

RAPPORT TECHNIQUE TECHNICAL REPORT

**CEI
IEC
355**

Première édition
First edition

1971

**Une approche des problèmes posés par
les essais accélérés en atmosphère corrosive**

**An appraisal of the problems of
accelerated testing for atmospheric corrosion**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 355: 1971

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électro-technique;*
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles;*
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas;*

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale.*

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology;*
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets;*
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams;*

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice.*

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

RAPPORT TECHNIQUE TECHNICAL REPORT

**CEI
IEC
355**

Première édition
First edition

1971

**Une approche des problèmes posés par
les essais accélérés en atmosphère corrosive**

**An appraisal of the problems of
accelerated testing for atmospheric corrosion**

© CEI 1971 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

L

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1. Introduction	6
2. Essais destinés à prédire les performances d'un spécimen dans ses conditions d'utilisation	6
2.1 Conditions d'utilisation	6
2.2 Méthodes pour accélérer le processus de la corrosion	8
2.3 Différentes tenues des différents matériaux à l'accélération des facteurs corrosifs	12
2.4 Conditions de surface des matériaux	14
3. Essais destinés à vérifier la qualité et l'homogénéité de matériaux spéciaux	14
4. Essais destinés à vérifier l'influence des différents matériaux les uns sur les autres	16
5. Essais destinés à vérifier le fonctionnement de matériels ou de composants	16
6. Normalisation des essais de corrosion	18
7. Conclusions	18
8. Remarques finales	20

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Introduction	7
2. Tests to predict the performance of a specimen under conditions of use	7
2.1 Conditions of use	7
2.2 Methods to accelerate the corrosion process	9
2.3 Different behaviour of different materials to intensifying of corrosive factors	13
2.4 Surface conditions of the materials	15
3. Testing the quality and homogeneity of special materials	15
4. Testing the influence of different materials on each other	17
5. Testing the functioning of equipment and components	17
6. Standardizing of corrosion tests	19
7. Conclusions	19
8. Final remarks	21

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**UNE APPROCHE DES PROBLÈMES POSÉS PAR LES ESSAIS
ACCÉLÉRÉS EN ATMOSPHÈRE CORROSIVE**

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager cette unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la CEI dans la mesure où les conditions nationales le permettent.
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but.

PRÉFACE

Le présent rapport a été établi par le Comité d'Etudes N° 50 de la CEI : Essais climatiques et mécaniques.

Son principal objectif est d'attirer l'attention sur certains des nombreux problèmes associés aux essais accélérés en atmosphère corrosive. Il n'entend pas être un manuel d'instruction complet relatif à cette question, ni un document descriptif ou de procédure donnant des directives précises quant aux essais accélérés en atmosphère corrosive individuels.

Des directives précises concernant les essais individuels seront données avec chaque essai particulier sous la forme d'une partie de la Publication 68 de la CEI : Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique.

Un premier projet de ce rapport fut discuté lors de la réunion tenue à Stockholm en 1968, à la suite de laquelle un nouveau projet fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en octobre 1968. Des modifications furent soumises à l'approbation des Comités nationaux suivant la Procédure des Deux Mois en janvier 1970.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication de ce rapport :

Afrique du Sud
Australie
Autriche
Belgique
Danemark
Etats-Unis d'Amérique
Finlande
France
Hongrie
Iran
Israël

Japon
Norvège
Pays-Bas
Roumanie
Royaume-Uni
Suède
Tchécoslovaquie
Turquie
Union des Républiques
Socialistes Soviétiques

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**AN APPRAISAL OF THE PROBLEMS OF ACCELERATED TESTING
FOR ATMOSPHERIC CORROSION**

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote this international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the IEC recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit.
- 4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end.

PREFACE

This Report has been prepared by IEC Technical Committee No. 50, Environmental Testing.

Its purpose is primarily to call attention to some of the many problems which are associated with accelerated testing for atmospheric corrosion. It is not intended as a comprehensive treatise on the subject nor as a descriptive or procedural document giving detailed guidance on accelerated corrosion testing.

Detailed guidance relating to individual tests will be given with each relevant test published as a part of IEC Publication 68, Basic Environmental Testing Procedures.

A first draft of this Report was discussed at the meeting held in Stockholm in 1968, as a result of which a new draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in October 1968. Amendments were submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in January 1970.

The following countries voted explicitly in favour of this Report :

Australia	Japan
Austria	Netherlands
Belgium	Norway
Czechoslovakia	Romania
Denmark	South Africa
Finland	Sweden
France	Turkey
Hungary	Union of Soviet Socialist Republics
Iran	United Kingdom
Israel	United States of America

UNE APPROCHE DES PROBLÈMES POSÉS PAR LES ESSAIS ACCÉLÉRÉS EN ATMOSPHÈRE CORROSIVE

1. Introduction

Ce rapport traite des informations générales concernant les essais *accélérés* en atmosphère corrosive.

