

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60721-2-4

Edition 1.1

2002-10

Edition 1:1987 consolidée par l'amendement 1:1988
Edition 1:1987 consolidated with amendment 1:1988

Classification des conditions d'environnement –

**Partie 2-4:
Conditions d'environnement
présentes dans la nature –
Rayonnement solaire et température**

Classification of environmental conditions –

**Part 2-4:
Environmental conditions appearing in nature –
Solar radiation and temperature**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60721-2-4:1987+A1:1988

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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 cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI** (www.iec.ch)
- **Catalogue des publications de la CEI**

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.htm) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- **IEC Just Published**

Ce résumé des dernières publications parues (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.htm) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- **Service clients**

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

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 this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- **IEC Web Site** (www.iec.ch)
- **Catalogue of IEC publications**

The on-line catalogue on the IEC web site (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.htm) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- **IEC Just Published**

This summary of recently issued publications (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.htm) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- **Customer Service Centre**

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60721-2-4

Edition 1.1

2002-10

Edition 1:1987 consolidée par l'amendement 1:1988
Edition 1:1987 consolidated with amendment 1:1988

Classification des conditions d'environnement –

**Partie 2-4:
Conditions d'environnement
présentes dans la nature –
Rayonnement solaire et température**

Classification of environmental conditions –

**Part 2-4:
Environmental conditions appearing in nature –
Solar radiation and temperature**

© IEC 2002 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.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

CC

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
1 Domaine d'application.....	8
2 Objet	8
3 Généralités	8
4 Physique héliothermique.....	10
5 Niveaux de rayonnement global	12
5.1 Niveaux maximaux.....	12
5.2 Rayonnement solaire global moyen, mensuel et annuel.....	12
5.3 Valeurs simultanées des températures maximales de l'air et du rayonnement solaire	14
5.4 Distribution mondiale de l'exposition énergétique global journalière.....	14
6 Niveau minimaux de rayonnement atmosphérique nocturne.....	14
Annexe A Distribution mondiale de l'exposition énergétique globale journalière	20
Figure 1 – Rayonnement atmosphérique d'un ciel nocturne par temps clair	16
Figure 2 – Spectres de rayonnement électromagnétique en provenance du soleil et de la surface de la terre	18
Figure A.1 – Exposition énergétique globale relative, moyenne pour le mois de juin (en pourcentage).....	24
Figure A.2 – Exposition énergétique globale relative, moyenne pour le mois de décembre (en pourcentage).....	26
Figure A.3 – Exposition énergétique globale relative, moyenne pour l'année (en pourcentage).....	28
Tableau 1 – Valeurs typiques maximales de rayonnement global (en watts par mètre carré dans un ciel dans nuages)	12
Table A.1 – Valeur moyenne journalière de l'exposition énergétique globale extraterrestre (kWh/m ²).....	22

CONTENTS

FOREWORD	5
1 Scope	9
2 Object.....	9
3 General	9
4 Solar radiation physics.....	11
5 Levels of global radiation	13
5.1 Maximum levels	13
5.2 Mean monthly and annual global solar radiation	13
5.3 Simultaneous values of maximum air temperatures and solar radiation.....	15
5.4 World distribution of daily global irradiation.....	15
6 Minimum levels of atmospheric radiation at night	15
Annex A World distribution of daily global irradiation.....	21
Figure 1 – Atmospheric radiation from a clear night sky	17
Figure 2 – Spectra of electromagnetic radiation from the sun and the surface of the earth	19
Figure A.1 – Mean relative global irradiation for the month of June (in percent).....	25
Figure A.2 – Mean relative global irradiation for the month of December (in percent)	27
Figure A.3 – Mean relative global irradiation for the year (in percent).....	29
Table 1 – Typical peak values of global irradiance (in watts per square metre from a cloudless sky).....	13
Table A.1 – Mean daily extraterrestrial global irradiation (kWh/m ²)	23

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CLASSIFICATION DES CONDITIONS D'ENVIRONNEMENT –

Partie 2-4: Conditions d'environnement présentes dans la nature – Rayonnement solaire et température

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60721-2-4 a été établie par le comité d'études 104 de la CEI: Conditions, classification et essais d'environnement.¹⁾

La présente version consolidée de la CEI 60721-2-4 est issue de la première édition (1987) [documents 75(BC)19 et 75(BC)23 et de son amendement 1 (1988) [documents 75(BC)38 et 75(BC)45.

Elle porte le numéro d'édition 1.1.

Une ligne verticale dans la marge indique où la publication de base a été modifiée par l'amendement 1.

Il est à noter que la présente norme constitue une partie d'une série consacrée aux sujets suivants:

- Classification des agents d'environnement et de leurs sévérités (CEI 60721-1).
- Conditions d'environnement présentes dans la nature (CEI 60721-2).
- Classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités (CEI 60721-3).

¹⁾ Le comité d'études 75 de la CEI: «Classification des conditions d'environnement» a été transformé en comité d'études 104.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

CLASSIFICATION OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS –**Part 2-4: Environmental conditions appearing in nature –
Solar radiation and temperature**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60721-2-4 has been prepared by IEC technical committee 104: Environmental conditions, classification and methods of test.¹⁾

This consolidated version of IEC 60721-2-4 is based on the first edition (1987) [documents 75(CO)19 and 75(CO)23 and its amendment 1 (1988) [documents 75(CO)38 and 75(CO)45.

It bears the edition number 1.1.

A vertical line in the margin shows where the base publication has been modified by amendment 1.

It should be noted that this standard forms one part of a series intended to deal with the following subjects:

- Classification of environmental parameters and their severities (IEC 60721-1).
- Environmental conditions appearing in nature (IEC 60721-2).
- Classification of groups of environmental parameters and their severities (IEC 60721-3).

¹⁾ IEC technical committee 75: "Classification of environmental conditions" has been transformed into technical committee 104.

