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: 73 (1982)

Heft: 23

Artikel: Banc d'essai diélectrique assisté par ordinateur

Autor: Bénisty, D. / Bergerie, E. / Aguet, M.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905042

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: 15.07.2025

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

Banc d'essai diélectrique assisté par ordinateur

D. Bénisty, E. Bergerie, M. Aguet, M. Ianovici

621.315.61:537.311.32:681.3;

Dans le but de mettre au point une méthodologie d'essais accélérés qui puisse permettre la prédiction de la durée de vie de systèmes d'isolation, un banc d'essai diélectrique assisté par ordinateur a été conçu et réalisé. Une description du matériel et du logiciel de l'installation automatique de tests diélectriques est présentée. Quelques résultats d'essais d'endurance sur des condensateurs à diélectrique mixte (papier-polypropylène) sont rapportés et commentés.

Für die Entwicklung eines Verfahrens zur beschleunigten Prüfung ist eine dielektrische Prüfbank mit Computerunterstützung entworfen und aufgebaut worden, mit welcher es möglich sein soll, die Lebensdauer von Isolationsystemen vorauszubestimmen. Hard- und Software der automatischen Prüfanlage werden beschrieben. Einige Resultate von Dauerversuchen an Kondensatoren mit Papier-Polypropylen-Dielektrikum werden diskutiert.

1. Introduction

Durant la dernière décennie, on a pu constater dans l'industrie du diélectrique une nette tendance vers la diminution de la place occupée par les matériels [1] et, en même temps, de leur prix de production. Cette tendance va de pair avec l'augmentation des contraintes électriques auxquelles sont soumis les isolants [2].

Les durées de vie de ces isolations sont de l'ordre de 10 à 30 ans et restent grandes en comparaison du rythme actuel d'apparition des nouveaux produits. C'est pourquoi le recours à des méthodes de vieillissement accéléré s'avère indispensable.

C'est dans ce but que l'étude d'une méthodologie qui puisse contribuer à la prédiction de la durée de vie à partir d'essais à court et moyen terme a été entreprise. Cette étude est réalisée à l'aide d'un banc d'essai diélectrique. L'originalité de cette installation réside dans le fait que les mesures sont systématiques, régulières et automatisées. De plus, les échantillons sous test restent sous tension pour toute la durée du test, sans interruption pour les problèmes de connectique. On évite ainsi la modification du processus de vieillissement dû à l'interruption des contraintes.

A l'aide de cette installation, il devrait être possible d'établir une méthodologie d'essai pour l'estimation de la durée de vie réelle de diélectriques. En outre, les résultats obtenus par des mesures du facteur de pertes et des décharges partielles permettront de mettre en évidence le processus de dégradation des échantillons sous test.

L'installation d'essais est utilisée actuellement pour le test de condensateurs constituant des diélectriques en couches minces. Le choix s'est porté sur ce type de diélectrique car, dans ce cas, les contraintes électriques sont prépondérantes sur les autres contraintes physiques.

2. Description de l'installation

Un schéma bloc et une vue d'ensemble de l'installation d'essais sont présentés aux figures 1a et 1b. Chaque banc d'essai est composé (fig. 2a)

- d'un transformateur à haute tension d'une puissance de 10 kVA avec plusieurs niveaux de tension allant de 2 à 5 kV par pas de 0,5 kV (1);

Ce projet a été financé par la Commission pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique (CERS 1043) avec la participation des Industries Condensateurs Fribourg S. A. et Micafil AG, Zurich.

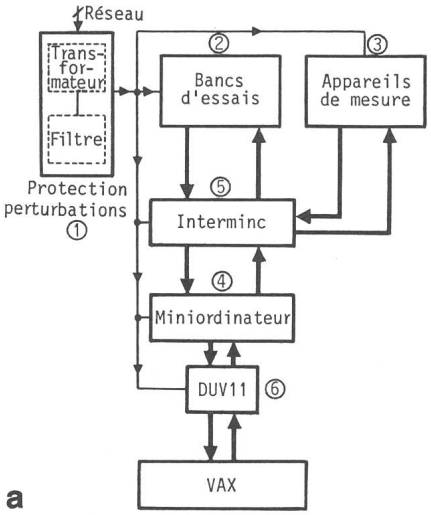


Fig. 1a Schéma bloc de l'installation d'essais

1 Alimentation filtrée
2 Bancs d'essais modulaires
3 Appareillage de mesure
4 Miniordinateur MINC 11 (PDP 11/03)
5 Interface (Interminc) assurant la liaison bancs d'essais-miniordinateur
6 Calculateur puissant (VAX) pour les traitements statistiques

