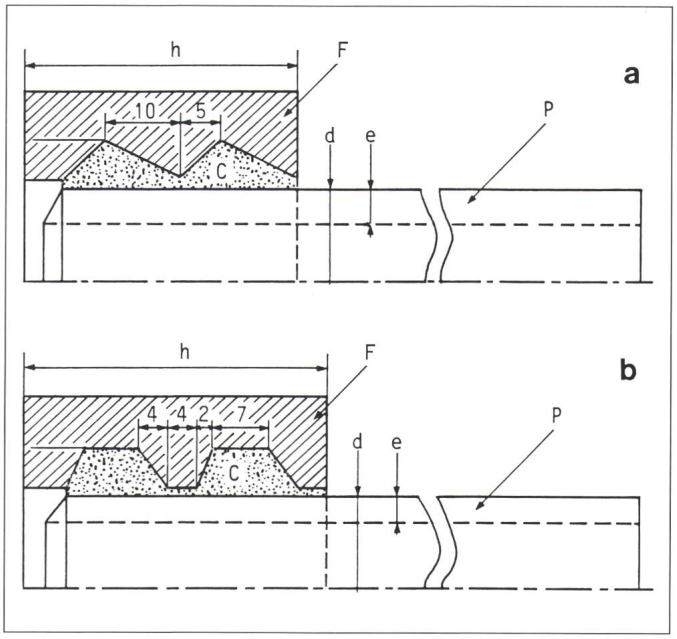

Figure 7
Influence du crantage interne sur les contraintes
d diamètre extérieur de la céramique
e épaisseur de paroi
F ferrure
C ciment
P céramique
h hauteur de ferrure
Avec le crantage selon *a* une réduction des contraintes d'environ 5% est obtenue par rapport à *b*.

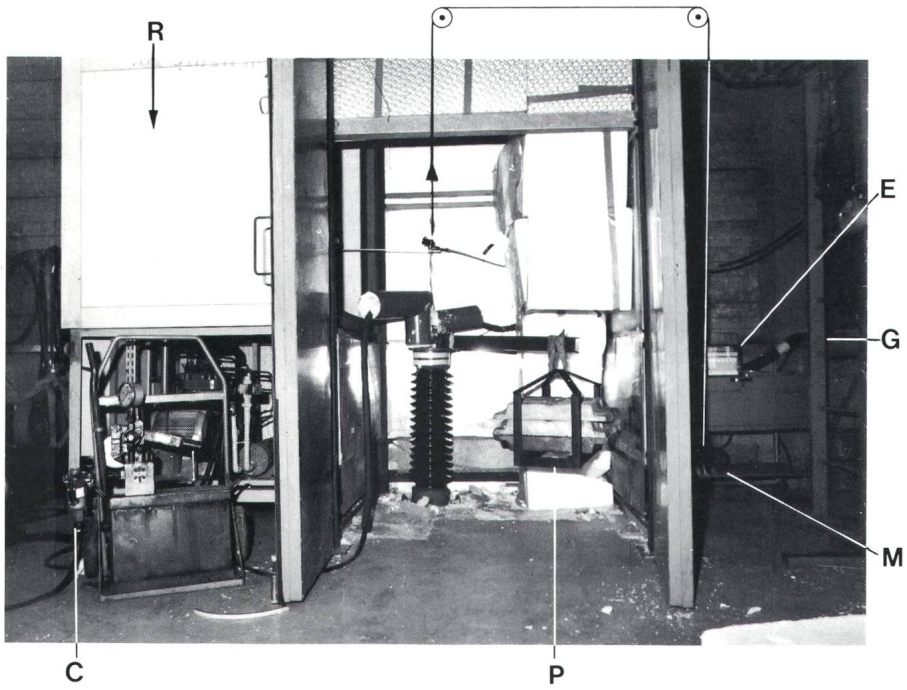

Figure 8 Equipement d'essais
C compresseur
E enregistreur
G amenée CO_2
M masse de 2 kg pour chute de 0,50 m
P charge statique de 5000 N avec levier de 1 m
R refrigérateur et contrôle de température

des contraintes d'environ 5% avec le crantage type *A*.

