

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules –
Part 1-1: Encapsulants – Polymeric materials used for encapsulation**

**Procédures de mesure des matériaux utilisés dans les modules photovoltaïques –
Partie 1-1: Encapsulants – Matériaux polymères utilisés pour l'encapsulation**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62788-1-1:2024



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2024 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 Varembe
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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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, graphical symbols and the glossary. 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 22 500 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 25 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, symboles graphiques et le glossaire. 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 22 500 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 25 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules –
Part 1-1: Encapsulants – Polymeric materials used for encapsulation**

**Procédures de mesure des matériaux utilisés dans les modules photovoltaïques –
Partie 1-1: Encapsulants – Matériaux polymères utilisés pour l'encapsulation**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.160

ISBN 978-2-8322-9040-8

**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
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	9
4 Principle	11
5 Test methods.....	14
5.1 General.....	14
5.2 Optical	14
5.2.1 Optical: transmittance and UV cut-off wavelength	14
5.2.2 Optical: durability of transmittance	15
5.2.3 Optical: index of refraction.....	15
5.3 Mechanical	16
5.3.1 Mechanical: linear dimension (width)	16
5.3.2 Mechanical: area weight	17
5.3.3 Mechanical: ideal planar thickness	18
5.3.4 Mechanical: storage modulus and loss factor.....	19
5.3.5 Mechanical: hardness	20
5.3.6 Mechanical: coefficient of linear thermal expansion (CTE)	21
5.3.7 Mechanical: adhesion	22
5.3.8 Mechanical: durability of adhesion.....	27
5.3.9 Mechanical: phase transition and glass transition temperatures	28
5.3.10 Mechanical: EVA degree of cure (DoC).....	29
5.3.11 Mechanical: change in linear dimension (CiLD).....	30
5.3.12 Mechanical: blocking load.....	31
5.4 Electrical.....	32
5.4.1 Electrical: volumetric resistivity.....	32
5.4.2 Electrical: comparative tracking index (CTI)	33
5.5 Thermal	33
5.5.1 Thermal: conductivity.....	33
5.5.2 Thermal: decomposition temperature (TDT).....	34
5.6 Chemical.....	35
5.6.1 Chemical: water vapour transmission rate	35
5.6.2 Chemical: water absorption	36
5.7 Ignition and flammability	36
5.8 Accelerated ageing tests.....	36
6 Uniform characterization form (UCF)	37
6.1 General.....	37
6.2 Details of the UCF	37
6.3 Reporting requirements.....	40
7 Datasheet reporting	40
7.1 General.....	40
7.2 Purpose	40
7.3 Details of the datasheet	40
7.4 Reporting requirements.....	41
8 Product identification sheet (label).....	42
9 Documentation and testing for similar materials.....	42

9.1	Model and variant designation	42
9.2	General.....	42
9.3	Alternate constituent materials, lamination, and manufacture	43
9.4	Alternate thickness or surface texture	44
9.5	Colour variants	44
9.6	Allowed distinction in performance and durability and treatment of the results	44
9.7	Reporting	46
10	Test report.....	46
Annex A	(informative) Durability of encapsulant adhesion	47
A.1	General.....	47
A.2	Reference documents – accelerated ageing/durability of encapsulant adhesion	47
Annex B	(informative) The single cantilever beam adhesion test method	49
B.1	General.....	49
B.2	Reference documents – the SCB adhesion test method	49
Annex C	(informative) The composition quality ratio (CQR) test method	50
C.1	General.....	50
C.2	Composition quality ratio (CQR).....	50
C.3	Sampling	50
C.4	Apparatus	51
C.5	Procedure	51
C.6	Reporting	53
Bibliography		54
Figure 1	– Schematic showing the specimens and implementation of the peel test, in cross-section and from the side, including a) backsheet/encapsulant interface, b) encapsulant/glass interface, c) encapsulant cell interface, and d) encapsulant-1/encapsulant-2 interface.....	23
Figure 2	– Schematic showing the geometry of the specimens within a laminated coupon for the backsheet/encapsulant interface.....	24
Figure 3	– Schematic showing example data profiles for the 180° peel test.....	26
Figure 4	– Flow chart for the evaluation of an alternate encapsulant relative to an incumbent encapsulant in IEC 62788-1-1	45
Figure C.1	– Schematic identifying the location of specimens within a sample set.....	51
Figure C.2	– Example TGA measurement for 28 % VAc EVA, obtained using nitrogen purge gas (specimen and balance)	53
Table 1	– General summary of encapsulant characteristics and their use in the universal characterization form, datasheet reporting, process and manufacturing control, and weathering.....	12
Table 2	– Representative density values for common PV encapsulants.....	19
Table 3	– Details of the uniform characterization form (UCF) for polymeric PV encapsulants	38
Table 4	– Minimum required characteristics for the datasheet.....	41

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**MEASUREMENT PROCEDURES FOR MATERIALS
USED IN PHOTOVOLTAIC MODULES –****Part 1-1: Encapsulants – Polymeric materials used for encapsulation****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 since 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) IEC draws attention to the possibility that the implementation of this document may involve the use of (a) patent(s). IEC takes no position concerning the evidence, validity or applicability of any claimed patent rights in respect thereof. As of the date of publication of this document, IEC had not received notice of (a) patent(s), which may be required to implement this document. However, implementers are cautioned that this may not represent the latest information, which may be obtained from the patent database available at <https://patents.iec.ch>. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 62788-1-1 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
82/2239/FDIS	82/2261/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/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, or
- revised.

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 62788-1-1:2024

MEASUREMENT PROCEDURES FOR MATERIALS USED IN PHOTOVOLTAIC MODULES –

Part 1-1: Encapsulants – Polymeric materials used for encapsulation

1 Scope

The encapsulant fulfils the purposes of optically coupling the cell to external radiation; mechanically attaching and holding module components in their relative positions; electrically isolating module components; thermally coupling module components; and chemically protecting module components (e.g., by limiting the concentration and transport of water and/or oxygen). This part of IEC 62788 defines test methods and reporting requirements for characteristics (optical, mechanical, electrical, thermal, and chemical) of non-rigid polymeric materials (e.g., poly(ethylene-co-vinyl acetate), EVA) intended for use in terrestrial photovoltaic (PV) modules as polymeric encapsulants.

Typically, encapsulants are considered functional insulators (i.e., they provide electrical insulation when present, but may not meet the requirements of relied upon insulation). Requirements related to relied upon insulation are identified in IEC 61730-1 and IEC 62788-2-1.

The test methods in this document define how to characterize encapsulant materials in a manner representative of how they will be used in the module, which includes combination with other components such as frontsheets, backsheets, adhesives, edge seals, or glass. The methods described in this document support and supplement the safety- and performance-related tests defined on the PV module level, as defined in IEC 61730-2 and IEC 61215-2. This document also defines test methods for general assessment of material characteristics of polymeric encapsulants.

The test methods described in this document may be used for the purposes of: datasheet reporting (aiding module design or material research and development); process and manufacturing control (e.g., incoming or outgoing inspection); application in module safety and design type qualification protocols; or reliability and durability study/standards development.

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 60112, *Method for the determination of the proof and the comparative tracking indices of solid insulating materials*

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

IEC 61730-1:2023, *Photovoltaic (PV) module safety qualification – Part 1: Requirements for construction*

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

IEC 62788-1-2, *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Encapsulants – Part 1-2: – Measurement of volume resistivity of photovoltaic encapsulants and other polymeric materials*

IEC 62788-1-4, *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Encapsulants – Part 1-4: – Measurement of optical transmittance and calculation of the solar-weighted photon transmittance, yellowness index, and UV cut-off wavelength*

IEC 62788-1-5, *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Encapsulants – Part 1-5: Measurement of change in linear dimensions of sheet encapsulation material resulting from applied thermal conditions*

IEC 62788-1-6, *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Encapsulants – Part 1-6: Test methods for determining the degree of cure in Ethylene-Vinyl Acetate*

IEC 62788-1-7, *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Part 1-7: Optical durability of transparent polymeric PV packaging materials – Test procedure*

IEC TS 62788-2:2024, *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Part 2: Polymeric materials – Frontsheets and backsheets*

IEC 62788-2-1, *Polymeric materials for photovoltaic (PV) modules – Part 2-1: Safety requirements for polymeric frontsheet and backsheet*

IEC 62788-5-1:2020, *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Part 5-1: Edge seals – Suggested test methods for use with edge seal materials*

IEC 62788-6-2:2020, *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Part 6-2: General tests – Moisture permeation testing with polymeric films*

IEC TS 62788-6-3, *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Part 6-3: Adhesion testing for PV module laminates using the single cantilevered beam (SCB) method*

IEC TS 62788-7-2, *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Part 7-2: Environmental exposures – Accelerated weathering tests of polymeric materials*

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

IEC 62941, *Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Quality system for PV module manufacturing*

ISO 48-4, *Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of hardness – Part 4: Indentation hardness by durometer method (Shore hardness)*

ISO 48-9, *Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of hardness – Part 9: Calibration and verification of hardness testers*

ISO 62, *Plastics – Determination of water absorption*

ISO 291:2008, *Plastics – Standard atmospheres for conditioning and testing*

ISO 489, *Plastics – Determination of refractive index*

ISO 536, *Paper and board – Determination of grammage*

ISO 1183-1, *Plastics – Methods for determining the density of non-cellular plastics – Part 1: Immersion method, liquid pycnometer method and titration method*

ISO 1183-2, *Plastics – Methods for determining the density of non-cellular plastics – Part 2: Density gradient column method*

ISO 6721-1:2019, *Plastics – Determination of dynamic mechanical properties – Part 1: General principles*

ISO 6721-4, *Plastics – Determination of dynamic mechanical properties – Part 4: Tensile vibration – Non-resonance method*

ISO 8510-2, *Adhesives – Peel test for a flexible-bonded-to-rigid test specimen assembly – Part 2: 180 degree peel*

ISO 9001, *Quality management systems – Requirements*

ISO 11357-1, *Plastics – Differential scanning calorimetry (DSC) – Part 1: General principles*

ISO 11357-2, *Plastics – Differential scanning calorimetry (DSC) – Part 2: Determination of glass transition temperature and glass transition step height*

ISO 11357-3, *Plastics – Differential scanning calorimetry (DSC) – Part 3: Determination of temperature and enthalpy of melting and crystallization*

ISO 11358-1, *Plastics – Thermogravimetry (TG) of polymers – Part 1: General principles*

ISO 11359-1, *Plastics – Thermomechanical analysis (TMA) – Part 1: General principles*

ISO 11359-2, *Plastics – Thermomechanical analysis (TMA) – Part 2: Determination of coefficient of linear thermal expansion and glass transition temperature*

ISO 11502, *Plastics – Film and sheeting – Determination of blocking resistance*

ISO 15106-2, *Plastics – Film and sheeting – Determination of water vapour transmission rate – Part 2: Infrared detection sensor method*

ISO 15106-3, *Plastics – Film and sheeting – Determination of water vapour transmission rate – Part 3: Electrolytic detection sensor method*

ISO 22007-4, *Plastics – Determination of thermal conductivity and thermal diffusivity – Part 4: Laser flash method*

ASTM D2240, *Standard Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness*

ASTM D3418, *Standard Test Method for Transition Temperatures and Enthalpies of Fusion and Crystallization of Polymers by Differential Scanning Calorimetry*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

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

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

3.1

adhesive failure

de-bonding occurring between the adhesive and the adherent (different from cohesive failure within the adhesive material)

3.2

cohesive failure

failure by fracture, with crack propagation through the bulk of a material

3.3

encapsulant

material used between the substrate and superstrate to provide environmental protection for photovoltaic cells in a photovoltaic module

[SOURCE: IEC TS 61836:2016, 3.1.30.]

3.4

Fickian

descriptive term for a material for which the diffusivity is constant, independent of the concentration of the permeant within the experimental uncertainty

[SOURCE: IEC 62788-6-2:2020, 3.1.2]

3.5

module junction box

j-box

combination of parts, such as boxes, covers, cover-plates, lids, box extensions, accessories, etc., providing after assembly and installation at the photovoltaic-module in normal use, an appropriate protection against external influences, and a defined protection against contact with enclosed live parts from any accessible direction

[SOURCE: IEC 62790:2020, 3.1]

3.6

optional test

test which is not required to be performed, but which may be performed

3.7

polymeric materials

materials that are either natural or synthetic; are primarily composed of chained monomers, combinations of monomers, or combined polymers; and may contain cross-linking agents, fillers, colorants, and other additives

3.8

release layer

film material with a thickness of 50 µm to 250 µm that is inserted in a layer stack before lamination to render the adhesion between interfaces inactive

Note 1 to entry: Examples of suitable release materials are fluoropolymer sheets (e.g., PTFE, FEP, ETFE) as well as silicone treated sheets (see IEC TS 62788-2).

3.9

relied upon insulation

RUI

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

[SOURCE: IEC 61730-1:2023, 3.4.12]

3.10

required test

test which is required to be performed (e.g., for datasheet reporting), including module qualification

3.11

storage modulus

real part of the complex modulus

[SOURCE: ISO 6721-1:2001, 3.2]

3.12

substrate

backsheet

BS

(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 module from external stresses and weather elements, as well as providing electrical insulation between live parts and accessible surfaces

Note 1 to entry: IEC TS 62788-2 provides details on the required material properties of polymeric backsheets, while IEC 62788-2-1 provides the safety requirements for polymeric backsheets.

[SOURCE: IEC TS 62788-2:2024, 3.4]

3.13

superstrate

frontsheet

FS

(combination of) outer layer(s) of the PV module, located as superstrate on the front side of the PV module and providing protection of the inner components of the module from external stresses and weather elements, as well as providing electrical insulation between live parts and accessible surfaces

Note 1 to entry: IEC TS 62788-2 provides details on the required material properties of polymeric frontsheets, while IEC 62788-2-1 provides the safety requirements for polymeric frontsheets.

[SOURCE: IEC TS 62788-2:2024, 3.13]

4 Principle

For compliance with this document, the following test procedures shall be used to assess the optical, mechanical, electrical, thermal, and chemical characteristics of polymeric materials intended for use in terrestrial PV modules as polymeric encapsulants.

The universal characterization form (UCF) provides standardized comprehensive reporting of characteristics often considered for encapsulants, including those found in the datasheet. For the purpose of the UCF, characteristics marked in Table 1 with a ("✓") are required. The UCF and its requirements are described in Clause 6.

For the purpose of datasheet reporting, characteristics marked in Table 1 with a ("✓") are required to be characterized using the methods described in this standard. Additional optional characteristics that may be helpful for the use of encapsulants in PV technology are identified in Table 1 with an ("O").

Characteristics that are most frequently used for the purposes of process or manufacturing control are identified in Table 1 with a ("✓"). Additional characteristics that may also be reported for PV encapsulants are identified in Table 1 with an ("O"). At present the use of these methods is considered an optional test. The methods identified here as required or optional are intended to aid in the use of IEC 62941. The use of characteristics for process or manufacturing control is not required in this document. Rather, those characteristics that are identified by manufacturers to fulfil IEC 62941 shall be considered a required test; any additional characteristics shall be considered on optional test.

Some characteristics are more readily affected by weathering. Critical characteristics that shall be examined in conjunction with accelerated ageing are identified in Table 1 of this document with a ("✓"). The examination of optical transmittance and UV cut-off wavelength for the weathering of encapsulant according to IEC 62788-1-7 (if it impacts power generation), as well as the durability of encapsulant adhesion to accelerated testing, is required for this document; the results of the test shall be reported in the encapsulant datasheet.

Table 1 – General summary of encapsulant characteristics and their use in the universal characterization form, datasheet reporting, process and manufacturing control, and weathering

Type	Characteristic	Subclause	Reference	Universal characterization form (UCF)	Datasheet reporting	Process and manufacturing control	Weathering
Optical if it impacts power generation	Transmittance and UV cut-off wavelength	5.2.1	IEC 62788-1-4	✓	✓		
	Durability of transmittance	5.2.2	IEC 62788-1-7	✓	✓		✓
	Index of refraction	5.2.3	ISO 489	✓	0		
Mechanical							
	Linear dimension (width)	5.3.1	IEC 62788-1-1	✓	0	0	
	Areal weight	5.3.2	ISO 536	✓	0		
	Ideal planar thickness	5.3.3	ISO 1183-1; ISO 1183-2	✓	0	0	
	Storage modulus and loss factor	5.3.4	ISO 6721-1; ISO 6721-4	✓	✓		
	Hardness	5.3.5	ISO 48-4; ISO 48-9	✓	0		
	Coefficient of linear thermal expansion (CTE)	5.3.6	ISO 11359-2	✓	0		
	Adhesion (encapsulant/glass), (encapsulant/cell)	5.3.7	ISO 8510-2; IEC TS 62788-6-3	✓	✓	0	
	Adhesion (backsheet/encapsulant), (encapsulant-1/encapsulant-2)	5.3.7	ISO 8510-2; IEC TS 62788-6-3	0	0	0	
	Durability of adhesion (encapsulant/glass) (encapsulant/cell)	5.3.8		✓	✓		✓
	Durability of adhesion (backsheet/encapsulant), (encapsulant-1/encapsulant-2)	5.3.8		0	0		0
	Phase transition and glass transition temperatures	5.3.9	ISO 11357-1; ISO 11357-2; ISO 11357-3	✓	0		
	EVA degree of cure (DoC)	5.3.10	IEC 62788-1-6	✓		✓	
	Change in linear dimension (CiLD)	5.3.11	IEC 62788-1-5	✓	✓	✓	
	Blocking load	5.3.12	ISO 11502	✓	0		

Type	Characteristic	Subclause	Reference	Universal characterization form (UCF)	Datasheet reporting	Process and manufacturing control	Weathering
Electrical	Volumetric resistivity	5.4.1	IEC 62788-1-2	✓	✓	✓	
	Comparative tracking index (CTI)	5.4.2	IEC 60112	✓	O		
Thermal	Conductivity	5.5.1	ISO 22007-4	✓	O		
	Decomposition temperature (TDT)	5.5.2	ISO 11358-1	✓	O		
Chemical	Water vapor transmission rate	5.6.1	IEC 62788-6-2; ISO 15106-2; ISO 15106-3	✓	✓		
	Water absorption	5.6.2	IEC 62788-6-2; ISO 662	✓	O		
✓: required material characterization. O: optional material characterization.							

Some additional encapsulant characteristics that are helpful, or that may have national or local requirements, may be addressed at the module level, rather than in component testing. For example, module tests should be used to address ignitability or flammability. Although the methods for these characteristics are not required tests for this document, they are identified in 5.7 for informative purposes.

5 Test methods

5.1 General

The following methods include tests to examine the optical, mechanical (or physical), electrical, thermal, and chemical characteristics of PV encapsulants. These methods may be used for datasheet, UCF, and other reporting related to PV encapsulants.

5.2 Optical

5.2.1 Optical: transmittance and UV cut-off wavelength

5.2.1.1 General

The purpose of this test is to quantify the optical performance of the encapsulant if it impacts power generation. Transmittance may be considered for purposes including material selection, manufacturing process control, and PV module design. Laminated coupon specimens shall be used to facilitate the measurement and allow for comparison between different materials. Results of the test shall be included in the manufacturer's datasheet. The development of the optical transmittance standard is described in [1]¹.

5.2.1.2 Sampling

Film samples shall be obtained from a representative roll of encapsulant. Laminated glass/encapsulant/glass coupons shall be created that are consistent in composition, size, and construction with IEC 62788-1-4. The number of replicate specimens shall satisfy the requirements in IEC 62788-1-4 (e.g., ≥ 3 replicates).

5.2.1.3 Apparatus

A spectrophotometer fulfilling the requirements of IEC 62788-1-4 shall be used for transmittance measurements.

5.2.1.4 Procedure

Condition the unaged specimens before measurement according to IEC 62788-1-4. Measurements of weathered specimens or specimens subject to accelerated ageing may require additional conditioning, as described in IEC 62788-1-4 and/or in accelerated ageing standards.

Follow the procedure in IEC 62788-1-4 to perform transmittance measurements.

Data analysis shall be performed according to IEC 62788-1-4 to obtain the characteristics of representative solar-weighted transmittance of photon irradiance, solar-weighted transmittance of photon irradiance, UV cut-off wavelength, and yellowness index.

5.2.1.5 Reporting requirements

The optical performance shall be reported in a manner consistent with IEC 62788-1-4. The characteristics of representative solar-weighted transmittance of photon irradiance, yellowness index, and UV cut-off wavelength shall be reported in product datasheets. The optical performance, including the yellowness index, may also be examined with weathering.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

5.2.2 Optical: durability of transmittance

5.2.2.1 General

The purpose of this test is to quantify the durability of optical performance to UV weathering if it impacts power generation. The results of the test may be used to aid material selection. Discoloration of the encapsulant is known to reduce the electricity produced by a PV module throughout its lifetime [2], [3]. Laminated coupon specimens shall be used to facilitate the measurement and allow for comparison between different materials. Results of the test shall be included in the manufacturer's datasheet. The development of the optical durability standard is described in references in Clause A.2.

5.2.2.2 Sampling

Film samples shall be obtained from a representative roll of encapsulant. Laminated glass/encapsulant/glass coupons shall be created consistent in composition, size, and construction with IEC 62788-1-7. The number of replicate specimens shall satisfy the requirements in IEC 62788-1-7 (i.e., ≥ 3 replicates).

5.2.2.3 Apparatus

A spectrophotometer fulfilling the requirements of IEC 62788-1-7 shall be used for transmittance measurements.

5.2.2.4 Procedure

Steps, including: visual inspection; specimen conditioning; transmittance measurement; and weathering, shall be performed according to IEC 62788-1-7.

Data analysis shall be performed according to IEC 62788-1-7 to obtain the characteristics of representative solar-weighted transmittance of photon irradiance, solar-weighted transmittance of photon irradiance, UV cut-off wavelength, and yellowness index.

5.2.2.5 Reporting requirements

The optical performance shall be reported in a manner consistent with IEC 62788-1-7. The changes in representative solar-weighted transmittance, yellowness index, and UV cut-off wavelength shall be reported in product datasheets, in addition to the pass/fail result defined in IEC 62788-1-7.

5.2.3 Optical: index of refraction

5.2.3.1 General

The purpose of this test is to quantify the phase velocity of light in the encapsulant relative to the speed of light in vacuum if it impacts power generation. The refractive index may be considered in the material selection and/or design of a PV module, including for the purpose of optical analysis to estimate performance loss. The refractive index affects the relative portions of light that are either back-reflected or coupled to the PV cell within a module. Results of the test may (optionally) be included in the manufacturer's datasheet.

5.2.3.2 Sampling

Samples shall be obtained from a representative roll of encapsulant. Specimens should be cured (if applicable) according to the manufacturer's specification, using a process as similar as possible to the method used in the intended manufacturing process. Specimens may be cured between releasable layers in order to achieve a smooth surface. A set of replicate film specimens consistent with ISO 489 Method A shall be used (i.e., ≥ 5 replicates).

5.2.3.3 Apparatus

An Abbe refractometer fulfilling the requirements of ISO 489 shall be used for refractive index measurements. The instrument shall provide monochromatic or nearly monochromatic illumination of the specimen with a spectral distribution centred at 589,3 nm. The laboratory shall be set to maintain an environment according to ISO 291 Class 2, i.e., $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ and $(50 \pm 10) \%$ relative humidity.

5.2.3.4 Procedure

Steps, including: the stabilization of the source lamp; use of a contacting liquid (for optical coupling); and the measurement of the refractive index, shall be performed according to ISO 489 Method A.