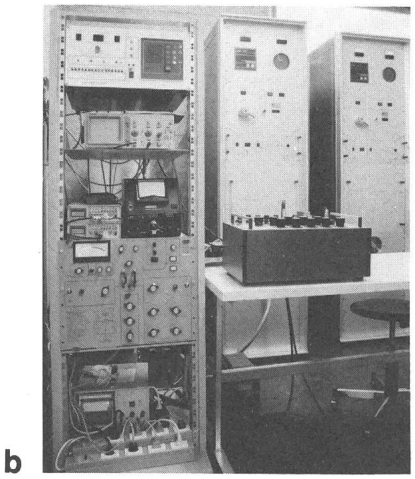


Fig. 1b Vue d'ensemble de l'installation d'essais

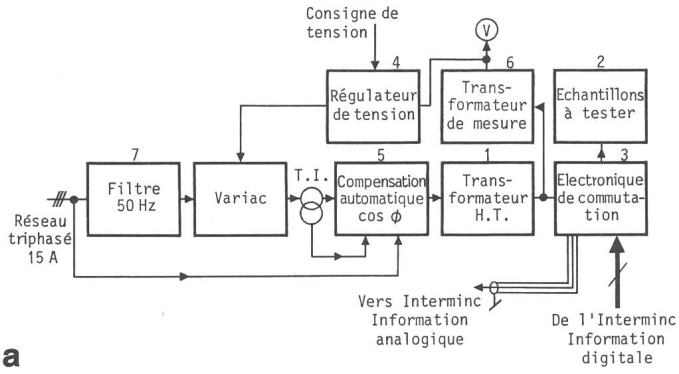
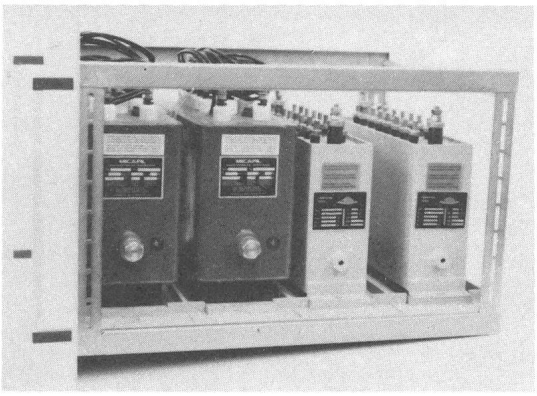


Fig. 2a Schéma bloc d'un banc d'essai

- d'un tiroir d'échantillons pouvant contenir jusqu'à 64 condensateurs à tester (2) (fig. 2b);
- d'une électronique de commutation aussurant la connexion de l'échantillon à mesurer à l'appareillage de mesure (3);
- d'un étage de régulation pour la haute tension appliquée aux échantillons (4);
- d'une compensation automatique du facteur de puissance de l'installation (5);
- d'un transformateur de potentiel pour la mesure de la haute tension (6);
- d'un filtre 50 Hz (7);
- d'éléments de protection et d'indication (disjoncteur, relais de protection, cellule de détection d'incendie, etc.).

L'appareillage de mesure est constitué par un pont de décharges partielles (Biddle) et un pont pour la mesure de la capacité et du facteur de pertes (Tettex 2805). Il comprend, en outre, l'interface banc d'essai-miniordinateur (Interminc) assurant la distribution des informations provenant du MINC 11 sur les cellules d'essais. Il assure également le multiplexage des appareils de mesure sur les bancs d'essais. Cet interface peut fonctionner en mode manuel (mesure faite par un opérateur) ou en mode automatique en liaison avec l'ordinateur.

