

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
68-2-9**

Première édition
First edition
1975

**Essais fondamentaux climatiques
et de robustesse mécanique**

Deuxième partie: Essais

Guide pour l'essai de rayonnement solaire

Basic environmental testing procedures

Part 2: Tests

Guidance for solar radiation testing



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 68-2-9: 1975

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 électrotechnique*;
- 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.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
68-2-9**

Première édition
First edition
1975

**Essais fondamentaux climatiques
et de robustesse mécanique**

Deuxième partie: Essais
Guide pour l'essai de rayonnement solaire

Basic environmental testing procedures

Part 2: Tests
Guidance for solar radiation testing

© CEI 1975 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

Q

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Historique du guide pour l'essai de rayonnement solaire	6
AVERTISSEMENT	8
Articles	
1. Introduction	8
2. Eclairement énergétique et répartition spectrale de la source d'essai	8
3. Procédure d'essai et durée	10
4. Autres facteurs d'environnement à considérer	10
5. Source de rayonnement	12
6. Instrumentation	16
7. Préparation des moyens d'essais et des spécimens	18
8. Interprétation des résultats	20
9. Risques et sécurité du personnel	22
BIBLIOGRAPHIE	26
FIGURES	28
ANNEXE A – Calcul de l'ajustement d'éclairement énergétique	30
ANNEXE B – Transfert de chaleur à travers le substrat	33

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Historical survey of guidance for solar radiation testing	7
WARNING NOTE	9
Clause	
1. Introduction	9
2. Irradiance and spectral distribution of test source	9
3. Test procedure and duration	11
4. Other environmental factors to be considered	11
5. Radiation source	13
6. Instrumentation	17
7. Preparation of test facilities and specimens	19
8. Interpretation of results	21
9. Hazards and personnel safety	23
BIBLIOGRAPHY	26
FIGURES	28
APPENDIX A – Calculation of adjustment to irradiance	31
APPENDIX B – Heat transfer through substrate	33

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESSAIS FONDAMENTAUX CLIMATIQUES ET DE ROBUSTESSE MÉCANIQUE

Deuxième partie: Essais – Guide pour l'essai de rayonnement solaire

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 l'unification internationale, la CEI exprime le vœu 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.

PRÉFACE

La présente publication a été établie par le Comité d'Etudes n° 50 de la CEI: Essais climatiques et mécaniques.

Un premier projet fut discuté lors de la réunion tenue à Leningrad en 1971, à la suite de laquelle un nouveau projet, document 50(Bureau Central)171, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en juillet 1973.

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

Afrique du Sud (République d')	Japon
Allemagne	Norvège
Australie	Pays-Bas
Belgique	Portugal
Canada	Roumanie
Danemark	Royaume-Uni
Espagne	Suède
Etats-Unis d'Amérique	Suisse
Hongrie	Tchécoslovaquie
Inde	Turquie
Israël	Union des Républiques
Italie	Socialistes Soviétiques

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

BASIC ENVIRONMENTAL TESTING PROCEDURES

Part 2: Tests – Guidance for solar radiation testing

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

A first draft was discussed at the meeting held in Leningrad in 1971, as a result of which a new draft, document 50(Central Office)171, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in July 1973.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Norway
Belgium	Portugal
Canada	Romania
Czechoslovakia	South Africa (Republic of)
Denmark	Spain
Germany	Sweden
Hungary	Switzerland
India	Turkey
Israel	Union of Soviet
Italy	Socialist Republics
Japan	United Kingdom
Netherlands	United States of America

HISTORIQUE DU GUIDE POUR L'ESSAI DE RAYONNEMENT SOLAIRE

Première édition (1975)

Aucune édition précédente de la Publication 68 de la CEI ne contient d'essai de rayonnement solaire.

Comme spécifications immédiatement connexes, voir:

Publication 68-1: Généralités.

Publication 68-2-5: Essai Sa: Rayonnement solaire artificiel au niveau du sol.

HISTORICAL SURVEY OF GUIDANCE FOR SOLAR RADIATION TESTING

First edition (1975)

No previous editions of IEC Publication 68 have contained a solar radiation test.

For directly related specifications, see:

Publication 68-1: General.

Publication 68-2-5: Test Sa: Simulated Solar Radiation at Ground Level.

ESSAIS FONDAMENTAUX CLIMATIQUES ET DE ROBUSTESSE MÉCANIQUE

Deuxième partie: Essais – Guide pour l'essai de rayonnement solaire

AVERTISSEMENT

Les éventuels utilisateurs d'essais de radiation solaire sont avertis des risques pour la santé encourus lors des essais de cette nature et devraient lire, en conséquence, l'article 9 de la présente publication et prendre bonne note de son contenu.

1. Introduction

La présente publication décrit des méthodes de simulation destinées à examiner l'effet du rayonnement solaire sur équipements et composants à la surface de la terre. Les principales caractéristiques de l'environnement à simuler sont la distribution spectrale d'énergie du soleil, observée à la surface de la terre, et l'intensité de l'énergie reçue en combinaison avec des conditions de température contrôlées. Cependant, il peut être nécessaire de considérer des combinaisons de rayonnement solaire – y compris rayonnement du ciel – avec d'autres environnements, par exemple température, humidité, vitesse d'air, etc.

2. Eclairement énergétique et répartition spectrale de la source d'essai

L'effet de rayonnement sur le(s) spécimen(s) dépendra du niveau d'éclairement énergétique et de sa répartition spectrale.

2.1 Eclairement énergétique

L'éclairement énergétique par le soleil sur un plan perpendiculaire au rayonnement incident, hors de l'atmosphère terrestre, à la distance moyenne terre/soleil est connu comme étant la constante solaire E_0 [12].*

L'éclairement énergétique à la surface de la terre est influencé par la constante solaire, l'atténuation et la réfraction du rayonnement dans l'atmosphère. En vue d'essai, le Comité d'Etudes n° 2.2 de la CIE a recommandé la valeur de 1,120 kW/m² pour le rayonnement global (total) à la surface de la terre en provenance du soleil et du ciel, le soleil étant au zénith; valeur fondée sur une constante solaire $E_0 = 1,35$ kW/m² [22].

2.2 Répartition spectrale

La répartition spectrale type du rayonnement global, spécifiée pour cet essai en accord avec les recommandations de la CIE, est donnée dans le tableau I de l'essai Sa [22] de la Publication 68-2-5 de la CIE. Quand seuls les effets thermiques présentent un intérêt, des lampes à filament de tungstène peuvent être autorisées. Cependant, il doit être clair que la répartition spectrale des lampes à filament de tungstène diffère nettement de celle du rayonnement solaire naturel (voir la figure 2, page 29) et l'éclairement énergétique doit être ajusté conformément au paragraphe 2.3 ci-dessous.

2.3 Eclairement énergétique à utiliser avec une autre répartition spectrale

Si la source de rayonnement utilisée pour l'essai ne reproduit pas la répartition spectrale type du tableau I de l'essai Sa, par exemple en cas d'utilisation de lampes à filament de tungstène (autorisées si l'essai n'a pour but que d'apprécier les effets thermiques), l'éclairement énergétique doit être ajusté de manière que l'effet d'échauffement soit le même que si le ou les spécimens étaient irradiés par le rayonnement global du soleil et du ciel. Pour cela, le rayonnement absorbé en provenance de la source d'essai doit être le même que pour le rayonnement global du soleil et du ciel, c'est-à-dire:

* Tous les numéros entre crochets [] renvoient à la bibliographie, pages 26 et 27.

BASIC ENVIRONMENTAL TESTING PROCEDURES

Part 2: Tests – Guidance for solar radiation testing

WARNING NOTE

Intending users of solar radiation tests are directed to the health hazards associated with tests of this nature and should therefore read Clause 9 of this publication and take particular note of its contents.

1. Introduction

This publication describes methods of simulation designed to examine the effect of solar radiation on equipment and components at the surface of the earth. The main characteristics of the environment to be simulated are the spectral energy distribution of the sun, as observed at the earth's surface, and the intensity of received energy, in combination with controlled temperature conditions. However, it may be necessary to consider combination of solar radiation – including sky radiation – with other environments, e.g. temperature, humidity, air velocity, etc.

2. Irradiance and spectral distribution of test source

The effect of radiation on the specimen(s) will depend on the level of irradiance and its spectral distribution.

2.1 Irradiance

The irradiance by the sun on a plane perpendicular to the incident radiation outside the earth's atmosphere at the mean earth-sun distance is known as the solar constant E_0 [12].*

The irradiance at the surface of the earth is influenced by the solar constant and the attenuation and scattering of radiation in the atmosphere. For test purposes, CIE Technical Committee No. 2.2 has recommended a value of 1.120 kW/m² for the global (total) radiation at the surface of the earth from sun and sky, with the sun at zenith; value based on a solar constant $E_0 = 1.35$ kW/m² [22].

2.2 Spectral distribution

The standard spectral distribution of the global radiation specified for this test, in accordance with the recommendations of the CIE [22], is given in Table I of Test Sa of IEC Publication 68-2-5. Where only the thermal effects of solar radiation are of interest, then the use of tungsten filament lamps may be permitted. However, it must be clearly understood that the spectral distribution of tungsten filament lamps differs markedly from that of natural solar radiation (see Figure 2, page 29) and the irradiance shall be adjusted in accordance with Sub-clause 2.3 below.

2.3 Irradiance to be used with other spectral distribution

If the source of radiation used for the test does not meet the standard spectral distribution given in Table I of Test Sa, e.g. where tungsten filament lamps are used (permissible if the test is solely to assess thermal effects), the irradiance shall be adjusted so that the heating effect is the same as if the test specimen (s) were irradiated by the global radiation of sun and sky. Therefore, the absorbed radiation from the test source shall be the same as for the global radiation of sun and sky, i.e.:

* All the numbers in square brackets [] refer to the Bibliography, pages 26 and 27.

$$E_{\text{ex}} = 1,120 \frac{a_{\text{es}}}{a_{\text{ex}}} \text{ kW/m}^2$$

où:

E_{ex} = éclairage énergétique en provenance de la source d'essai

a_{ex} = facteur d'absorption du spécimen pour le rayonnement de la source d'essai

a_{es} = facteur d'absorption du spécimen pour le rayonnement global du soleil et du ciel

(Voir aussi l'annexe A.)

3. Procédure d'essai et durée

3.1 On doit prendre en considération la durée d'exposition et le fait qu'elle soit continue ou intermittente. Trois procédures au choix sont spécifiées:

Procédure A

Un cycle de 24 h comprenant 8 h d'irradiation et 16 h d'obscurité, répété le nombre de fois demandé. (Cela donne une exposition énergétique de 8,96 kWh/m² par cycle journalier, ce qui représente approximativement les conditions naturelles les plus sévères. La procédure A devrait être prescrite lorsque l'intérêt principal réside dans les effets thermiques.)