Les articles suivants couvrent différentes applications des essais accélérés :

- Article 2 : Essais destinés à prédire les performances d'un spécimen dans ses conditions d'utilisation.
- Article 3 : Essais destinés à vérifier la qualité et l'homogénéité de matériaux spéciaux.
- Article 4 : Essais destinés à vérifier l'influence des différents matériaux les uns sur les autres.
- Article 5 : Essais destinés à vérifier le fonctionnement de matériels ou de composants en atmosphère corrosive.
- L'article 6 donne quelques renseignements sur la normalisation d'essais accélérés.
- L'article 7 est un article de considérations générales sur les conclusions qui peuvent être tirées des informations disponibles.

2. Essais destinés à prédire les performances d'un spécimen dans ses conditions d'utilisation

Un essai idéal de corrosion générale pourrait être défini comme suit :

Essai donnant en un temps court, de préférence en quelques heures mais tout au moins en quelques jours ou semaines, une caractéristique de la tenue d'un matériau, d'un composant ou d'un matériel qui puisse être mis en corrélation avec ses performances dans des conditions d'utilisation pendant plusieurs années.

Un tel essai est impossible pour plusieurs raisons :

- les conditions d'utilisation ne sont pas définies et varient dans une très grande mesure ;
- de façon à accélérer les phénomènes de corrosion, certaines conditions corrosives doivent être intensifiées et il y a alors danger que le mécanisme de l'attaque et l'apparence des produits de corrosion puissent être changés ;
- les différents matériaux réagissent d'une façon très différente à l'intensification des facteurs corrosifs.

2.1 Conditions d'utilisation

Les facteurs les plus importants qui affectent la corrosion dans les conditions d'utilisation sont :

- a) le climat, par exemple les climats marin, rural, urbain, industriel, tropical ou la combinaison de ces types de climats ;
- b) les variations irrégulières de chaque climat d'un lieu à l'autre et aussi en un même lieu, non seulement avec les saisons mais aussi d'année en année, de jour en jour et même d'heure en heure ;
- c) les conditions d'exposition, par exemple à l'intérieur et à l'extérieur et dans ce cas sous abri ou à l'air libre ;

AN APPRAISAL OF THE PROBLEMS OF ACCELERATED TESTING FOR ATMOSPHERIC CORROSION

1. Introduction

This Report deals with general information on *accelerated* tests for atmospheric corrosion.

Subsequent clauses cover different applications of accelerated tests as follows :

- Clause 2: Tests to predict the performance of a specimen under conditions of use.
- Clause 3: Tests to check the quality and homogeneity of a special material.
- Clause 4: Tests to determine the influence of different materials on each other.
- Clause 5: Tests to check the functioning of equipment or components under corrosive conditions.
- Clause 6 gives some information on the standardizing of accelerated tests.
- Clause 7 is a generally worded section on conclusions to be drawn from the information available.

2. Tests to predict the performance of a specimen under conditions of use

An ideal general corrosion test could be defined as :

A test that gives in a short time, preferably within a few hours but at least within a few days or weeks, a rating of the behaviour of a material, a component or an equipment that can be correlated with its performance under conditions of use over several years.

Such a test is not possible for several reasons :

- conditions of use are not defined and vary over a very wide range ;
- in order to accelerate corrosion phenomena, certain corrosive conditions have to be intensified with the danger that the mechanism of the attack and the appearance of the corrosion products may be changed ;
- different materials react very differently to intensifying of corrosive factors.

2.1 Conditions of use

The most important factors affecting the corrosion under conditions of use are :

- a) climate, for example marine, rural, urban, industrial and tropical climates, or combinations thereof ;
- b) irregular variations in each climate from place to place and also at the same place, not only with the seasons but from year to year, from day to day and even from hour to hour ;
- c) exposure conditions, for example, indoors, outdoors and, if outdoors, under shelter or in the open ;

- d) la pollution atmosphérique, par exemple les particules de poussière et de suie et les gaz corrosifs autres que ceux spécifiques du climat particulier ;
- e) la position du spécimen à essayer, par exemple l'attitude de sa surface horizontale, verticale ou penchée, l'exposition au soleil, l'exposition à la pluie ou la protection contre la pluie. Il est possible qu'une surface soit plus corrodée qu'une autre surface de même matériau dans un même matériel.

Avec ces variations dans les conditions d'emploi, il n'est visiblement pas possible d'avoir un essai général accéléré de corrosion qui prédise la tenue d'un composant ou d'un matériel dans les conditions d'utilisation. Un essai, avec une variation de la sévérité produite par une variation de la durée de l'essai, c'est-à-dire un jour pour une atmosphère rurale et quatre jours pour une atmosphère marine, etc., ne donne pas d'information réelle sur la tenue qui peut être attendue sous différents types de climats puisque les facteurs corrosifs de ces climats sont différents.

Une meilleure approximation peut être obtenue en utilisant différents essais pour différents climats, par exemple brouillard salin pour les brouillards maritimes ou air humide contenant de l'anhydride sulfureux pour les climats industriels.

Malheureusement ce n'est qu'un allègement du problème puisque les difficultés dues aux facteurs définis de a) à e) ci-dessus existent encore.

Ces différents essais à usage général sont encore très dangereux et dans leur interprétation peuvent donner des conclusions erronées.

