

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

**CEI
IEC
68-2-28**

Troisième édition
Third edition
1990-02

Essais d'environnement

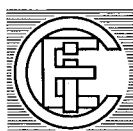
Deuxième partie.

Essais – Guide pour les essais de chaleur humide

Environmental testing

Part 2:

Tests – Guidance for damp heat tests



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 68-2-28 1990

Révision de la présente publication

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

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'Index général étant publié séparément. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande.

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

Symboles graphiques et littéraux

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

- la Publication 27 de la CEI: Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique;
- la Publication 617 de la CEI: Symboles graphiques pour schémas.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit repris des Publications 27 ou 617 de la CEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur le deuxième feuillet de la couverture qui énumère les publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

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

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the IEV will be supplied on request.

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:

- IEC Publication 27: Letter symbols to be used in electrical technology;
- IEC Publication 617: Graphical symbols for diagrams.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC Publications 27 or 617, 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 back cover, which lists IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
68-2-28

Troisième édition
Third edition
1990-02

Essais d'environnement

Deuxième partie.

Essais – Guide pour les essais de chaleur humide

Environmental testing

Part 2.

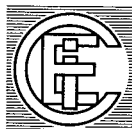
Tests – Guidance for damp heat tests

© CEI 1990 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 Varembé Genève Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

SOMMAIRE

	Pages
PREAMBULE	4
PREFACE	4
Articles	
1 Domaine d'application et objet	6
2 Influence de la chaleur humide	6
3 Définitions	8
4 Méthodes de production de l'humidité	10
5 Aspect physique de l'humidité	12
6 Accélération des processus physiques	16
7 Comparaison entre les essais continus et les essais cycliques	18
8 Influence d'un essai d'environnement sur les spécimens	22
ANNEXE A - Diagramme des effets de l'humidité	26

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1 Scope and object	7
2 Environmental influence of damp heat	7
3 Definitions	9
4 Procedures for the production of humidity	11
5 Physical appearance of humidity	13
6 Physical processes acceleration	17
7 Comparison of steady-state and cyclic tests	19
8 Influence of test environment on specimens	23
APPENDIX A - Humidity effects diagram	27

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESSAIS D'ENVIRONNEMENT

Deuxième partie: Essais - Guide pour les essais de chaleur humide

PREAMBULE

- 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 l'unification internationale, la CEI exprime le voeu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière

PREFACE

La présente norme a été établie par le Sous-Comité 50B Essais climatiques, du Comité d'Etudes n° 50 de la CEI Essais d'environnement

Cette troisième édition de la Publication 68-2-28 de la CEI remplace la deuxième édition, parue en 1980

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
50B(BC)271	50B(BC)273

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme

Les publications suivantes de la CEI sont citées dans la présente norme:

- Publications n° 68-2-3 (1969): Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique, Deuxième partie: Essais - Essai Ca: Essai continu de chaleur humide
- 68-2-30 (1980): Essai Db et guide: Essai cyclique de chaleur humide (cycle de 12 + 12 heures)
- 68-2-38 (1974): Essai Z/AD: Essai cyclique composite de température et d'humidité
- 68-2-56 (1988): Essais d'environnement, Deuxième partie: Essais - Essai Cb: Chaleur humide, essai continu, recommandé principalement pour les équipements
- 260 (1968): Enceintes d'épreuve à humidité relative constante fonctionnant sans injection de vapeur
- 355 (1971): Une approche des problèmes posés par les essais accélérés en atmosphère corrosive
- 721-2-1 (1982): Classification des conditions d'environnement, Deuxième partie: Conditions d'environnement présentes dans la nature Température et humidité
- 721-3 (1984): Troisième partie: Classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ENVIRONMENTAL TESTING

Part 2: Tests - Guidance for damp heat tests

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 international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter

PREFACE

This standard has been prepared by Sub-Committee 50B Climatic tests, of IEC Technical Committee No 50 Environmental testing

This third edition of IEC Publication 68-2-28 replaces the second edition, issued in 1980

The text of this standard is based on the following documents:

Six Months' Rule	Report on Voting
50B(C0)271	50B(C0)273

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the Voting Report indicated in the above table

The following IEC publications are quoted in this standard

- Publications Nos 68-2-3 (1969): Basic environmental testing procedures, Part 2: Tests - Test Ca: Damp heat, steady state
- 68-2-30 (1980): Test Db and guidance: Damp heat, cyclic (12 + 12-hour cycle)
- 68-2-38 (1974): Test Z/AD: Composite temperature/humidity cyclic test
- 68-2-56 (1988): Environmental testing, Part 2: Tests - Test Cb: Damp heat, steady state, primarily for equipment
- 260 (1968): Test enclosures of non-injection type for constant relative humidity
- 355 (1971): An appraisal of the problems of accelerated testing for atmospheric corrosion
- 721-2-1 (1982): Classification of environmental conditions, Part 2: Environmental conditions appearing in nature Temperature and humidity
- 721-3 (1984): Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities

ESSAIS D'ENVIRONNEMENT

Deuxième partie: Essais - Guide pour les essais de chaleur humide

1 Domaine d'application et objet

Ce guide rassemble des informations particulièrement nécessaires aux rédacteurs qui, lors de l'établissement d'une spécification particulière (par exemple des normes pour composants ou matériels), doivent faire le choix des essais appropriés et de leurs sévérités pour un produit particulier et, éventuellement, pour un type d'application donné

Le but des essais de chaleur humide est de déterminer l'aptitude des produits électrotechniques à supporter les contraintes d'un milieu atmosphérique à forte humidité relative, avec ou sans condensation, et plus particulièrement de déterminer les variations de leurs caractéristiques électriques et mécaniques. Les essais de chaleur humide peuvent aussi être appliqués en vue de vérifier la résistance d'un spécimen à certaines formes d'attaque par corrosion (voir paragraphe 8.3)

Il est conseillé d'utiliser ce guide conjointement avec les parties de la Publication 68 de la CEI qui comportent des essais de chaleur humide, c'est-à-dire