Procédure B

Un cycle de 24 h comprenant 20 h d'irradiation et 4 h d'obscurité, répété le nombre de fois demandé. (Cela donne une exposition énergétique de 22,4 kWh/m² par cycle journalier et est applicable lorsque l'intérêt principal réside dans les effets de dégradation.)

Procédure C

Irradiation continue, suivant prescriptions. (Un essai simplifié, applicable lorsque la contrainte thermique cyclique est sans importance et qu'il s'agit d'apprécier seulement les effets photochimiques. Aussi pour l'appréciation des effets thermiques sur des échantillons de faible chaleur spécifique.)

3.2 Le niveau d'éclairage énergétique, prescrit dans l'essai Sa, est de 1,120 kW/m² ± 10 %. Une accélération de l'essai par augmentation de l'irradiation au-dessus de ce niveau n'est pas recommandée. Comme indiqué ci-dessus, l'irradiation journalière totale, se rapprochant des conditions naturelles les plus sévères est simulée par la procédure A avec une durée d'exposition de 8 h par jour dans les conditions de l'irradiation type. Ainsi, une exposition pendant des périodes excédant 8 h conduira à une accélération au-delà des conditions naturelles. De toute façon, une exposition continue de 24 h, procédure C, pourrait masquer un effet de dégradation par contrainte thermique cyclique, et cette procédure n'est, pour cette raison, généralement pas recommandée dans ce cas.

3.3 La durée nécessaire dépendra du but de l'essai. Dans le cas où l'on ne s'intéresse qu'aux effets d'échauffement, trois cycles devraient suffire (sauf pour les grands appareils qui atteindront moins vite la température interne maximale. Une durée d'essai bien plus longue est nécessaire s'il s'agit de mesurer les effets de dégradation.

4. Autres facteurs d'environnement à considérer

4.1 *Température intérieure de l'enceinte*

La température à l'intérieur de l'enceinte pendant les périodes d'exposition énergétique et d'obscurité doit être contrôlée conformément à la procédure spécifiée (A, B ou C). La spécification particulière précisera si la température de + 40 °C ou de + 55 °C doit être atteinte pendant la période d'exposition énergétique, cela dépendant de l'usage prévu de l'équipement ou du composant.

4.2 *Humidité*

Différentes conditions d'humidité peuvent influencer notablement sur la dégradation photochimique des matériaux, peintures, plastiques, etc., mais les exigences sont si variées qu'aucune tentative n'a été faite ici pour fournir un guide sur ce sujet. Les exigences particulières doivent être clairement fixées dans la spécification particulière, par exemple une période de 4 h de chaleur humide (40 ± 2 °C et 93 % H. R. ± 3 %) peut être spécifiée au commencement de l'essai selon la procédure B.

$$E_{\text{ex}} = 1.120 \frac{a_{\text{es}}}{a_{\text{ex}}} \text{ kW/m}^2$$

where:

E_{ex} = irradiance from the test source

a_{ex} = absorptance factor of the specimen for the radiation from the test source

a_{es} = absorptance factor of the specimen for the global radiation of sun and sky

(See also Appendix A.)

3. Test procedure and duration

3.1 Consideration must be given to the duration of exposure and whether it should be continuous or intermittent. Three possible procedures are specified:

Procedure A

A 24 h cycle, with 8 h irradiation and 16 h darkness, repeated as required. (This gives a total irradiation of 8.96 kWh/m² per diurnal cycle, which approximates to the most severe natural conditions. Procedure A should be specified where the principal interest is in thermal effects.)

Procedure B

A 24 h cycle, with 20 h irradiation and 4 h darkness, repeated as required. (This gives a total irradiation of 22.4 kWh/m² per diurnal cycle and is applicable where the principal interest is in degradation effects.)

Procedure C

Continuous irradiation, as required. (A simplified test, applicable where cyclic thermal stressing is unimportant and photochemical effects only are to be assessed. Also for the assessment of heating effects on specimens with low thermal capacity).

3.2 The level of irradiance, as prescribed in Test Sa, is 1.120 kW/m² ± 10 %. Acceleration of the test by increasing the irradiation above this level is not recommended. As stated above, the total daily irradiation approximating the most severe natural conditions is simulated by Procedure A with a duration of exposure to the standard irradiation conditions of 8 h per day. Thus, exposure for periods in excess of 8 h will effect acceleration over natural conditions. However, continuous exposure of 24 h per day, Procedure C, might mask any degradation effects of cyclic thermal stressing, and this procedure is therefore not generally recommended in this instance.

3.3 The duration called for will depend on the object of the test. Where the interest is in heating effects only, then three cycles should be adequate (except for large equipment which may require longer to attain maximum internal temperatures). A much longer test duration is necessary if degradation effects are to be assessed.

4. Other environmental factors to be considered

4.1 *Temperature within the enclosure*

The temperature within the enclosure during irradiation and darkness periods shall be controlled in accordance with the procedure (A, B or C) specified. The relevant specification shall state whether + 40 °C or + 55 °C is to be attained during irradiation, depending on the intended usage of the equipment or component.

4.2 *Humidity*

Different humidity conditions can markedly affect photochemical degradation of materials, paints, plastics, etc., but requirements are so varied that no attempt has been made here to give guidance on this matter. Individual requirements should be clearly stated in the relevant specification, e. g. a 4 h period of damp heat (40 ± 2 °C and 93 % R.H. ± 3 %) could be specified at the beginning of a test in accordance with Procedure B.

4.3 Contamination superficielle

La poussière et autres contaminations superficielles peuvent changer de façon appréciable les caractéristiques d'absorption des surfaces soumises à l'exposition énergétique. Sauf prescription contraire, les échantillons devraient être essayés en état de propreté. De toute façon, si des effets de contamination de surface doivent être appréciés, la spécification particulière devra inclure l'information nécessaire sur la préparation des surfaces, etc.

4.4 Ozone et autres gaz contaminants

L'ozone, créé par le rayonnement ultraviolet de courte longueur d'onde des sources d'essai, devra normalement être éliminé de l'enceinte par le ou les filtres utilisés pour corriger la répartition spectrale de l'énergie. Comme l'ozone et d'autres gaz contaminants peuvent affecter de façon importante les processus de dégradation de certains matériaux, il importe d'éliminer ces gaz de l'enceinte d'essai, sauf prescription contraire de la spécification particulière (voir aussi le paragraphe 9.3).

4.5 Vitesse de l'air

L'attention est attirée sur les effets possibles de refroidissement d'un courant d'air sur les échantillons. Il peut aussi en résulter des erreurs trompeuses avec les thermopiles de type ouvert utilisées pour contrôler l'intensité du rayonnement. Un courant d'air aussi faible que 1 m par seconde peut occasionner une réduction de l'échauffement de plus de 20 %. Il est essentiel, pour cette raison, de mesurer et de contrôler la vitesse du courant d'air qui doit être la plus faible possible, sans empêcher d'atteindre un contrôle satisfaisant de température (et d'humidité, le cas échéant). Un réglage de la température de l'enceinte par réchauffement et refroidissement convenables des parois élimine la nécessité de vitesses d'air élevées.

De toute manière, en pratique, des conditions de fort rayonnement solaire sont rarement accompagnées par une absence complète de vent. Il peut être nécessaire pour cela d'apprécier l'effet de différentes vitesses d'air sur un équipement ou sur un composant en essai. La spécification particulière devrait indiquer toutes les exigences spéciales à ce sujet.

4.6 Support, disposition d'installation, etc.

Les propriétés thermiques du support et la méthode d'installation pouvant influencer nettement l'élévation de température du ou des spécimens d'essai, ces facteurs doivent être pris soigneusement en considération, de manière que l'échange de chaleur soit représentatif de l'usage normal. Le ou les spécimens devront probablement être montés sur des bâtis élevés ou sur un substrat de propriétés spécifiées, par exemple une couche de béton d'épaisseur donnée ou un lit de sable d'une certaine conductivité, etc. Les détails complets sur le support, méthode de montage et disposition du ou des spécimens devraient être fournis dans la spécification particulière (voir aussi l'annexe B).

5. Source de rayonnement

5.1 Généralités

La source de rayonnement peut comprendre une ou plusieurs lampes et leurs systèmes optiques associés, par exemple réflecteurs, filtres, etc., pour fournir la répartition spectrale et l'éclairement énergétiques demandés.

La lampe à arc au xénon à haute pression avec filtres peut fournir la meilleure simulation [1]. Les lampes à vapeur de mercure et xénon-mercure présentent des déficiences considérables pour la simulation, ce qui peut conduire à une erreur [2]. L'arc au carbone, à électrode spécialement dopée, a été largement utilisé mais il présente des difficultés en ce qui concerne la stabilité et l'entretien, et n'est généralement pas choisi pour cette raison. Les lampes à filament de tungstène peuvent être utilisées, si les effets thermiques seuls présentent un intérêt, mais elles manquent presque totalement d'ultraviolet, et pour cela ne peuvent pas être utilisées lorsque des effets photochimiques doivent être appréciés.

Les caractéristiques de ces lampes, la disposition des filtres, les combinaisons optiques, etc., sont traitées dans les paragraphes suivants. Les renseignements complémentaires peuvent aussi être trouvés sous la référence [2] de la bibliographie, page 26.

5.2 Lampes au xénon

La configuration et la taille de la ou des lampes utilisées dépendent de l'essai demandé. Une répartition spectrale type d'une lampe au xénon est donnée sur la figure 1, page 28. Cependant, le rayonnement provenant directement des électrodes chaudes doit être pris en considération. Cet effet est proportionnellement beaucoup plus important

4.3 *Surface contamination*

Dust and other surface contamination may significantly change the absorption characteristics of irradiated surfaces. Unless otherwise required, specimens should be tested in a clean condition. However, if effects of surface contamination are to be assessed, the relevant specification should include the necessary information on preparation of surfaces, etc.

4.4 *Ozone and other contaminating gases*

Ozone, generated by short wavelength ultra-violet of test sources, will normally be excluded from the test enclosure by the radiation filter(s) used to correct the spectral energy distribution. As ozone and other contaminating gases can significantly affect the degradation processes of certain materials, it is important to exclude these gases from the test enclosure, unless otherwise required by the relevant specification (see also Sub-clause 9.3).

4.5 *Air velocity*

Attention is drawn to the possible cooling effects of air flow over the specimens. This can also result in misleading errors in open-type thermopiles used to monitor radiation intensity. An air flow of as little as 1 m per second can effect a reduction in temperature rise of over 20 %. It is essential, therefore, to control and measure the rate of air flow, which should be as low as possible, consistent with achieving satisfactory control of temperature (and humidity, where applicable). Adjustment of the temperature within the enclosure by suitable heating and cooling of the walls of the enclosure eliminates the need for high air velocities.

