

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules –
Part 2-1: Polymeric materials – Frontsheet and backsheet – Safety requirements**

**Procédures de mesure des matériaux utilisés dans les modules photovoltaïques –
Partie 2-1: Matériaux polymères – Face avant et face arrière – Exigences de
sécurité**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62788-2-1:2023



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2023 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Secretariat
3, rue de Varembé
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee, ...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: sales@iec.ch.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 300 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 19 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études, ...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: sales@iec.ch.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 300 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 19 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules –
Part 2-1: Polymeric materials – Frontsheet and backsheet – Safety requirements**

**Procédures de mesure des matériaux utilisés dans les modules photovoltaïques –
Partie 2-1: Matériaux polymères – Face avant et face arrière – Exigences de
sécurité**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.160

ISBN 978-2-8322-6887-2

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms, definitions and abbreviated terms	9
3.1 General terms and definitions	9
3.2 Sheet types and orientations.....	9
3.3 Electrical insulation.....	10
3.4 Temperatures	11
3.5 Tensile properties	11
4 Designation and ratings	12
5 Requirements	12
5.1 General.....	12
5.1.1 Overview	12
5.1.2 Single-layer constructions.....	13
5.1.3 Multilayer constructions	14
5.2 Insulation coordination.....	14
5.2.1 General	14
5.2.2 Breakdown voltage requirement for complete front- or backsheet	14
5.2.3 Breakdown voltage requirements for individual layers.....	15
5.2.4 Creepage distance requirements.....	15
5.2.5 Distance through insulation requirements	16
5.3 Thermal endurance	16
5.4 Mechanical requirements	17
5.5 Model and variant designation	17
6 Evaluation of test results	17
6.1 General.....	17
6.2 Visual inspection – FBST 01	18
6.2.1 General	18
6.2.2 Reporting.....	18
6.3 Tensile properties – FBST 02.....	18
6.3.1 General	18
6.3.2 Reporting.....	18
6.4 Breakdown voltage – FBST 03	19
6.4.1 General	19
6.4.2 Analysis.....	20
6.4.3 Reporting.....	20
6.5 Distance through insulation – FBST 04	21
6.5.1 General	21
6.5.2 Analysis.....	21
6.5.3 Reporting.....	22
6.6 Material group – FBST 05	22
6.6.1 General	22
6.6.2 Reporting.....	23
6.7 Thermal endurance – FBST 06	23
6.7.1 General	23

6.7.2	Reporting.....	23
6.8	Accelerated ageing tests.....	23
6.8.1	Damp heat – FBST 07	23
6.8.2	UV weathering – FBST 08	23
6.8.3	Reporting.....	24
6.9	Overview tables	25
7	Evaluation report	26
7.1	Report.....	26
8	Documentation and testing for similar materials	26
8.1	General.....	26
8.2	Alternate constituent layers.....	27
8.3	Thickness variants	27
8.4	Color variants	27
8.5	Reporting for similar materials with different color or thickness	28
Annex A (informative)	Chemical analytical material identification	30
A.1	General.....	30
A.2	Examples of fingerprint techniques	30
Bibliography		31
Figure 1	– Schematic diagrams of typical constructions of front- or backsheets	13
Figure 2	– Examples of calculations for determination of DTI ratio and adjusted breakdown voltage.....	20
Figure 3	– Determining distance through insulation from lamination protrusion test as a function of temperature rating	22
Figure 4	– Schematic of lamination protrusion test result for determining which surfaces will be evaluated for minimum creepage distance in the IEC 61730 module design review.....	23
Table 1	– Minimum breakdown voltage requirements for basic and double/reinforced insulation before and after accelerated aging.....	15
Table 2	– Minimum distance through insulation requirements.....	16
Table 3	– UV exposure conditions.....	24
Table 4	– Evaluations and requirements overview for individual layers	25
Table 5	– Evaluations and requirements overview for complete front- and/or backsheets	25

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**MEASUREMENT PROCEDURES FOR MATERIALS
USED IN PHOTOVOLTAIC MODULES –****Part 2-1: Polymeric materials –
Frontsheet and backsheet – Safety requirements**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of 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, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as “IEC Publication(s)”). 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. 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 IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects because each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 62788-2-1 has been prepared by IEC technical committee 82: Solar photovoltaic energy systems. It is an International Standard.

The text of this International Standard is based on the following documents:

Draft	Report on voting
82/2123/FDIS	82/2148/RVD

Full information on the voting for its approval can be found in the report on voting indicated in the above table.

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/standardsdev/publications.

A list of all parts in the IEC 62788 series, published under the general title *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

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

IMPORTANT – The "colour inside" logo on the cover page of this document indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62788-2-1:2023

INTRODUCTION

This document provides test procedures and specifications for polymeric front- and backsheet constructions employed in a PV module for safety qualification on a component level. Test methods have been compiled to match the general requirements for polymeric materials used as relied-upon insulation defined in the IEC 61730 standard series in consideration of test methods in IEC TS 62788-2 (characterization of front- and backsheets), IEC TS 62788-7-2 [4]¹(UV weathering test) and the retesting guidelines IEC TS 62915. This document provides clarifications on definitions of front- and backsheet construction types and related test requirements, and additional environmental stress testing, to which IEC 61730-1 refers. Separating out the component level testing into this document was considered to limit the complexity of the IEC 61730 standard series, also in view of the implementation of the test methods in the frame of IEC System of Conformity Assessment Schemes for Electrotechnical Equipment and Components (IECEE).

Test methods on a component level and PV module level are different for practical reasons. On a component level, the daylight filtered xenon test (IEC TS 62788-7-2) is applied for UV weathering, which is regarded as more representative to assess the durability of polymeric materials under outdoor weather conditions than the UVA test of IEC 61215-2. The latter has been developed in view of practicality of applying UV exposure to larger scale PV modules.

This document focusses on the safety relevant properties of front- and backsheets as required by IEC 61730.

The lamination protrusion test (aka DTI test) is required to measure the thickness of relied-upon insulation on the component level. The thickness of the RUI layer(s) is verified by MST 04 of IEC 61730-2 on PV module level. The test provides additional information needed for evaluation of the Comparative Tracking Index (CTI) and dielectric strength / breakdown voltage.

- The lamination protrusion test applies default lamination conditions, that are representative for a typical PV module manufacturing process. Using a 800 µm diameter solder wire that mimics severe solder peaks and/or slanted ribbons, the test serves as worst case scenario for measurement of potential displacement of material under lamination conditions. Even more harsh lamination process conditions can be selected as recommended by the manufacturer of the front- or backsheet.
- The lamination protrusion test is also used to identify additional inner layers of the front- or backsheet that potentially may be in contact with live parts and for which CTI shall be determined. Additional layers may require CTI depending on the construction of the PV module, e.g., due to specific sheet openings and through wiring for junction box connections with background provided in IEC 61730-1.
- The ratio of the measured distance through insulation (t_{DTI}) to the total thickness is used to calculate the effective dielectric strength or required withstand voltage when measured on final products that contain inner layers, which can be displaced under lamination conditions (see breakdown voltage test in 6.4).
- Because of the relationship with thermal endurance, t_{DTI} can be listed as a function of the module operating temperature rating.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

This document specifies a suite of environmental stress tests to characterize the durability of the relied-upon insulation. In the evaluation of tensile testing a minimum elongation at break is considered in addition to retention of tensile strength, as this allows to differentiate known-bad and known-good materials. The thermal endurance performance, which is historically evaluated by tensile strength and dielectric strength in terms of TI or RTE (RTI), is therefore complemented by a thermal failsafe test to also evaluate elongation at break. The combination of these elements, tests covering thermal, damp heat and UV weathering stresses and evaluation of elongation at break, represents a step forward in safety testing of polymeric front- and backsheets that is still balanced in terms of practicality (duration) of testing.

The requirements in this document for model or variant designations and (re)testing of similar materials have been aligned with developments for the IEC TS 62915 module retesting guidelines. The current requirements provide a first step towards more detailed requirements which may be developed in a future revision of this document or a dedicated component retesting standard.

A future revision of this document may consider sequential testing on engineering coupons with (solder wire) bumps to better mimic the combination of UV and cyclic stress fatigue, that is currently discussed as the next level in endurance testing of polymeric front- and backsheets in IEC TS 62788-2 and IEC TS 63209-2[6]. However, method consolidation requires more time than available for this project.

In view of requirements for material identification in the context of the retesting guidelines (IEC TS 62915), approaches for “finger-printing” are provided in Annex A.

The requirements in this document may be used in the context of Manufacturing Quality Assurance of polymeric front- and backsheets as explained in the guideline IEC 62941[5].

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62788-2-1:2023

MEASUREMENT PROCEDURES FOR MATERIALS USED IN PHOTOVOLTAIC MODULES –

Part 2-1: Polymeric materials – Frontsheet and backsheet – Safety requirements

1 Scope

This document specifies the safety requirements for flexible polymeric front- and backsheet constructions, which are intended for use as relied-upon insulation in photovoltaic (PV) modules. The specifications in this document define the specific requirements of polymeric front- or backsheet constructions on the component level and cover mechanical, electrical, visual and thermal characterization in an unexposed state and/or after ageing.

This document covers class II and class 0 modules, as defined in IEC 61730-1. Class III modules are out of scope.

For qualification to IEC 61730-1 of a PV module using a polymeric front- or backsheet, the sheet must pass the requirements in this document for the specified module's safety class, rated system voltage, and module temperature rating.

Compliance with the safety requirements for a front- or backsheet on the component level does not replace the need for a safety qualification of the complete PV module, in which the front- or backsheet is integrated. The appropriate requirements for testing and qualification of PV modules, are defined in IEC 61730-1 and IEC 61215-1 (or IEC TS 62915 in case of retesting), with test methods provided by IEC 61730-2 and IEC 61215-2, respectively.

This document provides the requirements for qualification of front- and backsheets to be used in module safety qualification according to IEC 61730-1. Test method descriptions are provided in IEC TS 62788-2, along with additional characterization methods useful for performance or quality assurance.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60216-1, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results*

IEC 60216-3, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 3: Instructions for calculating thermal endurance characteristics*

IEC 60216-5, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 5: Determination of relative temperature index (RTI) of an insulating material*

IEC 60664-1, *Insulation coordination for equipment within low-voltage supply systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

IEC 61215-1, *Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval – Part 1: Test requirements*

IEC 61215-2, *Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval – Part 2: Test procedures*

IEC 61730-1, *Photovoltaic (PV) module safety qualification – Part 1: Requirements for construction*

IEC 61730-2, *Photovoltaic (PV) module safety qualification – Part 2: Requirements for testing*

IEC TS 61836, *Solar photovoltaic energy systems – Terms, definitions and symbols*

IEC TS 62788-2, *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Part 2: Polymeric materials – Frontsheets and backsheets*

IEC TS 62915, *Photovoltaic (PV) modules – Type approval, design and safety qualification – Retesting*

IEC TS 63126:2020, *Guidelines for qualifying PV modules, components and materials for operation at high temperatures*

ISO 527-3, *Plastics – Determination of tensile properties – Part 3: Test conditions for films and sheets*

3 Terms, definitions and abbreviated terms

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply, in addition to those in IEC TS 61836 and IEC TS 62788-2.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

3.1 General terms and definitions

3.1.1 FBST

front- or backsheet safety test in accordance with IEC 62788-2-1

3.1.2

tolerance

permitted deviation between the declared value of a quantity and the measured value

[SOURCE: IEC 60050-411[2]:1996,411-36-19]

3.2 Sheet types and orientations

3.2.1

air-side

side of the front- or backsheet oriented towards the outside of the PV module, i.e., away from the cells

3.2.2

backsheet

(combination of) outer layer(s) of the PV module, located as substrate on the back of the PV module and providing protection of the inner components of the PV module from external stresses and weather elements, as well as providing electrical insulation

3.2.3

frontsheet

(combination of) outer layer(s) of the PV module designed for prolonged exposure to direct sunlight ($> 300 \text{ W/m}^2$) and providing protection of the inner components of the PV module from external stresses and weather elements, as well as providing electrical insulation

3.2.4

inner side

side of the front- or backsheet that is oriented to the solar cells, typically laminated to the encapsulant

3.2.5

machine direction

MD

direction along which the material layer was extruded or produced, extending out of a die or other manufacturing equipment in a production line

3.2.6

transverse direction

TD

direction perpendicular to which the material layer was extruded or produced

3.2.7

sun-facing side

side of the front- or backsheet that is oriented in direction of the sun-facing front side of the PV module

Note 1 to entry: Sun-facing sides are the air-side of a frontsheet and inner side of a backsheet.

3.3 Electrical insulation

3.3.1

breakdown voltage

V_{BD}

DC voltage at which electric breakdown occurs under prescribed test conditions, or in use

Note 1 to entry: Breakdown voltage testing in context of PV modules and components materials applies direct current (DC).

[SOURCE: IEC 60050-212[1]:2010, 212-11-34, modified – added symbol, and added Note 1 to entry.]

3.3.2

comparative tracking index

CTI

numerical index value related to the maximum voltage that a material can withstand without formation of a permanent and electrically conductive carbon (tracking) path and without a persistent flame occurring, when evaluated under specified test conditions defined in IEC 60112

Note 1 to entry: The mentioned maximum test voltage is not in conjunction with any system or operational voltage, but it is used for evaluation of material groups.

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-11-59, modified – it has been rephrased by also clarifying that CTI is an index value to evaluate material groups according to IEC 60112. Note 1 to entry added.]

3.3.3

distance through insulation

t_{DTI}

thickness of relied-upon insulation (RUI) after the lamination protrusion test, with the minimum allowable value defined by the rated system voltage

3.3.4

material group

category of insulation materials according to IEC 60664-1 as defined by the results of the CTI test

3.3.5

rated system voltage

$[V_{\text{sys}}]_{\text{max}}$

maximum system voltage for which a module is rated

3.3.6

relied-upon insulation

RUI

solid insulation system providing protection against electric shock in the final application, with material's requirements for thermal endurance and resistance against environmental stress factors

Note 1 to entry: Thin films used as polymeric front- or backsheet can consist of RUI plus additional layers that have other functions, e.g., they protect the polymeric materials from UV radiation (see Figure 1).

3.3.7

withstand voltage

V_w

DC voltage which the material under test can withstand for a defined minimum amount of time without occurrence of an electric breakdown

3.4 Temperatures

3.4.1

98th percentile module operating temperature

T_{98}

temperature at which a module is operating below more than 98 % of the time when deployed in a PV system

Note 1 to entry: The 98th-percentile temperature is calculated by ranking measured or calculated module temperature data taken at hourly (or more frequent) time intervals for a typical calendar year.

Note 2 to entry: For a standard year, the 98th percentile temperature is met or exceeded for 175,2 h.

3.4.2

rated module operating temperature

$[T_{98}]_{\text{max}}$

maximum allowed 98th percentile operating temperature (T_{98}) of the PV module

3.5 Tensile properties

3.5.1

elongation at break

ϵ_B

strain at which the specimen under test breaks

Note 1 to entry: Break defines the point in the tensile test, where the tensile stress drops below 50 % of its highest value.

3.5.2

tensile strength at break

σ_B

maximum engineering stress measured when a specimen is elongated in tension to the point of breaking

4 Designation and ratings

The front- or backsheet shall be evaluated for its intended use in a PV module, including designation as front- or backsheet, maximum module operating temperature, maximum system voltage and module safety class. Due to the coordinating requirements for temperature and system voltage ratings, a front- or backsheet may be rated for multiple sets of ratings (e.g. maximum V_{sys} and T_{98}).

