Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 46 (1955)
Heft: 6

Artikel: Les moisissures dans les appareils électroniques
Autor: Ganz, E. / Wälchli, O.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1058133

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: 22.08.2025

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

46e année N° 6 Samedi, le 19 Mars 1955

BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

ORGANE COMMUN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS (ASE) ET DE L'UNION DES CENTRALES SUISSES D'ELECTRICITE (UCS)

Les moisissures dans les appareils électroniques

Par *E. Ganz*, Baden, et *O. Wälchli*, Saint-Gall

620.193.82 : 621.38/.389

L'auteur critique la méthode d'essai de résistance à la formation de moisissures des appareils électroniques et de leurs pièces détachées, selon les Règles de la Commission Electrotechnique Internationale (CEI). Il soumet des propositions en vue d'améliorer cette méthode sur la base des résultats de divers essais. Malgré une plus grande sévérité des conditions d'essais, il est possible de protéger les matériels électroniques contre les moisissures à l'aide de moyens relativement simples, notamment par un vernis de protection appliqué au pinceau ou au pistolet. L'auteur termine en donnant un bref exposé des conditions climatiques favorables au développement des moisissures et de l'effet de celles-ci sur le fonctionnement des appareils électroniques.

Die Methode der Prüfung elektronischer Bauelemente und Geräte auf ihre Resistenz gegen die Bildung von Schimmelpilzen entsprechend den Regeln der Commission Electrotechnique Internationale (CEI) wird kritisch betrachtet. Auf Grund verschiedener Versuchsresultate werden Vorschläge zur Verbesserung dieser Prüfregeln gemacht. Es wird dargestellt, dass trotz Verschärfung der Prüfbedingungen ein mit einfachen Mitteln durchzuführender Schutz gegen Schimmelpilze elektronischer Materialien möglich ist, z. B. durch Überstreichen oder Überspritzen mit einem geeigneten Schutzlack. Abschliessend werden noch kurz die klimatischen Bedingungen für die Schimmelpilz-Entwicklung und die Wirkung der Schimmelpilze auf die Funktion elektronischer Geräte gestreift.

1. Essai de la résistance aux moisissures, selon les Règles de la Commission Electrotechnique Internationale (CEI)

En ce qui concerne la résistance des appareils électroniques aux influences climatiques, il s'agit en particulier de la résistance à la formation de moisissures à l'intérieur et à l'extérieur de ces appareils. Afin de pouvoir vérifier cette résistance par des méthodes uniformes et reproduisibles, la Commission Electrotechnique Internationale (CEI) a proposé une méthode d'essai des pièces détachées pour les matériels de radiocommunication [1] [1]) qui est également applicable, par analogie, à l'essai d'appareils complets. En collaboration avec la S. A. Brown, Boveri & Cie, Baden, le Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et Institut de recherches pour l'industrie, le génie civil et les arts et métiers (EMPA), Département C, Saint-Gall, a appliqué cette méthode internationale à différentes matières premières et pièces détachées pour appareils électroniques, ainsi qu'à des appareils complets, d'une part dans le but de vérifier l'utilité de cette méthode et, d'autre part, pour déterminer l'efficacité de différents moyens de protection contre les moisissures. Celles-ci sont des végétations cryptogamiques constituées par de minces filaments branchus (hyphes) d'un diamètre de quelques millièmes de millimètre, qui occupent rapidement des cloisons transversales, mais peuvent aussi être aseptiques. Les hyphes forment le mycélium, qui est la partie végétative de ces champignons et peut recouvrir dans tous les sens le matériel qui en est infesté. La multiplication et la propagation s'opèrent par des spores de différentes natures [2].

Les essais décrits ci-après ont été exécutés, conformément aux Règles internationales de la CEI, avec une solution aqueuse de spores de moisissures contenant les cultures suivantes:

Chaetomium globosum
Stachybotrys atra
Aspergillus niger
Aspergillus amstelodami
Paecilomyces varioti
Penicillium cyclopium
Penicillium brevi-compactum

Dès les premiers essais, on a constaté qu'une telle suspension de spores dans de l'eau distillée, selon les Règles internationales, donnait des résultats peu satisfaisants, car, sur une toile de coton blanchi par exemple, les spores ne pouvaient pas se développer, faute de substances nutritives (fig. 1). Or, en pratique, il faut toujours compter avec un certain encrassement de la matière à essayer, par la poussière, la sueur des mains, etc., de sorte que les moisissures disposent de substances nutritives en suffisance pour se développer. Afin d'adapter les essais de résistance aux moisissures aux conditions pratiques, il était donc utile d'encrasser artificiellement les parties à essayer, cet encrassement devant se faire d'une manière reproduisible, par exemple en utilisant une solution nutritive exactement dosée pour la suspension aqueuse des spores, en lieu et place d'eau distillée. Pour la suite de nos essais, nous avons en conséquence procédé à la suspension des spores dans une solution nutritive selon *Czapek-Dox*, ayant la composition suivante:

[1]) voir la bibliographie à la fin de cet article.