However, in practice high solar radiation conditions are rarely accompanied by complete absence of wind. It may be necessary, therefore, to assess the effect of different air velocities over an equipment or component under test. The relevant specification should state any special requirements in this respect.

4.6 *Substrate, mounting attitude, etc.*

As the thermal properties of the substrate and method of mounting can significantly affect the temperature rise of the test specimen(s), these factors must be carefully considered, so that the heat transfer is representative of typical use. The specimen(s) will probably be required to be mounted either on raised supports or on a substrate of specified properties, e.g. a layer of concrete of specified thickness or a sand bed of certain conductivity, etc. Full details of the substrate, method of mounting and attitude of the specimen(s) should be given in the relevant specification (see also Appendix B).

5. **Radiation source**

5.1 *General*

The radiation source may comprise one or more lamps and their associated optical components, e.g. reflectors, filters, etc., to provide the required spectral distribution and irradiance.

The high-pressure xenon arc lamp with filters can provide the best match [1]. Mercury vapour and xenon mercury lamps have considerable deficiencies in matching which could lead to error [2]. The carbon arc, with specially doped electrodes, has been widely used but presents difficulties as regards stability and maintenance and is therefore not generally favoured. Tungsten filament lamps may be used if only thermal effects are of interest, but are almost completely deficient in ultra-violet and therefore cannot be used where photochemical effects are to be assessed.

Characteristics of these lamps, features of filters, optical arrangements, etc., are covered in the following sub-clauses. Further information can also be found in reference [2] of the Bibliography on page 26.

5.2 *Xenon lamps*

The configuration and size of the lamp(s) used will depend on the test required. A typical spectral distribution from a xenon arc is given in Figure 1, page 28. However, the radiation direct from the hot electrodes shall also be considered. This effect is proportionally much greater with short arcs than with long arcs and may considerably

avec les arcs courts que longs et peut considérablement affecter la simulation spectrale, puisque le rayonnement des électrodes contient une plus forte proportion d'infrarouge que celui provenant de l'arc. On a trouvé que la répartition spectrale relative d'un arc au xénon est pratiquement indépendante de la puissance de la lampe [3]. Cependant, une variation de la puissance de la lampe changera la température des électrodes et, par conséquent, la répartition spectrale de leur rayonnement. Dans le cas de lampes à arc long, il est relativement simple de masquer le rayonnement des électrodes. Le mode de construction d'une lampe à arc court conduit à des tolérances de fabrication considérablement plus larges que dans le cas des arcs longs; cela est un point particulièrement important lorsqu'un remplacement devient nécessaire.

Des remplacements systématiques de l'un ou l'autre type de lampe seront nécessaires, car l'émission changera continuellement au cours du temps et il pourra y avoir d'assez larges variations des caractéristiques de durée de vie d'une lampe à l'autre. Malgré ces variations d'intensité, la répartition spectrale relative du rayonnement de l'arc devrait rester pratiquement inchangée, le xénon étant un élément gazeux pur.

5.3 Lampes à filament de tungstène

A cause de leur déficience en rayonnement ultraviolet, les lampes à filament de tungstène ne conviennent pas pour des essais de dégradation. De sérieux désaccords peuvent aussi apparaître dans les résultats obtenus lors des essais d'appréciation des effets thermiques, à moins que la différence considérable de répartition spectrale d'énergie par rapport au rayonnement solaire naturel ne soit prise en compte (voir le paragraphe 2.3). La courbe de répartition spectrale type d'une lampe au tungstène, à une température de filament de 2600 K, est représentée sur la figure 2, page 29, en comparaison du rayonnement solaire naturel. La plus grande partie de l'énergie rayonnée par la lampe au tungstène est située dans l'infrarouge avec une intensité maximale à environ $1,0\text{ }\mu\text{m}$, alors qu'approximativement 50 % de l'énergie solaire se trouve dans le visible et l'ultraviolet, c'est-à-dire à des longueurs d'ondes inférieures à $0,7\text{ }\mu\text{m}$. Le type de lampe au tungstène à enveloppe quartz et halogène présente une régularité de fonctionnement améliorée pendant sa durée de vie [4].

5.4 Arc au carbone

Sous certaines conditions, l'arc au carbone peut être fabriqué de façon à fournir un rayonnement de répartition spectrale assez similaire à celle du soleil, telle qu'elle est observée au niveau du sol, mais des filtres correcteurs sont nécessaires, particulièrement dans le domaine ultraviolet. La nature combustible de la source présente les désavantages d'un manque de localisation précise et d'instabilité. Le plus grand inconvénient de l'arc au carbone est peut-être son usure en brûlant. Même avec un mécanisme de guidage soigneusement combiné, son temps de fonctionnement continu ne dépassera probablement pas 5 h.

5.5 Lampes à vapeur de mercure

Le rayonnement de la lampe à vapeur de mercure est déficient dans les domaines du rouge et de l'infrarouge du spectre et celui-ci présente quelques raies à très haute énergie. Elles ont été utilisées simultanément avec des lampes à filament de tungstène en solarium [5], et une source combinée mercure-xénon a été utilisée pour des essais d'environnement [6]. Cependant, les fortes raies du spectre rendent l'arc au mercure généralement inacceptable en tant que source de simulation solaire.

5.6 Filtres

Les filtres liquides ont certains inconvénients, tels que la possibilité de bouillir, la dépendance entre la température et la transmission spectrale et une dérive à long terme de leur caractéristique spectrale [7]. Pour cette raison, la préférence actuelle va aux filtres en verre, bien que, fondamentalement, un verre ne soit pas aussi fidèlement reproductible qu'une solution chimique. Quelques tâtonnements peuvent être nécessaires pour compenser certaines différences de densité optique par utilisation de diverses épaisseurs de glace [8]. Les filtres en verre sont des articles spécialisés et les fabricants devraient être consultés sur le choix des filtres qui conviennent pour les applications particulières. Le choix dépendra de la source et de son mode d'utilisation. Par exemple, une source au xénon peut être le mieux compensée par une combinaison de filtres absorbants dans l'infrarouge et l'ultraviolet [8].

Quelques filtres infrarouges en verre peuvent avoir tendance à des changements rapides de caractéristiques spectrales lors d'exposition à un rayonnement ultraviolet excessif. Cette détérioration peut être évitée en grande partie en interposant le filtre ultraviolet entre la source et le filtre infrarouge. Des filtres du type interférentiel qui réfléchissent au lieu d'absorber le rayonnement indésirable, réduisant ainsi l'échauffement du verre, sont en général plus stables que les filtres à absorption.

influence the spectral match, since radiation from the electrodes has a higher proportion of infra-red than that from the arc. The relative spectral distribution of the xenon arc radiation has been found to be substantially independent of lamp power [3]. However, variation of lamp power will change the temperature of the electrodes and hence the spectral distribution of their radiation. With long-arc lamps, it is relatively simple to mask off the electrode radiation. The form of construction of the short-arc lamp leads to considerably wider manufacturing tolerances than those of the long arc, a point of particular importance when replacement becomes necessary.

Routine replacement of either type of lamp will be needed, since the emission will change continuously with life and there may be quite wide variations of the life characteristic from lamp to lamp. Despite these variations in intensity, the relative spectral distribution of the arc radiation should remain practically unchanged, because xenon is pure elemental gas.

5.3 *Tungsten filament lamps*

Because of their deficiency in ultra-violet radiation, tungsten lamps are unsuitable for tests for degradation purposes. Serious discrepancies can also occur in results obtained in tests for thermal effects, unless the considerable difference in spectral energy distribution compared with natural solar radiation is taken into account (see Sub-clause 2.3). The spectral distribution curve for a typical tungsten lamp, at a filament temperature of 2 600 K, is shown in Figure 2, page 29, compared with natural solar radiation. The major part of the radiant energy from the tungsten lamp is in the infra-red with maximum intensity at about 1.0 μm , whereas approximately 50 % of solar energy is in the visible and ultra-violet bands, i.e. at wavelengths less than 0.7 μm . The quartz halogen type of tungsten lamp has an improved consistency of performance during its life [4].

5.4 *Carbon arc*

Under certain conditions, the carbon arc can be made to provide radiation of a spectral distribution somewhat similar to that of the sun, as observed at ground level, but correcting filters are needed, especially in the ultra-violet region. The combustible nature of the source has the disadvantages of lack of precise location and of impermanence. Perhaps the greatest disadvantage of the carbon arc is its burning away. Even with a carefully arranged feed mechanism, the continuous burning time is unlikely to exceed 5 h.

5.5 *Mercury vapour lamps*

Mercury vapour lamp radiation is deficient in the red and infra-red portions of the spectrum, and the spectrum has some very high energy lines. They have been used in conjunction with tungsten filament lamps in solaria [5], and a combined mercury-xenon arc source has been used for environmental testing purposes [6]. However, the strong spectral lines make the mercury arc generally unacceptable as a simulated solar source.

5.6 *Filters*

Liquid filters have certain disadvantages, such as the possibility of boiling, the temperature coefficient of spectral transmission and long-term drift in spectral characteristics [7]. The present preference is therefore for glass filters to be used, although fundamentally a glass is not as accurately reproducible as a chemical solution. Some trial and error may be necessary to compensate for different optical densities by using different plate thicknesses [8]. Glass filters are proprietary articles and manufacturers should be consulted concerning the choice of filters suitable for particular purposes. The choice will depend on the source and its method of use. For example, a xenon source may be best compensated by a combination of infra-red and ultra-violet absorbing filters [8].

Some glass infra-red filters may be prone to rapid changes in spectral characteristics when exposed to excessive ultra-violet radiation. This deterioration may be largely prevented by interposing the ultra-violet filter between the source and the infra-red filter. Interference type filters, which function by reflecting instead of absorbing the unwanted radiation, thus resulting in reduced heating of the glass, are generally more stable than absorption filters.

5.7 Uniformité de l'éclairement énergétique

En raison de la distance soleil/terre, le rayonnement solaire apparaît, à la surface de la terre comme un faisceau essentiellement parallèle. Les sources artificielles sont relativement proches de la surface de travail et des moyens pour diriger et focaliser le faisceau doivent être fournis pour produire un éclairement énergétique uniforme et compris dans les limites spécifiées au niveau du plan de mesure (c'est-à-dire $1,120 \text{ kW/m}^2 \pm 10\%$). Cela est difficile à obtenir au moyen d'une lampe au xénon à arc court avec réflecteur parabolique en raison des ombres dues aux électrodes et aux supports. De même, l'incandescence de l'anode peut produire un rayonnement considérable à une température de couleur beaucoup plus basse, légèrement décalé par rapport au rayon moyen, si seulement l'arc lui-même est au foyer du réflecteur. Une exposition énergétique uniforme est plus facilement obtenue avec une lampe à arc long monté dans un réflecteur parabolique du type «traversée». Cependant, en employant des techniques de montage très élaborées, il est possible d'irradier, avec un certain degré d'uniformité, une grande surface par un certain nombre de lampes au xénon à arc court [9].