Frontsheets are designed for prolonged exposure to direct sunlight ($> 300 \text{ W/m}^2$). Backsheets are designed for exposure through glass and encapsulant on the interior side and restricted for use with indirect or limited direct sunlight ($< 300 \text{ W/m}^2$) on the exterior side. Because of this, the test conditions for the UV weathering test (FBST 09) are different for front- and backsheets. A product can be assigned as a frontsheet, backsheet or both.

A front- or backsheet is rated for a maximum T_{98} module operating temperature. The module operating temperature is related to a combination of environment and mounting conditions as described in IEC 61730-1 and IEC TS 63126:

- IEC 61730-1 (by default) specifies PV modules with 98th percentile operating temperatures $T_{98} \leq 70 \text{ °C}$.
- IEC TS 63126 defines extended test conditions for high temperature operation with $T_{98} \leq 80 \text{ °C}$ [level 1] or $\leq 90 \text{ °C}$ [level 2]. The requirements for the thermal endurance test (FBST 06) depend on the specified $[T_{98}]_{\max}$. IEC 62788-2-1 deviates from IEC TS 63126:2020, in that the UV weathering temperature conditions applied in the UV weathering test (FBST 08) shall be as specified in Table 3.

NOTE IEC TS 63126:2020 is currently under consideration for modification and will likely be changed to conform with this document.

In addition, a front- or backsheet is rated for a maximum system voltage and a module safety class. IEC 61730-1 defines PV module safety class and system voltage ratings. Front- and backsheets can be used in modules of safety class II (individual and/or system level electrical outputs at hazardous levels of voltage, current and power) and safety class 0 (intended for use in restricted access areas that are protected from public access by fences or other measures of the location that prevent general access).

5 Requirements

5.1 General

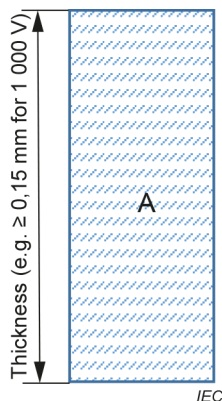
5.1.1 Overview

Requirements for front- and backsheets are derived from insulation coordination requirements from IEC 60664 and IEC 61730-1, and additional requirements for long term reliability based on observations of field failures.

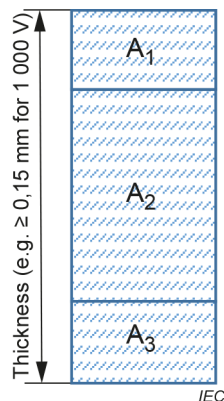
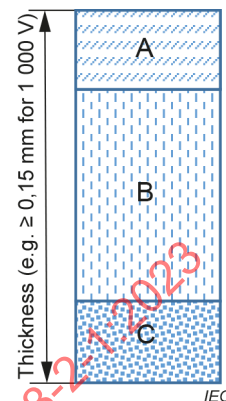
Requirements shall be met for the full front- or backsheet and also for individual layers designated as RUI (from here referred to as RUI layers). Typical constructions are described in Figure 1.

a) Single-layer

a1) homogeneous layer

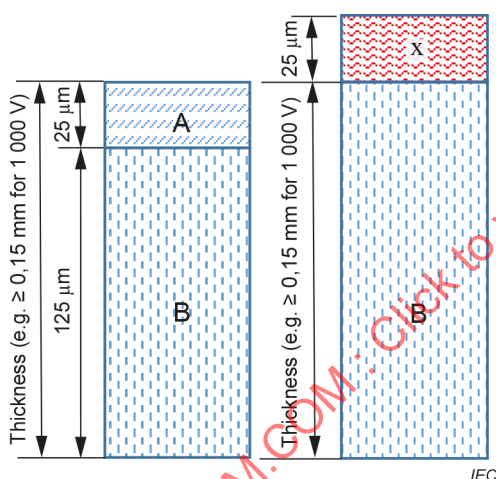


a2) combined layers (e.g. co-extrusion)

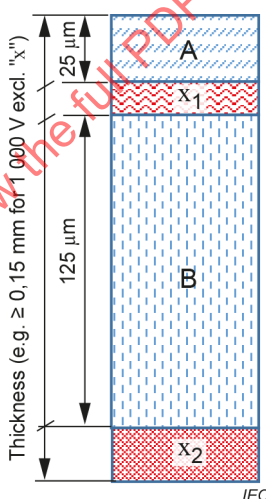
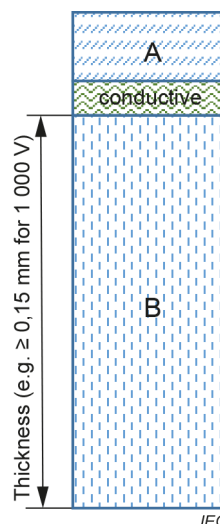
a2-i) polymeric composition differs by $\leq 10\%$ a2-ii) polymeric composition differs by $> 10\%$ **b) Multilayer**

b1-i) coated multilayer with RUI coating

b1-ii) coated multilayer with non-RUI coating



b2) laminated multilayer with non-RUI adhesive layers "x"

b3) multilayer with conductive layer^a

NOTE In actual front- or backsheet constructions the numbers of sublayers may differ from the examples shown.

^a The case of a conductive layer as in example case b3) will require additional module level considerations for insulation coordination as described in IEC 61730-1.

Figure 1 – Schematic diagrams of typical constructions of front- or backsheets

5.1.2 Single-layer constructions

A single-layer construction is a front- or backsheet produced in one production step. It may consist of a single homogeneous layer (a1) or combined layers (a2) manufactured in one production process (e.g. co-extrusion) such that they cannot reasonably be separated without fundamentally changing their properties, e.g., residual strain or crystallinity, in ways that might affect their performance in a PV module. For combined layers, the thermal endurance requirements depend on the layer composition (see 5.3). If the polymeric composition differs by $\leq 10\%$ (by mass) between sub-layers or gradient zones within the material layer (a2-i) it is treated equivalent to a single homogeneous layer (a1). If the polymeric composition differs by $> 10\%$ (a2-ii), the linearity of the Arrhenius plot shall be assessed (see 5.3). The 10 % criteria refers to differences in blending ratios and/or to copolymer ratios of the polymers.

The complete single-layer construction shall pass the insulation coordination (5.2), thermal endurance (5.3), and mechanical (5.4) requirements before and after accelerated aging (6.8).

5.1.3 Multilayer constructions

For front- or backsheets designed as multilayer stacks, typically one (monolithic) layer in the multilayer stack provides mechanical (tensile) strength (often referred to as core layer), whereas additional layers attached to the core layer in separate production steps may provide other functions, e.g., UV protection or adhesion to the encapsulant. The presence of sequential processing steps is a differentiator to a combined single-layer (a2).

Examples of front- or backsheets designed with multiple layers (referring to Figure 1):

- A coated multilayer stack (b1) with coated layer **A** on a single core layer **B**, both potential RUI layers. Typically, the coating is designed for a particular function in the layer stack (e.g. a UV protective air-side layer or inner layer). Coating processes include slot coating of functional formulations or extrusion coating of polymer melts onto another material layer that has been produced in a different process step.
- A laminated multilayer stack (b2), with adhesive layers **x** between (potential) RUI layers **A** and **B**. Such a construction represents a combination of at least two single-layer materials, each produced as a film in a separate process step, which are then combined into one multilayer film using adhesive layers between them in a final lamination process. In this example, the (non-RUI) layers **x** do not pass the requirements of relied-upon insulation and therefore do not contribute to the distance through insulation (t_{DTI}).
- A multilayer stack including a conductive layer (b3), e.g. Aluminum, will require additional module level considerations for insulation coordination as described in IEC 61730-1:
 - If the conductive layer is within the minimum creepage distance to accessible surfaces (e.g. the frame), then only layer **B** contributes to the RUI.
 - If the conductive layer is not within the minimum creepage distance to accessible surfaces (e.g. the frame), then both layers **A** and **B** contribute to the RUI.

The complete multilayer construction shall pass the insulation coordination (5.2) and mechanical (5.4) requirements before and after accelerated aging (6.8).

Each RUI (sub)layer within the multilayer construction shall pass the thermal endurance (5.3) requirements. Additional requirements apply for insulation coordination (5.2.3).

5.2 Insulation coordination

5.2.1 General

Insulation coordination for PV modules refers to requirements related to insulation materials and dimensions used in the design of a module. These requirements depend on various ratings, including module safety class and rated system voltage $[V_{sys}]_{max}$. The rated module operating temperature $[T_{98}]_{max}$ can also influence insulation coordination through thermal endurance requirements for RUI layers. Front- and backsheets must have a minimum breakdown voltage and a minimum t_{DTI} value, both dependent on the rated system voltage rating $[V_{sys}]_{max}$. Some of these requirements apply to the complete front- or backsheet, and some apply to individual relied-upon insulation (RUI) layers.

5.2.2 Breakdown voltage requirement for complete front- or backsheet

The film shall provide resistance to voltage stress which is verified by a minimum breakdown voltage V_{BD} based on the module safety class:

- Module safety class 0: basic insulation as defined by formula (1);
- Module safety class II: double or reinforced insulation as defined by formula (2).

Minimum breakdown voltage requirement for basic insulation:

$$[V_{BD}]_{\text{req}} = 1,0 \text{ kV} + 2 \times [V_{\text{sys}}]_{\text{max}} \quad (1)$$

and for double or reinforced insulation:

$$[V_{BD}]_{\text{req}} = 2,0 \text{ kV} + 4 \times [V_{\text{sys}}]_{\text{max}} \quad (2)$$

where

$[V_{BD}]_{\text{req}}$ is the minimum breakdown voltage requirement, expressed in kV.

IEC 60664-1 defines the concepts of basic, supplementary, double, and reinforced insulation. Basic insulation provides a basic level of protection and double or reinforced insulation provide a supplementary level of fault protection.

The requirements are summarized in Table 1.

Table 1 – Minimum breakdown voltage requirements for basic and double/reinforced insulation before and after accelerated aging

Maximum system voltage kV	Minimum breakdown voltage requirement kV	
	Basic insulation	Double/reinforced insulation
1,50	4,0	8,0
1,00	3,0	6,0
0,60	2,2	4,4

The minimum breakdown voltage requirements shall be met before and after accelerated aging (6.8), see also Table 5.

5.2.3 Breakdown voltage requirements for individual layers

In a combined single-layer construction (see 5.1.2), (sub)layers cannot be tested individually as basic or supplementary insulation. Therefore, the minimum breakdown voltage requirement only applies to the complete front- or backsheet.

In a multilayer construction (see 5.1.3), one or more RUI layers, which meet the thermal endurance requirements depending on $[T_{98}]_{\text{max}}$, need to also provide basic or reinforced insulation. For module safety class II, at least two RUI layers need to provide basic insulation (double insulation) or at least one RUI layer needs to provide reinforced insulation. For module safety class 0, at least one RUI layer needs to provide basic insulation.

5.2.4 Creepage distance requirements

The lamination protrusion test provides guidance to which layers are most likely to be in contact with live parts in a module. For polymeric materials in contact with live parts, the material group designation affects the minimum creepage distance requirements of the module design. This applies to both functional and relied-upon insulation materials. The materials group designation of a layer is not required, but may reduce minimum spacing requirements for the module design.

5.2.5 Distance through insulation requirements

The sum of the thicknesses of all RUI layers (after the lamination protrusion test) shall meet the minimum t_{DTI} values as a function of rated system voltage as shown in Table 2.

Table 2 – Minimum distance through insulation requirements

	Rated system voltage			
	kV			
	< 0,30	0,60	1,00	1,50
Minimum t_{DTI} values mm	0,030	0,060	0,15	0,30

Consideration should be given to the thickness tolerance range, such that the thinnest product within the tolerance also complies with the required minimum distance through insulation (DTI).

NOTE See IEC 61730-1 for background on the DTI requirements which are based on the IEC 60664 series.

5.3 Thermal endurance

Each relied-upon insulation (RUI) layer shall have a thermal endurance rating via temperature index (TI) or relative thermal endurance index (RTE) in accordance with IEC 60216-1 (for TI) or IEC 60216-5 (for RTE). Relevant relative thermal indices (RTI) evaluated in accordance to UL 746B are accepted as an alternative to RTE. Thermal endurance ratings for both mechanical strength and electrical strength are required. If the mechanical evaluation includes both tensile strength and elongation at break ratings, then the thermal failsafe test is not required. The need for the thermal failsafe test does not apply to coatings, which are evaluated for a flexibility rating.

The minimum TI or RTE (RTI) rating is defined in IEC 61730-1 for $T_{98} \leq 70$ °C:

TI or RTE (RTI) ≥ 90 °C.

For higher operating temperatures, the rating is defined by IEC TS 63126:

Level 1 ($T_{98} \leq 80$ °C): TI or RTE (RTI) ≥ 100 °C.

Level 2 ($T_{98} \leq 90$ °C): TI or RTE (RTI) ≥ 110 °C.

Homogeneous single-layers (a1) and combined single-layers (a2-i) where composition of the polymeric base differs by ≤ 10 % (by mass) between sub-layers or gradient zones within the material layer, are treated as a single RUI layer.

Combined single-layers (a2-ii) where the composition of the polymeric base differs by > 10 % between sublayers or gradient zones within the material layer require the following approach to determine the thermal endurance rating:

- If the Arrhenius plot from such a "combined material" for the thermally induced change of mechanical or electrical properties is sufficiently linear, the result of this approach can be accepted to derive the TI or RTE (RTI) value, even though different polymeric materials have been subject to the test.
- If the Arrhenius plot is not sufficiently linear (see linearity test in IEC 60216-3), the TI or RTE (RTI) values of the different polymers used in the sublayers or gradient shall be determined separately. To determine the t_{DTI} , the front- or backsheet is treated as a multilayer (substructures of a coextruded film could also be evaluated).

For each RUI layer which does not have a TI or RTE (RTI) rating based on elongation at break, the thermal failsafe test is performed as described in IEC TS 62788-2, whereby the layer is exposed at $(120 \pm 2) ^\circ\text{C}$ for $(2\,000 \pm 24)$ h (in dry conditions, no humidity control is required). The layer passes if the elongation at break is at least 25 % after the exposure.

5.4 Mechanical requirements

As an initial property, elongation at break of the (complete) front- or backsheet shall be ≥ 25 %, and the product shall pass a visual inspection (FBST 01).

Accelerated ageing tests are applied on the complete front- or backsheet to show that the sheet can retain relevant mechanical and electrical properties after thermal and environmental stresses. After aging, the retained tensile strength shall be ≥ 50 %, the elongation at break shall be ≥ 25 %, and the product shall pass a visual inspection (FBST 01), see also Table 5.

5.5 Model and variant designation

A front- or backsheet model is considered to have one defined formulation and nominal thickness (with a maximum tolerance of the larger of ± 10 % or $\pm 5\ \mu\text{m}$) of its material layers. A variation with differences of layer thickness(es) and/or color can be qualified by using a reduced set of testing according to Clause 8 in addition to the qualification from the referenced product model. Alternate constituent materials (from the same or different suppliers) can be qualified according to 8.2.