Some encapsulant materials, such as EVA, are birefringent. Care should be taken for these materials during sample preparation to minimize residual stress in the test specimens. In the case of strong birefringence, a polarizing filter may be used with the Abbe refractometer to determine the range of the refractive index, between the parallel and perpendicular polarization orientations.

5.2.3.5 Reporting requirements

The refractive index shall be reported in a manner consistent with ISO 489. The results shall be reported for the average of the replicate measurements, with variation indicated for half of the corresponding range. The range shall be determined as the maximum measured value minus the minimum measured value.

5.3 Mechanical

5.3.1 Mechanical: linear dimension (width)

5.3.1.1 General

The purpose of this test is to quantify the linear dimension of the encapsulant sheet. The linear dimension should be determined for the width of the roll of encapsulant sheet. The thickness of the encapsulant shall be determined using a different method, described in 5.3.3. The linear dimension may be considered in the selection of materials or manufacturing of a PV module, including matters related to assembly during manufacturing. Results of the test may (optionally) be included in the manufacturer's datasheet.

5.3.1.2 Sampling

Samples shall be obtained from a representative roll of encapsulant. Film samples shall be approximately 30 cm long, cut across the whole width of the roll. The sample should consist of representative encapsulant in its final product form, prior to lamination or other thermal processing. Specimens shall be obtained at positions approximately 1 m apart in the longitudinal (machine extrusion) direction of the roll. The specimens shall contain no creases except those necessary for folding the film for presentation or packaging purposes. The specimens shall contain no other defects. At least five measurements shall be performed on at least six replicate specimens.

5.3.1.3 Apparatus

A measuring device shall be used that is capable of measuring to the accuracy of $\pm 0,5$ mm.

5.3.1.4 Procedure

Perform the measurement of linear dimension according to the steps, including specimen sampling and fabrication and the cleaning of the measurement device (if applicable). Specimens shall be conditioned according to ISO 291 Class 2, i.e., $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ and $(50 \pm 10) \%$ relative humidity for at least 1 h prior to measurement. Measurements shall not be taken within 50 mm of the ends of untrimmed rolls.

5.3.1.5 Reporting requirements

Report the mean and the variation indicated for two standard deviations of the measurements, to the appropriate number of significant digits.

5.3.2 Mechanical: area weight

5.3.2.1 General

The purpose of this test is to quantify the area weight of the encapsulant sheet. Area weight may be considered in the selection of materials or design of a PV module, including for the purpose of mechanical analysis. The area weight may also be used to determine the ideal planar thickness of the encapsulant sheet. Results of the test may (optionally) be included in the manufacturer's datasheet.

5.3.2.2 Sampling

Samples shall be obtained from a representative roll of encapsulant. Film samples shall be approximately 100 mm long and 100 mm wide. The sample should consist of representative encapsulant in its final product form, prior to lamination or other thermal processing. Specimens shall be obtained at positions approximately 1 m apart in the longitudinal (machine extrusion) direction of the roll. The specimens shall contain no creases except those necessary for folding the film for presentation or packaging purposes. The specimens shall contain no other defects. At least five replicate specimens shall be examined.

5.3.2.3 Apparatus

A cutting device and balance that fulfil the requirements of ISO 536 shall be used. The balance shall have an accuracy of $\pm 1 \cdot 10^{-4}$ g. The laboratory for the balance shall be set to maintain an environment according to ISO 291 Class 2, i.e., $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ and $(50 \pm 10) \%$ relative humidity.

5.3.2.4 Procedure

Steps, including: specimen sampling; the cutting of samples to the specimen size; measurement of the specimen size; specimen conditioning; and specimen weighing, shall be performed according to ISO 536. Specimens shall be conditioned according to ISO 291 Class 2, i.e., $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ and $(50 \pm 10) \%$ relative humidity for at least 1 h prior to measurement.

5.3.2.5 Reporting requirements

The area weight shall be reported in a manner consistent with ISO 536. The results shall be reported for the average of the replicate measurements, with variation indicated for two standard deviations of the measurements.

5.3.3 Mechanical: ideal planar thickness

5.3.3.1 General

The purpose of this method is to quantify the ideal planar thickness of the encapsulant sheet from the measured area weight. If the area weight has been determined, no new measurement is required for this method (when a representative value for the material density is known). The encapsulant sheet is expected to achieve a thickness similar to the ideal planar thickness after it has been laminated in a PV module. The ideal planar thickness may vary from the directly measured thickness (e.g., the thickness measurement obtained from calliper measurements) for reasons that include local compression of the specimen (by the callipers during measurement), surface texture (in the case of unlaminated encapsulant), the flow of material and subsequent reduction in thickness (in the case of laminated encapsulant), porosity, and change in crystallinity (occurring during lamination). Planar thickness may be considered in the selection of materials or design of a PV module, including for the purpose of mechanical analysis. Results of the method may (optionally) be included in the manufacturer's datasheet.

5.3.3.2 Sampling

Sample requirements for the area weight shall fulfil the requirements of 5.3.2.2.

5.3.3.3 Apparatus

The apparatus for the area weight shall fulfil the requirements of 5.3.2.3.

5.3.3.4 Procedure

Determine the area weight for the encapsulant, as in 5.3.2.4. The ideal planar thickness of the encapsulant sheet shall be determined from Formula (1).

$$h_{ideal} = \frac{g}{\rho} \quad (1)$$

where

h_{ideal} is the ideal planar thickness, in mm;

g is the area weight, in g·mm⁻²; and

ρ is the encapsulant density, in g·mm⁻³.

The encapsulant density may be taken from the manufacturer's reported production density of the polymer resin, or the manufacturer's datasheet for the base resin or sheet encapsulant product. If no information is available, the density may be determined from ISO 1183-1 or ISO 1183-2. Representative encapsulant density values are given in Table 2. Materials in Table 2 include: poly(ethylene-co-vinyl acetate), (EVA); thermoplastic polyolefin (TPO); cross-linked polyolefin elastomer (POE); and polyvinyl butyral (PVB). Values are given in Table 2 for the vinyl acetate content (VAc) most commonly used in the PV industry. Encapsulants used in the PV industry may consist of a blend of multiple materials (not considered in Table 2).

Table 2 – Representative density values for common PV encapsulants

Encapsulant material	ρ , typical resin density g·cm ⁻³
EVA (28 % VAc)	0,950 to 0,952
EVA (33 % VAc)	0,955 to 0,958
TPO (thermoplastic)	0,880 to 0,905
POE (cross-linked)	0,868 to 0,880
PVB	1,065

5.3.3.5 Reporting requirements

The ideal planar thickness shall be reported, including its nominal value and its variation. The variation shall be indicated for two standard deviations, using the method of propagation of uncertainty for the area weight and the encapsulant density. The encapsulant density and the origin of the encapsulant density (i.e., type of vendor data (resin or product) and type of polymer product, or the method of measurement) shall also be identified in the test report.

5.3.4 Mechanical: storage modulus and loss factor

5.3.4.1 General

The purpose of this test is to quantify the storage modulus and loss factor ($\tan \delta$), where δ is the phase angle, as defined in ISO 6721-1, for the encapsulant. Storage modulus may be considered in the design of a PV module including for the purpose of mechanical analysis. Mechanical modulus directly affects the mechanical coupling between components, including the stress and strain within the module. Results of the test shall be included in the manufacturer's datasheet. The storage modulus and loss factor may also be used to verify the degree of cure to facilitate process and manufacturing control.

5.3.4.2 Sampling

Samples shall be obtained from a representative roll of encapsulant. A set of film specimens consistent with ISO 6721-4 shall be used. For example, specimens 100 mm in length, 10 mm in width, and of the thickness used in a PV module may be examined. The specimen dimensions, including the cross-section, shall be verified as specified in ISO 6721-1. The number of replicate specimens shall be consistent with ISO 6721-1 (i.e., ≥ 3 replicates). Specimens should be cured (if applicable) according to the manufacturer's specification, using a process as similar as possible to the method used in the intended manufacturing process. Specimens may be cured between releasable layers within a frame of representative thickness in order to improve thickness uniformity.

5.3.4.3 Apparatus

A solids analyser or rheometer with fixtures fulfilling the requirements of ISO 6721-1 and ISO 6721-4 shall be used to measure the storage modulus. The apparatus shall be equipped with a temperature-controlled chamber and purged with dry nitrogen gas to prevent condensation and ice formation.

5.3.4.4 Procedure

Steps, including: specimen sampling and fabrication; measurement of the cross-section; conditioning; clamping/mounting to the apparatus; equilibration to the test temperature; application of a tensile force (to prevent buckling); and the storage modulus measurement, shall be performed according to ISO 6721-4. Specimens shall be conditioned according to ISO 291 Class 2, i.e., $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ and $(50 \pm 10) \%$ relative humidity for at least 24 h prior to measurement. The measurement shall be performed once on each replicate specimen using an applied strain of 0,1 %, a rate of 1 Hz, and temperatures from $-40 ^\circ\text{C}$ to $120 ^\circ\text{C}$ in increments of less than or equal to $5 ^\circ\text{C}$. The instrument chamber shall be allowed to equilibrate for at least 5 m at each temperature prior to characterization.

5.3.4.5 Reporting requirements

The storage modulus and corresponding loss factor shall be reported in a manner consistent with ISO 6721-4. Results shall be reported for test temperatures, including at least $-40 ^\circ\text{C}$, $-20 ^\circ\text{C}$, $0 ^\circ\text{C}$, $20 ^\circ\text{C}$, $40 ^\circ\text{C}$, $60 ^\circ\text{C}$, $80 ^\circ\text{C}$, $100 ^\circ\text{C}$, $120 ^\circ\text{C}$. The results shall be reported for the average of the replicate measurements, with variation indicated for half of the corresponding range. The range shall be determined as the maximum measured value minus the minimum measured value.

5.3.5 Mechanical: hardness

5.3.5.1 General

The purpose of this test is to quantify the hardness of the encapsulant, as defined in ISO 48-4. Hardness may be used in material selection or for improved understanding of a PV module. Hardness is typically not specified for the module design, but it does provide perspective on the mechanical coupling and mechanical protection of encapsulated components. Results of the test may (optionally) be included in the manufacturer's datasheet. The use of indentation to verify the degree of cure of EVA for the purpose of process and manufacturing control is specified separately in 5.3.10.

5.3.5.2 Sampling

Samples shall be obtained from a representative roll of encapsulant. A set of specimens consistent with ISO 48-4, including requisite size, thickness, and surface finish, shall be used. At least three replicate specimens shall be examined. Specimens should be cured (if applicable) according to the manufacturer's specification, using a process as similar as possible to the method used in the intended manufacturing process. Specimens may be cured between releasable layers within a frame of requisite thickness in order to improve thickness uniformity.

5.3.5.3 Apparatus

A durometer that is calibrated to and fulfils the requirements of ISO 48-4 shall be used. A type AM durometer (type M in ASTM D2240) will typically provide the proper range of measurement for elastomeric polymer encapsulants, such as EVA. A stand shall be used with the durometer to facilitate the measurement of encapsulants. A timing device shall be used for the measurement of encapsulants.

5.3.5.4 Procedure

Steps, including: specimen sampling and fabrication; conditioning; and the hardness measurement, shall be performed according to ISO 48-4. Specimens shall be conditioned according to ISO 291 Class 2, i.e., $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ and $(50 \pm 10) \%$ relative humidity for at least 24 h prior to measurement. Five measurements, fulfilling the spacing requirements in ISO 48-4, shall be made on each replicate specimen. Each measurement shall be taken at the test time of 15 s to allow for stabilization of the measurement.

5.3.5.5 Reporting requirements

Hardness shall be reported in a manner consistent with ISO 48-4. The results shall be reported for the average of the replicate measurements, with variation indicated for two standard deviations.

5.3.6 Mechanical: coefficient of linear thermal expansion (CTE)

5.3.6.1 General

The purpose of this test is to quantify the coefficient of linear thermal expansion (CTE) for the encapsulant. The CTE effects the thermal misfit, the mechanical strain between encapsulated components with temperature. CTE may be considered in the design of a PV module, including for the purpose of mechanical analysis. CTE may also be used in material selection. Results of the test may (optionally) be included in the manufacturer's datasheet.

5.3.6.2 Sampling

Samples shall be obtained from a representative roll of encapsulant. A set of film specimens consistent with ISO 11359-2 shall be used. Specimens at least 5 mm in length, at least 5 mm in width, and of the thickness used in a PV module may be used. The number of replicate specimens shall be consistent with ISO 11359-2 (i.e., ≥ 3 replicates). Specimens should be cured (if applicable) according to the manufacturer's specification, using a process as similar as possible to the method used in the intended manufacturing process. Specimens may be cured between releasable layers within a frame of representative thickness in order to improve thickness uniformity.

5.3.6.3 Apparatus

A thermomechanical analyser (TMA) that is calibrated to and fulfils the requirements of ISO 11359-1 shall be used.

5.3.6.4 Procedure

Steps, including: specimen sampling and fabrication; conditioning (desiccation); measurement of the initial specimen size; clamping/mounting to the apparatus; initiation of purge gas flow; pre-heating of the TMA; and the measurement, shall be performed according to ISO 11359-2. The data acquisition rate of 5 Hz ($0,2 \text{ s}\cdot\text{point}^{-1}$) shall be used for the heating rate of $10 \text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$. For relaxation of internal residual stresses arising from the manufacturing process for polymer films, it is required to run two thermal cycles and to determine thermal expansion from the second thermal cycle only. The first temperature cycle can simulate a lamination cycle with heating of the specimen up to either $160 \text{ }^{\circ}\text{C}$ or the maximum lamination temperature recommended by the encapsulant manufacturer, whichever is smaller. Apply a holding time of 5 min at maximum temperature to mimic the lamination process.

NOTE 1 The results from this first cycle give information about changes in linear dimension and can be compared to results obtained in 5.3.11.

In the second cycle, the temperature shall be cycled between ambient temperature and either $160 \text{ }^{\circ}\text{C}$ or RTE/RTI, whichever is smaller.

NOTE 2 The upper temperature limit for the second cycle has been defined to prevent melting of the material, which may interfere with the CTE measurement.

All results shall be determined from the analysis of the second heating/cooling cycle to identify relative thermal expansion, α , in K^{-1} at $23 \text{ }^{\circ}\text{C}$, in a manner consistent with ISO 11359-2. If the replicate measurements differ by more than 10 %, the test shall be repeated to obtain a valid result.

5.3.6.5 Reporting requirements

The CTE shall be reported in a manner consistent with ISO 11359-2. The use of calculation methods A and B shall be identified, where method A does not include the reference specimen, and method B does include the reference specimen. The results shall be reported for the average of the replicate measurements, with variation indicated for half of the corresponding range. The range shall be determined as the maximum measured value minus the minimum measured value. In case of a test specimen exhibiting a glass transition and/or melt/freezing transition within the range of measurement, the transition(s) and their corresponding temperature shall be noted in the test report.

5.3.7 Mechanical: adhesion

5.3.7.1 General

The purpose of this test is to quantify the adhesion of the encapsulant. Adhesion may be considered for purposes including material selection, manufacturing process control, and PV module design. The tests here allow adhesion to be measured at interfaces, including encapsulant/backsheet, encapsulant/glass, encapsulant/cell, and encapsulant-1/encapsulant-2 (where separate materials are used for the front and back of the module, respectively). Because adhesion is a critical function of the encapsulant (to maintain optical and mechanical coupling to the cell, to maintain good thermal management within the module, and to prevent moisture ingress and/or corrosion), the durability of adhesion test shall be used with datasheet reporting. The study of the interfacial adhesion or durability of strength of attachment is described in Annex A.

Results of the test for both unaged and aged specimens shall be included in the manufacturer's datasheet. To standardize the reporting of results using a method that is already familiar to the industry, the 180° peel test in ISO 8510-2 shall be used for purpose of UCF and datasheet reporting. To familiarize the industry with a method that directly examines interfacial adhesion that is less sensitive to specimen fabrication, the single cantilever beam (SCB) method in IEC TS 62788-6-3 may also be reported. The development of the SCB method is described in Annex B. The SCB adhesion test can be applied for the purposes of material development, material selection, and PV module design, all in conjunction with weathering. The SCB test is more suitable for materials selection than the peel test, but the peel test can be easier, making it more suitable for process control purposes.

As identified in Table 1, examination of the encapsulant/glass and encapsulant/cell interfaces, including unaged and weathered specimens, is required for reporting of the datasheet and UCF. Examination of the backsheet/encapsulant and encapsulant-1/encapsulant-2 interfaces, including unaged and weathered specimens, is optional for reporting of the datasheet and UCF. The examination of the backsheet/encapsulant interface is described in more detail in IEC TS 62788-2, which should be referred to for any requirements related to backsheets.

5.3.7.2 Sampling

Samples shall be created from a representative roll of encapsulant. Samples for the 180° peel test are produced by laminating the necessary component, which may include a handle layer, the first encapsulant layer, the second encapsulant, a PV cell, and a rigid (e.g., glass) substrate, in a curing (or lamination) process according to the manufacturer's method specified for the intended manufacturing process. In the case of accelerated testing, the durability of the backsheet through accelerated testing should be considered prior to testing. A representative glass, textured and prepared according to the practices of the module manufacturer, shall be used for the encapsulant/glass interface. A representative PV cell, with or without gridlines, but with no added electrical interconnection (ribbon, flux, and solder), shall be used for the encapsulant/cell interface. A schematic representing the four possible configurations and their component layers is shown in Figure 1.

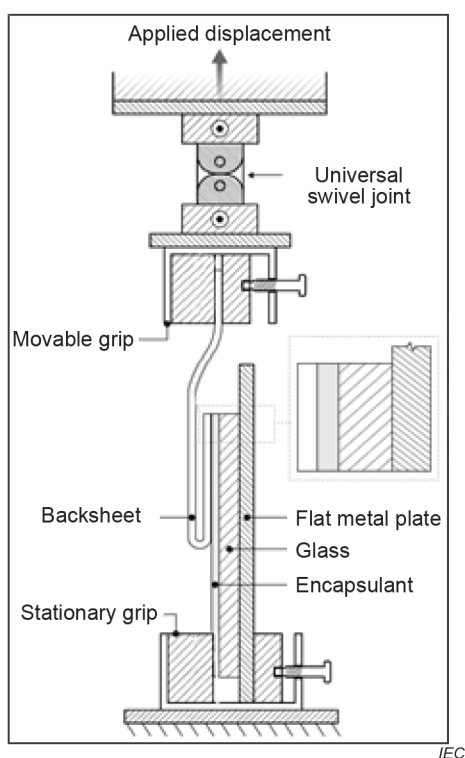
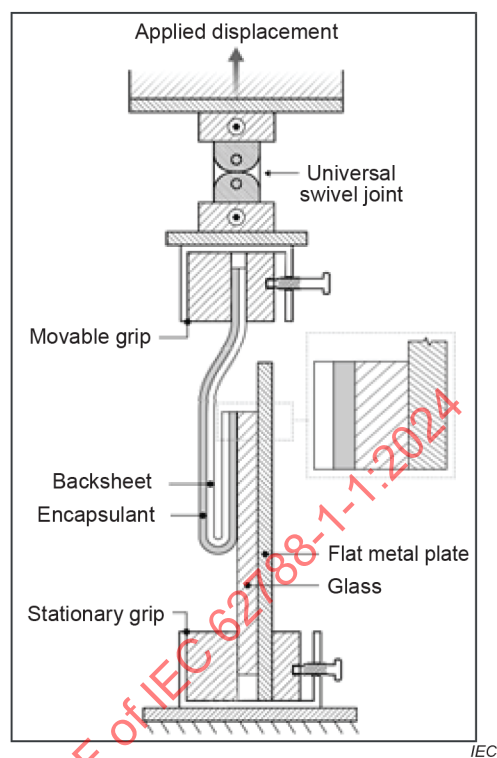
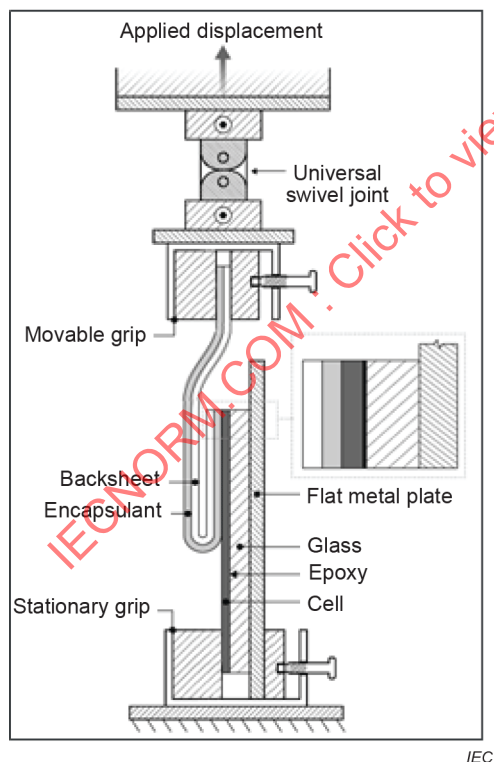
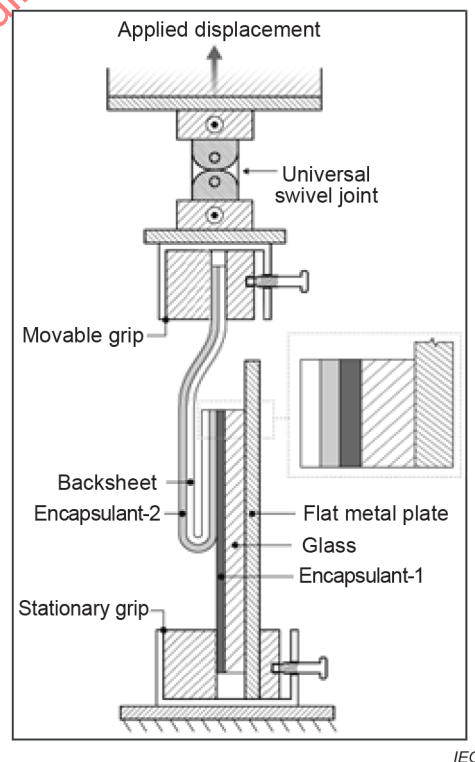
**a) backsheet/encapsulant interface****b) encapsulant/glass interface****c) encapsulant cell interface****d) encapsulant-1/encapsulant-2 interface**

Figure 1 – Schematic showing the specimens and implementation of the peel test, in cross-section and from the side, including a) backsheet/encapsulant interface, b) encapsulant/glass interface, c) encapsulant cell interface, and d) encapsulant-1/encapsulant-2 interface

Laminated handle layer/encapsulant/glass specimens that are 10 mm in width and 150 mm in length shall be used, as shown in the example for the backsheet/encapsulant interface in Figure 2. Additional details related to the backsheet/encapsulant specimens may be found in IEC TS 62788-2. The test region (adhered portion) of the specimen shall be 10 mm in width and 50 mm in length. The unadhered grip region shall be 10 mm in width and 100 mm in length and may be created using a releasable layer between the handle and encapsulant layer.