68-2-3	Essai Ca	Essai continu de chaleur humide
68-2-56	Essai Cb	Chaleur humide, essai continu, recommandé principalement pour les équipements
68-2-30	Essai Db et guide	Essai cyclique de chaleur humide (cycle de 12 + 12 heures)
68-2-38	Essai Z/AD:	Essai cyclique composite de température et d'humidité

2 Influence de la chaleur humide

La température et l'humidité relative de l'air, combinées de façon variable, constituent des facteurs climatiques qui agissent toujours sur un produit pendant son stockage, son transport et son fonctionnement

Des mesures de paramètres atmosphériques effectuées sur plusieurs années ont montré qu'une humidité relative supérieure ou égale à 95% associée à une température supérieure à 30 °C ne se présente pas en atmosphère normale durant de longues périodes, sauf dans des régions de climats extrêmes (telles que le golfe Persique). Pour une classification des climats et des valeurs de paramètres climatiques, consulter la Publication 721-2-1 de la CEI. Dans les locaux d'habitation ou les ateliers, des températures supérieures à 30 °C peuvent régner mais sont, dans la plupart des cas, associées à une humidité relative plus basse que dans une atmosphère normale. Les valeurs des paramètres climatiques de divers environnements pour différentes applications sont données dans la série des Publications 721-3 de la CEI.

ENVIRONMENTAL TESTING

Part 2: Tests - Guidance for damp heat tests

1 Scope and object

This guide includes the necessary information for those experts who, when preparing a relevant specification (e.g. standards for components or equipment), have to select the appropriate tests and test severities for a particular product and possibly a given kind of application.

The object of damp heat tests is to determine the ability of electro-technical products to withstand the stresses occurring in a climate of high relative humidity, with or without condensation, with special regard to variations of electrical and mechanical characteristics. Damp heat tests may also be applied to check the resistance of a specimen to some forms of corrosion attack (see Sub-clause 8.3).

This guide should be used together with the following parts of IEC Publication 68 which contain damp heat tests i.e.

68-2-3	Test Ca:	Damp heat, steady state
68-2-56	Test Cb	Damp heat, steady state, primarily for equipment
68-2-30:	Test Db and guidance:	Damp heat, cyclic (12 + 12-hour cycle)
68-2-38:	Test Z/AD:	Composite temperature/humidity cyclic test

2 Environmental influence of damp heat

Temperature and relative humidity of the air, in varying combinations, are climatic factors which always act upon a product during storage, transport and operation.

Meteorological measurements made over many years have shown that a relative humidity above or equal to 95% combined with a temperature above 30 °C does not occur in free air conditions over long periods, except in regions with extreme climates (e.g. Persian Gulf). For a classification of climates and climatic data, see IEC Publication 721-2-1. In dwelling-rooms and workshops, temperatures above 30 °C may occur, but are in most cases combined with a lower relative humidity than in the open air. Climatic data for various environments for different applications are given in the series of IEC Publication 721-3.

Des conditions particulières existent dans certaines salles humides de l'industrie chimique, dans les installations pour la métallurgie, les mines, les locaux d'électrolyse, les blanchisseries, etc, où la température peut s'élever jusqu'à 45 °C, associée à une humidité relative de 100%, pendant de longues périodes

Il peut cependant arriver que certains matériels placés dans des conditions particulières puissent être soumis à des humidités relatives supérieures à 95% avec des températures plus élevées. C'est le cas notamment lorsque le matériel est placé dans des enceintes non ventilées telles que des véhicules, des tentes ou des carlingues d'avion. Dans ces conditions, la chaleur intense provoquée par le rayonnement solaire peut être associée à une forte humidité relative due à l'humidité libérée par les matériaux hygroscopiques, la respiration et la transpiration des personnes, les récipients ouverts contenant de l'eau ou à d'autres sources d'humidité

Dans les locaux ayant plusieurs sources de chaleur, les températures et les humidités relatives des différentes parties du local risquent de différer d'un point à un autre

La pollution atmosphérique, importante dans un certain nombre d'endroits, peut renforcer les effets d'une atmosphère humide sur les produits. L'attention est attirée sur ce point, en raison de son importance en général. Il n'y a cependant pas d'agents polluants dans les atmosphères humides utilisées pour les essais de chaleur humide. S'il est nécessaire de déterminer l'influence d'agents polluants, il convient de spécifier un essai approprié, par exemple la tenue en atmosphère corrosive ou le développement de moisissures

3 Définitions

Les définitions suivantes sont applicables pour les besoins de la présente publication

a) *Condensation*

Précipitation de la vapeur d'eau sur une surface dont la température est plus basse que celle du point de rosée de l'air ambiant. L'eau est de ce fait transformée de l'état vapeur à l'état liquide

b) *Adsorption*

Adhérence des molécules de vapeur d'eau à une surface dont la température est plus élevée que celle du point de rosée

c) *Absorption*

Accumulation des molécules d'eau à l'intérieur d'un matériau

d) *Diffusion*

Cheminement des molécules d'eau à travers un matériau, provoqué par une différence des pressions partielles

Special conditions exist in certain wet rooms in the chemical industry, metallurgical plants, mines, electroplating plants, laundries, etc., where the temperature can reach as much as 45 °C combined with a relative humidity of 100% over long periods

However, it is possible that certain equipment placed under particular conditions may be subjected to relative humidities of more than 95% at higher temperatures. In particular, this may happen when the equipment is placed in unventilated enclosures such as vehicles, tents, or aircraft cockpits. In these circumstances the intense heating through solar radiation can be combined with a high relative humidity because of moisture released from hygroscopic materials, the breathing and perspiration of people, open vessels containing water, or other sources of moisture

In rooms having several heat sources, temperatures and relative humidities may differ in different parts of the room

Atmospheric pollution, which is found to a large extent in a number of places, can intensify the effects of a damp climate on products. Attention is drawn to this fact because of its general importance although pollutants are not contained in the atmospheres used for damp heat testing. If the effects of pollutants are to be investigated, a suitable test, for example corrosive atmospheres or mould growth, should be used