$NaNO_3$	2 g
K_2HPO_4	1 g
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0,5 g
KCl	0,5 g
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	0,01 g
Glucose	30,0 g
Eau distillée	1 litre

La fig. 1 montre le développement des moisissures sur différentes plaques de papier bakélisé et sur une plaque de tissu de verre, ainsi que sur une bande témoin en coton blanchi, après infection par une suspension de spores dans de l'eau distillée, la durée de l'essai ayant été de 4 semaines. La bande témoin ne présente pratiquement aucun développement des moisissures; dans certains cas, par exemple sur les plaques *R 1* et *R 35*, le développement est un peu plus important, ce qui provient probablement d'un encrassement extérieur plus fort durant le stockage.

La fig. 2 montre le développement des moisissures sur ces mêmes éprouvettes en utilisant une suspension aqueuse de spores variées dans une solution nutritive selon Czapek-Dox. Sur tous ces échantillons, les moisissures se sont développées plus ou moins fortement. Les plaques en matières synthétiques n'empêchent donc pas le développement des moisissures. Les différences constatées peuvent provenir en partie de l'état plus ou moins lisse des surfaces, c'est-à-dire d'une adhérence plus ou moins bonne de la solution nutritive.

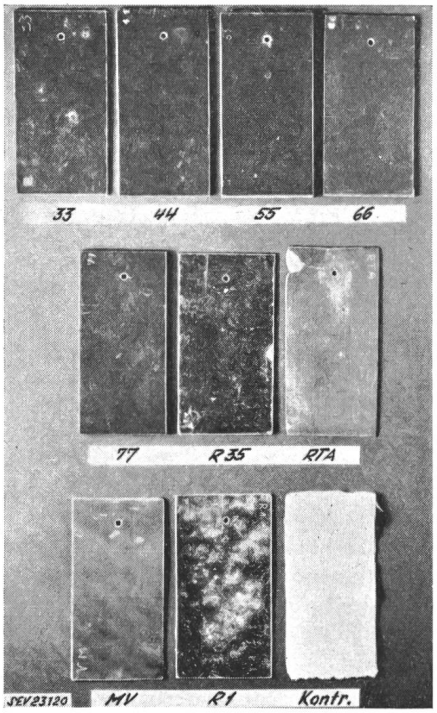


Fig. 1

Développement de moisissures sur des plaques de matière synthétique et sur une bande témoin en coton blanchi, après infection avec une culture mixte de spores en suspension dans de l'eau distillée

33, 44, 55, 66, 77, R35, RTa, R1 Plaques de papier bakélisé; *MV* Plaque en tissu de verre avec résine phénolique; *Kontr.* Bande témoin en coton blanchi

La CEI a malheureusement repoussé l'emploi d'une suspension des spores dans une solution nutritive, parce que la méthode d'essai proposée pour la résistance aux moisissures ne doit être appliquée qu'à des matériels neufs, qui ne sont pas encore encrassés. Dans de telles conditions, il va de soi que presque toutes les matières utilisées pour les appareils électroniques peuvent subir cet essai avec succès, étant donné que les moisissures ne se développent pas, par suite d'un manque de substances nutritives et non pas du fait de l'action fongicide d'un traitement de protection supplémentaire. Les résultats des essais ne renseignent donc aucunement les usagers sur le comportement ultérieur des matériels utilisés en pratique courante. Les investigations décrites ci-après montrent que, même en employant une solution nutritive, il est possible d'obtenir une bonne protection contre le développement des moisissures.

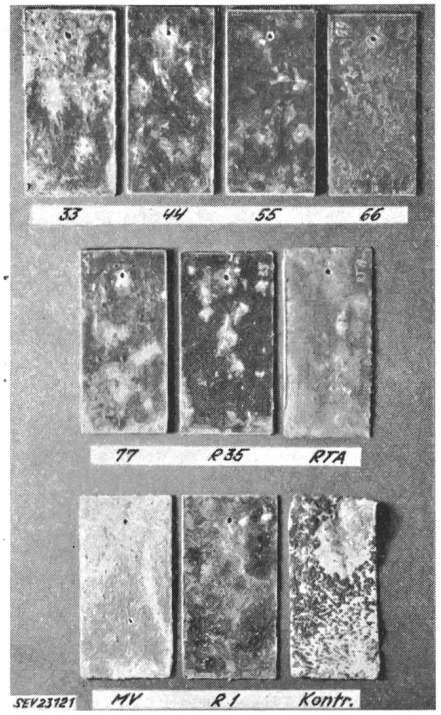


Fig. 2

Développement de moisissures sur les mêmes échantillons que ceux de la fig. 1, mais après infection avec une culture mixte de spores en suspension dans une solution nutritive selon Czapek-Dox