If a front- or backsheet model is constructed of:

- a) different materials (i.e., any change in specification of the material or any of its layers);
- b) different (external) surface treatments (inside or outside);
- c) change in amount of adhesives, primers or other additives;
- d) addition/removal of adhesives, primers, or additives;

it shall be assigned a different model number and evaluated according to 8.2.

NOTE The default position is that a different supplier means different material, for any material. The burden of proof of equivalency is up to the manufacturer and supplier of material according to 8.2.

6 Evaluation of test results

6.1 General

All the tests shall be carried out as described in IEC TS 62788-2, unless otherwise specified.

It is highly recommended that the manufacturer provides the uniform characterization form (UCF) of the front- or backsheet under test as evaluated by the corresponding test methods listed in IEC TS 62788-2 as required for the UCF. This information preferentially serves as reference values for the evaluations listed in this document.

If certification documentation is supplied, the following information may (but not necessarily) reduce required testing:

- TI or RTE (RTI) of relied-upon insulation layers (according to FBST 06);
- Material group designation for the tracking index (according to FBST 05).

It is highly recommended that the following information is provided to inform the test labs on how to test the materials:

- Encapsulant types (base resin and cure chemistry) to be used for qualifying the front- or backsheet using the lamination protrusion test;

NOTE 1 Current encapsulant types are for example:

- i) polyethylene-co-vinyl acetate [co-polymer] (EVA) type encapsulants including fast and slow types;
 - ii) thermoplastic polyolefin (TPO) type encapsulant;
 - iii) silicone type encapsulants;
 - iv) poly vinyl butyral (PVB) type encapsulants;
 - v) polyolefin elastomer (POE) type encapsulants.
- If applicable, type of UV filter and the corresponding UV cut-off wavelength as defined in IEC TS 62788-2, when qualifying the inner side of the backsheet for UV weathering;

NOTE 2 In UV weathering test of inner side of backsheet (BS), the combination of glass (GS) and encapsulant (E) used in a test coupon (e.g., GS/E/E/BS) may act as UV cut-off filter.

- Qualitative information on general visual appearance of the product, including description of opacity (e.g., opaque, translucent, clear), colour (e.g., white, grey, coloured, black) and gloss (e.g., matte, satin, glossy) of air-side and inner side, if applicable;
- Handling precaution (product safety information), if applicable.

6.2 Visual inspection – FBST 01

6.2.1 General

Visual inspection shall be performed according to the method described in IEC TS 62788-2 on the complete front- or backsheet product. An unaged 1 m² sample and at least three selected samples with the worst appearance for each aging condition shall be inspected.

There shall be no obvious defects, such as cracks, bubbles, pinholes, blistering or delamination, which may impact safety.

6.2.2 Reporting

All information required in the reporting of the visual inspection in IEC TS 62788-2 shall be listed. Additionally, report if the product passes.

6.3 Tensile properties – FBST 02

6.3.1 General

The tensile properties of the front- or backsheet shall be tested according to the tensile strength and elongation at break method provided in IEC TS 62788-2. This method is based on ISO 527-3, but stipulates adjustments of the methods in detail to provide consistent testing of the various types of polymeric front- and backsheets before and after ageing.

The test of tensile strength and elongation at break shall be performed before and after accelerated ageing tests to determine the mechanical endurance of the material. Comparison of results before and after aging shall be based on the same initial grip distance and specimen dimensions, both length and width of strips. It is recommended to use the same specimen dimensions within a test plan including various ageing tests, and to cut the fresh and aged samples at the same time.

For each measurement instance (unaged and after each ageing exposure) prepare at least 5 specimens in machine extrusion direction (MD) and 5 specimens in transverse machine direction (TD). Because of the possibility of invalid tensile test runs, it is recommended that a few extra samples are aged.

6.3.2 Reporting

Report all information required in the reporting of the tensile strength and elongation at break test in IEC TS 62788-2 for both unaged samples, and samples after damp heat and UV exposures as described in Table 5.

After both damp heat test (FBST 07) and UV weathering (FBST 08), calculate the retained tensile strength:

$$r\sigma_B = \sigma_{B,after}/\sigma_{B,initial} \quad (3)$$

where

$r\sigma_B$ is the retained tensile strength, expressed in %;

$\sigma_{B,initial}$ is the initial tensile strength (unaged / pre-treated), expressed in Pa;

$\sigma_{B,after}$ is the tensile strength after accelerated aging, expressed in Pa.

Report whether the material passes or fails. A material passes:

- if $r\sigma_B \geq 50$ % (retained tensile strength) is obtained after ageing exposure, and
- if $\varepsilon_B \geq 25$ % (absolute elongation at break) is obtained unaged and after ageing exposure.

6.4 Breakdown voltage – FBST 03

6.4.1 General

Two methods are allowed for verification of the minimum breakdown voltage requirement $[V_{BD}]_{req}$. Method A uses a withstand voltage and method B a measured breakdown voltage (up to the capacity of the equipment); either method is acceptable.

Individual RUI layers selected for basic or reinforced insulation shall have a breakdown voltage $V_{BD} \geq [V_{BD}]_{req}$ as described in 5.2.3 and provided in Table 1.

Front- or backsheets shall have a V_{BD} greater than $[V_{BD}]_{req}$ as described in 5.2.2 for a complete front- or backsheet. This requirement is evaluated after the V_{BD} or V_w value is adjusted by the DTI ratio r_{DTI} . The r_{DTI} can vary with the target system voltage and temperature ratings as described in 6.5.

$$r_{DTI} = t_{DTI}/t_{total} \quad (4)$$

where

r_{DTI} is the DTI ratio;

t_{DTI} is the DTI value determined in FBST 04, expressed in mm;

t_{total} is the complete sheet thickness as tested, expressed in mm.

$$[V_{BD}]_{adj} = V_{BD} \times r_{DTI} \geq [V_{BD}]_{req} \quad (5)$$

where

$[V_{BD}]_{adj}$ is the adjusted breakdown voltage, expressed in kV;

V_{BD} is the breakdown voltage (IEC TS 62788-2), expressed in kV;

$[V_{BD}]_{req}$ is the required breakdown voltage as defined in 5.2.

The minimum value shall be met with both initial and aged samples, using the same method.

NOTE For the withstand voltage method, the relation $V_{BD} \geq V_w$ can be used for formula (5) if the V_w has passed.

6.4.2 Analysis

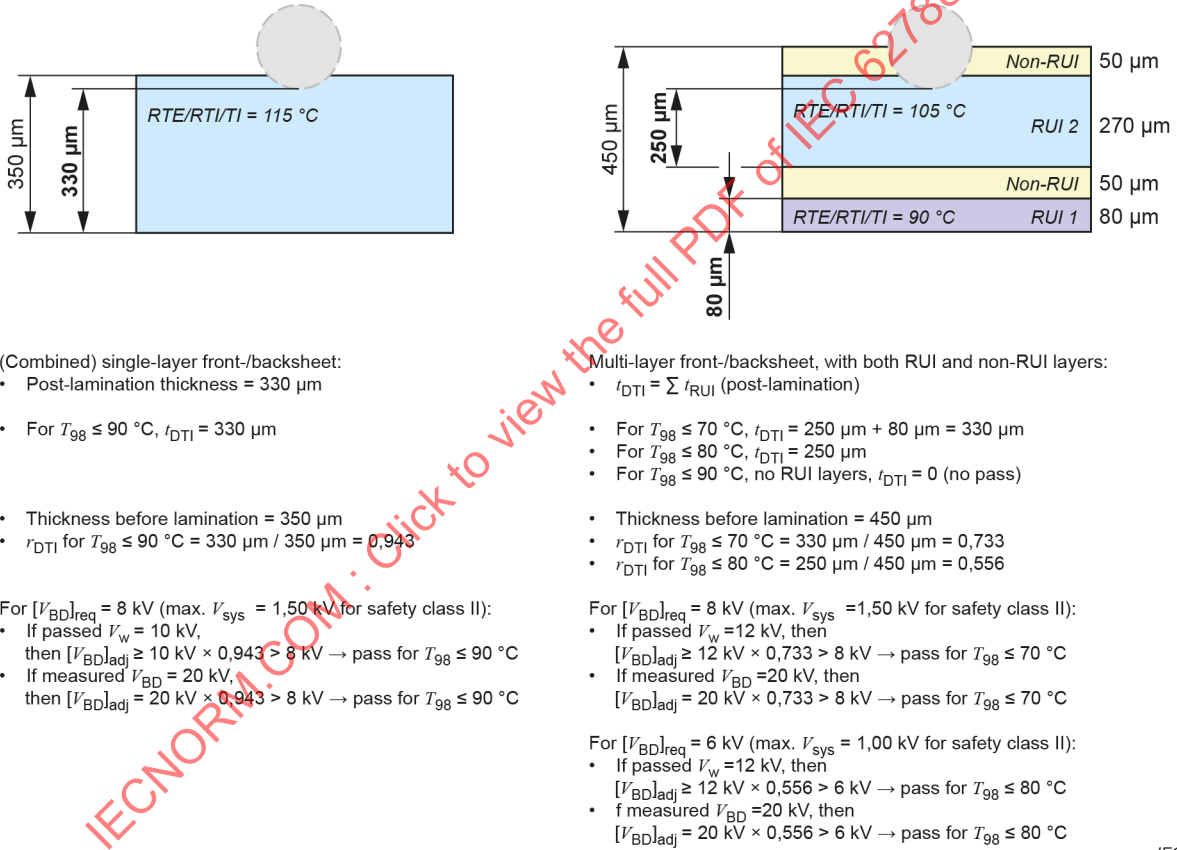
For front- or backsheets, the following information from IEC TS 62788-2 and FBST 04 of this document is used for the analysis:

- V_{BD} (from breakdown voltage test, IEC TS 62788-2)
- t_{total} (from thickness test, IEC TS 62788-2)
- t_{DTI} for each intended temperature ratings (FBST 04)

Use the following procedure to determine the $[V_{BD}]_{adj}$:

- Calculate r_{DTI} for each applicable $[T_{98}]_{max}$ using formula (4).
- Calculate $[V_{BD}]_{adj}$ for each applicable $[T_{98}]_{max}$ using formula (5).

Examples are provided in Figure 2.



IEC

Figure 2 – Examples of calculations for determination of DTI ratio and adjusted breakdown voltage

6.4.3 Reporting

All information required in the reporting of the breakdown voltage test from IEC TS 62788-2 shall be listed for both unaged samples and samples after damp heat and UV exposures as described in Table 5.

- For each layer intended to be basic or reinforced insulation, report if pass or fail, and:
 - V_{BD} or V_w ;
 - The maximum V_{sys} and module safety class ratings.

- For the complete front- or backsheet, report if pass or fail, for each intended maximum V_{sys} and module safety class rating, and:
 - $[V_{\text{BD}}]_{\text{adj}}$ for both unaged samples and samples after damp heat and UV exposures as described in Table 5;
 - The maximum V_{sys} and module safety class ratings (as a function of $[T_{98}]_{\text{max}}$.

6.5 Distance through insulation – FBST 04

6.5.1 General

The distance through insulation (t_{DTI}) is a measure of the thickness of material which can be relied upon as insulation. The t_{DTI} is the sum of the thicknesses of each RUI layer measured after the lamination protrusion test as described in IEC TS 62788-2. As the RUI designation can depend on the temperature rating, t_{DTI} is reported as a function of $[T_{98}]_{\text{max}}$. The minimum t_{DTI} requirement depends on $[V_{\text{sys}}]_{\text{max}}$ as shown in Table 2.

6.5.2 Analysis

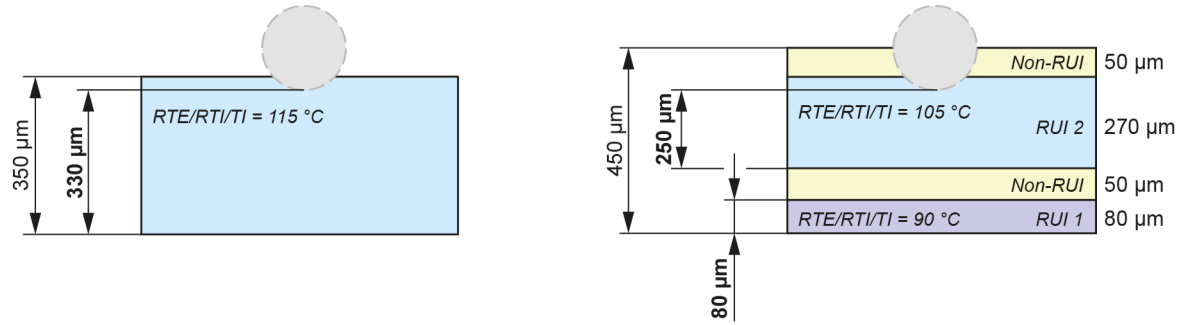
The following information from tests in IEC TS 62788-2 is used for the analysis:

- Micrograph with reported thickness of each (RUI) layer after the lamination protrusion test;
- The TI or RTE (RTI) rating for each layer considered as RUI, and designation of pass rating for each layer from the thermal failsafe test.

Use the following procedure to determine the t_{DTI} value(s).

- a) Using the intended target $[V_{\text{sys}}]_{\text{max}}$ and obtain the t_{DTI} requirement from Table 2;
- b) Using the intended $[T_{98}]_{\text{max}}$, define which layers are qualified as RUI;
- c) Take the thicknesses of the designated RUI layers from the micrograph and calculate t_{DTI} as the sum of those thicknesses for each applicable $[T_{98}]_{\text{max}}$;
- d) Compare t_{DTI} to the minimum required value for each applicable $[T_{98}]_{\text{max}}$. If t_{DTI} is equal or greater, then the result is a pass for this $[T_{98}]_{\text{max}}$.

Examples are provided in Figure 3.



(Combined) single-layer front-/backsheet:

- Post-lamination thickness = 330 µm
- For $T_{98} \leq 90^\circ\text{C}$, $t_{DTI} = 330 \mu\text{m}$

$[T_{98}]_{\text{max}}$	T_{DTI}	$[V_{\text{sys}}]_{\text{max}}$
$T_{98} \leq 90^\circ\text{C}$ (level 2)	330 µm	1,50 kV

Multi-layer front-/backsheet, with both RUI and non-RUI layers:

- $t_{DTI} = \sum t_{RUI}$ (post-lamination)

- For $T_{98} \leq 70^\circ\text{C}$, $t_{DTI} = 250 \mu\text{m} + 80 \mu\text{m} = 330 \mu\text{m}$
- For $T_{98} \leq 80^\circ\text{C}$, $t_{DTI} = 250 \mu\text{m}$
- For $T_{98} \leq 90^\circ\text{C}$, no RUI layers, $t_{DTI} = 0$ (no pass)

$[T_{98}]_{\text{max}}$	T_{DTI}	$[V_{\text{sys}}]_{\text{max}}$
$T_{98} \leq 70^\circ\text{C}$	330 µm	1,50 kV
$T_{98} \leq 80^\circ\text{C}$ (level 1)	250 µm	1,00 kV
$T_{98} \leq 90^\circ\text{C}$ (level 2)	0	no pass

IEC

Figure 3 – Determining distance through insulation from lamination protrusion test as a function of temperature rating

6.5.3 Reporting

All information required in the reporting of the distance through insulation test in IEC TS 62788-2 shall be listed.

Additionally, report for which $[V_{\text{sys}}]_{\text{max}}$ the front- or backsheet qualifies (as a function of $[T_{98}]_{\text{max}}$).