3 Definitions

For the purpose of this publication, the following definitions apply

a) *Condensation*

The precipitation of water vapour on a surface when the surface temperature is lower than the dew-point temperature of the ambient air. The water is thereby transformed from the vapour to the liquid state of aggregation

b) *Adsorption*

The adherence of water vapour molecules to a surface when the surface temperature is higher than the dew-point temperature

c) *Absorption*

The accumulation of water molecules within a material

d) *Diffusion*

The transportation of water molecules through a material produced by a partial pressure difference

Note - La diffusion entraîne un équilibre des pressions partielles, tandis que l'écoulement (tel qu'à travers des fuites lorsque celles-ci sont suffisamment importantes pour provoquer un écoulement visqueux ou laminaire) est toujours le résultat final d'un équilibre des pressions totales

e) Respiration

Echange d'air entre une cavité et son environnement, produit par une variation de la température qui entraîne une variation de la pression interne. Ce phénomène peut provoquer une accumulation d'eau dans la cavité

f) Ecoulement

Déplacement de molécules d'eau à travers une fuite, dû à une différence de pression

4 Méthodes de production de l'humidité

4.1 Généralités

Il existe un grand nombre de chambres d'essais en humidité équipées de différents systèmes de production et de contrôle de l'humidité

Dans les paragraphes suivants, seuls les principaux procédés de production de l'humidité sont mentionnés

4.2 Pulvérisation de l'eau

L'eau désionisée est pulvérisée sous forme de très fines gouttelettes

L'aérosol ainsi produit humidifie le courant d'air avant son introduction dans l'espace de travail de la chambre, la majeure partie des gouttelettes s'évapore de cette façon. L'injection directe de l'eau dans l'espace de travail doit, en principe, être évitée

Ce procédé simple donne une rapide humidification et nécessite peu d'entretien. Toutefois, quand l'injection directe est employée, de petites quantités d'aérosol risquent de subsister dans l'espace de travail, les variations rapides d'humidité peuvent être difficiles à régler (dépassements)

4.3 Injection de la vapeur d'eau

La vapeur d'eau chaude est insufflée dans l'espace de travail de la chambre

Ce procédé simple donne une humidification rapide et la vapeur est aisément dosable (valve à vapeur). Il peut se produire de la condensation sur les parties froides de la chambre. Les calories introduites peuvent demander un refroidissement supplémentaire pouvant entraîner des effets de déshumidification

Note - Diffusion results in a balance of partial pressures whilst flow (such as through leaks, when the dimensions of such leaks are great enough to provide viscous or laminar flow) always finally results in the balance of the total pressures

e) Breathing

Exchange of air between a hollow space and its surroundings, produced by a change of temperature which results in a change of internal pressure. This phenomenon can produce an accumulation of water in the hollow space

f) Flow

The transportation of water molecules through a leak due to a pressure difference

4 Procedures for the production of humidity

4.1 General

There are a great number of humidity test chambers available, equipped with different systems of generation of humidity and of humidity control

In the following sub-clauses, only the principal methods of generation of humidity are mentioned

4.2 Water spraying

De-ionized water is atomized to very fine particles

The aerosol produced in this way moistens the air stream before it enters into the working space of the chamber the greater part of the droplets evaporating on the way. Direct water injection into the working space should be avoided

This simple system gives rapid humidification and needs little maintenance. However, when using direct injection, small amounts of aerosol may remain in the working space, rapid changes of humidity may be difficult to control (overshoot)

4.3 Injection of water vapour

Hot water vapour is blown into the working space of the chamber

This simple system gives rapid humidification and it is easy to control the quantity of vapour (steam valve). Condensation on cooler parts of the chamber may occur. The heat input may necessitate additional cooling with possible de-humidification effects

4 4 *Volatilisation*

4 4 1 *Dispositif à bulles*

L'air est insufflé à travers un récipient contenant de l'eau et est ainsi saturé de vapeur

Ce procédé est simple. Pour un débit d'air constant, l'humidité est aisément réglable en faisant varier la température de l'eau. Si l'accroissement de l'humidité est produit par une augmentation de la température de l'eau, il peut se produire une élévation de la température dans l'espace de travail et un retard dû à la capacité thermique de l'eau. Les bulles de vapeur, en éclatant, peuvent produire une petite quantité d'aérosol.

4 4 2 *Surface de volatilisation*

L'air est humidifié en passant sur une grande surface d'eau. Diverses méthodes sont utilisées, par exemple le passage répété d'un courant d'air sur de l'eau calme, le ruissellement d'un jet d'eau sur une surface verticale avec un courant d'air circulant en sens inverse.

Dans ce système, la formation d'aérosol est minimisée. L'humidité est aisément réglable en faisant varier la température de l'eau.

La capacité thermique de l'eau peut entraîner un retard dans la variation de l'humidité.

4 5 *Solutions aqueuses*

Une humidité relative définie est produite par des solutions aqueuses normalisées dans de petites chambres étanches à température constante. Des méthodes éprouvées avec des solutions de glycérine ou de sel sont décrites dans la Publication 260 de la CEI.

C'est un procédé simple et sûr, mais, en général, il ne convient pas pour des spécimens dissipant de l'énergie ou des spécimens absorbant de grandes quantités d'humidité. Il ne peut pas être utilisé pour un essai cyclique.

Des particules de sel peuvent se déposer sur la surface des spécimens essayés dans des chambres mal étudiées. Dans certains cas, par exemple avec les sels d'ammonium, ces particules peuvent être dangereuses pour la santé et provoquer la corrosion d'alliages de cuivre.

5 *Aspect physique de l'humidité*

5 1 *Condensation*

La température du point de rosée dépend de la quantité de vapeur d'eau dans l'air. Le point de rosée, l'humidité absolue et la pression de vapeur sont directement liés.

4 4 *Volatilization*

4 4 1 *Bubbling-through type*

Air is blown through a vessel containing water, thus becoming saturated with vapour

This system is simple. At a fixed air flow, the humidity is easily controlled by changing the water temperature. If an increase of humidification is produced by increasing the water temperature, this may cause a temperature rise in the working space and introduce a time lag due to the thermal capacity of the water. The bubbles may produce a small amount of aerosol when bursting.