2.2 Méthodes pour accélérer le processus de la corrosion

Pour obtenir les renseignements souhaités en un temps court, le processus de la corrosion doit être accéléré. Ce peut être fait en changeant quelques-unes des conditions d'exposition. Les modifications les plus courantes sont :

- l'accroissement de la température ;
- l'accroissement de l'humidité relative ;
- l'accroissement du volume de condensation ;
- l'accroissement de la concentration des substances corrosives ;
- l'accroissement de la durée d'exposition aux conditions corrosives pendant le cycle ;
- l'application de tensions ou de courants ;
- la contrainte mécanique ;
- les variations cycliques de température.

Note. — Des renseignements pourraient être obtenus plus rapidement si la sensibilité de l'évaluation de la corrosion pouvait être améliorée. Comme c'est, actuellement, très difficile, l'accélération du processus de la corrosion est habituellement nécessaire.

2.2.1 Température

Une réaction chimique est, en général, accélérée par un facteur de 2 à 3 pour une élévation de température de 10 deg C, pourvu que cette élévation de température ne provoque pas ou n'accélère pas une réaction différente. Malheureusement, plusieurs facteurs, qui influencent la vitesse de corrosion, peuvent varier avec la température. Par exemple :

- a) la solubilité des gaz dans l'eau décroît d'habitude lorsque la température s'élève. Dans des conditions spéciales de condensation, la vitesse de corrosion peut être ainsi diminuée ;
- b) si, dans les conditions normales d'emploi, les produits de corrosion forment une couche protectrice sur un métal, cette couche peut ne pas être formée à haute température de sorte que la vitesse de corrosion peut croître énormément et l'image de la corrosion peut être complètement changée ;

- d) atmospheric pollution, for example, dust and soot particles and corrosive gases other than those specific to the particular climate ;
- e) position of the test specimen, for example the attitude of the surface : horizontal, vertical or sloping ; exposure to the sun ; exposure to or shelter from rain. It is possible for one surface of a material to be much more corroded than another surface of the same material in the same equipment.

With these variations in conditions of use, it is clearly not possible to have one general accelerated corrosion test for predicting the behaviour of a component or equipment under *conditions of use*. One test, with variation of the severity produced by varying the duration of the test, e.g. one day for a rural atmosphere and four days for a marine atmosphere, etc., gives no real information on the behaviour that can be expected in different types of climate, because the corrosive factors in these climates are different.

A better approximation may be obtained by using different tests for different climates, for example, salt spray for marine climates or humid air with sulphur dioxide for industrial climates.

Unfortunately, this will give only an alleviation of the problem, due to the factors *a)* to *e)*.

These different general purpose tests are still very dangerous in their interpretation and may result in many misleading conclusions.

2.2 *Methods to accelerate the corrosion process*

To get the desired information in a short time, the corrosion process must be accelerated. This is done by changing some of the conditions of exposure. The most usual changes are :

- increasing the temperature ;
- increasing the relative humidity ;
- increasing the extent of condensation ;
- increasing the concentration of corrosive substances ;
- increasing the duty cycle of corrosive conditions ;
- application of voltage or current ;
- mechanical stress ;
- cyclic variations of temperature.

Note. — Information could be obtained more quickly if the sensitivity of the evaluation of the corrosion could be improved. As this is, at present, very difficult, acceleration of the corrosion process is usually necessary.

2.2.1 *Temperature*

In general, a chemical reaction is accelerated by a factor of 2 to 3 for a temperature rise of 10 deg C, provided that the increased temperature does not initiate or accelerate some different reaction. Unfortunately, many factors, which influence the corrosion rate, may change with the temperature. A few examples are :

- a) the solubility of gases in water usually decreases with rising temperature. Under special conditions of condensation, this may slow down the corrosion rate ;
- b) if under normal conditions of use, the corrosion products form a protective layer on a metal, this layer may not be formed at higher temperatures, so that the corrosion rate may increase tremendously and the corrosion picture be completely changed ;

- c) si, dans les conditions normales d'emploi, un métal présente une attaque générale lente, à haute température, d'autres types de corrosion beaucoup plus dangereux peuvent se produire, tels que piqûres ou une corrosion accentuée ;
- d) si, deux métaux sont en contact, le moins noble peut cathodiquement protéger le second. Il est possible qu'en accroissant la température l'ordre de noblesse soit changé. Par exemple, le fer est normalement protégé cathodiquement par le zinc qui est un métal moins noble à température normale ; mais des rapports ont montré que sous certaines conditions, à des températures supérieures à 70 °C, le zinc peut devenir plus noble que le fer et cesser de le protéger. Une telle inversion dépendra des conditions extérieures.

2.2.2 Humidité relative

En général, une humidité relative plus élevée produit une vitesse de corrosion plus grande.