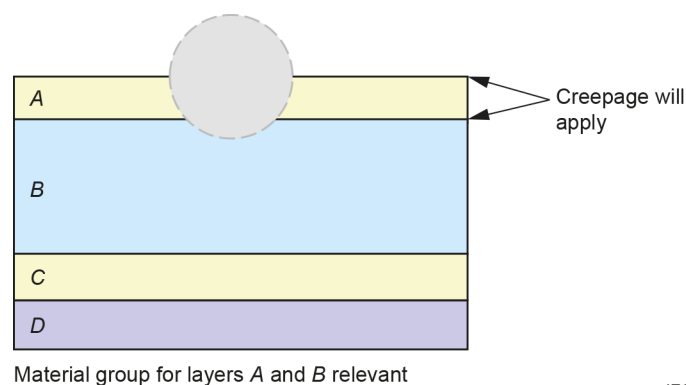
6.6 Material group – FBST 05

6.6.1 General

All layer materials, except adhesive layers, in contact with the solder wire as inspected in the cross-section after the lamination protrusion test (IEC TS 62788-2) are considered as susceptible to tracking and may be evaluated for creepage distance in the module design review (IEC 61730-1). See Figure 4.

Requirements for creepage distance depend on the material group designation of these layers. The materials group designation of a layer is not required, but may reduce minimum spacing requirements for the module design.

Material group is defined from the results of the CTI test (IEC TS 62788-2).



IEC

Figure 4 – Schematic of lamination protrusion test result for determining which surfaces will be evaluated for minimum creepage distance in the IEC 61730 module design review

6.6.2 Reporting

Report:

- A diagram of the front- or backsheet indicating the layers in contact with the solder wire from the lamination protrusion test, showing the material layers tested.
- The material group of each tested material layer (or indicate material group not defined).

6.7 Thermal endurance – FBST 06

6.7.1 General

The minimum TI or RTE (RTI) requirement depends on the intended T_{98} rating for the front- or backsheet as described in 5.3.

Endurance to thermal stress is evaluated for each RUI layer, using the method as described in IEC TS 62788-2. The TI or RTE (RTI) shall be obtained using both electrical and mechanical strength properties; the lower of the two values defines the thermal endurance rating.

For each RUI layer, if the mechanical property used for determining TI or RTE (RTI) did not include elongation at break rating, then the layer shall also pass the thermal failsafe test described in IEC TS 62788-2 with a 25 % elongation at break requirement (see 5.3). The need for the thermal failsafe test does not apply to coatings, which are evaluated for a flexibility rating.

6.7.2 Reporting

All information required in the reporting of thermal endurance values and thermal failsafe test from IEC TS 62788-2 shall be listed for each RUI layer.

6.8 Accelerated ageing tests

6.8.1 Damp heat – FBST 07

The damp heat (DH) test shall be conducted for 1 000 h on the complete front- or backsheet according to the methods as described in IEC TS 62788-2.

6.8.2 UV weathering – FBST 08

UV weathering is carried out using a xenon arc light source according to the method in IEC TS 62788-2 using the following exposures:

- For frontsheets, only the sun-facing side is tested:

- The sun-facing (air-)side shall be exposed directly to the test light source for 4 000 h;
 - The inner side is not exposed.
- b) For backsheets, both sides are tested:
- The air-side (=side with limited direct exposure) shall be exposed directly to the test light source for 2 000 h;
 - The sun-facing (inner) side shall be exposed, either:
 - directly to the test light source for 4 000 h;
 - or indirectly through a UV-filter as defined in IEC TS 62788-2 for 4 000 h;
 - or the inner side of the backsheet does not have to be tested, if the backsheet is restricted to use in PV modules where it can be clearly demonstrated that the inner side of the backsheet is not exposed to sunlight (e.g., for specific thin-film module constructions).
- c) For qualification as both front- and backsheet:
- The air-side (=sun-facing side as frontsheet) shall be exposed directly to the test light source for 4000 h;
 - The inner side (=sun-facing side as backsheet) shall be exposed to the test light source for 4 000 h, either directly or indirectly through a UV-filter as defined in the UV weathering method of IEC TS 62788-2.
- d) The choice of temperature settings for the UV test procedure, which are listed in IEC 62788-7-2 as conditions A1 though A3, depend on the combination of the rated module operating temperature of the PV modules in which the front- or backsheet under test will be applied and the absorbance A of the materials under test as further defined in IEC TS 62788-2. For low absorbing front- and backsheets (e.g., white/clear), the test shall be carried out according to the A3 condition. For black or colored backsheet, alternative test conditions A1 or A2 may be selected to provide a sheet temperature T_s of at least 65 °C, depending on the maximum rated module operating temperature, as listed in Table 3.

Table 3 – UV exposure conditions

Type of front-/backsheet	Rated module operating temperature		
	$T_{98} \leq 70\text{ °C}$ (IEC 61730-1, default)	$T_{98} \leq 80\text{ °C}$ (IEC TS 63126, level 1)	$T_{98} \leq 90\text{ °C}$ (IEC TS 63126, level 2)
White/clear ($A \leq 20\%$)	A3	A3	A3
Black or colored	A3 (A1 or A2 if $T_s > 65\text{ °C}$)	A3 (A2 if $T_s > 65\text{ °C}$)	A3

NOTE When testing for $T_{98} \leq 70\text{ °C}$, conditions are selected to provide an estimated sheet temperature of $(70 \pm 5)\text{ °C}$ during the test.

After UV and damp heat exposures, the following evaluations shall be passed:

- Visual inspection (FBST 01);
- Mechanical properties (FBST 02);
- DC breakdown voltage (FBST 03).

6.8.3 Reporting

Report the test parameters for damp heat and UV weathering exposures as described in IEC TS 62788-2. Include the type and UV cut-off of the UV filter used if applicable. If the inner side of the backsheet is not exposed to sunlight, report “inner side of backsheet not to be exposed to sunlight”. Report if the front- or backsheet passes the evaluations after UV weathering (in the individual test sections).

6.9 Overview tables

Table 4 shows the evaluations and requirements applicable to individual layers, including RUI layers and (optionally) layers identified in the lamination protrusion test for the insulation coordination (IC) requirements in IEC 61730-1. Table 5 shows the evaluations and requirements applicable to complete front- and backsheets. For a single-layer construction, both tables apply to the complete front- or backsheet.

Table 4 – Evaluations and requirements overview for individual layers

FBST No.		Purpose	Unaged	Thermal endurance		Remarks
				FBST 06		
	Evaluation			TI or RTE (RTI)	Thermal failsafe 2 000 h	Estimated number of specimens per test instance
FBST 02	Tensile strength σ_B [MPa]	RUI	σ_B and ε_B as reference	$T \geq [T_{98}]_{\max} + 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\varepsilon_B \geq 25\text{ }\%$ (If applicable) ^b	5 strips (MD+TD each) of at least 70 mm × 10 mm; >200 strips (MD+TD each) for FBST 06
	Elongation at break ε_B [%]			Recommended ^a to use: $r\sigma_B = 50\text{ }\%$ $r\varepsilon_B = 50\text{ }\%$		
FBST 03	DC breakdown voltage V_{BD} [kV]	RUI	See 5.2.3	$T \geq [T_{98}]_{\max} + 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ recommended to use $rV_{BD} = 50\text{ }\%$ ^a	—	10 specimens of at least 50 mm × 50 mm; >50 for FBST 06
FBST 05	CTI test (optional)	IC	Material group	—	—	10 sheets A4

NOTE IC (Insulation Coordination): layers identified in lamination protrusion test for insulation coordination required in IEC 61730-1.

^a More details in IEC TS 62788-2: alternative methods and/or end-points are accepted; for coatings, the mechanical TI or RTE (RTI) is performed by a flexibility test.

^b Thermal failsafe test is also required when the mechanical TI or RTE (RTI) rating does not include ε_B (not for coatings).

Table 5 – Evaluations and requirements overview for complete front- and/or backsheets

FBST No.		Unaged / pretreated	Accelerated ageing		Remarks
			FBST 07	FBST 08	
	Evaluation			Damp heat 1 000 h	UV 4 000 h sun-facing side 2 000 h air-side backsheet
FBST 01	Visual inspection	No obvious defects			1 m ² for unaged
FBST 02	Tensile strength σ_B [MPa]	σ_B as reference	$r\sigma_B \geq 50\%$		5 strips (MD+TD each) of at least 70 mm × 10 mm
	Elongation at break ϵ_B [%]	$\epsilon_B \geq 25\%$			
FBST 03	DC breakdown voltage V_{BD} [kV]	$V_{BD} \geq 1\text{ kV} + 2 \times [V_{sys}]_{max}$ for safety class 0 $V_{BD} \geq 2\text{ kV} + 4 \times [V_{sys}]_{max}$ for safety class II			10 specimens of at least 50 mm × 50 mm
FBST 04	Distance through insulation t_{DTI} [mm]	See Table 2	—	—	3 sheets A5

7 Evaluation report

7.1 Report

A report of the tests, with measured performance characteristics and details of any failures, shall be prepared by the test agency. The test report shall contain the detail specification for the front- or backsheet under test and shall include at least the following information:

Descriptors:

- Name and address of the test laboratory and location where the tests were carried out;
- Manufacturer name, product (model) number, description and identification;
- Product (model) number of each layer evaluated;
- Description of surface treatments.

Test report:

- Date(s) of receipt of test items;
- Dates of specified tests;
- Data as specified in the reporting section of this document for each evaluation and accelerated aging test method;
- Any deviations from, additions to, or exclusions from, the test method and any other information relevant to specific tests, such as environmental conditions;
- If product may be made with similar materials under the same model number as described in Clause 8, then describe the identification and evaluation of alternate materials and results of the test program for these alternate materials.

Qualification summary:

- Rated as frontsheet, backsheet or both;
- In case of a backsheet, any limitations on exposure to the sun-facing side (including UV cut-off), or if the inner side of the backsheet is not exposed to sunlight;
- The $[V_{\text{sys}}]_{\text{max}}$ and module safety class ratings (class 0 or II) as a function of $[T_{98}]_{\text{max}}$ (if applicable) for which the front- or backsheet qualifies;
- A diagram of the front- or backsheet indicating the layers in contact with the solder wire from the lamination protrusion test, showing the material layers tested, and the material group of each evaluated material layer (or indicate material group not defined).

8 Documentation and testing for similar materials

8.1 General

This clause gives requirements for documentation and testing of a series of front- or backsheets of similar material construction.

Front- or backsheets using alternate constituent input materials may qualify under the same model number if appropriate documentation is supplied as stipulated below.

Thickness and/or color variations of a qualified front- or backsheet can be qualified as a different model number with a reduced test plan as stipulated below.

8.2 Alternate constituent layers

Alternate constituent layer materials (from the same or different suppliers) are allowed under the same model name if data is provided to clearly demonstrate that:

- The substitute is comprised of essentially the same chemical formulation and produced using comparable processing parameters compared with the material it replaces (in the referenced product model);
- This substitution will not adversely affect the safety qualification of the complete PV module and outcome of the module level tests required by IEC TS 62915 for a modification of a front- or backsheet.

The manufacturer is responsible for providing any necessary data to support the use of alternate materials. The chemical formulation review shall include additive packages, surface treatments, adhesives, and primers. Consideration shall be given to mechanical, electrical, thermal, and optical properties; nominal values including tolerances shall be considered. Samples of the alternate shall be submitted, and an appropriate test program shall be determined to ensure they meet the requirements of this standard. An example of an appropriate test program could include additional coupon or module-level tests to verify that module-level test results required in IEC TS 62915 for a polymer supplier change will not be adversely affected.

Suitable chemical analytical methods shall be used as applicable to identify the types of materials in each layer stack. Annex A provides background on selection of analytical identification methods. In case of multilayer sheet constructions, the identification of the individual layer and/or sheet materials need to be considered.

In case of a different model, a reduced testing program could be discussed with the certification laboratory. In that case, the report for the model variant shall clearly state what has been changed and what tests have been performed.

8.3 Thickness variants

Front- or backsheets differing from a qualified model only in the nominal thickness of the individual layers within the stack, without a resulting change in the system voltage rating, can be qualified with reduced testing.

The following evaluations shall be performed on unaged samples for all thickness variants of the similar materials under test to verify the appropriate thickness measures (the concept of similarity does not apply here):

- Nominal thickness (from IEC TS 62788-2);
- Visual inspection (FBST 01);
- Breakdown voltage (FBST 03);
- Distance through insulation (FBST 04).

The following evaluation shall be performed for individual (RUI) layers which have a different thickness:

- Thermal failsafe test (FBST 06).

The following evaluation shall be performed for the thinnest and the thickest variant of the complete film before and after damp heat (FBST 07) and UV weathering (FBST 08):

- Tensile properties (FBST 02).

8.4 Color variants

Front- or backsheets differing from a qualified product, in which one or more individual layers only differ in their colour due to, e.g., a variation of the concentration of a colorant and/or opacifying pigment, can be qualified with reduced testing.

The following evaluation shall be performed on each variant:

- Visual inspection (FBST 01).

The following evaluations shall be performed on each variant with the highest and lowest concentrations of the colorant and/or opacifying agent:

- Distance through insulation (FBST 04);
- Before and after damp heat (FBST 07) and UV weathering (FBST 08):
 - Tensile properties (FBST 02);
 - Breakdown voltage (FBST 03).
- Thermal endurance testing (FBST 06) of individual RUI layers including the colorant:
 - For the thermal failsafe test, the highest and lowest concentration are evaluated;
 - For TI (IEC 60216-1), RTE (IEC 60216-5), and RTI (UL 746B), the highest and lowest concentration are evaluated following the procedures in the relevant standard;
- If the lamination protrusion test shows the colored layer is part of a potential tracking path, the material group evaluation (FBST 05) shall be repeated if desired to reduce the minimum spacing requirements.

In the specific case of pictorial coloration (“decoration”) of a front- or backsheet by means of a printing process, e.g., based on four process colours (Cyan, Magenta, Yellow and Black), the mixtures of the lowest and highest colorant concentration in the printing process, i.e. 0 % and 100 % (Cyan + Magenta + Yellow + Black), represents the lowest and highest colorant concentration required for the test.

Films that are attached to a PV module for decorative purpose on top of the relied-upon insulation (superstrate or substrate) are outside the scope of this document and will be evaluated during the PV module safety evaluation.

8.5 Reporting for similar materials with different color or thickness

Descriptors:

- Manufacturer name, product (model) number of the reference product;
- Name and address of the test laboratory and location where testing of the original model number was carried out;
- Name and address of the test laboratory and location where testing of the variants was carried out;
- Product (model) number, description and identification of the variants with different thickness and/or color;
- Product (model) number of each layer variant evaluated.