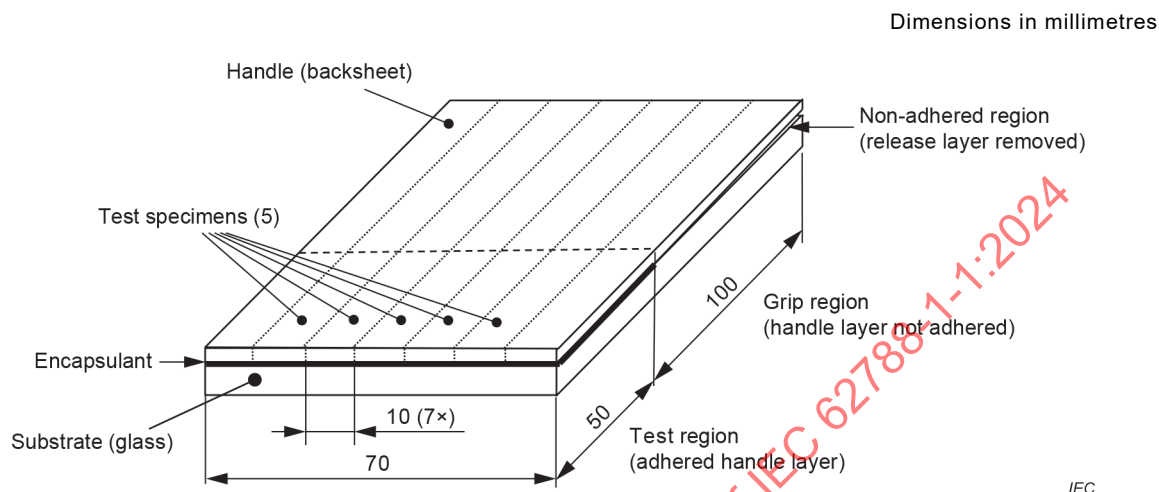


Figure 2 – Schematic showing the geometry of the specimens within a laminated coupon for the backsheet/encapsulant interface

A coupon containing at least five specimens shall be used, with an untested portion of the sample at least 10 mm in width at the outside edges of the sample to limit the size of an aerobic region within the encapsulant in the coupon during weathering.

NOTE 1 Although the separate test structures shown for the interfaces of interest in Figure 1 are intended to promote loss of attachment at specific interfaces, the successful testing of a specific interface cannot be guaranteed in unaged or aged specimens.

The specimens shall be cut to width in the coupon after accelerated ageing (if applicable) and prior to peel testing. The handle may be more rigid than the encapsulant, i.e., may consist of flexible backsheet. In some test structures, the handle may also include the encapsulant layer(s). Encapsulant sheet shall be obtained from a representative roll. For the purpose of datasheet reporting, the glass shall consist of textured, low iron soda-lime glass with a thickness that provides sufficient robustness to prevent breaking during the peel test. For example, 2,5 mm thick glass is typically sufficiently thick for many encapsulant materials. To facilitate UV weathering, the hemispherical representative solar weighted transmittance of the glass shall be greater than 91,5 % through the wavelength range of 30 nm to 1250 nm. Tempered glass may be used for the substrate, where the use of a thermal temper is recommended to ensure surface chemistry representative of a PV module. A lamination step (i.e., a standard time, temperature, and pressure episode, with or without actual lamination to an encapsulant) should be included in the sample preparation to mimic the processing conditions during production of PV module.

Float glass or other rigid substrates may be used for purposes other than datasheet reporting. If float glass is used, the encapsulant should be laminated to the tin-poor side of the glass. Silica glass should not be used for adhesion testing because of the different adhesion chemistry and resulting performance for that material, which would not be representative of a PV module.

NOTE 2 In peel tests, the handle layer(s) act as a "lever" by which the peel force is exerted to the interfaces within the specimen. Therefore, including other factors, the measured adhesion strength value depends on thickness, elasticity, and the curvature of the peeled layer. The measured peel strength also varies with the test geometry (the peel angle), depending on the geometric boundary conditions, which may vary through the test, limiting reproducibility and the ability to compare between different encapsulant products.

In the 180° peel test, the curvature of the handle layer is significant, which may cause tensile failure of the handle layer, making assessment of interface adhesion impossible.

The dependence of adhesion strength on the characteristics of the handle layer (thickness, elasticity, etc.) limits the comparability of peel tests, e.g., only the same base encapsulant (of the same thickness) may be compared. The relative degradation of adhesion strength with ageing can be evaluated provided other layer characteristics, such as the elasticity or strength of the handle layer, have not changed during ageing. Adhesion test results may be limited to the adhesive force provided by the handle layer or glass substrate.

To assess a specific interface, adhesion may be locally rendered inactive by inserting a release material at a specific position in the laminated coupon specimen, dividing the overall laminate into two sub-laminates and defining their interface as the starting point for the peel test. However, the use of a release layer (or other method) to define the interface for delamination does not guarantee that delamination will propagate along the intended interface. Furthermore, releasable layers may not be appropriate for all combinations of encapsulants and other layers in Figure 1, for reasons including transport of oxygen, water, or other species during weathering; lack of mechanical constraints during weathering; or transport of additives between materials during lamination. Other methods may be used to separate layers of interest prior to testing, including a razor or sharp edge. Temperature and humidity during specimen conditioning and the peel test, as well as test speed (displacement rate), are known to readily affect the measured results. Therefore, the specimen conditioning, ambient conditions in the test laboratory, and test conditions should be carefully monitored.

5.3.7.3 Apparatus

A mechanical tensile tester consistent with ISO 8510-2 shall be used, including a displacement-controlled load frame, extensometer, grips, and specimen fixture (see Figure 1). Traditional mechanical grips are shown as an example in the figure; however, pneumatic, electrodynamic, or other gripping mechanisms may also be used. Specimen holders or clips may be used to aid the loading/unloading of samples for safe operation of automated grips. A load frame capable of a displacement of at least 1 m is recommended, based on the propensity for encapsulant materials to elongate during tensile testing. An optical extensometer or laser extensometer is highly recommended because of the significant compliance typical of encapsulant materials, which may facilitate strain even within the grips.

As shown in Figure 1, self-aligning grips and connections (including universal swivel joints) should be used when possible to improve the precision of the measurement.

Adhesion tests may optionally be performed at elevated temperatures to investigate the effect of temperature on encapsulant adhesion in an active PV module. For this purpose, the load frame can be equipped for operation at elevated temperatures using an environmental chamber or other means.

5.3.7.4 Procedure

Steps, including: specimen sampling and fabrication (lamination); weathering (if applicable); conditioning; cutting specimens to size; clamping/mounting to the apparatus; equilibration to the test temperature; initial load frame displacement (i.e., a pre-load to reduce the "toe" in the load/displacement data curve); and the 180° peel test measurement, shall be performed similar to ISO 8510-2.

After cutting to size, specimens shall be conditioned according to ISO 291 Class 2, i.e., $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ and $(50 \pm 10) \%$ relative humidity for at least 24 h prior to measurement, with the measurement being performed at the ambient conditions of $23 ^\circ\text{C} \pm 2 ^\circ\text{C}$ and $50 \% \pm 10 \%$ relative humidity. After conditioning, the 100 mm long unbonded grip region shall be bent perpendicular to the glass substrate for clamping in the grips of the load frame. The cut specimens should be carefully inspected prior to measurement to verify that the specimens have not been damaged during cutting or conditioning. Specimens that have been inadvertently cut or damaged (i.e., where a defect might compromise the peel test results) should be censored from the experiment. The adhesion measurement shall be performed once on each replicate specimen using an applied displacement rate of $50 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, proceeding until adhesive or cohesive failure has been characterized.

If an environmental chamber is used for specimen temperature control, the samples shall be allowed to thermally equilibrate to the test temperature before testing. At least 5 min should elapse between when the chamber door is closed (after the sample is mounted) and the start of the peel test.

5.3.7.5 Calculation and expression of results

From the measured data, determine the average load (in newtons per mm of specimen width) required to delaminate the encapsulant.

If the mode of failure has not changed, a single data plateau may be observed (see Figure 3a). In the figure, the recorded data plateau (except the incipient tear at the start of the test and the precipitous drop at failure) may be considered for the analysis of the peel strength. Changes in the failure mode should be verified by inspection of the specimen, including where adhesion failure has occurred, and which data plateau is associated with encapsulant delamination. The specimen peel strength shall be determined using only the data plateau associated with encapsulant delamination (see Figure 3b).

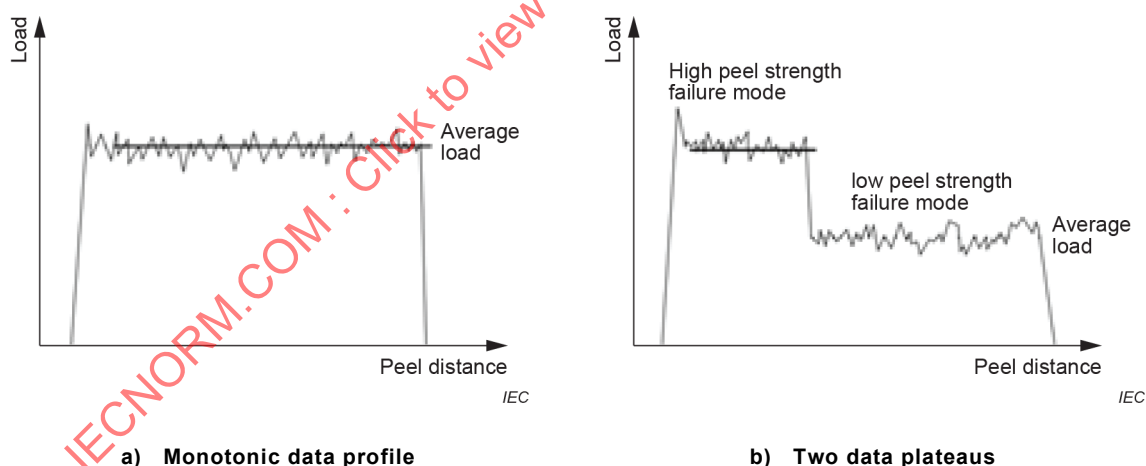


Figure 3 – Schematic showing example data profiles for the 180° peel test

NOTE In the case of cohesive failure, the average load does not represent the adhesive strength between the specimen layer(s), but it can be considered a lower limit of the peel strength of all other adhesive interfaces in the specimen being tested. In such cases, the result can be indicated in the test report as "greater than" the corresponding measured cohesive strength value.

The successful testing of the interface of interest cannot be guaranteed, for reasons including failure of a weaker, different interface, and failure of the handle layer prior to the interface of interest. In such cases, the manufacturer or sample supplier shall be consulted to determine if an alternate specimen construction, including the substrate and handle layers, may be used to obtain a valid result. However, if the interface of interest cannot be tested, that shall be indicated in the test report ("could not be determined"), with a brief explanation (e.g., "premature failure"). In some cases, a lower limit may be ascertained from the results (e.g., " $>100 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$, the strength of the handle layer").

5.3.8 Mechanical: durability of adhesion

5.3.8.1 General

The purpose of this test is to quantify the durability of adhesion of the encapsulant. In addition to the results for unaged specimens, the adhesion shall be quantified after the durability of adhesion test where specified in Table 1. The durability of adhesion test is intended to aid material selection. The durability of adhesion test is included to verify the continued adhesion after use in an environment that includes UV stress and hygrometric stress. Although there is no formal safety requirement, the loss of adhesion may result in delamination of a PV module, including complete physical separation of components and exposure of electrically active components. The measured results for adhesion after accelerated ageing shall be reported on the manufacturer's datasheet. No pass/fail criteria have been established, including visual inspection or the measured results from the test.

NOTE The acceleration factor for this ageing test has not been determined relative to a PV module used for electricity generation. The presence of a pre-crack in the specimen (e.g., created using a release layer during specimen fabrication) may accelerate degradation relative to a fully laminated specimen (where no pre-crack exists), because the pre-crack can facilitate the transport of water, oxygen, and other chemical species into the interior of the specimen. Because the release layer is not present during the durability of adhesion test, however, spurious effects such as material interactions between the specimen and the release layer should not occur during accelerated ageing.

5.3.8.2 Sampling

Samples shall be created as specified in 5.3.7.2.

5.3.8.3 Apparatus

A mechanical tensile tester consistent with 5.3.7.3 shall be used.

An artificial UV weathering apparatus shall be used in a manner consistent with Method A3 in IEC TS 62788-7-2.

A climatic chamber shall be used in a manner consistent with MQT 13 in IEC 61215-2.

5.3.8.4 Procedure

The following test sequence shall be applied:

- a) Specimen fabrication and preparation (5.3.7.2).
- b) Specimen conditioning prior to UV weathering at $85 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ and $85 \% \pm 5 \%$ relative humidity for the duration of $500 \text{ h} + 48 \text{ h} / -0 \text{ h}$ (similar to IEC 61215-2, MQT 13).
- c) UV weathering (IEC TS 62788-7-2, Method A3) for the duration of 2 000 h.
The maximum duration of 24 h shall be observed between the end of specimen conditioning and the start of UV weathering.
- d) Combined specimen conditioning and hygrometric ageing at $85 \text{ }^{\circ}\text{C}$ and 85% relative humidity for the duration of $1\,000 \text{ h} + 48 \text{ h} / -0 \text{ h}$ (IEC 61215-2, MQT 13).

The maximum duration of 200 h shall be observed between the end of UV weathering and the start of combined specimen conditioning and hygrometric ageing.

e) Measurement of adhesion of aged specimens (5.3.7.4).

The maximum duration of 24 h shall be observed between the end of hygrometric ageing and the start of measurement of adhesion.

f) Calculation and expression of results (5.3.7.5).

5.3.8.5 Reporting requirements

The peel strength shall be reported in a manner consistent with ISO 8510-2. The results shall be reported for the arithmetic mean of the average peel strength for all replicate specimens tested, as well as the arithmetic means of the maximum and minimum strengths. The following details shall also be reported:

- a) Failure mode, i.e., the type of failure (adhesive or cohesive) and the location (encapsulant/backsheet, encapsulant/glass, encapsulant/cell, or encapsulant-1/encapsulant-2 interfaces, or the bulk of the backsheet, encapsulant, glass, or cell).
- b) Materials used:
 - Encapsulant test material(s) (make and product name/number)
 - Backsheet handle layer (make and product name/number)
 - Glass layer (make and product name/number)
 - Cell layer (make and product name/number).
- c) Details of sample construction and preparation:
 - Lamination conditions for the encapsulant
 - Release layer material, if applicable
 - Additional glues and handle or substrate materials (glass, aluminium, etc.), if applicable.
- d) The specimen history, i.e., unaged or after accelerated testing. Results for both unaged and accelerated testing shall be reported.

5.3.9 Mechanical: phase transition and glass transition temperatures

5.3.9.1 General

The purpose of this test is to quantify the phase transition temperatures for the encapsulant, including the glass transition temperature as in ISO 11357-2, melting temperature as in ISO 11357-3, and crystallization temperature as in ISO 11357-3. All three characteristic temperatures apply to many polymers used as PV encapsulants, such as EVA, because they are semicrystalline materials. The phase transition temperatures may be used in material selection or for improved understanding of a PV module. For example, the melting of an encapsulant within the temperature range of use can significantly affect mechanical stress within a PV module or can provide a change in kinetic response related to weathering or the diffusion of dissolved species. Although several methods, including rheometry and thermal mechanical analysis, can be used to assess the phase transition temperatures, differential scanning calorimetry (DSC) is specified here because of its ease of use, equipment availability, and the ready interpretation of the results. Here, the test is designed to provide valid analysable data from at least $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (the minimum temperature in the IEC 61215-2 design type qualification standard) to at least $175\text{ }^{\circ}\text{C}$ (a temperature approaching the thermal decomposition of some polymers). Results of the test may (optionally) be included in the manufacturer's datasheet. The use of DSC for verifying the degree of cure of EVA for the purpose of manufacturing and process control is specified in 5.3.10.

Although not required for UCF or datasheet reporting, the degree of crystallization can also be quantified from the data used to assess phase transition and glass transition temperatures, according to the method in ASTM D3418.

5.3.9.2 Sampling

Samples shall be obtained from a representative roll of encapsulant. Specimens may be cured between releasable layers in order to achieve a smooth surface. Specimens that have not been cured may also be used in this test. A set of replicate film specimens consistent with ISO 11357-1 shall be obtained (i.e., at least two replicates, 5 mg to 9 mg in size). Specimens should be cut to size to allow a clearance fit relative to the crucible, with flat surfaces to allow good thermal contact to the crucible. Specimens may be cured (if applicable) according to the manufacturer's specification, using a process as similar as possible to the method used in the intended manufacturing process. To prevent the spurious effects of water, specimens should be desiccated (<1 % relative humidity) for at least 24 h prior to measurement.

5.3.9.3 Apparatus

A DSC fulfilling the requirements of and is calibrated according to ISO 11357-1 shall be used. Non-hermetic crucibles (e.g., aluminium) may be used for this test. The use of a purge gas (e.g., analytic grade nitrogen) is recommended.

5.3.9.4 Procedure

Steps, including: specimen sampling and fabrication; conditioning (desiccation); weighing of the components (crucibles, specimen); assembly into the crucible; initiation of purge gas flow; pre-heating of the DSC; and the measurement, shall be performed according to ISO 11357-1. The data acquisition rate of 5 Hz (0,2 s·point⁻¹) shall be used with the heating rate of 10 °C·min⁻¹. The initial temperature of 25 °C, maximum temperature of 225 °C, and minimum temperature of –90 °C shall be used for the test. Two heating/cooling cycles (from 25 °C to 225 °C to –90 °C to 25 °C, then from 25 °C to 225 °C to –90 °C to 25 °C) shall be used to erase the prior thermal history of the specimens followed by the measurement. All results shall be determined from the analysis of the second heating/cooling cycle in a manner consistent with ISO 11357. If the replicate measurements differ by more than 10 %, the test shall be repeated to obtain a valid result.

NOTE Factors including poor thermal contact to the crucible, material shelf life, and material degradation can affect the test. Therefore, at least two specimens are examined to ensure a valid result.

5.3.9.5 Reporting requirements

Where applicable, the transition temperatures (including the glass transition temperature, melting temperature, and crystallization temperature) shall be reported in a manner consistent with ISO 11357-1. The results shall be reported for the average of the replicate measurements.

5.3.10 Mechanical: EVA degree of cure (DoC)

5.3.10.1 General

The purpose of this test is to quantify the degree of cure (DoC), as defined in IEC 62788-1-6. DoC may be quantified using any of the secondary methods, including enthalpy or melt/freezing DSC as well as indentation. The secondary methods give generally similar results and are typically correlated relative to the primary method, i.e., the gel content test. The methods have been prescribed in IEC 62788-1-6 for EVA, but they may also be applied to other cross-linked encapsulants. Results of the test depend on the processing of the encapsulant and therefore would typically not be included in the manufacturer's datasheet. The DoC test is primarily included here for the purpose of manufacturing and process control, where it may be monitored by encapsulant or module manufacturers. Proper curing and adequate activation of the primer are needed to ensure good interfacial adhesion; improper curing may leave residual peroxides (facilitating corrosion) and may also allow for mechanical creep (see [4] and [5]). DoC is not a permanent characteristic, as the concentration of the cross-linking initiator and the extent of molecular cross-linking within the encapsulant may change with thermal history as well as with weathering. Research related to the issue of mechanical creep is described in [4] and [5]; the development of the DoC test is described in [6].

5.3.10.2 Sampling

Specimens shall be obtained from a representative sample of encapsulant. Depending on the application of the methods, samples may include: specimens obtained from a representative roll of encapsulant (before or after lamination); specimens obtained from a PV module or; or specimens obtained from a witness coupon (after lamination). Specimens consistent with IEC 62788-1-6 shall be used, including the number of replicate specimens.

5.3.10.3 Apparatus

An apparatus fulfilling the requirements of IEC 62788-1-6 shall be used for DoC measurements. Depending on the method used from IEC 62788-1-6, the following apparatuses may be used: a differential scanning calorimeter (for the enthalpy or melt/freezing "secondary" DSC methods), an instrumented indenter (for the "secondary" indentation method), or a Soxhlet (or similar) extractor (for the "primary" [reference] gel content method).

5.3.10.4 Procedure

Prior to measuring the DoC, specimens shall be laminated (if not previously laminated) and then conditioned according to IEC 62788-1-6.

Follow the procedure in IEC 62788-1-6 to perform DoC measurements.

To obtain the DoC, data analysis shall be performed according to IEC 62788-1-6, according to the test method used.

5.3.10.5 Reporting requirements

The DoC shall be reported in a manner consistent with IEC 62788-1-6. The results of a secondary method and/or results of the primary method shall be reported in a manner consistent with any user-specific requirements for manufacturing and process control. The results of secondary methods shall be reported relative to their correlation with the primary method, i.e., using G_e , G_a , G_i , or $G\%$.

5.3.11 Mechanical: change in linear dimension (CiLD)

5.3.11.1 General

The purpose of this test is to quantify the change in linear dimension (CiLD), as defined in IEC 62788-1-5. The method may be used to estimate the lateral shrinking or expansion of the encapsulant sheet at the temperature used in lamination. Although it has not yet been directly studied in detail, CiLD may contribute to void formulation, residual stress within a PV module, and change in location of components during lamination [7]. Although the CiLD of encapsulant laminated in a module will depend on the actual thermal and mechanical history during lamination (which also includes the effects of friction and other surface interactions), the results for the IEC 62788-1-5 shall be reported on the manufacturer's datasheet to aid material selection. The CiLD may also be monitored for the purpose of manufacturing and process control by encapsulant or module manufacturers. The development of the CiLD standard is described in [7].

5.3.11.2 Sampling

Film samples shall be obtained from a representative roll of encapsulant. The number of replicate specimens shall satisfy the requirements in IEC 62788-1-5 (i.e., ≥ 3 replicates for manufacturing and process control, or ≥ 6 sets of ≥ 3 replicates for datasheet reporting).

5.3.11.3 Apparatus

An air-circulating closed-loop controlled oven and a calibrated linear measuring device fulfilling the requirements of IEC 62788-1-5 shall be used to measure CiLD.

5.3.11.4 Procedure

Specimens shall be sampled, marked (to denote the machine and/or extrusion direction), measured (thickness and lateral dimensions), and conditioned according to IEC 62788-1-5 prior to measuring CiLD.

Follow the procedure in IEC 62788-1-5 to apply thermal treatment and perform CiLD measurements.

Data analysis shall be performed according to IEC 62788-1-5 to obtain the CiLD value for the two material directions.

5.3.11.5 Reporting requirements

The CiLD shall be reported in a manner consistent with IEC 62788-1-5, including the maximum CiLD and corresponding range of the measurements, as well as the mean CiLD and two standard deviations of the measurements.

5.3.12 Mechanical: blocking load

5.3.12.1 General

The purpose of the blocking resistance test is to quantify the tendency for encapsulant sheets to stick together after storage. The test may be used to assess the effectiveness of surface texture or release layers relative to storage or transportation. Results of the test may (optionally) be included in the manufacturer's datasheet.

5.3.12.2 Sampling

Samples shall be obtained from a representative roll of encapsulant. A set of replicate film strip specimens consistent with ISO 11502 shall be obtained (i.e., ≥ 10 replicate strips). The specimens shall not be cured. For the purpose of interlaboratory comparison, specimens shall be conditioned according to ISO 291 Class 2, i.e., $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ and $(50 \pm 10)\%$ relative humidity for at least 24 h prior to measurement. For the purpose of evaluating the effectiveness of surface texture or release layers, the specimens may be conditioned at other temperatures and humidities.

5.3.12.3 Apparatus

A mechanical load frame fulfilling the requirements of ISO 11502 shall be used. A thermal chamber may be used with the apparatus to quantify the effect of temperature on the blocking resistance.