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

CEI 60721-1:1981, *Classification des conditions d'environnement – Première partie: Classification des agents d'environnement et de leurs sévérités*

CEI 60721-2-1:1982, *Deuxième partie: Conditions d'environnement présentes dans la nature – Température et humidité*

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de son amendement 1 ne sera pas modifié avant 2007. A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

The following IEC publication are quoted in this standard:

IEC 60721-1:1981, *Classification of environmental conditions – Part 1: Classification of environmental parameters and their severities*

IEC 60721-2-1:1982, *Part 2: Environmental conditions appearing in nature – Temperature and humidity*

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendment 1 will remain unchanged until 2007. At this date, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

CLASSIFICATION DES CONDITIONS D'ENVIRONNEMENT –

Partie 2-4: Conditions d'environnement présentes dans la nature – Rayonnement solaire et température

1 Domaine d'application

Cette partie de la norme présente une large division en types de zones de rayonnement solaire. Elle est destinée à faire partie de la documentation de base pour choisir des sévérités appropriées de rayonnement solaire pour l'application aux produits.

Tous les types de zones géographiques sont couverts, sauf les zones où les altitudes dépassent 5 000 m.

En choisissant les sévérités du rayonnement solaire pour l'application aux produits, il convient d'utiliser les valeurs données dans la CEI 60721-1.

2 Objet

Définir les sévérités limites du rayonnement solaire auquel les produits sont susceptibles d'être exposés pendant le transport, le stockage et la mise en œuvre.

3 Généralités

Le rayonnement solaire peut affecter les produits essentiellement par l'échauffement des matériaux et de leur environnement, ou par dégradation photochimique des matériaux.

Le contenu ultraviolet du rayonnement solaire est la cause d'une dégradation photochimique de la plupart des matériaux organiques. L'élasticité et la plasticité de certains composés de caoutchouc ou de matières plastiques sont affectées. Le verre optique peut devenir opaque.

Le rayonnement solaire décolore les peintures, les textiles, le papier, etc. Cela peut avoir une importance, par exemple, pour les couleurs codées des composants.

L'échauffement des matériaux est l'effet le plus important de l'exposition au rayonnement solaire. La présentation des sévérités du rayonnement solaire est pour cette raison reliée à la puissance surfacique rayonnée – ou éclairage énergétique – exprimée en watts par mètre carré.

Un objet soumis au rayonnement solaire atteint une température dépendant essentiellement de la température de l'air environnant, de l'énergie rayonnée par le soleil et de l'angle d'incidence du rayonnement sur l'objet. D'autres facteurs, par exemple le vent, la transmission de la chaleur aux structures, peuvent avoir de l'importance. De plus, le facteur d'absorption α_s du spectre solaire par la surface est important.

Une température conventionnelle t_s de l'air peut être définie, qui, dans des conditions stables, a pour résultat une température de surface d'un objet égale à la combinaison de la température réelle t_u de l'air, et du rayonnement solaire de l'éclairage énergétique E .

CLASSIFICATION OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS –

Part 2-4: Environmental conditions appearing in nature – Solar radiation and temperature

1 Scope

This part of the standard presents a broad division into types of solar radiation areas. It is intended to be used as part of the background material when selecting appropriate severities of solar radiation for product applications.

All types of geographical areas are covered, except areas with altitudes above 5 000 m.

When selecting severities of solar radiation for product applications, the values which are given in IEC 60721-1 should be applied.

2 Object

To define limiting severities of solar radiation to which products are liable to be exposed during transportation, storage and use.

3 General

Solar radiation can affect products primarily by heating of material and their environment or by photochemical degradation of material.

The ultraviolet content of solar radiation causes photochemical degradation of most organic materials. Elasticity and plasticity of certain rubber compounds and plastic materials are affected. Optical glass may become opaque.

Solar radiation bleaches out colours in paints, textiles, paper, etc. This can be of importance, for example for the colour coding of components.

The heating of material is the most important effect of exposure to solar radiation. The presentation of severities of solar radiation is therefore related to the power density radiated towards a surface, or irradiance, expressed in watts per square metre.

An object subjected to solar radiation will attain a temperature depending primarily on the surrounding air temperature, the energy radiated from the sun, and the incidence angle of the radiation on the object. Other factors, for example wind and heat conduction to mountings, can be of importance. In addition, the absorptance α_s of the surface for the solar spectrum is of importance.

An artificial air temperature t_s may be defined, which, under steady-state conditions, results in the same surface temperature of an object as the combination of the actual air temperature t_u and the solar radiation of the irradiance E .

Une valeur approximative peut être obtenue au moyen de l'équation suivante:

$$t_s = t_u + \frac{\alpha_s \cdot E}{h_y}$$

Le coefficient h_y est le coefficient global de transmission thermique pour la surface, en watts par mètre carré et degré Celsius, et comprend le rayonnement thermique vers l'entourage, la conduction de la chaleur et la convection due au vent.

Le facteur d'absorption α_s dépend de la couleur thermique et des facteurs de réflexion et de transmission de la surface.

Les valeurs typiques par ciel clair sont:

$$\alpha_s = 0,7$$

$$h_y = 20 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

$$E = 900 \text{ W/m}^2$$

Elles ont pour effet une «surtempérature», du au rayonnement solaire, d'environ 30 °C. On peut constater qu'une erreur de 10 % dans l'estimation du rayonnement solaire aura une influence de moins de 5 °C sur la température concernée. Aussi n'est-il nullement besoin, dans cette classification, d'une grande précision pour les sévérités de rayonnement solaire, si bien que les facteurs mineurs affectant la chaleur rayonnée ont été ici négligés.

L'effet d'échauffement est causé principalement par un rayonnement de courte durée et de haute intensité, c'est-à-dire le rayonnement solaire aux environs de midi, les jours sans nuages. De telles valeurs sont présentées dans le tableau 1.

Il peut aussi être intéressant d'identifier les plus faibles valeurs de rayonnement atmosphérique pendant les nuits claires afin de déterminer la «sous-température» de produits exposés au ciel nocturne.

De telles valeurs sont données dans la figure 1.

4 Physique héliothermique

Le rayonnement électromagnétique en provenance du soleil couvre un spectre assez large, de l'ultraviolet au proche infrarouge. La plus grande partie de l'énergie atteignant la surface de la terre est dans la bande de longueur d'onde de 0,3 µm à 4 µm, avec maximum dans la bande visible autour de 0,5 µm. Des spectres typiques sont indiqués à la figure 2.