Comportement au froid d'enveloppes scellées

On peut superposer aux calculs précédents des contraintes thermiques de froid qui amplifient les facteurs calculés. Les phénomènes de frettage sont d'autant plus importants que les diamètres des isolateurs sont grands. Ces phénomènes sont vérifiés en laboratoire où l'on réalise couramment des essais de rupture en flexion ou en pression à −50°C et des essais de vieillissement accéléré: les isolateurs sont alors soumis à des cycles de températures de −50°C à +15°C avec pression interne et moment de flexion permanents. Ces essais permettent de mieux définir les conditions de préparation des ferrures et des isolateurs (type et épaisseur des couches de brai), et d'aggréer les ciments utilisés. Un équipement d'essais à cet effet est montré par la figure 8.

Conclusion

Seuls des moyens de calculs informatisés permettent de quantifier les contraintes internes sur isolateurs soumis à des efforts mécaniques et d'optimiser les paramètres d'encastrement. Sans perdre de vue l'aspect économique lié au coût des ferrures, Ceralep préconise:

– l'utilisation de ferrures avec crantage de type *A* et de hauteur telle que le rapport *H/D* (hauteur ferrure/diamètre sur fût de l'isolateur) soit > 0,4
– une épaisseur de paroi > 30 mm.

Une phase d'essais de vieillissement accéléré est nécessaire pour qualifier l'ensemble des paramètres de préparation des encastrements et d'assurer ainsi la tenue dans le temps des isolateurs.

Contrôle de porosité en atelier

Introduction

Les normes d'essais des isolateurs prévoient un contrôle de l'absence de porosité *à la fushine*. Des échantillons d'isolateurs sont mis dans une solution saturée de fushine, à une certaine pression, pendant un certain temps. La cassure des échantillons permet d'apprécier la non pénétration du colorant. Cette méthode a ses limites. Nous estimons qu'une porosité ouverte de 0,25% n'est pas détectable par cette méthode. Ceralep a donc engagé une étude visant à la remplacer par une méthode simple, utilisable en atelier. L'exemple suivant est relatif à la pâte ERM type C120 de l'usine de ST Vallier.

Méthode

La méthode consiste à mesurer la vitesse ultrasonore transversale à l'aide d'un mesureur d'épaisseur par ultrasons. Celle-ci est extrêmement simple car il suffit de mesurer au pied à coulisse l'épaisseur de l'échantillon,

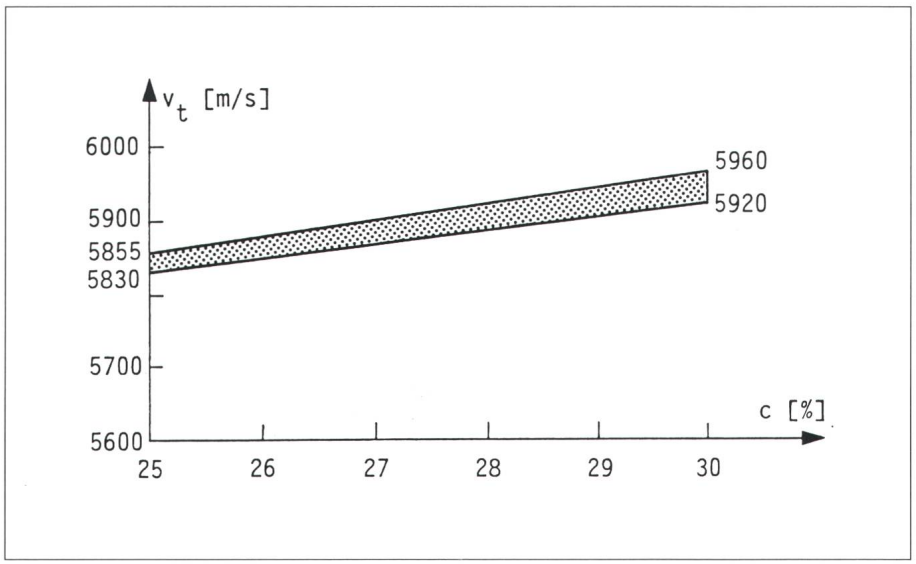

Figure 9 Influence du pourcentage d'alumine sur la vitesse ultrasonore
V_t vitesse ultrasonore transversale
c pourcentage d'alumine dans l'ERM

et de rechercher sur l'appareil la vitesse ultrasonore donnant le même diamètre en affichage.