Il est généralement conseillé de placer la ou les sources du rayonnement en dehors de l'enceinte ou de la chambre d'essai. Cela évite une dégradation possible des composants optiques, par exemple par des conditions d'humidité élevée et une contamination des spécimens par l'ozone créé par les lampes à arc au xénon ou d'autres types. Dans ce cas, on devra tenir compte de la transmittance spectrale du matériau de la fenêtre.

Il n'est généralement pas nécessaire de collimater de façon précise le faisceau, sauf pour essayer des équipements spéciaux tels que cellules solaires, dispositifs à guidage solaire, etc. Cependant, quelques techniques de simulation développées pour la recherche spatiale peuvent être adaptées à des études de rayonnement solaire à la surface de la terre [10].

6. Instrumentation

6.1 Mesure de l'éclairement énergétique

Le type d'instrument considéré comme le mieux adapté pour contrôler l'éclairement énergétique est un pyranomètre, comme pour la mesure du rayonnement combiné du soleil et du ciel sur un plan horizontal.

Deux types conviennent pour mesurer le rayonnement émis par une source de simulation solaire. Chacun a un fonctionnement fondé sur des thermojonctions.

a) Pyranomètre de Moll-Gorcinski

Le pyranomètre de Moll-Gorcinski est constitué par 14 rubans constantan-manganin ($10 \text{ mm} \times 1 \text{ mm} \times 0,005 \text{ mm}$) disposés de telle façon que leurs jonctions «chaudes» soient dans un plan et réunies en une surface horizontale au moyen d'un vernis noir de faible conductibilité thermique.

Les extrémités des jonctions «froides» sont courbées vers le bas pour réaliser de bons contacts thermiques avec une plaque de cuivre de capacité thermique élevée. La surface sensible est surmontée de deux hémisphères concentriques en verre.

b) Pyranomètre d'Eppley

Le pyranomètre d'Eppley consiste en deux anneaux concentriques de feuille d'argent de 0,25 mm. L'anneau intérieur est peint en noir (pour absorber la presque totalité du rayonnement) et l'anneau extérieur est blanchi (pour réfléchir le visible et le rayonnement dans le proche infrarouge). Les jonctions «chaude» et «froide» sont reliées thermiquement aux anneaux qui sont enfermés dans une ampoule en verre de 76 mm de diamètre remplie d'air sec.

Aucun de ces instruments n'est influencé de façon importante par le rayonnement infrarouge émis par le spécimen ou par l'enceinte.

Une variante du pyranomètre Moll-Gorcinski, dénommée couramment solarimètre de Kipp, est l'instrument utilisé par les services météorologiques de nombreux pays. Le pyranomètre d'Eppley est l'un des plus utilisés aux Etats-Unis d'Amérique. Les enveloppes en verre utilisées dans ces deux instruments éliminent le rayonnement de longueurs d'onde supérieures à $3 \mu\text{m}$ environ; cela n'est important qu'en cas d'utilisation de lampes au tungstène non filtrées, et un facteur de correction serait alors nécessaire. Une revue utile des techniques de calibration des pyranomètres solaires est présentée sous la référence [11]. Les renseignements complémentaires seront également fournis sous les références [12] et [13].

5.7 Uniformity of irradiance

Owing to the distance of the sun from the earth, solar radiation appears at the earth's surface as an essentially parallel beam. Artificial sources are relatively close to the working surface and means of directing and focusing the beam must be provided with the aim of providing a uniform irradiance at the measurement plane within specification limits (i.e. $1.120 \text{ kW/m}^2 \pm 10\%$). This is difficult to achieve with a short-arc xenon lamp with a parabolic reflector, on account of shadows from the lamp electrodes and supports. Also, the incandescence of the anode can produce considerable radiation at a much lower colour temperature, slightly displaced from the main beam, if only the arc itself is at the focus of the reflector. Uniform irradiation is more readily achieved with a long-arc lamp mounted in a parabolic "trough" type reflector. However, by employing very elaborate mounting techniques, it is possible to irradiate, with some degree of uniformity, a large surface by a number of short-arc xenon lamps [9].

It is generally advisable to locate radiation source(s) outside the test enclosure or chamber. This avoids possible degradation of the optical components, e.g. by high humidity conditions and contamination of test specimens by ozone generated by xenon and other types of arc lamps. In this case, the spectral transmittance of the window material must be taken into account.

Precise collimation of the radiation beam is not normally necessary except for testing special equipment such as solar cells, solar tracking devices, etc. However, some of the simulation techniques developed for space research purposes could be adapted for earth-surface solar radiation studies [10].

6. Instrumentation

6.1 Measurement of irradiance

The type of instrument considered most suitable for monitoring the irradiance is a pyranometer as used for measuring combined solar and sky radiation on a horizontal plane.

Two types are suitable for measuring radiation from a simulated solar source. Each depends for its operation on thermojunctions.

a) Moll-Gorcinski pyranometer

The Moll-Gorcinski pyranometer consists of 14 constantan-manganin strips ($10 \text{ mm} \times 1 \text{ mm} \times 0.005 \text{ mm}$) arranged so that their "hot" junctions lie on a plane and are formed into a horizontal surface by means of a black varnish of low thermal conductivity.

"Cold" junction ends are bent down to make good thermal connections with a copper plate of large thermal capacity. The sensitive area is surmounted by two concentric glass hemispheres.

b) Eppley pyranometer

The Eppley pyranometer consists of two concentric rings of 0.25 mm silver foil. The inner ring is painted black (to absorb nearly all the radiation) and the outer ring is whitened (to reflect the visible and near infra-red radiation). The "hot" and "cold" junctions are thermally attached to the rings, which are enclosed in a 76-mm diameter glass bulb filled with dry air.

Neither of these instruments is significantly affected by long-wave infra-red radiation emitted by the specimen or the test enclosure.

A modification of the Moll-Gorcinski pyranometer, commonly known as the Kipp solarimeter, is the instrument used by meteorological services in many countries. The Eppley pyranometer is one of the most widely used in the United States of America. The glass covers used in both these instruments will cut off radiation at wave lengths greater than about $3 \mu\text{m}$; this is only significant when unfiltered tungsten lamps are used and a correction factor would then be necessary. A useful survey of calibration techniques for solar pyranometers is given in reference [11]. Further information will also be found in references [12] and [13].

6.2 Mesure de la répartition spectrale

Des contrôles de l'intensité totale sont aisément effectués, mais des examens détaillés sur les caractéristiques spectrales sont plus difficiles. Des changements spectraux importants peuvent être contrôlés par des mesures de routine peu coûteuses en utilisant un pyranomètre combiné avec des filtres sélectifs [14]. Pour contrôler les caractéristiques détaillées de répartition spectrale de l'appareillage, il serait nécessaire d'employer une instrumentation spectroradiométrique compliquée. Cependant, il ne semble pas y avoir d'obstacle pratique pour empêcher de faire effectuer cette calibration soit comme service par le fabricant de l'appareillage soit par la visite d'un centre national d'étalonnage. Une corrélation serait effectuée à des intervalles réguliers entre les méthodes filtres/pyranomètres et spectroradiométriques [15], [21].

Des changements dans les caractéristiques spectrales des lampes, réflecteurs et filtres peuvent se produire pendant un temps qui peut conduire à une répartition spectrale nettement au-delà des tolérances permises. Les tolérances de fabrication peuvent signifier qu'un changement de lampe peut conduire à des variations inacceptables à la fois du niveau d'irradiation et de répartition spectrale en comparaison de l'installation initiale. Un contrôle régulier est pour cette raison essentiel, mais un contrôle en détail de la répartition spectrale à l'intérieur de l'équipement peut ne pas être possible lorsqu'un spécimen est soumis à l'essai.

6.3 Mesure de température

A cause du haut niveau de rayonnement, il est essentiel que les capteurs de température soient convenablement protégés des effets d'échauffement par radiation. Cela s'applique à la fois à la mesure des températures d'air à l'intérieur de l'enceinte et au contrôle des températures du spécimen ou de l'équipement.

Pour les mesures des températures d'air, il est évidemment impossible de se servir de la grille normalisée «Stevenson» utilisée pour les mesures météorologiques de «température à l'ombre», car elle est trop encombrante. Une variante convenable consiste en un thermocouple monté librement sur un écran de radiation comprenant un tube vertical en cupro-nickel (approximativement 15 mm de diamètre sur 70 mm), surmonté par un capuchon métallique espacé, poli sur la surface interne et peint en blanc à l'extérieur.

Lors du contrôle des températures de l'équipement, des capteurs, par exemple des thermocouples, devraient être situés à la surface interne de la paroi extérieure et non être attachés aux surfaces externes. Les peintures et les cires indicatrices de température ne conviennent pas pour contrôler la température des surfaces irradiées des échantillons, car leurs caractéristiques d'absorption ne seront pas les mêmes que celles des spécimens.

7. Préparation des moyens d'essais et des spécimens

7.1 Moyens d'essais

On doit s'assurer que les parties optiques de l'appareillage d'essai, lampes, réflecteurs, filtres, etc., sont propres.

Le niveau d'irradiation sur le plan de mesure spécifié doit être mesuré immédiatement avant chaque essai.

Toutes les indications auxiliaires d'environnement, par exemple température ambiante, humidité, ainsi que vitesse de l'air et autres paramètres éventuellement spécifiés, devraient être contrôlées en permanence pendant toute la durée d'essai.

7.2 Spécimens

La méthode de montage et la disposition des spécimens par rapport à la direction du rayonnement auront une influence importante sur les effets d'échauffement. Il sera probablement demandé de monter les spécimens sur des bâtis élevés ou sur un substrat de propriétés spécifiées, par exemple une couche de béton d'épaisseur donnée ou un lit de sable d'une certaine conductivité. Tous ces points et la disposition des spécimens devraient être précisés dans la spécification particulière.

Une attention particulière doit être apportée à l'état de surface des spécimens pour voir si leur finition est propre ou en accord avec les prescriptions de la spécification particulière. Les effets d'échauffement des spécimens en essai dépendront largement de leur état de surface. On doit donc manipuler soigneusement les spécimens, en particulier en évitant des films d'huile et en s'assurant que la finition de surface et sa sous-couche sont entièrement représentatives des normes de production. Les dispositifs de mesure de température devraient être fixés aux échantillons de la manière prescrite (mais voir aussi le paragraphe 6.3).