MINC 11 est un miniordinateur de type PDP 11/03 de 64 kbytes de mémoire RAM (fig. 3), équipé d'un écran semi-graphique VT 105. Il possède des modules (A/D, D/A, etc.) pour l'acquisition de l'information qui peut être conservée sur des disques de mémoire de masse d'une capacité totale de 1 Mbyte. Il assure le stockage, la gestion de l'information et le contrôle de l'installation.



b

Fig. 2b Tiroir d'échantillons
16 échantillons par boîtier, $C = 160$ nF, $U_n \approx 1{,}5$ kV

Fig. 3 MINC 11 et terminaux

3. Logiciel

Les principales tâches que le miniordinateur doit effectuer sont

- la surveillance permanente de l'installation (incendie, intervention d'un opérateur, absence de tension sur l'un des bancs, etc.);
- l'acquisition et le stockage des mesures en mode manuel ou automatique;
- le transfert de l'information recueillie durant les essais sur un autre ordinateur (VAX) pour le traitement et pour la création d'une banque de données.

Pour ces différentes tâches, un programme a été développé et fait l'objet des paragraphes suivants.

3.1 Acquisition et stockage des mesures

Cette partie du programme commande le processus de sélection, de mesure et de stockage au travers de l'Interminc. Lors d'une série d'essais, l'opérateur introduit les données relatives aux tests (nombre d'échantillons sous test, nombre d'armoires, tension d'essais, etc.). Cycliquement, les échantillons sont sélectionnés, mesurés et l'information mémorisée (fig. 4).

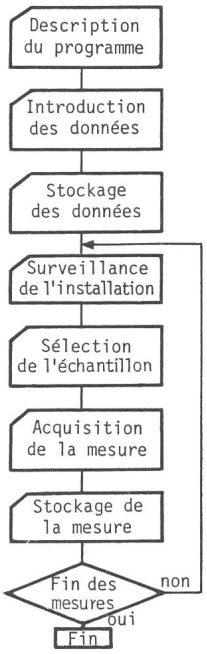


Fig. 4 Organigramme sommaire du programme de gestion

3.2 Surveillance de l'installation

Cette seconde partie du programme réagit en fonction des événements qui peuvent apparaître en cours d'essais.

- *Incendie:* Les détecteurs ioniques (dans les cellules d'essais) transmettent une alarme qui coupe l'alimentation des bancs d'essais et amorce une procédure d'interruption du programme de gestion.
- *Mesures en mode manuel:* Le programme en mode automatique est suspendu provisoirement à partir de l'Interminc. L'opérateur sélectionne sur cet interface la mesure, l'effectue et introduit à la console les valeurs relevées. Lors du passage en mode automatique, l'ordinateur reprend le contrôle à l'endroit où il a été interrompu.
- *Interruption de la haute tension:* Seuls les échantillons contenus dans les bancs sous tension sont mesurés.
- *Sauvetage des fichiers de mesure:* La taille des disques étant limitée, un sauvetage périodique des fichiers est nécessaire «sans interruption» du programme de gestion.
- *Résumé de la situation:* L'opérateur peut demander à tout moment une impression de l'état des échantillons en essai.

3.3 Traitement des résultats

L'information recueillie durant les essais (durée de vie réelle sous contrainte élevée, capacité, facteur de pertes, etc.) est transmise à un gros calculateur (VAX) qui effectue un traitement statistique sur les durées de vie et sur les mesures diélectriques. Ce traitement a été subdivisé en deux parties:

- Statistique sur les durées de vie des échantillons pour chacune des contraintes par un programme utilisant la distribution de Weibull [3; 4; 5; 6]. Ce programme permet de tracer le graphe du pourcentage de défaillance en fonction du temps pour une contrainte de tension constante. A partir des tracés obtenus à plusieurs niveaux de contrainte, on détermine la relation tension-temps du produit pour un pourcentage de défaillance donné. Cette relation est extrapolée à long terme pour déterminer la durée de vie réelle des échantillons[1]).
- Etude de la variation des paramètres diélectriques pendant le vieillissement d'un échantillon. La synthèse de ces mesures est réalisée par un programme représentant l'évolution de ces paramètres au cours du temps pour 1 seul échantillon. Une statistique sur tous les échantillons peut alors être faite pour déterminer l'évolution moyenne des grandeurs diélectriques en fonction du temps à contrainte constante. Une corrélation entre les paramètres facteur de pertes, décharges partielles ou intégrale des décharges [8] pourra être tentée par la suite.

4. Exemples de résultats obtenus à l'aide de l'installation

Plusieurs types d'essais ont été réalisés à l'aide de l'installation automatique de tests diélectriques. Dans le cadre de cet article, on se limitera à donner quelques résultats obtenus.