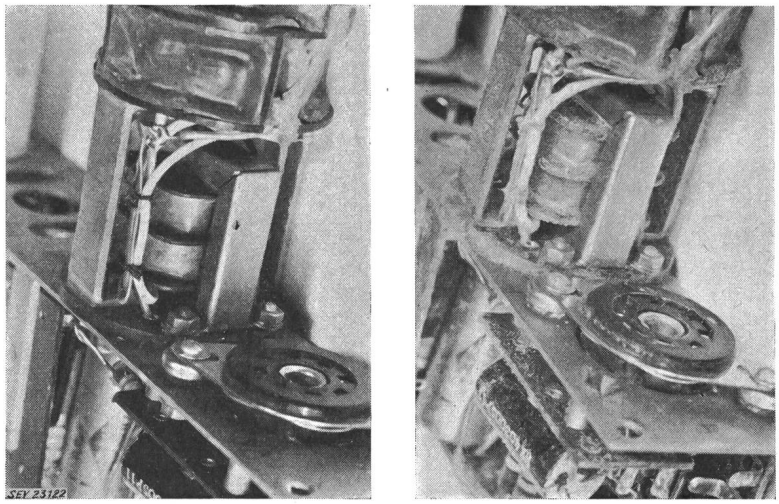
2. Emploi de fongicides

On connaît maintenant un grand nombre de combinaisons chimiques organiques et minérales, qui exercent une action fongistatique ou fongicide, c'est-à-dire qui entravent la propagation des moisissures ou détruisent celles-ci. L'emploi de ces substances pour la protection des matériels électroniques dépend toutefois de certaines conditions. C'est ainsi que les propriétés diélectriques des matières isolantes (pertes, pouvoir isolant, résistance aux lignes de fuite, etc.) ne doivent pas être nettement affaiblies. En outre, il ne faut pas que ces substances aient des effets physiologiques dangereux pour l'organisme humain. Les fongicides très actifs, à base de mercure, tels que la phénylmercuro-8-oxyquinoléine, ne peuvent malheureusement pas être employés, car ils attaquent les redresseurs au sélé-

nium. Un autre critère très important est celui de la conservation de l'efficacité de la protection avec le temps, dans différentes conditions climatiques (température élevée, dilution par l'humidité et les gouttes d'eau).

La protection peut s'obtenir en imprégnant les matériels à protéger avec des solutions de substances appropriées ou en appliquant celles-ci au pinceau ou au pistolet. Une imprégnation ou un mélange est aisément possible dans le cas des matières synthétiques, des textiles, du papier, du cuir, etc. Par contre, ces traitements peuvent parfois affecter considérablement les propriétés diélectriques, quand il s'agit de matières isolantes pour haute fréquence. Des moisissures peuvent se développer également sur des matières minérales (métal, verre, etc.), lorsque celles-ci sont encrassées d'huile, de graisse, de poussière, etc., et pour autant que le développement des champignons soit favorisé par un climat humide et chaud. Pour des matières de ce genre, un traitement superficiel entre seul en considération. La fig. 3*b* montre le développement de moisissures sur des parties métalliques d'un châssis d'amplificateur, soumis à l'essai de résistance aux moisissures après avoir séjourné durant plusieurs mois dans un entrepôt. Avant l'essai, ce châssis fut simplement dépoussiéré au jet d'air comprimé (fig. 3*a*).

Une protection efficace et d'une application facile des matières se trouvant dans un appareil s'obtient en recouvrant leurs surfaces au pinceau ou au pitolet avec un vernis renfermant un fongicide approprié, en solution ou sous forme colloïdale.



a *b*

Fig. 3
Développement de moisissures sur des pièces métalliques d'un châssis d'amplificateur encrassé de poussière naturelle d'une chambre
a Avant l'essai, après un nettoyage grossier avec un jet d'air comprimé; *b* Après l'essai (infection avec une culture mixte de spores en suspension aqueuse)

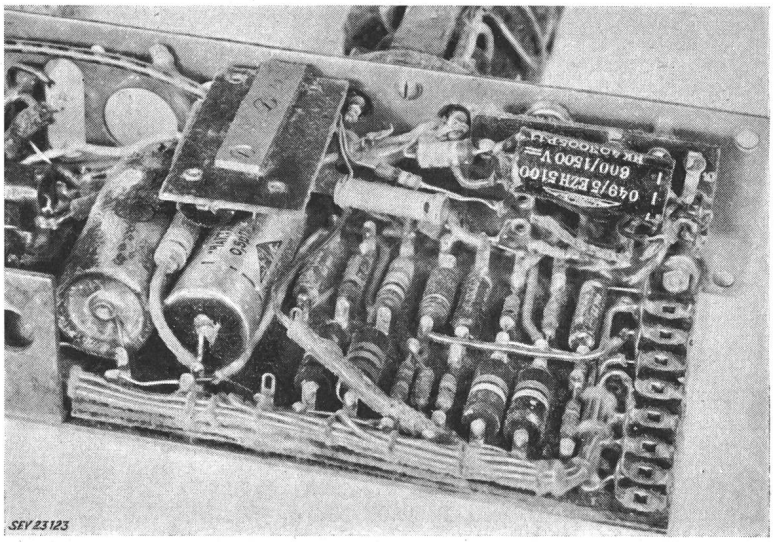


Fig. 4
Fort développement de moisissures sur un châssis d'amplificateur encrassé de poussière naturelle d'une chambre, après infection avec une culture mixte de spores en suspension aqueuse

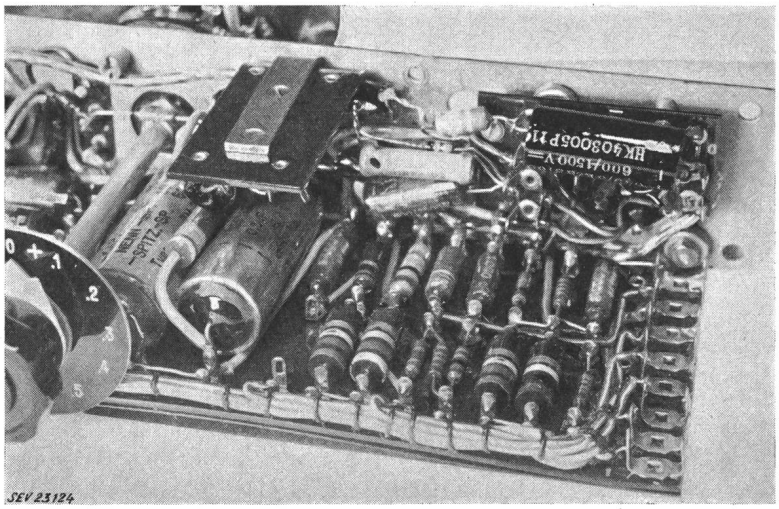
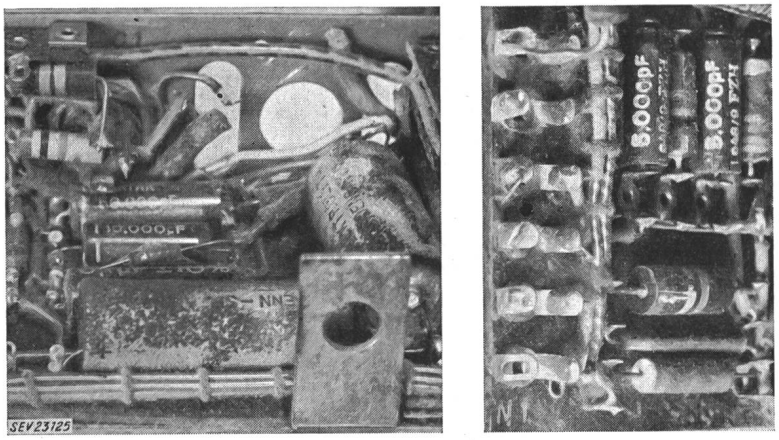


Fig. 5
Châssis d'amplificateur, analogue à celui de la fig. 4, après l'essai de résistance aux moisissures
Après nettoyage au jet d'air comprimé, le châssis avait été recouvert d'un vernis de protection contre les moisissures appliqué au pistolet. Les moisissures ne se sont pas développées

Ces vernis de protection sont mis sur le marché par plusieurs fabricants. Les fig. 4 et 5 montrent l'efficacité de cette application de vernis, tandis que la fig. 6 permet de se rendre compte à quel point ces matières peuvent être infectées par des moisissures.

Un tel essai exécuté avec des pièces détachées ou des appareils à l'état neuf, comme dans le cas du châssis d'amplificateur indiqué par les fig. 4 et 5, ne permet toutefois pas encore de juger de la qualité d'un revêtement de protection contre les moisissures. Pour cela, il faut également tenir compte des considérations suivantes:

1° Le vernis de protection doit présenter des propriétés isolantes satisfaisantes, c'est-à-dire qu'il ne doit pas affecter sensiblement la résistance d'isolement de la matière à laquelle il est appliqué.



a b

Fig. 6
Divers détails du châssis de la fig. 4
a Noter le fort développement des moisissures sur l'enveloppe en carton des deux condensateurs électrolytiques
b Noter le fort développement des moisissures sur la ficelle de chanvre, qui lie les conducteurs

2° Le vernis de protection doit être facilement applicable au pistolet, sécher ou durcir aussi rapidement que possible et donner ensuite une surface parfaitement lisse; il ne doit en aucun cas demeurer collant, afin de ne pas capter la poussière.

3° L'action fongicide doit être aussi durable que possible et ne pas être affectée par des températures élevées.

4° Le traitement de protection doit être bien résistant à l'eau.

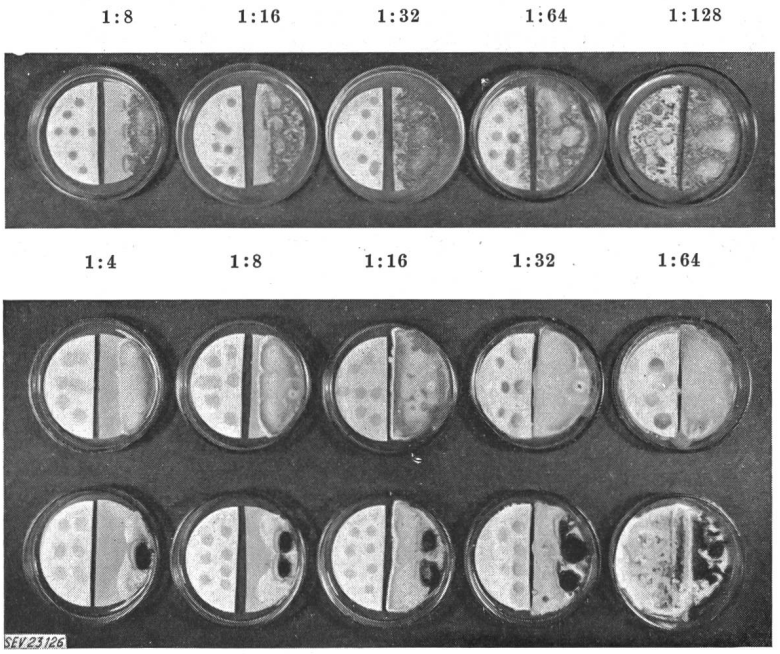


Fig. 7
Essai de l'efficacité de vernis de protection contre les moisissures (vernis commerciaux) sur du papier-filtre, dans le cas de cultures pures et de culture mixte, pour différentes dilutions du vernis
A gauche, papier-filtre traité au vernis et, *à droite,* papier-filtre non traité
a Culture pure de Chaetomium globosum;
b Culture pure de Penicillium cyclopium;
c Culture mixte

5° Le vernis proprement dit ne doit pas offrir de matières nutritives pour les moisissures, même lorsque les fongicides se sont finalement évaporés ou ont été délavés, au point qu'un développement des moisissures ne peut plus être entravé par le traitement de protection.

3. Essai des fongicides

Pour vérifier la valeur fongicide des vernis de protection contre les moisissures, l'EMPA a mis au point un procédé qui donne des résultats parfaitement reproduisibles. 15 cm³ d'une gélose Czapek-Dox stérile est coulée en plaque dans une cuvette de Petri stérile dans des conditions aseptiques. Dès que ce bouillon de culture s'est congelé, il est recouvert bord à bord par les deux moitiés d'un disque de papier-filtre de 7 cm de diamètre, dont l'une a été préalablement plongée dans le vernis de protection à essayer, puis séchée. L'autre moitié du papier-filtre non traitée sert à contrôler l'activité des moisissures, ainsi qu'à se rendre compte si l'effet de protection du vernis se propage ou non par évaporation ou diffusion de la substance fongicide dans le bouillon de culture. Les deux échantillons de papier-filtre sont inoculés chacun de 0,5 cm³ de la suspension de spores dans la solution nutritive de Czapek-Dox mentionnée au chapitre 1, puis maintenus pendant 4 semaines à une température de 29 ± 1 °C. Pour contrôler la durabilité du fongicide, le papier-filtre plongé dans le vernis est séché. Avant l'essai de résistance aux moisissures, il est délavé pendant 72 heures avec de l'eau froide de conduite (débit de 25 à 30 l/h), pour se rendre compte de sa résistance à l'eau; ensuite il est soumis à un vieillissement artificiel d'une température de 60 °C pendant quelques mois pour vérifier sa résistance à l'action de la chaleur.

Les essais ci-dessus ont été exécutés avec des vernis présentant différentes teneurs en fongicide et inoculés avec des cultures pures ou mixtes. La fig. 7 montre l'efficacité d'un vernis de protection com-

mercial, en différentes dilutions avec du chloroforme, contre deux différentes cultures de moisissures et contre la culture mixte selon la CEI. Avec les dilutions de 1:4 et 1:8, on reconnaît distinctement une zone de résistance sur le papier-filtre non

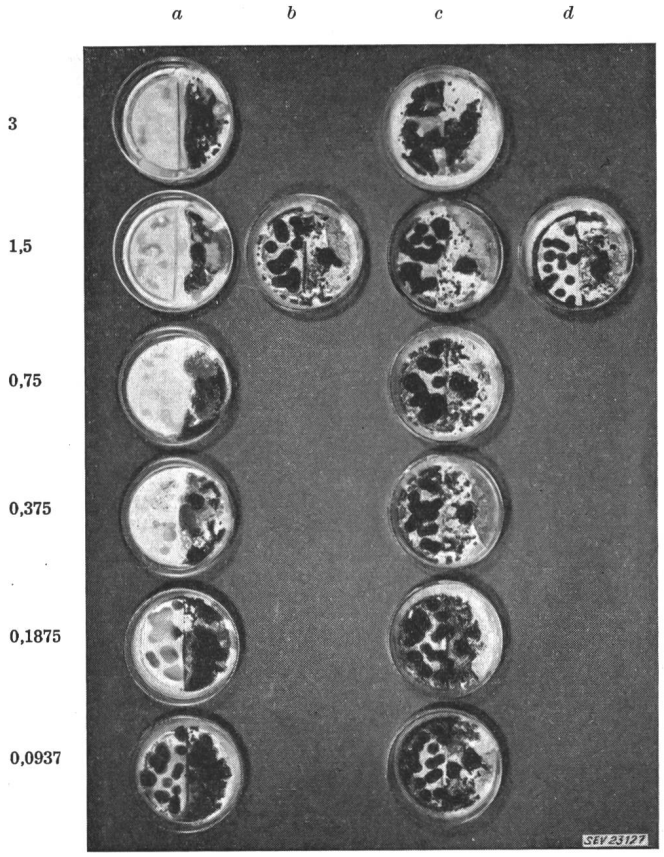


Fig. 8
Essai avec du pentachlorphénol comme fongicide, avant et après vieillissement à température élevée, resp. délavage avec de l'eau de conduite
Inoculation avec de la culture mixte
A gauche, la teneur en pentachlorphénol, en %
a État original; *b* Après un mois de vieillissement à 60 °C; *c* Après trois mois de vieillissement à 60 °C; *d* Après délavage durant trois jours

traité, tandis qu'avec la dilution de 1:16 ce papier est presque entièrement envahi par les moisissures. Le vernis dilué à 1:32 exerce une protection insuffisante et, avec une dilution de 1:64, l'effet de protection est pratiquement nul. Les points sombres sur les papiers-filtres traités au vernis de protection sont les endroits d'inoculation avec la suspension aqueuse de spores.