6.2 *Measurement of spectral distribution*

Total intensity checks are readily made, but detailed checks on spectral characteristics are more difficult. Major spectral changes can be checked by inexpensive routine measurements, using a pyranometer in conjunction with selective filters [14]. For checking the detail distribution characteristics of the facility, it would be necessary to employ sophisticated spectroradiometric instrumentation. However, there seems to be no practical obstacle to prevent this calibration being done either as a service by the facility manufacturer or by visit from a national calibration centre. Correlation would be achieved between the filter/pyranometer and spectroradiometric methods at regular intervals [15], [21].

Changes in the spectral characteristics of lamps, reflectors and filters may occur over a period of time which could result in the spectral distribution being seriously outside the permitted tolerances. Manufacturing tolerances may mean that lamp replacement could result in unacceptable changes in both the level of irradiation and spectral distribution compared with that initially set up. Regular monitoring is therefore essential, but monitoring of the detail spectral distribution within the test facility may not be possible while a specimen is undergoing test.

6.3 *Measurement of temperature*

Because of the high level of radiation, it is essential that temperature sensors are adequately shielded from radiant heating effects. This applies both to measuring air temperatures within the test enclosure and also to monitoring specimen/equipment temperatures.

For air temperature measurements, it is obviously impracticable to use the standard “Stevenson” screen used for meteorological measurements of “shade temperature” as this is too cumbersome. A suitable alternative is a thermocouple freely mounted in a radiation shield comprising a vertical cupro-nickel tube (approximately 15 mm diameter by 70 mm) surmounted by a spaced metal hood, polished on the inside surface and painted white on the outside.

When monitoring equipment temperatures, sensors, e.g. thermocouples, should be located on the inside surface of the external case and not be attached to the outside surfaces. Temperature-indicating paints and waxes are unsuitable for monitoring the temperature of irradiated surfaces of specimens, as their absorption characteristics will not be the same as those of the specimens.

7. **Preparation of test facilities and specimens**

7.1 *Test facility*

It must be ensured that the optical parts of the test facility, lamps, reflectors and filters, etc., are clean.

The level of irradiation over the specified measurement plane shall be measured immediately prior to each test.

Any ancillary environmental conditions, e.g. ambient temperature, humidity, also air velocity and other parameters if specified, should be monitored continuously throughout the test.

7.2 *Specimens*

The method of mounting and the aspect of the specimen relative to the direction of radiation will have marked influences on the heating effects. The specimens will probably be required to be mounted either on raised supports or on a substrate of specified properties, e.g. a layer of concrete of specified thickness or a sand bed of certain conductivity. All this and the attitude of the specimens should be specified in the relevant specification.

Special attention should be paid to the surface conditions of the specimens to see that their finish is clean or in accordance with the relevant specification requirements. The heating effect on the specimens under test will be largely affected by the condition of the surfaces of the specimens. Care must therefore be exercised in handling the specimens, especially in avoiding oil films and in ensuring that the surface finish and its underlay are fully representative of production standards. Temperature sensors should be attached to specimens as required (but see also Sub-clause 6.3).

8. Interprétation des résultats

8.1 Conformité à la spécification

La spécification particulière devrait indiquer les changements autorisés d'aspect et/ou de fonctionnement du ou des spécimens après exposition au niveau de rayonnement demandé, pendant les durées prescrites. En plus de ces exigences, on peut prendre en considération, en vue de l'interprétation, les points suivants:

8.2 Comparaison avec l'expérience réelle

Une importante documentation existe sur les effets de dégradation dus à l'exposition à la lumière solaire des matériaux ou d'un équipement [16], [17]; voir aussi les paragraphes 8.5 et 8.6. Toute différence marquée entre ces effets et le comportement sous simulation devrait être recherchée et la cause devrait en être établie, par exemple si elle résulte de l'équipement d'essai ou de la méthode ou bien de quelque particularité des spécimens.

8.3 Effets à court terme

Il s'agit surtout des effets d'échauffement. Les effets à court terme auxquels on peut s'attendre sont surtout des surchauffes locales.

8.4 Effets à long terme

Le but des essais de longue durée est de déterminer l'ensemble des détériorations avec le double souci de voir les rapides changements initiaux et d'apprécier la longévité utile des objets essayés.

8.5 Effets thermiques

Les températures maximales interne et externe atteintes par un spécimen ou un équipement dépendront:

- i) de la température de l'air ambiant;
- ii) de l'intensité du rayonnement;
- iii) de la vitesse de l'air;
- iv) de la durée d'exposition;
- v) des propriétés thermiques de l'objet lui-même, par exemple facteur de réflexion, dimensions et forme, conduction thermique et chaleur spécifique.

Un équipement peut atteindre des températures supérieures à 60 °C s'il est entièrement exposé au rayonnement solaire à une température ambiante aussi basse que 35–40 °C. Le facteur de réflexion d'un objet influence son échauffement par le soleil dans une large mesure; un changement de finition, par exemple d'une couleur sombre à un blanc brillant, créera une réduction considérable de température. Réciproquement, on peut s'attendre qu'une finition ancienne prévue pour réduire la température se dégradera au cours du temps et qu'il en résultera une augmentation de température [18].

La plupart des matériaux sont des réflecteurs sélectifs, c'est-à-dire que leur facteur spectral de réflexion varie avec la longueur d'onde. Par exemple, les peintures, en général, sont de faibles réflecteurs infrarouges bien qu'elles puissent être très efficaces dans le visible. De plus, le facteur spectral de réflexion de beaucoup de matériaux change rapidement dans le visible (produisant la sensation de couleur pour l'œil humain) et dans le proche infrarouge. Il importe, pour cette raison, que la répartition spectrale d'énergie de la ou des sources de rayonnement utilisées dans tout essai de simulation reproduise fidèlement celle du rayonnement solaire naturel ou qu'un ajustement approprié de l'éclairage énergétique soit effectué de manière à obtenir le même effet de chauffage (voir le paragraphe 2.3 et l'annexe A).

8.6 Dégradation des matériaux

Les actions combinées du rayonnement solaire, des gaz atmosphériques, des variations de température et d'humidité, etc., sont souvent regroupées sous le nom de «tenue aux intempéries» et ont pour résultat le «vieillessement» et la destruction finale de la plupart des matériaux organiques (par exemple plastiques, caoutchoucs, peintures, bois, etc.).

Beaucoup de matériaux qui rendent un service satisfaisant dans les régions tempérées se sont révélés complètement inutilisables dans les conditions plus sévères des tropiques. Des défauts types sont la détérioration rapide et la cassure des peintures, la fissuration et la destruction de gaines de câbles et l'affaiblissement des pigments.

La défaillance d'un matériau aux intempéries ne résulte pas habituellement d'une seule, mais de plusieurs réactions particulières de types différents qui se produisent simultanément, souvent en interaction [19]. Bien que le rayonnement solaire, principalement l'ultraviolet – créant la photodégradation – soit souvent le facteur essentiel,

8. Interpretation of results

8.1 *Compliance with specification*

The relevant specification should indicate the permitted changes in the external condition and/or performance of the specimen(s) under test after exposure to the required level of irradiation for specified durations. In addition to such requirements, the following aspects of interpretation may be considered.

8.2 *Comparison with field experience*

The deterioration effects of exposure of materials and equipment to sunlight are well documented [16], [17]; see also Sub-clauses 8.5 and 8.6. Any marked difference between these effects and the behaviour under simulated conditions should be investigated and the basic cause established, namely whether it is caused by the test equipment or procedure, or by some peculiarity in the specimens.

8.3 *Short-term effects*

Primarily, heating effects are concerned. Short-term effects to be looked for will mainly be in the nature of local overheating.

8.4 *Long-term effects*

The purpose of carrying out long-term tests is to determine the pattern of deterioration with the two objectives of seeing whether there is an initial rapid change and of assessing the useful life of the item under test.

8.5 *Thermal effects*

The maximum surface and internal temperatures attained by a specimen or equipment will depend on:

- i) temperature of ambient air;
- ii) intensity of radiation;
- iii) air velocity;
- iv) duration of exposure;
- v) the thermal properties of the object itself, e.g. surface reflectance, sizes and shape, thermal conductance and specific heat.

Equipment can attain temperatures in excess of 60 °C, if fully exposed to solar radiation in an ambient temperature as low as 35–40 °C. The surface reflectance of an object affects its temperature rise from solar heating to a major extent; changing the finish from, for example, a dark colour to a gloss white, will effect a considerable reduction in temperature. Conversely, a pristine finish designed to reduce temperature can be expected to deteriorate in time, resulting in an increase in temperature [18].

Most materials are selective reflectors, i.e. their spectral reflectance factor changes with wavelength. For instance, paints, in general, are poor infra-red reflectors although they may be very efficient in the visible region. Furthermore, the spectral reflectance factor of many materials change sharply in the visible (producing a colour sensation to the human eye) and in the near infra-red. It is important, therefore, that the spectral energy distribution of the radiation source(s) used in any simulated test should closely duplicate that of natural solar radiation, or that appropriate adjustment of the irradiance is made so that the same heating effect is obtained (see Sub-clause 2.3 and Appendix A).

8.6 *Degradation of materials*

The combined effects of solar radiation, atmospheric gases, temperature and humidity changes, etc., are often collectively termed “weathering” and result in the “ageing” and ultimate destruction of most organic materials (e.g. plastics, rubbers, paints, timber, etc.).

Many materials which give satisfactory service in temperate regions have been found to be completely unsuitable for use under the more adverse conditions of the tropics. Typical defects are the rapid deterioration and breakdown of paints, the cracking and disintegration of cable sheathing and the fading of pigments.

The breakdown of a material under weathering usually results not from a single reaction, but from several individual reactions of different types occurring simultaneously, often with interacting effects [19]. Although solar radiation, principally the ultra-violet – resulting in photo-degradation – is often the major factor, its effects can

ses effets peuvent rarement être dissociés de ceux des autres facteurs de la tenue aux intempéries. Un exemple en est l'action du rayonnement ultraviolet sur le polychlorure de vinyle dont l'effet propre est faible, mais qui accroît de façon appréciable la sensibilité à la dégradation thermique dans laquelle l'oxygène joue probablement un rôle prépondérant.

Malheureusement, les essais artificiels produisent parfois des défauts anormaux qui ne se retrouvent pas lors d'exposition aux intempéries naturelles. Cela peut souvent être attribué à une ou plusieurs des causes suivantes:

- a) Beaucoup de sources d'ultraviolet utilisées en laboratoire diffèrent considérablement du rayonnement solaire naturel par leur répartition spectrale d'énergie.
- b) Quand l'intensité du rayonnement ultraviolet, la température, l'humidité, etc., sont augmentées pour obtenir un effet accéléré, les vitesses des diverses réactions particulières, qui ont lieu dans des conditions normales d'exposition, ne sont pas nécessairement accrues dans le même rapport.
- c) Les essais artificiels ne simulent pas, en général, la totalité des facteurs de tenue aux intempéries.