5.3.12.4 Procedure

Samples shall be extracted, then assembled in pairs (between glass with paper), then weighted and thermally treated in an oven as specified in ISO 11502 (i.e., with applied 2,3 kg weights at 50°C for 3 h). The test geometry of either Method A or Method B in ISO 11502 may be used. For the purpose of evaluating the effectiveness of surface texture or release layers, the specimens may be treated at other temperatures. For the purpose of evaluating the blocking load in storage, the maximum warehouse or shipping conditions may be used, e.g., 40°C .

The samples shall then be conditioned prior testing with the load frame. The load frame shall be used to determine the force at separation.

Data analysis shall be performed according to ISO 11502 to obtain the blocking resistance force.

5.3.12.5 Reporting requirements

The blocking resistance shall be reported in a manner consistent with ISO 11502, including the mean and the variation for two standard deviations of the replicate measurements.

5.4 Electrical

5.4.1 Electrical: volumetric resistivity

5.4.1.1 General

The purpose of this test is to quantify the volumetric electrical resistivity using the methods described in IEC 62788-1-2. Electrical resistance may limit the flow of electronic and ionic species, reducing the occurrence of electrochemical corrosion and potential induced degradation (PID). The correlation between resistivity and reduction in corrosion or PID may not directly scale between different classes or different base resins of polymeric materials. Results of the test shall be reported on the manufacturer's datasheet to aid material selection. Volumetric resistivity may also be monitored for the purpose of manufacturing and process control by encapsulant or module manufacturers. The development of the volume resistivity standard is described in [8].

5.4.1.2 Sampling

Film samples shall be obtained from a representative roll of encapsulant. The number of replicate specimens shall satisfy the requirements in IEC 62788-1-2 (i.e., ≥ 5 replicates) for datasheet reporting.

5.4.1.3 Apparatus

An electrometer and electrode fixture containing two flat metal plates fulfilling the requirements of IEC 62788-1-2 shall be used to measure volumetric resistivity.

5.4.1.4 Procedure

Prior to measuring resistivity, specimens shall be sampled, conditioned ("laboratory ambient"), and then measured (i.e., the thickness) according to IEC 62788-1-2.

Follow the procedure in IEC 62788-1-2 to apply the test temperature, voltage level, and measurement cycle duration. The test temperature of 23 °C, voltage level of Method A (1 000 V), and measurement cycle duration of Method A (1 h cycle time) shall be used for specimens conditioned to "laboratory ambient" (ISO 291, Class 2) for the purpose of datasheet reporting. The test temperature of 23 °C, voltage level of Method B (1 000 V), and measurement cycle duration of Method B (1 min cycle time) shall be used for specimens conditioned to "laboratory ambient" (ISO 291, Class 2) for the purpose of manufacturing and process control.

Data analysis shall be performed according to IEC 62788-1-2 to obtain the volumetric resistivity.

5.4.1.5 Reporting requirements

Volumetric resistivity shall be reported in a manner consistent with IEC 62788-1-2.

5.4.2 Electrical: comparative tracking index (CTI)

5.4.2.1 General

The purpose of this test is to quantify the comparative tracking index (CTI) for the encapsulant. CTI relates to the possibility of electrical tracking (i.e., material degradation) between energized components. Results of the test may (optionally) be reported on the manufacturer's datasheet to aid material selection. CTI may be required for some module designs to fulfil creepage and clearance requirements in IEC 61730-2.

5.4.2.2 Sampling

Samples shall be obtained from a representative roll of encapsulant. A set of samples consistent with IEC 60112, shall be used (i.e., ≥ 5 replicates). The specimen(s) shall be at least 3 mm thick, which may be achieved using a stack of sheets of material or a sample that has been laminated to be at least 3 mm thick using multiple sheets of encapsulant. Monolithic specimens should be cured (if applicable) according to the manufacturer's specification, using a process as similar as possible to the method used in the intended manufacturing process. Specimens may be cured between releasable layers within a frame of representative thickness in order to improve thickness uniformity.

5.4.2.3 Apparatus

A CTI apparatus fulfilling the requirements of IEC 60112 shall be used.

5.4.2.4 Procedure

Steps, including: specimen sampling and fabrication; conditioning; clamping/mounting to the apparatus; equilibration to the test temperature; application of an external alternating current voltage; application of ammonium chloride droplets; and the application of the specified voltage level for the required time duration, shall be performed according to IEC 60112. Specimens shall be conditioned according to ISO 291 Class 2, i.e., $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ and $(50 \pm 10)\%$ relative humidity for at least 24 h prior to measurement. The measurement shall be performed once on each replicate specimen at 23°C . The test procedure shall be repeated on each specimen according to IEC 60112, with the applied voltage incremented until a valid over-current event is observed.

5.4.2.5 Reporting requirements

The CTI shall be reported in a manner consistent with IEC 60112. Results of the test include the voltage and the performance level category (in some jurisdictions). The results, in addition to the corresponding material group or performance level category, shall be reported for the average of the replicate measurements, with variation indicated for half of the corresponding range. The range shall be determined as the maximum measured value minus the minimum measured value.

5.5 Thermal

5.5.1 Thermal: conductivity

5.5.1.1 General

The purpose of this test is to quantify the thermal conductivity for the encapsulant. The thermal conductivity contributes to the thermal management of the PV module during its use or installation. Results of the test may (optionally) be reported on the manufacturer's datasheet to aid material selection.

5.5.1.2 Sampling

Samples shall be obtained from a representative roll of encapsulant. Because heating (i.e., the curing process, if applicable) can affect the specimen shape, specimens shall be cured prior to sampling (if applicable) according to the manufacturer's specification, using a process as similar as possible to the method used in the intended manufacturing process. Specimens may be cured between releasable layers in order to achieve a smooth surface. Encapsulant materials that are transparent to the flash source shall be coated according to ISO 22007-4 to prevent penetration of the laser beam into the specimen during the test. A set of replicate film specimens consistent with ISO 22007-4 shall be obtained (i.e., ≥ 2 disc-shaped film replicates 5 mm to 20 mm in diameter).

5.5.1.3 Apparatus

A laser flash source apparatus fulfilling the requirements of ISO 22007-4 shall be used.

5.5.1.4 Procedure

Steps, including: specimen sampling and fabrication; specimen conditioning; equilibration of the apparatus; measurement of the specimen thickness; mounting of the specimen in the apparatus; initiation of purge gas flow; zeroing of the thermobalance; stabilization of the furnace or climatic chamber; and the measurement, shall be performed according to ISO 22007-4. Specimens shall be conditioned according to ISO 291 Class 2, i.e., $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ and $(50 \pm 10)\%$ relative humidity for at least 24 h prior to measurement. The measurement shall be performed three times on each replicate specimen at the temperature of 23°C . Data analysis shall be performed according to ISO 22007-4. If the results for the replicate specimens differ by more than 10 %, the test shall be repeated to obtain a valid result.

5.5.1.5 Reporting requirements

The thermal conductivity shall be reported in a manner consistent with ISO 22007-4. The average of the replicate measurements shall be reported, with variation indicated for half of the corresponding range. The range shall be determined from the maximum measured value minus the minimum measured value.

5.5.2 Thermal: decomposition temperature (TDT)

5.5.2.1 General

The purpose of this test is to quantify the thermal decomposition temperature (TDT) for the encapsulant. The results of the test can indicate chemical decomposition of the resin or loss of formulation additives at elevated temperature. Results of the test may (optionally) be reported on the manufacturer's datasheet to aid material selection.

5.5.2.2 Sampling

Samples shall be obtained from a representative roll of encapsulant. Because the curing process can produce volatile species with subsequent mass loss, specimens shall be cured prior to sampling (if applicable) according to the manufacturer's specification, using a process as similar as possible to the method used in the intended manufacturing process. Specimens may be cured between releasable layers in order to achieve a smooth surface. Specimens that have not been cured may also be used in this test. A set of replicate film specimens consistent with ISO 11358-1 shall be obtained (i.e., ≥ 2 replicates, 5 mg to 9 mg in size). To prevent the spurious effects of water, specimens should be desiccated ($<1\%$ relative humidity) for at least 24 h prior to measurement.

5.5.2.3 Apparatus

A thermogravimetric analyser (TGA) that fulfils the requirements of and is calibrated according to ISO 11358-1 shall be used. Linear temperature control ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$) shall be used; modulated temperature control (e.g., sinusoidal with time, for the determination of activation energy) should not be used. Analytic grade gas should be used for nitrogen. Compressed air (not synthetic air) may be used for air. A gas flow rate of $(90 \pm 9) \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ is recommended for the air or nitrogen purge gas to the specimen. A gas flow rate of $(10 \pm 1) \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ is recommended for the nitrogen purge gas to the balance.

5.5.2.4 Procedure

Steps, including: specimen sampling and fabrication; conditioning (desiccation); placement of the sample holder; initiation of purge gas flow; and the measurement, shall be performed according to ISO 11358-1. The initial temperature of 25°C , and maximum temperature of 800°C , shall be used for the test. One heating cycle (from 25°C to 800°C) shall be used for the TDT test. All results shall be determined from the analysis of the heating cycle in a manner consistent with ISO 11358-1. The TDT shall be taken as the temperature where 5 % mass loss is observed relative to the specimen mass at the start of the experiment. If the replicate measurements differ by more than 10 %, the test shall be repeated to obtain a valid result. Because aerobic and anaerobic environments can give significantly different results, air or nitrogen shall both be used separately to determine TDT.

NOTE Factors including poor thermal contact to the crucible, material shelf life, and material degradation can affect the test. Therefore, two specimens are examined to ensure a valid result.

5.5.2.5 Reporting requirements

The TDT shall be reported in a manner consistent with ISO 11358-1. The results shall be reported for both the tests performed for the specimens purged in air and the tests performed for the specimens in nitrogen. The average of the replicate measurements shall be reported.

5.6 Chemical

5.6.1 Chemical: water vapour transmission rate

5.6.1.1 General

Although understanding is presently limited, water vapour permeability of the encapsulant may affect the rate of corrosion in a PV module. The water vapour transmission rate (WVTR) is taken here to quantify the water vapour permeation for a given thickness of film. The WVTR shall be reported on the manufacturer's datasheet to aid material selection.

5.6.1.2 Sampling

Samples shall be obtained from a representative roll of encapsulant. Specimens shall be thermally processed according to the manufacturer's specifications to achieve a material condition representative of the application, e.g., cross-link density, if applicable. The specimens shall be processed to have a surface flatness appropriate to measurement, as specified in IEC 62788-6-2. A set of replicate film specimens consistent with IEC 62788-6-2 shall be obtained (i.e., ≥ 2 replicates $\geq 2,25 \text{ cm} \times \geq 2,25 \text{ cm} \times$ representative thickness in size).

5.6.1.3 Apparatus

A diffusion cell apparatus fulfilling the requirements of ISO 15106-2 or ISO 15106-3 shall be used to measure WVTR.

5.6.1.4 Procedure

Specimens shall be sampled, and their thickness measured, prior to measuring. The WVTR measurement shall be obtained using the test condition of 38°C and 100 % relative humidity.

5.6.1.5 Reporting requirements

The WVTR shall be reported in a manner consistent with IEC 62788-6-2.

5.6.2 Chemical: water absorption

5.6.2.1 General

Although a limited understanding is presently established, the water solubility of the encapsulant may affect the rate of corrosion in a PV module. For Fickian materials (most EVAs and polyolefins), the steady state water solubility may be determined by the WVTR measurement used for water permeation. For non-Fickian materials (PVB and sodium ionomers), an alternate method should be used. Results of the test may (optionally) be reported on the manufacturer's datasheet to aid material selection.

5.6.2.2 Sampling

Samples shall be obtained from a representative roll of encapsulant. Specimens shall be thermally processed according to the manufacturer's specifications to achieve a material condition representative of the application, e.g., cross-link density, if applicable. A set of replicate film specimens consistent with IEC 62788-6-2 shall be obtained (i.e., ≥ 2 replicates $\geq 2,25$ cm $\times$ $\geq 2,25$ cm $\times$ representative thickness in size).

5.6.2.3 Apparatus

For Fickian materials, a diffusion cell apparatus fulfilling the requirements of IEC 62788-6-2 shall be used to measure water absorption. For non-Fickian materials, a diffusion cell apparatus fulfilling the requirements of ISO 62 Method 1 shall be used to measure water absorption.

5.6.2.4 Procedure

Specimens shall be sampled, and their thickness measured, prior to measuring. Measurement shall be performed for the test conditions of 38 °C and 100 % relative humidity.

5.6.2.5 Reporting requirements

The water absorption shall be reported in a manner consistent with 62788-5-1 and IEC 62788-6-2.

5.7 Ignition and flammability

Fire safety assessment is not recommended on the material level, because test results obtained without the thermal mass of the module are not expected to be representative of a PV system (in addition to the different availability of oxygen in a module relative to material specimens). Safety requirements related to ignition and flammability are specified in IEC 61730-2, where verification is performed using a PV module. Additional requirements are specified in IEC 61730-1 for exterior-located components (e.g., backsheet and frontsheet; not the encapsulant). The concepts of ignition and flammability are identified here for completeness. Methods that can be applied to module specimens are identified in IEC 61730-1 and 61730-2.

5.8 Accelerated ageing tests

Requirements for accelerated ageing of encapsulants are covered in 5.2.2 (for durability of optical transmittance) and 5.3.8 (for durability of adhesion). Accelerated testing of encapsulants in addition to the aforementioned methods is considered optional. The performance and durability of encapsulants may also be observed in module specimens, as specified in IEC 61215-2. The development of the durability of adhesion test for encapsulants is described in Annex A.

6 Uniform characterization form (UCF)

6.1 General

The UCF shall be prepared as follows. The uniform characterization form for encapsulants provides an extensive overview of the optical, mechanical, electrical, thermal, and chemical characteristics that are related to the manufacturing and use of encapsulants. Most characteristics are evaluated on unaged specimens. For some characteristics, reporting of test results after ageing is required.

6.2 Details of the UCF

The UCF shall be given as a tabular overview of characteristics according to Table 3. In the formal UCF document, the table is followed by details of the test conditions as defined by the reporting requirements for each of the characteristics. Each characteristic should be referenced using the UCF number in the first column of Table 3. Table 3 defines the UCF for required characteristics (✓). For each characteristic, a unique UCF number is given in the table. The unit of measure, a reference for the test method (within this document), the use of unaged specimens, and the use of weathering are also identified in Table 3. Reported data shall include the variation of measurement (where specified), as identified in the reporting requirements for each test method in the "Reference" column.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62788-1-1:2024

Table 3 – Details of the uniform characterization form (UCF) for polymeric PV encapsulants

UCF number	Test name	Characteristic (unit of measure)	Subclause	Unaged specimens	Weathered specimens
1	Transmittance and UV cut-off wavelength	τ_{rsw} (%) YI (dimensionless) λ_{cuv} (nanometres, nm)	5.2.1	✓	
2	Durability of transmittance	τ_{rsw} (%) YI (dimensionless) λ_{cuv} (nanometres, nm)	5.2.2		✓
3	Index of refraction	n (dimensionless)	5.2.3	✓	
4	Linear dimension (width)	w (centimetres, cm)	5.3.1	✓	
5	Area weight	σ (grams-millimetre ⁻² , g·mm ⁻²)	5.3.2	✓	
6	Ideal planar thickness	h (millimetres, mm)	5.3.3	✓	
7	Storage modulus and loss factor	E' (Megapascals, MPa) and tan[δ] (dimensionless)	5.3.4	✓	
8	Hardness	H (dimensionless)	5.3.5	✓	
9	Coefficient of linear thermal expansion (CTE)	CTE (parts per million-degrees Celcius ⁻¹ , ppm·°C ⁻¹)	5.3.6	✓	
10	Adhesion (encapsulant/glass) (encapsulant/cell)	S _{180p} , 180° peel strength (N·mm ⁻¹) or G, SCB debond energy (J·m ⁻²)	5.3.7	✓	
11	Adhesion (backsheet/encapsulant), (encapsulant-1/encapsulant-2)	S _{180p} , 180° peel strength (N·mm ⁻¹) or G, SCB debond energy (J·m ⁻²)	5.3.7	○	
12	Durability of adhesion (encapsulant/glass) (encapsulant/cell)	S _{180p} , 180° peel strength (N·mm ⁻¹) or G, SCB debond energy (J·m ⁻²)	5.3.8		✓
13	Durability of adhesion (backsheet/encapsulant), (encapsulant-1/encapsulant-2)	S _{180p} , 180° peel strength (N·mm ⁻¹) or G, SCB debond energy (J·m ⁻²)	5.3.8		○

UCF number	Test name	Characteristic (unit of measure)	Subclause	Unaged specimens	Weathered specimens
14	Phase transition and glass transition temperatures	T_i (°C)	5.3.9	✓	
15	EVA degree of cure (DoC)	$G_{\%}$ (dimensionless)	5.3.10	✓	
16	Change in linear dimension (CiLD)	CiLD (percent, %)	5.3.11	✓	
17	Blocking load	L (grams, g)	5.3.12	✓	
18	Volumetric resistivity	ρ (Ohm-centimetres, $\Omega \cdot \text{cm}$)	5.4.1	✓	
19	Comparative tracking index (CTI)	CTI (volts, V)	5.4.2	✓	
20	Conductivity (thermal)	k (Watts·meter ⁻¹ ·Kelvin ⁻¹ , $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	5.5.1	✓	
21	Decomposition temperature (TDT)	TDT (degrees Celcius, °C)	5.5.2	✓	
22	Water vapor transmission rate (WVTR)	WVTR (grams·metre ⁻² ·day ⁻¹ , $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)	5.6.1	✓	
23	Water absorption	S (grams·cm ⁻²)	5.6.2	✓	
✓: required material characterization. O: optional material characterization.					

6.3 Reporting requirements

The UCF shall be prepared by the encapsulant manufacturer, based on the results of a test agency. The UCF shall contain at least the required results of material characterization tests, and may also contain results of optional characterization tests. Furthermore, the report for the UCF from the test agency shall include at least the following information:

- a) title;
- b) name and address of the test laboratory and location where the tests were carried out;
- c) unique identification of the report and each of its pages;
- d) name and address of client, where appropriate;
- e) description and identification of the item tested;
- f) characterization and condition of the test item;
- g) date of receipt of test item and date(s) of test, where appropriate;
- h) identification of test method used;
- i) reference to sampling procedure, where relevant;
- j) any deviations from, additions to, or exclusions from, the test method and any other information relevant to a specific test;
- k) measurements, examinations and derived results supported by tables, graphs, sketches and photographs as appropriate;
- l) statement of the estimated uncertainty of the test results (where relevant);
- m) a signature and title, or equivalent identification of the person(s) accepting responsibility for the content of the report, and the date of issue;
- n) where relevant, a statement to the effect that the results relate only to the items tested;
- o) a statement that the report shall not be reproduced except in full, without the written approval of the laboratory.

7 Datasheet reporting

7.1 General

The datasheet shall be prepared as follows.

7.2 Purpose

The datasheet provides the critical technical characteristics related to the selection, performance, and use of PV encapsulants.

7.3 Details of the datasheet

The datasheet shall be given as a tabular overview of results according to Table 4. The table defines the datasheet for specimens with required (✓) test conditions, including the use of unaged or weathered specimens. Reported data shall include the variation of measurement (where specified), as identified in the reporting requirements for each test method in the "Reference" column.

Table 4 – Minimum required characteristics for the datasheet

Test name	Subclause	Unaged specimens	Weathered specimens
Transmittance and UV cut-off wavelength	5.2.1	✓	
Durability of transmittance	5.2.2		✓
Storage modulus	5.3.4	✓	
Adhesion (encapsulant/glass) (encapsulant/cell)	5.3.7	✓	
Durability of adhesion (encapsulant/glass) (encapsulant/cell)	5.3.8		✓
Change in linear dimension (CiLD)	5.3.11	✓	
Volumetric resistivity	5.4.1	✓	
Water vapor transmission rate	5.6.1	✓	
✓: required specimen test condition. O: optional material characterization.			

7.4 Reporting requirements

The datasheet shall be prepared by the encapsulant manufacturer based on the results of a test agency. At a minimum, the information and measurement values from Table 4 shall be given in the datasheet. Furthermore, the report for the datasheet from the test agency shall include the following information:

- title;
- name and address of the test laboratory and location where the tests were carried out;
- unique identification of the report and each of its pages;
- name and address of client, where appropriate;
- description and identification of the item tested;
- characterization and condition of the test item;
- date of receipt of test item and date(s) of test, where appropriate;
- identification of test method used;
- reference to sampling procedure, where relevant;
- any deviations from, additions to, or exclusions from, the test method and any other information relevant to a specific test;
- measurements, examinations, and derived results supported by tables, graphs, sketches, and photographs, as appropriate;
- statement of the estimated uncertainty of the test results, where relevant;
- a signature and title, or equivalent identification of the person(s) accepting responsibility for the content of the report, and the date of issue;
- where relevant, a statement to the effect that the results relate only to the items tested;
- a statement that the report shall not be reproduced except in full, without the written approval of the laboratory.

8 Product identification sheet (label)

The following information is required on the product identification sheet (found with an unopened package of encapsulant product):

- a) product name or part number;
- b) name, address, and contact information of the manufacturer or importer;
- c) maximum shelf life and recommended storage conditions;
- d) transportation conditions and their maximum duration, if different from storage conditions;
- e) identification of the intended use of the encapsulant in the PV module, i.e., front (between glass and cell), back (between cell and backsheet or glass), for both sides of the module.

9 Documentation and testing for similar materials

9.1 Model and variant designation

An encapsulant “product” is considered to have one defined formulation of its bulk material or material layers. In addition to the documentation (UCF and Datasheet) of the referenced (or original) product, distinctions in the composition, lamination, manufacture, colour, and/or thickness of layer(s) can be examined using a reduced set of testing. A minimum set of characteristics is identified in this document to screen between distinct encapsulants at the material-level. This section covers both front and back encapsulants, either of which may be separately evaluated for surrogate materials.

The evaluation in IEC 62788-1-1 is presently limited to encapsulants made by the same encapsulant manufacturer, using the same base resin type, for the consideration of one PV module manufacturer. Examination of other circumstances (e.g., different encapsulant manufacturer, between encapsulants – including those of different resins, and for different module manufacturers) may be covered in a future edition but is presently outside the scope of this standard.

Interaction between encapsulants of distinct composition and other components in a PV module is of concern in a PV system but is outside the scope of this standard. The examination of distinct encapsulants at the PV module-level is covered in IEC TS 62915 and not this document.

9.2 General

The encapsulant manufacturer shall provide the UCF and datasheet of the incumbent encapsulant product under test as evaluated by the corresponding test methods listed as required in Table 3 and Table 4.

Encapsulants using distinct constituent input material(s), lamination, or manufacture may be verified to fulfil the requirements of this standard as similar encapsulants using a reduced test plan as stipulated below.

Versions of an incumbent encapsulant of distinct thickness (see IEC TS 62915 for further guidance on encapsulant thickness) or colour may be verified to fulfil the requirements of this standard using a reduced test plan as stipulated below.

To cover manufacture-related issues, including the line- and equipment-used, the same laminator should be used for specimens of the alternate encapsulant when possible.