La quantité d'énergie rayonnée par le soleil qui tombe sur la surface unitaire d'un plan perpendiculaire aux rayons solaires, juste à l'extérieur de l'atmosphère, à la distance moyenne soleil-terre est appelée «constante solaire». Sa valeur est d'environ 1,37 kW/m².

La distance soleil-terre varie au cours de l'année et, par suite, le rayonnement varie d'environ 1,41 kW/m² en janvier, à environ 1,32 kW/m² en juillet.

Près de 99 % de l'énergie du soleil est émise à des longueurs d'onde inférieures à 4 µm. La plus grande partie de l'énergie émise à moins de 0,3 µm est absorbée par l'atmosphère et n'atteint pas la surface de la terre. Une absorption supplémentaire et une dispersion du rayonnement sont dues à la présence de particules et de gaz pendant la traversée de l'atmosphère. La dispersion du rayonnement solaire direct dans l'atmosphère

An approximate value can be obtained from the following equation:

$$t_s = t_u + \frac{\alpha_s \cdot E}{h_y}$$

The coefficient h_y is the heat transfer coefficient for the surface, in watts per square metre and degree Celsius, and includes thermal radiation to the surroundings, heat conduction and convection due to wind.

The absorptance α_s , depends on the thermal colour, the reflectance and the transmittance of the surface.

Typical clear sky values are:

$$\alpha_s = 0,7$$

$$h_y = 20 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

$$E = 900 \text{ W/m}^2$$

resulting in an "overtemperature" due to solar radiation of about 30 °C. It can then be seen that an error of 10 % in the estimation of the intensity of the solar radiation will influence the temperature involved by less than 5 °C. Therefore, there is no need in this classification for extremely accurate severities of solar radiation and minor factors affecting the heat radiated have therefore been disregarded here.

The heating effect is caused mainly by short-term radiation of high intensity, i.e. the solar radiation around noon on cloudless days. Such values are presented in table 1.

It may also be of interest to identify the lowest possible value of atmospheric radiation during clear nights in order to determine the "undertemperature" of products exposed to the night sky.

Such values are given in figure 1.

4 Solar radiation physics

The electromagnetic radiation from the sun to the Earth covers a rather broad spectrum from the ultraviolet to the near infra-red. Most of the energy reaching the surface of the earth is in the wavelength range of 0,3 µm to 4 µm with a maximum in the visible range around 0,5 µm. Typical spectra are shown in figure 2.

The amount of radiant energy from the sun which falls upon unit area of a plane normal to the sun's rays just outside the atmosphere at the mean distance from Earth to sun is called the solar constant. Its value is approximately 1,37 kW/m².

The distance from Earth to sun varies during the year, and consequently the radiation varies from approximately 1,41 kW/m² in January to approximately 1,32 kW/m² in July.

Approximately 99 % of the energy of the sun is emitted at wavelengths below 4 µm. Most of the energy below 0,3 µm is absorbed by the atmosphere and does not reach the surface of the Earth. Further absorption and scattering of the radiation takes place, due to particles and gases, during passage through the atmosphere. The scattering of the direct solar radiation in

a pour résultat un rayonnement diffus du ciel. Ainsi, l'énergie reçue en un certain point de la surface terrestre est la somme du rayonnement solaire direct et du rayonnement solaire diffus, appelée «rayonnement global». Du point de vue des effets d'échauffement, c'est cette somme qui présente de l'intérêt, et les niveaux donnés dans la présente norme sont, pour cette raison, relatifs au rayonnement global.

5 Niveaux de rayonnement global

5.1 Niveaux maximaux

Le niveau maximal de rayonnement global se constate à midi, par beau temps. La plus haute valeur de la puissance obtenue par un jour sans nuages, à midi, sur une surface perpendiculaire à la direction du soleil dépend de la teneur de l'air en aérosols, ozone et vapeur d'eau. Elle varie considérablement avec la latitude géographique et le type de climat.

Le rayonnement global sur une surface perpendiculaire à la direction du soleil peut atteindre une valeur de 1 120 W/m² à midi, par un jour sans nuages, avec environ 1 cm de vapeur d'eau contenue, 2 mm d'ozone et des aérosols de $\beta = 0,05$, ou β est le coefficient de turbidité d'Ångström. La valeur 1 120 W/m² est typique pour un pays de plaine, à l'écart des industries et des grandes villes, et pour une hauteur du soleil supérieure à 60°.

NOTE La vapeur d'eau contenue dans une colonne verticale de l'atmosphère est mesurée comme la hauteur, en centimètres, de l'eau précipitée correspondante. De façon analogue, l'ozone contenu dans une colonne verticale de l'atmosphère est mesuré comme la hauteur de la colonne d'ozone correspondante à température et pression normales. La diffraction et l'absorption par les aérosols sont exprimées par le coefficient de turbidité d'Ångström, qui est la profondeur optique de l'atmosphère, au regard de l'extinction du rayonnement monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 1 \mu\text{m}$.

Le rayonnement solaire direct décroît en raison inverse de la turbidité. Celle-ci est grande dans les climats subtropicaux et dans les déserts. où la concentration de particules dans l'air est forte. Elle est grande aussi dans les régions urbaines et faible dans les zones montagneuses.

Les niveaux du tableau 1 sont recommandés pour être appliqués comme des valeurs maximales du rayonnement global à midi, reçu sur une surface perpendiculaire à la direction du soleil dans un ciel sans nuages. Le niveau varie seulement de quelques pour-cent dans les heures proches de midi et peut, pour cette raison, être considéré comme représentatif d'une durée de quelques heures.

**Tableau 1 – Valeurs typiques maximales de rayonnement global
(en watts par mètre carré dans un ciel dans nuages)**

Zone	Grande villes	Plaines	Zones montagneuse
Climats subtropicaux et déserts	700	750	1 180
Autres régions	1 050	1 120	1 180

5.2 Rayonnement solaire global moyen, mensuel et annuel

Alors que l'effet maximal d'échauffement du rayonnement solaire sur une surface est dû normalement à un éclairage énergétique de courte durée aux environs de midi, les effets photochimiques sont fonction d'intégration dans le temps du rayonnement, appelée «exposition énergétique». Pour les besoins de comparaison, l'exposition énergétique globale journalière est la valeur la plus commode et la plus souvent utilisée.

the atmosphere results in diffuse radiation from the sky. Thus the energy received at a certain place on the earth is the sum of the direct solar radiation and the diffuse solar radiation, which is referred to as the "global radiation". From the point of view of heating effects, this sum is of interest and the levels given in this standard are therefore related to global radiation.

