Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 47 (1956)

Heft: 10

Artikel: Considération des influences climatiques lors de l'élaboration et de la construction d'appareils électroniques

Autor: Ganz, E. / Michel, K.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1058206

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: 23.08.2025

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

47e année N° 10 Samedi, le 12 mai 1956

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)

Considération des influences climatiques lors de l'élaboration et de la construction d'appareils électroniques

Par *E. Ganz* et *K. Michel*, Baden (AG)

551.584 : 621.38/.389.001.4

Après avoir introduit la notion de climatisation, les auteurs étudient en détail les facteurs climatiques les plus importants pour l'élaboration et la construction d'appareils électroniques: température, humidité de l'air, glace, impuretés de l'air, radiations ultraviolettes, pression atmosphérique. Les auteurs montrent que ces facteurs climatiques ne dépendent pas uniquement de la situation géographique (climat général), mais aussi du microclimat, c'est-à-dire des conditions locales, telles qu'emplacement en plein air ou dans des bâtiments, exposition directe au soleil, etc., ou encore de l'environnement immédiat (radiations thermiques de matériels voisins). Ces influences microclimatiques ou technoclimatiques peuvent donner lieu à des conditions locales extrêmes, nettement plus dangereuses que celles du climat général, et susceptibles d'affecter la durée de vie ou la sécurité de service d'une installation électronique.

Nach einer kurzen Diskussion des Begriffes «Tropen» werden die für die Planung und Konstruktion elektronischer Geräte wichtigen Klimafaktoren (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Eis, Luftverunreinigungen, Ultraviolettstrahlung, Luftdruck) näher untersucht. Es wird gezeigt, dass diese Klimafaktoren nicht allein von der geographischen Lage (Grossklima) abhängig sind, sondern bei «mikroskopischer» Betrachtung in starkem Masse auch von den örtlichen Verhältnissen (z. B. Aufstellungsort im Freien oder in Gebäuden, direkte Sonnenbestrahlung usw.) oder von der unmittelbaren Umgebung (z. B. Wärmestrahlung benachbarter Materialien) beeinflusst werden (Mikroklima, Technoklima). Durch diese mikro- oder technoklimatischen Einflüsse können extreme klimatische Verhältnisse entstehen, wie sie sich aus den Werten des Grossklimas kaum ableiten lassen, die jedoch die Lebensdauer oder Betriebssicherheit einer elektronischen Anlage wesentlich beeinträchtigen.

A. Introduction

On parle couramment de matières premières, de pièces détachées et d'appareils «tropicalisés», bien que la notion de «tropicalisation» donne lieu à des interprétations fort différentes, par suite de l'absence d'une définition générale et internationalement acceptée. Outre le fait qu'il n'existe pas de climat tropical uniforme et que, dans les zones tempérées, le matériel peut parfois être soumis à des sollicitations climatiques plus sévères que dans les régions tropicales, il n'est pas possible de rapporter à un même dénominateur le comportement du matériel vis-à-vis d'influences climatiques. Ces diverses influences, telles que la température, l'humidité, les conditions de rayonnement, etc., doivent être considérées individuellement pour pouvoir estimer les exigences auxquelles doit satisfaire le matériel. C'est ainsi, par exemple, qu'un poste émetteur logé dans le coffre à bagages d'une automobile de la police, demeurée longtemps à l'arrêt en plein soleil de midi, un jour de juillet, peut être soumis à une température ambiante qui ne le cède en rien aux températures de régions tropicales. Un générateur industriel de haute fréquence destiné à sécher du sel de cuisine dans une saline (fig. 12) entrera en contact avec une atmosphère chargée de sel d'un type peu fréquent dans la nature. Ces exemples montrent qu'en ce qui concerne la sollicitation climatique du matériel, c'est généralement moins la situation géographique (climat local) qui importe, que le microclimat, c'est-à-dire le climat de l'environnement immédiat de l'appareil.

B. Le climat

1. Les facteurs régissant le climat

Par «climat», on entend l'état moyen de l'atmosphère sur une région déterminée et les variations caractéristiques (moyennes) des conditions atmosphériques de cette région. Les éléments les plus importants du climat, qui sont observés par la plupart des stations météorologiques, sont la température, la pression atmosphérique, la direction et la force du vent, les précipitations (nature, quantité), l'humidité de l'air et la durée d'insolation. La distribution moyenne de ces éléments est déterminée par les facteurs climatiques, c'est-à-dire la latitude et l'altitude, l'éloignement de la mer ou de grands lacs intérieurs, la direction des vents dominants et, au point de vue local, l'exposition, la nature du sol, la végétation, etc. [1][1]).

Pour la distribution des climats sur la terre, la latitude a une importance fondamentale, car elle détermine le rapport entre l'énergie solaire absorbée et rayonnée.

La répartition en «zones climatiques mathématiques», délimitées par les cercles polaires et les tropiques, date de l'antiquité.

2. Les régions tropicales

La région comprise entre les deux tropiques, zone chaude ou zone estivale, où l'incidence du soleil de midi n'est pas inférieure à 43° (le soleil se

[1]) Le chiffre entre crochets et ceux qui suivent se rapportent aux références de la bibliographie annexée à cet article.

trouve deux fois par an au zénith), est généralement désignée par «région tropicale» ou «tropiques», selon les points de vue mathématico-climatiques [2]. Cette définition très générale des «tropiques» est insuffisante pour juger des exigences auxquelles sont réellement soumis des appareils techniques, comme l'indiquent les tableaux I et II, qui permettent une comparaison des conditions climatiques de quelques régions à proximité immédiate de l'équateur et de régions situées en dehors de la zone tropicale [3].

En comparant les différentes températures de régions tropicales et tempérées, on constate que des températures locales maxima plus élevées qu'à l'équateur peuvent se présenter dans les régions dites «tempérées». Il va de soi que ces maxima ne sont pas non plus rares à d'autres endroits de la zone tropicale. Les exemples cités montrent simplement que la sollicitation maximum des matériels n'est pas limitée aux régions tropicales, caractérisées par le fait que les variations de la température sont extrêmement faibles, aussi bien journellement

Climat de quelques endroits proches de l'équateur

Tableau I

	Pays, situation	Altitude m		Mois												Année
				Jany.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	
Bogota	Colombie (intérieur, haut-plateau)	2610	*i*	14,5	14,5	15	15	15	14,5	14	14	14	14,5	14,5	14,5	14,5
			k	5,7	6,1	10	14	11,5	5,8	5,3	5,8	6,1	16	12	6,8	105
Manaos	Brésil (intérieur, Amazone)	40	*i*	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	27	28	28,5	28,5	28	27	27
			k	22	20,5	22	22	17	10	4,8	3,3	4,6	11,5	14	20,5	172
Para (Belém)	Brésil (côte atlantique)	10	*a*	30,5	30	30,5	30,5	31	31	31	31	31,5	31,5	32	31,5	—
			b	22	22	23	23	23	22	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	22	—
			c	92	94	93	93	91	89	89	89	87	87	88	91	—
			d	35	34,5	35	35	34,5	34	34,5	35	35,5	36,5	36	36	—
			e	19	20	19	20,5	20	20	18	19,5	18,5	19,5	19,5	19	—
			f	27	26	28	27	24	22	19	16	16	15	12	19	—
			g	65	72	74	71	60	49	43	38	36	34	37	51	—
Entebbe	Ouganda (rive du lac Victoria)	1134	*i*	21,5	21,5	21,5	21	21	20,5	20,5	20,5	20,5	21	21	21	21
			k	6,6	9,1	14,5	24,5	21,5	13,2	6,4	7,9	8,1	8,6	12,7	13	147

a Température maximum journalière (en moyenne), en °C
b Température minimum journalière (en moyenne), en °C
c Humidité relative de l'air (en moyenne), en %
d Température maximum, en °C
e Température minimum, en °C
f Nombre de journées pluvieuses (en moyenne)
g Pourcentage de nuages assombrissant le ciel (en moyenne)
i Température mensuelle ou annuelle (en moyenne)
k Précipitations (en moyenne), en cm

Climat de quelques endroits situés hors de la zone tropicale, mais qui doivent être considérés technoclimatiquement comme faisant partie de cette zone

Tableau II

	Pays, situation	Altitude m		Mois												Année
				Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	
Buenos Aires	Argentine (golfe, Rio de la Plata)	20	*a*	29,5	29	25,5	22	18	14,5	14	15	17,2	20,5	24	28	—
			b	17	16,5	15	11,5	7,8	5,0	5,6	6,1	7,8	10	12,9	15,5	—
			c	72	74	79	82	82	86	86	82	79	77	73	72	—
			d	39	39,5	35	36	29	25	29	30,5	30	33	35	39	—
			e	6,1	4,4	3,3	0,6	−3,9	−5	−5,6	−3,3	−2,2	−2,2	2,2	3,9	—
			f	7	6	7	8	7	7	8	9	8	9	9	8	—
			g	40	41	40	41	50	58	51	49	48	52	45	41	—
Tunis	Tunisie (rivage de la Méditerranée)	40	*a*	14,5	16	19	21	25	29,5	33,5	34	30	25,5	20,5	16	—
			b	6,1	6,1	7,8	10	13,5	17	19,5	19,5	18	14	10	6,7	—
			c	76	75	72	69	65	59	55	59	65	72	74	76	—
			d	29	28,5	33	40	39,5	42	48	47	44,5	40,5	32	27	—
			e	-0,56	0	1,1	2,8	2,8	8,9	10	10,1	11,1	4,4	0,56	−1,1	—
			f	11	10	9	8	5	3	1	1	4	8	9	9	—
			g	69	66	55	56	50	36	43	42	57	53	55	62	—
In Salah	Désert du Sahara	310	*i*	13	15	20	24,5	30	34,5	37	36	33,5	26,5	20	14,5	25,5
			k	Pratiquement pas de pluie												

a Température maximum journalière (en moyenne), en °C
b Température minimum journalière (en moyenne), en °C
c Humidité relative de l'air (en moyenne), en %
d Température maximum, en °C
e Température minimum, en °C
f Nombre de journées pluvieuses (en moyenne)
g Pourcentage de nuages assombrissant le ciel (en moyenne)
i Température mensuelle ou annuelle (en moyenne)
k Précipitations (en moyenne), en cm

qu'annuellement, de sorte que les saisons sont à peine marquées (zone estivale).

3. La répartition des climats

Il n'existe malheureusement pas encore une classification idéale des climats, universellement adoptée, car elle peut être établie selon des points de vue très différents. Une classification bien connue est celle de *W. Köppen* (1900), améliorée par *R. Geiger* (1954), basée sur la végétation et complétée par la suite par des limites climatiques précises. Depuis quelque temps, le système de *Thornthwaite* (1931, 1948) est apprécié; il est basé sur l'effet de la température et des précipitations sur l'évaporation, mais n'a pas encore trouvé de formulation précise. Enfin, tout récemment, on a proposé une classification climatique établie en fonction des causes, c'est-à-dire des phénomènes de la circulation atmosphérique, vents et pressions [1].

Selon W. Köppen, par exemple, on peut distinguer les principaux types de climats géographiques suivants:

Climats tropicaux pluvieux:
- Climat de la forêt vierge, chaud et humide
- Climat de la savane

Climats secs:
- Climat de la steppe
- Climat du désert

Climats tempérés chauds et pluvieux:
- Climat chaud, hiver sec
- Climat chaud, été sec
- Climat tempéré humide

Climats tempérés, à hiver froid:
- Climat froid, hiver humide
- Climat froid, hiver sec

Climats neigeux:
- Climat de la toundra
- Climat du gel permanent

Cette subdivision tient compte principalement du rayonnement solaire (et par conséquent de la latitude), des vents, de l'humidité de l'air (proximité de mers, lacs, grands fleuves, marais, etc.), mais elle ne donne que peu ou pas de renseignements sur d'autres éléments climatiques, tels que les impuretés de l'air (aérosols, poussières, gaz agressifs, etc.), la pression atmosphérique (altitude), les radiations ultraviolettes, etc., qui peuvent affecter sérieusement, eux aussi, la sécurité de service des appareils. D'ailleurs, même les indications officielles des différentes stations météorologiques concernant les conditions de température et d'humidité ne donnent pas encore des renseignements complets pour une étude impeccable des conditions dans lesquelles une installation électronique devra fonctionner, car ces indications sont basées sur des conditions météorologiques aussi idéales que possible et elles ne sont que très rarement conformes aux conditions régnant pratiquement à l'endroit d'utilisation de l'objet. C'est pourquoi l'élaboration d'une construction doit considérer avant tout le climat probable de l'environnement immédiat, c'est-à-dire le microclimat.

4. Le microclimat

Les indications climatiques fournies par les statistiques et les rapports météorologiques concernent des couches atmosphériques situées à au moins 2 m au-dessus de la surface terrestre. Lors de la mesure des valeurs courantes, on évite autant que possible les influences de l'environnement immédiat, par exemple celles de la configuration du sol. Les résultats des stations distantes de 10, 100 kilomètres ou plus peuvent ainsi être groupés de manière à fournir une indication générale sur des bases uniformes, ce qui donne un aperçu du climat de l'ensemble d'une région ou d'un pays. Il s'agit là du macroclimat [4].