9.3 Alternate constituent materials, lamination, and manufacture

Alternate resin suppliers and/or formulation additives (from the same or different suppliers) fulfil the requirements of this standard as similar materials under the same model designation if verification is provided to clearly demonstrate that the alternate encapsulant is comprised of essentially the same chemical formulation compared with the incumbent encapsulant, providing performance and durability comparable to the incumbent encapsulant. Distinctions in composition may include the additives used (e.g., antioxidants, catalysts, primers, stabilizers, and UV absorbers) and their concentration. Distinctions in lamination may include the encapsulant manufacturer's recommended lamination procedure as well the lamination used during manufacture (i.e., the specific machine). Distinctions in manufacture may include: the line (e.g., where multiple facilities or multiple locations are used for manufacture); the make/model of equipment (e.g., for the processing of encapsulant sheet); and the settings used for encapsulant production (e.g., to achieve the DoC between separate laminators).

For EVA resins, the VAc may be verified as part of the CQR in Annex C.

The material density (ISO 1183-1 or ISO 1183-2) and melt mass-flow rate (MFR, g·10 min⁻¹, also known as the melt flow index, MFI) are typically used with selection of PO resins. Using the method in ISO 1133-1, the MFR is typically measured at 190 °C using a 2,16 kg weight for ethylene polymers (EVAs and POEs) or 230 °C using a 2,16 kg weight for polypropylenes. Density and MFR may be used for subsequent comparison.

The encapsulant manufacturer is responsible for providing any necessary data to support the use of alternate materials in encapsulant products. Consideration should be given to optical, mechanical, electrical, thermal and chemical characteristics; nominal values and their tolerances should be considered. Samples of the alternate encapsulant shall be submitted and an appropriate test program shall be applied to ensure they fulfil the requirements of this standard.

If the manufacturer's recommended lamination conditions for the alternate encapsulant differ substantially (as defined in the manufacturer's control plan, such as IEC 62941 or ISO 9001), then the alternate encapsulant shall be evaluated according to 9.3 to verify it fulfils the allowed variations in 9.6, such that it may be considered as a similar encapsulant.

While not required to fulfil this document, the additional methods in Annex A of IEC 62788-2-1 may be used to identify the base material(s) and additives in each encapsulant. These methods may be used to confirm between the incumbent and an alternate encapsulant. These methods may be used to confirm the use of the incumbent or an alternate encapsulant in a PV module.

Unaged samples:

- Transmittance and UV cut-off wavelength (5.2.1)
- Adhesion (encapsulant/glass using peel test, 5.3.7)
- Phase transition and glass transition temperatures (from second heating cycle using DSC test, 5.3.9)
- Encapsulant degree of cure (for all cross-linking polymers, 5.3.10)
- Volumetric resistivity (5.4.1)
- Composition quality ratio (for encapsulant composed of multiple layers only, Annex C).

Aged samples:

- Durability of transmittance (5.2.2)
- Durability of adhesion (5.3.8) (for aged samples for encapsulant/glass using peel test, relative to incumbent examination).

9.4 Alternate thickness or surface texture

Alternate encapsulant(s) differing from an incumbent encapsulant by only in their nominal thickness or surface texture can be verified with reduced testing. These tests are intended to check the optical performance and its durability as well as to verify the thickness.

Unaged samples:

- Transmittance and UV cut-off wavelength (5.2.1)
- Ideal planar thickness (5.3.3).

Aged samples:

- Durability of transmittance (5.2.2).

9.5 Colour variants

Alternate encapsulant(s) differing from an incumbent encapsulant by only their colour e.g., due to use or variation in the concentration of a colourant and/or pigment, can be verified with reduced testing.

In the specific case of pictorial colouration ("decoration") of an encapsulant by means of a printing process based on e.g., four process colours (Cyan, Magenta, Yellow and Black), the mixtures of the lowest and highest colourant concentration in the printing process, i.e. 0 % and 100 % (Cyan + Magenta + Yellow + Black) represents the lowest and highest colourant concentration that shall both be examined to fulfil this document.

These tests are intended to check the optical performance and its durability.

Unaged samples:

- Transmittance and UV cut-off wavelength (for transparent encapsulants, 5.2.1)
- Reflectance (for opaque encapsulants, IEC TS 62788-2).

Aged samples:

- Durability of transmittance (5.2.2).

9.6 Allowed distinction in performance and durability and treatment of the results

The evaluation of an alternate encapsulant is summarized in Figure 4. The evaluation in this standard may be applied prior to IEC TS 62915.

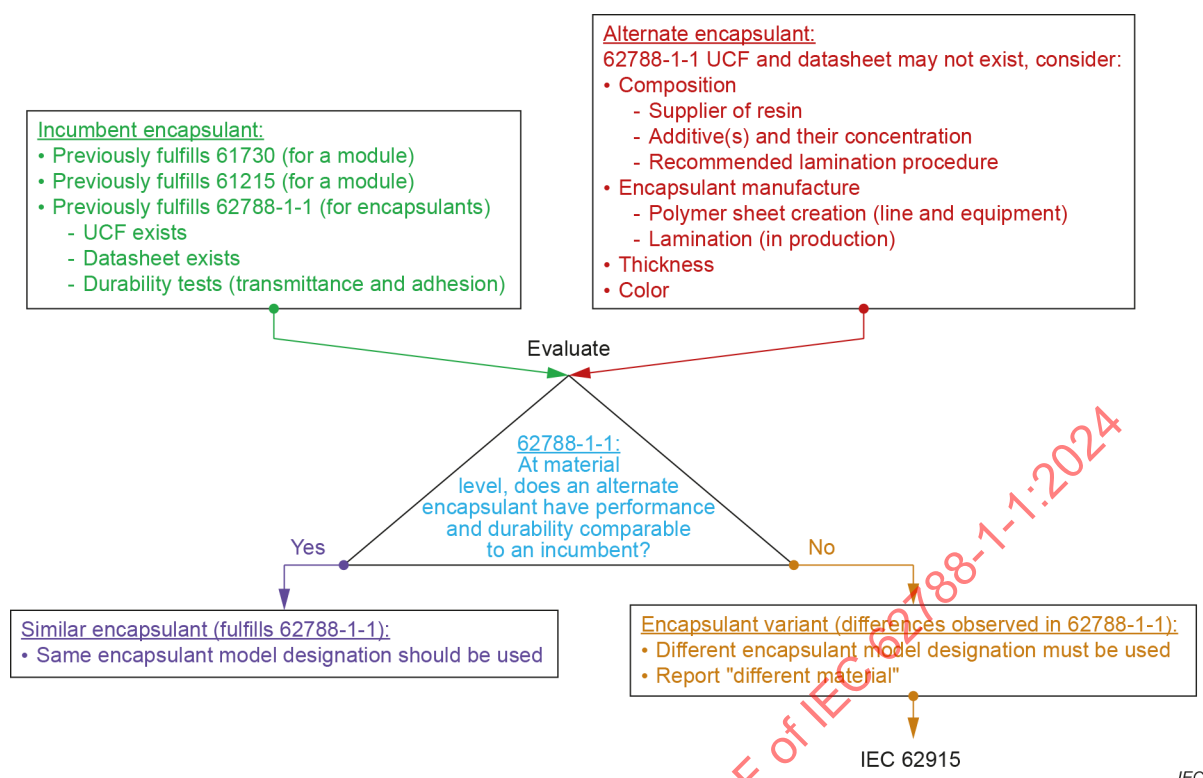


Figure 4 – Flow chart for the evaluation of an alternate encapsulant relative to an incumbent encapsulant in IEC 62788-1-1

As in Figure 4, the results for the evaluation of an alternate encapsulant, including by constituent input material(s), lamination, manufacture, thickness, and/or colour shall be compared to the previous evaluation of the incumbent encapsulant.

- If the results are within the thresholds identified below, then the alternate encapsulant shall be considered as a similar encapsulant, which may be designated with the same model designation (name or product number).
- If the results differ by the thresholds identified below, then the alternate encapsulant shall be considered an encapsulant variant, which shall be designated with a different model designation.

The characteristics for unaged samples shall be compared between alternate and incumbent encapsulants at the same test lab in the same test session.

Thresholds for unaged samples:

- Transmittance and UV cut-off wavelength: $\pm 0,5 \%$ (for transmittance) and $\pm 2,5 \text{ nm}$ (for UV cut-off wavelength)
- Adhesion (for unaged samples for encapsulant/glass using peel test): $\pm 50 \%$
- Phase transition and glass transition temperatures (from second heating cycle using DSC test): $\pm 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Encapsulant degree of cure (gel content method, for all cross-linking polymers): $\pm 5 \%$
- Volumetric resistivity: within a factor of 2
- Composition quality ratio (for encapsulant composed of multiple layers only): ± 5 percentage points CQR.

The characteristic of adhesion for aged samples shall be compared between alternate and incumbent encapsulants, after aging.

Thresholds for aged samples:

- Durability of transmittance and UV cut-off wavelength: passes IEC 62788-1-7
- Adhesion (for aged samples for encapsulant/glass using peel test, relative to examination of the incumbent product): $\pm 50\%$.

9.7 Reporting

The evaluation of alternate encapsulants shall be reported in a manner consistent with Clause 10 of IEC 62788-1-1. If the alternate encapsulant fulfils the requirements of IEC 62788-1-1 relative to an incumbent, then it shall be reported as a similar encapsulant. The UCF and Datasheet for similar encapsulant(s) shall be updated to include the results of any reduced testing for qualification (including evaluation from Clause 9 for constituent input material(s), lamination, manufacture, thickness, and/or colour). If the alternate encapsulant does not fulfil the requirements of IEC 62788-1-1 relative to an incumbent, then it shall be reported as an encapsulant variant. If the encapsulant variant differs from the incumbent encapsulant outside of the thresholds in 9.6 of IEC 62788-1-1 for the evaluations in 9.3, 9.4, or 9.5 in IEC 62788-1-1 or a different base resin type is used, then it shall also be reported for subsequent evaluation in IEC TS 62915 as "different material".

10 Test report

A report of the tests shall be prepared by the test agency. The report should contain detailed specifications for the specimens. Each test report shall include the following information, at minimum:

- a) a title;
- b) name and address of the test laboratory and location where the tests were carried out;
- c) unique identification of the report and of each page;
- d) name and address of client, where appropriate;
- e) description and identification of the item tested, including the specimen size;
- f) characterization and condition of the test item;
- g) date of receipt of test item and date(s) of test, where appropriate;
- h) identification of test method used, as well as identification of test instrument and other equipment used;
- i) reference to sampling procedure, where relevant;
- j) any deviations from, additions to, or exclusions from the test method, and any other information relevant to a specific test, such as environmental conditions, gas content, and flow rate to the oven;
- k) measurements, examinations, and derived results supported by tables, graphs, sketches, and photographs, as appropriate, including degree of cure, specimen mass, measured enthalpy, graphs of the enthalpy/temperature data, graphs of the crystallization peaks, and gel content;
- l) a statement of the estimated uncertainty of the test results, where relevant;
- m) a signature and title, or equivalent identification of the person(s) accepting responsibility for the content of the certificate or report, and the date of issue;
- n) where relevant, a statement to the effect that the results relate only to the items tested;
- o) a statement that the certificate or report should not be reproduced except in full, without the written approval of the laboratory.

Annex A (informative)

Durability of encapsulant adhesion

A.1 General

The characteristics of optical transmittance and interfacial adhesion (or strength of mechanical attachment) are essential to the performance of the encapsulant in a PV module. Accelerated testing is therefore required in the UCF and the datasheet. These tests examine the basic durability and robustness of the encapsulant (anticipated to include initial failure through at least the first ~5 years of operation). The references in Clause A.2 describe the development of weathering tests and standards referenced in this document. The references are identified here for informative purposes, and are not specifically cited elsewhere in this document.

A.2 Reference documents – accelerated ageing/durability of encapsulant adhesion

Jared Tracy, Nick Bosco, Chris Delgado, Reinhold Dauskardt, "Durability of ionomer encapsulants in photovoltaic modules," SOLMAT, 208, 2020, 110397, <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2020.110397>

David C. Miller, Fahad Alharbi, Afshin Andreas, Jayesh G. Bokria, David M. Burns, Jaynae Bushong, Xinxin Chen, Dennis Dietz, Sean Fowler, Xiaohong Gu, Aaron Habte, Christian C. Honeker, Michael D. Kempe, Hussam Khonkar, Michael Köhl, Nancy H. Phillips, Jorge Rivera, Kurt P. Scott, Ashish Singh, and Allen F. Zielnik, "Degradation in Photovoltaic Encapsulation Strength of Attachment: Results of the First PVQAT TG5 Artificial Weathering Study," 28, 2020, 639-658. <http://dx.doi.org/10.1002/pip.3255>

Nick Bosco, Stephanie Moffitt, Laura T. Schelhas, "Mechanisms of adhesion degradation at the photovoltaic module's cell metallization-encapsulant interface", PIP, 27 (4), 2019, 340-345, <https://doi.org/10.1002/pip.3106>

J. Tracy, D.R. D'hooge, N. Bosco, C. Delgado, R. Dauskardt, "Evaluating and predicting molecular mechanisms of adhesive degradation during field and accelerated aging of photovoltaic modules," PIP, 26, 2018, 981–993. <https://doi.org/10.1002/pip.3045>

N. Bosco, J. Tracy, R. Dauskardt, "Environmental Influence on Module Delamination Rate," J PV, 9 (2), 2019, 469-475

David C. Miller, Jayesh G. Bokria, David M. Burns, Sean Fowler, Xiaohong Gu, Peter L. Hacke, Christian C. Honeker, Michael D. Kempe, Michael Köhl, Nancy H. Phillips, Kurt P. Scott, Ashish Singh, Shigeo Suga, Shin Watanabe, Allen F. Zielnik, "Degradation in Photovoltaic Encapsulant Transmittance: Results of the First PVQAT TG5 Study," PIP, 27 (5) 2019, 391-409. <https://doi.org/10.1002/pip.3103>

David C. Miller, Eleonora Annigoni, Amal Ballion, Jayesh G. Bokria, Laura S. Bruckman, David M. Burns, Xinxin Chen, Lamont Elliott, Jiangtao Feng, Roger H. French, Sean Fowler, Christian C. Honeker, Michael D. Kempe, Hussam Khonkar, Michael Köhl, Laure-Emmanuelle Perret-Aebi, Nancy H. Phillips, Kurt P. Scott, Fanny Sculati-Meillaud, and John H. Wohlgemuth, "Degradation in PV Encapsulant Strength of Attachment: An Interlaboratory Study Towards a Climate-Specific Test," Proc IEEE PVSC, 2016, 95-100

F.D. Novoa, D.C. Miller, R.H. Dauskardt, "Adhesion and debonding kinetics of photovoltaic encapsulation in most environments," PIP, 24 (2), 2016, 183-194

David C. Miller, Eleonora Annigoni, Amal Ballion, Jayesh G. Bokria, Laura S. Bruckman, David M. Burns, Carol Chen, Lamont Elliott, Leo Feng, Roger H. French, Sean Fowler, Xiaohong Gu, Peter L. Hacke, Christian C. Honeker, Michael D. Kempe, Hussam Khonkar, Michael Köhl, Laure-Emmanuelle Perret-Aebi, Nancy H. Phillips, Kurt P. Scott, Fanny Sculati-Meillaud, Tsuyoshi Shioda, Shigeo Suga, Shin Watanabe, and John H. Wohlgemuth, "*Degradation in PV Encapsulation Transmittance: An Interlaboratory Study Towards a Climate-Specific Test*," Proc IEEE PVSC, 2015, 972

Nancy H. Phillips, and Kurt P. Scott, "*Quantifying PV module microclimates, and translation into accelerated weathering protocols*," Proc. SPIE Conf., 2014, 91790L-1

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62788-1-1:2024

Annex B (informative)

The single cantilever beam adhesion test method

B.1 General

The characteristic of adhesion is essential to the performance of the encapsulant in a PV module. Although strength of attachment methods (including the peel test) are often used in the place of fracture mechanics based adhesion methods, they can be subject to limitations, including that they may be limited by the deformation or degradation of the handle layer; may give a spurious result if a brittle handle layer fails during the detachment of the encapsulant from the substrate; cannot be directly compared for encapsulant layers of different thickness (even if the same formulation is used); and cannot be directly compared between different encapsulant materials (i.e., base resins, which have different viscoelastic mechanical characteristics). In addition, the peel angle shall be maintained constant to have consistent data, and the results may be affected by defects at the edges remaining from specimen preparation.

Fracture mechanics approaches directly examine the characteristic of adhesion and may be directly related to its underlying physics. The advantages of a fracture mechanics approach include that the results are specimen material- and geometry-agnostic; only the active tip region is subject to viscoelastic deformation (reducing the effect of dissipative energy on the result); and the methods are not specimen size dependent. A fracture mechanics method has been developed for use with PV packaging materials in IEC TS 62788-6-3. This method can be applied to veteran PV modules and may prove helpful for understanding the durability of encapsulant adhesion. The references in Clause B.2 describe the development of that test method. The references are identified here for informative purposes and are not specifically cited elsewhere in this document.

B.2 Reference documents – the SCB adhesion test method

N. Bosco, J. Eafanti, S. Kurtz, J. Tracy, R. Dauskardt, "Defining threshold values of encapsulant and backsheet adhesion for PV module reliability," *J PV*, 7 (6), 2017, 1536-1540

J. Tracy, N. Bosco, F. Novoa, R. Dauskardt, "Encapsulation and backsheet adhesion metrology for photovoltaic systems," *PIP*, 25, 2017, 87-96

J. Tracy, N. Bosco, R. Dauskardt, "Encapsulant adhesion to surface metallization on photovoltaic cells," *IEEE J PV*, 7 (6), 2017, 2156-2381

N. Bosco, J. Tracy, R. Dauskardt, "Development and first results of the width-tapered beam method for adhesion testing of photovoltaic systems," *Proc. IEEE PVSC*, 2016, 0106-0110

Annex C (informative)

The composition quality ratio (CQR) test method

C.1 General

A procedure for the evaluation of the composition quality ratio has been developed for multi-layer encapsulant sheet. The recent procedure is presented here as a complete evaluation so that users can perform the procedure and provide feedback towards its future use in this document.

C.2 Composition quality ratio (CQR)

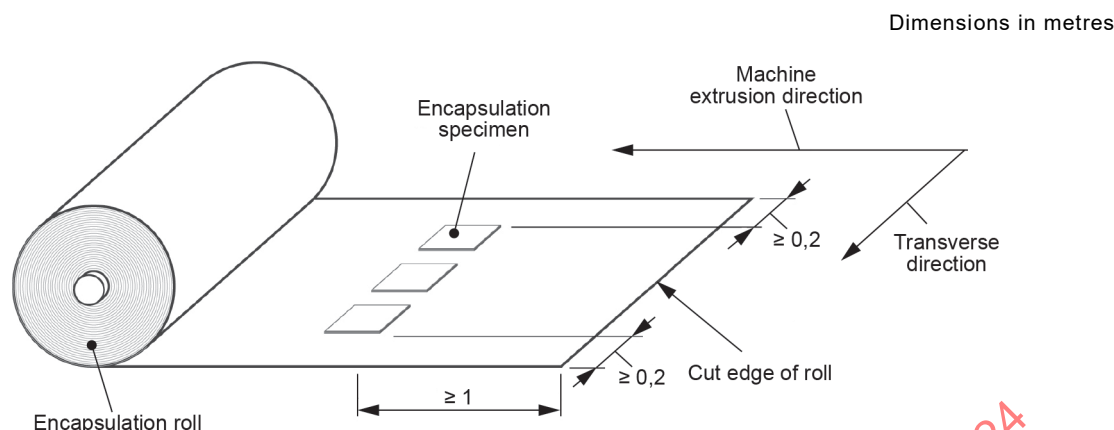
Encapsulant sheet may be made of laminated layers, including EVA and PO. Encapsulant sheet may also be made of mixed materials, including EVA and PO. The purpose of this test is to quantify the composition quality ratio (CQR) for the encapsulant, i.e., the amount of EVA relative to other polymer(s). The results of this test can aid the determination of the ideal planer thickness for composite encapsulants. For encapsulants composed of EVA and other polymers, the results of this test shall be reported on the UCF. In the case of encapsulants composed solely of EVA, this test method can be used to estimate the mass content of vinyl acetate of the EVA.

The absolute CQR of a laminated encapsulant sheet (e.g., composed of EVA and PO) depends on the vinyl acetate content (VAc) of the EVA. The VAc of 28 % is typically now used in EVA for PV encapsulants. While this test method provides an estimate, other methods should be used to quantify the true VAc of EVA.

C.3 Sampling

Test samples shall be obtained from a representative roll of film composed of composite encapsulant. Reference samples shall be obtained from a representative roll of encapsulant film composed solely of EVA. Because the curing process can produce volatile species with subsequent mass loss, specimens shall be cured prior to sampling (if applicable) according to the manufacturer's specification, using a process as similar as possible to the method used in the intended manufacturing process. Specimens should be cured between releasable layers in order to ensure a smooth surface, providing uniform sampling of the encapsulant and good thermal contact during measurement. A set of replicate film specimens consistent with ISO 11358-1 shall be obtained (i.e., ≥ 2 replicates, 5 mg to 20 mg in size). To prevent the spurious effects of water, specimens should be desiccated (< 1 % relative humidity) for at least 24 h prior to measurement.

For the purpose of UCF reporting, a minimum of 6 sample sets shall be prepared, where a set sample consists of three specimens. The sample sets shall be obtained from at least two separate rolls of material, where the sample sets shall be taken from the beginning, middle and end of each roll (for a total of 18 specimens). Each sample set consists of a specimen obtained from the interior in addition to two specimens obtained closer to the edges of the roll, as shown in Figure C.1. The sample sets obtained from the "beginning" and "end" of the roll shall be taken at least 1 m from the ends of the roll. For the purpose of manufacturing and process control, the number of samples and number of rolls examined may be determined by the encapsulant manufacturer.



Only the sample set taken at the beginning of a roll is shown.

Figure C.1 – Schematic identifying the location of specimens within a sample set

C.4 Apparatus

A thermogravimetric analyser (TGA) that fulfils the requirements of and is calibrated according to ISO 11358-1 shall be used. Linear temperature control ($20\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$) shall be used; modulated temperature control (e.g., sinusoidal with time, for the determination of activation energy) should not be used. A gas flow rate of $(90 \pm 9)\text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ is recommended for the analytic grade nitrogen purge gas to the specimen. A gas flow rate of $(10 \pm 1)\text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ is recommended for the nitrogen purge gas to the balance. An alternate purge gas (e.g., other than oxygen, where oxidation may greatly affect thermal decomposition) and flow rate (e.g., recommended by the TGA instrument manufacturer) may be used for measurements.

C.5 Procedure

Steps, including: specimen sampling and fabrication; conditioning (desiccation); placement of the sample holder; initiation of purge gas flow; and the measurement, shall be performed according to ISO 11358-1. The initial temperature of $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, and maximum temperature of at least $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, shall be used for the test. One heating cycle (from $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $600\text{ }^{\circ}\text{C}$) shall be used for the CQR test. All results shall be determined from the analysis of the heating cycle in a manner consistent with ISO 11358-1.

Perform the TGA examination for the test specimen.

If a film of the EVA is available (100 % EVA, the same used in the laminated encapsulant sheet), perform the TGA examination for the reference specimen.

The following steps shall be used to determine the CQR.

First, analyse the test specimens (composed of composite encapsulant film):

- Obtain the data profile for the first derivative ($dm\cdot dT^{-1}$) from the raw TGA mass-temperature data for the test specimen.
- Identify the minima between the first and second peak in the data profile for the first derivative of the test specimen. The minima temperature ($T_{\min}$), occurring at approximately $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, may be determined from the temperature at which $dm\cdot dT^{-1}$ is the least. The second derivative may instead be used to determine $T_{\min}$.