5 Levels of global radiation

5.1 Maximum levels

The maximum level of global radiation on a clear day occurs at noon. The highest value of the power achieved on a cloudless day at noon at a surface perpendicular to the direction of the sun depends on the content of aerosol particles, ozone and water vapour in the air. It varies considerably with geographical latitude and type of climate.

The global radiation on a surface perpendicular to the direction of the sun may reach a value of 1 120 W/m² at noon on a cloudless day with approximately 1 cm water vapour content, 2 mm ozone and aerosols of $\beta = 0,05$, where β is the Ångström turbidity coefficient. The value 1 120 W/m² is typical for flat land far away from industrial areas and from large cities at solar elevations exceeding 60°.

NOTE The water vapour content of a vertical column of the atmosphere is measured as the height, in centimetres, of the corresponding precipitated water. Analogously, the ozone content of a vertical column of the atmosphere is measured as the height of the corresponding ozone column at normal temperature and pressure. The scattering and absorption by aerosol particles is expressed by the Ångström turbidity coefficient, which is the optical depth of the atmosphere with respect to extinction of monochromatic radiation of wavelength $\lambda = 1 \mu\text{m}$.

The direct solar radiation decreases with increasing turbidity. Turbidity is high in subtropical climates and in deserts where the concentration of particles in the air is high. It is also high in large cities and low in mountainous areas.

The levels in table 1 are recommended for application as peak values of global irradiance at noon, experienced by a surface perpendicular to the direction of the sun in a cloudless sky. The level varies only a few percent within the hours nearest to noon and can therefore be assumed to be representative for a few hours at a time.

**Table 1 – Typical peak values of global irradiance
(in watts per square metre from a cloudless sky)**

Area	Large cities	Flat land	Mountainous areas
Subtropical climates and deserts	700	750	1 180
Other areas	1 050	1 120	1 180

5.2 Mean monthly and annual global solar radiation

Whilst the maximum heating effect of solar radiation on a surface is normally dependent on short-term irradiance around noon, the photochemical effects are related to radiation, integrated over time, i.e. irradiation. For the purpose of comparison, daily global irradiation is the most convenient and commonly used value.

En décembre, aux environs du pôle sud, la moyenne mensuelle d'exposition énergétique journalière peut atteindre environ 10,8 kWh/m², du fait de la durée du jour. Les niveaux journaliers hors des zones antarctiques atteignent environ 8,4 kWh/m².

Les plus hautes moyennes annuelles d'exposition énergétique journalière globale, qui peuvent atteindre 6,6 kWh/m², sont trouvés principalement dans les zones désertiques.

5.3 Valeurs simultanées des températures maximales de l'air et du rayonnement solaire

On trouve les plus faibles valeurs du coefficient de turbidité β dans les masses d'air froid. C'est pourquoi les niveaux figurant dans le tableau 1 ne sont pas rencontrés quand la température de l'air est dans ses valeurs les plus élevées.

On peut considérer que l'éclairement énergétique global n'atteint pas plus de 80 % des valeurs données dans le tableau 1 en présence des températures d'air maximales données dans la CEI 60721-2-1.

5.4 Distribution mondiale de l'exposition énergétique global journalière

Pour la distribution de l'exposition énergétique globale journalière, voir l'annexe A.

6 Niveau minimaux de rayonnement atmosphérique nocturne

Lors des nuits sans nuages quand le rayonnement atmosphérique est très faible, les objets exposés au ciel nocturne prennent une température de surface inférieure à celle de l'air environnant.

La température théorique T_0 , en kelvins, d'un objet en équilibre avec le rayonnement atmosphérique est donnée par la loi de Boltzmann:

$$T_0 = \left(\frac{A}{\sigma} \right)^{1/4}$$

où

σ est la constante de Stefan-Boltzmann, soit $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$

A est le rayonnement atmosphérique en W/m^2 (voir figure 1)

En pratique, les températures seront supérieures en raison de la conduction thermique, de la convection et de la condensation d'eau.

A titre d'exemple, on constate que la surface d'un disque horizontal, isolé thermiquement du sol et exposé au ciel nocturne pendant une nuit claire, peut atteindre une température de $-14 \text{ }^\circ\text{C}$ lorsque la température de l'air est de $0 \text{ }^\circ\text{C}$ et que l'humidité relative est proche de 100 %.

La figure 1 indique le rayonnement atmosphérique d'un ciel nocturne par temps clair en fonction de la température de l'air, à une hauteur de 2 m au-dessus du sol. L'humidité relative est normalement très élevée par nuit claire.

In December, the monthly mean average of daily irradiation reaches approximately 10,8 kWh/m² close to the South Pole, because of the duration of daylight. Outside the Antarctic area daily levels reach approximately 8,4 kWh/m².

The highest annual mean averages of daily global irradiation, up to 6,6 kWh/m², are found mainly in desert areas.

5.3 Simultaneous values of maximum air temperatures and solar radiation

The lowest values of the turbidity coefficient β are found in cold air masses. Therefore, the levels in table 1 do not occur at the highest values of air temperature.

It may be assumed that global irradiance does not reach more than 80 % of the values given in table 1 at the maximum air temperatures given in IEC 60721-2-1.

5.4 World distribution of daily global irradiation

For the distribution of daily global irradiation, see annex A.

6 Minimum levels of atmospheric radiation at night

In cloudless nights when the atmospheric radiation is very low, objects exposed to the night sky will attain surface temperatures below the surrounding air temperature.