4 4 2 *Surface volatilization*

The air is humidified by passing it over a large surface area of water. Different methods are used, for example, repeated air flow over standing water, water-jet flowing over a vertical surface with the air stream in counter current.

In this system, the generation of aerosols is minimized. The humidity is easily controlled by changing the water temperature.

Due to the thermal capacity of the water a time-lag in the change of humidity may occur.

4 5 *Aqueous solutions*

A defined relative humidity is generated over standardized aqueous solutions in small sealed chambers at constant temperature. Proved methods with glycerine or salt solutions are described in IEC Publication 260.

This is a simple and reliable system but, in general, it is not appropriate for heat dissipating specimens or for specimens absorbing large quantities of moisture. It cannot be used for cyclic testing.

Salt particles may be deposited on the surface of the test specimens in poorly designed chambers. In some cases, for example with ammonium salts, these particles may be hazardous to health and may cause stress corrosion on copper alloys.

5 *Physical appearance of humidity*

5 1 *Condensation*

The dew-point temperature depends on the content of water vapour in the air. A direct relationship exists between dew-point, absolute humidity and vapour pressure.

La condensation se produit sur un spécimen lorsque la température, à la surface du spécimen introduit dans la chambre d'essai, est plus basse que celle du point de rosée de l'air de la chambre. Par conséquent, si la condensation n'est pas souhaitée, il peut être nécessaire de préchauffer le spécimen.

Quand on désire obtenir une condensation sur le spécimen pendant la durée de l'épreuve, la température et l'humidité de l'air doivent croître assez rapidement pour qu'une différence entre la température du point de rosée et celle de la surface du spécimen soit obtenue.

Si le spécimen a une faible constante de temps thermique, la condensation ne peut se produire que si la température de l'air augmente très rapidement, ou si l'humidité relative est très proche de 100%. Avec la vitesse d'élévation de la température prescrite pour les essais Db et Z/AD, il se peut que la condensation ne se produise pas sur de très petits spécimens.

L'humidité relative h_r nécessaire pour qu'une condensation se produise sur une surface ayant une constante de temps thermique τ (s) (dépendant aussi de la vitesse de l'air dans la chambre d'essai) pendant l'élévation de température est donnée par

$$h_r > 100 \left(1 - 0,05 \cdot \tau \cdot \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \right)$$

où

$\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ est la vitesse moyenne de variation de la température de l'air dans la chambre.

Exemple: Exécution d'un essai Db dans une plage de +25 °C à +55 °C,

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{55-25}{3 \ 60 \ 60} \approx 0,0028 \text{ °C/s}$$

Pour un petit composant avec $\tau = 1$ min, l'humidité relative nécessaire pour produire de la condensation est donc de 99,2%.

Une légère condensation, liée à la diminution de la température ambiante, peut être constatée sur la surface interne des boîtiers. La condensation peut aussi se former par capillarité avec des humidités relatives très inférieures à 100%.

En général, la condensation ne peut être détectée de façon certaine que par vérification visuelle. Cependant, cela n'est pas toujours réalisable, en particulier avec de petits objets ayant une surface rugueuse.

5.2 Adsorption

La quantité d'humidité qui peut adhérer à la surface dépend du type de matériau, de l'état de sa surface et de la pression de vapeur. Une estimation des effets dus à l'adsorption seule n'est pas aisée, car les effets d'absorption qui se manifestent en même temps sont en général plus marqués.

Condensation occurs on a specimen when introduced into a test chamber if its surface temperature is lower than the dew-point temperature of the chamber air. Therefore, it may be necessary to pre-heat the specimen if condensation is not wanted.

When condensation is wanted on the specimen during the conditioning period the temperature and the water content of the air must rise so fast that a difference between dew-point temperature and surface temperature is achieved.

If the specimen has a low thermal time constant, condensation occurs only if the temperature of the air increases very rapidly, or if the relative humidity is very close to 100%. With the rate of temperature rise prescribed for Test Db and Test Z/AD, condensation may not occur on very small specimens.

The relative humidity $r h$ required for condensation to occur on a surface with a thermal time constant τ (s) (depending also on the velocity of the air in the test chamber) during the temperature rise is given by:

$$r h > 100 \left(1 - 0,05 \tau \frac{\Delta \theta}{\Delta t} \right)$$

where

$\frac{\Delta \theta}{\Delta t}$ is the mean rate of change of the chamber air temperature

Example: for a Test Db with the test run at +25 °C/+55 °C,

$$\frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{55-25}{3 \ 60 \ 60} \approx 0,0028 \text{ °C/s}$$

For a small component with $\tau = 1$ min, the $r h$ needed to ensure condensation is then 99,2%

Small amounts of condensation may be found on the inner surface of casings subsequent to a fall in ambient temperature. In capillaries condensation may also occur at relative humidities much lower than 100%.

In general, condensation can only be detected unambiguously by visual inspection. However, this is not always possible, especially with small objects having a rough surface.

5.2 Adsorption

The amount of humidity that may adhere to the surface depends on the type of material, its surface structure and the vapour pressure. A separate evaluation of the adsorption effects is not easy because the effects of the simultaneously occurring absorption are usually more evident.

5 3 Absorption

La quantité d'humidité qui sera absorbée dépend en grande partie de l'eau contenue dans l'air ambiant. Le processus d'absorption se déroule de façon continue jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint. La vitesse de pénétration des molécules d'eau augmente en général avec la température.

5 4 Diffusion

Un exemple de diffusion qui se rencontre souvent en électronique est la pénétration de la vapeur d'eau à travers des encapsulations en matériau organique, par exemple dans un condensateur ou un semi-conducteur à travers du mastic de scellement dans le boîtier.

6 Accélération des processus physiques

6 1 Généralités

Le but d'un essai est d'obtenir, dans la mesure du possible, les mêmes variations de caractéristiques que celles qui se produiraient dans l'environnement normal de fonctionnement. L'objet de l'accélération d'un essai consiste à obtenir en un temps plus court les mêmes effets que ceux rencontrés dans les conditions normales. Il faut cependant souligner que les différents processus de défaillance ont plus de chances de se produire avec ces conditions sévères qu'avec des conditions normales d'utilisation.

La sévérité de l'essai doit être choisie en tenant compte des conditions extrêmes de service et de stockage pour lesquelles un produit est fabriqué.

Alors que le temps requis pour les processus de condensation et d'adsorption est en général plutôt court, des temps beaucoup plus longs - jusqu'à plusieurs milliers d'heures - peuvent être nécessaires pour les processus d'absorption et de diffusion avant qu'un état d'équilibre soit atteint.

6 2 Facteur d'accélération

Il n'est pas possible de donner un facteur d'accélération valable dans tous les cas pour les essais de chaleur humide. L'accélération d'un essai de chaleur humide peut être obtenue par une température plus élevée pour une humidité relative donnée. Le facteur d'accélération peut seulement être déterminé si la relation entre la vitesse de pénétration, la température et la pression de vapeur est connue ou peut être établie de façon empirique.

Pour des essais comparatifs, un haut degré d'accélération peut être utile et on peut l'envisager si le mécanisme de défaillance est le même pour tous les spécimens.

Dans la simulation des effets des conditions réelles d'humidité et de température par un essai continu de chaleur humide, une accélération peut être obtenue

- soit en appliquant pour l'essai une température et/ou une humidité plus élevées que celles des conditions réelles;

5 3 *Absorption*

The quantity of moisture which will be absorbed depends largely on the water content of the ambient air. The absorbing process proceeds steadily until equilibrium is established. The speed of penetration of the water molecules generally increases with the temperature.

5 4 *Diffusion*

An example of diffusion which is frequently found in electronic engineering is the penetration of water vapour through encapsulations of organic material, for example into a capacitor or semi-conductor through the sealing compound into the casing.

6 **Physical processes acceleration**

6 1 *General*

The aim of a test is to obtain as far as possible the same changes of characteristics as would occur in the normal service environment. The object of the "acceleration" of a test is that it can be completed in a much shorter time than that required to obtain similar effects under normal conditions of use. It must be emphasized, however, that different failure mechanisms may occur under these severe conditions than would occur under the normal conditions of use.

The severity of the test should be chosen by taking into account the limiting conditions of service and storage for which a product is constructed.

While the time required for condensation and adsorption processes is in general rather short, much longer periods of time - up to several thousand hours - may be needed for the absorption and diffusion processes before the equilibrium state is reached.

6 2 *Acceleration factor*

It is not possible to give a generally valid acceleration factor for damp heat tests. Acceleration of a damp heat test may be achieved by using a higher temperature at a given relative humidity. The acceleration factor can only be determined if the relationship between penetration speed, temperature, and vapour pressure is known, or can be established empirically.

For comparative tests, a high degree of acceleration may be useful and admissible if the failure mechanism does not change for the different specimens.

In the simulation of the effects of actual conditions of humidity and temperature by use of a damp heat, steady state test an acceleration can be achieved by

- either using a temperature and/or humidity for the test which is higher than in actual conditions; or,

- soit, dans le cas où l'environnement réel est caractérisé par des périodes alternées humidité/température élevées et humidité/température plus modérées, en considérant seulement les périodes humidité/température élevées et en négligeant les périodes humidité/température modérées. Dans le second cas, le spécimen subira des périodes de séchage qui ne sont pas simulées dans l'essai continu de chaleur humide. Cela peut éventuellement influencer sur la signification de l'essai.

7 Comparaison entre les essais continus et les essais cycliques

7.1 Essais continus Ca et Cb

Les essais continus devraient toujours être utilisés lorsque l'adsorption ou l'absorption joue le rôle principal. Ils devraient aussi être utilisés lorsqu'il est nécessaire de simuler un environnement humide dont les conditions de température et d'humidité sont maintenues presque constantes.

7.1.1 Essai Ca

L'essai Ca est destiné en premier lieu aux composants, il est utilisé pour vérifier leur résistance à une exposition de longue durée en environnement humide. Dans beaucoup de cas, cet essai est appliqué pour déterminer si les caractéristiques électriques d'un matériau demeurent inchangées dans une atmosphère humide. Il peut aussi être utilisé pour vérifier la protection d'un composant ou d'un ensemble par une encapsulation et pour détecter la faiblesse des produits électriques par rapport à la diffusion de vapeur d'eau, etc.

7.1.2 Essai Cb

L'essai Cb est destiné en premier lieu à un équipement lorsqu'il est souhaitable de déterminer sa réponse à des conditions d'humidité élevées et qu'il y a absence de condensation. Quand un environnement de chaleur humide continue est nécessaire, cet essai est particulièrement adapté pour des équipements volumineux ou des équipements présentant des interconnexions complexes avec des moyens d'essais extérieurs à la chambre, qui nécessitent un temps de réglage ne permettant pas l'utilisation de préchauffage et le maintien des conditions spécifiées pendant la période d'installation.

La procédure d'essai est définie de manière telle que la condensation ne se forme pas sur le spécimen, mis à part les dispositifs éventuels de refroidissement rapide dont la température est inférieure au point de rosée de l'atmosphère d'essai. Pour les spécimens dissipant de l'énergie, la procédure d'essai assure une bonne simulation des conditions d'air calme et tient compte des effets de l'échauffement propre du spécimen sur son environnement immédiat.

7.2 Essai cyclique Db

Lorsqu'un essai cyclique de chaleur humide est approprié, l'essai Db peut être utilisé pour tous les types de spécimens. Les essais cycliques devraient être appliqués dans tous les cas où les effets de condensation ou de pénétration et d'accumulation de vapeur d'eau par respiration sont importants.

- in cases where the actual environment is characterized by alternate periods of high humidity/temperature and more moderate humidity/temperature, by taking into account only the periods of high humidity/temperature and neglecting the periods of moderate humidity/temperature. In the latter case the specimen will have periods of drying which are not simulated in the damp heat, steady state test. This could affect the significance of the test.

7 Comparison of steady state and cyclic tests

7.1 Steady state tests, Test Ca and Test Cb

The steady state tests should always be used where adsorption or absorption play the main role. They should also be used when it is required to simulate a humid environment which remains at almost steady conditions of temperature and humidity.

7.1.1 Test Ca

Test Ca is primarily intended to be applied to components and is used to assess the resistance of components to long-term exposure to a humid environment. In many cases this test is applied to determine whether the electrical characteristics of a material are maintained in a humid atmosphere. It may also be used to assess the protection given to a component or an assembly by an encapsulation and to detect weaknesses in electrical products with regard to the diffusion of water vapour, etc.

7.1.2 Test Cb

Test Cb is primarily intended to be applied to equipment if it is desired to determine its response to high humidity conditions when condensation is absent. When a steady state, damp heat environment is required this test is particularly applicable for large equipment or for equipment having complex interconnection with test equipment external to the chamber, requiring a set-up time which prevents the use of pre-heating and maintenance of specified conditions during the installation period.

The test procedure is designed in such a way that condensation should not occur on the specimen except on any active cooling devices which have a temperature below the dew-point of the test atmosphere. In the testing of heat-dissipating specimens the test procedure ensures a good simulation of free air conditions and takes account of the effects of the specimen self-heating on the environment in the immediate vicinity of the specimen.

7.2 Cyclic test, Test Db

When a cyclic damp heat test is appropriate, Test Db may be used for all types of specimen. Cyclic tests should be applied in all cases where the effects of condensation, or of the ingress and accumulation of water vapour by breathing, are important.

La variante 1 devrait être appliquée dans tous les cas où les effets d'absorption ou de pénétration et d'accumulation de vapeur d'eau par respiration sont importants

La variante 2 nécessite un équipement d'essai moins sophistiqué et peut être utilisée dans les cas où ces effets sont d'importance mineure

L'essai d'étanchéité Q permet de détecter rapidement les fuites qui peuvent favoriser la respiration, néanmoins, il ne peut reproduire les effets d'un essai cyclique d'humidité

7 3 Séquences d'essais et essais composites

Une méthode éprouvée pour déterminer l'étanchéité des joints ou détecter les craquelures consiste à appliquer un ou plusieurs cycles de température. Dans la plupart des cas, il n'est cependant pas nécessaire de combiner la variation de température avec l'atmosphère humide, c'est-à-dire d'appliquer les deux conditions simultanément

L'effet désiré peut être rendu plus sévère lorsque l'essai N Variations de température, est appliqué avant le plus approprié des essais C ou Db. L'effet sera aussi accru si l'essai d'humidité est immédiatement suivi de l'essai A Froid. La variation rapide de la température de l'essai N, associée à un grand écart de température, produit une contrainte thermique beaucoup plus importante que l'essai Db dans lequel la vitesse de variation de la température est plutôt faible

Un essai composite comportant plusieurs cycles de chaleur humide et un cycle de froid est recommandé lorsque des spécimens composés de différents matériaux et comportant des joints, spécialement en verre cimenté, doivent être essayés. Un essai de ce type est spécifié dans la Publication 68-2-38 de la CEI, Essai Z/AD; il diffère des autres essais cycliques de chaleur humide par sa plus grande efficacité due à un plus grand nombre de variations de température dans un temps donné, une température supérieure plus élevée et, en plus, un certain nombre d'excursions vers des températures en dessous de zéro. La respiration accélérée et le gel de l'eau emprisonnée dans les craquelures ou les fissures constituent l'effet essentiel de l'essai composite

L'introduction des cycles froids entre les cycles d'humidité est destinée à geler l'eau qui peut avoir été retenue dans les défauts et, par dilatation due au gel, à transformer ces défauts en défauts plus rapidement que cela ne se produirait au cours d'un fonctionnement normal

Il est à noter, cependant, que l'effet de gel ne se produira que si les dimensions des fissures sont suffisamment grandes pour permettre la pénétration d'une certaine quantité d'eau comme c'est normalement le cas dans les fissures entre les jonctions et les assemblages métalliques ou entre les joints et les fils de sorties

Pour les petites craquelures ou les matériaux poreux, par exemple dans une encapsulation en matière plastique, l'effet d'absorption prédominera et un essai continu de chaleur humide est choisi de préférence pour mettre en évidence ces effets

Variant 1 should be applied in all cases where the effects of absorption, or of the ingress and accumulation of water vapour by breathing are important

Variant 2 requires less sophisticated test equipment and can be used in cases where these effects are of minor importance

Test Q, Sealing, can quickly detect leaks which may permit breathing, however, it cannot reproduce the effects of a cyclic humidity test

7.3 Sequences of tests and composite tests

A proven method to determine the tightness of joints or to detect hairline cracks is to apply one or more temperature cycles. In most cases, however, it is not necessary to combine the temperature change with the humid atmosphere, i.e., to produce the two conditions simultaneously

The desired effect can be made more stringent when Test N Change of temperature, is applied followed by Test C or Test Db as appropriate. The effect will also be enhanced if the humidity test is immediately followed by Test A Cold. The high rate of temperature change of Test N, combined with a large temperature difference produces a much greater thermal stress than Test Db where the rate of change of temperature is rather slow.

A composite test consisting of several damp heat cycles and a cold cycle is recommended when specimens composed of different materials and including joints, especially specimens including cemented glass joints, are to be tested. Such a test is specified in IEC Publication 68-2-38, Test Z/AD, and differs from other cyclic damp heat tests in that it derives its added effectiveness from a greater number of temperature variations in a given time, a higher upper temperature, and the addition of a number of excursions to sub-zero temperatures. The accelerated breathing and the effect of the freezing of trapped water in cracks or fissures are the essential effects of the composite test.

The introduction of cold cycles between the humidity cycles is intended to freeze water which may have been retained in any defects and by expansion due to freezing, to convert such defects into faults more rapidly than would occur during normal life.

It is emphasized, however, that the freezing effect will only occur if the fissure dimensions are large enough to allow the penetration of a coherent mass of water as is normally the case in the fissures between seals and metal assemblies or between seals and wire terminations.

For small hairline cracks or porous materials, for example in plastic encapsulation, the absorption effect will prevail and a steady state, damp heat test is preferred for investigating these effects.

8 Influence d'un essai d'environnement sur les spécimens

8 1 Variation des caractéristiques physiques

Dans une atmosphère humide, les caractéristiques mécaniques et optiques des matériaux peuvent varier

Exemples: variations dimensionnelles par gonflement, variation de caractéristiques de surface comme le coefficient de friction, variation de résistance, etc

Pour déterminer de telles variations de caractéristiques, compte tenu de l'application, un essai continu ou cyclique convient selon que la condensation est requise ou non

8 2 Variation des caractéristiques électriques

8 2 1 Avec l'humidité de surface

Si la surface d'un matériau isolant est affectée par la condensation ou par une certaine quantité d'humidité adsorbée, certaines caractéristiques électriques peuvent varier, comme la diminution de la résistance superficielle, l'augmentation de l'angle de pertes, etc. Par ailleurs, des courants de fuite peuvent apparaître

En général, les essais Db ou Z/AD sont appliqués dans ces cas-là. Si, pour une application donnée, seule l'adsorption est à considérer, les essais Ca ou Cb devraient être utilisés

Dans certains cas, les spécimens doivent être mis en fonctionnement alimentés ou mesurés pendant l'épreuve. En général, les variations des caractéristiques électriques dues à l'humidité en surface se manifestent après quelques minutes.

8 2 2 Avec pénétration d'humidité

L'humidité absorbée par un matériau isolant peut provoquer la variation d'un certain nombre de caractéristiques électriques, comme la diminution de la rigidité diélectrique, la diminution de la résistance d'isolement, l'augmentation de l'angle de pertes, l'augmentation de la capacité.

Puisque les processus d'absorption et de diffusion se produisent sur de longues périodes et que l'état d'équilibre est atteint seulement après plusieurs centaines ou même milliers d'heures, de longues durées d'épreuves devraient être choisies en conséquence. L'extrapolation des résultats de l'essai n'est possible que si la relation avec le temps est connue. Ainsi, par exemple, une encapsulation en matière plastique qui semble avoir une tenue satisfaisante après 56 jours d'exposition à l'essai Ca peut être dégradée au bout de six mois à cause de l'absorption ou de la diffusion d'une trop grande quantité d'humidité.

L'évaluation de l'influence de l'humidité ayant pénétré peut se révéler problématique lorsque les parties fonctionnelles de l'encapsulation ont une protection supplémentaire contre l'humidité, assurée par exemple, par la passivation des semi-conducteurs, par l'inclusion d'agents desséchants, etc.

8 Influence of test environment on specimens

8 1 *Change of physical characteristics*

In a humid atmosphere, mechanical and optical characteristics of materials may change

Example: dimensional changes by swelling, variation of surface characteristics such as the coefficient of friction, change of strength, etc

The determination of such changes of characteristics depends on whether a steady-state or a cyclic test is appropriate, and whether or not condensation should be required

8 2 *Change of electrical characteristics*

8 2 1 *With surface moisture*

If the surface of an insulating material is affected by condensation or by a certain amount of adsorbed humidity, certain electrical characteristics can change, such as decrease of surface resistance, increase of loss angle etc. Moreover, leakage currents can occur

In general, Test Db or Test Z/AD is applied in these cases. If for a given application only adsorption is relevant, Test Ca or Test Cb should be used

In certain cases, the specimens have to be switched on loaded or measured during conditioning. In general, changes of electrical characteristics due to surface moisture become evident after some minutes

8 2 2 *With penetrated moisture*

The moisture absorbed by an insulating material can cause a variation in a number of electrical characteristics, such as decrease of dielectric strength, decrease of insulation resistance, increase of loss angle, increase of capacitance

Since the absorption and diffusion processes occur over long periods of time and the equilibrium state is reached only after some hundreds or even thousands of hours, long conditioning times should be chosen accordingly. The extrapolation of test results is only possible if the time dependency is known. As an example, plastic encapsulation which appears satisfactory after 56 days of exposure to Test Ca may have deteriorated after six months due to the absorption or diffusion of too high a quantity of moisture

The evaluation of the influence of penetrated moisture may become difficult when the functional parts in the encapsulation are additionally protected against humidity, for example by the passivation of semi-conductors, by enclosing drying agents, etc

8 3 Corrosion

La plupart des types de corrosion ne peuvent se produire qu'en présence d'une quantité suffisante d'humidité. Une augmentation d'humidité ou de température accélère l'effet de corrosion; les détériorations les plus importantes par la corrosion se produiront en général lors de condensations fréquentes avec réévaporation (voir également la Publication 355 de la CEI).

En général, les essais de chaleur humide ne devraient pas être utilisés pour la détermination des effets de corrosion. Toutefois, des substances étrangères déposées sur des surfaces métalliques, par exemple des résidus de flux, ou d'autres résidus liés aux procédés de fabrication (poussière, empreintes de doigts, etc.), peuvent produire ou favoriser des effets de corrosion en présence d'humidité.

Les joints entre différents métaux ou entre un métal et un matériau non métallique peuvent être à l'origine de phénomènes de corrosion en présence de condensation ou d'humidité relative élevée, même sans agent polluant.

8 3 Corrosion

Most kinds of corrosion can occur only when sufficient humidity is present. With increasing humidity or temperature the corrosion effect is accelerated, the most severe deterioration by corrosion will in general occur when there is frequent condensation with re-evaporation (see also IEC Publication 355).

In general, damp heat tests should not be used for determination of corrosion effects, but when foreign substances are deposited on metallic surfaces, for example flux residues, other residues of manufacturing processes, dirt, fingerprints, etc., these may produce or promote corrosion in the presence of humidity.

Joints between different metals or between metal and a non-metallic material can be a source of corrosion when condensation or a high relative humidity is present even without pollutants.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60068-2-28:1990

ANNEXE A

DIAGRAMME DES EFFETS DE L'HUMIDITE

A1 Généralités

Le diagramme ci-après indique les phénomènes physiques fondamentaux engendrés par les essais d'humidité et montre les relations entre ces phénomènes, les caractéristiques technologiques de construction des spécimens ou les matériaux qu'ils contiennent et les effets de l'essai

Les symboles ci-dessous correspondant aux différents paramètres d'essai ont été placés dans les "cases" du diagramme lorsque cela semblait approprié ou lorsqu'on a estimé que les connaissances actuellement acquises le justifiaient

Temps (durée totale de l'épreuve)	t
Température	θ
Différence de température	$\Delta\theta$
Gradient de variation de température	$d\theta/dt$
Humidité relative	h_r
Différence d'humidité relative	Δh_r
Humidité absolue	h_a
Degré d'impureté de l'atmosphère d'essai	P_u

A2 Notes explicatives

A2 1 Pénétration d'eau

Une distinction est faite entre les mécanismes de pénétration dans les matériaux solides et ceux dus à des fuites dans les boîtiers

a) Dans les matériaux solides, la pénétration est due à une "diffusion en masse", c'est-à-dire à un mouvement de molécules d'eau isolées à travers des vides moléculaires existant dans les solides. Ce mécanisme donne naissance au phénomène d'"absorption". La diffusion en masse peut permettre à des molécules d'eau d'atteindre des parties sensibles d'un dispositif entouré de matériaux protecteurs (par exemple le film résistif d'une résistance à couche noyée dans un enrobage plastique). Par le même processus, les molécules d'eau peuvent atteindre les cavités internes des boîtiers, dans ce cas, la désorption, inverse de l'absorption, est le processus final par lequel l'humidité est transférée dans la cavité

b) La pénétration à travers les fuites est due au mouvement de la vapeur d'eau dans l'air ou le long des masses d'air remplissant les conduits et les boîtiers. On distingue trois types de mécanismes

Diffusion le mouvement des molécules d'eau est dû à un gradient de concentration le long du gaz dans les fuites, indépendamment d'un flux macroscopique quelconque de l'air

Écoulement: les molécules d'eau sont drainées à travers les fuites par écoulement de l'air

APPENDIX A

HUMIDITY EFFECTS DIAGRAM

A1 General

The following diagram shows the basic physical processes involved in humidity testing and the links between these processes, the constructional features of the materials or the specimen, and the effects of the test

Where applicable or where there is felt to be sufficient knowledge at present available to justify it, symbols corresponding to the various test parameters listed below have been inserted in the various "boxes"

Time (total duration of conditioning)	t
Temperature	θ
Difference of temperature	$\Delta\theta$
Rate of change of temperature	$d\theta/dt$
Relative humidity	$r\ h$
Difference of relative humidity	$\Delta r\ h$
Absolute humidity	$a\ h$
Degree of impurities present in the test atmosphere	P_u

A2 Explanatory notes

A2 1 Water penetration

A distinction is made between mechanisms of penetration in solid materials and through leaks in enclosures

a) In solid materials penetration is due to "bulk diffusion" i.e., a movement of single water molecules through molecular voids existing in solids. This mechanism gives rise to the phenomenon of "absorption". Bulk diffusion can allow water molecules to reach sensitive parts of a device surrounded by protective materials (e.g., to the resistive film of a film resistor embedded in a plastic envelope). By the same process water molecules can reach internal cavities in enclosures, in this case desorption, the inverse of absorption, is the end-process whereby moisture is transferred into the cavity

b) Penetration through leaks is due to water vapour movement in or along the air filling leakage channels or enclosures. Three indicated mechanisms are distinguished by

Diffusion: the movement of water molecules is due to a concentration gradient along the gas in the leak, independently from any macroscopic flow of the air

Flow water molecules are drawn through the leak with the air flow

Respiration avec la signification particulière accordée ici au mot "respiration", la vapeur d'eau s'écoule le long des fuites sous l'action des fluctuations dans les écarts des pressions totales ou partielles le long des fuites par exemple, à cause des fluctuations de température

Note - La distinction entre les mécanismes de pénétration à travers les fuites est quelque peu arbitraire; en fait, il y a une transition continue entre diffusion et écoulement, et ce dernier peut être une conséquence de la respiration

A2 2 *Phénomènes physiques*

Voir l'article 5

A2 3 *Effets*

Voir l'article 8

A2 4 *Exemples d'effets*

La dernière ligne donne quelques exemples typiques de ces effets. Il faut bien préciser qu'il ne s'agit que de quelques exemples et que d'autres effets peuvent résulter de ces phénomènes physiques.

Les "cases" de cette ligne ne devraient pas être considérées comme entièrement séparées puisque des interactions entre ces divers effets sont à la fois possibles et probables.

Cela est mentionné dans la quatrième case à partir de la gauche où des réactions chimiques entre l'humidité et les matériaux peuvent, comme il est indiqué, conduire à des variations de résistivité transversale, d'angle de pertes, etc. C'est une des interactions les plus évidentes, mais il y en a sans aucun doute bien d'autres.

Breathing: in the specialized meaning applicable here water vapour flows along the leak due to fluctuation of the difference in total or partial pressure along the leak, e g , due to temperature fluctuations

Note - The discrimination between the mechanisms of penetration through leaks is somewhat arbitrary; in fact there is a continuous transition between diffusion and flow, and flow can be a consequence of breathing

A2 2 *Physical process*

See Clause 5

A2 3 *Effects*

See Clause 8

A2 4 *Examples of effects*

The last line lists typical examples of these effects, but it must not be assumed that the examples quoted are necessarily the only ones which can result from these physical processes

The "boxes" in this line should not be considered as being completely separate since interaction between the various effects is both possible and probable

This is indicated in the fourth box from the left, where chemical reactions between materials and moisture are indicated as possibly leading to changes in volume resistivity, loss angle, etc , and whilst this is one of the more obvious interactions there are undoubtedly many others

DIAGRAMME DES EFFETS DE L'HUMIDITE