La fig. 8 montre l'effet d'un vernis renfermant du pentachlorphénol comme fongicide. Les essais ont eu lieu à l'état non vieilli (immédiatement après le séchage du vernis) et à la suite d'un séjour de 1 et 3 mois à une température de 60 °C. En outre, l'échantillon d'une teneur en pentachlorphénol de 1,5 % a été délavé pendant 3 jours. Les échantillons vieillis ont tous été recouverts de moisissures. L'efficacité du pentachlorphénol est donc insuffisamment durable, ce qui provient de la pression de vapeur relativement élevée de ce fongicide et de sa solubilité à l'eau.

L'efficacité de la cuivre-8-hydroxyquinoléine est nettement plus durable que celle du pentachlorphénol. Les fig. 9 et 10 montrent les résultats d'essais avec de la cuivre-8-hydroxyquinoléine en dispersion dans du vernis. L'action de ce fongicide est remarquable contre le Chaetomium globosum, dont le développement est empêché jusqu'à une concentration de 0,1875 % (fig. 9). L'efficacité de ce fongicide est extrêmement durable. Pour toutes les concentrations, les résultats ont été pratiquement les mêmes avec des échantillons délavés ou vieillis pendant 1 ou 3 mois à une température de 60 °C, qu'avec les échantillons qui venaient d'être recouverts de vernis.

La cuivre-8-hydroxyquinoléine a également donné de très bons résultats avec la culture mixte (fig. 10). Seul l'Aspergillus niger, qui est résistant au cuivre, a pu assez bien se développer et a pratiquement éliminé complètement les autres moisissures du mélange [3]. Ce comportement de l'Aspergillus niger a été dans ce cas très différent des résultats de l'essai *c* (fig. 7), où le développement de ce cryptogame était beaucoup plus fortement entravé que celui des autres composants de la culture mixte.

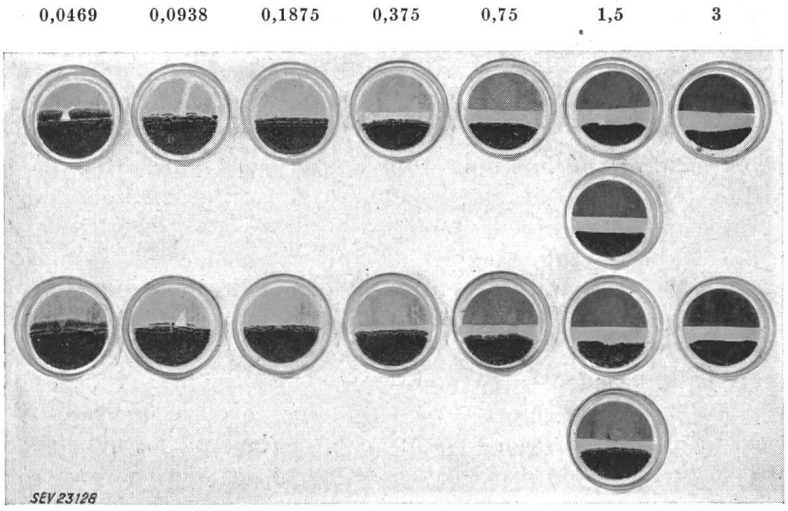


Fig. 9
Effet d'un vernis renfermant de la cuivre-8-hydroxyquinoléine en dispersion, sur une culture pure de Chaetomium globosum, avant et après vieillissement à température élevée, resp. délavage avec de l'eau de conduite
En haut, la teneur en cuivre-8-hydroxyquinoléine, en %; *a* État original; *b* Après un mois de vieillissement à 60 °C; *c* Après trois mois de vieillissement à 60 °C; *d* Après délavage durant trois jours

4. Genres de moisissures utilisées pour les essais

En raison des différentes résistances ou sensibilités des moisissures vis-à-vis des fongicides qui peuvent entrer en considération, on conçoit la nécessité

d'utiliser différentes moisissures, par exemple des cultures mixtes, pour ces essais. Le choix des moisissures doit être fait avec un très grand soin parmi les milliers de genres connus. Une culture mixte doit renfermer des moisissures qui résistent aux différentes combinaisons fongicides. En outre, ces moisissures doivent pouvoir se développer dans diverses conditions sur différentes substances nutritives (à base d'albumine, de cellulose, de sucre, etc.). Le Chaetomium globosum et le Stachybotrys atra, fréquemment utilisés pour les essais, sont des destructeurs typiques de cellulose [4]. L'Aspergillus et le Penicillium se rencontrent pratiquement partout et doivent en conséquence figurer dans une culture mixte bien composée. Le Paecilomyces varioti est un cryptogame très fréquent et très répandu, qui se développe sur des matières les plus diverses. Le Stachybotrys atra, fréquent sur les matières à base de cellulose, est généralement très sensible aux substances de protection, de sorte qu'il n'est guère utile en culture pure pour les essais. Par contre, dans les cultures mixtes, il exerce une action stimulatrice sur le développement d'autres moisissures. La culture mixte proposée par la CEI est donc bien choisie, comme cela a été confirmé par les essais que nous avons entrepris.