The theoretical temperature T_0 , in kelvins, of an object in equilibrium with the atmospheric radiation is given by Boltzmann's law:

$$T_0 = \left(\frac{A}{\sigma} \right)^{1/4}$$

where

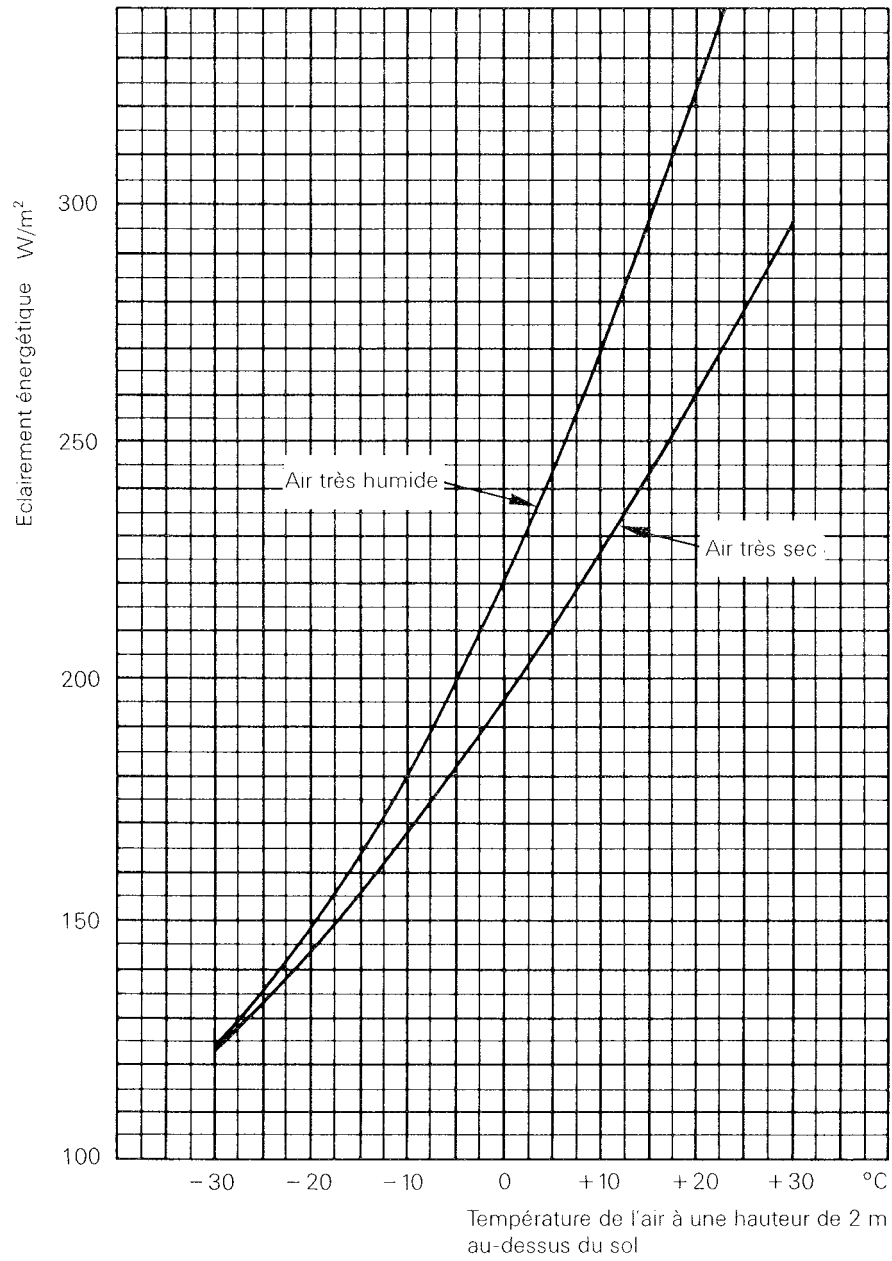
σ is Stefan-Boltzmann's constant, $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$

A is atmospheric radiation in W/m^2 (see figure 1)

In practice, temperatures will be higher due to heat conduction, convection and water condensation.

As an example it has been found that the surface of a horizontal disk thermally isolated from the ground and exposed to the night sky during a clear night can attain a temperature of -14°C when the air temperature is 0°C and the relative humidity is close to 100 %.

Figure 1 shows the atmospheric radiation from the night sky in clear air as a function of air temperature at a height of 2 m above the ground level. The relative humidity is normally very high on clear nights.