Tandis que des différences de climat survenant à l'air libre peuvent s'équilibrer rapidement, celles qui se présentent à proximité du sol peuvent demeurer distinctes à de courtes distances, car les mouvements d'échange sont empêchés par les entraves apportées à la circulation de l'air au ras du sol. Les variations de climat s'échelonnent non seulement verticalement, mais horizontalement. Selon la nature du sol ou de la paroi, la configuration, l'ombrage ou l'ensoleillement variant localement, le degré de protection contre le vent et de nombreuses autres conditions, des climats fort différents peuvent exister à de très courtes distances. Ce climat purement local est appelé maintenant microclimat [4].

En technique, la microclimatologie n'est pas limitée à la Nature libre, mais peut également s'appliquer à des locaux (halles de fabriques, bureaux, fortins), voire même à l'intérieur des appareils. En effet, de même qu'à l'intérieur d'un local les valeurs microclimatiques peuvent considérablement différer selon les endroits (proximité du plancher, du plafond, des parois, etc.), les conditions à l'intérieur d'un appareil peuvent être complètement différentes selon le mode et l'endroit d'incorporation du matériel. A proximité d'un tube à cathodes chaudes, d'une résistance fortement chargée, d'un redresseur, etc., il faut tenir compte de la chaleur rayonnée, tandis que des parties situées près d'une ouverture d'aération d'un boîtier peuvent être fortement encrassées par des poussières, des aérosols, etc. L'application de la microclimatologie à la technique a déjà apporté bien des faits nouveaux; il est cependant regrettable, qu'aucune étude globale de ce sujet n'ait été publiée, du moins pour autant que nous le sachions. De récentes publications montrent toutefois une lente tendance à considérer plus attentivement les influences climatiques et à grouper ce domaine sous la notion de technoclimatologie et de technoclimat [5, 6].

C. L'influence de la température

L'élément climatique le plus important en technoclimatologie est sans aucun doute la température, qui peut avoir une influence sur les matériels, soit sous forme stationnaire (température de service d'un appareil, par exemple), soit sous forme de variations de température. Tandis que les valeurs extrêmes de la température de service influencent surtout le dimensionnement statique du matériel,

de fortes et rapides fluctuations de la température peuvent provoquer un vieillissement mécanique prématuré. Ces effets sont encore plus néfastes lorsque la température agit en même temps que d'autres éléments climatiques (par exemple l'humidité).

1. L'influence du rayonnement solaire sur la température

L'influence du rayonnement solaire dépend de différents facteurs:

a) Latitude. Le tableau III indique les températures moyennes de différentes latitudes [7]. Ces chiffres tiennent toutefois également compte des effets résultant des différents rapports terre ferme/eau, de sorte qu'ils ne correspondent pas aux valeurs théoriques, déterminées en admettant que la Terre soit un globe lisse, de constitution uniforme.

b) L'affaiblissement du rayonnement solaire par la nébulosité provoque, durant la journée, en été et aux basses latitudes, un abaissement de la température par rapport aux moyennes et, durant la nuit, en hiver et aux hautes latitudes, une élévation de la température [7]. Durant des journées de très forte nébulosité, la température de l'air s'écarte en général de la valeur moyenne des journées très claires, comme le prouvent les exemples suivants:

	A 15 heures en été	A 6 heures en hiver
Ecarts à Leningrad	−7 °C	+16 °C
Ecarts à Tiflis	−8 °C	+ 6 °C

c) Les différences entre les températures à l'équateur et aux pôles sont plus grandes sur la terre ferme que sur l'eau, car celle-ci est mieux capable d'accumuler la chaleur (tableau IV) [7] et il s'y produit une égalisation de la chaleur par les courants.

Températures moyennes à différentes latitudes au-dessus de la terre ferme et au-dessus de la mer ou de grands lacs

Tableau IV

Latitude	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Climat terrien	34,6	33,5	30,0	24,1	15,7	5,0	−7,7	−19,0	−24,9	−26,1
Climat maritima	26,1	25,3	22,7	18,8	13,4	7,1	0,3	− 5,2	− 8,2	− 8,7

Pour ces mêmes raisons, les différences de température selon les saisons et les jours sont plus marquées sur terre ferme que sur l'eau. Ainsi, par exemple, les températures moyennes aux îles Féroé (climat maritime) et à Iakoutsk (climat terrien, continental), tous deux situés au 62e degré de latitude nord, sont les suivantes en janvier et en juillet [1]:

Féroé: janvier + 3,2 °C; juillet +10,6 °C; différence: 7,4 °C
Iakoutsk: janvier −43,5 °C; juillet +19,0 °C; différence: 62,5 °C

d) Selon leur direction, les vents peuvent décaler les conditions de température. Les vents venant des régions polaires amènent du froid, ceux de l'équateur du chaud dans d'autres latitudes. Les vents soufflant de la mer amènent le climat maritime sur la terre ferme, et vice versa [7]. De même, les courants maritimes décalent les conditions de température dans leur direction.

e) Plus on s'élève dans l'atmosphère, plus le rayonnement solaire est intense, car il est de moins en moins entravé par les couches atmosphériques. Dans les couches atmosphériques plus basses, la température baisse en moyenne de 4 à 8 °C par km d'élévation, c'est-à-dire autant que pour un rapprochement du pôle d'environ 10 degrés de latitude, soit d'environ 1000 km. Le tableau V indique la diminution moyenne de la température en Europe centrale, par km d'élévation dans l'atmosphère libre, rapportée à la température normale au niveau de la mer [7].

Températures moyennes à différentes latitudes

Tableau III

Latitude		0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
Hémisphère nord	Année	26,2	26,7	25,3	20,3	14,0	5,7	− 1,0	−10,0	−16,7
	Janvier	26,4	25,8	21,9	14,6	4,9	− 7,0	−15,8	−26,0	−33,5
	Juillet	25,6	26,9	28,3	27,3	24,0	18,1	14,0	7,0	1,8
	Différence	0,8	1,1	6,4	12,7	19,1	25,1	29,8	33,0	35,3
Hémisphère sud	Année	26,2	25,3	23,0	18,4	12,0	5,6	− 2,0	−11,5	−19,8
	Janvier	26,4	26,3	25,4	21,8	15,6	8,3	3,2	− 0,8	− 6,5
	Juillet	25,6	23,9	20,0	14,6	9,0	2,9	− 7,6	−22,2	−31,5
	Différence	0,8	2,4	5,4	7,2	6,6	5,4	10,8	21,4	25,0

Baisse moyenne de la température par élévation de 1000 m

Tableau V

Altitude	km	0...1	1...2	2...3	3...4	4...5	5...6	6...7	7...8
Δt	°C	6	5	5	5	6	7	7	7
Altitude	km	8...9	9...10	10...11	11...12	12...13	13...14	plus de 14	
Δt	°C	7	6	4	1	−1	0	0	

L'influence du rayonnement solaire est nettement plus grande sur le microclimat ou le technoclimat, que sur le macroclimat, car les corps transforment directement en chaleur une partie de l'énergie rayonnante qu'ils absorbent et l'échange de chaleur des corps solides avec la couche d'air qui les entourent et de cette couche d'air à l'espace environnant est relativement lent. L'échauffement d'un corps ou de sa surface sous l'action directe du rayonnement solaire dépend des propriétés physiques du corps et de son entourage immédiat, en particulier:

de la position des surfaces du corps par rapport à la direction des rayons solaires;
de la constitution des surfaces (rugosité, teinte);
de la grandeur et du volume du corps;
de la conductibilité thermique et de la chaleur spécifique de la matière du corps;
de l'entourage immédiat du corps, par lequel l'échange de chaleur est influencé (conduction, convection, rayonnement).

Des recherches systématiques au sujet de l'échauffement de surfaces d'objets soumises directement au rayonnement solaire ont été entreprises par *K. Schropp* [8]. Sur une plaque isolante de 5 cm d'épaisseur, en liège ou en tourbe, différentes matières minces étaient collées ou maintenues par des fils. Chacune de ces matières couvrait une surface d'environ 15 × 20 cm. Les températures étaient mesurées à l'aide de couples thermoélectriques, disposés entre la plaque isolante et les matières à mesurer. Ces plaques étaient placées perpendiculairement aux rayons solaires sur un toit dégagé, mais bien abrité du vent. Les résultats de ces

mesures indiqués aux tableaux VI et VII sont les températures extrêmes atteintes en moyenne durant 1 h chaque fois. Les températures maxima furent notées généralement entre 12 et 13 heures, les plus basses entre 3 et 5 heures. Les valeurs indiquées concernent toutes Munich, par ciel sans nuage.

Températures maxima, en °C, de différentes surfaces exposées au rayonnement solaire

Tableau VI

	Feuille d'aluminium brillant	Tôle d'aluminium brut	Papier noir	Verre sur papier blanc	Verre sur papier noir	Air
27. 9. 1929	38	57	75	45	74	21
	Feuille d'aluminium brillant	Bronze d'aluminium	Papier noir	Vernis blanc	Vernis noir	Air
28. 9. 1929	37	50	66	43	67	20
29. 9. 1929	32	50	61	40	65	20

Températures minima, en °C, de différentes surfaces rayonnantes de nuit

Tableau VII

	Feuille d'aluminium brillant	Bronze d'aluminium	Papier noir	Papier blanc	Air
11. 2. 1930:					
21.00 heures	– 6,9	– 9,5	–10,9	–10,3	–7,0
24.00 heures	– 9,0	–11,2	–11,8	–12,5	–9,0
12. 2. 1930:					
0.30 heures	–11,8	–11,6	–12,1	–12,5	–9,1
21.35 heures	– 7,9	– 7,1	– 8,3	– 8,0	–4,0
22.35 heures	– 5,3	– 7,8	– 7,8	– 7,3	–4,0

Les résultats des essais indiqués aux tableaux VI et VII montrent nettement que les conditions technoclimatiques peuvent être très différentes de celles du macroclimat ou du climat local. Durant la journée, le rayonnement solaire provoque des échauffements extrêmement élevés, tandis que de nuit il peut se produire un refroidissement inférieur à la température de l'air, par suite de perte de chaleur par rayonnement. On constate ainsi des variations journalières de température extrêmement importantes, qui peuvent solliciter très fortement le matériel. En outre, ces résultats montrent que, même à des endroits à climat local tempéré, des températures extrêmes peuvent se présenter, ce dont il faut tenir particulièrement compte lors du choix des matières premières et de la construction d'appareils électroniques.

Ces conditions extrêmes de température se rencontrent également dans la Nature, du fait que le sol s'échauffe fortement sous l'action du rayonnement solaire, tandis que durant la nuit la chaleur accumulée est cédée aux couches d'air avoisinantes.

Variations journalières de la température, en fonction de la hauteur au-dessus du sol, de la saison et des conditions atmosphériques

Tableau VIII

Hauteur au-dessus du sol, en m		17,1	7,1	1,2	0,3	0,025
Moyenne de décembre	en °C	2,4	2,7	3,1	3,3	3,7
Moyenne de juin	en °C	7,7	8,3	9,4	10,2	11,8
8 journées ensoleillées de juin	en °C	10,9	11,9	14,0	15,3	18,0

L'une des caractéristiques du microclimat est précisément d'être d'autant plus extrême qu'il est plus proche du sol. Les variations journalières de la température augmentent rapidement au fur et à mesure que l'on se rapproche du sol (tableau VIII) [4].

La fig. 1 montre la variation de la température au sol dans le désert de Gobi (Ikengüng, 4 juin 1931) [4]. Même dans notre climat, des températures superficielles aussi élevées ne sont pas rares, surtout sur les surfaces sombres de nos chaussées. Sur le sol naturel, les températures méridiennes sont généralement plus élevées qu'on ne l'admet d'ordinaire. Des mesures récentes ont indiqué à plusieurs reprises des

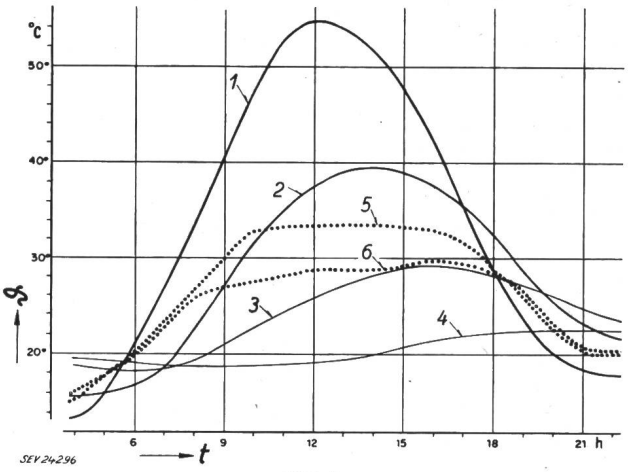


Fig. 1

Variations de la température en dessous et en dessus de la surface du sol dans le désert de Gobi

Mesures faites près d'Ikengüng (41 ° 54′ Nord, 107 ° 45′ Est) un jour de juillet avec peu de cirrus et quelques cumulus [4].

On remarquera que, vers midi, la température à la surface du sol augmente beaucoup par rapport à la température de l'air, tandis que le sol se refroidit plus fortement que l'air durant la nuit.

t Temps; ϑ Température; *1:* A la surface du sol; *2:* A 5 cm en dessous; *3:* A 10 cm en dessous; *4:* A 25 cm en dessous; *5:* A 2 cm en dessus de la surface du sol; *6:* A 200 cm en dessus.

températures de 70 °C et plus à la surface du sol. Dans des conditions particulièrement favorables, les températures peuvent atteindre jusqu'à 80 °C chez nous, en exposition sud [4]. R. Geiger a également prouvé cela par l'expérience suivante: Si l'on place un thermomètre à boule noire dans une boîte bien calorifugée, à parois noires, et si l'on recouvre cette boîte avec une plaque de verre, on peut mesurer 120 °C à l'intérieur, ce qui est dû au fait que la boîte empêche presque tout échange de chaleur avec l'extérieur.