9. Risques et sécurité du personnel

9.1 Généralités

L'équipement complexe employé pour des essais de rayonnement solaire réclamera nécessairement une utilisation et un entretien par un personnel qualifié; non seulement pour assurer la conduite correcte de l'essai mais aussi en raison des risques pour la santé et la sécurité dont il faut tenir compte.

9.2 Rayonnement ultraviolet

Les dangers les plus évidents dont il faut se préserver sont ceux associés aux effets nocifs d'une forte intensité de rayonnement dans le proche ultraviolet.

Dans le cas de la lumière solaire naturelle, les yeux sont protégés de deux façons; l'éclat du soleil le rend presque impossible à regarder directement et le rayonnement ultraviolet est considérablement atténué par l'atmosphère. Ces protections ne s'appliquent pas aux sources artificielles. Les yeux doivent être protégés par des lunettes ou des orifices d'observation munis de filtres, en particulier lors de l'installation de l'équipement. Le personnel d'essai devrait être averti qu'une exposition, même de courte durée, au rayonnement non filtré des lampes à arc peut occasionner de sévères dommages aux yeux. De graves érythèmes (brûlures de soleil) se produisent aussi sur la peau exposée. Koller [4] montre que les rayons ultraviolets de la lumière solaire sont une cause majeure du cancer de la peau chez la population blanche des Etats-Unis d'Amérique. L'emploi d'un habillement protecteur convenable, comprenant la protection de la tête et des mains, est recommandé pour cette raison, même pour un travail dans une enceinte irradiée par des lampes munies de filtres.

9.3 Ozone et émanations nocives

Un autre risque sérieux présenté par l'utilisation des lampes au xénon et autres arcs est la formation locale possible de concentrations toxiques d'ozone pendant la période d'essai. Cependant, la production maximale d'ozone se produit à l'allumage de la lampe, ensuite l'enveloppe chaude de la lampe tend à retransformer l'ozone en oxygène. Dans le cas où un refroidissement par air pulsé est utilisé, celui-ci doit être aspiré, chassé du bâtiment et ne pas être envoyé dans le logement de la lampe. De cette manière, le danger créé par l'ozone est éliminé en grande partie. Il est connu que 1,0 à 10,0 ppM (parties par million) par volume causent des maux de tête, une irritation du nez et de la gorge et un larmolement. Cependant, il faut penser que la concentration toxique d'ozone est plus faible que 0,1 ppM, valeur inférieure au niveau de détection aisée par l'odorat (0,5 à 1,0 ppM). Un appareil de détection et de mesure approprié est commercialisé [20].

Les effets combinés de la chaleur et du rayonnement ultraviolet sur certains plastiques (par exemple les stratifiés de mélamine) peuvent aussi produire des émanations toxiques. Une attention particulière doit, pour cette raison, être apportée au choix des matériaux de construction d'un appareillage d'essai.

9.4 Risques d'explosion de lampes

L'usage de lampes à décharge au xénon à haute pression peut aussi causer des accidents graves si des règles opératoires bien conçues, relatives à la manipulation de ces tubes à arc, ne sont pas observées. Toutes les lampes de ce type (chaudes ou froides, usagées ou neuves) ont une tendance à exploser violemment en raison de la considérable pression interne (deux à trois atmosphères à froid, mais jusqu'à vingt atmosphères à chaud).

seldom be separated in practice from those of other weathering factors. An example is the effect of ultra-violet radiation on polyvinyl chloride, where the apparent effects of ultra-violet radiation alone is small but its susceptibility to thermal breakdown, in which oxygen probably plays a major role, is markedly increased.

Unfortunately, artificial tests occasionally produce abnormal defects which do not occur under natural weathering. This can often be attributed to one or more of the following causes:

- a) Many laboratory sources of ultra-violet radiation differ considerably from natural solar radiation in spectral energy distribution.
- b) When the intensity of ultra-violet radiation, the temperature, humidity, etc., are increased to obtain an accelerated effect, the rates of the individual reactions which occur under normal exposure conditions are not necessarily increased to the same extent.
- c) The artificial tests, in general, do not simulate all the natural weathering factors.

9. Hazards and personnel safety

9.1 General

The complex equipment employed for solar radiation testing purposes will necessarily call for operation and maintenance by a skilled test staff, not only to ensure the correct prescribed performance of the test but also by reason of the various health and safety hazards that have to be taken into account.

9.2 Ultra-violet radiation

The most obvious dangers that have to be guarded against are those associated with the harmful effects of high-intensity radiation in the near-ultra-violet region.

In natural sunlight, the eyes are protected in two ways; the brightness of the sun makes it almost impossible to look directly at it and the ultra-violet radiation is considerably attenuated by the atmosphere. These protections may not apply to artificial sources. The eyes must be protected by filter goggles or viewing apertures, particularly when setting up the equipment. All testing personnel should be warned that severe eye damage can result from only short exposure to unfiltered radiation from arc-type lamps. Serious erythema (sunburn) of exposed skin will also occur. Koller [4] states that ultra-violet radiation of sunlight is a major causal factor in cancer of the skin in the white population of the United States of America. The use of suitable protective clothing, including protection of the head and hands, is therefore recommended, even when working in test enclosures irradiated by filtered sources.

9.3 Ozone and harmful fumes

Another serious health hazard arising from the use of xenon and other arc lamps is the possible build-up of local toxic concentrations of ozone during the testing period. However, the maximum production of ozone occurs at the initial switching on of the lamp, and thereafter the hot envelope of the lamp tends to degrade the ozone back to oxygen. Where forced air cooling is employed, this cooling air should be sucked out and removed from the building and not blown into the lamp housing. In this way, the ozone hazard can be largely eliminated. 1.0 to 10.0 ppM (parts per million) by volume are known to cause headaches, irritation of the nose and throat and watering of the eyes. However, it must be realized that the toxic concentration of ozone is less than 0.1 ppM, which is below the level that is readily detectable by odour (0.5 to 1.0 ppM). Suitable detecting and measuring equipment is commercially available [20].

The combined effects of heat and ultra-violet radiation on certain plastics (e.g. melamine laminates) may also produce toxic fumes. Particular care shall therefore be taken in the choice of materials used in the construction of a test facility.

9.4 Risk of lamp explosions

The use of high-pressure xenon discharge lamps as the primary radiation source can also result in serious accidents unless a well-planned code of practice for the handling of these arc-discharge tubes has been laid down and is adhered to. All such lamps (whether hot or cold, used or new) have a liability to explode violently by reason of the considerable internal pressure (two to three atmospheres when cold, but up to twenty atmospheres when hot).

Il ne doit y avoir aucune poussière visible ni aucune huile à la surface; par conséquent, il est nécessaire de faire un nettoyage régulier avec un détergent et de l'alcool, en utilisant des gants de coton et une protection du visage. Lors du stockage de lampes froides, les effets d'explosion peuvent être limités par deux couches de feuille plastique de 0,25 mm. On doit prendre un soin particulier pour limiter la propagation de ruptures en chaîne dans les équipements à plusieurs lampes. Il est possible d'utiliser à deux fins une plaque de protection en verre comme défense contre les explosions de lampes et comme filtre correcteur.

Les relevés individuels de routine des lampes devraient être conservés pour pouvoir détecter un comportement anormal de leur tension ou courant.

9.5 *Chocs électriques*

Des mesures normales de prévention contre les chocs électriques doivent évidemment être adoptées, en particulier avec les systèmes d'allumage à haute tension utilisés avec les lampes à arc au xénon. Dans quelques lampes au xénon, l'impulsion d'allumage dépasse 60 kV et, pour cette raison, un système de verrouillage est essentiel.

There should be no visible dirt or oil on the surface; therefore, regular cleaning with detergent and alcohol is necessary, using cotton gloves and face protection during such cleaning. When cold lamps are to be stored, the effects of explosion may be limited by two layers of 0.25 mm thick plastic sheet. Particular care should be taken to limit the spread of chain reaction breakdowns in multi-lamp equipment. It is possible to use armour plate glass for the dual purpose of protection against lamp explosions and as a corrective filter.

Individual lamp records should be kept as a matter of routine so as to be able to detect abnormal voltage/current behaviour.

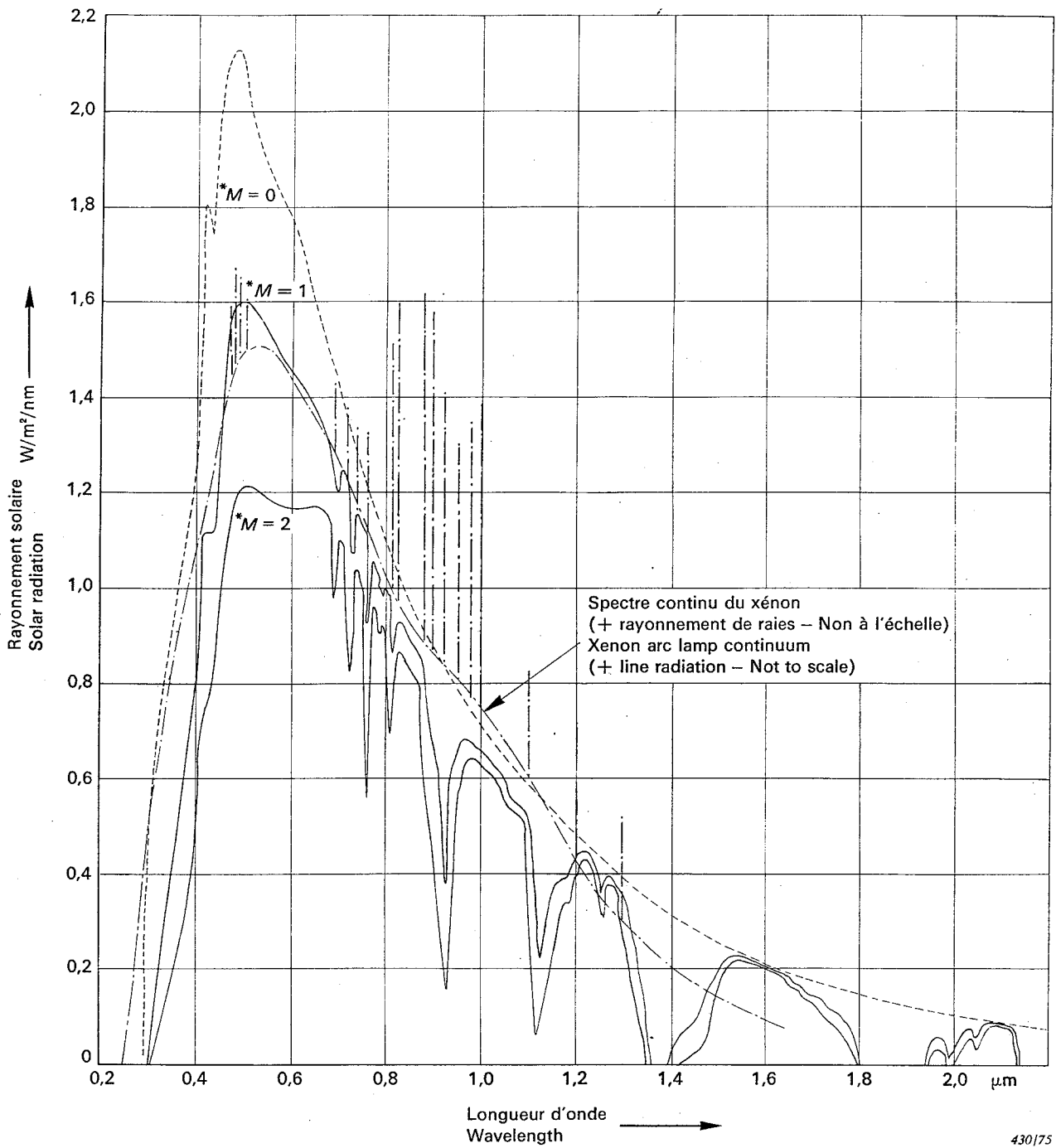
9.5 *Electric shock*

Normal preventive measures against electric shock must of course be adopted, particularly in the case of the high-voltage ignitor systems used with arc lamps. In some xenon lamps, the arc ignition pulse exceeds 60 kV, and an interlock system is therefore essential.