IEC 2345/02

Figure 1 – Rayonnement atmosphérique d'un ciel nocturne par temps clair

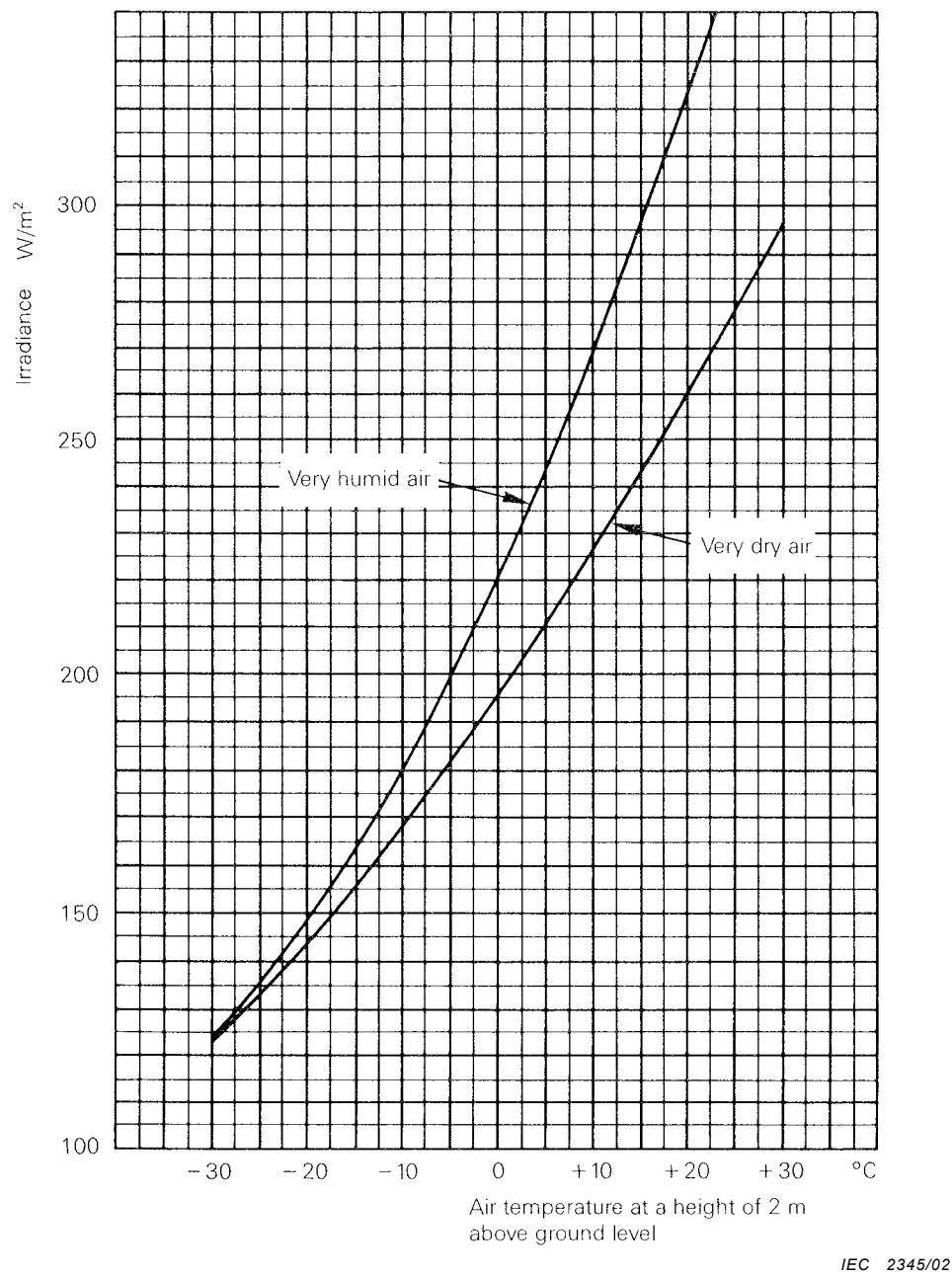
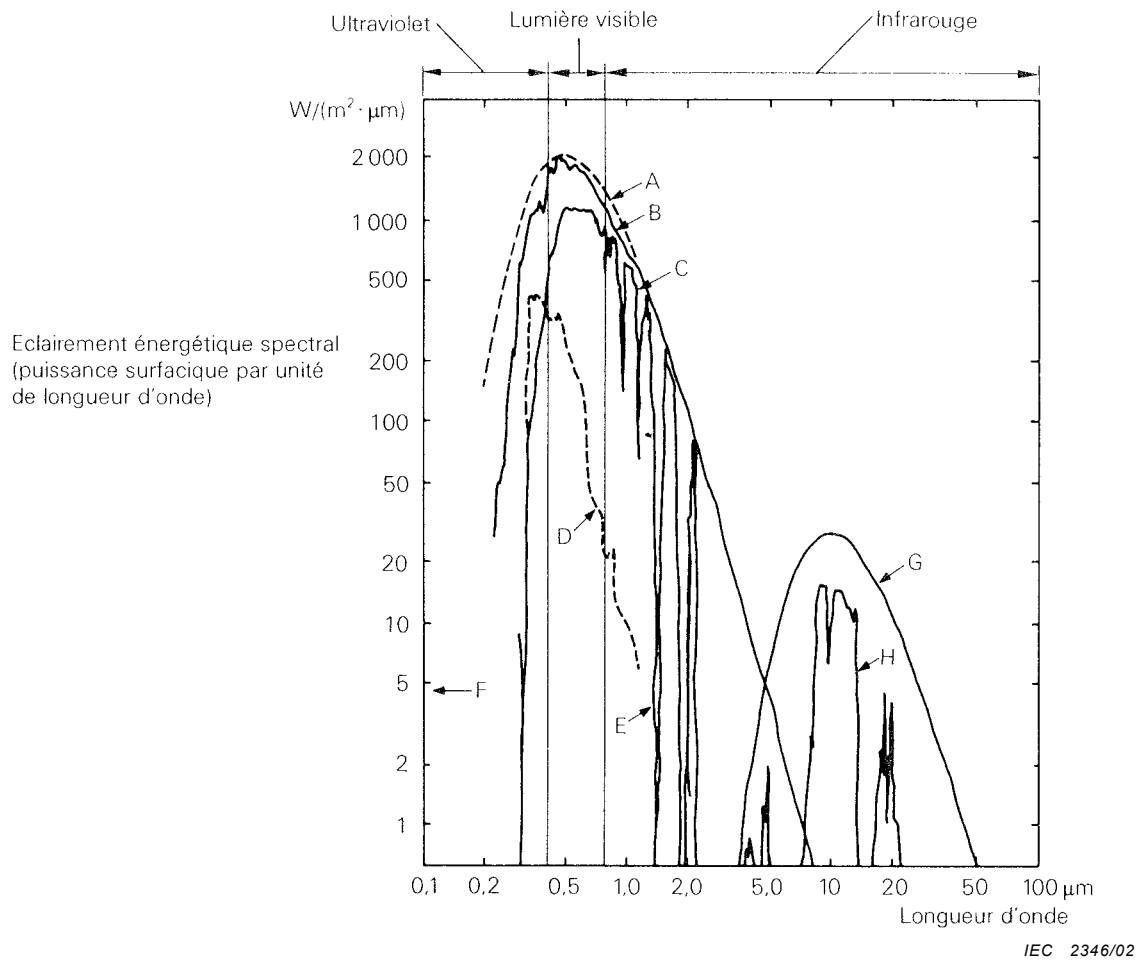
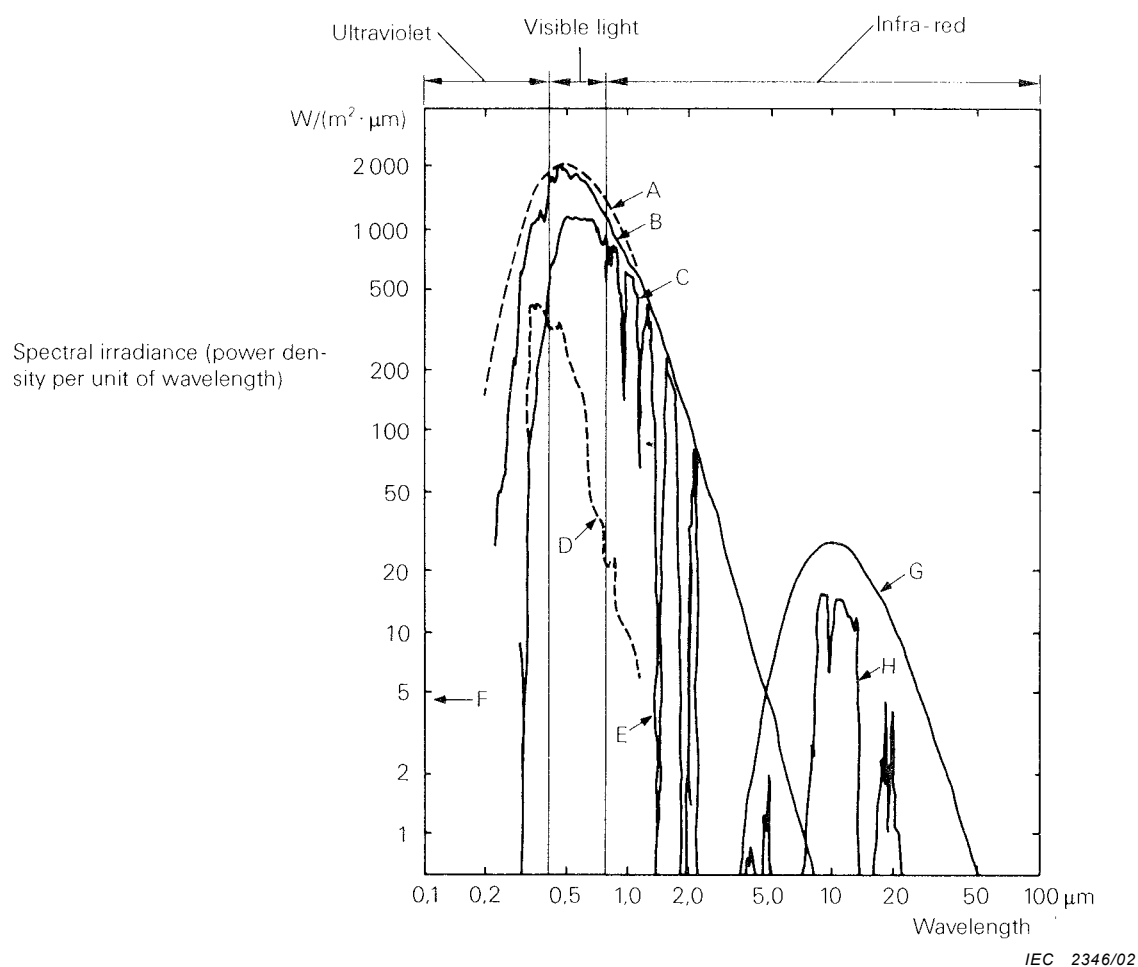