Test report:

- Date of receipt of test items;
- Dates of specified tests;
- Test program for similar materials;
- Data as specified in the reporting section of this document for each evaluation and accelerated aging test method;
- Any deviations from, additions to, or exclusions from, the test method and any other information relevant to specific tests, such as environmental conditions;

Qualification summary:

- Rated as frontsheet, backsheet or both;
- In case of a backsheet variant, any limitations on exposure to the sun-facing side (including UV cut-off), or if the inner side of the backsheet is not exposed to sunlight;
- The $[V_{\text{sys}}]_{\text{max}}$ and module safety class ratings as a function of $[T_{\text{g8}}]_{\text{max}}$ (if applicable) for which the front- or backsheet qualifies;
- A diagram of the front- or backsheet indicating the layers in contact with the solder wire from the lamination protrusion test, showing the material layers tested if different from the original model number, and the material group of each relevant material layer (or indicate material group not defined).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62788-2-1:2023

Annex A (informative)

Chemical analytical material identification

A.1 General

A complete identification of a material comes with tolerances of its composition, as obtained under standard production conditions. For the purpose of this document, tolerances of material composition at the level of chemical-analytical and/or physical fingerprints are envisaged, but not a rigorous analysis with all the ingredients of the bill of materials (BOM), which may also impose the risk to infringe intellectual property of the manufacturer. Depending on material formulation and base resin used in the layer(s) of the front- or backsheet, different chemical-analytical techniques and/or also physical characterization methods may be considered to provide information for material identification and tolerances. Chemical analytical judgment and practicality should be considered. Fingerprint techniques used in the quality inspection test of the manufacturer may be considered as candidate test methods.

A.2 Examples of fingerprint techniques

Each material layer in a front- or backsheet should be characterized. Especially for multiple layer stacks, sample preparation may involve cross sectioning and/or intentional delamination, or access to raw material layers before lamination. The eventual presence of any non-RUI (auxiliary) layer “x” shall be considered as sketched in Figure 1.

Suitable procedures for preparation of cross-sections are described in IEC TS 62788-2 (in the context of the lamination protrusion test).

Suitable fingerprint techniques may depend on base resin, additives and fillers used and include for example:

- Physical techniques: density;
- Mechanical techniques: rheometry, dynamic mechanical analysis (DMA), thermomechanical analysis (TMA);
- Thermal techniques: differential scanning calorimetry (DSC), thermogravimetric analysis (TGA), thermal analysis, etc.;
- Spectroscopic methods: Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), Raman spectroscopy, ultraviolet-visible spectrophotometry (UV/VIS), nuclear magnetic resonance (NMR), energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX), X-Ray diffractometry, NIR-based chemometry, etc.;
- Extraction/separation based techniques: gel permeation (gel content), high liquid chromatography (HPLC), gas chromatography-mass spectrometry (GCMS), size-exclusion chromatography (SEC), etc.

Other techniques may be considered in addition.

For measurement on cross-sections, the probing area should be suitable.

The method(s) chosen should allow to characterize, whether material composition is within tolerances.

For literature where these methods are applied to polymeric PV materials, see [7] through [11].

Bibliography

- [1] IEC 60050-212:2010, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 212: Electrical insulating solids, liquids and gases*
IEC 60050-212:2010/AMD1:2015
IEC 60050-212:2010/AMD2:2015
IEC 60050-212:2010/AMD3:2020
 - [2] IEC 60050-411:1996, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 411: Rotating machines*
 - [3] IEC 60112:2020, *Method for the determination of the proof and the comparative tracking indices of solid insulating materials*
 - [4] IEC TS 62788-7-2:2017, *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Part 7-2: Environmental exposures – Accelerated weathering tests of polymeric materials*
 - [5] IEC 62941:2019, *Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Quality system for PV module manufacturing*
 - [6] IEC TS 63209-2:2022, *Photovoltaic modules – Extended-stress testing – Part 2: Polymeric component materials*
 - [7] Gabriele C. Eder, *et al.*, “On-Site Identification of the Material Composition of PV Modules with Mobile Spectroscopic Devices,” *Energies* 2020, vol. 13 (ed. 8), 1903; <https://doi.org/10.3390/en13081903>
 - [8] Report IEA-PVPS T13-24:2021, *Qualification of Photovoltaic (PV) Power Plants using Mobile Test Equipment*, <https://iea-pvps.org/key-topics/qualification-of-pv-power-plants-using-mobile-test-equipment>
 - [9] Oleksandr Stroyuk, *et al.*, “Non-destructive characterization of polymeric components of silicon solar modules by near-infrared absorption spectroscopy (NIRA)”, *Sol. Mat.*, 2020, vol. 216, 110702; <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2020.110702>
 - [10] Claudia Buerhop-Lutz, *et al.*, “PV modules and their backsheets – A case study of a Multi-MW PV power station”, *Sol. Mat.*, 2021, vol. 231, 111295; <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2021.111295>
 - [11] Claudia Buerhop, *et al.*, “Identification of solar module behaviour originating from backsheet failure – from lab studies to field tests”, *IEEE 48th PVSC*, 2021; <https://doi.org/10.1109/PVSC43889.2021.9518449>
 - [12] UL 746B, *Standard for Polymeric Materials – Long Term Property Evaluations*
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	34
INTRODUCTION.....	36
1 Domaine d'application	38
2 Références normatives	38
3 Termes, définitions et abréviations	39
3.1 Termes et définitions généraux	39
3.2 Types de feuilles et orientations.....	40
3.3 Isolation électrique.....	40
3.4 Températures	42
3.5 Propriétés en traction.....	42
4 Désignation et caractéristiques assignées	42
5 Exigences.....	43
5.1 Généralités	43
5.1.1 Vue d'ensemble	43
5.1.2 Constructions monocouches	45
5.1.3 Constructions multicouches	45
5.2 Coordination de l'isolement.....	46
5.2.1 Généralités	46
5.2.2 Exigence relative à la tension de claquage pour une face avant ou arrière complète	46
5.2.3 Exigences relative à la tension de claquage pour les différentes couches.....	47
5.2.4 Exigences de ligne de fuite.....	47
5.2.5 Exigences de distance à travers l'isolation.....	47
5.3 Endurance thermique.....	48
5.4 Exigences mécaniques.....	49
5.5 Désignation de modèles et de variantes.....	49
6 Évaluation des résultats d'essai.....	49
6.1 Généralités	49
6.2 Examen visuel – FBST 01	50
6.2.1 Généralités	50
6.2.2 Rapports.....	50
6.3 Propriétés en traction – FBST 02	50
6.3.1 Généralités	50
6.3.2 Rapports.....	51
6.4 Tension de claquage – FBST 03	51
6.4.1 Généralités	51
6.4.2 Analyse	52
6.4.3 Rapports.....	53
6.5 Distance à travers l'isolation – FBST 04.....	53
6.5.1 Généralités	53
6.5.2 Analyse	54
6.5.3 Rapports.....	54
6.6 Groupe de matériaux – FBST 05.....	55
6.6.1 Généralités	55
6.6.2 Rapports.....	55
6.7 Endurance thermique – FBST 06	55

6.7.1	Généralités	55
6.7.2	Rapports	56
6.8	Essais de vieillissement accéléré	56
6.8.1	Chaleur humide – FBST 07	56
6.8.2	Vieillissement aux UV – FBST 08	56
6.8.3	Rapports	57
6.9	Tableaux récapitulatifs	57
7	Rapport d'évaluation	59
7.1	Rapport	59
8	Documentation et essais pour des matériaux similaires	59
8.1	Généralités	59
8.2	Autres couches constitutives	60
8.3	Variantes d'épaisseur	60
8.4	Variantes de couleur	61
8.5	Rapports pour des matériaux similaires de couleur ou d'épaisseur différente	61
Annexe A (informative)	Identification des matériaux par analyse chimique	63
A.1	Généralités	63
A.2	Exemples de techniques de prise d'empreintes	63
Bibliographie		65
Figure 1	– Schémas des constructions types de faces avant ou arrière	44
Figure 2	– Exemples de calculs pour la détermination du rapport DTI et de la tension de claquage ajustée	53
Figure 3	– Détermination de la distance à travers l'isolation par l'essai de stratification en saillie en fonction de la température assignée	54
Figure 4	– Représentation schématique du résultat de l'essai de stratification en saillie pour déterminer les surfaces à évaluer pour une ligne de fuite minimale dans le cadre de la revue de conception du module selon l'IEC 61730	55
Tableau 1	– Exigences de tension de claquage minimale pour l'isolation principale et la double isolation/l'isolation renforcée avant et après le vieillissement accéléré	47
Tableau 2	– Exigences de distance à travers l'isolation minimale	47
Tableau 3	– Conditions d'exposition aux UV	57
Tableau 4	– Vue d'ensemble des évaluations et exigences pour les différentes couches	58
Tableau 5	– Vue d'ensemble des évaluations et exigences pour les faces avant et/ou arrière complètes	58

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PROCÉDURES DE MESURE DES MATÉRIAUX UTILISÉS DANS LES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 2-1: Matériaux polymères – Face avant et face arrière – Exigences de sécurité

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. À cet effet, l'IEC - entre autres activités - publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 62788-2-1 a été établie par le comité d'études 82 de l'IEC: Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire. Il s'agit d'une Norme internationale.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
82/2123/FDIS	82/2148/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à son approbation.

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Le présent document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/standardsdev/publications.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62788, publiées sous le titre général *Procédures de mesure des matériaux utilisés dans les modules photovoltaïques*, se trouve sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

Le présent document fournit les procédures et spécifications d'essai des constructions de faces avant et de faces arrière polymères utilisées dans un module PV aux fins de la qualification pour la sûreté de fonctionnement au niveau des composants. Les méthodes d'essai ont été compilées afin de s'aligner sur les exigences générales applicables aux matériaux polymères utilisés comme isolation attendue et définis dans la série IEC 61730, en tenant compte des méthodes d'essai spécifiées dans l'IEC TS 62788-2 (caractérisation des faces avant et arrière) et dans l'IEC TS 62788-7-2 [4]¹ (essai de vieillissement aux UV) ainsi que des lignes directrices de l'IEC TS 62915 pour les contre-essais. Le présent document fournit des clarifications sur les définitions des types de constructions des faces avant et arrière, et spécifie les exigences d'essai associées ainsi que les essais de contraintes environnementales supplémentaires, auxquels se réfère l'IEC 61730-1. La séparation des essais au niveau des composants dans le présent document a été étudiée afin de réduire la complexité de la série IEC 61730, mais également en vue de la mise en œuvre des méthodes d'essai dans le cadre du Système IEC de schémas d'évaluation de la conformité des équipements et composants électrotechniques (IECEE).

Les méthodes d'essai au niveau des composants et au niveau des modules PV diffèrent pour des raisons pratiques. Au niveau des composants, l'essai au xénon filtré par la lumière du jour (IEC TS 62788-7-2) est appliqué pour le vieillissement aux UV, qui est considéré comme étant plus représentatif que l'essai aux UVA de l'IEC 61215-2 en ce qui concerne l'évaluation de la durabilité des matériaux polymères dans les conditions météorologiques extérieures. Ce dernier a été élaboré en vue de l'application pratique de l'exposition aux UV à des modules PV à plus grande échelle.

Le présent document traite des propriétés pertinentes en matière de sécurité des faces avant et arrière, conformément aux exigences de l'IEC 61730.

L'essai de stratification en saillie (ou essai DTI) est exigé pour mesurer l'épaisseur de l'isolation attendue au niveau des composants. L'épaisseur de la ou des couches RUI est vérifiée par l'essai MST 04 de l'IEC 61730-2 au niveau des modules PV. L'essai fournit les informations complémentaires nécessaires à l'évaluation de l'indice de résistance au cheminement (IRC) et de la rigidité diélectrique/tension de claquage.

- L'essai de stratification en saillie applique des conditions de stratification par défaut, qui sont représentatives d'un processus de fabrication type de module PV. À l'aide d'un fil à souder de 800 µm de diamètre qui simule des pointes de soudure importantes et/ou des cordons de soudure, l'essai sert de scénario "le plus défavorable" pour le mesurage du déplacement potentiel de matériau dans des conditions de stratification. Des conditions de stratification encore plus hostiles peuvent être choisies selon les recommandations du fabricant de la face avant ou arrière.
- L'essai de stratification en saillie est également utilisé pour identifier des couches intérieures supplémentaires de la face avant ou arrière qui peuvent potentiellement être en contact avec des parties actives et pour lesquelles l'IRC doit être déterminé. Les couches supplémentaires peuvent exiger un IRC différent selon la construction du module PV, par exemple en raison d'ouvertures de feuilles spécifiques et d'un câblage traversant pour les connexions de boîtes de jonction, dans le contexte fourni par l'IEC 61730-1.
- Le rapport entre la distance à travers l'isolation mesurée (t_{DTI}) et l'épaisseur totale est utilisé pour calculer la rigidité diélectrique effective ou la tension de tenue exigée lorsqu'elle est mesurée sur des produits finis qui contiennent des couches intérieures qui peuvent être déplacées dans des conditions de stratification (voir l'essai de tension de claquage en 6.4).
- En raison de la relation avec l'endurance thermique, t_{DTI} peut être répertorié en fonction des caractéristiques assignées de température de fonctionnement du module.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

Le présent document spécifie une série d'essais de contraintes environnementales qui visent à caractériser la durabilité de l'isolation attendue. Dans le cadre de l'évaluation des essais de traction, un allongement minimal à la rupture est pris en compte, en plus du maintien de la résistance à la traction, dans la mesure où cela permet de différencier les "mauvais" matériaux des "bons" matériaux. La performance d'endurance thermique, traditionnellement évaluée par la résistance à la traction et par la rigidité diélectrique en IT ou en RTE (IRT), est donc complétée par un essai thermique de sécurité intrinsèque afin d'évaluer également l'allongement à la rupture. La combinaison de ces éléments et des essais qui couvrent les contraintes thermiques, la chaleur humide et le vieillissement aux UV, ainsi que l'évaluation de l'allongement à la rupture représente une avancée pour les essais de sûreté des faces avant et arrière en polymère, qui sont toujours équilibrés en ce qui concerne l'aspect pratique (durée) des essais.

Les exigences du présent document relatives aux désignations de modèles ou de variantes et aux (contre-)essais de matériaux similaires ont été alignées sur l'élaboration des lignes directrices pour les contre-essais des modules de l'IEC TS 62915. Les exigences actuelles constituent une première étape vers des exigences plus détaillées qui pourraient être élaborées dans le cadre d'une future révision du présent document ou d'une norme spécifique aux contre-essais des composants.

Une future révision du présent document pourra envisager des essais séquentiels sur des éprouvettes d'ingénierie avec des bosses (de fil à souder) pour mieux simuler la combinaison des UV et de la fatigue liée aux contraintes cycliques, qui sont actuellement envisagés comme le niveau suivant des essais d'endurance des faces avant et arrière polymères dans l'IEC TS 62788-2 et l'IEC TS 63209-2[6]. Toutefois, la consolidation des méthodes nécessite plus de temps que celui disponible pour le présent projet.

Compte tenu des exigences relatives à l'identification des matériaux dans le cadre des lignes directrices pour les contre-essais (IEC TS 62915), les approches pour la "prise d'empreintes" sont fournies à l'Annexe A.

Les exigences spécifiées dans le présent document peuvent être utilisées dans le contexte de l'assurance qualité pour la fabrication des faces avant ou arrière en polymère, conformément aux lignes directrices de l'IEC 62941[5].

PROCÉDURES DE MESURE DES MATÉRIAUX UTILISÉS DANS LES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 2-1: Matériaux polymères – Face avant et face arrière – Exigences de sécurité

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les exigences de sécurité pour les constructions souples de faces avant et de faces arrière polymères, prévues pour être utilisées comme isolation attendue dans les modules photovoltaïques (PV). Les spécifications du présent document définissent les exigences spécifiques des constructions des faces avant ou arrière polymères au niveau des composants et couvrent la caractérisation mécanique, électrique, visuelle et thermique des faces avant et arrière à l'état non exposé et/ou après vieillissement.

Le présent document couvre les modules de classe II et de classe 0 définis dans l'IEC 61730-1. Les modules de classe III sont hors du domaine d'application.

Pour la qualification selon l'IEC 61730-1 d'un module PV à l'aide d'une face avant ou arrière polymère, la feuille doit satisfaire aux exigences du présent document pour la classe de sécurité du module spécifié, la tension assignée du système et les caractéristiques assignées de température du module.

Le respect des exigences de sécurité pour une face avant ou arrière au niveau des composants ne remplace pas la nécessité de réaliser une qualification pour la sûreté de fonctionnement du module PV complet auquel est intégrée la face avant ou arrière. Les exigences relatives aux essais et à la qualification des modules PV sont spécifiées dans l'IEC 61730-1 et l'IEC 61215-1 (ou l'IEC TS 62915 en cas de contre-essai), les méthodes d'essai étant respectivement décrites dans l'IEC 61730-2 et l'IEC 61215-2.

Le présent document fournit les exigences de qualification des faces avant et arrière à utiliser pour la qualification pour la sûreté de fonctionnement du module conformément à l'IEC 61730-1. Les descriptions des méthodes d'essai sont données dans l'IEC TS 62788-2, ainsi que des méthodes de caractérisation supplémentaires utiles pour assurer les performances ou la qualité.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60216-1, *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 1: Méthodes de vieillissement et évaluation des résultats d'essai*

IEC 60216-3, *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 3: Instructions pour le calcul des caractéristiques d'endurance thermique*

IEC 60216-5, *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 5: Détermination de l'indice de température relatif (ITR) d'un matériau isolant*

IEC 60664-1, *Coordination de l'isolement des matériels dans les réseaux d'énergie électrique à basse tension – Partie 1: Principes, exigences et essais*

IEC 61215-1, *Modules photovoltaïques (PV) pour applications terrestres – Qualification de la conception et homologation – Partie 1: Exigences d'essai*

IEC 61215-2, *Modules photovoltaïques (PV) pour applications terrestres – Qualification de la conception et homologation – Partie 2: Procédures d'essai*

IEC 61730-1, *Qualification pour la sûreté de fonctionnement des modules photovoltaïques (PV) – Partie 1: Exigences pour la construction*

IEC 61730-2, *Qualification pour la sûreté de fonctionnement des modules photovoltaïques (PV) – Partie 2: Exigences pour les essais*

IEC TS 61836, *Solar photovoltaic energy systems – Terms, definitions and symbols* (disponible en anglais seulement)

IEC TS 62788-2, *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Part 2: Polymeric materials – Frontsheets and backsheets* (disponible en anglais seulement)

IEC TS 62915, *Photovoltaic (PV) modules – Type approval, design and safety qualification – Retesting* (disponible en anglais seulement)

IEC TS 63126:2020, *Guidelines for qualifying PV modules, components and materials for operation at high temperatures* (disponible en anglais seulement)

ISO 527-3, *Plastiques – Détermination des propriétés en traction – Partie 3: Conditions d'essai pour films et feuilles*

3 Termes, définitions et abréviations

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC TS 61836 et de l'IEC TS 62788-2 ainsi que les suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1 Termes et définitions généraux

3.1.1

FBST

essai de sûreté de la face avant ou arrière conformément à l'IEC 62788-2-1

Note 1 à l'article: L'abréviation "FBST" est dérivée du terme anglais développé correspondant "front- or backsheet safety test".

3.1.2

tolérance

déviations permises entre la valeur déclarée d'une quantité et la valeur mesurée

[SOURCE: IEC 60050-411[2]:1996, 411-36-19]

3.2 Types de feuilles et orientations

3.2.1

côté air

côté de la face avant ou arrière orienté vers l'extérieur du module PV, c'est-à-dire à l'opposé des cellules

3.2.2

face arrière

combinaison d'une ou de plusieurs couches extérieures du module PV, placées comme un substrat à l'arrière du module PV et qui assure la protection de ses composants internes contre les contraintes extérieures et les conditions climatiques, ainsi que l'isolation électrique

3.2.3

face avant

(combinaison de) couche(s) extérieure(s) du module PV, conçue pour une exposition prolongée à la lumière directe du soleil ($> 300 \text{ W/m}^2$) et assurant la protection de ses composants internes contre les contraintes extérieures et les éléments climatiques, ainsi que l'isolation électrique

3.2.4

côté intérieur

côté de la face avant ou arrière qui est orienté vers les cellules solaires, généralement stratifié à l'encapsulant

3.2.5

direction machine

MD

direction le long de laquelle la couche de matériau a été extrudée ou produite, qui s'étend d'une matrice ou d'un autre équipement de fabrication dans une chaîne de production

3.2.6

direction transversale

TD

direction perpendiculaire à celle d'extrusion ou de production de la couche de matériau

3.2.7

côté exposé au soleil

côté de la face avant ou arrière qui est orienté en direction du côté avant exposé au soleil du module PV

Note 1 à l'article: Les côtés exposés au soleil sont le côté air d'une face avant et le côté intérieur d'une face arrière.

3.3 Isolation électrique

3.3.1

tension de claquage

V_{BD}

tension en courant continu à laquelle un claquage électrique se produit, dans des conditions d'essais prescrites ou en service

Note 1 à l'article: Les essais de tension de claquage dans le contexte des modules PV et de leurs matériaux constitutifs appliquent un courant continu (DC).

[SOURCE: IEC 60050-212[1]:2010, 212-11-34, modifié – ajout du symbole et de la Note 1 à l'article.]

3.3.2

indice de résistance au cheminement

IRC

valeur d'indice numérique de la tension maximale qu'un matériau peut supporter sans formation d'un chemin de carbone permanent et conducteur (cheminement) et sans apparition de flammes persistantes lorsque l'évaluation a lieu dans les conditions d'essai définies dans l'IEC 60112

Note 1 à l'article: La tension d'essai maximale indiquée n'est pas liée à la tension d'un système ou à la tension opérationnelle, mais elle est utilisée pour l'évaluation des groupes de matériaux.

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-11-59, modifié – la définition a été reformulée en clarifiant aussi le fait que l'IRC est une valeur d'indice destinée à évaluer les groupes de matériaux selon l'IEC 60112. La Note 1 à l'article a également été ajoutée.]

3.3.3

distance à travers l'isolation

t_{DTI}

épaisseur de l'isolation attendue (RUI) après l'essai de stratification en saillie, avec la valeur minimale admissible définie par la tension assignée du système

3.3.4

groupe de matériaux

catégorie de matériaux d'isolation selon l'IEC 60664-1, définie par les résultats de l'essai IRC

3.3.5

tension assignée du système

$[V_{sys}]_{max}$

tension maximale du système pour laquelle un module est assigné

3.3.6

isolation attendue

RUI

système d'isolation solide qui fournit une protection contre les chocs électriques dans l'application finale, avec les exigences d'endurance thermique et de résistance aux facteurs de contraintes environnementales du matériau

Note 1 à l'article: Les films fins utilisés comme face arrière ou face avant polymère peuvent être constitués de la RUI et de couches supplémentaires qui ont d'autres fonctions; elles protègent par exemple les matériaux polymères contre le rayonnement UV (voir Figure 1).

Note 2 à l'article: L'abréviation "RUI" est dérivée du terme anglais développé correspondant "relied-upon insulation".

3.3.7

tension de tenue

V_w

tension en courant continu à laquelle le matériau à l'essai peut résister pendant une durée minimale définie sans survenue d'un claquage électrique

3.4 Températures

3.4.1

température de fonctionnement du module au 98^e percentile

T_{98}

température au-dessous de laquelle un module fonctionne plus de 98 % du temps lorsqu'il est déployé dans un système PV

Note 1 à l'article: La température au 98^e percentile est calculée en classant les données de température de module mesurées ou calculées à intervalles horaires (ou plus fréquents) sur une année civile type.

Note 2 à l'article: Sur une année type, la température au 98^e percentile est respectée ou dépassée pendant 175,2 h.

3.4.2

température de fonctionnement assignée du module

$[T_{98}]_{\max}$

température de fonctionnement maximale admise au 98^e percentile (T_{98}) du module PV

3.5 Propriétés en traction

3.5.1

allongement à la rupture

ϵ_B

déformation qui entraîne la rupture de l'éprouvette soumise à l'essai

Note 1 à l'article: La rupture définit le point de l'essai de traction auquel la contrainte de traction chute au-dessous de 50 % de sa valeur la plus élevée.

3.5.2

résistance à la rupture

σ_B

contrainte technique maximale mesurée lorsqu'une éprouvette est soumise à un allongement en tension jusqu'au point de rupture

4 Désignation et caractéristiques assignées

La face avant ou arrière doit être évaluée selon son utilisation prévue dans un module PV, y compris la désignation comme face avant ou arrière, la température maximale de fonctionnement du module, la tension maximale du système et la classe de sécurité du module. En raison des exigences de coordination concernant les caractéristiques assignées de température et de tension du système, une face avant ou arrière peut avoir plusieurs ensembles de caractéristiques assignées (par exemple, V_{sys} et T_{98} maximales).

Les faces avant sont conçues pour une exposition prolongée à la lumière directe du soleil (> 300 W/m²). Les faces arrière sont conçues pour être exposées à travers du verre et de l'encapsulant du côté intérieur et sont limitées à une utilisation sous une lumière solaire indirecte ou une lumière solaire directe limitée (< 300 W/m²) du côté extérieur. Pour cette raison, les conditions de l'essai de vieillissement aux UV (FBST 09) sont différentes pour les faces avant et arrière. Un produit peut être assigné comme face avant et/ou comme face arrière.

Une face avant ou arrière est assignée pour une température maximale de fonctionnement du module T_{98} . La température de fonctionnement du module est liée à une combinaison de conditions d'environnement et de montage décrites dans l'IEC 61730-1 et l'IEC TS 63126:

- l'IEC 61730-1 (par défaut) spécifie des modules PV avec des températures de service au 98^e percentile $T_{98} \leq 70$ °C;

- l'IEC TS 63126 spécifie des conditions d'essai étendues pour le fonctionnement à haute température avec $T_{98} \leq 80$ °C [niveau 1] ou ≤ 90 °C [niveau 2]. Les exigences de l'essai d'endurance thermique (FBST 06) dépendent de la valeur $[T_{98}]_{\max}$ spécifiée. L'IEC 62788-2-1 s'écarte de l'IEC TS 63126:2020, les conditions de température de vieillissement aux UV appliquées pour l'essai de vieillissement aux UV (FBST 08) devant être celles spécifiées dans le Tableau 3.

NOTE L'IEC TS 63126:2020 est actuellement à l'étude pour modification et sera probablement modifiée pour être conforme au présent document.

En outre, une face avant ou arrière est assignée pour une tension maximale du système et une classe de sécurité du module. L'IEC 61730-1 définit la classe de sécurité du module PV et les caractéristiques assignées de tension du système. Les faces avant et arrière peuvent être utilisées dans les modules de classe de sécurité II (sorties électriques individuelles et/ou au niveau du système qui présentent des niveaux dangereux de tension, de courant et de puissance) et de classe de sécurité 0 (destinés à être utilisés dans des zones d'accès limité protégées de l'accès public par des clôtures ou d'autres mesures qui empêchent l'accès du public).

5 Exigences

5.1 Généralités

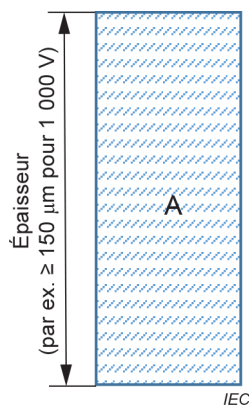
5.1.1 Vue d'ensemble

Les exigences applicables aux faces avant et arrière sont issues des exigences de coordination de l'isolement de l'IEC 60664 et de l'IEC 61730-1, ainsi que d'exigences supplémentaires relatives à la fiabilité à long terme fondées sur les observations de défaillances sur site.

Les exigences doivent être respectées pour la face avant ou arrière complète, ainsi que pour les différentes couches désignées comme RUI (ci-après appelées couches RUI). Les constructions types sont décrites à la Figure 1.

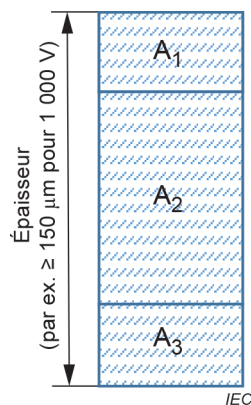
a) Couche simple

a1) couche homogène

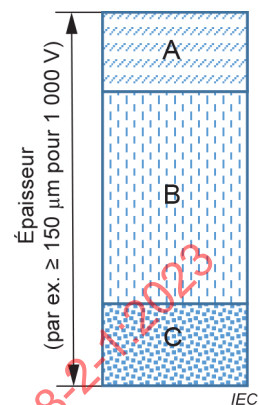


a2) couches combinées (par coextrusion, par exemple)

a2-i) la composition du polymère diffère de ≤ 10 %



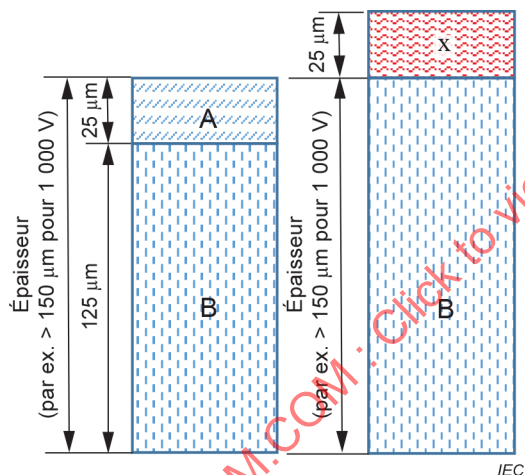
a2-ii) la composition du polymère diffère de > 10 %



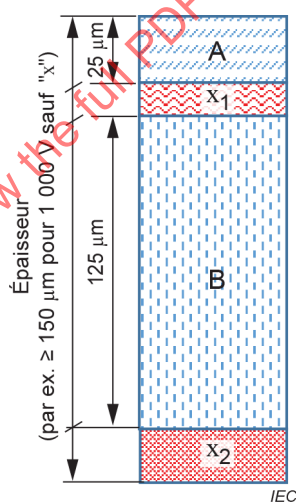
b) Multicouche

b1-i) multicouche revêtue avec revêtement RUI

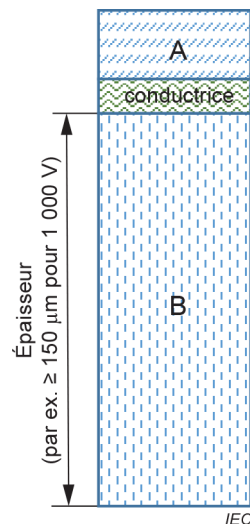
b1-ii) multicouche revêtue avec revêtement non RUI



b2) multicouche stratifiée avec couches adhésives non RUI "x"



b3) multicouche avec couche conductrice^a



NOTE Dans les constructions réelles de faces avant ou de faces arrière, le nombre de sous-couches peut différer des exemples représentés.

^a Dans le cas d'une couche conductrice, comme dans l'exemple b3), des considérations supplémentaires relatives à la coordination de l'isolement sont nécessaires au niveau du module, comme cela est décrit dans l'IEC 61730-1.

Figure 1 – Schémas des constructions types de faces avant ou arrière

5.1.2 Constructions monocouches

Une construction monocouche désigne une face avant ou arrière produite en une seule étape de production. Elle peut comprendre une couche simple homogène (a1) ou des couches combinées (a2) en un seul processus de production (par coextrusion, par exemple), de telle sorte qu'elles ne puissent pas être raisonnablement séparées sans modifier fondamentalement leurs propriétés, par exemple déformation résiduelle ou cristallinité, d'une manière susceptible de compromettre leurs performances au sein d'un module PV. Pour les couches combinées, les exigences d'endurance thermique dépendent de la composition de la couche (voir 5.3). Si la composition du polymère diffère de $\leq 10\%$ (en masse) entre les sous-couches ou les zones de gradient à l'intérieur de la couche de matériau (a2-i), elle est traitée comme une couche simple homogène (a1). Si la composition du polymère diffère de $> 10\%$ (a2-ii), la linéarité de la représentation graphique d'Arrhenius doit être évaluée (voir 5.3). Les critères de 10 % font référence aux différences entre les rapports de mélange et/ou les rapports de copolymère des polymères.

La construction monocouche complète doit satisfaire aux exigences de coordination de l'isolement (5.2), aux exigences d'endurance thermique (5.3) et aux exigences mécaniques (5.4) avant et après le vieillissement accéléré (6.8).

5.1.3 Constructions multicouches

Pour les faces avant ou arrière conçues comme des piles multicouches, en général une couche (monolithique) de la pile multicouche assure une résistance mécanique (à la traction), souvent appelée "couche centrale", tandis que des couches supplémentaires associées à la couche centrale lors d'étapes de production distinctes peuvent assurer d'autres fonctions, par exemple la protection contre les UV ou l'adhérence à l'encapsulant. La présence d'étapes de traitement séquentielles est un facteur de différenciation par rapport à une couche simple combinée (a2).

Exemples de faces avant ou arrière conçues avec plusieurs couches (voir Figure 1):

- une pile multicouche revêtue (b1) avec couche revêtue **A** sur une couche simple centrale **B**, toutes deux étant potentiellement des couches RUI. En général, le revêtement est conçu pour une fonction particulière dans la pile de couches (par exemple, protection contre les UV de la couche côté air ou de la couche intérieure). Les procédés de revêtement incluent le revêtement par enduction de formulations fonctionnelles ou le revêtement par extrusion de polymères en fusion sur une autre couche de matériau, qui a été produite lors d'une étape de processus différente;
- une pile multicouche stratifiée (b2), avec des couches adhésives **x** entre les couches (éventuellement) RUI **A** et **B**. Une telle construction correspond à une combinaison d'au moins deux matériaux monocouches, où chacun est produit sous la forme d'un film lors d'une étape de procédé distincte, qui sont ensuite combinés en un film multicouche au moyen de couches adhésives placées entre eux lors du procédé de stratification final. Dans cet exemple, les couches (non RUI) **x** ne satisfont pas aux exigences de l'isolation attendue et ne contribuent donc pas à la distance à travers l'isolation (t_{DTI});
- une pile multicouche qui comprend une couche conductrice (b3), par exemple de l'aluminium, nécessite des considérations supplémentaires relatives à la coordination de l'isolement au niveau du module, comme cela est décrit dans l'IEC 61730-1:
 - si la couche conductrice se trouve à l'intérieur de la ligne de fuite minimale par rapport aux surfaces accessibles (le cadre, par exemple), alors seule la couche **B** contribue à la RUI;
 - si la couche conductrice ne se trouve pas à l'intérieur de la ligne de fuite minimale par rapport aux surfaces accessibles (le cadre, par exemple), alors les couches **A** et **B** contribuent à la RUI.

La construction multicouche complète doit satisfaire aux exigences de coordination de l'isolement (5.2) et aux exigences mécaniques (5.4) avant et après le vieillissement accéléré (6.8).

Chaque (sous-)couche RUI de la construction multicouche doit satisfaire aux exigences d'endurance thermique (5.3). Des exigences supplémentaires s'appliquent pour la coordination de l'isolement (5.2.3).

5.2 Coordination de l'isolement

5.2.1 Généralités

La coordination de l'isolement des modules PV fait référence aux exigences relatives aux matériaux isolants et aux dimensions utilisés dans la conception d'un module. Ces exigences dépendent de différentes caractéristiques assignées, notamment la classe de sécurité du module et la tension assignée du système $[V_{\text{sys}}]_{\text{max}}$. La température de fonctionnement assignée du module $T_{\text{98}}]_{\text{max}}$ peut également influencer la coordination de l'isolement par le biais des exigences d'endurance thermique des couches RUI. Les faces avant et arrière doivent avoir une tension de claquage minimale et une valeur $[V_{\text{DTI}}]$ minimale, toutes deux dépendantes de la tension assignée du système $[V_{\text{sys}}]_{\text{max}}$. Certaines de ces exigences s'appliquent à la face avant ou arrière complète, tandis que d'autres s'appliquent aux différentes couches d'isolation attendue (RUI).

5.2.2 Exigence relative à la tension de claquage pour une face avant ou arrière complète

Le film doit assurer une résistance aux contraintes de tension qui est vérifiée par une tension de claquage minimale V_{BD} fondée sur la classe de sûreté du module:

- module de classe de sécurité 0: isolation principale définie par la formule (1);
- module de classe de sécurité II: double isolation ou isolation renforcée définie par la formule (2).

Exigence de tension de claquage minimale pour l'isolation principale:

$$[V_{\text{BD}}]_{\text{req}} = 1,0 \text{ kV} + 2 \times [V_{\text{sys}}]_{\text{max}} \quad (1)$$

et pour la double isolation ou l'isolation renforcée:

$$[V_{\text{BD}}]_{\text{req}} = 2,0 \text{ kV} + 4 \times [V_{\text{sys}}]_{\text{max}} \quad (2)$$

où

$[V_{\text{BD}}]_{\text{req}}$ est la tension de claquage minimale exigée, exprimée en kV.

L'IEC 60664-1 définit les concepts d'isolation principale, d'isolation supplémentaire, de double isolation et d'isolation renforcée. L'isolation principale procure un niveau de protection de base et la double isolation ou l'isolation renforcée procure un niveau supplémentaire de protection en cas de défaut.

Les exigences sont récapitulées dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Exigences de tension de claquage minimale pour l'isolation principale et la double isolation/l'isolation renforcée avant et après le vieillissement accéléré

Tension maximale du système kV	Exigence de tension de claquage minimale kV	
	Isolation principale	Double isolation/ isolation renforcée
1,50	4,0	8,0
1,00	3,0	6,0
0,60	2,2	4,4

Les exigences de tension de claquage minimale doivent être respectées avant et après le vieillissement accéléré (6.8); voir également le Tableau 5.

5.2.3 Exigences relative à la tension de claquage pour les différentes couches

Dans une construction monocouche combinée (voir 5.1.2), les (sous-)couches ne peuvent pas être soumises à l'essai individuellement en tant qu'isolation principale ou supplémentaire. Par conséquent, l'exigence de tension de claquage minimale ne s'applique qu'à la face avant ou arrière complète.

Dans une construction multicouche (voir 5.1.3), une ou plusieurs couches RUI, qui satisfont aux exigences d'endurance thermique selon $[T_{98}]_{\max}$, sont également nécessaires pour assurer une isolation principale ou renforcée. Pour un module de classe de sécurité II, il est nécessaire qu'au moins deux couches RUI assurent une isolation principale (double isolation) ou qu'au moins une couche RUI assure une isolation renforcée. Pour un module de classe de sécurité 0, il est nécessaire qu'au moins une couche RUI assure une isolation principale.

5.2.4 Exigences de ligne de fuite

L'essai de stratification en saillie fournit des recommandations concernant les couches les plus susceptibles d'être en contact avec les parties actives d'un module. Pour les matériaux polymères en contact avec des parties actives, la désignation du groupe de matériaux influence les exigences de ligne de fuite minimale de la conception du module. Cela s'applique aussi bien aux matériaux d'isolation fonctionnelle qu'aux matériaux d'isolation attendue. La désignation du groupe de matériaux d'une couche n'est pas exigée, mais peut réduire les exigences d'espacement minimal pour la conception du module.

5.2.5 Exigences de distance à travers l'isolation

La somme des épaisseurs de toutes les couches RUI (après l'essai de stratification en saillie) doit correspondre aux valeurs t_{DTI} minimales en fonction de la tension assignée du système, comme cela est indiqué dans le Tableau 2.

Tableau 2 – Exigences de distance à travers l'isolation minimale

	Tension assignée du système kV			
	< 0,30	0,60	1,00	1,50
Valeurs t_{DTI} minimales mm	0,030	0,060	0,15	0,30

Il convient de prendre en compte la plage de tolérance sur l'épaisseur, de sorte que le produit le plus mince compris dans la tolérance soit également conforme à la distance à travers l'isolation (DTI) minimale exigée.

NOTE Voir l'IEC 61730-1 pour plus d'informations sur les exigences de DTI qui reposent sur la série IEC 60664.

5.3 Endurance thermique

Chaque couche d'isolation attendue (RUI) doit présenter une caractéristique assignée d'endurance thermique par indice de température (IT) ou par indice d'endurance thermique relatif (RTE, *Relative Thermal Endurance Index*) conformément à l'IEC 60216-1 (pour l'IT) ou à l'IEC 60216-5 (pour le RTE). Les indices thermiques relatifs (IRT) pertinents évalués conformément à l'UL 746B sont acceptés en lieu et place du RTE. Les caractéristiques assignées d'endurance thermique pour la résistance mécanique et la rigidité diélectrique sont exigées. Si l'évaluation mécanique inclut à la fois les caractéristiques assignées de résistance à la traction et d'allongement à la rupture, alors l'essai thermique de sécurité intrinsèque n'est pas exigé. La nécessité de l'essai thermique de sécurité intrinsèque ne s'applique pas aux revêtements, qui sont évalués par rapport à une caractéristique assignée de flexibilité.

La caractéristique assignée d'IT ou de RTE (IRT) minimale est définie dans l'IEC 61730-1 pour $T_{98} \leq 70$ °C:

IT ou RTE (IRT) ≥ 90 °C.

Pour des températures de fonctionnement plus élevées, la caractéristique assignée est définie par l'IEC TS 63126:

Niveau 1 ($T_{98} \leq 80$ °C): IT ou RTE (IRT) ≥ 100 °C.

Niveau 2 ($T_{98} \leq 90$ °C): IT ou RTE (IRT) ≥ 110 °C.

Les couches simples homogènes (a1) et les couches simples combinées (a2-i) dont la composition de la base polymère diffère de $\leq 10\%$ (en masse) entre les sous-couches ou les zones de gradient à l'intérieur de la couche de matériau sont traitées comme une couche RUI unique.

Les couches simples combinées (a2-ii) dont la composition de la base polymère diffère de $> 10\%$ entre les sous-couches ou les zones de gradient à l'intérieur de la couche de matériau exigent l'approche suivante pour déterminer la caractéristique assignée d'endurance thermique:

- a) si la représentation graphique d'Arrhenius d'un tel "matériau combiné" en ce qui concerne la variation thermiquement induite des propriétés mécaniques ou électriques est suffisamment linéaire, le résultat de cette approche peut être accepté pour déduire la valeur d'IT ou de RTE (IRT), même si différents matériaux polymères ont été soumis à l'essai;
- b) si la représentation graphique d'Arrhenius n'est pas suffisamment linéaire (voir l'essai de linéarité de l'IEC 60216-3), les valeurs d'IT ou de RTE (IRT) des différents polymères utilisés dans les sous-couches ou le gradient doivent être déterminées séparément. Pour déterminer t_{DTI} , la face avant ou arrière est traitée comme une multicouche (les sous-structures d'un film coextrudé peuvent également être évaluées).

Pour chaque couche RUI qui n'a pas d'IT ou de RTE (IRT) assigné fondé sur l'allongement à la rupture, l'essai thermique de sécurité intrinsèque est réalisé comme cela est décrit dans l'IEC TS 62788-2, la couche étant exposée à (120 ± 2) °C pendant $(2\,000 \pm 24)$ h (en conditions sèches, aucun contrôle d'humidité n'est exigé). La couche est acceptée si l'allongement à la rupture est d'au moins 25 % après l'exposition.

5.4 Exigences mécaniques

Comme propriété initiale, l'allongement à la rupture de la face avant ou arrière (complète) doit être $\geq 25 \%$, et le produit doit réussir un examen visuel (FBST 01).

Des essais de vieillissement accéléré sont appliqués à la face avant ou arrière complète afin de montrer que celle-ci peut conserver les propriétés mécaniques et électriques pertinentes après des contraintes thermiques et environnementales. Après vieillissement, la résistance à la traction maintenue doit être $\geq 50 \%$, l'allongement à la rupture doit être $\geq 25 \%$, et le produit doit réussir un examen visuel (FBST 01); voir également le Tableau 5.

5.5 Désignation de modèles et de variantes

Un modèle de face avant ou arrière est considéré comme ayant une formulation définie et une épaisseur nominale (avec une tolérance maximale sur la plus large de $\pm 10\%$ ou $\pm 5 \mu\text{m}$) de ses couches de matériau. Une variation avec des différences d'épaisseur(s) de couche et/ou de couleur peut être qualifiée en utilisant un ensemble réduit d'essais conformément à l'Article 8 en plus de la qualification du modèle de produit référencé. D'autres matériaux constitutifs (du même fournisseur ou de fournisseurs différents) peuvent être qualifiés conformément au 8.2.

Si un modèle de face avant ou arrière comporte:

- a) différents matériaux (c'est-à-dire toute modification de spécification du matériau ou de l'une de ses couches);
- b) différents traitements de surface (externes) (à l'intérieur ou à l'extérieur);
- c) une variation de la quantité d'adhésifs, d'apprêts ou d'autres additifs;
- d) un ajout/retrait d'adhésifs, d'apprêts ou d'additifs.

il doit lui être attribué un numéro de modèle différent et il doit être évalué conformément au 8.2.

NOTE La position par défaut est qu'un fournisseur différent signifie un matériau différent, quel que soit le matériau. La charge de preuve d'équivalence relève du fabricant et du fournisseur du matériau conformément au 8.2.

6 Évaluation des résultats d'essai

6.1 Généralités

Tous les essais doivent être réalisés comme cela est décrit dans l'IEC TS 62788-2, sauf spécification contraire.

Il est fortement recommandé que le fabricant fournisse le formulaire de caractérisation uniforme (UCF, *Uniform Characterization Form*) de la face avant ou arrière soumise à l'essai, lorsque celle-ci est évaluée conformément aux méthodes d'essai correspondantes indiquées comme étant obligatoires pour l'UCF dans l'IEC TS 62788-2. Ces informations sont utilisées comme valeurs de référence préférentielles pour les évaluations énumérées dans le présent document.

Si la documentation de certification est fournie, les informations suivantes peuvent (mais pas nécessairement) réduire les essais exigés:

- IT ou RTE (IRT) des couches d'isolation attendue (selon FBST 06);
- désignation du groupe de matériaux pour l'indice de cheminement (selon FBST 05).