BIBLIOGRAPHIE – BIBLIOGRAPHY

- [1] «Ultraviolet Spectral Energy Distributions of Natural Sunlight and Accelerated Test Light Sources.»
Journal of the Optical Society of America, July 1960, Vol. 50, p. 706.
R. C. Hirt, R. G. Schmitt,
N. D. Searle, A. P. Sullivan
- [2] «Studies of Spectral Energy Distribution of Different Light Sources in Connection with Solar Simulation.»
Institute of Environmental Sciences, Illinois, USA, 1962 Proceedings, p. 453.
D. W. Gibson,
J. Weinard
- [3] «The Spectral Radiant Intensity of the Light of the DXeSh-1000B and DXeR-6000 Xenon Lamps.»
Soviet Journal of Optical Technology, 1969, Iss. 3, p. 11.
«Die Eignung der Xenonlampe als Standard-Lichtquelle für Strahlungs- und Farbmessungen.»
Farbe 5, 1956, S. 41–68.
M. N. Smolkin, N. B. Berdnikov,
I. G. Gilevich, L. F. Zaytser
H. G. Frühling, W. Münch,
M. Richter
- [4] «Ultraviolet Radiation.»
Wiley, 2nd Edition, 1965.
L. R. Koller
- [5] «An Artificial Sunshine Solarium.»
Illuminating Engineering, 1946, Vol. 12, p. 762.
G. F. Prideaux
- [6] «Project Assess – A Report of a Long Term Solar Simulation Test.»
Institute of Environmental Sciences, Illinois, USA, 1966 Proceedings, p. 271.
R. Kruger
- [7] «Spectral Distribution of Typical Daylight as a Function of Correlated Colour Temperature.»
Journal of the Optical Society of America, August 1964, Vol. 54, p. 1031.
CIE Publication No. 15 (E-1.3.1.) 1971. Colorimetry Official Recommendations of the International Commission on Illumination.
D. B. Judd, D. L. MacAdam,
G. Wyszecki
- [8] «Simulating the Solar Spectrum with a Filtered High-pressure Xenon Lamp.»
Applied Optics, 1963, Vol. 2, p. 105.
E. A. Boettner, L. J. Miedler
- [9] «Modular Xenon Solar Simulation for Large Area Application.»
Institute of Environmental Sciences, Illinois, USA, 1967 Proceedings, p. 687.
J. A. Castle
- [10] «Four-foot Solar Simulation System.»
Institute of Environmental Sciences, Illinois, USA, 1966 Proceedings, p. 531.
R. N. Harmon
- [11] «Standardized Procedures in the North American Continent for the Calibration of Solar Pyranometers.»
Solar Energy, Oct.–Dec. 1966, Vol. 10, p. 182.

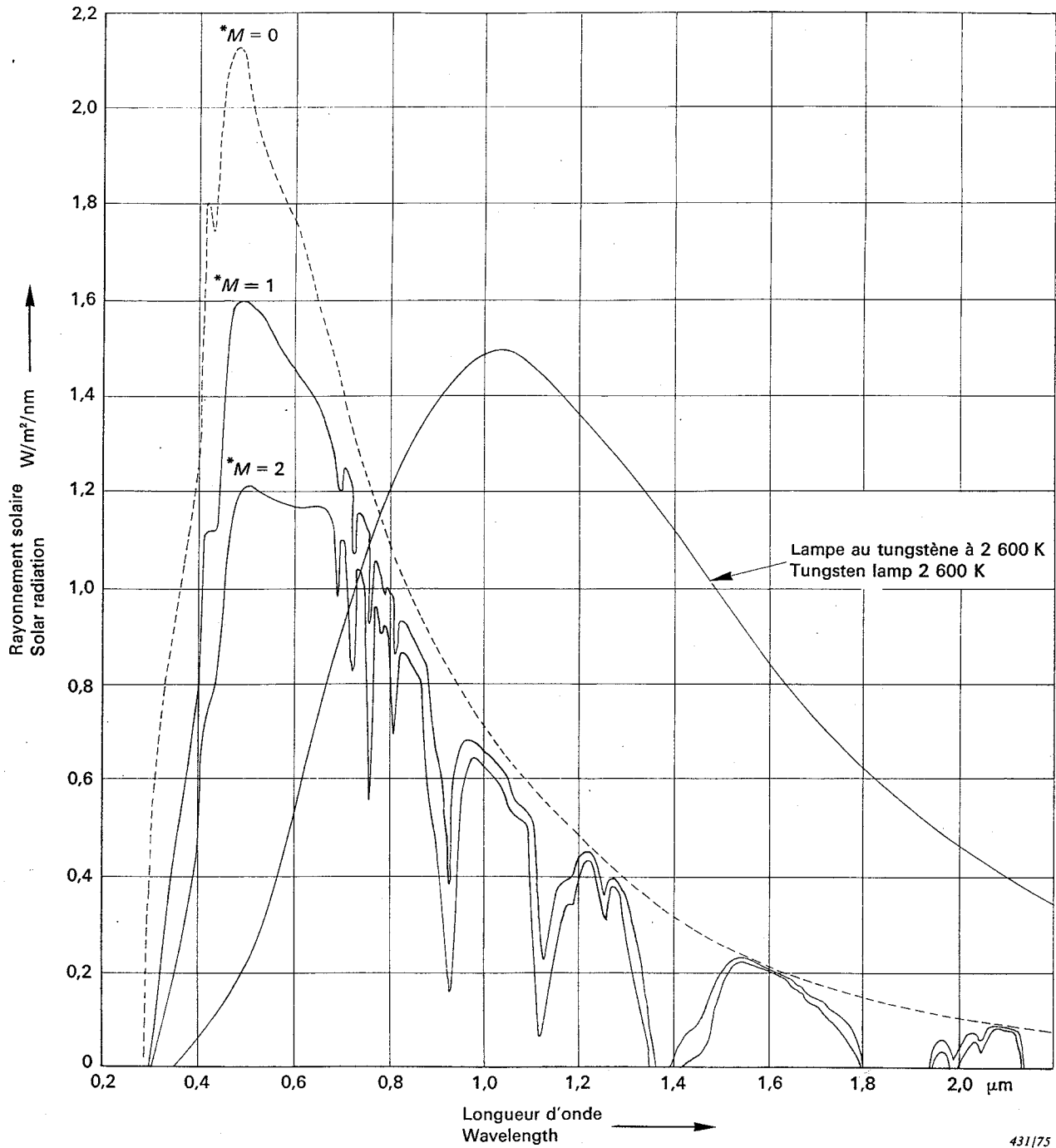
- [12] «Solar Radiation.» N. Robinson (Ed.)
Elsevier Press, 1966 – Amsterdam.
- [13] «Radiation Instruments and Measurements.»
International Geophysical Year Manual, Part VI, 1958. Pergamon
Press – Oxford.
- [14] «Measurement of the Total Flux and its Spectral Components in Solar
Simulation Systems with Special Reference to the Extra-terrestrial
Radiation.» A. S. Drummond, J. R. Hickey
Solar Energy, 1967, Vol. 11, No. 1.
- [15] «Correlation of Monochromator and Filter Radiometry
Determinations of the Spectral Distribution in Large Solar Simulators.» J. R. Hickey
Institute of Environmental Sciences and American Society of Testing
and Materials, Inter-nation Symposium on Solar Radiation
Proceedings p. 95–105
- [16] «Deterioration of Materials.» G. A. Greathouse, C. J. Wassel
Reinhold, 1954 – New York.
- [17] «Contribution à l'étude du vieillissement des matériaux macromolécu-
lares synthétiques.» M. Folie
EDF – Bulletin de la Direction des Etudes et Recherches – Série B, ré-
seaux électriques, matériels électriques N° 2, 1969, p. 115–152.
- [18] «The Simulation of Solar Radiant Energy.» P. W. Baker
Environmental Engineering Quarterly, June 1963, p. 17–19, and Sept.
1963, p. 14–17.
- [19] «The Weathering of High Polymers.» H. J. M. Langshaw
Plastics, Jan. 1960, Vol. 25, p. 40–45.
- [20] «Evaluation of a Coulometric Ozone Sensor.» A. F. Wartburg, A. W. Brewer,
J. P. Lodge jr.
Paper presented at 138th Meeting of American Chemical Society, Sept.
1960.
- [21] «Measurement of Spectral Irradiance.» J. Arveson
Handbook of Solar Simulation for Thermal Vacuum Testing, Section
9B.
Institute of Environmental Sciences, Illinois, USA, 1968.
- [22] Publication CIE No. 20 (TC-2.2), 1972.
Recommendation for the Integrated Irradiance and the Spectral
Distribution of Simulated Solar Radiation for Testing Purposes.



* M = masse d'air
air mass

$M = 1$ lorsque le soleil est au zénith (voir référence [18])
when sun is directly overhead (see reference [18])

FIG. 1.— Rayonnement d'une lampe type à arc au xénon comparé au rayonnement solaire [18].
Radiation from a typical high-pressure xenon arc lamp compared with solar radiation [18].



* M = masse d'air
air mass

$M = 1$ lorsque le soleil est au zénith (voir référence [18])
when sun is directly overhead (see reference [18])

FIG. 2.— Rayonnement d'une lampe au tungstène comparé au rayonnement solaire [18].
Radiation from a tungsten lamp compared with solar radiation [18].