[1]) A condition que l'accélération soit «vraie», c'est-à-dire que le processus de vieillissement ne soit pas différent à court et long termes. Une autre possibilité réside dans le fait d'utiliser une loi de vieillissement valable pour des contraintes élevées [7] que l'on puisse extrapoler par la suite.

4.1 Essais à très court terme (de l'ordre de quelques heures)

Sur un lot de 14 condensateurs à diélectrique mixte, papier-polypropylène imprégné à l'isopropylbiphényle, un essai à 2,7 U_N a été réalisé. Les résultats figurent sur le tableau I. 5 échantillons sur 14 sont en vie après l'essai.

Résultats d'essais à très court terme — Tableau I

N° échantillon	Durée de vie	% de défaillance
8	2′25″	7,1
1	4′31″	14,3
9	7′57″	21,4
10	9′25″	28,6
2	10′18″	35,7
3	11′27″	42,9
11	17′08″	50
4	18′13″	57,1
5	19′35″	64,3

Ces résultats ont été reportés sur un diagramme de *Weibull* (fig. 5). On remarque que les points reportés s'alignent en moyenne sur une droite (courbe A). Ces mêmes résultats introduits à l'ordinateur ont donné les courbes B, C et C' représentant respectivement la droite estimée de *Weibull* et les limites supérieures et inférieures de confiance de cette droite à 90%.

On constate que même avec un faible nombre de points, les deux droites (A, B) sont à l'intérieur de l'intervalle de confiance calculé.

Les coefficients β_A et β_B définissant les pentes diffèrent de 20% environ. Ceci s'explique par le fait que le programme de calcul inclut un facteur de correction dépendant du nombre total d'échantillons sous test au départ.

4.2 Essais par palier

Sur un lot de 9 condensateurs, on applique au départ une contrainte de $2\,U_N$. Ensuite, d'une manière systématique, on augmente la contrainte d'une valeur $\Delta U = 10\%\ U_N$ tous les

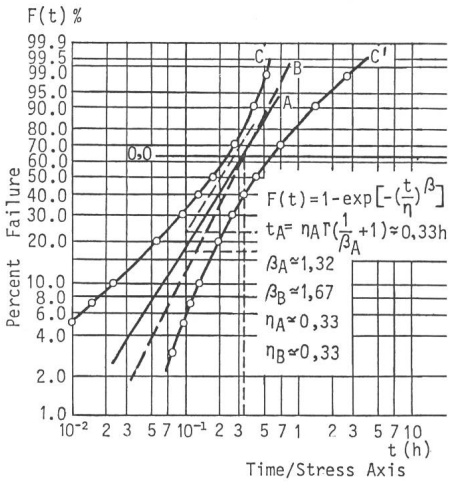


Fig. 5 Résultats des essais à 2,7 U_N
Courbe A: Estimation visuelle (droite)
Courbe B: Estimation du programme de calcul (droite)
Courbes C et C': Intervalles de confiance à 90% calculés par le programme

Δt = 30 min. De cet essai, on relève la tension de claquage U_{cl} et le temps de claquage t_{cl}. Les résultats de cet essai figurent au tableau II.

Résultats du test par palier Tableau II

N° échantillon	U_{cl}/U_N (-)	Temps de claquage t_{cl} (h)
4	2,73	3,54
5	2,62	5,54
6	2,76	4,6
7	2,54	2,15
8	2,54	1,77
9	2,39	2,72
10	2,56	3.97
11	2,55	2,92
12	2,71	3,64
Moyenne:	2,6	3,43 heures

Les valeurs du facteur de pertes et de la capacité ont été relevées en fonction du temps pour chacun des échantillons. L'un de ces tracés est représenté à la figure 6. Deux constatations importantes ont été faites:

Le facteur de pertes croît avec le temps et la tension, l'augmentation étant de l'ordre de 15 à 240% pour certains échantillons. La valeur de la capacité croît également mais dans une moindre mesure (~ 1%). De la première, on peut déduire que le facteur de pertes est une mesure très significative quant à l'état de l'échantillon. La seconde indique un tassement des électrodes dû à l'effet électrodynamique.