2.2.3 Condensation

S'il se produit de la condensation, la vitesse de corrosion est en général plus grande que sans condensation. Dans de nombreux climats, il y a des périodes avec possibilité de condensation. En règle générale, l'accroissement du volume de condensation accroîtra la vitesse de corrosion. Mais de nombreuses complications se produisent avec la condensation, à la fois dans les conditions d'emploi et dans les essais accélérés, par exemple :

- a) sauf sur une surface propre et lisse, la condensation se produira avant que l'humidité relative n'atteigne 100 % ;
- b) des matériaux solides hygroscopiques présents dans l'atmosphère peuvent se déposer sur la surface du spécimen en essai et la condensation commencera alors à une humidité relative inférieure à 100 %. Le même effet se produit s'il existe une formation initiale de dépôt de produits de corrosion hygroscopiques ;
- c) si un composant est protégé par un boîtier non complètement fermé, ce boîtier peut agir comme un filtre contre l'humidité puisque l'humidité relative à l'intérieur du boîtier varie moins que celle de l'atmosphère environnante. En fonction de facteurs tels que les dimensions et la durée des périodes à haute humidité relative, il est possible que la condensation ne se produise pas à l'intérieur d'un tel boîtier dans les conditions d'emploi, mais qu'au cours d'un essai accéléré des dommages dus à la condensation se produisent en un temps très court ;
- d) la capacité thermique d'un matériel ou d'un composant est très importante lors des variations de température et d'humidité. Lorsque la température de l'atmosphère croît, celle du spécimen croît plus lentement. Lorsque la capacité thermique du spécimen est grande, le spécimen peut rester au-dessous du point de rosée de l'atmosphère environnante et la condensation peut se produire, alors qu'un spécimen de faible capacité thermique peut rester au-dessus du point de rosée et aucune condensation ne se produit.

Il sera bien clair qu'il est très difficile de faire un essai accéléré seulement en exagérant la condensation. De très fortes condensations se produisant en cours d'essai peuvent rincer le spécimen et donner une vitesse de corrosion inférieure à celle se produisant avec des condensations moins fortes, dans les conditions d'utilisation. Les composants en boîtiers incomplètement fermés, essayés dans des conditions de condensation continue, peuvent montrer des détériorations qui ne se produiraient jamais dans les conditions d'utilisation.

2.2.4 Concentration des substances corrosives

De nombreuses substances corrosives différentes, solides ou gazeuses, se trouvent dans l'atmosphère et un choix doit être fait pour les essais accélérés. En général, on choisit les substances que l'on sait se trouver fréquemment dans l'atmosphère, par exemple le chlorure de sodium dans les atmosphères marines ou l'anhydride sulfureux dans les atmosphères urbaines ou industrielles.

- c) if, under normal conditions of use, a metal shows only a slow general attack, at higher temperatures other much more dangerous types of corrosion may occur, such as pitting or stress corrosion ;
- d) if two metals are connected, the less noble one may cathodically protect the other one. It is possible that by increasing temperature the order of nobility may be changed. For example, iron is normally cathodically protected by the less noble metal zinc at room temperatures but it has been reported that under some conditions, at temperatures above 70 °C, zinc may become more noble than iron and cease to protect it. Such a reversal will be dependent on external conditions.

2.2.2 *Relative humidity*

In general, a higher relative humidity gives a higher corrosion rate.

2.2.3 *Condensation*

If condensation occurs, the corrosion rate is generally much higher than without condensation. In most climates, there are periods with a possibility of condensation. As a rule, increasing the extent of condensation will increase the corrosion rate. But there are several complications with condensation, both in conditions of use and in accelerated tests, for example :

- a) except on a clean and smooth surface, condensation will occur before a relative humidity of 100% is reached ;
- b) hygroscopic solids present in the atmosphere may be deposited on the surface of a test specimen causing condensation to start at a relative humidity lower than 100%. The same happens if initially formed deposits of hygroscopic corrosion products are present ;
- c) if a component is sheltered by a not completely closed cover, this cover may work as a buffer against humidity because the relative humidity in the cover varies less than in the surrounding atmosphere. Depending on such factors as dimensions and duration of periods with high relative humidity, it is possible that under such a cover condensation would not occur under conditions of use, but that, during an accelerated test, damage due to condensation would occur in a very short time ;
- d) the heat capacity of an equipment or component is very important under varying temperature and humidity conditions. When the temperature of the atmosphere increases, the temperature of a specimen will increase more slowly. When the heat capacity of the specimen is large, the specimen may remain below the dewpoint of the surrounding atmosphere and suffer condensation, while a specimen of low capacity may stay above the dewpoint and suffer no condensation.

It will be clear that it is very difficult to make an accelerated test just by exaggerating condensation. Very heavy condensation occurring in the test may rinse the test specimens and give a lower corrosion rate than less heavy condensation occurring during conditions of use. Components in incompletely closed covers, tested under continuous condensation conditions, may show deterioration that would never occur under conditions of use.

2.2.4 *Concentration of corrosive substances*

Many different corrosive substances, solid and gaseous, are found in the atmosphere and for accelerated tests a choice must be made. In general, those substances are chosen which are known to occur frequently in the atmosphere, for example sodium chloride in marine atmospheres or sulphur dioxide in urban and industrial atmospheres.

Lorsqu'un choix est fait, la concentration des substances corrosives est augmentée au-dessus du niveau normal des conditions d'utilisation pour accélérer l'attaque. Ceci peut changer complètement la nature de la corrosion, par exemple, si une faible concentration donne une attaque générale lente, une concentration plus élevée peut provoquer des piqûres ou une corrosion accentuée. Il se peut aussi qu'une forte concentration soit moins corrosive parce que la solubilité d'autres substances corrosives peut baisser ; c'est le cas avec une solution de chlorure de sodium, principalement à haute température, parce que la solubilité de l'oxygène décroît avec l'accroissement de la concentration de chlorure de sodium.