Les appareils transportables de télécommunication (postes émetteurs-récepteurs de l'armée, de la police, du service du feu, etc.), qui sont très souvent utilisés en plein air, dans des conditions microclimatiques, doivent pouvoir supporter des températures extrêmes et des variations de température considérables, sans que leur fonctionnement n'en soit troublé. Même lorsque ces appareils ne sont pas exposés directement au rayonnement solaire, mais logés par exemple dans le coffre à bagages d'une automobile (postes mobiles de la police, de

taxis, etc.), il faut compter avec des températures analogues (avec pointes jusqu'à 80 °C mesurées dans le coffre à bagages), quand le véhicule à l'arrêt est exposé au rayonnement solaire.

La durée de vie de certaines pièces détachées (condensateurs, redresseurs secs, résistances en graphite, etc.) est en rapport direct avec la température ambiante régnante. Pour estimer la durée de vie d'un appareil électronique, il est donc très important de savoir à quels intervalles ces températures maxima peuvent agir sur l'appareil. Si l'on compare la nébulosité moyenne de différents endroits, on constate aisément que la sollicitation par rayonnement solaire est autrement importante dans les déserts, que dans les régions où le ciel est souvent couvert (tableau IX) [3].

Pourcentages mensuels moyens de nuages assombrissant le ciel

Tableau IX

	Mois											
	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Alger	51	48	48	47	43	33	29	28	40	46	52	51
Amsterdam	71	67	66	60	58	60	60	62	58	63	70	75
Barcelone	50	45	50	50	50	45	30	45	40	50	55	45
Berlin	73	72	66	60	56	56	61	58	55	65	73	77
Bombay	15	13	18	31	43	75	88	88	72	39	20	16
Bouchir	45	40	41	33	22	2	8	10	6	10	26	47
Jérusalem	46	46	30	33	13	7	5	4	12	15	26	37
Rangoon	30	28	36	41	73	89	92	91	86	65	45	34
Rome	55	56	55	56	53	41	28	27	36	54	59	61
Vienne	74	68	58	57	56	56	49	43	45	56	71	76

2. L'influence exercée sur la température par l'échauffement propre ou par l'échauffement réciproque de deux appareils

Le matériel logé dans un appareil n'est pas influencé seulement par les conditions climatiques de l'entourage, mais aussi le plus souvent par l'échauffement propre durant le fonctionnement ou par l'échauffement d'éléments et appareils voisins, lorsque ceux-ci dégagent beaucoup de chaleur en fonctionnant.

D. L'influence de l'humidité

Les appareils électroniques sont tout particulièrement sensibles aux influences de l'humidité. Des bobines à haute fréquence qui absorbent de l'humidité peuvent subir de ce fait une diminution de leur coefficient de surtension et présenter en outre une capacité propre plus élevée, ce qui provoque un décalage de la fréquence de résonance. Dans le cas de condensateurs au papier non protégés, la résistance d'isolement s'affaiblit, de sorte que la rigidité diélectrique diminue et que les pertes augmentent. De même, la rigidité diélectrique des matières isolantes de bornes, embases de tubes électroniques, etc., diminue sous l'action prolongée de l'humidité. Dans des relais et appareils de mesure, l'humidité peut provoquer des corrosions électrolytiques (surtout en service sous tension continue) entre les fils des enroulements ou entre ces fils et des armatures, ce qui peut conduire à des ruptures de fils. La corrosion de parties métalliques de la construction n'affecte normalement pas directement le fonctionnement des appareils, mais des produits de corrosion peuvent troubler celui-ci en empêchant le mouvement de certaines pièces de précision (équipages mobiles d'appareils de mesure, armatures de relais, etc.; voir fig. 2*a* et *b*).

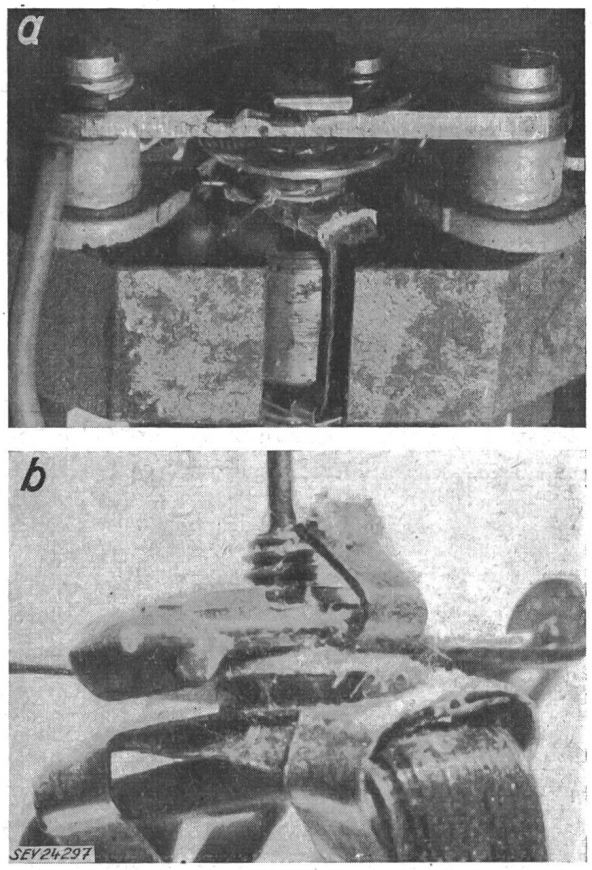


Fig. 2

Equipage mobile d'un appareil enregistreur fortement corrodé et envahi de moisissures

Cet appareil de mesure avait été utilisé durant une année environ dans une installation électronique au bord du golfe Persique et avait dû être remplacé, car il présentait une trop forte erreur résultant du frottement. La fig. 2b montre un détail de cet appareil, qui était fortement envahi de moisissures

Des moisissures qui ne peuvent se développer que dans une humidité relative de l'air supérieure à 75 %, n'affectent que rarement la sécurité de service d'un appareil, lorsque les écartements entre parties sous tension ont été correctement choisis. Mais, dans tous les cas, la corrosion et la moisissure enlaidissent les appareils électroniques, ce qui devrait être évité (ne fut-ce que pour des raisons d'ordre psychologique), même si cela ne donne pas lieu à des troubles fonctionnels (fig. 3) [9].

Au sujet des conditions de température, nous avons montré qu'en microclimatologie d'importants écarts de température peuvent se présenter par rapport au macroclimat. Il en est de même, sinon plus encore, pour les conditions d'humidité, car ce n'est pas seulement la teneur en eau de l'air qui est déterminante, mais aussi l'action conjuguée de la température et de l'humidité. Celle-ci agit d'autant plus sur les propriétés électriques (rigidité et pertes diélectriques) et mécaniques (gonflement, formation

de fentes) de matières isolantes, que la température est plus élevée. De même, la rapidité de corrosion des surfaces métalliques augmente fortement. Cette action de la température et de l'humidité peut être

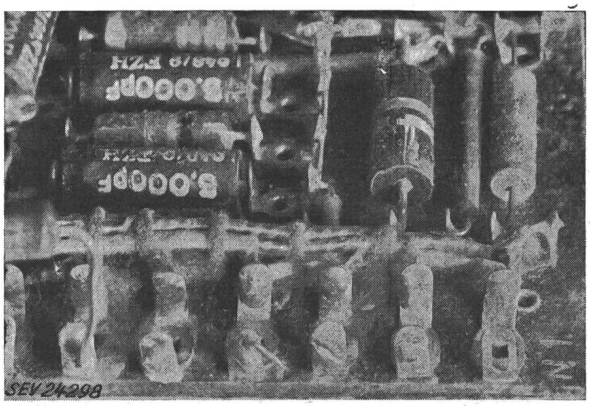


Fig. 3

Formation de moisissures sur des parties hydrophiles ou encrassées d'un appareil électronique [9]

La formation de moisissures dans un climat humide peut être empêchée en choisissant des matières qui ne constituent pas un stratum nutritif pour les moisissures (matières peu ou pas hydrophiles) et des produits chimiques appropriés, exerçant une action fongicide ou fongistatique

aisément démontrée en mesurant la période de demi-transformation de l'isolation de câbles isolés au papier, dans de l'air saturé de vapeur d'eau, à différentes températures (tableau X) [10].

Période de demi-transformation de l'isolation d'un câble isolé au papier, pour différentes constantes de diffusion

Tableau X

Constante de diffusion D	Période de demi-transformation de l'isolation			
	pour 9 °C et 100% d'humidité relative		pour 20 °C et 100% d'humidité relative	
	Heures	Années	Heures	Années
10^{-7}	$1{,}5 \cdot 10^2$	—	$7{,}3 \cdot 10^1$	—
10^{-8}	$1{,}5 \cdot 10^3$	—	$7{,}3 \cdot 10^2$	—
10^{-9}	$1{,}5 \cdot 10^4$	1,7	$7{,}3 \cdot 10^3$	0,84
10^{-10}	$1{,}5 \cdot 10^5$	17,0	$7{,}3 \cdot 10^4$	8,4

En cas de variations de la température, le point de rosée peut être franchi et une condensation peut se produire sur les surfaces du matériel, à l'intérieur ou à l'extérieur des appareils, selon les conditions spécifiques de température. L'humidité condensée sollicite en général plus fortement le matériel qu'une humidité élevée. La corrosion est particulièrement activée par la rosée.

La relation entre la teneur en eau de l'air et la température est nettement déterminée, en technique, par des lois physiques, de sorte qu'il est possible de calculer plus ou moins exactement la variation de l'humidité avec la température, dans des conditions données. Dans la Nature, les conditions sont par contre beaucoup plus compliquées, bien qu'elles suivent également des lois physiques fondamentales, car les facteurs qui interviennent (sources d'humidité, telles que lacs, cours d'eau, marais, végétation; vents provenant de régions sèches ou humides, variations macro- ou microclimatiques de la température, etc.) ne peuvent guère être indiqués par des chiffres. La multiplicité des conditions ne permet que difficilement de déceler les grandes lignes parmi cette foule de phénomènes.

Dans les *zones tempérées et froides*, les variations annuelles de l'humidité du macroclimat diffèrent selon qu'il s'agit de terre ferme ou d'eau, mais cette différence est quelque peu réduite par les nombreux échanges de part et d'autre. Tandis que, sur terre ferme, la quantité de pluie est la plus grande durant la saison chaude et que l'humidité relative et la fréquence du brouillard sont plus grandes durant la saison froide, c'est l'inverse qui se produit sur l'océan (tableau XI) [7].

Influence des saisons sur l'humidité de l'air du macroclimat dans les zones tempérées et les zones froides

Tableau XI

	Hiver		Printemps		Été		Automne	
	a)	*b)*	*a)*	*b)*	*a)*	*b)*	*a)*	*b)*
A l'intérieur des terres:								
Prague (50° latitude nord)	66	84	115	70	183	66	95	78
Kimberley (29° latitude sud)	32	61	89	52	216	55	119	63
Dans l'océan:								
Féroé (62° latitude nord)	567	84	407	81	317	85	518	85
Pt. Nolloth (29°latitude sud) (côte ouest de l'Afrique)	61	76	17	83	4	87	37	80

a) Quantité moyenne de pluie, en mm
b) Humidité relative moyenne, en %

Dans la plupart des régions de la *zone chaude et des parties plus chaudes de la zone tempérée*, la variation annuelle de l'humidité de l'air du macroclimat est sensiblement la même sur la terre ferme que sur l'eau. Durant la saison des pluies, l'humidité relative et les orages sont plus fréquents que durant la saison sèche, ce qui s'entend aussi bien pour les pluies d'hiver subtropicales, que pour les pluies tropicales quand le soleil est le plus haut sur l'horizon [7].

La période journalière de l'humidité de l'air suit en majeure partie les mêmes lois que la période annuelle, mais avec des différences caractéristiques, dues à la brève durée, qui ne peut plus être considérée comme infinie par rapport à la vitesse des mouvements de l'air [7].

D'une façon générale, l'humidité relative se modifie en sens inverse à celui de la température (fig. 4 [11]); des différences peuvent être provoquées par des vents périodiques. C'est ainsi que, dans les régions côtières, le vent de la mer provoque souvent un accroissement de l'humidité relative et de la fréquence de la nébulosité aux heures méridiennes, qui se produit et cesse brusquement à certains endroits, mais que l'on ne constate généralement pas les jours où le temps est couvert. Aux sommets des montagnes, le brouillard est le plus fréquent vers midi, par suite de la formation de nuages dans les courants d'air ascendants. Par contre, en plaine, des brouillards locaux ne se forment, en été, qu'après le coucher du soleil, surtout sur des prairies humides et des marécages, dans les vallées et les dépressions de terrain; ces brouillards se dissipent ensuite rapidement dès que le

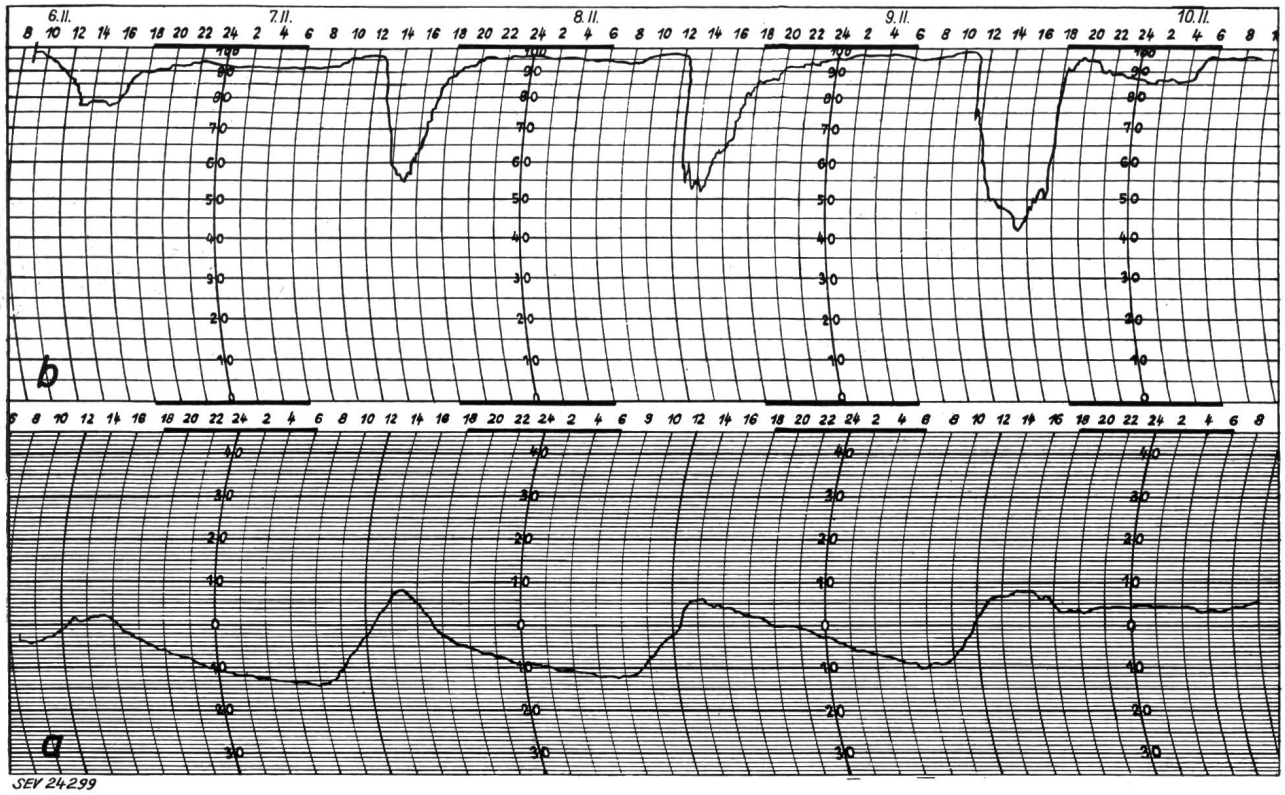


Fig. 4
Variations journalières de la température et de l'humidité en hiver, avec haute pression barométrique
Mesures effectuées à Elster-les-Bains (Allemagne), à 465 m d'altitude, du 6 au 9 février 1939, à 2,3 m au-dessus du sol (fond de la vallée) [11]
Cet exemple montre nettement que l'humidité relative se modifie généralement en sens inverse à celui de la température de l'air
a Température, en °C; *b* Humidité relative, en %

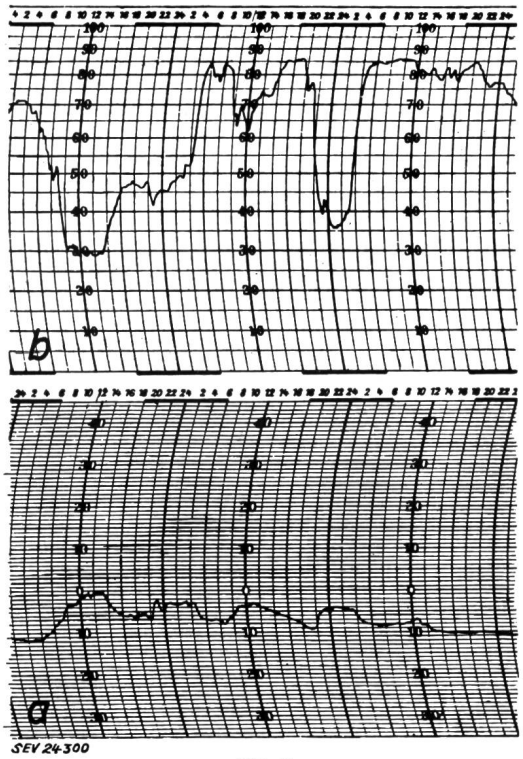


Fig. 5
Enregistrement thermohygrométrique durant une période de foehn hivernal en montagne (Arosa)
Les variations journalières de la température sont troublées (la température s'élève, par exemple, brusquement vers minuit) et l'humidité de l'air varie plus ou moins en fonction de la température [18]
a Température, en °C; *b* Humidité relative, en %

soleil se lève [7]. Un exemple typique du trouble apporté aux conditions atmosphériques par le fœhn soufflant en montagne (Arosa) est illustré par la fig. 5 [18].

En microclimatologie de la Nature, les conditions d'humidité de la couche d'air proche du sol sont déterminées par l'eau dégagée par celui-ci. Tandis que la température passe tantôt par un maximum, tantôt par un minimum à la surface du sol, la teneur en vapeur d'eau diminue généralement au fur et à mesure que l'air s'élève (fig. 6) [4].

Par rapport à la couche d'air proche du sol, la couche d'air proche de l'eau est fortement enrichie

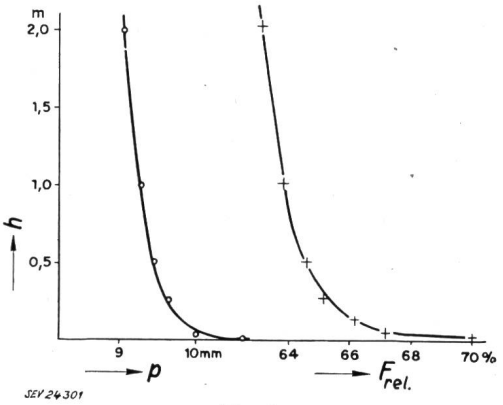


Fig. 6
Moyennes journalières des valeurs de l'humidité à différentes hauteurs au-dessus du sol [4]
h Hauteur au-dessus du sol, en m; *p* Pression de vapeur, en mm; $F_{rel.}$ Humidité relative, en %

de vapeur d'eau. Dans ce cas également, l'humidité diminue rapidement au fur et à mesure que l'air s'élève, comme l'ont montré les mesures de la pression de vapeur effectuées par *G. Wüst* au-dessus de la Mer baltique (tableau XII) [4].

Pression de vapeur à différentes hauteurs au-dessus de la surface de la mer Baltique, en septembre 1919

Tableau XII

Hauteur au-dessus de la surface cm	Eau plus chaude que l'air (17 séries de mesures)		Eau plus froide que l'air (9 séries de mesures)	
	Température °C	Press. de vap. mm Hg	Température °C	Press. de vap. mm Hg
200	13,95	10,28	16,52	11,85
120	13,98	10,39	16,50	11,91
50	14,10	10,58	16,56	11,99
20	14,43	10,97	16,78	12,35
Surface	15,53	13,13	16,16	13,74

Pour la surface de l'eau, la pression de vapeur est la pression de saturation qui résulte de la température de l'eau, en tenant compte de la teneur en sel. Si l'on calcule l'humidité relative en partant des températures et des pressions de vapeur indiquées au tableau XII, on obtient des valeurs comprises entre 85 et 90 %; ces valeurs augmentent légèrement, elles aussi, quand on se rapproche de la surface de l'eau. Les mesures effectuées par *H. Bruch* à 60 cm au-dessus de la Mer baltique, au mois de juillet 1939, indiquaient des valeurs comprises entre 66 et 97 %; étant donné qu'il s'agissait toujours de journées de beau temps, la valeur de 66 % doit être considérée comme le minimum qui se présente à proximité de l'eau. Au-dessus d'une nappe d'eau, l'humidité relative à 60 cm de l'eau était naturellement beaucoup plus faible (jusqu'à 32 %), du fait de l'influence de la terre ferme proche [4].

Des conditions analogues se présentent sur des prairies, du fait de l'eau évaporée par les plantes. A 2 cm au-dessus de l'herbe, on a mesuré une humidité relative de 96 %, qui n'atteignait plus que 57 % à une hauteur de 100 cm dans l'air libre. *R. Wenger* a mesuré 98 % d'humidité relative entre des plantes à feuilles ornementales, un jour de pluie; il s'agit là de la valeur la plus élevée qui ait été mesurée [4].

A l'intérieur de bâtiments, on constate aussi parfois des humidités relatives extrêmement élevées, comme le prouvent les mesures de *L. Mulder* [12] (tableau XIII).

Humidité relative dans différentes étables

Tableau XIII

Étable		1	2	3	4	5	6
Température extérieure	°C	3,6	4,0	1,8	2,7	6,75	4,0
Température moyenne dans l'étable	°C	11,6	14,7	14,7	16,5	17,7	17,4
Humidité relative	%	93,5	82,5	87,4	93,0	94,5	75,0
Teneur en CO_2	%	0,14	0,16	0,275	0,16	0,25	0,20

Des conditions analogues se présentent dans des boucheries, des tanneries, des buanderies, etc. Le tableau XIV indique les limites maxima recommandées de la température et de l'humidité relative pour différents locaux de fabriques [13].

Conditions climatiques recommandées pour locaux de fabriques

Tableau XIV

Genre d'exploitation	Température		Humidité relative %
	Eté °C	Hiver °C	
Electrotechnique:			
Récepteurs radiophoniques	22	20	60
Bobinages et transformateurs	22	20	65
Appareils de précision et de mesure	20	20	50
Fabriques de produits en caoutchouc	22...24	22	50...70
Matières céramiques	23...24	22	65...70
Imprimeries	15...23	15...20	60...70
Fabriques de tabac:			
Locaux d'humidification	24	22	92...93
Locaux de stockage	20	18	60...65
Fabriques de produits textiles:			
Filatures	24	22	80...90
Tissages	23	21	75...85

Les conditions dans des appartements et des sanatoria, à Davos, ont été examinées en détail par *K. Egloff* [14], qui arrive aux conclusions suivantes:

Les conditions d'humidité de l'air et également de température étant passablement uniformes, en été, entre l'air extérieur et l'air des chambres, l'influence de l'aération est très faible dans les chambres, comme l'indiquent les moyennes observées au mois de juillet:

Avant l'aération:	Pression de vapeur	9,62 mm Hg
	Humidité relative	58 %
Après l'aération:	Pression de vapeur	9,38 mm Hg
	Humidité relative	57 %

En hiver, l'aération provoque, par contre, une baisse considérable de la température. Selon l'intensité du chauffage, la température reprend plus ou moins vite sa valeur primitive après la fermeture des fenêtres et, du fait que la pression de vapeur n'augmente à nouveau que beaucoup plus lentement, l'humidité relative demeure pendant quelque temps inférieure à la valeur qu'elle avait avant l'aération. Il est donc tout à fait faux de prétendre que l'air froid et humide amène de l'humidité dans l'appartement, preuve en soient les moyennes suivantes, observées au mois de janvier:

Avant l'aération:	Pression de vapeur	6,51 mm Hg
	Humidité relative	43 %
Après l'aération:	Pression de vapeur	3,99 mm Hg
	Humidité relative	39 %

La diminution de l'humidité absolue provoquée par l'aération d'une chambre dure généralement deux heures.

E. L'influence de la neige et de la glace

Il va de soi que le personnel d'exploitation s'efforcera toujours de protéger les appareils électroniques des chutes de neige. Par contre, des dispositifs additionnels ou auxiliaires, tels qu'antennes, lignes aériennes, lignes de terre, etc., subissent directement les influences atmosphériques. Nous pouvons renoncer ici à discuter des sollicitations auxquelles est soumis le matériel des tours d'antennes et des lignes aériennes, par les charges de glace et les pressions du vent, car les électroniciens n'ont guère à s'occuper seuls de ces problèmes de résistance mécanique et en laissent le soin à d'autres spécialistes. Ils doivent toutefois tenir compte de l'influence de la glace sur les caractéristiques électriques des lignes et des antennes, lors de l'établissement des projets d'installations.

A. de Quervain [15] a montré, par des mesures sur la ligne à 10 kV de la Schwägalp au Säntis, à laquelle était couplé un émetteur à fréquence porteuse de 5 W, 50 kHz et 130 kHz, que l'atténuation par

km, provoquée par la couche de glace, peut augmenter jusqu'à vingt fois et même plus, par rapport à la ligne sèche. Cet accroissement de l'atténuation n'est pas dû à une plus grande perditance des chaînes d'isolateurs recouvertes de glace, mais

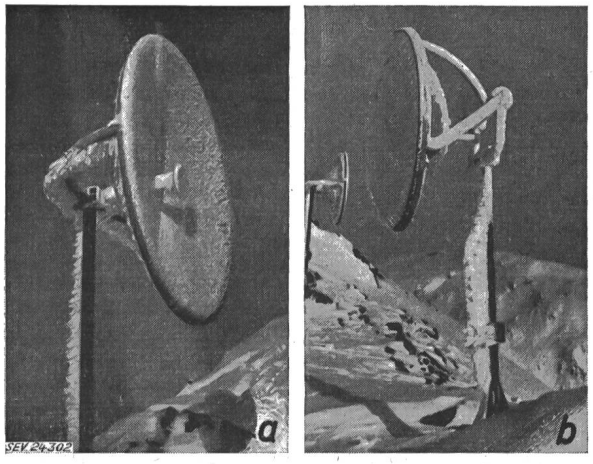
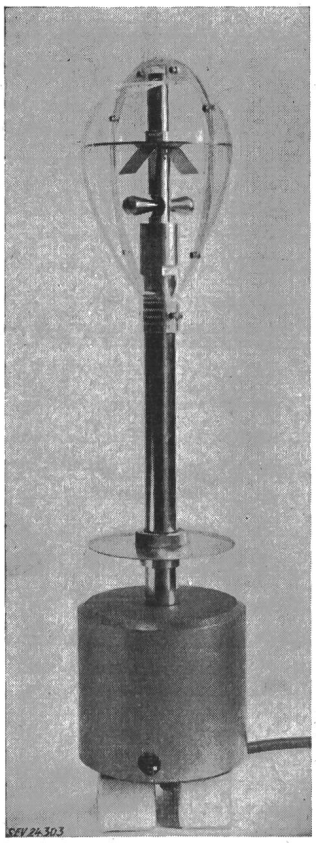


Fig. 7

Antennes dipôles en haute montagne

a Exécution d'essai fortement couverte de glace. Réflecteur d'ondes micrométriques avec dipôle non protégé. Celui-ci est recouvert d'une couche homogène de givre, qui en trouble les conditions d'adaptation

b Exécution d'essai d'un réflecteur d'ondes micrométriques recouvert de givre, mais dont toute l'ouverture est fermée par une plaque de matière synthétique



aux pertes diélectriques dans la glace ou la couche de givre entourant les conducteurs.

Une couche de glace peut également entraver le fonctionnement des antennes en troublant fortement les conditions électriques d'adaptation et de rayonnement. Plus la fréquence d'émission est élevée, plus la couche de glace est gênante. La fig. 7 représente une antenne d'essai avec réflecteur pour ondes micrométriques dont le dipôle est monté à

Fig. 8

Dipôle pour ondes micrométriques, logé dans une calotte en matière plastique pour le protéger contre les influences atmosphériques

l'air libre, au Weissfluhjoch sur Davos (altitude 2668 m). Afin de protéger autant que possible le dipôle contre les influences atmosphériques, il est donc préférable de le loger dans une calotte en matière plastique (fig. 8). On court toutefois le risque que la couche de neige ou de glace sur cette calotte réduise le rayonnement, mais cette protection permet en revanche d'éviter pratiquement tout désaccord de l'antenne, à la condition que le dipôle ne soit pas recouvert d'eau de condensation gelée.

Les fig. 9 et 10 indiquent l'angle de pertes et la constante diélectrique de la glace et de différents genres de givre et de neige, en fonction de la fréquence [15].

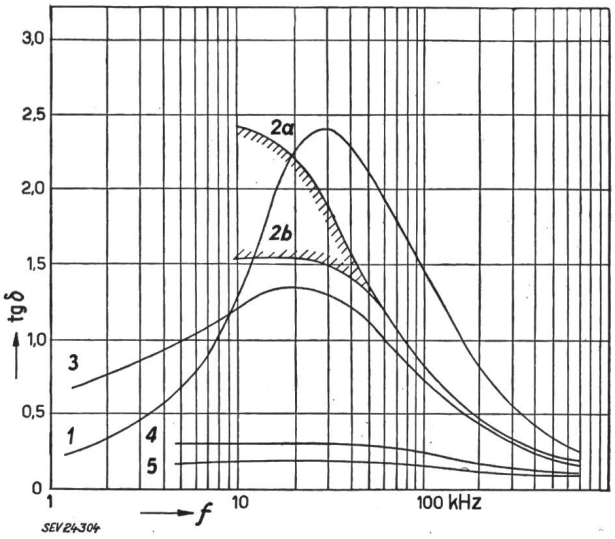


Fig. 9

Angles de pertes tg δ de la glace et de différents genres de givre et de neige, en fonction de la fréquence *f* [15]

Température —3 °C

1 Glace pure; *2a*, *2b* Neige mouillée à différents stades de congélation; *3* Même neige que pour *2a* et *2b*, mais congelée, γ = 0,83; *4* Neige granulée, γ = 0,43; *5* Givre tendre, γ = 0,29

Il n'existe jusqu'ici que très peu de méthodes pratiques pour empêcher la formation de couches de glace. Même à l'avenir, il est peu probable que l'on cherche à influencer les conditions météorologiques, car la petitesse des objets à protéger ne justifierait pas de grandes dépenses. Le choix du matériau n'a également qu'une influence secondaire. On pourrait tout au plus utiliser des revêtements liquides, par exemple du glycol éthylique, capables de retarder pendant un certain temps la formation de glace à une température inférieure à 0 °C [16]. Dans certains cas, on peut envisager un chauffage de l'objet à au moins 0 °C. La forme, les dimensions et la nature de la surface de l'objet susceptible d'être givré ont également une grande importance pour la forme et la quantité de la couche de givre. Plus un câble ou un cylindre est mince, plus grand est le rapport entre la quantité de givre qui se dépose par unité de temps et le diamètre. Si l'on remplace un conducteur d'une section donnée par quatre fils en parallèle, d'un diamètre moitié moins grand, la quantité de givre déposée par unité de longueur et de temps dépassera nettement le double. Il faut donc éviter des constructions composites et en treillis. Grâce à des revêtements lisses, non métalliques, l'adhérence du givre peut également être

sensiblement diminuée. Une chute spontanée de la couche de givre ne peut se produire que pour les objets qui ne sont pas complètement enrobés de givre [16] ou pour des surfaces souples (revêtement en étoffe, par exemple) qui sont constamment agitées par le vent.

Au cours des essais avec différents réflecteurs de micro-ondes (fig. 7), entrepris du 11 novembre 1947 au 30 avril 1948 (171 jours) par la S.A. Brown, Boveri & Cie, Baden, en collaboration avec l'Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches, au Weissfluhjoch sur Davos, les réflecteurs étaient couverts d'importantes couches de neige, de givre ou de glace pendant 75 jours. Au début de l'hiver (novembre et décembre), les phénomènes de givrage furent beaucoup plus fréquents qu'en plein hiver et à la fin de celui-ci. Les couches de givre pouvaient se maintenir plus longtemps et se former durant plusieurs jours, par suite d'un moindre rayonnement solaire qu'à la fin de l'hiver. On a constaté que le givre dense, produit par temps de brouillard, est le seul qui entre pratiquement en ligne de compte. Le givre plus dégagé qui se dépose par temps clair exige un fort refroidissement des surfaces des réflecteurs par dégagement de la chaleur (ciel sans nuage) et les premiers rayons solaires du matin l'éliminent rapidement. Au début de l'hiver, le givre est souvent accompagné de chutes de neige. Il se dépose du côté du vent, notamment aux parties en saillie. A des températures inférieures à —5 °C et sous l'influence du rayonnement solaire, les dépôts de fins cristaux deviennent très denses et adhèrent bien; tout d'abord vitreux, ils se transforment en glace transparente. Au Weissfluhjoch, on n'a pas constaté de couches de givre de 7 à 10 cm d'épaisseur et plus, mais souvent des dépôts en forme de verrues de 1 à 3 cm et, parfois, des couches unies de 5 cm d'épaisseur au maximum.

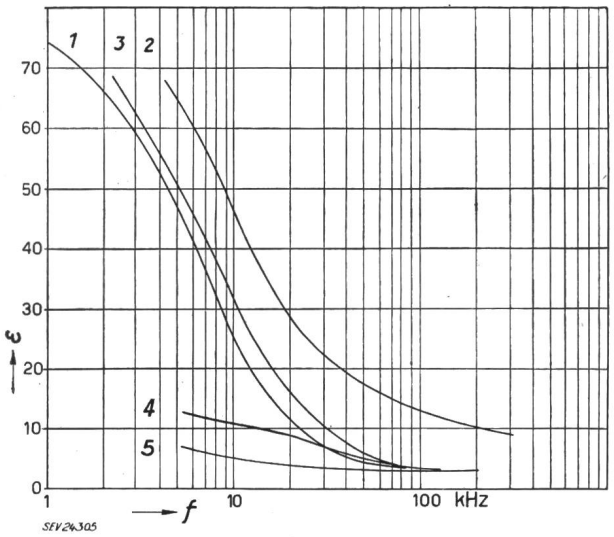


Fig. 10

Constantes diélectriques ε de la glace et de différents genres de givre et de neige, en fonction de la fréquence f [15]

Température —3 °C

1 Glace selon *F. X. Eder*; *2...5* Mêmes échantillons que pour les mesures de tg δ (voir fig. 9)

Même s'ils sont protégés de la neige, les appareils mobiles risquent dans certains cas d'être endommagés intérieurement par le gel. Lorsqu'un appareil de ce genre, utilisé dehors en plein hiver, est transporté directement dans un local chauffé, une condensation d'eau peut se produire sur les éléments constitutifs (fig. 11) et provoquer des claquages entre parties sous tension, si les lignes de fuite et les distances dans l'air sont insuffisamment dimensionnées.

Inversement, des matières hydrophiles renfermant beaucoup d'humidité peuvent être endommagées par suite d'un fort refroidissement (gel). En outre, dans un appareil utilisé à des températures très basses, le couple de rotation de parties tournantes (parties mobiles de condensateurs variables, cavité résonnante, etc.) peut être extrêmement augmenté par la congélation du lubrifiant et non pas seulement par la réduction du jeu dans les paliers. Dans le cas d'un roulement à billes, on a mesuré que le couple de 0,05 kgcm à +28 °C atteignait 0,42 kgcm à —30 °C pour surmonter l'effort de décollage, après quoi il diminuait à 0,27 kgcm.

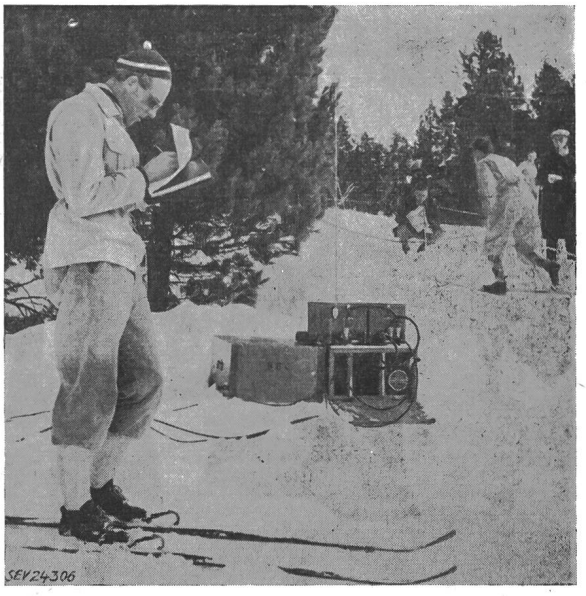


Fig. 11

Poste de reportage mobile, utilisé lors d'une course de skis

Lorsque des installations de ce genre, utilisées longtemps en climat hivernal, sont transportées directement dans un local chauffé, les éléments constitutifs subissent des changements de température relativement rapides. Il peut alors se produire une condensation de vapeur d'eau sur les différents matériaux, ce qui risque de provoquer différents dégâts

F. L'influence des impuretés de l'air

1. Les genres d'impuretés

On distingue, en principe, trois genres essentiels d'impuretés de l'air:

a) Dispersion de matières solides dans l'air: poussières.

b) Dispersion de matières liquides dans l'air: brouillards.

c) Dispersion de matières gazeuses dans l'air.

2. Les poussières

L'atmosphère renferme toujours des poussières, soit cosmiques (poussière zodiacale provenant des nombreuses comètes), soit poussière organique ou minérale (provenant de l'effritement naturel des roches, nuages de pollen, poussière industrielle, poussière des chemins et poussière des locaux). Même à des endroits réputés pour la pureté de leur atmosphère, comme à Arosa ou à Davos, des particules de poussière peuvent être décelées. *K. Egloff* [14] a mesuré, sur un balcon non protégé, au deuxième étage d'un sanatorium de Davos:

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	année
Particules/cm³	212	172	126	78	62	45	65	(62)	60	78	174	271	117

L'augmentation du nombre de particules en hiver (six fois plus en décembre qu'en juin) est due principalement à la suie du chauffage dans la vallée de Davos, où les maisons sont relativement nombreuses.

Pour juger de la concentration de poussière à Davos, K. Egloff a procédé également à des mesures à d'autres endroits et à des comparaisons avec les mesures publiées par d'autres spécialistes (tableau XV).

Teneur moyenne de poussière dans l'air, à différents endroits

Tableau XV

Endroit	Altitude	Période de mesure	Nombre de particules de poussière par cm³
Sommet du Weissfluh sur Davos	3000	Hiver	0,15
Weissfluhjoch sur Davos	2700	Hiver	1,02
Höhenweg près Davos	2200	Hiver	6,7
Arosa	1854	Année	24
Milieu du lac de Constance		Juillet	73
Davos	1600	Année	117
Arbon au lac de Constance (dans un jardin)		—	206
Zurich (Bahnhofstrasse et Platte)		—	1 200
Strasbourg		—	10 000
Paris (tour Eiffel)		—	>10 000
Londres (Westminster)		—	20 000

La teneur de l'air en poussière dépend naturellement beaucoup de la force et de la direction du vent. Celui-ci peut amener des particules de poussière à l'objet mesuré ou au contraire en enlever. De la poussière du Sahara a déjà été maintes fois constatée en Suisse. *F. W. P. Götz* a décrit une chute typique de poussière du Sahara les 20 et 21 mai 1937, à Arosa [18]:

«Déjà le 20 mai, l'opacité était notable à Arosa, durant toute la journée. Là où le fœhn dégageait un pan de ciel, celui-ci n'était pas bleu, mais gris-violet, le soleil était mat et entouré d'un grand halo. Durant la nuit parcourue de décharges électriques silencieuses, la pluie du front chaud frappait les fenêtres avec des éclaboussures jaunes. Les lessives demeurées sur cordeau furent complètement salies. Le 21 mai, à midi, nous nous trouvions dans le secteur chaud. Des nuées de poussière d'un jaune rougeâtre, venant du flanc du Rothorn, pénétraient dans la vallée d'Arosa, le sable était chassé à sec, nous étions en plein dans l'air du désert et la teinte propre de l'indicateur était aussi intense que si nous nous trouvions en Lybie. Mais, vers le soir, le vent tourna et amena des masses d'air froid provenant de latitudes plus tempérées. Les nuées étaient blanches et la pluie fut de nouveau claire. Entre des déchirures de nuages, on apercevait un ciel d'un bleu pur.»

Durant la grande chute de poussière de l'année 1901 sur l'Afrique du Nord, l'Europe méridionale et l'Europe centrale, on a estimé que les précipitations de poussière atteignaient 1 314 000 t en Italie, 375 500 t en Autriche-Hongrie et 92 700 t en Allemagne du Nord et au Danemark. Comme on le sait, la poussière du Sahara parvient en si grandes quantités en Sicile, à travers toute la Méditerranée, au point que les gens et les maisons en sont couverts et que les cultures subissent de grands dommages [17].

Outre la poussière minérale, on constate également de grandes quantités de poussière organique, qui peut être entraînée sur de longues distances par les vents, selon le genre et la légèreté des particules. *R. Meldau* [17] a écrit ce qui suit à ce sujet:

«Autrefois, la chute subite de masses de poussières organiques provoquait une crainte superstitieuse et une panique (pluie de sang, pluie de soufre). Dans des régions très boisées, les locomotives électriques et également les véhicules à moteur peuvent subir des pannes, lorsque les nuées de pollen sont excessives (Colombie britannique).»

Par «poussières industrielles», on entend soit les poussières d'usure ou d'usinage, les poussières de déchets, et de chauffage soit les produits pulvérulents (ciment, chaux, gypse, charbon, engrais, farine, etc.). Les poussières industrielles peuvent être minérales (poussière de chemins, ciment, poussière métallique, etc.) ou organiques (fibres textiles, poussières de matières synthétiques, etc.). La teneur en poussières industrielles varie naturellement beaucoup selon les conditions locales. R. Meldau indique les valeurs suivantes pour différents endroits (tableau XVI [17]):

Teneur moyenne de poussière dans différents locaux

Tableau XVI

Endroit	mg/m³
En plein air	jusqu'à 10 (20)
Dans une rue	1...3
Locaux commerciaux	5
Atelier de mécanique	20
Fabrique de papier	25
Scierie	15...20
Fonderie	2...50
Fabrique de porcelaine	120
Fabrique de ciment	100...400
Atelier de meulage de métaux	450
Atelier de meulage de pièces en fonte	450
Soute à charbon de navire (chargement par paniers)	plus de 1000

3. Les dispersions de matières liquides dans l'air

Parmi les dispersions de matières liquides dans l'air, les brouillards salins sont les plus importants. Ces brouillards se forment principalement sur les mers et lacs salés ou les sols renfermant du sel. Ils

peuvent être chassés à de grandes distances par le vent. C'est ainsi qu'en Palestine, par exemple, on a constaté sur des isolateurs de lignes à haute tension situés à près de 30 km de la côte, de fortes incrustations de sel, qui en diminuaient sensiblement la rigidité diélectrique.

La composition chimique des gouttelettes de brouillards salins varie plus ou moins selon les conditions à l'endroit de leur formation. Pour l'essai de comportement des matériels électriques vis-à-vis des brouillards salins, les Recommandations de la Commission Electrotechnique Internationale (CEI) spécifient une composition qui correspond aux conditions pratiques moyennes. Ce brouillard salin normalisé est obtenu par pulvérisation d'un liquide composé comme suit [20]:

Chlorure de sodium	27 g
Chlorure de magnésium (anhydre) . . .	6 g
Chlorure de calcium (anhydre)	1 g
Chlorure de potassium	1 g

en dissolution dans 1 litre d'eau distillée.

4. L'influence de l'encrassement sur les appareils électroniques

Comme nous l'avons mentionné aux paragraphes 2 et 3 ci-dessus, l'air renferme toujours une certaine quantité d'impuretés, qui peuvent avoir différents effets sur la sécurité de service des appareils électroniques, selon leur quantité et leur composition, ainsi que selon le degré d'humidité de l'air. Il y a lieu de tenir compte, en particulier, des effets suivants:

a) Diminution de la résistance au cheminement de matières isolantes entre parties sous tension.

b) Moins bon contact entre des contacts de pression (par exemple des contacts de relais).

c) Diminution de la rigidité diélectrique entre parties métalliques isolées par une couche d'air (par exemple dans les condensateurs variables).

d) Formation d'un stratum nutritif pour des moisissures sur des matières qui ne peuvent pas nourrir d'elles-mêmes les spores.

e) Des poussières organiques peuvent, en particulier, être fortement hydrophiles et créer ainsi à l'intérieur d'un appareil une atmosphère plus humide que l'air ambiant.

f) Des brouillards salins et des poussières contenant du sel peuvent provoquer ou accélérer la corrosion de pièces métalliques, en présence d'air fortement humide (fig. 12).

g) Des poussières minérales peuvent notamment provoquer des perturbations mécaniques dans des paliers, des engrenages, etc. (par exemple dans des paliers d'organes de mesure).

h) En cas de forts dépôts de poussières organiques sur des éléments constitutifs qui s'échauffent considérablement en service (par exemple des tubes électroniques, des transformateurs, etc.), il peut s'y produire une inflammation spontanée.

i) De forts dépôts de poussière sur des redresseurs, par exemple, entravent l'évacuation de la chaleur (par convection ou rayonnement), du fait qu'ils conduisent mal la chaleur, ce qui peut provoquer un suréchauffement interne et réduire la durée de vie de ces éléments.

k) Lors de tempêtes de sable, des pylônes d'antenne peuvent devenir dangereux pour les gens, les animaux et les choses, par suite de la tension provoquée par la très forte charge électrique due à l'électricité engendrée par frottement.

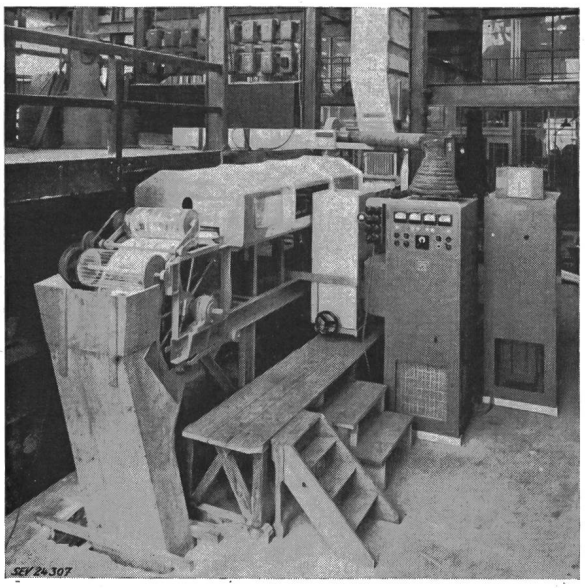


Fig. 12

Générateur à haute fréquence pour le séchage diélectrique de sel de cuisine dans une saline

Dans un cas de ce genre, il se produit une concentration de brouillard salin qui dépasse largement celle qui se présente au-dessus d'une mer salée. Cet exemple d'application industrielle d'un appareil électronique montre nettement que l'atmosphère dans certaines industries peut parfois être bien plus agressive pour le matériel, que dans la Nature libre, même dans des climats extrêmes

5. Mesures de protection contre l'encrassement

La précaution la plus naturelle pour éviter toute pénétration d'impuretés de l'air est d'enfermer presque hermétiquement les appareils (étanchéité des portes de coffrets, des couvercles, des fenêtres, etc.). Cela n'est toutefois que très rarement possible pour les appareils qui s'échauffent beaucoup, surtout quand il s'agit d'appareils mobiles, qui ne peuvent guère être équipés d'un système de refroidissement par circulation de liquide. En cas de refroidissement forcé par circulation d'air, on peut bien entendu utiliser des filtres du commerce. Mais une protection complète n'est pas réalisable, même avec les meilleurs filtres pratiques, car les aérosols (brouillards salins, par exemple) sont si fins qu'ils les traversent sans peine. Même la poussière des tempêtes de sable renferme des particules extrêmement fines. Néanmoins, dans des conditions ordinaires, un bon filtre assure dans la plupart des cas une protection suffisante, d'autant plus que les appareils sont normalement revisés périodiquement (par exemple pour le remplacement des tubes électroniques) et sont nettoyés à cette occasion. Lorsque le danger d'encrassement est extrêmement grand, il est préférable de charger le personnel de service de procéder

à des nettoyages périodiques spéciaux ou lors de certains phénomènes, tels que des tempêtes de sable, des chutes abondantes de pollen, etc.

6. Les impuretés gazeuses de l'air

La présence dans l'air d'anhydride carbonique, d'anhydride sulfureux, d'hydrogène sulfuré, etc., peut être dangereuse lorsque la concentration de ces gaz dépasse la moyenne. Les gaz agressifs, surtout les gaz résiduels des industries, sont extrêmement nombreux, aussi devons-nous nous borner ici aux dangers les plus fréquents et à leurs causes.

C'est l'hydrogène sulfuré (acide sulfhydrique) qui est le plus souvent la cause de perturbations dans des appareils électroniques. Il s'agit d'un gaz incolore, d'une odeur fétide, qui est un violent poison quand il est fortement concentré. Dans certaines régions volcaniques, de l'hydrogène sulfuré est contenu dans les gaz qui s'échappent du sol (fumerolles). Etant soluble dans l'eau, il constitue l'une des composantes les plus importantes des sources sulfureuses (Schinznach, Baden, etc.). Enfin, l'hydrogène sulfuré résulte également de la décomposition de matières qui, comme les œufs, contiennent du soufre; c'est ce gaz qui confère aux œufs pourris leur odeur nauséabonde. Même la fumée du tabac renferme des traces d'hydrogène sulfuré, qui suffisent pour provoquer de sévères perturbations après une longue durée d'action.

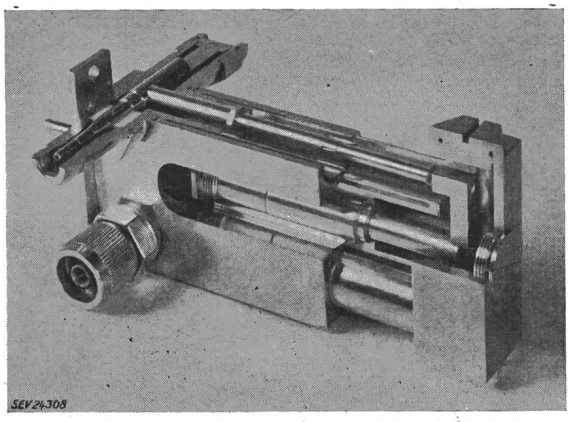


Fig. 13

Allongeur de ligne d'un appareillage à faisceau directif d'ondes micrométriques (vue en coupe)

Afin d'obtenir une bonne conductivité superficielle (effet pelliculaire), les dispositifs de ce genre sont généralement argentés, de sorte qu'ils sont particulièrement sensibles aux émanations d'hydrogène sulfuré. Les contacts glissants, qui ne provoquent pas d'étincelles, ne doivent pas présenter une diminution de leur efficacité, même après un long stockage, aussi leur argenture est-elle complétée par une protection spéciale, par exemple par passivation de l'argent, par un léger dorage ou rhodiumage

L'effet dangereux de ce gaz est surtout notable pour l'argent, car il forme une couche noire de sulfure d'argent sur les surfaces de contacts ou de conducteurs argentés. A cause de son extrêmement bonne conductivité, l'argent est utilisé en électrotechnique pour des contacts d'interrupteurs, de relais, etc. et la technique de la haute fréquence utilise des conducteurs argentés pour diminuer l'effet pelliculaire (bobines, cavité résonnante, guides d'ondes, etc.) (fig. 13). La conductivité du sulfure d'argent est malheureusement mauvaise, de sorte que les conditions de contact ou l'atténuation (par suite d'un accroissement de l'effet pelliculaire) deviennent beaucoup moins bonnes. Les mesures de la conductivité publiées jusqu'ici indiquent souvent des résultats peu concordants.

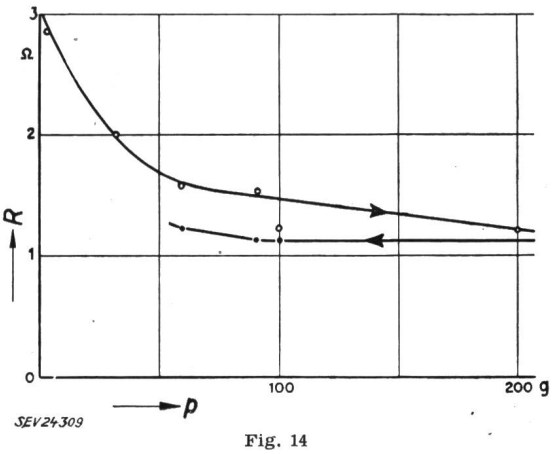


Fig. 14

Perforation partielle d'un film de sulfure d'argent sous pression mécanique [19]

R Résistance, en Ω; *p* Pression mécanique, en g;

→ Augmentation de la pression

← Diminution de la pression

J. C. Chaston [19] a décrit des investigations systématiques sur cette question. Pour un film uniforme de sulfure d'argent (sur un corps en argent) de 0,0018 mm d'épaisseur, on avait mesuré une résistance de 3×10^9 μΩ/cm. Il y a lieu d'admettre que ce film très mince n'était pas absolument homogène et renfermait peut-être des particules conductrices qui diminuaient la résistivité, car des films d'une épaisseur d'environ 0,004 mm agissent pratiquement comme des isolateurs. Nos propres mesures indiquaient en moyenne une résistance de contact d'environ 3 mΩ dans le cas de plaquettes d'argent brillantes, sous une pression de contact de 50 g par une électrode de mesure d'un rayon de 5 mm. A la suite d'un séjour de 12 heures en atmosphère renfermant environ 15 % d'hydrogène sulfuré, la résistance de contact s'était élevée à environ 13 mΩ, puis après 24 heures à environ 17 mΩ. Selon la fig. 14 [19], il y a toutefois lieu d'admettre que, lors de ces dernières mesures, la couche de sulfure d'argent était partiellement perforée par la pression de contact relativement élevée (en pratique, une pression de 50 g est chose courante). Quant il s'agit de contacts argentés donnant lieu à des étincelles (contacts de relais, par exemple), le sulfure d'argent est perforé et réduit à l'état d'argent métallique par les étincelles, de sorte que la couche isolante de sulfure d'argent n'a guère d'effet.

Pour protéger les surfaces de contacts et de conducteurs argentés contre une formation de sulfure

d'argent, il existe plusieurs méthodes. La plus simple et la plus courante consiste à procéder à la passivation de la surface, soit par un traitement chimique, soit de préférence par électrolyse. La passivation est toutefois généralement insuffisante pour les applications dans des conditions climatiques extrêmes (air renfermant beaucoup plus d'hydrogène sulfuré que d'ordinaire), de sorte que l'on procède depuis quelque temps à des revêtements galvaniques avec d'autres métaux nobles, tels que l'or et le rhodium, ce qui est naturellement plus coûteux.

Les autres impuretés gazeuses de l'air ont d'autres effets que l'hydrogène sulfuré et n'agissent pas aussi fortement sur les appareils électroniques. Elles provoquent surtout une corrosion plus rapide des parties métalliques en présence d'humidité, de chaleur et de dépôts salins. Font cependant exception les vapeurs de mercure, qui peuvent endommager rapidement des redresseurs au sélénium non protégés; quelques gouttelettes de mercure provenant d'un thermomètre ou d'un interrupteur basculant à mercure, tombées dans un interstice de plancher d'un local où se trouvent des redresseurs au sélénium non protégés par un revêtement de vernis ou un blindage, suffisent pour provoquer une lente destruction de ces redresseurs.

G. L'influence des radiations ultraviolettes

Par radiations ultraviolettes, on entend normalement les radiations électromagnétiques d'une longueur d'onde comprise entre 40 et 4000 Å[2]; il s'agit du domaine situé entre les plus longs rayons X et les plus courtes des ondes lumineuses [21]. Dans notre cas, seuls les rayons ultraviolets émis par le soleil ont de l'importance. Leur longueur d'onde est comprise principalement entre 3000 et 4000 Å et leur intensité croît à peut près linéairement avec la longueur d'onde. L'atmosphère terrestre absorbant les rayons ultraviolets d'autant plus fortement que leur longueur d'onde est plus courte, les effets de ce rayonnement sont analogues à ceux du rayonnement thermique du soleil, c'est-à-dire qu'ils dépendent de la position des surfaces irradiées sur la Terre (latitude, altitude, degré de pureté de l'atmosphère), ainsi que des jours et des saisons. Dans la zone tropicale, les rayons ultraviolets ont le plus court chemin à parcourir dans l'atmosphère terrestre lorsque le rayonnement est sensiblement perpendiculaire à la surface de la Terre, et ils atteignent alors leur maximum d'intensité, tandis qu'aux pôles ils doivent traverser presque tangentiellement l'atmosphère et sont de ce fait plus affaiblis. Les courtes longueurs d'ondes étant plus fortement absorbées que les longues, il se produit un décalage du spectre selon la latitude. En outre, l'oxydation catalytique des matières organiques sous l'effet des rayons ultraviolets augmente quand la longueur d'onde diminue, de sorte que l'effet aux environs de l'équateur est le plus grand, non pas seulement à cause de l'intensité maximum du rayonnement solaire, mais aussi par suite du décalage du spectre vers les ondes plus courtes. Il en est de même aux grandes altitudes au-dessus de la mer, car les couches d'air plus légères et plus pures absorbent moins les rayons. Comme les rayons thermiques, les rayons ultraviolets sont en outre absorbés par des nuages, des poussières, etc. (fig. 15) [18]. Les régions tropicales étant toutefois relativement nuageuses, tandis que dans les régions désertiques au delà des tropiques le ciel n'est que rarement chargé de nuages, l'effet du rayonnement ultraviolet y est en somme le plus intense, bien qu'il ne soit plus perpendiculaire.

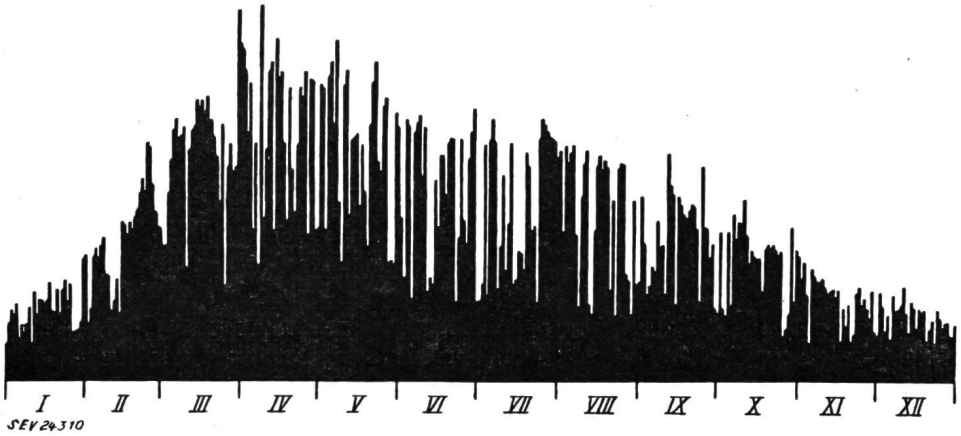


Fig. 15

Chronique annuelle des radiations ultraviolettes du soleil, du ciel et de l'environnement

(relevée à Arosa, à 1854 m d'altitude, en 1938 [18])

Les creux proviennent d'un fort ennuagement ou d'un ciel couvert. Toutefois, même dans ce dernier cas, le ciel produit encore une quantité notable de radiations ultraviolettes. L'accroissement avec l'élévation du soleil est rapide jusqu'en mars, puis diminue à partir d'avril, après quoi il se produit une diminution des radiations, due à la suppression de la réflexion de la neige. Un relevé analogue pour la Station du Jungfraujoch indique par contre des valeurs maxima en juin, lorsque le soleil est le plus haut sur l'horizon, car la couche de neige y demeure à peu près constante toute l'année.

[2]) 1 Å (Ångström = 10^{-10} m = 0,1 nm (nanomètre).

L'action nuisible des rayons ultraviolets est due principalement à l'oxydation catalytique qu'ils provoquent sur les matières organiques, ce qui affecte, par exemple, les propriétés électriques et mécaniques des matières isolantes, modifie les teintes, durcit les garnitures d'étanchéité, les amortisseurs en caoutchouc, etc. Des câbles à haute fréquence sous gaine de polyéthylène ou des feeders à diélectrique en polyéthylène servant de descentes d'antennes sont souvent exposés sur de grandes longueurs au rayonnement direct du soleil et par conséquent aux rayons ultraviolets. Au fur et à mesure de son oxydation, les propriétés électriques et mécaniques du polyéthylène deviennent de plus en plus mauvaises, par suite de la diminution de la résistance à la traction, de l'élongation et de la résistance d'isolement superficielle, ainsi que de l'augmentation des constantes et des pertes diélectriques [22]. Lorsque le matériel est déjà fortement oxydé, on constate tout d'abord des fendillements à la surface, qui peuvent amener une désagrégation complète du matériau. Des essais approfondis [22] ont montré que le polyéthylène teinté noir résiste beaucoup mieux aux rayons ultraviolets. Les pertes diélectriques en sont légèrement accrues, mais elles demeurent plus longtemps constantes sous l'effet des rayons ultraviolets, alors que le polyéthylène non teinté présente rapidement un accroissement considérable des pertes [23]. Pour ces motifs, on n'utilise normalement du polyéthylène teinté que pour les expositions en plein air.

La meilleure protection contre les rayons ultraviolets s'obtient en logeant les parties sensibles dans des gaines métalliques ou en les recouvrant de matières synthétiques moins sensibles à ces rayons. C'est ainsi que les câbles coaxiaux à haute fréquence sont maintenant souvent protégés par une armure extérieure métallique (tresse serrée, par exemple) ou par une gaine en chlorure de polyvinyle. Il est toutefois assez difficile de protéger des feeders souples, sans en augmenter le prix, la capacité, l'atténuation, etc., aussi utilise-t-on dans ce cas du polyéthylène teinté.

H. L'influence de la pression atmosphérique

La pression atmosphérique et la densité de l'air diminuent au fur et à mesure que l'altitude augmente. Le tableau XVII [24] indique les valeurs de la pression atmosphérique jusqu'à 30 000 m d'altitude (les valeurs jusqu'à 10 000 m étant calculées selon les normes allemandes).

Pression relative p/p_0 et densité relative γ/γ_0 de l'air à différentes altitudes

Tableau XVII

h m	p/p_0	γ/γ_0	h m	p/p_0	γ/γ_0
0	1	1	6 000	0,465	0,521
500	0,94	0,95	7 000	0,406	0,463
1000	0,88	0,90	8 000	0,354	0,412
1500	0,83	0,86	9 000	0,306	0,364
2000	0,78	0,81	10 000	0,268	0,324
3000	0,69	0,73	15 000	0,120	0,154
4000	0,61	0,65	20 000	0,056	0,071
5000	0,53	0,58	30 000	0,010	0,013

Lorsque, soit la pression atmosphérique, soit la densité atmosphérique diminue, la rigidité diélectrique de l'air diminue aussi (sauf pour des vides très poussés, pour lesquels la rigidité diélectrique augmente fortement avec l'augmentation du vide). D'après la loi de *F. Paschen*, la tension disruptive des champs homogènes pour un gaz déterminé et un matériau déterminé de la cathode ne dépend que du produit de la pression p et de la distance d. Cependant, puisque l'ionisation critique des électrons ne dépend pas vraiment de la pression du gaz mais de la densité de celui-ci, la loi n'est satisfaite qu'après une réduction préliminaire de la pression à une valeur relativement uniforme. Généralement, l'indication de la pression p_0 à 0 °C ou à 20 °C sera donnée par:

$$p_0 = p \cdot \frac{273}{273 + t}$$

D'après cela, tant que l'on a une élévation de δ fois la pression du gaz et, à la fois, une diminution de la distance à $1/\delta$ème, la tension disruptive entre deux

Tensions disruptives U_D dans un champ homogène, en fonction de pd, ramenées à 20 °C [25]

Tableau XVIII

pd Torrcm	U_D V	pd Torrcm	U_d V
1	370	30	2200
2	480	40	2800
3	570	50	3300
4	650	60	3900
5	730	80	4900
6	810	100	5800
8	830	120	6700
10	1100	140	7600
20	1700	160	8500

électrodes planes ne change pas avec la forme corrigée du bord [25]. Le tableau XVIII donne les tensions disruptives dans un champ homogène pour différentes valeurs du produit pd.

En considérant les valeurs des tableaux XVII et XVIII, on constate que, pour les utilisations à grandes altitudes, les distances dans l'air et les distances de cheminement entre parties métalliques à des potentiels différents doivent être augmentées pour tenir compte de la diminution de la tension disruptive dans l'air, afin d'éviter des perforations ou des contournements. Quand il s'agit d'éléments constitutifs hermétiquement fermés (condensateurs, par exemple), il suffit de prévoir en conséquence les distances critiques en dehors du boîtier, tandis que les distances internes de l'élément ne sont pas affectées par les variations de pression de l'atmosphère. Néanmoins, il faut souvent prévoir un équilibrage des pressions pour protéger le boîtier (par exemple par une membrane), ce qui peut également diminuer la tension de perforation.

La diminution de la pression atmosphérique ne réduit pas seulement la rigidité de l'air, mais également sa faculté d'évacuer par convection la chaleur que dégagent les matériels, tandis que la cession de chaleur par rayonnement demeure pratiquement indépendante de la pression atmosphérique. Selon

A. Schack [26], on obtient pour une plaque verticale chaude le coefficient moyen de transmission de la chaleur α_m en convection libre par la formule approchée suivante, qui n'est toutefois valable que pour des différences de température Δt de 80 °C au maximum et une température de plaque jusqu'à 100 °C au maximum:

$$\alpha_m = 4{,}80 \cdot \sqrt[4]{\frac{\Delta t}{T_L \cdot h}} \cdot \sqrt[2]{\frac{p}{760}}$$

α_m étant le coefficient moyen de transmission de la chaleur de toute la plaque verticale, en kcal/m²;

Δt la différence de température entre la plaque et l'air ambiant, non réchauffé par la plaque, en °C;

T_L la température absolue de l'air, en °K;

h la hauteur de la plaque, en m et

p la pression atmosphérique, en torrs.

Sans convection forcée, une quantité plus ou moins grande de chaleur est évacuée par rayonnement, selon la température superficielle de la surface chauffée. Par contre, dans le cas d'un refroidissement par circulation d'air, la quantité de chaleur évacuée par convection forcée augmente, tandis que la chaleur évacuée par rayonnement diminue au fur et à mesure que la vitesse de l'air augmente. De ce fait, l'influence de la diminution du coefficient de transmission de la chaleur sous pression atmosphérique réduite et refroidissement par circulation d'air est beaucoup plus notable pour l'ensemble des conditions de refroidissement qu'en cas de refroidissement par convection naturelle. Il s'ensuit que des suréchauffements inadmissibles peuvent se produire dans des éléments constitutifs à dégagement de chaleur (résistances, potentiomètres, redresseurs, etc.) ou dans des matières chauffées par rayonnement (de tubes électroniques, résistances, transformateurs, etc.). En conséquence, pour les applications à grandes altitudes, il faut réduire la puissance électrique de service des éléments constitutifs critiques qui dégagent beaucoup de chaleur, afin d'en éviter un vieillissement et un endommagement prématurés.

I. Conclusions

Nous avons tenté de montrer que l'amélioration de la qualité, dictée par des facteurs climatiques, de matériaux, des pièces détachées et d'appareils complets, ne peut pas être uniquement caractérisée par la simple notion de «tropicalisation», car les influences des facteurs climatiques sont trop complexes. L'ingénieur qui élabore un appareil électronique et le constructeur qui en assume la réalisation doivent donc tenir compte, avant tout, des conditions microclimatiques ou technoclimatiques (qui sont naturellement influencées par le macroclimat), afin de pouvoir prendre les mesures qui s'imposent pour assurer un fonctionnement impeccable de l'appareil ou de l'installation, tant au point de vue du rendement économique, qu'à celui de la vente. Il n'est pas toujours facile de concilier les deux exigences. En principe, il sera souvent possible d'utiliser des éléments hermétiquement fermés (condensateurs, relais, etc.) pour les protéger efficacement de l'humidité et de la poussière, ou d'adopter des tensions ou des charges suffisamment réduites pour qu'il ne se produise pas de vieillissement notable lors d'un service à des températures particulièrement élevées, etc. Mais des constructions de ce genre sont non seulement coûteuses mais lourdes et encombrantes. Pour élaborer et construire des appareils répondant à ces exigences optima, il faut connaître non seulement les propriétés technologiques et physiques, mais aussi les influences climatiques, c'est-à-dire la climatologie. Il serait donc vraiment utile que nos écoles supérieures tiennent plus largement compte de ces corrélations dans l'enseignement de la technologie. Il manque malheureusement encore un ouvrage détaillé et complet sur la technoclimatologie, car l'étude de ce domaine intéressant et d'une grande utilité est rendue très malaisée par le fait que les renseignements publiés jusqu'ici sont fort dispersés.

Bibliographie

[1] *Der grosse Brockhaus*, 16e éd., t. 6, p. 428. Wiesbaden: *F. A.* Brockhaus 1955.

[2] *Schulze Walter M. H.:* Klimafaktoren in tropischen Gegenden und ihre prüftechnische Nachbildung. ETZ t. 61 (1940), n° 52, p. 1194...1200.

[3] *Tannehill, Ivan Ray:* Weather Araund the World. Princeton: University Press 1952.

[4] *Geiger, Rudolf:* Das Klima der bodennahen Luftschicht. Braunschweig: Vieweg 1950.

[5] *Schulze, Walter M. H.:* Einige grundsätzliche Betrachtungen über allgemeine Fragen technoklimatischer Prüfungen und Forschungen in der Elektrotechnik. ETZ t. 70(1949), n° 10/11, p. 343...348.

[6] *Stäger, Hans:* Werkstoffkunde der elektrotechnischen Isolierstoffe. Berlin: Bornträger 1955

[7] *Köppen, W.:* Klimakunde. Leipzig: Göschen'sche Verlagshandlung 1911.

[8] *Schropp, K.:* Die Temperaturen technischer Oberflächen unter dem Einfluss der Sonnenbestrahlung und der nächtlichen Ausstrahlung. Gesundheitsing. t. 54(1931), n° 50, p. 729...736.

[9] *Ganz, E.* und *O. Wälchli:* Schimmelpilze in elektronischen Apparaten. Bull. ASE t. 46(1955), n° 6, p. 233...239.

[10] *Müller, E.:* Ein Messverfahren zur Bestimmung der Diffusionskonstanten von Kabelmänteln aus Thermoplasten. Bull. ASE t. 41(1950), n° 3, p. 77...81.

[11] *Flohn, Hermann:* Witterung und Klima in Mitteleuropa. Zürich: Hirzel 1954.

[12] *Mulder, Louis L.:* Die Lüftung der Kuhställe der Bauerngehöfte in den niederländischen Wieringermeer-Polder. Gesundheitsing. t. 62(1939), n° 30, p. 417...422.

[13] *Bradtke, F.* und *W. Liese:* Hilfsbuch für raum- und aussenklimatische Messungen. Berlin / Göttingen / Heidelberg: Springer 1952.

[14] *Egloff, K.:* Über das Klima im Zimmer und seine Beziehungen zum Aussenklima. Diss. Nr. 766. Zürich: Eidg. Techn. Hochschule 1933.

[15] *Quervain, A. de:* Die Dämpfung von leitungsgerichteten Trägerfrequenzwellen durch Rauhreif. Bull. ASE t. 42(1951), n° 24, p.949...953.

[16] *Quervain, M. de:* Zur Frage der atmosphärischen Vereisung. Bull. ASE t. 45(1954), n° 14, p. 578; 591...594.

[17] *Meldau, R.:* Handbuch der Staubtechnik, 1. Band: Grundlagen. Düsseldorf: Deutscher Ingenieur-Verlag 1952.

[18] *Götz, F. W. Paul:* Klima und Wetter in Arosa. Frauenfeld: Huber 1954.

[19] *Chaston, J. C.:* Light and Medium Duty Contact Materials. Schweiz. Arch. angew. Wiss. Techn. t. 19(1953), n° 2, p. 44...48.

[20] *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.

[21] *Koller, Lewis R.:* Ultraviolet Radiation. New York: Wiley 1952; London: Chapman & Hall 1952.

[22] *Wallder, V. T.:* Polyethylen for Wire and Cable. Electr. Engng. t. 71(1952), n° 1, p. 59...64.

[23] Anonym: Why Brown Polyethylen. Amphenol Engineering News, t. 2(1949), n° 7, p. 80. (Firmenzeitschrift der American Phenolic Corporation, Chicago).

[24] *«Hütte»*, des Ingenieurs Taschenbuch. Berlin: Ernst 1936, 26e éd.

[25] *Gänger, Berthold:* Der elektrische Durchschlag von Gasen. Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer 1953.

[26] *Schack, A.:* Der industrielle Wärmeübergang. Düsseldorf: Stahleisen 1948.

Adresse des auteurs:
E. Ganz, Laboratoire de physique de la S. A. Brown, Boveri & Cie, Baden (Suisse);
K. Michel, Laboratoire de chimie de la S. A. Brown, Boveri & Cie, Baden (Suisse).

Erzeugung der Sende- und Überlagerungsfrequenz in Sende- und Empfangsgeräten

Vortrag, gehalten an der 19. Hochfrequenztagung des SEV vom 26. Oktober 1955 in Solothurn,

von *F. Läng*, Solothurn

621.396.93

Einleitend werden die Konsequenzen von Instabilitäten der Sende- und Empfangsfrequenz auf Geräuschabstand und Übertragungsqualität skizziert und daraus die Forderungen für die Frequenzstabilität formuliert. Unter Beschränkung auf Geräte für Frequenz- oder Phasenmodulation für das Frequenzgebiet von 30 bis 500 MHz werden die Verfahren der Ableitung der Sendefrequenzen von Kristalloszillatoren zusammengestellt. Dabei wird den Verfahren für Geräte mit Kanalumschaltung sowie den bei Vervielfachung und Mischung entstehenden Nebenwellen besondere Beachtung geschenkt. Abschliessend werden die Konsequenzen von Nebenwellen kurz erläutert.

Les conséquences de l'instabilité des fréquences d'émission et de réception dans le rapport signal / bruit de fond et dans la qualité de la transmission sont d'abord esquissées. De là sont déduites les exigences pour la stabilité de la fréquence. L'étude est limitée aux appareils modulés en fréquence ou en phase et travaillant dans le domaine de 30 à 500 MHz. Les procédés pour dériver la fréquence de l'émetteur d'oscillateurs à quartz sont expliqués sommairement et groupés. En outre, une attention particulièrement est portée aux procédés utilisés dans les appareils à communication de canaux ainsi qu'aux fréquences parasites produites lors de multiplication et de mélange de fréquences. Pour terminer, les effets des fréquences parasites sont brièvement expliqués.

Die rasch zunehmende Belegung der Frequenzbänder im Bereich von 30...500 MHz mit beweglichen Diensten aller Art stellt an die Trennschärfe der Empfänger und an die Stabilität von Sende- und Empfangsfrequenzen laufend steigende Anforderungen. Für die höheren Frequenzen des genannten Bandes verlangt die Stabilität schon für Geräte mit nur einer Arbeitsfrequenz grosse Aufmerksamkeit (Arbeitsfrequenz = Sende- oder Überlagerungsfrequenz).

Bei mobilen Sende-Empfangsanlagen für Kanalumschaltung in breiten Frequenzbändern zeigen sich zusätzliche Schwierigkeiten. Meist wird dafür auch die Forderung nach einfachster Bedienung gestellt, und die Geräte sind erschütterungsfest und betriebssicher für weite Temperatur- und Betriebsspannungsgrenzen zu bauen. Oft müssen solche Anlagen ohne sorgfältige äussere Frequenzplanung räumlich und frequenzmässig eng beisammen für unabhängige Verbindungen eingesetzt werden, wobei die Gefahr besteht, dass sie sich gegenseitig auch durch Nebensende- und Nebenempfangsfrequenzen stören. Bei festgelegter mittlerer Reichweite sollen vor allem für tragbare Geräte Gewicht, Volumen und Energieverbrauch minimal sein.

Das erzwungene Streben nach bestmöglichster Ausnützung der zur Verfügung stehenden Frequenzbänder widerspricht ebenfalls in mehrfacher Beziehung den äusseren praktischen Anforderungen. Unter den grundlegenden Gestaltungsfragen kommt deshalb — neben den Selektionsproblemen — der innern Frequenzplanung besondere Bedeutung zu. Darunter sei das Streben nach der optimalen Lösung für das Erzeugen der Sende- und Überlagerungsfrequenz verstanden.

Am Anfang der innern Frequenzplanung steht meist die Frage nach der Modulationsart des zu erzeugenden Trägers. Um mit kleinen Sendeleistungen grosse Distanzen überbrücken zu können, selbst bei hohem Störpegel am Empfangsort, muss für Sprachübertragung Frequenz- oder besser Phasenmodulation angewendet werden. Diese weist ein breiteres Spektrum auf als Amplitudenmodulation und fordert deshalb breitere Verstärkungskanäle. Die steigende Wellenknappheit bedingt dagegen ein stets engeres Zusammenrücken der HF-Kanäle, was viel steilern Filtern und stabilern Arbeitsfrequenzen ruft.

Fig. 1 zeigt oben die Selektionskurven dreier Empfänger vergleichbarer Art. Die breiteste Kurve *A* gehört zu einem neuern ausländischen Erzeugnis, welches offensichtlich nicht für beste Ausnützung des Frequenzbandes gebaut ist. Die mittlere Kurve *B* gehört zu einem neuen Sender-Empfänger eigener Entwicklung, welcher für Kanalabstände von 100 kHz entworfen wurde. Die schmalste Kurve *C* wurde ebenfalls in einem eigenen Gerät realisiert, welches in Radiotelephonnetzen mit nur 50 Hz Kanalabstand eingesetzt wird.

Die Kurvenschar unten in Fig. 1 zeigt die Konsequenzen der Unstabilität von Sende- oder Empfangsfrequenz. In der Mitte ist der Fuss der schmalsten Durchlasskurve eines Empfängers für 450 MHz nochmals dargestellt und darunter im gleichen Frequenzmaßstab Klirrfaktor, Geräuschabstand und Wortverständlichkeit der Übertragung. Der Klirrfaktor nimmt bei grösser werdender Verstimmung zu, während der Geräuschabstand, herrührend vom Empfängerrauschen *R* oder von Impulsstörungen *I*, stark abnimmt. Die Kurven gelten für einen reinen PhM-Empfänger [1]). Für die Messung von *R* wurde das Eingangssignal soweit reduziert, dass bei korrekter Abstimmung ein Rauschabstand von

[1]) PhM = Phasen-Modulation.

Fortsetzung des allgemeinen Teils auf Seite 467
Es folgen «Die Seiten des VSE»