Il est fortement recommandé de fournir les informations suivantes afin d'indiquer aux laboratoires d'essai comment soumettre les matériaux à l'essai:

- types d'encapsulants (résine de base et chimie de durcissement) à utiliser pour qualifier la face avant ou arrière par l'essai de stratification en saillie;

NOTE 1 Les types d'encapsulants courants sont, par exemple:

- i) les encapsulants de type polyéthylène-acétate de covinyle [copolymère] (EVA), y compris les types rapides et lents;
 - ii) les encapsulants de type polyoléfine thermoplastique (TPO);
 - iii) les encapsulants de type silicone;
 - iv) les encapsulants de type butyral polyvinylique (PVB);
 - v) les encapsulants de type polyoléfine élastomère (POE).
- le cas échéant, type de filtre UV et longueur d'onde de coupure UV correspondante, comme cela est défini dans l'IEC TS 62788 2, lors de la qualification du côté intérieur de la face arrière pour le vieillissement aux UV;

NOTE 2 Pour l'essai de vieillissement aux UV du côté intérieur de la face arrière (BS), la combinaison de verre (GS) et d'encapsulant (E) utilisée dans une éprouvette (par exemple, GS/E/E/BS) peut agir comme un filtre de coupure UV.

- informations qualitatives concernant l'aspect visuel général du produit, y compris une description de l'opacité (par exemple, opaque, translucide, clair), de la couleur (par exemple, blanc, gris, coloré, noir) et du brillant (par exemple, mat, satiné, brillant) du côté air et du côté intérieur, le cas échéant;
- précaution de manipulation (informations relatives à la sûreté du produit), le cas échéant.

6.2 Examen visuel – FBST 01

6.2.1 Généralités

L'examen visuel doit être réalisé conformément à la méthode décrite dans l'IEC TS 62788-2 sur la face avant ou arrière complète. Un échantillon non vieilli de 1 m² et au moins trois échantillons choisis dont l'apparence est la plus défavorable pour chaque condition de vieillissement doivent être examinés.

Il ne doit pas y avoir de défauts évidents, tels que des fissures, des bulles, des piqûres, un cloquage ou un décollement interlaminaire, qui puissent avoir un impact sur la sûreté.

6.2.2 Rapports

Toutes les informations exigées dans le rapport d'examen visuel de l'IEC TS 62788-2 doivent être consignées. En outre, indiquer si le produit est accepté.

6.3 Propriétés en traction – FBST 02

6.3.1 Généralités

Les propriétés en traction de la face avant ou arrière doivent être soumises à l'essai selon la méthode de résistance à la traction et d'allongement à la rupture fournie dans l'IEC TS 62788-2. Cette méthode est fondée sur l'ISO 527-3, mais suggère des ajustements du contenu des méthodes afin d'établir des essais cohérents pour les différents types de faces avant et arrière en polymère avant et après vieillissement.

L'essai de résistance à la traction et d'allongement à la rupture doit être effectué avant et après des essais de vieillissement accéléré afin de déterminer l'endurance mécanique du matériau. La comparaison des résultats avant et après le vieillissement doit être fondée sur la même distance de préhension initiale et sur les mêmes dimensions d'éprouvettes, pour la longueur comme pour la largeur des bandes. Il est recommandé d'utiliser les mêmes dimensions d'éprouvettes dans un plan d'essai qui comprend différents essais de vieillissement, et de découper les échantillons neufs et vieillis en même temps.

Pour chaque instance de mesure (sans vieillissement et après chaque exposition au vieillissement), préparer au moins 5 éprouvettes dans la direction d'extrusion machine (MD) et 5 éprouvettes dans la direction machine transversale (TD). En raison de la possibilité de sessions d'essais de traction non valides, il est recommandé de procéder au vieillissement de quelques échantillons supplémentaires.

6.3.2 Rapports

Consigner toutes les informations exigées dans le rapport d'essai de résistance à la traction et d'allongement à la rupture de l'IEC TS 62788-2 pour les échantillons non vieillis et pour les échantillons après exposition à la chaleur humide et aux UV, comme cela est décrit dans le Tableau 5.

Après l'essai de chaleur humide (FBST 07) et le vieillissement aux UV (FBST 08), calculer la résistance à la traction maintenue:

$$r\sigma_B = \sigma_{B,after} / \sigma_{B,initial} \quad (3)$$

où

$r\sigma_B$ est la résistance à la traction maintenue, exprimée en %;

$\sigma_{B,initial}$ est la résistance à la traction initiale (sans vieillissement/avec prétraitement), exprimée en Pa;

$\sigma_{B,after}$ est la résistance à la traction après vieillissement accéléré, exprimée en Pa.

Indiquer si le matériau est accepté ou rejeté. Un matériau est accepté:

- si $r\sigma_B \geq 50$ % (résistance à la traction maintenue) à l'issue de l'exposition au vieillissement; et
- si $\varepsilon_B \geq 25$ % (allongement à la rupture absolu) sans vieillissement et à l'issue de l'exposition au vieillissement.

6.4 Tension de claquage – FBST 03

6.4.1 Généralités

Deux méthodes sont admises pour la vérification de l'exigence de tension de claquage minimale $[V_{BD}]_{req}$. La méthode A utilise une tension de tenue et la méthode B une tension de claquage mesurée (jusqu'à la capacité de l'équipement); l'une ou l'autre des méthodes est acceptable.

Les différentes couches RUI choisies pour l'isolation principale ou renforcée doivent présenter une tension de claquage $V_{BD} \geq [V_{BD}]_{req}$ décrite en 5.2.3 et indiquée dans le Tableau 1.

Les faces avant ou arrière doivent avoir une valeur V_{BD} supérieure à $[V_{BD}]_{req}$, comme cela est décrit en 5.2.2 pour une face avant ou arrière complète. Cette exigence est évaluée après ajustement de la valeur V_{BD} ou VW_w par le rapport DTI. r_{DTI} peut varier en fonction de la tension du système et de la température assignées cibles, comme cela est décrit en 6.5.

$$r_{DTI} = t_{DTI} / t_{total} \quad (4)$$

où

r_{DTI} est le rapport DTI;

t_{DTI} est la valeur DTI déterminée par FBST 04, exprimée en mm;

t_{total} est l'épaisseur de la face complète soumise à l'essai, exprimée en mm.

$$[V_{\text{BD}}]_{\text{adj}} = V_{\text{BD}} \times r_{\text{DTI}} \geq [V_{\text{BD}}]_{\text{req}} \quad (5)$$

où

$V_{\text{BD}}]_{\text{adj}}$ est la tension de claquage ajustée, exprimée en kV;

V_{BD} est la tension de claquage (IEC TS 62788-2), exprimée en kV;

$[V_{\text{BD}}]_{\text{req}}$ est la tension de claquage exigée, définie en 5.2.

La valeur minimale doit être respectée pour les échantillons initiaux et les échantillons vieillis, en utilisant la même méthode.

NOTE Pour la méthode de la tension de tenue, la relation $V_{\text{BD}} \geq V_{\text{w}}$ peut être utilisée pour la formule (5) si V_{w} est acceptée.

6.4.2 Analyse

Pour les faces avant ou arrière, les informations suivantes issues de l'IEC TS 62788-2 et de l'essai FBST 04 du présent document sont utilisées pour l'analyse:

- V_{BD} (d'après l'essai de tension de claquage, IEC TS 62788-2);
- t_{total} (d'après l'essai d'épaisseur, IEC TS 62788-2);
- r_{DTI} pour chaque température assignée prévue (FBST 04).

Utiliser la procédure suivante pour déterminer $[V_{\text{BD}}]_{\text{adj}}$:

- a) calculer r_{DTI} pour chaque valeur $[T_{98}]_{\text{max}}$ applicable à l'aide de la formule (4);
- b) calculer $[V_{\text{BD}}]_{\text{adj}}$ pour chaque valeur $[T_{98}]_{\text{max}}$ applicable à l'aide de la formule (5).

Des exemples sont donnés à la Figure 2.

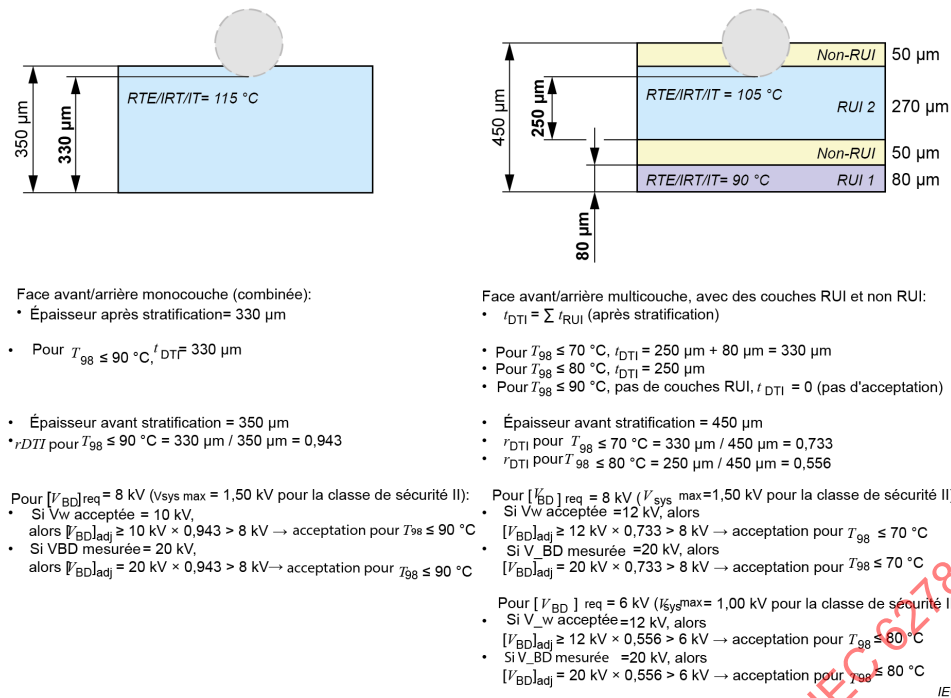


Figure 2 – Exemples de calculs pour la détermination du rapport DTI et de la tension de claquage ajustée

6.4.3 Rapports

Toutes les informations exigées dans le rapport d'essai de tension de claquage de l'IEC TS 62788-2 doivent être consignées pour les échantillons non vieillis et pour les échantillons après exposition à la chaleur humide et aux UV, comme cela est décrit dans le Tableau 5.

- Pour chaque couche destinée à servir d'isolation principale ou renforcée, indiquer l'acceptation ou le rejet, et:
 - V_{BD} ou V_w ;
 - la valeur V_{sys} maximale assignée et la classe de sécurité du module.
- Pour la face avant ou arrière complète, indiquer l'acceptation ou le rejet, pour chaque valeur V_{sys} maximale assignée et chaque classe de sécurité du module prévues, et:
 - $[V_{BD}]_{adj}$ pour les échantillons non vieillis et pour les échantillons après exposition à la chaleur humide et aux UV, comme cela est décrit dans le Tableau 5;
 - la valeur V_{sys} maximale assignée et la classe de sécurité du module (en fonction de $[T_{98}]_{max}$).

6.5 Distance à travers l'isolation – FBST 04

6.5.1 Généralités

La distance à travers l'isolation (t_{DTI}) est une mesure de l'épaisseur de matériau qui peut être attendue comme isolation. La valeur t_{DTI} est la somme des épaisseurs de chaque couche RUI mesurées après l'essai de stratification en saillie décrit dans l'IEC TS 62788-2. Comme la désignation RUI peut dépendre de la température assignée, t_{DTI} est indiquée en fonction de $[T_{98}]_{max}$. L'exigence de t_{DTI} minimale dépend de $[V_{sys}]_{max}$, comme cela est indiqué dans le Tableau 2.

6.5.2 Analyse

Les informations suivantes issues des essais de l'IEC TS 62788-2 sont utilisées pour l'analyse:

- micrographie avec l'épaisseur rapportée de chaque couche (RUI) après l'essai de stratification en saillie;
- l'IT ou le RTE (IRT) assigné pour chaque couche considérée comme RUI, et la désignation de la caractéristique d'acceptation de chaque couche pour l'essai thermique de sécurité intrinsèque.

Utiliser la procédure suivante pour déterminer la ou les valeurs t_{DTI} .

- Utiliser la valeur $[V_{sys}]_{max}$ cible prévue et extraire la valeur t_{DTI} exigée du Tableau 2.
- En utilisant la valeur $[T_{98}]_{max}$ prévue, définir les couches qui sont qualifiées comme RUI.
- Extraire les épaisseurs des couches RUI désignées de la micrographie et calculer t_{DTI} comme la somme de ces épaisseurs pour chaque valeur $[T_{98}]_{max}$ applicable.
- Comparer t_{DTI} à la valeur minimale exigée pour chaque valeur $[T_{98}]_{max}$ applicable. Si t_{DTI} est supérieure ou égale, alors le résultat est une acceptation pour cette valeur $[T_{98}]_{max}$.

Des exemples sont donnés à la Figure 3.

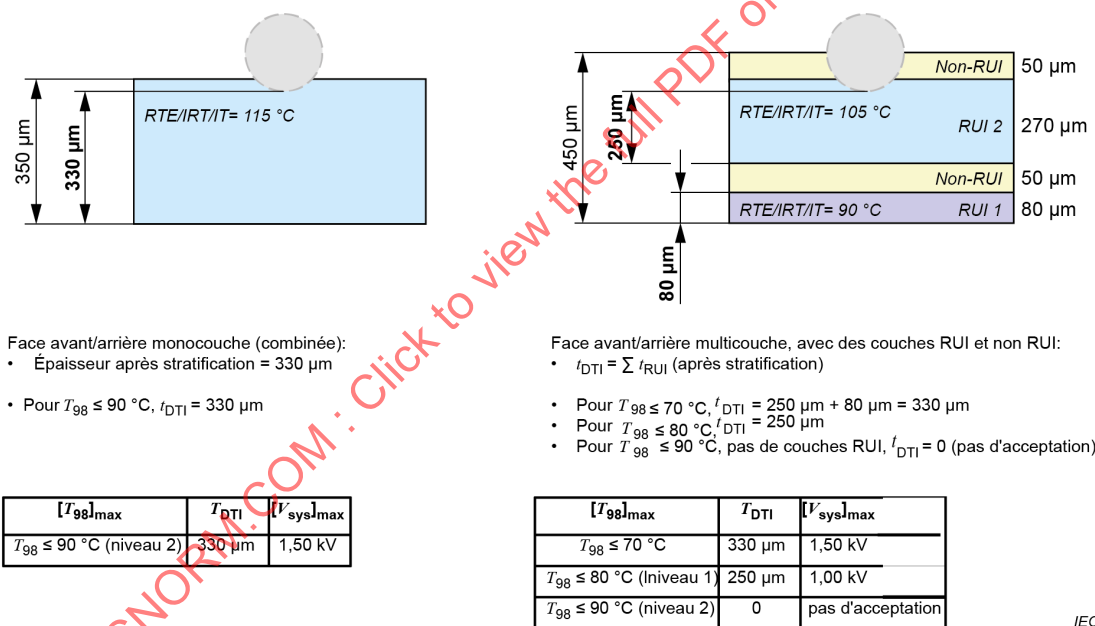


Figure 3 – Détermination de la distance à travers l'isolation par l'essai de stratification en saillie en fonction de la température assignée

6.5.3 Rapports

Toutes les informations exigées dans le rapport d'essai de distance à travers l'isolation de l'IEC TS 62788-2 doivent être consignées.