Un boîtier incomplètement fermé peut atténuer les variations de concentration de substances corrosives dans les conditions d'utilisation. Comme pour la condensation, une grande concentration continue dans un essai accéléré peut supprimer cette action d'atténuation.

Les vitesses de corrosion pourront aussi être commandées par la possibilité d'arrivée de substances corrosives fraîches et par la vitesse de retrait des résidus de corrosion. Elles sont aussi affectées par la mise en fonctionnement ou non du spécimen en essai.

2.2.5 *Accroissement de la durée d'exposition aux conditions corrosives pendant le cycle.*

Lorsque les conditions corrosives sont sévères pendant seulement une courte période chaque jour ou même pendant seulement quelques périodes chaque année, l'accélération peut être obtenue en maintenant les conditions naturelles de corrosion mais en augmentant le rapport du temps d'exposition en atmosphère corrosive vis-à-vis du temps où une telle exposition n'existe pas. Plusieurs points doivent être observés si des résultats fiables sont à obtenir :

- a) beaucoup de mécanismes de corrosion se produisant dans la nature dépendent de l'alternance des conditions. Par exemple, du fer complètement immergé dans de l'eau ne se corrodera pas aussi rapidement que du fer soumis à une atmosphère industrielle dans laquelle se produisent des condensations intermittentes. Une telle alternance peut aussi se produire dans l'essai ;
- b) beaucoup de mécanismes naturels de corrosion dépendent du rapport entre les durées de chacune des conditions alternées. Par exemple, l'exposition continue au brouillard salin donne des résultats qui diffèrent considérablement de ceux obtenus par une exposition alternée au brouillard et à l'humidité. Une période brève d'exposition au brouillard, alternée avec une exposition plus longue en atmosphère humide non saline, à une valeur inférieure à la saturation, reproduit une attaque plus proche de celle se produisant dans la nature ;
- c) lorsque dans les conditions d'utilisation il se produit deux jeux de conditions d'exposition très différents, il peut être d'extrême importance de savoir lequel des deux se produit le premier. Par exemple, du nickel exposé d'abord à une atmosphère d'hydrogène sulfuré puis à une atmosphère d'anhydride sulfureux se corrode plus lentement que dans le cas inverse ;
- d) les contacts électriques entre métaux du groupe platine qui sont occasionnellement exposés à une atmosphère contenant des vapeurs organiques catalyseront la formation d'une couche de carbone sur les surfaces de contact. Le rapport entre les durées de fermeture et d'ouverture des contacts peuvent matériellement affecter un tel phénomène et on ne peut dans ce cas envisager qu'une faible accélération ;
- e) nombre de défauts catastrophiques peuvent se produire après des périodes d'exposition définies sans que l'on puisse apercevoir de défauts avant la fin de la période d'essai. La manifestation de la corrosion peut ainsi être soigneusement cachée.

2.3 *Différentes tenues des différents matériaux à l'accélération des facteurs corrosifs*

Intensifier la corrosivité d'un milieu peut avoir une influence différente sur différents matériaux. Quelques exemples illustreront ce fait :

- a) un essai à haute concentration d'anhydride sulfureux accélère beaucoup l'attaque du nickel, beaucoup plus que l'attaque d'autres métaux. Il en est de même pour l'argent exposé à l'hydrogène sulfuré ;

When a choice is made, the concentration of the corrosive substances is increased above the level normally found in conditions of use so as to accelerate the attack. This may change the nature of the corrosion completely, for example, if a low concentration gives a slow general attack, a higher concentration may give pitting or stress corrosion. It may also be possible for a higher concentration to be less corrosive, because the solubility of another corrosive substance may be decreased; this is the case with a sodium chloride solution, especially at higher temperatures, because with increasing sodium chloride concentration the solubility of oxygen decreases.

An incompletely closed cover may buffer varying concentrations of corrosive substances under conditions of use. Just as with condensation, a continuously high concentration in an accelerated test prevents this buffering action.

The availability of a fresh supply of corrosive and the rate of removal of the corroded residue will also control corrosion rates. These are also affected by the operation or non-operation of the assembly.

2.2.5 *Increase of duty cycle of corrosive conditions*

When the corrosive conditions are severe for only a short period each day, or even for only a few periods each year, acceleration may be achieved by maintaining natural corrosive conditions but increasing the ratio of time exposed to these conditions against time not so exposed. Several points must be observed if reliable results are to be obtained:

- a) many corrosion mechanisms in nature are dependent upon an alternation of conditions. For example, iron completely immersed in water will not corrode nearly so rapidly as iron subjected to industrial atmospheres with intermittent condensation occurring. Such an alternation must also occur in the test;
- b) many natural corrosion mechanisms depend upon the ratio between the duration of each of the alternate conditions. An example is sodium chloride spray, where a continued exposure to the mist gives results which differ considerably from that given by alternate exposure to mist and to humidity. A short spray period alternating with longer exposure to humidity without chloride, at a value below saturation, gives an attack more closely resembling that usually encountered under natural conditions;
- c) where exposure to two very different sets of conditions occurs during service, it may be vital which of these occurs first. For example, nickel exposed first to a hydrogen sulphide atmosphere and then to a sulphur dioxide atmosphere corrodes more slowly than in the reverse case;
- d) electrical contacts of the platinum group metals, which are occasionally exposed to an atmosphere containing organic vapours, will catalyze the formation of a layer of carbon on the contact face. The ratio of arcing periods to free standing periods can materially effect such phenomena and little acceleration is possible in this case;
- e) many catastrophic failures can occur after definite periods of exposure without hint of failure until the end of the period. The evidence of corrosion may be well hidden.