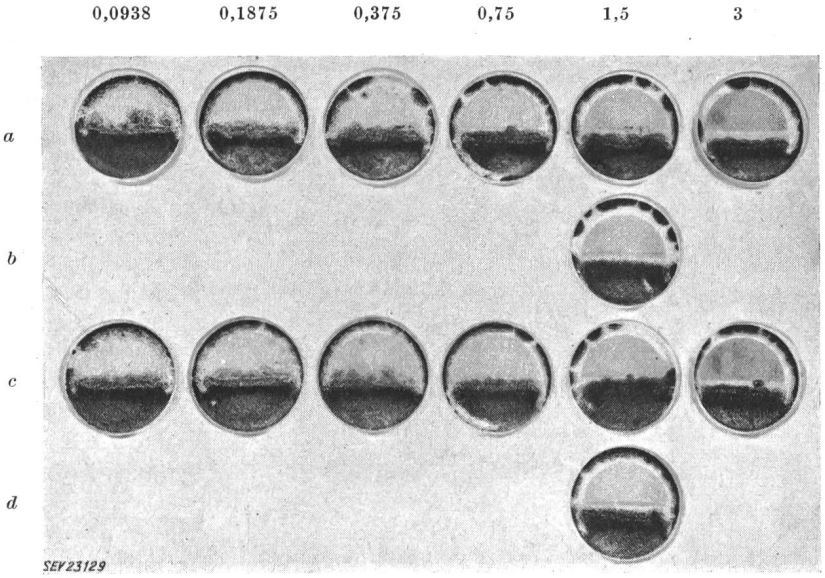


Fig. 10

Effet d'un vernis renfermant de la cuivre-8-hydroxyquinoléine en dispersion, sur une culture mixte, avant et après vieillissement à température élevée, resp. délavage avec de l'eau de conduite

En haut, la teneur en cuivre-8-hydroxyquinoléine, en %; *a* État original; *b* Après un mois de vieillissement à 60 °C; *c* Après trois mois de vieillissement à 60 °C; *d* Après délavage durant trois jours

5. Conditions climatiques favorables au développement des moisissures

Après avoir démontré qu'une protection efficace contre la formation de moisissures est possible, par exemple en appliquant au pistolet un vernis de protection sur l'appareil, il est intéressant de savoir dans quelles conditions climatiques une telle protection est nécessaire. Le développement et la propagation des moisissures exigent généralement un climat humide et chaud [2, 4]. Pour la plupart des genres de moisissures, le climat le plus favorable est celui où la température atteint 20 à 30 °C et l'humidité relative de l'air 85 à 100 %. Certaines moisissures peuvent toutefois se développer à partir de + 7 °C, d'autres jusqu'à + 40 °C. En dessous d'une humidité relative de 75 %, le développement des moisissures cesse complètement, à la condition que les substances nutritives ne renferment pas de matières hydrophiles, mais les moisissures déjà développées demeurent vivantes. Dès que l'humidité augmente à nouveau, leur développement se poursuit. De même, lorsque la température atteint une valeur inférieure ou supérieure à celle qui est nécessaire au développement des moisissures, ce développement est interrompu, mais les moisissures ou leurs spores ne sont pas détruites; dans de nombreux cas, une baisse de la température jusqu'à − 193 °C n'affecte pas encore les spores [2]. Pour une stérilisation complète, il faut au moins un traitement à la vapeur de 120 °C durant 30 minutes ou un traitement à sec à 140...160 °C durant 2 à 4 heures.

Ces connaissances des conditions climatiques de développement des moisissures conduisent d'emblée à la protection par stockage au sec en atmosphère ayant une humidité relative de moins de 75 %. Un tel stockage est généralement réalisable dans des régions à climat polaire (sec et froid), tempéré (sec et chaud) et continental (sec et très chaud). Par contre, dans des régions à climat subtropical (humide et chaud), tropical (humide et très chaud) et maritime, la dessication de l'air exige un important appareillage, qui serait souvent hors de proportion avec le coût de fabrication de l'appareil électronique (récepteur radiophonique, installations de haut-parleurs, etc.). Un stockage au sec est rendu parfois impossible par le genre d'utilisation des appareils, comme cela est le cas par exemple pour les récepteurs mobiles de la police et de l'armée. Certaines pièces d'un appareil ou même des appareils complets peuvent évidemment être logés dans des boîtiers étanches à l'air ou enrobés de résines époxy ou autres, ce qui les rend plus ou moins indépendants des conditions atmosphériques. Une solution de ce genre n'est toutefois possible que là où il ne se dégage pas trop de chaleur ou lorsque la question de l'encombrement et du poids ne joue qu'un rôle secondaire. Nous ne pouvons pas énumérer et critiquer ici toutes les possibilités de protection contre l'humidité, qui permettent indirectement d'éviter la formation de moisissures. Cela serait d'ailleurs inutile, car le fabricant des appareils doit

considérer attentivement le problème de l'influence de l'humidité également pour d'autres raisons, telles que l'absorption d'humidité par les matières isolantes, la corrosion des parties métalliques, etc.

6. Effets des moisissures

Pour terminer, nous examinerons la question des effets des moisissures sur le fonctionnement et la sécurité de service des appareils électroniques. Comme on le sait, les moisissures réduisent fortement la résistance mécanique des matières organiques, telles que les textiles, le cuir, le bois, etc., dont elles éliminent la cellulose, l'albumine, etc. [4, 5]. De même, dans le cas des matières synthétiques renfermant des charges organiques (résines phénoliques avec poudre de bois, papiers bakélisés, tissus bakélisés, etc.), une destruction de certains composants est souvent possible. Cependant, du fait que ces charges sont bien enrobées et/ou imprégnées de résine synthétique, leur élimination est généralement très lente et limitée à la surface de la matière isolante, de sorte que la résistance mécanique ne diminue guère pendant la durée de vie de l'appareil. D'une manière générale, on peut se baser sur la règle suivante: Moins la matière synthétique peut absorber d'humidité, moins elle est sensible aux moisissures. Il existe toutefois certaines exceptions, notamment le chlorure de polyvinyle, dont la résistance mécanique diminue nettement en peu de temps, lorsqu'il est attaqué par des moisissures. Dans ce cas, ce sont souvent les plastifiants qui constituent un aliment pour les moisissures. Pour la protection des gaines de câbles et de fils, le chlorure de polyvinyle est maintenant parfois mélangé avec un fongicide, de sorte qu'il n'est plus nécessaire de prévoir de protection extérieure.

Un fort développement de moisissures à la surface de matières isolantes entre des parties métalliques sous tension peut, dans certains cas, diminuer la résistance aux lignes de fuite et par conséquent la rigidité diélectrique; ce danger n'existe toutefois que lorsque les écartements sont extrêmement faibles. La diminution de la résistance aux lignes de fuite est due à la forte teneur en humidité du mycélium, ainsi qu'aux sécrétions des moisissures, qui exercent souvent une action électrolytique. L'effet est sensiblement le même que lors de l'encrassement des surfaces par des brouillards salins. Si les distances de fuite ont été correctement choisies et si l'isolation utilisée est suffisamment résistante à la formation de ces lignes, les moisissures n'auront guère d'effet.

Les moisissures peuvent également se développer sur des matières minérales (métaux, verre, céramique, etc.), lorsque celles-ci sont encrassées par de la poussière, de l'huile, de la graisse, etc. (voir fig. 3). Un très faible encrassement suffit déjà pour nourrir les moisissures, dont les sécrétions acides peuvent entraîner ou accélérer une corrosion du métal et rendre mat un verre transparent. Ces dommages ne conduisent toutefois que rarement à des perturbations de service, mais ils affectent l'aspect de l'appareil.

Ainsi donc, les moisissures ne peuvent que rarement avoir des conséquences graves pour les appareils électroniques, comme cela a été confirmé par des essais systématiques entrepris par le Naval Research Laboratory, à Washington [6], pour divers appareils de télécommunication de l'armée. Des récepteurs identiques, avec et sans protection contre les moisissures (protection conforme aux prescriptions de l'armée américaine [7, 8]) ont été soumis durant 1300 jours à un climat favorable au développement des moisissures. La sensibilité et les diverses pièces détachées (condensateurs, résistances) de ces récepteurs ont été périodiquement contrôlées. Ces essais ont montré qu'il n'est pas prouvé, que la durée de vie et la sécurité de service soient accrues, dans le cas où les appareilles ont été recouverts d'un vernis de protection convenable, appliqué au pistolet.

Bien que l'on ait ainsi nettement constaté que les moisissures ne sont pas réellement dangereuses pour les appareils, lorsque les distances dans l'air et les lignes de fuite sont correctement dimensionnées, il faut néanmoins tenir compte des incidences psychologiques qu'elles peuvent parfois exercer. Les fabricants d'appareils compliqués savent en effet, par expérience, à quel point la sécurité de service de ces appareils dépend des réactions affectives du personnel qui s'en sert. Celui-ci n'apportera guère de soins à un appareil couvert de moisissures et corrodé, dégageant une odeur insupportable. On comprend donc qu'il importe d'attacher toute l'attention nécessaire au problème de la protection efficace contre les moisissures.

Bibliographie

[1] *Commission Electrotechnique Internationale:* Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique des pièces détachées. Publ. n° 68, 1954. Genève: Bureau Central de la C.E.I. 1954.

[2] *Rippel-Baldes, A.:* Grundriss der Mikrobiologie. Berlin: Springer 1952.

[3] *Marsh, P. B.:* Fabric Mildew-Resistance Tests with Organising Tolerant Toward Copper and Mercury. Amer. Dyestuff Reporter t. 38(1949), n° 5.

[4] *Siu, R. G. H.:* Microbial Decomposition of Cellulose. New York: Reinhold 1951.

[5] *Greathouse, G. A.* et *C. J. Wessel:* Deterioration of Materials. New York: Reinhold 1954.

[6] *Williams, K. G.* et *C. T. Lempke:* A Study of Navy Radio Receivers in a Tropical Climate. Naval Research Laboratory, NRL Rep. 3935, 6 février 1952. Washington: 1952.

[7] *US War Department* and *the Navy Department:* Coating-Materials, Moisture and Fungus-Resistant for the Treatment of Communications, Electronic and Associated Electrical Equipment. Joint Army-Navy Specification, JAN-C-173, 23 janvier 1947. Washington: 1947.

[8] *US War Department* and *the Navy Department:* General Process for Treatment, Moisture and Fungus-Resistant of Communications, Electronic and Associated Electrical Equipment. Joint Army-Navy Specification, JAN-T-152, 30 janvier 1947. Washington: 1947.

Adresses des auteurs:

E. Ganz, S. A. Brown, Boveri & Cie, Baden (AG).

O. Wälchli, Dr. ès sc. nat., chef du Département de biologie du Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et Institut de Recherches (EMPA), Saint-Gall.