4.3 Corrélation entre les essais par palier et à court terme

A l'annexe 1, une relation liant les résultats de tests par palier et à contrainte constante a été établie. De cette relation et des résultats précédents, l'exposant n de la loi de durée de vie (1) a été déterminé ($n \approx 20$).

$$\text{Durée de vie} = K \cdot U^{-n} \qquad (1)$$

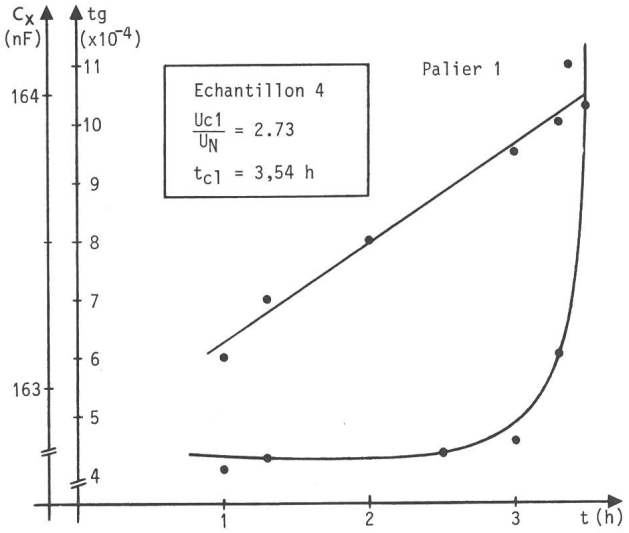


Fig. 6 Evolution du facteur de pertes et de la capacité d'un échantillon soumis au test par palier

Des essais à contrainte constante plus basse (2,6 U_N) ont mis en évidence la présence d'un seuil. En effet, pour des contraintes de cet ordre, les durées de vie moyennes observées sont supérieures à 200 h; tandis que celles calculées à l'aide de la relation (1) sont de l'ordre de 0,8 h.

Une conclusion importante a été tirée de ces essais. Les phénomènes de dégradation sont différents pour des contraintes respectives de 2,7 et 2,6 U_N. *S.E. Kiersztyn* a montré [7] par la théorie générale cinétique des réactions chimiques [10; 11] que la relation (1) n'est valable que pour des contraintes limitées et perd sa validité pour de faibles durées de vie.

5. Conclusion

L'installation d'essais diélectriques s'est avérée être un outil extrêmement utile pour les test de nouveaux produits. Quelques résultats obtenus à l'aide de ce banc ont été présentés et la non-validité de la loi classique pour des contraintes élevées a été mise en évidence.

La loi proposée par *S.E. Kiersztyn* [7], adaptée aux contraintes élevées, devrait permettre d'établir une corrélation valable entre les essais par palier et à court terme.

L'utilisation de la loi de Weibull [3; 4; 6] pour l'évaluation des durées de vie reste imprécise pour un faible pourcentage de défaillance, les intervalles de confiance étant trop larges.

Durant les essais, des problèmes liés aux phénomènes transitoires lors du claquage d'un échantillon ont été observés. Ces surtensions ont eu des effets destructifs sur certains circuits électroniques et des mesures ont dû être prises pour les éliminer. Un dimensionnement spécial des fusibles inclus dans les condensateurs échantillons a dû être fait.

La méthodologie de test de nouveaux diélectriques à l'aide de cette installation sera présentée dans une publication ultérieure.

Annexe 1: Relations liant les essais à court terme et par palier

La figure 7 représente la contrainte appliquée à chacun des échantillons en fonction du temps (courbe 1). Pour le calcul, il est

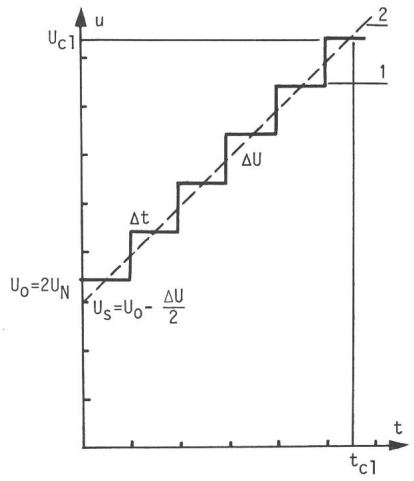


Fig. 7 Essai par palier sur un échantillon
1 Courbe de contrainte
2 Approximation

plus simple de considérer la droite d'approximation (2). L'équation de cette droite s'écrit

$$U = \Delta U/\Delta t \cdot t + U_s. \tag{2}$$

Pour le cas de la contrainte constante, un résumé historique montre que la relation empirique (1) du paragraphe 4.3 a été vérifiée dans de nombreux cas [9]. Une hypothèse que l'on fait consiste à dire que les dommages cumulés pendant le test peuvent être exprimés par

$$D = U^n \cdot t. \tag{3}$$

D est une caractéristique des échantillons et varie en fonction de la dispersion dans le mode de fabrication. On peut exprimer le taux de dommage comme

$$\mathrm{d}D/\mathrm{d}t = R = U^n. \tag{4}$$

Ce taux ne dépend que de la contrainte appliquée et de l'exposant n, constante du matériau. Pour le dommage D_c cumulé jusqu'à l'instant du claquage t_c on a

$$D_c = U_c^n \cdot t_c. \tag{5}$$

En admettant que l'équation (3) est également valable pour les essais à palier, on peut introduire l'équation (2) dans (4) que l'on intègre ensuite dans les limites $t = 0$ et $t = t_{cl}$:

$$D_{cl} = \int_{t=0}^{t_{cl}} R(t)\mathrm{d}t = \frac{1}{\frac{\Delta U}{\Delta t}(n+1)}\left[\left(\frac{\Delta U}{\Delta t} \cdot t_{cl} + U_s\right)^{n+1} - U_s^{n+1}\right] \tag{6}$$

avec D_{cl}, le dommage cumulé à stress progressif et t_{cl}, le temps de claquage à stress progressif.

En faisant l'hypothèse que les dommages à contraintes progressives et constantes sont identiques, on peut égaler (5) et (6) et, en tenant compte de (1), on a

$$D_{cl} = D_c = \frac{1}{\frac{\Delta U}{\Delta t}(n+1)}(U_{cl}^{n+1} - U_s^{n+1}) = U_c^n t_c. \tag{7}$$

En conclusion: si par hypothèse on a affaire à des échantillons de même nature, on peut considérer que l'exposant n est identique dans le cas de tests à contraintes constante et progressive. En conséquence, connaissant

- la tension de claquage U_{cl} pour un test progressif,
- la tension de l'essai à contrainte constante U_c,
- les durées de vie respectives aux deux essais (t_{cl} et t_c),

on peut déterminer l'exposant n de la loi de durée de vie (1) et, par la suite, la durée de vie pour une contrainte plus basse.

Bibliographie

[1] *R. Fournie:* et *J. Nedelec:* Le condensateur de puissance (1745...1980). Rev. Gén. Electr. 89(1980)Numéro spécial, p. 115...128.

[2] *M. Aguet, P. Blech* et *M. Ianovici:* Paramètres électriques des diélectriques déstinés aux condensateurs à moyenne et à haute tension. Bull. ASE/UCS 71(1980)23, p. 1272...1276.

[3] *G.C. Stone* and *J.F. Lawless:* The application of Weibull statistics to insulation aging tests. IEEE Trans. EI 14(1979)5, p. 233...239.

[4] *J.F. Lawless:* Statistical package for the extreme-value and Weibull distribution. Waterloo/Ontario/Canada, University of Waterloo, Department of Statistics.

[5] *A. Pollard* et *C. Rivoire:* Fiabilité et statistiques prévisionnelles. Paris, Editions Eyrolles, 1971.

[6] *J.F. Lawless:* Construction of tolerance bounds for the extreme-value and Weibull distributions. Technometrics 17(1975)2, p. 255...261.

[7] *S.E. Kiersztyn:* Formal theoretical foundation of electrical aging of dielectrics. IEEE Trans. PAS 100(1981)11, p. 4333...4340.

[8] *F. Vialé* e. a.: Recherches d'une corrélation entre l'énergie des décharges partielles et la dégradation d'une isolation papier/huile. Rapport CIGRE N° 15-12, 1982.

[9] *W.T. Starr* and *H.S. Endicott:* Progressive stress, a new accelerated approach to voltage endurance. Trans. AIEE PAS 80(1961)55, p. 515...523.

[10] *S. Glasstone, K.J. Laider* and *H.E. Eyring:* The theorie of rate processes. New York, McGraw-Hill, 1941.

[11] *P.J. Flory:* Principles of polymer chemistry. Ithaca (N.Y.), Cornell University Press, 1953.

Adresse des auteurs

D. Bénisty, E. Bergerie, M. Aguet, M. Ianovici, EPFL, Laboratoire de Réseaux d'Energie Electrique, 16, ch. de Bellerive, 1007 Lausanne.