Figure 1 – Atmospheric radiation from a clear night sky



- | | |
|--|---|
| A Rayonnement, hors de l'atmosphère, du soleil considéré comme un corps noir à une température de 6 000 K (1,60 kW/m²) | E Bandes d'absorption pour vapeur d'eau et dioxyde de carbone |
| B Rayonnement solaire extra-atmosphérique (1,37 kW/m²) | F Absorption par oxygène et ozone |
| C Rayonnement solaire direct à la surface terrestre normale à la direction de radiation (par exemple 0,9 kW/m²) | G Rayonnement du corps noir à 300 K (0,47 kW/m²) |
| D Rayonnement solaire diffus à la surface terrestre (par exemple 0,10 kW/m²) | H Rayonnement thermique issu de la terre (par exemple 0,07 kW/m²) |

Figure 2 – Spectres de rayonnement électromagnétique en provenance du soleil et de la surface de la terre



- | | |
|---|---|
| <p>A Radiation outside the atmosphere from the sun represented as a black body of temperature 6 000 K (1,60 kW/m²)</p> <p>B Solar radiation outside the atmosphere (1,37 kW/m²)</p> <p>C Direct solar radiation at the surface of the earth perpendicular to the direction of radiation (e.g. 0,9 kW/m²)</p> <p>D Diffuse solar radiation at the surface of the earth (e.g. 0,10 kW/m²)</p> | <p>E Absorption bands of water vapour and carbon dioxide</p> <p>F Absorption by oxygen and ozone</p> <p>G Radiation of a black body at 300 K (0,47 kW/m²)</p> <p>H Thermal radiation from the earth (e.g. 0,07 kW/m²)</p> |
|---|---|

Figure 2 – Spectra of electromagnetic radiation from the sun and the surface of the earth

Annexe A

Distribution mondiale de l'exposition énergétique globale journalière

Les figures A.1, A.2 et A.3 sont des cartes mondiales qui représentent les courbes isohéliométriques de l'exposition énergétique globale relative (valeurs moyennes pour les mois de juin et de décembre et pour une année) déduites de mesures par satellites (voir note 1). L'exposition énergétique relative est définie comme le rapport entre l'exposition énergétique globale mesurée sur la surface de la terre et l'exposition énergétique globale extraterrestre, qui est l'exposition énergétique solaire sur un plan perpendiculaire à la direction du soleil, juste à l'extérieur de l'atmosphère.

Afin d'obtenir la valeur moyenne journalière de l'exposition énergétique globale à la surface de la terre, la valeur en pourcentage figurant sur les cartes est multipliée par la valeur moyenne journalière appropriée de l'exposition énergétique extraterrestre globale, qui est donnée en fonction de la latitude géographique dans le tableau A.1 (voir note 2).

NOTE 1 Référence:

G. Major et al.: *Cartes mondiales de l'exposition énergétique global relative*.

Organisation météorologique mondiale – Note technique n° 172, Annexe. OMM n° 557, Genève (1981).

NOTE 2 Les bases de détermination des valeurs journalières d'exposition énergétique en kWh/m² sont les valeurs d'expositions énergétiques mensuelles et annuelles en MJ/m², divisées par 30 pour juin, par 31 pour décembre et par 365 pour l'année.