ANNEXE A

CALCUL DE L'AJUSTEMENT D'ÉCLAIREMENT ÉNERGÉTIQUE

Pour des sources de rayonnement n'ayant pas une répartition spectrale en accord avec le tableau I de l'essai Sa de la Publication 68-2-5 de la CEI (autorisé seulement si l'essai n'est effectué que pour apprécier les effets thermiques).

A1. Pour obtenir un effet d'échauffement équivalent, l'éclairement énergétique de la source d'essai E_{ex} doit être ajusté de façon que:

$$E_{ex} = 1,120 \frac{\alpha_{es}}{\alpha_{ex}} \text{ kW/m}^2$$

où:

α_{ex} = facteur d'absorption du spécimen pour le rayonnement de la source d'essai

α_{es} = facteur d'absorption du spécimen pour le rayonnement global du soleil et du ciel

A2. Les facteurs d'absorption α_{ex} et α_{es} peuvent être calculés par les formules suivantes:

$$\alpha_{ex} = \frac{\int_0^{\infty} S_{\lambda x} \cdot \alpha(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_0^{\infty} S_{\lambda x} \cdot d\lambda}$$

$$\alpha_{es} = \frac{\int_0^{\infty} S_{\lambda s} \cdot \alpha(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_0^{\infty} S_{\lambda s} \cdot d\lambda}$$

où

$\alpha(\lambda)$ = facteur spectral d'absorption du spécimen

$S_{\lambda x}$ = répartition spectrale de la source d'essai

$S_{\lambda s}$ = répartition spectrale* du rayonnement global du soleil et du ciel

*Pour le calcul, utiliser l'information plus détaillée du tableau I.

A3. Pour les spécimens ne transmettant pas le rayonnement,

$$\alpha(\lambda) = 1 - \rho(\lambda)$$

où:

$\rho(\lambda)$ = facteur spectral de réflexion du spécimen

Note. – Le facteur spectral d'absorption d'une surface doit normalement être déterminé à partir des données de réflexion spectrale. Plusieurs instruments commercialisés utilisant la méthode monochromateur/sphère d'intégration (Ulbricht) sont disponibles pour les mesures de réflexion spectrale. Les principes généraux et les erreurs possibles sont indiqués dans la référence [1] ci-dessous. Une information plus détaillée peut être obtenue dans les nombreuses autres références citées dans la bibliographie de la présente publication.

Référence:

[1] "Current American Practice in Color Measurement." Applied Optics, April 1969, Vol. 8, No. 4, p. 737-750. Fred W. Billmeyer jr.

APPENDIX A

CALCULATION OF ADJUSTMENT TO IRRADIANCE

For radiation sources having a spectral distribution not in accordance with Table I of Test Sa in IEC Publication 68-2-5 (permissible only when the test is made solely to assess thermal effects).

A1. In order to obtain an equivalent heating effect, the irradiance from the test source, E_{ex} , shall be adjusted so that:

$$E_{ex} = 1.120 \frac{\alpha_{es}}{\alpha_{ex}} \text{ kW/m}^2$$

where:

α_{ex} = absorptance factor of the specimen for the radiation from the test source

α_{es} = absorptance factor of the specimen for the global radiation of sun and sky

A2. The absorptance factors α_{ex} and α_{es} can be calculated from the following formulae:

$$\alpha_{ex} = \frac{\int_0^{\infty} S_{\lambda x} \cdot \alpha(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_0^{\infty} S_{\lambda x} \cdot d\lambda}$$
$$\alpha_{es} = \frac{\int_0^{\infty} S_{\lambda s} \cdot \alpha(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_0^{\infty} S_{\lambda s} \cdot d\lambda}$$

where:

$\alpha(\lambda)$ = spectral absorptance factor of the specimen

$S_{\lambda x}$ = spectral distribution of the test source

$S_{\lambda s}$ = spectral distribution* of global radiation of sun and sky

*For calculation purposes, use the more detailed information in Table I.

A3. For non-radiation-transmitting specimens,

$$\alpha(\lambda) = 1 - \rho(\lambda)$$

where:

$\rho(\lambda)$ = spectral reflectance factor of the specimen

Note.— The spectral absorptance factor of a surface shall normally be determined from spectral reflectance data. Several commercial instruments are available for spectral reflectance measurements, using the monochromator/integrating (Ulbricht) sphere method. General principles and possible errors are described in reference [1] below. More detailed information can be obtained from the numerous other references quoted in the bibliography of this publication.

Reference:

[1] "Current American Practice in Color Measurement." Applied Optics, April 1969, Vol. 8, No. 4, p. 737-750. Fred W. Billmeyer jr.

TABLEAU AI

*Répartition spectrale détaillée
du rayonnement global pour les calculs*

TABLE AI

*Detailed spectral distribution
of global radiation for calculation purposes*

Domaine spectral Spectral region	Largeur de bande Bandwidth μm	Eclairement énergétique Irradiance W/m^2	Eclairement énergétique Irradiance %
Ultraviolet Ultra-violet B*	0,28–0,32	5	0,4
Ultraviolet Ultra-violet A	0,32–0,36 0,36–0,40	27 36	2,4 3,2
Visible	0,40–0,44	56	5,0
	0,44–0,48	73	6,5
	0,48–0,52	71	6,4
	0,52–0,56	65	5,8
	0,56–0,64	121	10,8
	0,64–0,68 0,68–0,72 0,72–0,78	55 52 67	4,9 4,6 6,0
Infrarouge Infra-red	0,78–1,0	176	15,7
	1,0 –1,2	108	9,7
	1,2 –1,4	65	5,8
	1,4 –1,6	44	3,9
	1,6 –1,8	29	2,6
	1,8 –2,0	20	1,8
	2,0 –2,5	35	3,1
	2,5 –3,0	15	1,4
		1 120	100,0

* Le rayonnement plus court que 0,30 μm atteignant la surface de la terre est négligeable.

* Radiation shorter than 0.30 μm reaching the earth's surface is insignificant.

ANNEXE B

TRANSFERT DE CHALEUR À TRAVERS LE SUBSTRAT

B1. Dans le dessein de spécifier un matériau approprié pour le substrat, il peut être nécessaire d'estimer le transfert de chaleur probable à travers le substrat.

B2. Si sa conductivité thermique k est connue, la vitesse du flux de chaleur q à travers un substrat d'épaisseur L , de surface A , ayant une différence de température de ΔT °C entre ces faces, peut être calculée par la formule:

$$q = \frac{k A \Delta T}{L} \text{ watts}$$

Cette formule ignore les effets de convection et de rayonnement qui sont, en général (mais pas nécessairement), d'importance secondaire.

B3. Les conductivités thermiques de quelques matériaux usuels sont données dans le tableau II. Ces valeurs, tirées du V.D.I. «Wärmeatlas 1956, Ea4» et d'autres sources, ont été converties en unités S.I. par multiplication par 1,163.

APPENDIX B

HEAT TRANSFER THROUGH SUBSTRATE

B1. In order to specify an appropriate substrate material, it may be necessary to estimate the probable heat transfer through the substrate.

B2. If its thermal conductivity k is known, the heat flow rate q through a substrate of thickness L and surface area A , having a temperature difference of ΔT °C between faces, can be calculated from the formula.

$$q = \frac{k A \Delta T}{L} \text{ watts}$$

This formula ignores convection and radiation effects which will usually (but not necessarily) be of secondary importance.

B3. The thermal conductivities of some common materials are given in Table II. These figures, taken from V.D.I. "Wärmeatlas 1956, Ea4" and other sources, have been converted to S.I. units by multiplying by 1.163.

TABLEAU II

Conductivités thermiques des matériaux usuels

TABLE II

Thermal conductivities of common materials

Matériaux	Material	Temperature* Temperature* °C	Conductivité thermique Thermal conductivity W · m ⁻¹ K ⁻¹ **
Argent	Silver	20	411
Cuivre très pur	Copper – very pure	20	395
Cuivre commercial	Copper – commercial	20	372
Or pur	Gold – pure	20	311
Aluminium	Aluminium	20	229
Duralumin (Al-Cu)	Duralumin (Al-Cu)	20	165
Magnésium pur	Magnesium – pure	20	143
Electron (Ni-St)	Electron (Ni-St)	20	116
Laiton	Brass	20	81–116
Zinc	Zinc	20	113
Etain	Tin	20	66
Fer – forgé, pur	Iron – wrought, pure	0	59
Fer	Iron	200	52
Fer – fonte 3% carbone	Iron – cast 3% carbon	20	58
Fer – acier au chrome	Iron – chrome steel	20	40
Fer – acier nickel chrome	Iron – nickel chrome steel	20	14,5
Nickel	Nickel	18	59,5
Nickel – argent (Ni-Cu-Zn)	Nickel – silver (Ni-Cu-Zn)	0	29,3
Plomb pur	Lead – pure	0	35,1
Graphite – compact	Graphite – compact	20	12–174
Argile réfractaire	Fireclay	100	0,5–1,2
Tartre	Boiler scale	100	0,08–2,3
Béton	Concrete	20	0,8–1,4
Brique – sèche	Brick – dry	20	0,38–0,52
Verre à vitre	Plate glass	20	0,76
Marbre	Marble	20	2,8
Bakélite	Bakelite	20	0,233
Caoutchouc	Rubber	20	0,13–0,23
Plexiglas	Plexiglass	20	0,184
Celluloïd	Celluloid	20	0,215
Hêtre – coupe en long	Beechwood – along grain	20	0,35
Chêne – tranche	Oak – cross grain	20	0,17–0,21
Chêne – coupe en long	Oak – along grain	–	0,37
Pin – tranche	Pine – cross grain	20	0,14
Pin – coupe en long	Pine – along grain	–	0,26

* C'est la température à laquelle la conductivité thermique du matériau a été mesurée. Pratiquement, il y aura une petite différence sur la gamme de température de substrat qu'il sera possible d'obtenir dans l'essai Sa (Publication 68-2-5). Cependant, si besoin est, la variation de conductivité en fonction de la température est donnée au feuillet Ea3 du «Wärmeatlas» 1956 du V.D.I.

** Voir la Publication 27-1 de la CEI, tableau I, n° 49. Les unités d'intervalle ou de différence de température thermodynamique (K) et (°C) sont identiques.

* This is the temperature at which the thermal conductivity of the material was measured. For practical purposes, there will be little difference over the substrate temperature range likely to be obtained in Test Sa (Publication 68-2-5). However, if required, the variation in thermal conductivity with temperature is given on Sheet Ea3 of the V.D.I. "Wärmeatlas" 1956.

** See IEC Publication 27-1, Table I, Item No. 49. The units of the thermodynamic temperature interval or difference (K) and the temperature interval or difference (°C) are identical.

ICS 19.040

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND