

SECTION INDUSTRIELLE

Essais concernant la résistance du matériel électrique au climat tropical *100 m du 43*

M. A. DELRIEU communique les résultats d'essais destinés à mettre en évidence le comportement de divers matériels électriques placés dans des conditions climatiques et cryptogamiques analogues à celles existant dans les pays d'Outre-Mer. Ces essais exécutés en l'année 1951 au Laboratoire central des Industries électriques, à l'Office de la Recherche scientifique d'Outre-Mer et au Laboratoire de Cryptogamie du Muséum d'Histoire naturelle ont porté sur les matériaux de protection et isolants et sur diverses machines électriques, câbles et appareillage. L'auteur expose la technique suivie dans les épreuves : 1° de la résistance à la chaleur et à l'humidité ; 2° de la résistance à l'action des champignons ; 3° de la résistance au brouillard salin. Il précise ensuite, pour chaque sorte de matériel, ses caractéristiques, les modalités d'essais et les particularités observées dans le comportement des éléments de ce matériel. Les résultats des essais proprement dits sont consignés dans des tableaux.

I. Introduction. — A la demande du Syndicat général de la Construction électrique et du Service des Études d'Outre-Mer d'Electricité de France, le Laboratoire central des Industries électriques a entrepris en juin 1951 des essais destinés à étudier le comportement de divers matériels électriques placés dans des conditions climatiques et cryptogamiques analogues à celles des pays d'Outre-Mer.

Les essais de résistance à la chaleur et à l'humidité ont été effectués dans les chambres de tropicalisation de l'Office de la Recherche scientifique d'Outre-Mer, à Saint-Cyr-l'École (1). Ces chambres, d'un volume de 4 m × 3,5 m × 2,85 m, permettent de réaliser automatiquement des cycles journaliers de chaleur et d'humidité analogues à ceux des pays tropicaux. Les observations sur la résistance du matériel aux micro-organismes ont été faites par le Laboratoire de Cryptogamie du Muséum d'Histoire naturelle. Enfin, le Laboratoire central des Industries électriques a exécuté les essais de résistance au brouillard salin et toutes les mesures électriques. Ces expériences ont permis de rassembler une documentation particulièrement importante que son étendue même empêche de publier intégralement. Mais, il a semblé possible aux promoteurs de cette étude de présenter, une vue d'ensemble des essais effectués et des résultats immédiatement utilisables. C'est cette vue que donne le présent article, qui s'efforce en même temps de montrer dans quel sens les essais ultérieurs devront être améliorés.

Une observation est à faire préalablement : beaucoup d'expériences ont été volontairement effectuées avec du matériel qui n'était pas spécialement prévu pour le service en climat tropical. Il s'agissait en effet, dans ces recherches préliminaires, non pas de délivrer des brevets de qualité, mais de mettre en évidence, de façon aussi démonstrative que possible, les points sur lesquels doit se porter en premier lieu l'attention des constructeurs d'appareils pour pays tropicaux. En admettant de soumettre à des expérimentations particulièrement sévères et parfois exagérées des matériaux et des appareils ayant fait leur preuve dans les climats tempérés, en acceptant surtout de rendre publics les enseigne-

ments qui se dégagent de ces recherches, les industriels qui ont bien voulu apporter leur concours rendent à l'électrotechnique française un service dont nous ne saurions trop souligner, d'abord l'importance et ensuite, il faut le dire, le caractère peu commun dans notre pays. De la marque qu'ils donnent ainsi de leur sens de l'intérêt collectif, nous tenons à leur exprimer toute notre reconnaissance.

II. Technique des essais. — Les essais subis par les appareils ont été inspirés par le projet de l'Union technique

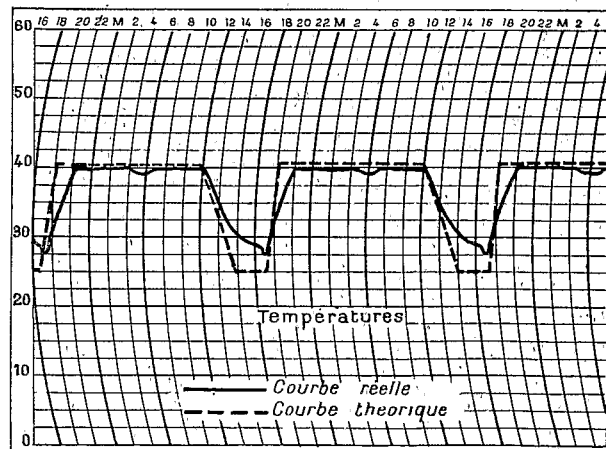


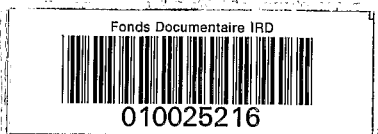
Fig. 1. — Cycles d'essais relatifs à la résistance à la chaleur (climat chaud et humide). Le cycle théorique (en trait discontinu) correspond au programme imposé.

de l'Électricité relatif aux règles d'essais du matériel électrique destiné aux climats tropicaux et dont nous allons rappeler brièvement les modalités.

A. Résistance à la chaleur et à l'humidité. — Les essais ont comporté le passage dans une chambre où sont réalisées les conditions suivantes :

1° Cycles d'essais. Variante A (climat chaud et humide) (fig. 1 et 2).

(1) A. NIZERY et S. CRESPI ; Un laboratoire pour l'étude des matériaux en climat tropical. *Revue générale de l'Electricité*, novembre 1949, t. 58, p. 455-468.



Fonds Documentaire IRD
Cote : Bx 25216 Ex : *100 m du 43*

Pendant 8 heures : maintien de la température à 40° C avec 90 pour 100 d'humidité relative.

Pendant 1 heure : maintien de la température à 40° C

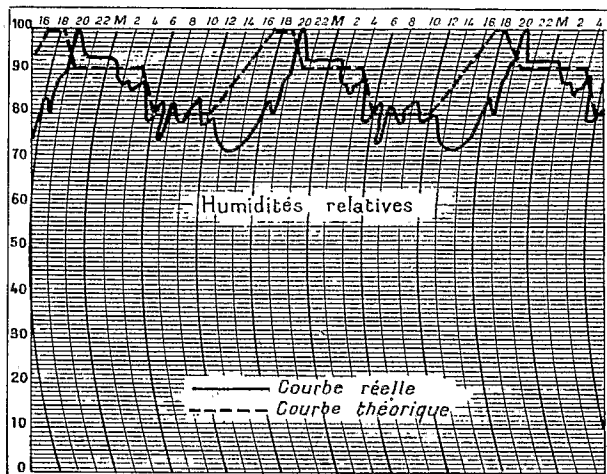


Fig. 2. — Cycles d'essais relatifs à la résistance à l'humidité (climat chaud et humide). Le cycle théorique (en trait discontinu) correspond au programme imposé.

avec abaissement progressif de l'humidité relative à 80 pour 100.

Pendant 7 heures : maintien de la température à 40° C avec 80 pour 100 d'humidité relative.

Pendant 4 heures : abaissement progressif de la température à 25° C avec relèvement progressif de l'humidité relative à 100 pour 100.

Pendant 3 heures : maintien de la température à 25° C avec 100 pour 100 d'humidité relative.

Pendant 1 heure : élévation progressive de la température

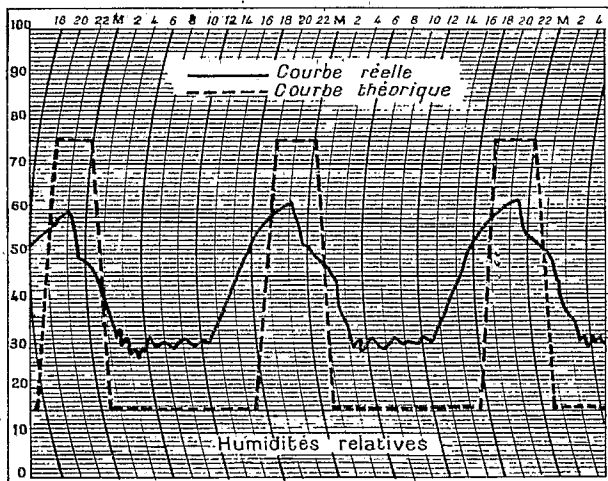


Fig. 3. — Cycles d'essais relatifs à la résistance à la chaleur (climat chaud et sec). Le cycle théorique (en trait discontinu) correspond au programme imposé.

à 40° C et abaissement progressif de l'humidité relative à 90 pour 100.

Au bout de huit semaines, arrêt des essais aussitôt après la période de maintien de la température à 25° C.

2° Cycle d'essai. Variante B (climat chaud et sec) (fig. 3 et 4).

Pendant 4 heures : maintien de la température à 20° C avec 80 pour 100 d'humidité relative.

Pendant 1 heure 30 minutes : élévation progressive de la température de 20° C à 55° C en ramenant progressivement l'humidité à une valeur inférieure à 10 pour 100.

Pendant 16 heures : maintien de la température à 55° C avec moins de 10 pour 100 d'humidité relative.

Pendant 2 heures 30 minutes : abaissement progressif de la température de 55° C à 20° C en ramenant l'humidité relative à 80 pour 100.

Les figures précitées donnent en trait plein les cycles effectivement essayés, en trait discontinu le programme imposé.

B. Résistance à l'action des champignons. — L'appareil étant placé sur un support résistant aux champignons, on dépose sur sa surface des gouttes de gélose nutritive qu'on enseme avec six espèces différentes de champignons. Les échantillons sont ensuite portés dans une étuve à 25° C et 95 pour 100 d'humidité relative dans laquelle ils séjournent

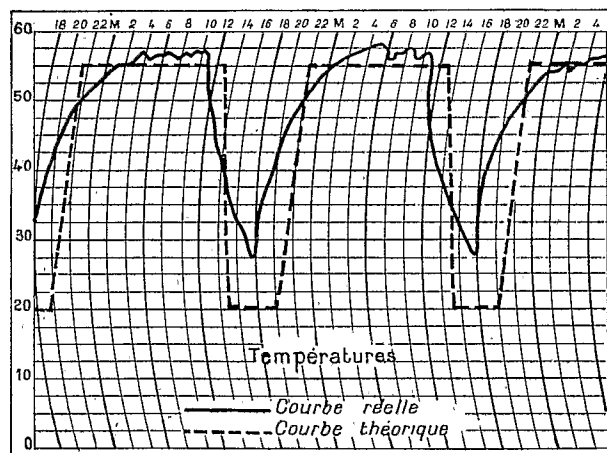


Fig. 4. — Cycles d'essais relatifs à la résistance à l'humidité (climat chaud et sec). Le cycle théorique (en trait discontinu) correspond au programme imposé.

durant cinq semaines ; l'essai est donc également une épreuve de tenue à la chaleur humide.

C. Résistance au brouillard salin. — L'appareil est soumis à 20 cycles consistant chacun en un passage pendant vingt-quatre heures dans une enceinte étanche maintenue à une température comprise entre 15° C et 30° C, d'un volume dix fois plus grand que celui des appareils ; on pulvérise dans cette enceinte 0,3 l par 24 heures d'une solution de chlorure de sodium (NaCl) à 30 g par litre, à laquelle on ajoute du carbonate de sodium (CO₃Na₂) pour réaliser un pH égal à 8.

Ce passage est suivi d'un repos de même durée dans les conditions normales d'utilisation.

III. Matériel soumis aux essais. — On peut diviser ce matériel en deux groupes :

- les matériaux de protection polyvalents, vernis d'imprégnation, de protection, isolants ;
- le matériel proprement dit : fils, câbles, appareillage à basse tension, redresseurs statiques, appareils de mesure, appareillage à haute tension, matériel radioélectrique, moteurs.

Nous examinerons successivement la tenue de chaque matériel.

A. Matériaux de protection (Émaux, vernis d'imprégnation, vernis de protection). — Le matériel était constitué par des bobines de fil de cuivre émaillé au duroflex, certaines étant isolées par deux couches de ruban imprégné, l'imprégnation étant effectuée comme d'ordinaire par deux trempages à 130° C, pendant une durée variable de 4 à 12 heures. A l'essai de chaleur humide, la résistance d'isolement d'une bobine recouverte d'une couche de ruban silicone s'est abaissée au dix-millième de sa valeur; la résistance d'une bobine recouverte de deux couches de rubans jaconas ou de trois couches de ruban silicone est descendue au centième de sa valeur.

Le traitement par le cycle de chaleur humide aussi bien que par celui de chaleur sèche montre la bonne tenue de peintures sur un cylindre de fibre isolant, de feuilles vernissées recouvrant un cylindre de cuivre, ainsi que des plaquettes en fibre de verre : par contre, sur des plaquettes recouvertes de caoutchouc, celui-ci s'est décollé et rétracté.

L'étude de la résistance des métaux traités a montré la mauvaise tenue de pièces cadmiées, surtout aux épreuves

de brouillard salin et aux micro-organismes. Par contre, la fonte peinte a bien résisté à toutes les épreuves.

Pour les isolants, les essais ont porté sur des feuilles minces de produits synthétiques, sur des plaques à bornes pour moteurs, en résine phénolique et farine de bois ou en résine phénolique et poudre de mica, ainsi que sur des cartons isolants.

Des essais mécaniques ont été exécutés sur les feuilles minces; ils ont toujours mis en évidence une perte d'élasticité sans modification de forme, avec parfois une modification de la teinte (voir tableau I).

Des mesures de résistance électrique ont été faites sur les plaques. Une chute importante est constatée : de 250×10^{10} à $2 \times 10^{10} \Omega$ et de 160×10^{10} à $2 \times 10^{10} \Omega$ dès le cinquième jour pour la résine phénolique et mica, de 8×10^{10} à $0,25 \times 10^{10}$ et de 16×10^{10} à $0,5 \times 10^{10}$ dès le cinquième jour pour les résines phénoliques et farine de bois. Une protection de silicone pour ces dernières n'amène pas de changement sensible. On peut noter que l'équilibre est atteint vers le cinquième jour.

L'épreuve du brouillard salin amène des chutes de résistance du même ordre et les micro-organismes, des chutes plus importantes, jusqu'au millième de la valeur initiale.

Les cartons isolants ont été imprégnés d'humidité en chambre humide mais n'ont pas trop souffert, du point de

TABLEAU I. — Résultats d'essais sur des matériaux de protection.

ÉCHANTILLONS	AVANT ESSAI		APRÈS ESSAI	
	Contrainte de rupture, en kg : mm ²	Allongement correspondant, en mm	Contrainte de rupture, en kg : mm ²	Allongement correspondant, en mm
<i>a) Cycle de chaleur humide.</i>				
Petit bloc amortisseur en substance élastique	0,125	45	0,32	88
	0,23	45		
	(longueur initiale : 10 mm, largeur : 4 mm)		(longueur initiale : 20 mm, largeur : 6,4 mm)	
Produit synthétique en feuille mince...	0,2	80	0,28	91
	0,25	95		
	0,241	95		
	0,237	92		
	(longueur initiale : 20 mm, largeur : 6,4 mm)		(longueur initiale : 20 mm, largeur : 6,4 mm)	
<i>b) Cycle de chaleur sèche.</i>				
Petit bloc amortisseur en substance élastique	0,25	45	0,31	80
	0,23	45		
	(longueur initiale : 10 mm, largeur : 4 mm)		(longueur initiale : 20 mm, largeur : 6,4 mm)	
Produit synthétique en feuille mince...	0,2	80	0,31	93
	0,25	95		
	0,241	95		
	0,237	92		
	(longueur initiale : 20 mm, largeur : 6,4 mm)		(longueur initiale : 20 mm, largeur : 6,4 mm)	
<i>c) Cycle de résistance aux micro-organismes.</i>				
Petit bloc amortisseur en substance élastique	0,125	45	0,325	86
	0,23	45		
	(longueur initiale : 10 mm, largeur : 4 mm)		(longueur initiale : 20 mm, largeur : 6,4 mm)	
Produit synthétique en feuille mince...	0,2	80	0,270	91
	0,25	95		
	0,241	95		
	0,237	92		
	(longueur initiale : 20 mm, largeur : 6,4 mm)		(longueur initiale : 20 mm, largeur : 6,4 mm)	

TABLEAU II. — Résultats d'essais sur des câbles pour diverses catégories d'isolants.

Nature de l'isolant	Numéro du câble	Caractéristiques avant essai			Caractéristiques après essai de chaleur humide			Caractéristiques après essai de chaleur sèche			Caractéristiques après essai de micro-organismes
		Charge de rupture en kg	Allongement en mm	Tension disruptive en volts	Charge de rupture en kg	Allongement en mm	Tension disruptive en volts	Charge de rupture en kg	Allongement en mm	Tension disruptive en volts	Tension disruptive en volts
Revêtement fongicide	1	10,8	58	—	15	55	26 700	9,8	52	24 000	22 800
		10	56	—	13,9	52	26 400	10	51	24 600	25 200
		11,2	56	22 500	—	—	—	—	—	—	—
	2	22,5	56	—	23,8	58	32 400	25	63	32 400	34 200
23		60	31 200	24	61	32 400	25	63	32 400	34 200	
23,5		60	—	—	—	—	—	—	—	33 000	
3	6,3	100	17 100	5,5	99	22 500	4,7	94	25 800	19 200	
	6,4	105	—	—	—	—	—	—	—	19 800	
	6,2	102	—	5,7	100	22 200	5	99	27 600	19 200	
4	3,8	95	21 000	4	105	22 800	4,1	90	25 200	18 600	
	3,8	85	—	3,75	97	22 200	4,2	88	25 200	18 000	
	3,7	85	—	—	—	—	—	—	—	16 800	
Polyamide	5	41	72	27 000	36,4	68	28 800	38,2	70	28 800	24 000
		39	72	—	37,2	70	28 200	38,2	68	31 800	33 000
6	Impossible		9 000	Impossible		7 500	Impossible		7 500	10 800	
			8 250			7 200			6 300	10 500	
Néoprène	7	9,5	97	26 700	10	110	22 200	8,8	100	30 600	24 600
		9	98	—	9,5	108	24 600	9,35	106	24 000	24 000
		9,5	107	—	—	—	—	—	—	—	24 000
Chlorure de vinyle	8	20	60	19 800	20	60	22 800	22	60	21 600	—
		21,2	—	19 800	19,8	64	22 200	22	60	21 600	—
		21,2	—	19 800	—	—	—	—	—	—	—
		21,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Néoprène	9	Impossible		22 800	Impossible		24 600	Impossible		22 800	20 400
				—			23 400			22 200	23 400
10	44,2	130	sup. à 80 kV	39,8	131	sup. à 66 000	39,8	128	46 800	57 600	
	44,5	140	—	38,5	131	66 000	36,4	123	46 800	52 800	
	45,2	130	—	—	—	sup. à 66 000	—	—	—	52 800	
	45,2	135	—	—	—	—	—	—	—	—	
Rilsan tropicalisé	11	23,2	131	36 000	—	—	—	—	—	—	28 800
		20,2	105	—	—	—	—	—	—	—	26 400
C.T.H.	12 rouge blanc	15	51	28 800	14,8	55	30 600	15	52	28 200	32 100
		14,4	57	27 000	17	65	—	15,2	55	—	—
		11,2	101	28 800	14	115	30 600	11,6	112	30 600	33 000
		12,2	104	—	14,6	121	—	12,5	120	—	—
13	26,3	50	25 800	27,8	55	23 400	26,4	55	25 800	28 800	
	28,4	55	27 000	27,6	55	28 200	24,8	46	27 000	31 200	
T.H.	14	11,2	63	24 000	10,1	55	23 400	9,9	60	22 200	27 600
		11	60	24 600	11	65	23 400	11	66	23 400	28 800

Note : Les charges de rupture se rapportent uniquement à la gaine des câbles.

vue mécanique. Par contre l'épreuve aux micro-organismes les a rendus inutilisables.

Les prises de courant ont montré une résistance satisfaisante à tous les agents destructeurs. De cette série d'essais, il nous semble qu'on peut conclure à la mauvaise résistance des pièces cadmiées et des cartons isolants à moins que ceux-ci soient recouverts d'un vernis à la bakélite. D'autre part, la farine de bois sous forme de charge pour les phénoplastes est attaqué par les micro-organismes; on devra donc éviter son emploi.

B. Matériel proprement dit. — 1. FILS ET CABLES. — C'est dans cette catégorie que le nombre d'échantillons examinés a été le plus élevé.

Des essais sur une série de câbles revêtus d'isolants divers : polyamides, néoprène, chlorure de vinyle, ont montré une amélioration de l'isolement après passage dans la chambre chaude et humide et une amélioration encore plus marquée après passage dans la chambre sèche, ce qui est normal, ainsi qu'une bonne tenue à l'attaque par les micro-organismes sauf pour le rilsan tropicalisé. On peut aussi noter que du fait de la température maxima de 60° C, l'essai ne met pas en évidence la chute connue de la résistance d'isolement du chlorure de vinyle à 70° C (voir tableau II).

Une autre série de câbles, armés ou sous plomb, montre une chute de la tension disruptive et une variation assez faible de la charge de rupture. Une remarque intéressante peut être faite à propos des câbles armés traités par des imprégnants à base d'anthracène qui résistent très bien à l'action des micro-organismes.

2. APPAREILLAGE A BASSE TENSION : CONTACTEURS, DISJONCTEURS, RELAIS. — Les mesures effectuées ont eu pour objet de déterminer la variation de la résistance d'isolement des parties isolées ainsi que la variation de résistance de contact des disjoncteurs et des contacteurs.

Le cycle de la chaleur humide a été appliqué à un contacteur sous coffret et à un contacteur sur barreau.

Les précautions particulières prises par le constructeur du contacteur sur barreau étaient les suivantes :

SoCLE à fer en U : socle en fonte, recouvert de zinc pulvérisé au pistolet puis revêtu d'une peinture antifongique glycéro-phthalique. Pièces en métaux ferreux, soumises à un cadmiage spécial « marine » (cadmiage suivi de chromatisation).

Pièces en métaux cuivreux soumises à un nickelage épais, mat ou brillant (sauf surface de contact).

Pièces en aluminium ou alliage d'aluminium procolisées (éta-blissement Procol) ou aluminées par oxydation anodique.

Bobines et cages de soufflage, imprégnées au trempé (verniss imperméabilisant et antifongique; cuisson durant 3 h à 130° C). Nota : il n'y a aucun traitement aux silicoes.

Les résistances de contact ont augmenté de façon sensible, surtout pour le contacteur sur barreau. Les résistances d'isolement des bobines sont tombées au quarantième de leur valeur initiale.

Du point de vue du comportement mécanique, le contacteur sous coffret n'a subi pour ainsi dire aucune détérioration : le contacteur sur barreau fonctionne bien, mais les parties métalliques cadmiées ou en cuivre non protégé sont oxydées.

D'autres contacteurs sous coffret et sur barreau ont subi le cycle de chaleur sèche.

Les résistances de contact augmentent (au moins deux fois), les résistances d'isolement se réduisent environ au dixième de leur valeur initiale. Le comportement mécanique de ces appareils ne subit aucune modification.

En ce qui concerne l'épreuve du brouillard salin sur un contacteur sous coffret, les résistances de contact ne varient pas beaucoup; les résistances d'isolement décroissent plus

ou moins. Les parties isolantes sont assez peu attaquées, mais les parties métalliques sont fortement corrodées, entre autres le circuit magnétique.

Un cycle de résistance aux micro-organismes a également été prévu sur les contacteurs sous coffret et sur barreau; à la fin de l'essai, ceux-ci n'étaient plus utilisables; les champignons semblent avoir aggravé les effets de l'humidité, les parties métalliques sont rouillées, les ressorts ne fonctionnent plus et les circuits magnétiques sont hors de service. Les éléments ayant le mieux résisté sont des éléments en matière plastique moulée ainsi que les pièces en aluminium fondu.

Les essais en atmosphère chaude et humide ont porté également sur deux disjoncteurs tripolaires sur barreaux, prévus pour 200 A; la résistance de contact a doublé largement (quelquefois multipliée par 10) les résistances intérieures augmentent nettement (voir tableau III).

Les parties métalliques sont attaquées, les contacts et les tresses en cuivre sont oxydés, l'enclenchement ne s'effectue plus.

Par contre, un relais magnétothermique placé dans les mêmes conditions n'a pas souffert. Les essais ont porté aussi sur des disjoncteurs-contacteurs moins puissants (16 A sous 220 V et 64 A sous 220 V).

Un panneau blindé sectionneur-disjoncteur a été soumis au cycle de chaleur humide; il comprenait sur un bâti en fonte, un ensemble constitué par un disjoncteur dans l'huile et un sectionneur manuel destiné à assurer la coupure en basse tension de courants assez importants. L'ensemble était blindé et vide d'huile; l'étanchéité était assurée par une tresse sous panneaux; les entrées de câbles n'étaient pas obturées.

Le fonctionnement après les essais est resté correct bien que les pièces en fer soient rouillées. Les contacts en cuivre sont oxydés.

Lors d'essais en chaleur sèche et en chaleur humide, en présence de micro-organismes, sur des boutons-poussoirs de tableau, seules la visserie non protégée et les rondelles en fer n'ont pas résisté.

3. REDRESSEURS STATIQUES. — Ces appareils ont subi les épreuves de chaleur humide, de chaleur sèche et de résistance aux micro-organismes et se sont bien comportés; ils avaient auparavant été traités de la manière suivante : trois immersions successives et à deux heures d'intervalle dans un vernis rouge transparent mixte nitro-synthétique séchant à l'air.

4. APPAREILS DE MESURE. — Les essais ont porté soit sur les appareils de mesure eux-mêmes : voltmètres, ampèremètres, compteurs, soit sur des éléments détachés : circuits magnétiques, bobines, aiguilles, cadres; dans ce cas, ils étaient destinés surtout à vérifier la qualité du revêtement protecteur.

Le comportement des appareils montés confirme d'ailleurs ce que l'état des pièces détachées après essais pouvait laisser prévoir.

Nous commencerons donc par examiner comment résistent les diverses pièces.

Ce sont probablement les circuits magnétiques qui souffrent le plus, surtout de l'action du brouillard salin. Les indicateurs d'isolement accusent en chaleur humide une légère augmentation de la résistance; leur comportement général est bon. Le support non traité d'une résistance semble mieux résister aux micro-organismes que le support traité.

En ce qui concerne les cadres soumis à l'épreuve de chaleur humide, les flasques en aluminium, la visserie et le fil n'ont pas subi de détérioration. Les flasques en matière textile imprégnée ont bien résisté.

TABLEAU III. — Résultats d'essais sur la résistance de contact et la résistance d'isolement de disjoncteurs.

Résistance de contact, en microhms.							
Désignation de l'appareil	Repère du pôle	Avant les essais		Au bout de 30 jours		Après les essais	
		au début	après 1 heure	au début	après 1 heure	au début	après 1 heure
Disjoncteur tripolaire sur barreaux 200 A.....	A	220	270	1 400	800	500	500
	B	255	320	1 900	1 800	3 300	2 000
	C	260	360	2 600	2 200	800	560
	A	55	75	—	—	1 600	1 600
	B	210	330	—	—	1 200	1 440
	C	1 520	1 200	—	—	900	1 200

Résistance d'isolement, en ohms, des différentes parties conductrices par rapport à la masse.							
Élément de l'appareil	Durée des essais en jours						
	27	32	34	38	46	52	62
Bobine 1.....	$2,1 \times 10^6$	3×10^6	$5,1 \times 10^6$	$3,7 \times 10^6$	$3,6 \times 10^6$	—	6×10^6
Bobine 2.....	—	—	—	—	—	—	—
Pôle A.....	—	$0,6 \times 10^7$	$3,6 \times 10^7$	$0,26 \times 10^7$	$0,6 \times 10^8$	$0,14 \times 10^8$	6×10^8
Pôle B.....	—	$1,6 \times 10^8$	$0,8 \times 10^8$	2×10^8	$1,8 \times 10^8$	1×10^8	$0,7 \times 10^9$
Pôle C.....	—	$0,8 \times 10^8$	$0,4 \times 10^9$	$0,4 \times 10^8$	$0,4 \times 10^8$	$0,3 \times 10^8$	$2,5 \times 10^8$

TABLEAU IV. — Indications données par l'appareil de mesure avant et après l'essai en atmosphère chaude et humide.

Désignation de l'appareil	Avant essai en atmosphère chaude et humide		Après essai	
	Valeur vraie	Valeur lue	Valeur vraie	Valeur lue
	volts	volts	volts	volts
Voltmètre ferromagnétique.....	50	49	50	49
	100	98	100	97
	150	150	150	148
	200	200	200	198
	250	250	250	248
Appareils magnétoélectriques étanches à cadran à grande déviation.....	mA	divisions	mA	divisions
	5	25	5	24,2
	10	43	10	43,8
	12,5	54	12,5	54,5
Voltmètre électromagnétique.....	volts	volts	volts	volts
	20	20	25	22
	40	39	40	39,5
	80	80	50	48
	120	121	75	73,5
		100	100	
		125	126	
Voltmètre électromagnétique.....	Avant essai de résistance aux micro-organismes		Après essai	
	Valeur vraie	Valeur lue	Valeur vraie	Valeur lue
	20	21	25	4
	40	30	19	
	80	40	32	
	120	50	45	
		60	58	
		80	81	
		100	105	
		120	129	

Par contre, la résistance aux micro-organismes est beaucoup plus mauvaise : les cadres sont complètement inutilisables.

Un des appareils de mesure était muni par le constructeur d'une résistance interne de chauffage ce qui, pensait-il, devait ainsi améliorer la tenue à l'humidité ; malheureusement, lors de l'épreuve de résistance aux micro-organismes, les bornes de connexion de la résistance ont été mises en court-circuit par le boîtier au bout de quelques jours, rendant ainsi le système de protection inefficace.

La tenue des appareils de mesure complets, comme nous l'avons dit, ne fait que confirmer les résultats obtenus sur les pièces constitutives de ces appareils ; les visseries et autres pièces cadmiées sont piquées et les circuits magnétiques sont fréquemment attaqués.

Il s'ensuit, du point de vue électrique, une diminution générale de la résistance d'isolement aux épreuves de chaleur humide et quelques attaques, tout ceci pour les appareils à deux équipages, les voltmètres électromagnétiques, les voltmètres ferromagnétiques et les appareils magnétoélectriques, mais l'état général est assez bon et l'étalonnage des appareils exécuté avant et après les essais montre peu de changement (voir tableau IV).

Par contre, l'épreuve aux micro-organismes est beaucoup plus dure et met hors d'usage la plupart des appareils ; il s'ensuit par exemple de grosses erreurs pour les voltmètres électromagnétiques, surtout pour les faibles tensions, à moins que le boîtier soit absolument étanche. Nous allons donner quelques détails sur les appareils expérimentés.

1° *Appareil sans graduation.* — Trois appareils ont été essayés, dont le boîtier était en fer parkérisé, recouvert de deux couches de vernis valfour noir. La glace est en verre et le porte-glace en aluminium noirci par oxydation anodique. Le dispositif de remise à zéro est en galalithe avec une goupille en laiton non traitée. En ce qui concerne la visserie, les écrous et les rondelles sont nickelés ou en laiton, ou pour les rondelles isolantes, en caoutchouc synthétique. La platine de fond et les rondelles isolantes sont recouvertes d'une couche de vernis fongicide. La carcasse du bobinage est en polystyrène, le fil en cuivre émaillé recouvert d'un vernis fongicide. L'axe en duralumin, le porte-volet, le volet, l'aiguille et les butées ont subi une oxydation anodique. Les palettes et les volutes en fer ont été parkérisées et le couvercle est recouvert d'un vernis cellulosique.

2° *Voltmètre à 130 volts.* — Trois appareils ont été essayés dont le boîtier et le socle sont parkérisés et recouverts d'un vernis de deux couches de valfour noir, suivi d'un passage au four à la température de 180° C. Pour la visserie, les écrous et les rondelles sont nickelés, les rondelles de boulons sont en fer cadmié, le bobinage est en fil de cuivre émaillé recouvert d'un vernis fongicide et enroulé sur une carcasse en polystyrène. La résistance est recouverte d'un carton bakérisé et enduite d'un vernis fongicide, le fil est en constantan émaillé. Le cadran est recouvert d'un vernis blanc cellulosique sur les deux faces. Pour la fermeture, on a prévu un joint d'ozokérite.

Il semble finalement que la seule solution convenable soit l'utilisation de boîtiers étanches, sinon la protection semble difficile à réaliser, les cadres mobiles, etc, étant assez sensibles aux intempéries.

Le point délicat est évidemment la réalisation de cette étanchéité (soudure à bas point de fusion, vernis d'étanchéité, etc., protection des entrées de fil). Bien entendu, il faudra prendre la précaution d'assécher l'appareil avant de le sceller.

Des compteurs monophasés de 10 A sous 127 V ont également été soumis à toutes les épreuves ; leur tenue générale a été satisfaisante, l'étalonnage a peu varié, la visserie seulement a été oxydée. Nous donnons ci-dessous quelques caractéristiques de compteurs ayant bien résisté.

- a) *Pièces métalliques constituant l'enveloppe* : pièces en acier peint après phosphatation, pièces en aluminium : peinture au frangigid ;
- b) *Pièces intérieures en acier* : cuivrage électrolytique suivi du nickelage ou d'un blanchiment à l'étain ;
- c) *Cadres des vitres* : phosphatés et peints à la bakélite avec cuisson à 150° C ;
- d) *Pièces en acier de petites dimensions, en acier inoxyidable* ;
- e) *Aimant* : peinture noire, plage graissée à l'huile de vaseline ;
- f) *Bobines de tension* : bakérisées sans gomme-laque ;
- g) *Vis et écrous en laiton* pour les vis extérieures, et protégées par des dépôts électrolytiques de cuivre et d'étain pour les vis intérieures.

5. **APPAREILLAGE A HAUTE TENSION : FUSIBLES, RELAIS.** — D'une façon générale, cet appareillage a bien résisté aux essais de chaleur humide et de chaleur sèche. Le matériel comprenait des relais à minimum de tension et à surintensité de courant, leur consommation à la fréquence de 50 Hz n'a guère changé, la résistance d'isolement a augmenté, mais en chaleur humide le circuit magnétique a été attaqué sur la tranche.

Ont été également soumis aux essais des sectionneurs à 750 V commandés par perche, des parafoudres à 750 V et 1 000 A, des traverses isolantes à 17,5 kV, des fusibles à haute tension ; tous ces appareils ont bien résisté.

Les transformateurs de courant se sont comportés d'une manière satisfaisante bien que la visserie soit rouillée et que le brai isolant se soit assez fortement contracté.

Du reste, d'une manière générale, l'emploi du brai serait plutôt à déconseiller : il attire la poussière et sa tenue aux micro-organismes n'est pas satisfaisante.

6. **MATÉRIEL RADIOÉLECTRIQUE.** — Des commutateurs à galette ont été essayés en chaleur humide et au brouillard salin ; leur tenue n'est pas très satisfaisante ; la résistance d'isolement diminue, le cadmiage est attaqué ainsi que la visserie qui présente de nombreux points de rouille. La tenue aux micro-organismes est encore plus mauvaise : le boîtier et les vis sont attaqués.

Des condensateurs au papier ont subi sans détérioration ni diminution de leur capacité, le passage aux essais de chaleur humide et de chaleur sèche.

Une résistance bobinée recouverte d'ozokérite n'a pas souffert du passage à la chaleur humide, mais, par contre, les micro-organismes ont détruit l'ozokérite, fait éclater les cartons de sortie de connexion et mis la résistance hors d'usage. Un support pour tube électronique en stéatite a bien résisté, à part la platine cadmiée qui a été oxydée.

Une série de condensateurs électrochimiques d'une capacité de 16 μ F pour 500 V-550 V n'a pas très bien résisté à la chaleur humide, du fait du boîtier en aluminium qui s'est oxydé. De même pour des condensateurs de 25 μ F et 300 V, dont la capacité a diminué de moitié et qui sont fortement oxydés (tableau V).

Une autre série de condensateurs, au papier, cette fois de 0,022 μ F à 0,100 μ F, a très bien résisté aux essais de chaleur sèche et de chaleur humide.

Tous les condensateurs dont le boîtier était en aluminium ont été très oxydés, parfois perforés lors des essais de résistance aux micro-organismes.

TABLEAU V. — Résultats d'essais sur des condensateurs.

Désignation de l'appareil	Caractéristiques	Durée des essais (en jours)											
		Avant essai	5	9	11	15	18	23	29	37	50	Après essai	
Condensateur 0,5 μ F, 500 V.	Capacité, en μ F....	0,506	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,506	
	Facteur de perte....	$1,6 \times 10^{-3}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$2,9 \times 10^{-3}$	
	Résistance, en ohms.	$1,1 \times 10^{10}$	$1,6 \times 10^9$	$1,2 \times 10^8$	$1,5 \times 10^8$	$0,9 \times 10^8$	$0,9 \times 10^8$	$0,4 \times 10^8$	$0,1 \times 10^8$	$0,9 \times 10^8$	$0,2 \times 10^8$	$1,6 \times 10^8$	
Condensateur papier 0,022 μ F 250 V.	Capacité, en μ F....	0,0240	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,0248	
	Facteur de perte....	$3,9 \times 10^{-3}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$7,1 \times 10^{-3}$	
	Résistance, en ohms.	$2,6 \times 10^{10}$	$0,9 \times 10^{10}$	$1,8 \times 10^{10}$	$1,8 \times 10^{10}$	$1,8 \times 10^{10}$	$0,5 \times 10^8$	$0,6 \times 10^8$	—	$0,4 \times 10^8$	—	1×10^8	
Condensateur électrochimique 500/550 V, 16 μ F.	Capacité, en μ F....	18,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17,1	
	Facteur de perte....	$3,3 \times 10^{-2}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$2,8 \times 10^{-2}$	
	Résistance, en ohms.	—	$2,3 \times 10^8$	$1,1 \times 10^8$	$0,9 \times 10^8$	$1,2 \times 10^7$	$0,6 \times 10^8$	$0,6 \times 10^8$	$1,8 \times 10^8$	$0,6 \times 10^8$	$0,45 \times 10^8$	2×10^8	
Condensateur électrochimique 25 μ F, 300/335 V.	Fil vert.	Capacité, en μ F....	25,1	—	—	—	—	—	—	—	—	13,7	
		Facteur de perte....	$3,4 \times 10^{-2}$	—	—	—	—	—	—	—	—	$7,5 \times 10^{-2}$	
		Résistance, en ohms.	—	$1,8 \times 10^8$	$1,3 \times 10^8$	—	—	$0,9 \times 10^8$	$0,9 \times 10^8$	$0,9 \times 10^8$	$0,5 \times 10^8$	$0,6 \times 10^8$	$0,5 \times 10^8$
	Fil rouge.	Capacité, en μ F....	24,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16,6
		Facteur de perte....	$4,6 \times 10^{-2}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$7,1 \times 10^{-2}$
		Résistance, en ohms.	—	$2,3 \times 10^8$	3×10^8	—	—	$0,6 \times 10^8$	$0,6 \times 10^8$	$0,9 \times 10^8$	$0,45 \times 10^8$	$0,6 \times 10^8$	$0,5 \times 10^8$

Un oscillographe cathodique a été également essayé en chaleur chaude et humide. L'aspect général de l'appareil après essai est satisfaisant, la visserie a bien résisté, mais le métal a été oxydé malgré la peinture, et celle-ci prend une teinte de rouille en plusieurs endroits. D'autre part, le transformateur d'alimentation a été mis hors d'usage assez rapidement.

7. MOTEURS ET VENTILATEURS. — Les essais ont porté sur sept moteurs asynchrones triphasés à 50 Hz, dont trois moteurs à 4 pôles 220-380 V d'une puissance utile de 1,5 kW et trois moteurs de même spécification que les précédents mais spécialement traités et dont l'isolation ne comporte pas de produits cellulose (capotes d'encoche et séparateurs de têtes de bobines, isolés à la toile de verre et aux vernis phénoliques) gras, lacets des têtes de bobine en cordonnet de verre, tube de sortie en gaine de verre verni. En outre, les rotors sont traités suivant le traitement prévu pour les moteurs sous contrôle du Bureau Veritas; les stators sont protégés par la même peinture.

Ont été essayés également cinq ventilateurs et un rhéostat régulateur de vitesse, quatre moteurs asynchrones triphasés 0,95 ch, 220 V à 50 Hz, un induit de moteur de ventilateur, un moteur monophasé avec condensateur, quatre moteurs asynchrones triphasés de 1,5 ch sous 220-380 V, à 50 Hz.

Les moteurs ont, en outre, subi deux essais de surtension entre spires, à des fréquences acoustiques et d'une valeur de 330 V entre les extrémités d'un même enroulement.

Les mesures de résistance d'isolement ont toutes été exécutées en courant continu à la tension de 220 V.

Les moteurs de 1,5 kW sous 220-380 V, traités spécialement, ont bien résisté au climat chaud et humide, malheureusement des incidents nous ont empêchés d'établir une comparaison entre les moteurs traités et ceux qui ne l'étaient pas.

Les ventilateurs se sont très bien comportés. Le chromage des pales d'hélice, de la grille de protection et du système d'orientation est en parfait état. Les vis des rhéostats sont légèrement rouillées.

Soumis à l'épreuve de résistance aux micro-organismes, un ventilateur de table a assez bien résisté. L'appareil fon-

ctionnait encore à la fin des essais. La peinture a bien tenu. Le chromage des pales, de la grille de protection et du système d'orientation est terni, mais non piqué. Au contraire, les trois bras, non protégés, de maintien de la grille de protection du ventilateur sont fortement attaqués et rouillés. La visserie a faiblement résisté. La matière plastique du cône d'hélice est en bon état. Le cordon d'alimentation est envahi par les moisissures et détérioré.

Le stator du ventilateur a subi les épreuves de résistance aux micro-organismes; il était prévu pour fonctionner avec une source de courant alternatif de tension égale à 110 V; l'enroulement étant spécialement imprégné. Néanmoins, le circuit magnétique porte de nombreuses traces de rouille. Les micro-organismes se sont développés sur les produits d'imprégnation du bobinage et l'ont mis en court-circuit avec la masse. Les vernis de protection ont également servi de base de développement aux moisissures.

Un moteur monophasé, du type asynchrone à phase de démarrage par condensateur, n'a pas résisté à l'épreuve humide; les rondelles de fer sont rouillées, le bout d'arbre également et la vis sans fin est engorgée par la rouille.

8. RELAIS DE TÉLÉCOMMANDE. — Les appareils essayés avaient les caractéristiques suivantes :

Pièces	Matières	Protection
Socle et couvercle.	Fonte.	Intérieure et extérieure : une couche antirouille Pb; une couche Valrex gris.
Socle et couvercle.	Aluminium.	Intérieure et extérieure : deux couches peinture aluminium.
Joint tresse.	Amiante graphitée.	Sans.
Aimants.	Nickel aluminé.	Deux couches peinture aluminium.
Ressorts spiraux.	Bronze au glucinium.	Sans.
Balanciers.	Arcap.	Sans.
Axes.	Acier trempé.	Sans.
Crapaudines (support)	Laiton.	Sans.
— (saphir).	Saphir.	Sans.

Pièces	Matières	Protection
Supports isolants.	Bakélite minérale moulée. Carton bakéllisé.	Une couche fongicide cerilite.
Ressort.	Acier.	Bleui.
Ressort sautoir.	Acier doux.	Nickelé mat.
Supports métalliques.	Fer Armco.	Nickelé mat.
Pièces magnétiques.	Laiton.	Nickelé mat.
Visseries et cônes.	Acier doux.	
Bobinages.	Cuivre émaillé avec enchevêtrement coton.	1. Imprégnation dans bain vernis.
Câblages.	Câble 19 brins de 0,02 mm avec embouts caoutchouc synthétique.	2. Etuvage 7 heures à 90° C. 3. Vernis pinceau jaune. 4. Vernis pinceau fongicide.

L'un de ces relais a subi les épreuves de chaleur humide. Le boîtier a été bien protégé de la rouille par la peinture de protection. La visserie est en bon état, sauf quelques points de rouille sur les vis et rondelles non protégées. Le constructeur ayant eu la précaution d'obturer les embouts d'arrivée de câbles, l'intérieur de l'appareil est intact.

L'autre appareil soumis aux cycles de résistance aux micro-organismes a bien résisté, du fait de l'étanchéité absolue assurée par le joint du couvercle et la fermeture des embouts de câbles. Aucune trace de rouille ni d'oxydation n'est visible à l'intérieur à la fin de l'essai. Aucun développement de micro-organismes n'est visible sur les éléments intérieurs. La bonne tenue générale confirme l'intérêt de la solution par étanchéité absolue.

IV. Conclusions. — On peut tirer un certain nombre de règles pratiques des essais effectués; nous l'avons fait pour chaque matériel particulier et avons abouti à des conclusions qui recourent des résultats obtenus lors d'essais de même nature exécutés en France ou le plus souvent à l'étranger. C'est en règle générale sur des points secondaires que les appareils essayés sont à améliorer; il semble que les constructeurs devraient demander à leurs fournisseurs une visserie et des pièces détachées plus soignées. Les métaux non protégés, fer, cuivre, sont à éliminer; les pièces cadmiées sont également à éviter. Pour les appareils de mesure, la solution par

étanchéité absolue est à conseiller; si la visserie extérieure est protégée, cette solution donne, sans aucun doute les meilleurs résultats.

Pour la marche générale des essais on peut faire les remarques suivantes :

Le cycle de l'Union technique de l'Électricité qui a été appliqué reproduit-il, aussi fidèlement qu'on le souhaiterait, les conditions réelles? On n'y prévoit pas de condensation et c'est un facteur qui n'est pas négligeable là où il a lieu; on ne le rencontre sans doute pas sous tous les climats, mais lors de l'établissement d'un cycle type, il nous semble préférable d'essayer de réaliser des conditions extrêmes quant à leur action sur le matériel.

D'autre part, avons-nous fait jouer la totalité des agents destructeurs possibles? Nous souhaiterions que des essais-types fussent menés, sur un matériel bien déterminé, d'une part, dans les chambres de tropicalisation, d'autre part, sur place; on pourrait ainsi faire apparaître les lacunes de nos essais ou tout au moins serrer de plus près la réalité.

Enfin, pour pouvoir établir une loi quantitative, et d'abord simplement faire ressortir l'influence d'un facteur particulier dans des essais portant sur des ensembles aussi complexes et où agissent à la fois la chaleur, l'humidité, la durée de présence, etc., il faudrait mettre en jeu les méthodes habituelles de la statistique et établir des corrélations, ce qui suppose la réalisation préalable d'un nombre de mesures suffisant.

Nous espérons, au cours d'essais prochains concernant cette fois uniquement des appareils de mesures électriques, pouvoir pousser un peu plus loin l'analyse des résultats dans cette voie. Nous espérons aussi pouvoir entreprendre des études plus systématiques de protections diverses, métallisation, vernis, etc., qui seraient d'une valeur très certaine tant pour les fabricants, que pour les usagers.

En terminant, nous remercions vivement le Service de Tropicalisation du Laboratoire central des Industries électriques de l'aide qu'il nous a très aimablement fourni pour l'élaboration de cette étude.

A. DELRIEU,
Ingénieur, Chef du Laboratoire
de Physique industrielle
de l'Office de la Recherche scientifique d'Outre-Mer.