Exemple:

Détermination de la valeur moyenne journalière de l'exposition énergétique globale, attendue en juin à la pointe sud de la presqu'île californienne.

Dans la figure A.1, la pointe (située à la latitude géographique de 23° N environ) est entourée par une courbe isohéliométrique de 60 %, et la valeur du pourcentage pour la pointe est estimée à 62 %.

Dans le tableau A.1, l'interpolation pour 23° N dans la colonne juin donne 11,16 kWh/m² qui doit être multiplié par la valeur de pourcentage ci-dessus.

La valeur moyenne journalière de l'exposition énergétique globale est donc approximativement de 6,9 kWh/m².

Annex A

World distribution of daily global irradiation

Figures A.1, A.2 and A.3 are world maps showing isohels of relative global irradiation (June, December and annual mean values), derived from satellite measurements (see note 1). Relative global irradiation is defined as the ratio of global irradiation measured at the earth's surface, divided by the extraterrestrial global irradiation which is the solar radiation on a plane perpendicular to the direction of the sun just outside the atmosphere.

In order to obtain the mean daily value of global irradiation at the earth's surface, the percentage value shown on the maps should be multiplied by the appropriate mean daily value of extraterrestrial global irradiation, which is given as a function of geographical latitude in table A.1 (see note 2).

NOTE 1 Reference to source:

G. Major et al.: *World maps of relative global radiation*.

World Meteorological Organization, Technical Note No. 172, Annexe. WMO-No. 557, Geneva (1981).

NOTE 2 The basis for determining the daily irradiation values in kWh/m² is the values of monthly and annual irradiation in MJ/m² divided by the number of days in June (30), in December (31), and in the year (365).

Example:

Determine the mean daily global irradiation to be expected in June at the southern point of the Californian peninsula.

From Figure A.1 the point (at an approximate geographical latitude of 23° N) is surrounded by an isohel of 60 %, and the percentage value for the point is estimated as 62 %.

In table A.1, interpolation for 23° N in the June column gives 11,16 kWh (m² which is to be multiplied by the percentage value above.

The mean daily global irradiation will thus be approximately 6,9 kWh/m².

Table A.1 – Valeur moyenne journalière de l'exposition énergétique globale extraterrestre (kWh/m²)

Latitude	Juin	Décembre	Annuelle
90 N	12,47	0,0	4,17
85 N	12,42	0,0	4,20
80 N	12,28	0,0	4,30
75 N	12,05	0,0	4,49
70 N	11,72	0,0	4,76
65 N	11,40	0,11	5,16
60 N	11,40	0,65	5,71
55 N	11,48	1,36	6,29
50 N	11,56	2,16	6,87
45 N	11,61	3,00	7,42
40 N	11,61	3,85	7,93
35 N	11,56	4,72	8,40
30 N	11,44	5,57	8,82
25 N	11,26	6,40	9,19
20 N	11,00	7,20	9,49
15 N	10,68	7,96	9,73
10 N	10,30	8,68	9,90
5 N	9,84	9,34	10,01
0	9,33	9,95	10,04
5 S	8,76	10,50	10,01
10 S	8,13	10,98	9,90
15 S	7,46	11,39	9,73
20 S	6,74	11,73	9,49
25 S	5,99	12,00	9,19
30 S	5,21	12,19	8,82
35 S	4,41	12,32	8,40
40 S	3,60	12,37	7,93
45 S	2,79	12,37	7,41
50 S	2,01	12,31	6,86
55 S	1,27	12,22	6,29
60 S	0,60	12,13	5,71
65 S	0,10	12,12	5,16
70 S	0,0	12,45	4,75
75 S	0,0	12,80	4,48
80 S	0,0	13,05	4,30
85 S	0,0	13,20	4,20
90 S	0,0	13,25	4,16

Table A.1 – Mean daily extraterrestrial global irradiation (kWh/m²)

Latitude	June	December	Annual
90 N	12,47	0,0	4,17
85 N	12,42	0,0	4,20
80 N	12,28	0,0	4,30
75 N	12,05	0,0	4,49
70 N	11,72	0,0	4,76
65 N	11,40	0,11	5,16
60 N	11,40	0,65	5,71
55 N	11,48	1,36	6,29
50 N	11,56	2,16	6,87
45 N	11,61	3,00	7,42
40 N	11,61	3,85	7,93
35 N	11,56	4,72	8,40
30 N	11,44	5,57	8,82
25 N	11,26	6,40	9,19
20 N	11,00	7,20	9,49
15 N	10,68	7,96	9,73
10 N	10,30	8,68	9,90
5 N	9,84	9,34	10,01
0	9,33	9,95	10,04
5 S	8,76	10,50	10,01
10 S	8,13	10,98	9,90
15 S	7,46	11,39	9,73
20 S	6,74	11,73	9,49
25 S	5,99	12,00	9,19
30 S	5,21	12,19	8,82
35 S	4,41	12,32	8,40
40 S	3,60	12,37	7,93
45 S	2,79	12,37	7,41
50 S	2,01	12,31	6,86
55 S	1,27	12,22	6,29
60 S	0,60	12,13	5,71
65 S	0,10	12,12	5,16
70 S	0,0	12,45	4,75
75 S	0,0	12,80	4,48
80 S	0,0	13,05	4,30
85 S	0,0	13,20	4,20
90 S	0,0	13,25	4,16



IEC 2347/02

Figure A.1 – Exposition énergétique globale relative, moyenne pour le mois de juin (en pourcentage)



IEC 2347/02

Figure A.1 – Mean relative global irradiation for the month of June (in percent)



IEC 2348/02

Figure A.2 – Exposition énergétique globale relative, moyenne pour le mois de décembre (en pourcentage)



IEC 2348/02

Figure A.2 – Mean relative global irradiation for the month of December (in percent)



IEC 2349/02

Figure A.3 – Exposition énergétique globale relative, moyenne pour l'année (en pourcentage)



IEC 2349/02

Figure A.3 – Mean relative global irradiation for the year (in percent)

ISBN 2-8318-6624-3



ICS 19.040