2.3 *Different behaviour of different materials to intensifying of corrosive factors*

Intensifying the corrosiveness of an environment may have a different influence on different materials. A few examples will illustrate this:

- a) a test with a high concentration of sulphur dioxide accelerates the attack on nickel very much, much more than the attack on other metals. The same is true for silver exposed to hydrogen sulphide;

- b) dans l'essai de brouillard salin, par exemple l'essai Ka de la Publication 68 de la CEI, le zinc est attaqué plus vite que le cadmium. En atmosphère marine, la différence est très faible et de nombreux essais d'exposition en climat marin, quoique pas tous, sont en faveur du zinc ;
- c) si dans un essai de brouillard salin la concentration est accrue de 3 % à 20 %, le zinc présente une vitesse de corrosion supérieure et le fer une vitesse inférieure.

Le choix des matériaux basé sur les résultats d'essais accélérés peut être très trompeur. Dans de nombreux cas, ces résultats peuvent conduire à l'exclusion d'un matériau particulier qui n'est pas le plus mauvais dans les conditions d'utilisation.

2.4 Conditions de surface des matériaux

La tenue à la corrosion peut être influencée par l'état de la surface d'un matériau, à savoir :

- a) la rugosité ;
- b) la propreté ;
- c) la passivité ;
- d) les couches d'adsorption.

C'est pourquoi l'histoire d'un spécimen d'essai avant l'exposition, spécialement ses traitements de surface mécanique et chimique et les conditions dans lesquelles il a été transporté et stocké, est importante.

Il a déjà été mentionné au paragraphe 2.2.3 que l'état de surface peut avoir une influence sur la valeur de l'humidité relative pour laquelle la condensation peut démarrer. Deux exemples sont :

- 1) du fer ayant une surface propre, stocké dans une atmosphère propre sans particules solides ni gaz corrosifs et à faible humidité relative, puis testé dans une atmosphère à forte humidité relative, commencera à se rouiller après un temps plus long qu'un échantillon du même fer essayé immédiatement après nettoyage ;
- 2) des échantillons de nickel stockés dans une atmosphère à faible humidité relative contenant de l'anhydride sulfureux se corroderont plus rapidement dans un essai subséquent à haute humidité relative sans anhydride sulfureux que des échantillons du même nickel dans le même essai à haute humidité relative qui n'ont pas été préexposés à l'anhydride sulfureux.

3. Essais destinés à vérifier la qualité et l'homogénéité de matériaux spéciaux

Ce problème est beaucoup plus simple parce qu'un essai peut être choisi et adapté au matériau spécifique. Seules des différences de qualité doivent être trouvées et, en règle générale, des spécimens d'essai de qualité différente se présenteront dans le même ordre s'ils sont soumis à différents essais. Par exemple, pour l'essai d'objets revêtus de cadmium et passivés, des essais convenables sont : un essai d'humidité, un essai de brouillard salin ou un essai dans une atmosphère contenant un acide organique volatile quelconque. Bien que l'apparence après les essais puisse être différente, le spécimen ayant le plus de taches noires après l'essai d'humidité aura aussi le plus de produits de corrosion blancs ou jaune pâle après les deux autres essais.

Un autre exemple est l'essai de la porosité des contacts en nickel ou en cuivre doré, avec possibilité de la combiner avec un essai mécanique. Les échantillons mauvais ou bons se distingueront aussi bien après un essai à l'anhydride sulfureux qu'après un essai anodique dans une solution contenant un indicateur du métal sous-jacent, cuivre ou nickel.

Pour des essais de contrôle de fabrication ou d'acceptation d'un matériau ou d'un fini particulier, les essais accélérés de corrosion sont donc à la fois utiles et nécessaires.

- b) in a salt spray test, for example Test Ka of IEC Publication 68, zinc is attacked much faster than cadmium. In marine atmospheres, the difference is very small and many results of exposure tests in marine climates, though not all, are in favour of zinc;
- c) if in a salt spray test the salt concentration is increased from 3% to 20%, zinc shows a higher and iron a lower corrosion rate.

Selection of materials based on the results of accelerated tests may be very misleading. In many cases, these results can lead to the exclusion of particular materials, which are none the less valuable under conditions of use.

2.4 *Surface conditions of the materials*

Corrosion behaviour may be influenced by the surface conditions of a material, such as :

- a) roughness ;
- b) cleanness ;
- c) passivity ;
- d) adsorption layers.

Because of this, the history of a test specimen before exposure, especially its mechanical and chemical surface treatments and the conditions under which it has been shipped and stored, is important.

It has already been mentioned in Sub-clause 2.2.3 that the surface condition may have an influence on the relative humidity at which condensation can start. Two other examples are :

- 1) iron with a clean surface, stored in a clean atmosphere without solid particles or corrosive gases and with a low relative humidity, and then tested in an atmosphere with high relative humidity, will begin to show rust after a much longer time than a sample of the same iron tested immediately after cleaning ;
- 2) samples of nickel, stored in an atmosphere of low relative humidity, containing sulphur dioxide, will show much faster corrosion in a subsequent test with high relative humidity without sulphur dioxide than the samples of the same nickel in the same high relative humidity test without a pre-exposure to sulphur dioxide.

3. **Testing the quality and homogeneity of special materials**

This problem is much simpler because a test can be chosen, adapted to the specific material. Only differences in quality have to be found and, as a rule, test specimens of different quality will show up in the same order if they are submitted to different tests. For example, in the testing of articles plated with cadmium and passivated, suitable tests are a humidity test, a salt spray test or a test in an atmosphere containing some volatile organic acid. Although the appearance after the tests might be quite different, the specimen with the most black spots after the humidity test will also have the most white or light yellow corrosion products after the two other tests.

Another example is the testing of the porosity of gold-plated nickel or copper contacts, possibly combined with a wear test. Poor and good samples will be distinguished both after a sulphur dioxide test and after an anodic test in a solution with an indicator for the underlying metal, nickel or copper.

For production control and acceptance testing of a particular material or finish, accelerated corrosion tests are, therefore, both useful and necessary.

4. Essais destinés à vérifier l'influence des différents matériaux les uns sur les autres

Certains matériaux peuvent influencer la tenue en corrosion d'autres matériaux. On peut en donner trois exemples :

- a) différents métaux reliés. Un métal moins noble peut protéger un métal plus noble mais au prix de son propre sacrifice. Avant de choisir une combinaison quelconque de métaux, il est recommandé de consulter une liste donnant des renseignements sur les combinaisons de métaux qui sont permises ou dangereuses dans des circonstances individuelles ;

(Note. — Une liste typique a été donnée dans « Electroplating », mars 1954, p. 90.)

- b) certains matériaux organiques peuvent se détériorer et donner des produits volatils qui peuvent être corrosifs pour certains métaux tels que le zinc et le cadmium. Ceci est très important pour les matériels en caissons fermés ;
- c) certains matériaux organiques peuvent absorber de la vapeur d'eau et d'autres substances volatiles. Si ces matériaux sont en contact avec des métaux, ils peuvent influencer la tenue en corrosion de ces métaux.

Pour déterminer s'il existe de tels points faibles dans la construction, un essai peut être effectué pour voir s'il y a une différence de tenue d'un matériau donné lorsqu'il est essayé séparément ou lorsqu'il est essayé dans le composant ou le matériel. Un essai à haute humidité relative sera souvent suffisant.

5. Essais destinés à vérifier le fonctionnement de matériels ou de composants

Il est, bien sûr, très important qu'un matériel ou qu'un composant continue à fonctionner pendant une longue période dans les conditions d'utilisation. La tenue en corrosion et le fonctionnement peuvent s'influencer réciproquement de différentes façons. Par exemple :

- a) des parties mobiles peuvent être gênées dans leur fonctionnement par des produits de corrosion. Il n'est pas nécessaire que la partie mobile elle-même soit corrodée. D'autres parties du composant ou du matériel peuvent donner des produits de corrosion pouvant entrer en contact avec les parties mobiles, comme dans les moteurs et les relais électromécaniques ;
- b) des usures mécaniques peuvent retirer des couches protectrices de sorte que le métal sous-jacent commence à se corroder. Dans un interrupteur aux contacts dorés, les surfaces de contact peuvent ne pas montrer de corrosion en les essayant telles quelles, mais si l'interrupteur est utilisé plusieurs fois, la couche d'or peut être endommagée et le métal sous-jacent peut se corroder et donner un mauvais contact ;
- c) les résistances de contact peuvent croître même par une corrosion légère des surfaces de contact et cet accroissement de résistance peut perturber le bon fonctionnement d'un circuit. Par exemple, un commutateur rotatif ayant des contacts en argent sous l'action de l'hydrogène sulfuré ;
- d) de hautes tensions électriques continues ou alternatives utilisées dans un appareillage peuvent donner des produits de corrosion provoquant des décharges disruptives ;
- e) des tensions électriques, principalement des tensions continues utilisées dans un appareillage peuvent provoquer de la corrosion par électrolyse. Par exemple, de la corrosion peut se former sur les matériaux isolants aux bornes positives des connecteurs en raison du courant de fuite de surface ;
- f) un matériel peut s'échauffer par sa dissipation interne de telle sorte que la température du matériel est supérieure à celle des alentours. L'humidité relative à l'intérieur de ce matériel peut ainsi être inférieure et la condensation peut ne pas se produire. Il en résultera que la corrosion peut être réduite ou évitée tant que le matériel fonctionne.

4. Testing the influence of different materials on each other

Some materials can influence the corrosion behaviour of other materials. Three examples may be given :

- a) different metals joined together. A less noble metal can protect a more noble metal, but at its own sacrifice. Before selecting any particular combination of metals, it is advisable to consult a list giving information as to the combinations of metals that are allowable or dangerous under individual circumstances ;

(Note. — A typical list was given in "Electroplating", March, 1954, p. 90.)

- b) certain organic materials can deteriorate and produce volatile products that may be corrosive to some metals, especially zinc and cadmium. This is very important for equipment in closed containers ;
- c) certain organic materials can absorb water vapour and other volatile substances. If these materials are in contact with metals, they may influence the corrosion behaviour of these metals.

To determine whether such weak points in the construction are present, a test can be made to see if there is a difference in behaviour of a given material, tested separately and tested in the component or equipment. A test in an environment with a high relative humidity will often be sufficient.

5. Testing the functioning of equipment and components

It is, of course, very important that an equipment or component continues to function for a long time under conditions of use. The corrosion behaviour and the functioning may influence each other in several ways. For example :

- a) moving parts may be hindered in their functioning by corrosion products. It is not necessary that the moving part itself is corroded. Another part of the component or equipment may produce corrosion products which may come into contact with the moving parts, such as in motors or electromechanical relays ;
- b) mechanical wear may remove protective layers, so that the metal starts corroding. In a switch with gold-plated contacts, the contact surfaces may not show any corrosion after testing as such, but if the switch is used several times the gold layer may be damaged and the metal may corrode and give poor contact ;
- c) contact resistances may increase even by slight corrosion of the contact surface and this increase of resistance can disturb the good functioning of a circuit. An example is a wafer switch with silver contacts, attacked by hydrogen sulphide ;
- d) high electrical voltages, d.c. or a.c., used in an apparatus may produce corrosion products which cause electrical breakdown ;
- e) electrical voltages, especially d.c., used in an apparatus may cause corrosion by electrolysis. An example is the corrosion formed on positive connectors in insulating material due to surface leaking current ;
- f) equipment may be heated by internal power dissipation so that the temperature in the equipment is higher than that of the surroundings. The relative humidity in this equipment may then be lower and condensation may not occur. This means that corrosion may be reduced or prevented as long as the equipment is in operation.

Dans la plupart des cas précédents, une baisse d'apparence résultant de la formation de produits de corrosion est beaucoup moins critiquable qu'une baisse ou qu'une interruption de fonctionnement. Des produits de corrosion visibles peuvent, toutefois, diminuer la confiance des utilisateurs d'équipements ou de composants dans l'aptitude de ces derniers à conserver leurs performances.

Du fait que les essais accélérés sont de courte durée, la définition normalisée d'un défaut et les valeurs correspondantes des caractéristiques des spécimens devraient être sévères puisque des temps d'exposition plus longs dans des atmosphères plus douces peuvent produire plus de corrosion.

Pour vérifier si les produits de corrosion peuvent interrompre le fonctionnement ou si le fonctionnement produit de la corrosion ou la prévient, des essais peuvent être effectués sur le matériel ou sur le composant. Il faut que les essais choisis conviennent autant que possible aux matériaux suspectés et s'adaptent aux conditions attendues d'utilisation du matériel.

6. Normalisation des essais de corrosion

Des essais normalisés, convenablement appliqués, peuvent être utilisés sur les bases suivantes :

- a) pour la comparaison, par exemple, d'un matériau donné provenant de deux sources d'approvisionnement, ou plus ;
- b) pour l'arbitrage entre un client et un fournisseur ;
- c) pour des essais d'acceptation.

La prescription la plus importante pour un essai normalisé est sa reproductibilité. A la fois la complexité du mécanisme de la corrosion et la diversité des conditions d'environnement rendent difficile l'obtention de résultats reproductibles. Pour obtenir une reproductibilité raisonnable, les points suivants sont à prendre en considération :

- 1) Il faut que l'essai soit décrit d'une façon claire et ne prêtant pas à des possibilités d'erreurs. Les facteurs impliquant les conditions de surface des spécimens en essai et ceux impliquant les conditions d'environnement doivent être bien normalisés.
Il n'est pas nécessaire et il peut même être indésirable de prescrire un appareillage d'essai, mais il faut que la méthode soit décrite de telle façon que chaque appareillage qui satisfait à ladite description puisse donner sûrement les mêmes résultats dans les limites de précision prescrites.
- 2) Des méthodes compliquées, comme des cycles de température et d'humidité relative suivant un programme compliqué en vue d'imiter de façon élaborée les variations de conditions atmosphériques, sont à éviter parce qu'une méthode compliquée conduit à un manque de reproductibilité.
- 3) Il faut éviter que des facteurs pouvant conduire à des dérogations aux conditions spécifiées puissent intervenir. Il faut, par exemple, définir la charge admissible de la chambre d'essai en spécimens de façon que cette charge ne modifie pas les conditions existant dans la chambre en épuisant, par exemple, l'agent corrosif ; de même, pour les essais à humidité relative spécifiée dans des limites étroites, la température doit être étroitement régulée parce que de petites variations de température font varier considérablement l'humidité relative. C'est particulièrement important dans le cas des hautes humidités relatives pour lesquelles des variations d'humidité influenceront considérablement sur les conditions de condensation.

7. Conclusions

- 7.1 Il est impossible de prédire la tenue d'un matériau, d'un composant ou d'un matériel d'après les résultats d'un essai général de corrosion ou d'après un petit nombre d'essais adaptés pour représenter différents climats.