Le problème est surtout de déterminer les paramètres influants et le niveau de vitesse mini acceptable.

Paramètres influants

La vitesse ultrasonore est liée:

- au «fibrage» de la pâte;
- au pourcentage d'alumine dans la pâte;
- au degré de porosité.

Influence du fibrage: Les mesures sur éprouvettes laboratoire indiquent pour la vitesse transversale 5830...5855 m/s et pour la vitesse longitudinale 5955...6010 m/s.

Influence du pourcentage d'alumine dans l'ERM: Les évolutions des différentes matières premières peuvent amener une variation du pourcentage d'alumine dans la pâte ERM allant de 25 à 30% et par cela une variation de la vitesse sonore selon figure 9.

Influence de la porosité: La relation entre la mesure labo du degré de porosité et la vitesse transversale est représentée dans la figure 10.

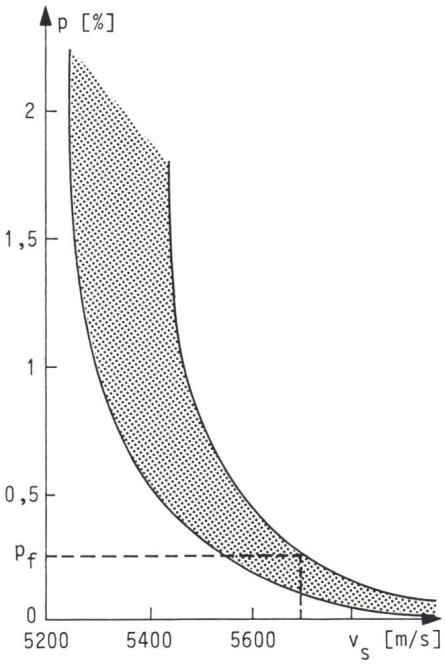

Figure 10 Relation entre porosité et vitesse ultrasonore

p porosité
v_s vitesse ultrasonore
p_f seuil de porosité visible à la fushine; $p_f \cong 0{,}25\,\%$

Critères de contrôle

Des études précédentes, on déduit comme critère de contrôle une vitesse ultrasonore minimale moyenne de 5700 m/s pour la pâte C120 sur isolateurs. Des essais climatiques sont en cours dans les laboratoires de Langenthal pour approfondir encore les phénomènes de vieillissement en fonction du degré de porosité.

Conclusion

Cette méthode extrêmement simple permet, par un suivi conséquent de la vitesse ultrasonore, un contrôle de la porosité dans chaque four sur un nombre d'échantillons plus important. Elle amène pour le client final une fiabilité dans le temps nettement plus grande.

Note: Ce travail était présenté dans le cadre d'une journée ETG qui avait lieu le 13 septembre 1990 chez la Porzellanfabrik Langenthal.

ETG
SEV/ASE

Kennen Sie die ETG?

Die Energietechnische Gesellschaft des SEV (ETG) ist ein *nationales Forum* zur Behandlung aktueller Probleme der elektrischen Energietechnik im Gesamtrahmen aller Energieformen. Als *Fachgesellschaft des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins* (SEV) steht sie allen interessierten Fachleuten und Anwendern aus dem Gebiet der Energietechnik offen.

Auskünfte und Unterlagen erhalten Sie beim Schweizerischen Elektrotechnischen Verein, Seefeldstrasse 301, Postfach, 8034 Zürich, Telefon 01/384 91 11.