- Normalize the data profile for the first derivative of the test specimen with respect to the second peak, occurring from $T_{\min}$ to 600 °C.
- Integrate the data profile for the first derivative of the test specimen for the first peak occurring from 200 °C to $T_{\min}$, $I_{t1} = \int_{200}^{T_{\min}} \frac{dm}{dT} dT$.
- Integrate the data profile for the first derivative of the test specimen for the second peak occurring from $T_{\min}$ to 600 °C, $I_{t2} = \int_{T_{\min}}^{600} \frac{dm}{dT} dT$.
- Determine the mass content of vinyl acetate for the test specimen, $m_{test} = \frac{I_{t1}}{I_{t1} + I_{t2}}$.
- Repeat the procedure for each replicate test specimen.

Second, if a reference specimen was measured, analyse the specimen:

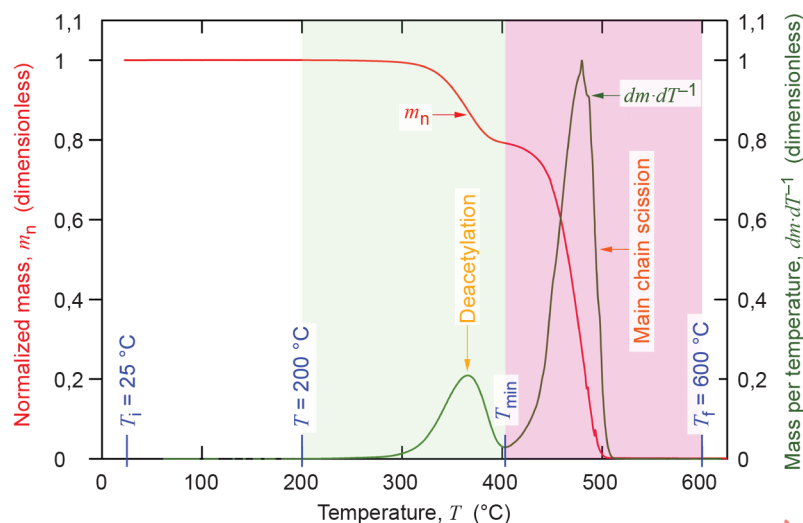
- Obtain the data profile for the first derivative ($dm \cdot dT^{-1}$) from the raw TGA mass-temperature data for the reference specimen.
- Identify the minima between the first and second peak in the data profile for the first derivative of the reference specimen. The minima temperature ($T_{\min}$), occurring at approximately 400 °C, may be determined from the temperature at which $dm \cdot dT^{-1}$ is the least. The second derivative may instead be used to determine $T_{\min}$.
- Normalize the data profile for the first derivative of the reference specimen with respect to the second peak, occurring from $T_{\min}$ to 600 °C.
- Integrate the data profile for the first derivative of the reference specimen for the first peak occurring from 200 °C to $T_{\min}$, $I_{r1} = \int_{200}^{T_{\min}} \frac{dm}{dT} dT$.
- Integrate the data profile for the first derivative of the reference specimen for the second peak occurring from $T_{\min}$ to 600 °C, $I_{r2} = \int_{T_{\min}}^{600} \frac{dm}{dT} dT$.
- Determine the mass content of vinyl acetate for the reference specimen, $m_{ref} = \frac{I_{r1}}{I_{r1} + I_{r2}}$.
- Repeat the procedure for each replicate reference specimen.

If no reference specimen was measured, the VAc may be taken for the EVA resin or may otherwise be assumed, e.g., $m_{ref} = 0,28$.

Third, determine the CQR from the analysis, $CQR = 100 \left(1 - \frac{m_{test}}{m_{ref}} \right)$.

- Repeat the procedure for each pair of replicate test and reference specimens.

Figure C.2 shows the temperatures for measurement and analysis, relative to the peaks for deacetylation (for EVA only) and main chain scission (for EVA and polyolefins). $dm \cdot dT^{-1}$ is taken as the average of nine data points (at each read point, including the four previous lower temperatures and the next four higher temperatures). $T_{\min}$ occurs at 403,16 °C, the minimum value for the average $dm \cdot dT^{-1}$ between the deacetylation and main chain scission peaks.



Key temperatures for analysis are labelled relative to the $dm \cdot dT^{-1}$ decomposition peaks.

Figure C.2 – Example TGA measurement for 28 % VAc EVA, obtained using nitrogen purge gas (specimen and balance)

If the replicate measurements differ by more than 10 %, the test shall be repeated to obtain a valid result.

NOTE Factors including poor thermal contact to the crucible, material shelf life, and material degradation can affect the test. Therefore, two specimens are examined to ensure a valid result.

C.6 Reporting

The CQR shall be reported, including its nominal (average) value and its variation. The variation shall be indicated for two standard deviations, using the method of propagation of uncertainty for m_{test} and m_{ref} . The VAc of the EVA may also be reported similar to the CQR. Identify the T_{min} and the method used to determine T_{min} . The purge gas composition and the flow rate (to the balance and to the specimen) shall be reported.

Bibliography

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

IEC 62790:2020, *Junction boxes for photovoltaic modules – Safety requirements and tests*

- [1] David C. Miller, Jaione Apezteguia, Jayesh G. Bokria, Michael Köhl, Nick E. Powell, Michael E. Smith, Michael D. White, Helen Rose Wilson, and John H. Wohlgemuth, "Examination of An Optical Transmittance Test for Photovoltaic Encapsulation Materials", Proc SPIE, 2013, 8825-8
- [2] David C. Miller, Jayesh G. Bokria, David M. Burns, Sean Fowler, Xiaohong Gu, Peter L. Hacke, Christian C. Honeker, Michael D. Kempe, Michael Köhl, Nancy H. Phillips, Kurt P. Scott, Ashish Singh, Shigeo Suga, Shin Watanabe, and Allen F. Zielnik, "Degradation in PV Encapsulant Transmittance: Results of the First PVQAT TG5 Study," PIP, 2020, 639-658, <https://doi.org/10.1002/pip.3103>
- [3] Joshua Morse, Michael Thuis, Derek Holsapple, Ryan Willis, David C. Miller, "Degradation in photovoltaic encapsulant transmittance: Results of the Second Photovoltaic Quality Assurance Task Force Task Group 5 Artificial Weathering Study", PIP, 30 (7), 2022, 763-783. <https://doi.org/10.1002/pip.3551>
- [4] John M. Moseley, David C. Miller, Qurat-UI-Ain Syed Jawed Shah, Keiichiro Sakurai, Michael D. Kempe, Govindasamy Tamizhmani, and Sarah R. Kurtz, "The Melt Flow Rate Test in a Reliability Study of Thermoplastic Encapsulation Materials in Photovoltaic Modules," NREL/TP-5200-52586, 2011, 1-20
- [5] Michael D. Kempe, David C. Miller, John H. Wohlgemuth, Sarah R. Kurtz, John M. Moseley, Qurat Annie Shah, Govindasamy Tamizhmani, Keiichiro Sakurai, Masanao Inoue, Takuya Doi, Atsushi Masuda, Sam L. Samuels and Crystal E. Vanderpan, "Field Testing of Thermoplastic Encapsulants in High Temperature Installations," Energy Science and Engineering, 3 (6), 2015, 565-580
- [6] David C. Miller, Xiaohong Gu, Steven V. Haldeman, Manuel Hidalgo, Enno Malguth, Charles G. Reid, Tsuyoshi Shioda, Stefan Schulze, Zhaoyun Wang, and John H. Wohlgemuth, "Examination of a Standardized Test for Evaluating the Degree of Cure of EVA Encapsulation," Proc Asian PVSEC, 2013, 6-O-11
- [7] David C. Miller, Liang Ji, George Kelly, Xiaohong Gu, Nichole Nickel, Paul Norum, Tsuyoshi Shioda, Govindasamy Tamizhmani, and John H. Wohlgemuth, "Examination of Size-Change Test for PV Encapsulation Materials," Proc. SPIE, 2012, 8472-29
- [8] Michael D. Kempe, David C. Miller, Dylan L. Nobles, Keiichiro Sakurai, John Tucker, Jayesh G. Bokria, Tsuyoshi Shioda, Kumar Nanjundiah, Toshio Yoshihara, Jeff Birchmier, Oihana Zubillaga, John H. Wohlgemuth, "Development of a Resistivity Standard for Polymeric Materials Used in Photovoltaic Modules," Proc. SPIE, 2015, 9563-02

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62788-1-1:2024

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	58
1 Domaine d'application	60
2 Références normatives	60
3 Termes et définitions	63
4 Principe	65
5 Méthodes d'essai	68
5.1 Généralités	68
5.2 Optique	68
5.2.1 Optique: facteur de transmission et longueur d'onde de coupure des UV	68
5.2.2 Optique: durabilité du facteur de transmission	69
5.2.3 Optique: indice de réfraction	70
5.3 Mécanique	71
5.3.1 Mécanique: dimension linéaire (largeur)	71
5.3.2 Mécanique: masse surfacique	71
5.3.3 Mécanique: épaisseur plane théorique	72
5.3.4 Mécanique: module de conservation et facteur de perte	74
5.3.5 Mécanique: dureté	75
5.3.6 Mécanique: coefficient de dilatation thermique linéique (CTE)	76
5.3.7 Mécanique: adhésion	77
5.3.8 Mécanique: durabilité d'adhésion	83
5.3.9 Mécanique: températures de transition de phase et de transition vitreuse	85
5.3.10 Mécanique: Degré de durcissement (DoC) de l'EVA	86
5.3.11 Mécanique: variation des dimensions linéaires (CiLD)	87
5.3.12 Mécanique: charge bloquante	88
5.4 Électrique	89
5.4.1 Électrique: résistivité transversale	89
5.4.2 Électrique: indice de résistance au cheminement (IRC)	90
5.5 Thermique	91
5.5.1 Thermique: conductivité	91
5.5.2 Thermique: température de décomposition (TDT)	92
5.6 Chimique	93
5.6.1 Chimique: coefficient de transmission de la vapeur d'eau	93
5.6.2 Chimique: absorption d'eau	93
5.7 Inflammation et inflammabilité	94
5.8 Essais de vieillissement accéléré	94
6 Formulaire uniforme de caractérisation (UCF)	94
6.1 Généralités	94
6.2 Informations détaillées de l'UCF	95
6.3 Exigences de consignation des informations	98
7 Consignation des informations dans les fiches techniques	98
7.1 Généralités	98
7.2 Objet	98
7.3 Informations détaillées de la fiche technique	98
7.4 Exigences de consignation des informations	99
8 Fiche (étiquette) d'identification du produit	100

9	Documentation et essais des matériaux identiques	100
9.1	Désignation du modèle et de la variante	100
9.2	Généralités	100
9.3	Variantes des matériaux constitutifs, lamination et fabrication.....	101
9.4	Autre épaisseur ou texture superficielle	102
9.5	Variantes de couleurs	102
9.6	Différence admise en matière de performance, de durabilité et de traitement des résultats	102
9.7	Consignation des informations	104
10	Rapport d'essai	105
	Annexe A (informative) Durabilité d'adhésion de l'encapsulant	106
A.1	Généralités	106
A.2	Documents de référence – vieillissement accéléré/durabilité d'adhésion de l'encapsulant	106
	Annexe B (informative) Méthode d'essai d'adhésion par poutre simple en porte-à-faux.....	108
B.1	Généralités	108
B.2	Documents de référence – méthode d'essai d'adhésion SCB	108
	Annexe C (Informative) Méthode d'essai du taux composition qualité (CQR)	109
C.1	Généralités	109
C.2	Taux composition qualité (CQR)	109
C.3	Échantillonnage	109
C.4	Appareillage.....	110
C.5	Procédure	110
C.6	Consignation des informations	112
	Bibliographie.....	113
	Figure 1 – Représentation schématique (section et partie latérale) des éprouvettes et de la mise en œuvre de l'essai de pelage, y compris a) l'interface feuille arrière/encapsulant, b) l'interface encapsulant/verre, c) l'interface encapsulant/cellule et d) l'interface encapsulant-1/encapsulant-2	79
	Figure 2 – Représentation schématique de la configuration des éprouvettes dans un coupon laminé pour l'interface feuille arrière/encapsulant	80
	Figure 3 – Représentation schématique d'un exemple de profils de données pour l'essai de pelage à 180°	83
	Figure 4 – Organigramme pour l'évaluation d'une variante d'encapsulant par rapport à un encapsulant sélectionné dans l'IEC 62788-1-1	103
	Figure C.1 – Représentation schématique de l'emplacement des éprouvettes dans un ensemble d'échantillons.....	110
	Figure C.2 – Exemple de mesurage TGA pour une VAc de l'EVA de 28 %, obtenue à l'aide d'azote gazeux de purge (éprouvette et balance).....	112
	Tableau 1 – Synthèse générale des caractéristiques des encapsulants et de leur utilisation dans les applications suivantes: formulaire universel de caractérisation, consignation des informations dans les fiches techniques, contrôle de procédé et de fabrication et exposition aux intempéries	66
	Tableau 2 – Valeurs de masse volumique représentatives pour les encapsulants photovoltaïques courants	73
	Tableau 3 – Informations détaillées du formulaire uniforme de caractérisation (UCF) pour les encapsulants PV polymères.	96
	Tableau 4 – Caractéristiques minimales exigées pour la fiche technique	99

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PROCÉDURES DE MESURE DES MATÉRIAUX UTILISÉS DANS LES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 1-1: Encapsulants – Matériaux polymères utilisés pour l'encapsulation

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 du présent document de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevets. L'IEC ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à la portée de ces droits de propriété. À la date de publication du présent document, l'IEC n'a reçu aucune déclaration relative à des droits de brevets, qui pourraient être exigés pour la mise en œuvre du présent document. Toutefois, il est rappelé aux responsables de cette mise en œuvre qu'il ne s'agit peut-être pas des informations les plus récentes, qui peuvent être obtenues dans la base de données disponible à l'adresse <https://patents.iec.ch>. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 62788-1-1 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
82/2239/FDIS	82/2261/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.

Ce 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/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, ou
- révisé.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de ce document indique qu'il 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.

PROCÉDURES DE MESURE DES MATÉRIAUX UTILISÉS DANS LES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 1-1: Encapsulants – Matériaux polymères utilisés pour l'encapsulation

1 Domaine d'application

L'encapsulant remplit les objectifs suivants: couplage optique de la cellule à une source de rayonnement externe; fixation mécanique et maintien des composants de modules dans leurs positions relatives; isolation électrique des composants de modules; couplage thermique des composants de modules et protection chimique de ces mêmes composants (par exemple, par limitation de la concentration et du transport de l'eau et/ou de l'oxygène). La présente partie de l'IEC 62788 définit les méthodes d'essai et les exigences de consignation des caractéristiques (optiques, mécaniques, électriques, thermiques et chimiques) des matériaux polymères non rigides (par exemple, copolymère d'éthylène-acétate de vinyle (EVA -ethylene-co-vinyl acetate)) destinés à être utilisés comme encapsulants polymères dans les modules photovoltaïques (PV) pour applications terrestres.

Généralement, les encapsulants sont considérés comme des isolateurs fonctionnels, c'est-à-dire qu'ils fournissent une isolation électrique lorsqu'ils sont présents, mais ils peuvent ne pas satisfaire aux exigences de l'isolation attendue. Les exigences relatives à l'isolation attendue sont identifiées dans l'IEC 61730-1 et l'IEC 62788-2-1.

Les méthodes d'essai spécifiées dans le présent document définissent comment caractériser les matériaux encapsulants d'une manière représentative de leur mode d'utilisation dans le module, qui comprend une combinaison avec d'autres composants utilisés pour les feuilles avant et arrière, les adhésifs, les joints d'étanchéité périphériques ou le verre. Les méthodes décrites dans le présent document viennent à l'appui et complètent les essais liés à la sûreté de fonctionnement et aux performances définis au niveau du module PV, comme cela est défini dans l'IEC 61730-2 et l'IEC 61215-2. Le présent document définit également des méthodes d'essai pour une évaluation générale des caractéristiques matérielles des encapsulants polymères.

Les méthodes d'essai décrites dans le présent document peuvent être utilisées aux fins suivantes: consignation des informations dans les fiches techniques (aide à la conception des modules ou à la recherche et au développement de matériaux); contrôle de procédé et de fabrication (par exemple, contrôle de réception ou de sortie); application dans les protocoles de sécurité des modules et de qualification du type de conception; ou développement d'études de normes de fiabilité et de durabilité.

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 60112, *Méthode de détermination des indices de résistance et de tenue au cheminement des matériaux isolants solides*

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

IEC 61730-1:2023, *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 62788-1-2, *Procédures de mesure des matériaux utilisés dans les modules photovoltaïques – Partie 1-2: Encapsulants – Mesurage de la résistivité transversale des encapsulants photovoltaïques et autres matériaux polymères*

IEC 62788-1-4, *Procédures de mesure des matériaux utilisés dans les modules photovoltaïques – Partie 1-4: Encapsulants – Mesurage du facteur de transmission optique et calcul du facteur de transmission photonique à pondération solaire, de l'indice de jaunissement et de la fréquence de coupure des UV*

IEC 62788-1-5, *Procédures de mesure des matériaux utilisés dans les modules photovoltaïques – Partie 1-5: Encapsulants – Mesurage de la variation des dimensions linéaires des matériaux d'encapsulation en couches minces résultant des conditions thermiques appliquées*

IEC 62788-1-6, *Procédures de mesure des matériaux utilisés dans les modules photovoltaïques – Partie 1-6: Encapsulants – Méthodes d'essai pour déterminer le degré de durcissement dans l'éthylène-acétate de vinyle*

IEC 62788-1-7, *Procédures de mesure des matériaux utilisés dans les modules photovoltaïques – Partie 1-7: Encapsulants – Procédure d'essai de la durabilité optique*

IEC TS 62788-2:2024, *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Part 2: Polymeric materials – Frontsheets and backsheets* (disponible en anglais seulement)

IEC 62788-2-1, *Procédures de mesure des matériaux utilisés dans les modules photovoltaïques – Partie 2-1: Matériaux polymères – Face avant et face arrière – Exigences de sécurité*

IEC 62788-5-1:2020, *Procédures de mesure des matériaux utilisés dans les modules photovoltaïques – Partie 5-1: Joints d'étanchéité périphériques – Méthodes d'essai suggérées pour l'utilisation des matériaux de joints d'étanchéité périphériques*

IEC 62788-6-2:2020, *Procédures de mesure des matériaux utilisés dans les modules photovoltaïques – Partie 6-2: Essais génériques – Essais de perméation à l'humidité des matériaux polymères*

IEC TS 62788-6-3, *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Part 6-3: Adhesion testing for PV module laminates using the single cantilevered beam (SCB) method* (disponible en anglais seulement)

IEC TS 62788-7-2, *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Part 7-2: Environmental exposures – Accelerated weathering tests of polymeric materials* (disponible en anglais seulement)

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

IEC 62941, *Modules photovoltaïques (PV) pour applications terrestres – Système de qualité pour la fabrication des modules photovoltaïques*

ISO 48-4, *Caoutchouc vulcanisé ou thermoplastique – Détermination de la dureté – Partie 4: Dureté par pénétration par la méthode au duromètre (dureté Shore)*

ISO 48-9, *Caoutchouc vulcanisé ou thermoplastique – Détermination de la dureté – Partie 9: Étalonnage et vérification des duromètres*

ISO 62, *Plastiques – Détermination de l'absorption d'eau*

ISO 291:2008, *Plastiques – Atmosphères normales de conditionnement et d'essai*

ISO 489, *Plastiques – Détermination de l'indice de réfraction*

ISO 536, *Papier et carton – Détermination du grammage*

ISO 1183-1, *Plastiques – Méthodes de détermination de la masse volumique des plastiques non alvéolaires – Partie 1: Méthode par immersion, méthode du pycnomètre en milieu liquide et méthode par titrage*

ISO 1183-2, *Plastiques – Méthodes de détermination de la masse volumique des plastiques non alvéolaires – Partie 2: Méthode de la colonne à gradient de masse volumique*

ISO 6721-1:2019, *Plastiques – Détermination des propriétés mécaniques dynamiques – Partie 1: Principes généraux*

ISO 6721-4, *Plastiques – Détermination des propriétés mécaniques dynamiques – Partie 4: Vibration en traction – Méthode hors résonance*

ISO 8510-2, *Adhésifs – Essai de pelage pour un assemblage collé flexible-sur-rigide – Partie 2: Pelage à 180°*

ISO 9001, *Systèmes de management de la qualité – Exigences*

ISO 11357-1, *Plastiques – Analyse calorimétrique différentielle (DSC) – Partie 1: Principes généraux*

ISO 11357-2, *Plastiques – Analyse calorimétrique différentielle (DSC) – Partie 2: Détermination de la température et de la hauteur de palier de transition vitreuse*

ISO 11357-3, *Plastiques – Analyse calorimétrique différentielle (DSC) – Partie 3: Détermination de la température et de l'enthalpie de fusion et de cristallisation*

ISO 11358-1, *Plastiques – Thermogravimétrie (TG) des polymères – Partie 1: Principes généraux*

ISO 11359-1, *Plastiques – Analyse thermomécanique (TMA) – Partie 1: Principes généraux*

ISO 11359-2, *Plastiques – Analyse thermomécanique (TMA) – Partie 2: Détermination du coefficient de dilatation thermique linéique et de la température de transition vitreuse*

ISO 11502, *Plastiques – Film et feuille – Détermination du pouvoir bloquant*

ISO 15106-2, *Plastiques – Film et feuille – Détermination du coefficient de transmission de vapeur d'eau – Partie 2: Méthode utilisant un détecteur infrarouge*

ISO 15106-3, *Plastiques – Film et feuille – Détermination du coefficient de transmission de vapeur d'eau – Partie 3: Méthode utilisant un détecteur électrolytique*

ISO 22007-4, *Plastiques – Détermination de la conductivité thermique et de la diffusivité thermique – Partie 4: Méthode flash laser*

ASTM D2240, *Standard Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness*

ASTM D3418, *Standard Test Method for Transition Temperatures and Enthalpies of Fusion and Crystallization of Polymers by Differential Scanning Calorimetry*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions 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 <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>

3.1

rupture d'adhésion

décollement qui se produit entre l'adhésif et le support (rupture différente de la rupture de cohésion qui se produit dans le matériau adhésif)

3.2

rupture de cohésion

rupture par fracture, avec propagation de fissures dans la masse d'un matériau

3.3

encapsulant

matériau utilisé entre le substrat et le superstrat pour assurer aux cellules photovoltaïques une protection environnementale dans un module photovoltaïque

[SOURCE: IEC TS 61836:2016, 3.1.30]

3.4

fickien

terme qui décrit un matériau dont la diffusivité est constante, indépendamment de la concentration du perméant dans les limites de l'incertitude expérimentale

[SOURCE: IEC 62788-6-2:2020, 3.1.2]

3.5

boîte de jonction de module

j-box

assemblage de composants, tels que des boîtes, capots, plaques de couverture, couvercles, extensions de boîte, accessoires, etc., assurant, après assemblage et installation sur le module photovoltaïque en usage normal, un degré approprié de protection contre les influences externes et un degré défini de protection contre les contacts avec les parties actives enfermées dans toutes les directions accessibles

[SOURCE: IEC 62790:2020, 3.1]

3.6

essai facultatif

essai dont la réalisation n'est pas exigée, mais qui peut être réalisé

3.7

matériaux polymères

matériaux naturels ou synthétiques essentiellement composés de monomères enchaînés, de combinaisons de monomères ou de polymères combinés, et qui peuvent contenir des agents de réticulation, des charges, des colorants et d'autres additifs

3.8

couche de séparation

matériau pelliculaire dont l'épaisseur est comprise entre 50 µm et 250 µm et qui est inséré dans un empilement de couches avant lamination afin de rendre inactive l'adhésion entre les interfaces

Note 1 à l'article: Les feuilles de fluoropolymère (par exemple, PTFE, FEP, ETFE), ainsi que les feuilles traitées au silicone constituent des exemples de matériaux de séparation adaptés (voir l'IEC TS 62788-2).

3.9

isolation attendue

RUI

système assurant la protection contre les chocs électriques dans l'application finale, avec des exigences concernant le matériau relatives à l'épaisseur, à l'endurance thermique et à la résistance contre les facteurs de contrainte environnementale

Note 1 à l'article: L'abréviation "RUI" est dérivée du terme anglais développé correspondant "relied upon insulation".

[SOURCE: IEC 61730-1:2023, 3.4.12]

3.10

essai exigé

essai dont la réalisation est exigée (par exemple, pour la consignation des informations dans les fiches techniques), y compris la qualification des modules

3.11

module de conservation

partie réelle du module complexe

[SOURCE: ISO 6721-1:2001, 3.2]

3.12

substrat

feuille arrière

BS

couche extérieure ou (combinaison des) couches extérieures du module PV, disposée en tant que substrat sur la partie arrière dudit module et qui assure la protection des composants internes de ce dernier contre les contraintes externes et les intempéries en fournissant également une isolation électrique entre les parties actives et les surfaces accessibles

Note 1 à l'article: L'IEC TS 62788-2 fournit des informations détaillées sur les propriétés matérielles exigées des feuilles arrière polymères, alors que l'IEC 62788-2-1 fournit les exigences de sécurité concernant les feuilles arrière polymères.

Note 2 à l'article: L'abréviation "BS" est dérivée du terme anglais développé correspondant "backsheets".

[SOURCE: IEC TS 62788-2:2024, 3.4]

3.13 superstrat feuille avant FS

couche extérieure ou (combinaison des) couches extérieures du module PV, disposée en tant que superstrat sur la partie avant dudit module et qui assure la protection des composants internes de ce dernier contre les contraintes externes et les intempéries en fournissant également une isolation électrique entre les parties actives et les surfaces accessibles

Note 1 à l'article: L'IEC TS 62788-2 fournit des informations détaillées sur les propriétés matérielles exigées des feuilles avant polymères, alors que l'IEC 62788-2-1 fournit les exigences de sécurité concernant les feuilles avant polymères.

Note 2 à l'article: L'abréviation "FS" est dérivée du terme anglais développé correspondant "frontsheet"

[SOURCE: IEC TS 62788-2:2024, 3.13]

4 Principe

Pour la conformité avec le présent document, les procédures d'essai suivantes doivent être utilisées pour évaluer les caractéristiques optiques, mécaniques, électriques, thermiques et chimiques des matériaux polymères destinés à être utilisés comme encapsulants dans les modules PV pour applications terrestres.

Le formulaire universel de caractérisation (UCF - universal characterization form) permet la consignation exhaustive normalisée des caractéristiques souvent prises en considération pour les encapsulants, y compris celles qui figurent sur la fiche technique. Pour les besoins de l'UCF, les caractéristiques marquées avec un ("✓") dans le Tableau 1 sont exigées. L'UCF et ses exigences sont décrits à l'Article 6.

Pour les besoins de consignation des informations dans les fiches techniques, il est exigé d'utiliser les méthodes décrites dans la présente norme pour spécifier les caractéristiques marquées avec un ("✓") dans le Tableau 1. Les caractéristiques facultatives supplémentaires qui peuvent être utiles pour l'utilisation des encapsulants dans la technologie des modules photovoltaïques sont identifiées par un ("O") dans le Tableau 1.

Les caractéristiques les plus fréquemment utilisées à des fins de contrôle de procédé ou de fabrication sont identifiées par un ("✓") dans le Tableau 1. Les caractéristiques supplémentaires qui peuvent également être renseignées pour les encapsulants photovoltaïques sont identifiées par un ("O") dans le Tableau 1. L'utilisation de ces méthodes est actuellement considérée comme constituant un essai facultatif. Les méthodes identifiées ici comme méthodes exigées ou facultatives sont destinées à faciliter l'utilisation de l'IEC 62941. L'utilisation des caractéristiques à des fins de contrôle de procédé ou de fabrication n'est pas exigée dans le présent document. En revanche, les caractéristiques identifiées par les fabricants comme satisfaisant à l'IEC 62941 doivent être considérées comme constituant un essai exigé, et les caractéristiques supplémentaires éventuelles doivent être considérées comme constituant un essai facultatif.

Certaines caractéristiques sont plus facilement altérées par l'exposition aux intempéries. Les caractéristiques essentielles qui doivent être examinées conjointement au vieillissement accéléré sont identifiées par un ("✓") dans le Tableau 1 du présent document. L'examen du facteur de transmission optique et de la longueur d'onde de coupure des UV pour l'exposition aux intempéries des encapsulants conformément à l'IEC 62788-1-7 (si cela impacte la production d'électricité), ainsi que de la durabilité d'adhésion de l'encapsulant aux essais accélérés, est exigé pour le présent document. Les résultats de l'essai doivent être consignés dans la fiche technique de l'encapsulant.

Tableau 1 – Synthèse générale des caractéristiques des encapsulants et de leur utilisation dans les applications suivantes: formulaire universel de caractérisation, consignation des informations dans les fiches techniques, contrôle de procédé et de fabrication et exposition aux intempéries

Type	Caractéristique	Paragraphe	Référence	Formulaire universel de caractérisation (UCF)	Consignation des informations dans les fiches techniques	Contrôle de procédé et de fabrication	Exposition aux intempéries
Optique si cela impacte la production d'électricité	Facteur de transmission et longueur d'onde de coupure des UV	5.2.1	IEC 62788-1-4	✓	✓		
	Durabilité du facteur de transmission	5.2.2	IEC 62788-1-7	✓	✓		✓
	Indice de réfraction	5.2.3	ISO 489	✓	0		
Mécanique	Dimension linéaire (largeur)	5.3.1	IEC 62788-1-1	✓	0	0	
	Masse surfacique	5.3.2	ISO 536	✓	0		
	Épaisseur plane théorique	5.3.3	ISO 1183-1; ISO 1183-2	✓	0	0	
	Module de conservation et facteur de perte	5.3.4	ISO 6721-1; ISO 6721-4	✓	✓		
	Dureté	5.3.5	ISO 48-4; ISO 48-9	✓	0		
	Coefficient de dilatation thermique linéique (CTE)	5.3.6	ISO 11359-2	✓	0		
	Adhésion (encapsulant/verre), (encapsulant/cellule)	5.3.7	ISO 8510-2; IEC TS 62788-6-3	✓	✓	0	
	Adhésion (feuille arrière/encapsulant), (encapsulant-1/encapsulant-2)	5.3.7	ISO 8510-2; IEC TS 62788-6-3	0	0	0	
	Durabilité d'adhésion (encapsulant/verre), (encapsulant/cellule)	5.3.8		✓	✓		✓
	Durabilité d'adhésion (feuille arrière/encapsulant), (encapsulant-1/encapsulant-2)	5.3.8		0	0		0
	Températures de transition de phase et de transition vitreuse	5.3.9	ISO 11357-1; ISO 11357-2; ISO 11357-3	✓	0		

Type	Caractéristique	Paragraphe	Référence	Formulaire universel de caractérisation (UCF)	Consignation des informations dans les fiches techniques	Contrôle de procédé et de fabrication	Exposition aux intempéries
	Degré de durcissement (DoC) de l'EVA	5.3.10	IEC 62788-1-6	✓		✓	
	Variation des dimensions linéaires (CILd)	5.3.11	IEC 62788-1-5	✓	✓	✓	
	Charge bloquante	5.3.12	ISO 11502	✓	0		
Électrique	Résistivité transversale	5.4.1	IEC 62788-1-2	✓	✓	✓	
	Indice de résistance au cheminement (IRC)	5.4.2	IEC 60112	✓	0		
Thermique	Conductivité	5.5.1	ISO 22007-4	✓	0		
	Température de décomposition (TDT)	5.5.2	ISO 11358-1	✓	0		
	Coefficient de transmission de la vapeur d'eau	5.6.1	IEC 62788-6-2; ISO 15106-2; ISO 15106-3	✓	✓		
Chimique	Absorption d'eau	5.6.2	IEC 62788-6-2; ISO 62	✓	0		
✓: caractérisation de matériau exigée.							
O: caractérisation de matériau facultative.							

Certaines caractéristiques supplémentaires des encapsulants qui se révèlent utiles, ou auxquelles des exigences nationales ou locales peuvent être associées, peuvent être traitées au niveau du module plutôt que dans les essais des composants. Par exemple, il convient d'utiliser les essais de modules pour traiter l'allumabilité ou l'inflammabilité. Bien que les méthodes employées pour déterminer ces caractéristiques ne constituent pas des essais exigés pour le présent document, elles sont identifiées en 5.7 à des fins informatives.

5 Méthodes d'essai

5.1 Généralités

Les méthodes suivantes incluent les essais qui permettent d'examiner les caractéristiques optiques, mécaniques (ou physiques), électriques, thermiques et chimiques des encapsulants PV. Ces méthodes peuvent être utilisées pour la consignation des informations dans les fiches techniques, la consignation de l'UCF et toute autre forme de consignation relatives aux encapsulants PV.

5.2 Optique

5.2.1 Optique: facteur de transmission et longueur d'onde de coupure des UV

5.2.1.1 Généralités

Cet essai a pour objet de quantifier les performances optiques de l'encapsulant si cela impacte la production d'électricité. Le facteur de transmission peut être pris en considération pour des besoins tels que le choix des matériaux, le contrôle du procédé de fabrication et la conception des modules PV. Des éprouvettes coupons laminées doivent être utilisées afin de faciliter le mesurage et permettre de comparer différents matériaux. Les résultats de l'essai doivent être inclus dans la fiche technique du fabricant. Le développement de la norme de facteur de transmission optique est décrit en [1]¹.

5.2.1.2 Échantillonnage

Des échantillons de film doivent être obtenus à partir d'un rouleau d'encapsulant représentatif. Des coupons verre laminé/encapsulant/verre doivent être créés dont la composition, la taille et la construction sont conformes à l'IEC 62788-1-4. Le nombre d'éprouvettes identiques doit satisfaire aux exigences de l'IEC 62788-1-4 (par exemple, ≥ 3 éprouvettes identiques).

5.2.1.3 Appareillage

Un spectrophotomètre qui satisfait aux exigences de l'IEC 62788-1-4 doit être utilisé pour les mesurages du facteur de transmission.

5.2.1.4 Procédure

Conditionner les éprouvettes non soumises au vieillissement avant mesurage conformément à l'IEC 62788-1-4. Les mesurages des éprouvettes exposées aux intempéries ou des éprouvettes soumises à un vieillissement accéléré peuvent exiger un conditionnement supplémentaire, comme cela est décrit dans l'IEC 62788-1-4 et/ou dans les normes de vieillissement accéléré.

Suivre la procédure de réalisation des mesurages du facteur de transmission décrite dans l'IEC 62788-1-4.

L'analyse des données doit être effectuée conformément à l'IEC 62788-1-4 afin d'obtenir les caractéristiques du facteur de transmission à pondération solaire représentatif de l'éclairement photonique, du facteur de transmission à pondération solaire de l'éclairement photonique, de la longueur d'onde de coupure des UV et de l'indice de jaunissement.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

5.2.1.5 Exigences de consignation des informations

Les performances optiques doivent être consignées selon une méthode conforme à l'IEC 62788-1-4. Les caractéristiques du facteur de transmission à pondération solaire représentatif de l'éclairement photonique, de l'indice de jaunissement et de la longueur d'onde de coupure des UV doivent être consignées dans les fiches techniques de produits. Les performances optiques, y compris l'indice de jaunissement, peuvent également être examinées avec l'exposition aux intempéries.

5.2.2 Optique: durabilité du facteur de transmission

5.2.2.1 Généralités

Cet essai a pour objet de quantifier la durabilité des performances optiques à l'exposition aux intempéries sous l'effet des UV si cela impacte la production d'électricité. Les résultats de l'essai peuvent être utilisés pour faciliter le choix des matériaux. Il est avéré que la décoloration de l'encapsulant réduit la quantité d'électricité produite par un module PV au cours de sa durée de vie [2], [3]. Des éprouvettes coupons laminées doivent être utilisées afin de faciliter le mesurage et permettre de comparer différents matériaux. Les résultats de l'essai doivent être inclus dans la fiche technique du fabricant. Le développement de la norme de durabilité optique est décrit dans les références à l'Article A.2.

5.2.2.2 Échantillonnage

Des échantillons de film doivent être obtenus à partir d'un rouleau d'encapsulant représentatif. Des coupons verre laminé/encapsulant/verre doivent être créés dont la composition, la taille et la construction sont conformes à l'IEC 62788-1-7. Le nombre d'éprouvettes identiques doit satisfaire aux exigences de l'IEC 62788-1-7 (c'est-à-dire ≥ 3 éprouvettes identiques).

5.2.2.3 Appareillage

Un spectrophotomètre qui satisfait aux exigences de l'IEC 62788-1-7 doit être utilisé pour les mesurages du facteur de transmission.

5.2.2.4 Procédure

Les étapes, qui comprennent l'examen visuel, le conditionnement des éprouvettes, le mesurage du facteur de transmission et l'exposition aux intempéries, doivent être exécutées conformément à l'IEC 62788-1-7.

L'analyse des données doit être effectuée conformément à l'IEC 62788-1-7 afin d'obtenir les caractéristiques du facteur de transmission à pondération solaire représentatif de l'éclairement photonique, du facteur de transmission à pondération solaire de l'éclairement photonique, de la longueur d'onde de coupure des UV et de l'indice de jaunissement.

5.2.2.5 Exigences de consignation des informations

Les performances optiques doivent être consignées selon une méthode conforme à l'IEC 62788-1-7. Les variations du facteur de transmission à pondération solaire représentatif de l'éclairement photonique, de l'indice de jaunissement et de la longueur d'onde de coupure des UV doivent être consignées dans les fiches techniques de produits, outre le résultat de réussite/échec défini dans l'IEC 62788-1-7.

5.2.3 Optique: indice de réfraction

5.2.3.1 Généralités

Cet essai a pour objet de quantifier la vitesse de phase de la lumière dans l'encapsulant par rapport à la vitesse de la lumière dans le vide si cela impacte la production d'électricité. L'indice de réfraction peut être pris en considération dans le choix des matériaux et/ou la conception d'un module PV, y compris à des fins d'analyse optique pour l'évaluation de la perte de performances. L'indice de réfraction affecte les parties relatives de la lumière qui sont soit rétroréfléchies, soit couplées à la cellule photovoltaïque dans un module. Les résultats de l'essai peuvent (de manière facultative) être inclus dans la fiche technique du fabricant.

5.2.3.2 Échantillonnage

Des échantillons doivent être obtenus à partir d'un rouleau d'encapsulant représentatif. Il convient de durcir (le cas échéant) les éprouvettes selon les spécifications du fabricant au moyen d'un procédé le plus proche possible de la méthode utilisée dans le procédé de fabrication prévu. Le durcissement des éprouvettes peut s'effectuer entre les couches de séparation afin d'obtenir une surface lisse. Un ensemble d'éprouvettes de films identiques conformes à la méthode A décrite dans l'ISO 489 doit être utilisé (c'est-à-dire ≥ 5 éprouvettes identiques).

5.2.3.3 Appareillage

Un réfractomètre d'Abbe qui satisfait aux exigences de l'ISO 489 doit être utilisé pour les mesurages de l'indice de réfraction. L'instrument doit fournir un éclairage monochromatique ou quasi monochromatique de l'éprouvette avec une répartition spectrale centrée à une longueur d'onde de 589,3 nm. Le laboratoire doit être réglé de manière à maintenir un environnement conforme à la classe 2 de l'ISO 291, c'est-à-dire, une température de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ et une humidité relative de $(50 \pm 10) \%$.

5.2.3.4 Procédure

Les étapes, qui comprennent la stabilisation de la lampe source, l'utilisation d'un liquide de contact (pour couplage optique) et le mesurage de l'indice de réfraction, doivent être exécutées selon la méthode A décrite dans l'ISO 489.

Certains matériaux encapsulants, comme le copolymère d'acétate de vinyle-éthylène, sont biréfringents. Il convient d'accorder une attention particulière à ces matériaux lors de la préparation des échantillons afin de réduire le plus possible la contrainte résiduelle exercée sur les éprouvettes. Dans le cas d'une biréfringence forte, un filtre polarisant peut être utilisé avec le réfractomètre d'Abbe afin de déterminer la plage de l'indice de réfraction, entre les orientations de polarisation parallèle et perpendiculaire.

5.2.3.5 Exigences de consignation des informations

L'indice de réfraction doit être consigné selon une méthode conforme à l'ISO 489. Les résultats doivent être consignés pour la moyenne des mesurages reproduits, avec indication de la variation pour la moitié de la plage correspondante. La plage doit être déterminée comme la valeur mesurée maximale moins la valeur mesurée minimale.

5.3 Mécanique

5.3.1 Mécanique: dimension linéaire (largeur)

5.3.1.1 Généralités

Cet essai a pour objet de quantifier la dimension linéaire de la feuille d'encapsulant. Il convient de déterminer la dimension linéaire pour la largeur du rouleau de la feuille d'encapsulant. L'épaisseur de l'encapsulant doit être déterminée au moyen d'une méthode différente, décrite en 5.3.3. La dimension linéaire peut être prise en considération dans le choix des matériaux ou la fabrication d'un module PV, y compris les questions liées au montage en cours de fabrication. Les résultats de l'essai peuvent (de manière facultative) être inclus dans la fiche technique du fabricant.

5.3.1.2 Échantillonnage

Des échantillons doivent être obtenus à partir d'un rouleau d'encapsulant représentatif. La longueur des échantillons de films doit être de 30 cm environ, avec une découpe des échantillons sur toute la largeur du rouleau. Il convient que l'échantillon soit constitué d'un encapsulant représentatif sous sa forme de produit final, avant lamination ou autre traitement thermique. Les éprouvettes doivent être obtenues à des positions distantes de 1 m environ dans le sens longitudinal (sens d'extrusion) du rouleau. Les éprouvettes ne doivent comporter aucun faux pli, à l'exception de ceux nécessaires pour plier le film à des fins de présentation ou de conditionnement. Les éprouvettes ne doivent comporter aucun autre défaut. Cinq mesurages au moins doivent être effectués sur au moins six éprouvettes identiques.

5.3.1.3 Appareillage

Un dispositif de mesure avec une exactitude de mesure de $\pm 0,5$ mm doit être utilisé.

5.3.1.4 Procédure

Mesurer la dimension linéaire selon les étapes, y compris l'échantillonnage et la fabrication des éprouvettes, ainsi que le nettoyage du dispositif de mesure (le cas échéant). Les éprouvettes doivent être conditionnées selon la classe 2 de l'ISO 291, c'est-à-dire avec une température de (23 ± 2) °C et une humidité relative de (50 ± 10) % pendant au moins 1 h avant mesurage. Les mesurages ne doivent pas être effectués à moins de 50 mm des extrémités de rouleaux non ébarbés.

5.3.1.5 Exigences de consignation des informations

Consigner la moyenne et la variation indiquée pour deux écarts-types des mesurages, selon le nombre approprié de chiffres significatifs.

5.3.2 Mécanique: masse surfacique

5.3.2.1 Généralités

Cet essai a pour objet de quantifier la masse surfacique de la feuille d'encapsulant. La masse surfacique peut être prise en considération dans le choix des matériaux ou la conception d'un module PV, y compris à des fins d'analyse mécanique. La masse surfacique peut être également utilisée pour déterminer l'épaisseur plane théorique de la feuille d'encapsulant. Les résultats de l'essai peuvent (de manière facultative) être inclus dans la fiche technique du fabricant.

5.3.2.2 Échantillonnage

Des échantillons doivent être obtenus à partir d'un rouleau d'encapsulant représentatif. La longueur et la largeur approximatives des échantillons de films doivent être de 100 mm. Il convient que l'échantillon soit constitué d'un encapsulant représentatif sous sa forme de produit final, avant lamination ou autre traitement thermique. Les éprouvettes doivent être obtenues à des positions distantes de 1 m environ dans le sens longitudinal (sens d'extrusion) du rouleau. Les éprouvettes ne doivent comporter aucun faux pli, à l'exception de ceux nécessaires pour plier le film à des fins de présentation ou de conditionnement. Les éprouvettes ne doivent comporter aucun autre défaut. Au moins cinq éprouvettes identiques doivent être examinées.

5.3.2.3 Appareillage

Un dispositif de découpage et une balance conformes aux exigences de l'ISO 536 doivent être utilisés. La balance doit avoir une exactitude de $\pm 1 \cdot 10^{-4}$. Le laboratoire dans lequel est utilisée la balance doit être réglé de manière à maintenir un environnement conforme à la classe 2 de l'ISO 291, c'est-à-dire, une température de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ et une humidité relative de $(50 \pm 10) \%$.

5.3.2.4 Procédure

Les étapes, qui comprennent l'échantillonnage des éprouvettes, la découpe des échantillons à la taille des éprouvettes, le mesurage de la taille des éprouvettes, ainsi que le conditionnement et la pesée de ces mêmes éprouvettes, doivent être exécutées conformément à l'ISO 536. Les éprouvettes doivent être conditionnées selon la classe 2 de l'ISO 291, c'est-à-dire avec une température de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ et une humidité relative de $(50 \pm 10) \%$ pendant au moins 1 h avant mesurage.

5.3.2.5 Exigences de consignation des informations

La masse surfacique doit être consignée selon une méthode conforme à l'ISO 536. Les résultats doivent être consignés pour la moyenne des mesurages reproduits, avec indication de la variation pour deux écarts-types des mesurages.

5.3.3 Mécanique: épaisseur plane théorique

5.3.3.1 Généralités

Cette méthode a pour objet de quantifier l'épaisseur plane théorique de la feuille d'encapsulant à partir de la masse surfacique mesurée. Cette méthode n'exige aucun nouveau mesurage lorsque la masse surfacique a été déterminée (dans le cas où une valeur représentative de la masse volumique du matériau est identifiée). Il est prévu que l'épaisseur de la feuille d'encapsulant soit similaire à l'épaisseur plane théorique après sa lamination dans un module PV. L'épaisseur plane théorique peut varier par rapport à l'épaisseur mesurée directement (par exemple, le mesurage de l'épaisseur obtenu à partir de mesurages avec pied à coulisse) pour des motifs tels que la compression locale de l'éprouvette (exercée par les pieds à coulisse lors du mesurage), la texture superficielle (dans le cas d'un encapsulant non laminé), le débit de matériaux et la réduction d'épaisseur ultérieure (dans le cas d'un encapsulant laminé), la porosité, et la variation de cristallinité (effective lors de la lamination). L'épaisseur plane peut être prise en considération dans le choix des matériaux ou la conception d'un module PV, y compris à des fins d'analyse mécanique. Les résultats de la méthode peuvent (de manière facultative) être inclus dans la fiche technique du fabricant.

5.3.3.2 Échantillonnage

Les exigences relatives aux échantillons et concernant la masse surfacique doivent satisfaire aux exigences du 5.3.2.2.

5.3.3.3 Appareillage

L'appareillage utilisé pour déterminer la masse surfacique doit satisfaire aux exigences du 5.3.2.3.

5.3.3.4 Procédure

Déterminer la masse surfacique de l'encapsulant, comme cela est décrit en 5.3.2.4. L'épaisseur plane théorique de la feuille d'encapsulant doit être déterminée à partir de la Formule (1).

$$h_{\text{théorique}} = \frac{g}{\rho} \quad (1)$$

où

$h_{\text{théorique}}$ est l'épaisseur plane théorique, en mm;

g est la masse surfacique, en g·mm⁻²; et

ρ est la masse volumique de l'encapsulant, en g·mm⁻³.

La masse volumique de l'encapsulant peut être déterminée à partir de la masse volumique de production de la résine polymère consignée par le fabricant, ou de la fiche technique du fabricant pour la résine de base ou le produit encapsulant par feuille. En l'absence d'informations, la masse volumique peut être déterminée à partir de l'ISO 1183-1 ou de l'ISO 1183-2. Les valeurs de masse volumique représentatives des encapsulants sont données dans le Tableau 2. Les matériaux indiqués dans le Tableau 2 incluent le copolymère d'éthylène-acétate de vinyle (EVA); la polyoléfine thermoplastique (TPO - thermoplastic polyolefin); la polyoléfine élastomère réticulée (POE - polyolefin elastomer) et le poly(butyrat de vinyle) (PVB - polyvinyl butyral). Des valeurs sont données dans le Tableau 2 pour la teneur en acétate de vinyle (VAc - vinyl acetate content) la plus couramment utilisée dans l'industrie photovoltaïque. Les encapsulants utilisés dans l'industrie photovoltaïque peuvent être composés d'un mélange de matériaux multiples (non pris en considération dans le Tableau 2).

Tableau 2 – Valeurs de masse volumique représentatives pour les encapsulants photovoltaïques courants

Matériau encapsulant	ρ , Masse volumique de résine type g·cm ⁻³
EVA (VAc de 28 %)	0,950 à 0,952
EVA (VAc de 33 %)	0,955 à 0,958
TPO (thermoplastique)	0,880 à 0,905
POE (réticulée)	0,868 à 0,880
PVB	1,065

5.3.3.5 Exigences de consignation des informations

L'épaisseur plane théorique doit être consignée, y compris sa valeur nominale et sa variation. La variation doit être indiquée pour deux écarts-types, à l'aide de la méthode de propagation de l'incertitude pour la masse surfacique et la masse volumique de l'encapsulant. La masse volumique de l'encapsulant et l'origine de cette masse (c'est-à-dire le type de données du fournisseur (résine ou produit) et le type de produit polymère, ou la méthode de mesure) doivent également être identifiées dans le rapport d'essai.

5.3.4 Mécanique: module de conservation et facteur de perte

5.3.4.1 Généralités

Cet essai a pour objet de quantifier le module de conservation et le facteur de perte ($\tan \delta$), où δ est l'angle de phase, comme cela est défini dans l'ISO 6721-1, pour l'encapsulant. Le module de conservation peut être pris en considération dans la conception d'un module PV, y compris à des fins d'analyse mécanique. Le module mécanique affecte directement le couplage mécanique entre les composants, y compris la contrainte et la déformation dans le module. Les résultats de l'essai doivent être inclus dans la fiche technique du fabricant. Le module de conservation et le facteur de perte peuvent également servir à vérifier le degré de durcissement afin de faciliter le contrôle de procédé et de fabrication.

5.3.4.2 Échantillonnage

Des échantillons doivent être obtenus à partir d'un rouleau d'encapsulant représentatif. Un ensemble d'éprouvettes de films conformes à l'ISO 6721-4 doit être utilisé. Par exemple, des éprouvettes d'une longueur de 100 mm et d'une largeur de 10 mm, et dont l'épaisseur est celle utilisée dans un module PV, peuvent être examinées. Les dimensions des éprouvettes, y compris leur section, doivent être vérifiées comme cela est spécifié dans l'ISO 6721-1. Le nombre d'éprouvettes identiques doit être conforme à l'ISO 6721-1 (c'est-à-dire ≥ 3 éprouvettes identiques). Il convient de durcir (le cas échéant) les éprouvettes selon les spécifications du fabricant au moyen d'un procédé le plus proche possible de la méthode utilisée dans le procédé de fabrication prévu. Les éprouvettes peuvent être durcies entre des couches de séparation au sein d'un cadre de l'épaisseur représentative afin d'améliorer l'uniformité de l'épaisseur.

5.3.4.3 Appareillage

Un analyseur de matières solides ou un rhéomètre dont les fixations satisfont aux exigences de l'ISO 6721-1 et de l'ISO 6721-4, doit être utilisé pour la mesure du module de conservation. L'appareil doit être équipé d'une chambre thermorégulée et purgée avec de l'azote gazeux sec afin d'empêcher toute condensation et toute formation de glace.

5.3.4.4 Procédure

Les étapes, qui comprennent l'échantillonnage et la fabrication des éprouvettes, le mesurage de la section, le conditionnement, la fixation/le montage sur l'appareillage, l'équilibrage à la température d'essai, l'application d'une force de traction (afin d'empêcher tout flambage) et le mesurage du module de conservation, doivent être exécutées conformément à l'ISO 6721-4. Les éprouvettes doivent être conditionnées selon la classe 2 de l'ISO 291, c'est-à-dire avec une température de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ et une humidité relative de $(50 \pm 10) \%$ pendant au moins 24 h avant mesurage. Le mesurage doit être effectué une fois sur chaque éprouvette identique avec application d'une déformation de 0,1 %, une fréquence de 1 Hz et des températures comprises entre $-40 ^\circ\text{C}$ et $120 ^\circ\text{C}$ par paliers inférieurs ou égaux à $5 ^\circ\text{C}$. Il faut laisser la chambre d'essai atteindre l'équilibre pendant au moins 5 min à chaque température avant caractérisation.

5.3.4.5 Exigences de consignation des informations

Le module de conservation et le facteur de perte correspondant doivent être consignés selon une méthode conforme à l'ISO 6721-4. Les résultats doivent être consignés pour les températures d'essai, y compris au moins $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, tout comme ils doivent être consignés pour la moyenne des mesurages reproduits, avec indication de la variation pour la moitié de la plage correspondante. La plage doit être déterminée comme la valeur mesurée maximale moins la valeur mesurée minimale.

5.3.5 Mécanique: dureté

5.3.5.1 Généralités

Cet essai a pour objet de quantifier la dureté de l'encapsulant, comme cela est défini dans l'ISO 48-4. La dureté peut être utilisée dans le choix des matériaux ou pour une meilleure appréhension d'un module PV. Généralement, la dureté n'est pas spécifiée pour la conception des modules, mais donne en revanche un aperçu du couplage mécanique et de la protection mécanique des composants encapsulés. Les résultats de l'essai peuvent (de manière facultative) être inclus dans la fiche technique du fabricant. L'utilisation de la pénétration pour vérifier le degré de durcissement de l'EVA à des fins de contrôle de procédé et de fabrication est spécifiée séparément en 5.3.10.

5.3.5.2 Échantillonnage

Des échantillons doivent être obtenus à partir d'un rouleau d'encapsulant représentatif. Un ensemble d'éprouvettes conforme à l'ISO 48-4, y compris la taille, l'épaisseur et le fini de surface exigés, doit être utilisé. Au moins trois éprouvettes identiques doivent être examinées. Il convient de durcir (le cas échéant) les éprouvettes selon les spécifications du fabricant au moyen d'un procédé le plus proche possible de la méthode utilisée dans le procédé de fabrication prévu. Les éprouvettes peuvent être durcies entre des couches de séparation au sein d'un cadre de l'épaisseur exigée afin d'améliorer l'uniformité de l'épaisseur.

5.3.5.3 Appareillage

Un duromètre étalonné selon les exigences de l'ISO 48-4 doit être utilisé. Un duromètre de type AM (type M dans la norme ASTM D2240) fournit généralement l'étendue de mesure appropriée pour les encapsulants polymères élastomères, tels que l'EVA. Un socle doit être utilisé avec le duromètre afin de faciliter le mesurage des encapsulants. Une minuterie doit être utilisée pour le mesurage des encapsulants.

5.3.5.4 Procédure

Les étapes qui comprennent l'échantillonnage et la fabrication des éprouvettes, le conditionnement et le mesurage de la dureté, doivent être exécutées conformément à l'ISO 48-4. Les éprouvettes doivent être conditionnées selon la classe 2 de l'ISO 291, c'est-à-dire avec une température de $(23 \pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ et une humidité relative de $(50 \pm 10)\%$ pendant au moins 24 h avant mesurage. Cinq mesurages, qui satisfont aux exigences d'espacement spécifiées dans l'ISO 48-4, doivent être effectués sur chaque éprouvette identique. Chaque mesurage doit être effectué à la durée d'essai de 15 s afin de permettre la stabilisation du mesurage.

5.3.5.5 Exigences de consignation des informations

La dureté doit être consignée selon une méthode conforme à l'ISO 48-4. Les résultats doivent être consignés pour la moyenne des mesurages reproduits, avec indication de la variation pour deux écarts-types.

5.3.6 Mécanique: coefficient de dilatation thermique linéique (CTE)

5.3.6.1 Généralités

Cet essai a pour objet de quantifier le coefficient de dilatation thermique linéique (CTE - coefficient of linear thermal expansion) de l'encapsulant. Le CTE entraîne l'inadaptation thermique, la déformation mécanique entre les composants encapsulés sous l'effet de la température. Le CTE peut être pris en considération dans la conception d'un module PV, y compris à des fins d'analyse mécanique. Il peut également être utilisé dans le choix des matériaux. Les résultats de l'essai peuvent (de manière facultative) être inclus dans la fiche technique du fabricant.

5.3.6.2 Échantillonnage

Des échantillons doivent être obtenus à partir d'un rouleau d'encapsulant représentatif. Un ensemble d'éprouvettes de films conformes à l'ISO 11359-2 doit être utilisé. Des éprouvettes d'une longueur et d'une largeur de 5 mm au moins, et dont l'épaisseur est celle utilisée dans un module PV, peuvent être utilisées. Le nombre d'éprouvettes identiques doit être conforme à l'ISO 11359-2 (c'est-à-dire ≥ 3 éprouvettes identiques). Il convient de durcir (le cas échéant) les éprouvettes selon les spécifications du fabricant au moyen d'un procédé le plus proche possible de la méthode utilisée dans le procédé de fabrication prévu. Les éprouvettes peuvent être durcies entre des couches de séparation au sein d'un cadre de l'épaisseur représentative afin d'améliorer l'uniformité de l'épaisseur.

5.3.6.3 Appareillage

Un analyseur thermomécanique (TMA - thermomechanical analyser) étalonné selon les exigences de l'ISO 11359-1 doit être utilisé.

5.3.6.4 Procédure

Les étapes, qui comprennent l'échantillonnage et la fabrication des éprouvettes, le conditionnement (dessiccation); le mesurage de la taille d'échantillon initiale, la fixation/le montage sur l'appareillage, le déclenchement du débit de gaz de purge, le préchauffage du TMA et le mesurage, doivent être exécutées conformément à l'ISO 11359-2. La fréquence d'échantillonnage des données de 5 Hz ($0,2 \text{ s}\cdot\text{point}^{-1}$) doit être utilisée pour la vitesse de chauffage de $10 \text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$. La relaxation des contraintes résiduelles internes issues du procédé de fabrication des films polymères exige d'exécuter deux cycles thermiques et de déterminer la dilatation thermique à partir du second cycle thermique uniquement. Le premier cycle de température peut simuler un cycle de lamination avec chauffage de l'éprouvette jusqu'à $160 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ou jusqu'à la température maximale de lamination recommandée par le fabricant de l'encapsulant, selon la plus faible des deux températures. Appliquer un temps de maintien de 5 min à la température maximale afin de reproduire le processus de lamination.

NOTE 1 Les résultats issus de ce premier cycle fournissent des informations concernant les variations des dimensions linéaires et peuvent être comparés aux résultats obtenus en 5.3.11

Dans le second cycle, la température doit être comprise entre la température ambiante et soit $160 \text{ }^{\circ}\text{C}$, soit le rapport RTE/RTI, selon la plus faible des deux valeurs.

NOTE 2 La limite supérieure de température applicable au second cycle a été définie pour empêcher la fusion du matériau, qui peut altérer le mesurage du CTE.

Tous les résultats doivent être déterminés à partir de l'analyse du second cycle de chauffage/refroidissement afin d'identifier la dilatation thermique relative, α , en K^{-1} à une température de $23 \text{ }^{\circ}\text{C}$, selon une méthode conforme à l'ISO 11359-2. Lorsque les mesurages reproduits diffèrent de plus de 10 %, l'essai doit être répété afin d'obtenir un résultat valide.

5.3.6.5 Exigences de consignation des informations

Le CTE doit être consigné selon une méthode conforme à l'ISO 11359-2. L'utilisation des méthodes de calcul A et B doit être identifiée, la méthode A n'incluant pas l'éprouvette de référence, à la différence de la méthode B. Les résultats doivent être consignés pour la moyenne des mesurages reproduits, avec indication de la variation pour la moitié de la plage correspondante. La plage doit être déterminée comme la valeur mesurée maximale moins la valeur mesurée minimale. Dans le cas d'une éprouvette qui présente une transition vitreuse et/ou une transition fusion/gel dans l'étendue de mesure, la ou les transitions et leur température correspondante doivent être consignées dans le rapport d'essai.

5.3.7 Mécanique: adhésion

5.3.7.1 Généralités

Cet essai a pour objet de quantifier l'adhésion de l'encapsulant. L'adhésion peut être prise en considération pour des besoins tels que le choix des matériaux, le contrôle du procédé de fabrication et la conception des modules PV. Les essais permettent ici de mesurer l'adhésion aux interfaces, y compris encapsulant/feuille arrière, encapsulant/verre, encapsulant/cellule et encapsulant-1/encapsulant-2 (lorsque des matériaux distincts sont utilisés pour l'avant et l'arrière du module, respectivement). Étant donné que l'adhésion constitue une fonction essentielle de l'encapsulant (afin de maintenir un couplage optique et mécanique avec la cellule, ainsi qu'une bonne gestion thermique du module, et d'empêcher toute pénétration d'humidité et/ou corrosion), l'essai de durabilité d'adhésion doit être utilisé avec consignation des informations dans les fiches techniques. L'étude de l'adhésion aux interfaces ou de la durabilité de la résistance de fixation est décrite à l'Annexe A.

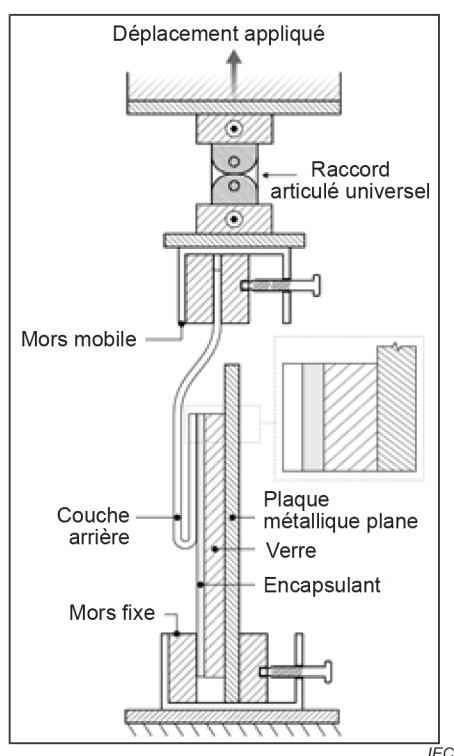
Les résultats de l'essai pour les éprouvettes non vieilles et les éprouvettes vieilles doivent être inclus dans la fiche technique du fabricant. Pour la normalisation de la consignation des résultats au moyen d'une méthode déjà connue du secteur industriel, l'essai de pelage à 180° décrit dans l'ISO 8510-2 doit être utilisé à des fins de consignation de l'UCF et des informations dans les fiches techniques. Pour familiariser le secteur industriel avec une méthode qui examine directement une adhésion aux interfaces moins sensible à la fabrication des éprouvettes, la méthode de la poutre simple en porte-à-faux (SCB - single cantilever beam) définie dans l'IEC TS 62788-6-3 peut également être consignée. Le développement de la méthode SCB est décrit à l'Annexe B. L'essai d'adhésion SCB peut être appliqué aux fins de développement et de choix des matériaux, ainsi que de conception des modules PV, toutes ces opérations étant associées à l'exposition aux intempéries. L'essai SCB est plus adapté au choix des matériaux que l'essai de pelage, mais ce dernier peut être plus facile à réaliser, ce qui le rend plus adapté aux fins de contrôle de procédé.

Comme cela est identifié dans le Tableau 1, l'examen des interfaces encapsulant/verre et encapsulant/cellule, y compris les éprouvettes non vieilles et les éprouvettes exposées aux intempéries, est exigé pour la consignation des informations dans les fiches techniques et de l'UCF. L'examen des interfaces feuille arrière/encapsulant et encapsulant-1/encapsulant-2, y compris les éprouvettes non vieilles et les éprouvettes exposées aux intempéries, est facultatif pour la consignation des informations dans les fiches techniques et de l'UCF. L'examen de l'interface feuille arrière/encapsulant est décrit de manière plus détaillée dans l'IEC TS 62788-2, à laquelle il convient de faire référence pour toutes les exigences liées aux feuilles arrière.

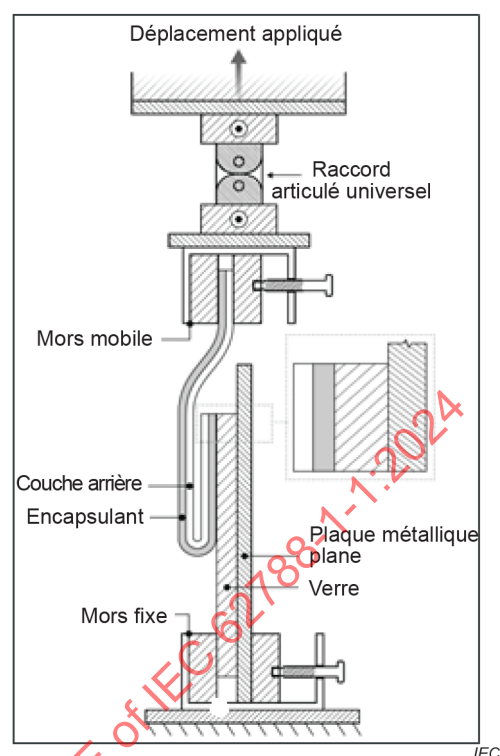
5.3.7.2 Échantillonnage

Des échantillons doivent être générés à partir d'un rouleau d'encapsulant représentatif. Les échantillons pour l'essai de pelage à 180° sont produits par lamination du composant nécessaire, ce qui peut inclure une feuille de manipulation, la couche de premier encapsulant, le second encapsulant, une cellule photovoltaïque et un substrat rigide (par exemple, du verre), dans un processus de durcissement (ou de lamination) selon la méthode du fabricant spécifiée pour le procédé de fabrication prévu. Dans le cas de la durabilité de la feuille arrière soumise à un essai accéléré, il convient de prendre en considération ladite durabilité avant l'essai. Un verre représentatif, dont la texture graineuse et la préparation sont conformes aux pratiques du fabricant de modules, doit être utilisé pour l'interface encapsulant/verre. Une cellule photovoltaïque représentative, avec ou sans grilles de contact, mais sans interconnexion électrique (ruban, flux et soudure) supplémentaire, doit être utilisée pour l'interface encapsulant/cellule. Une représentation schématique des quatre configurations possibles et leurs couches de composants est donnée à la Figure 1.

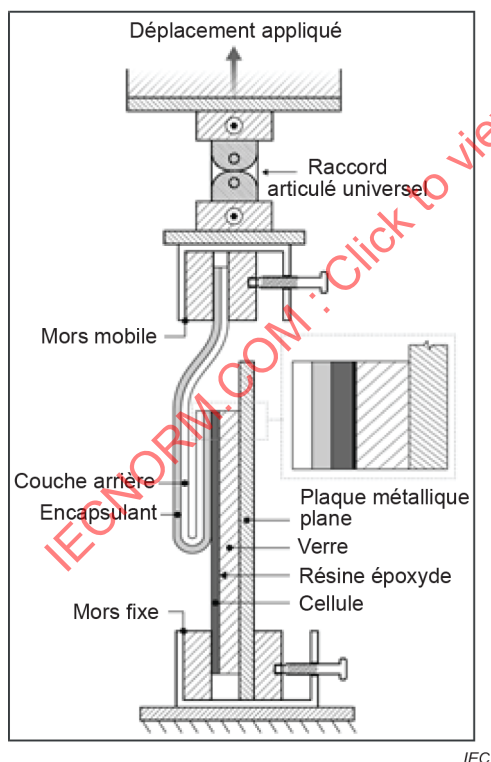
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62788-1-1:2024



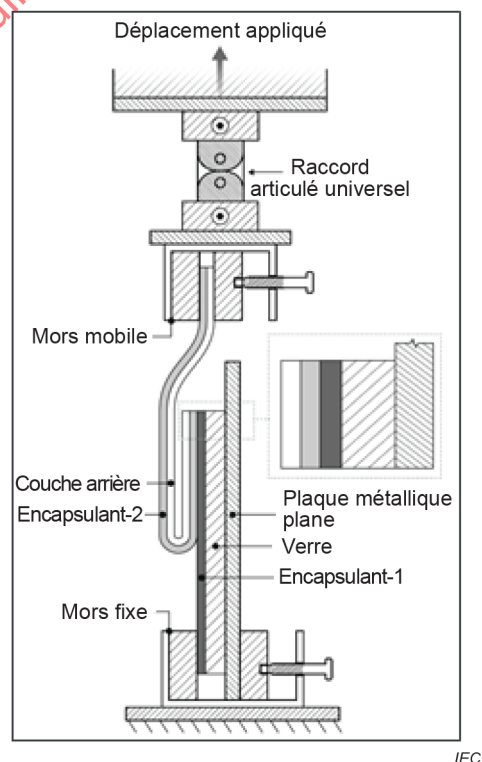
a) interface feuille arrière/encapsulant



b) interface encapsulant/verre



c) interface encapsulant/cellule



d) interface encapsulant-1/encapsulant-2

Figure 1 – Représentation schématique (section et partie latérale) des éprouvettes et de la mise en œuvre de l'essai de pelage, y compris a) l'interface feuille arrière/encapsulant, b) l'interface encapsulant/verre, c) l'interface encapsulant/cellule et d) l'interface encapsulant-1/encapsulant-2

Des éprouvettes laminées (feuille de manipulation/encapsulant/verre) d'une largeur de 10 mm et d'une longueur de 150 mm doivent être utilisées, comme cela est représenté dans l'exemple pour l'interface feuille arrière/encapsulant à la Figure 2. Des informations détaillées supplémentaires relatives aux éprouvettes feuille arrière/encapsulant peuvent être consultées dans l'IEC TS 62788-2. La zone d'essai (partie adhésive) de l'éprouvette doit avoir une largeur de 10 mm et une longueur de 50 mm. La zone de préhension non adhésive doit avoir une largeur de 10 mm et une longueur de 100 mm, et peut être créée par insertion d'une couche de séparation entre la couche de manipulation et la couche d'encapsulation.

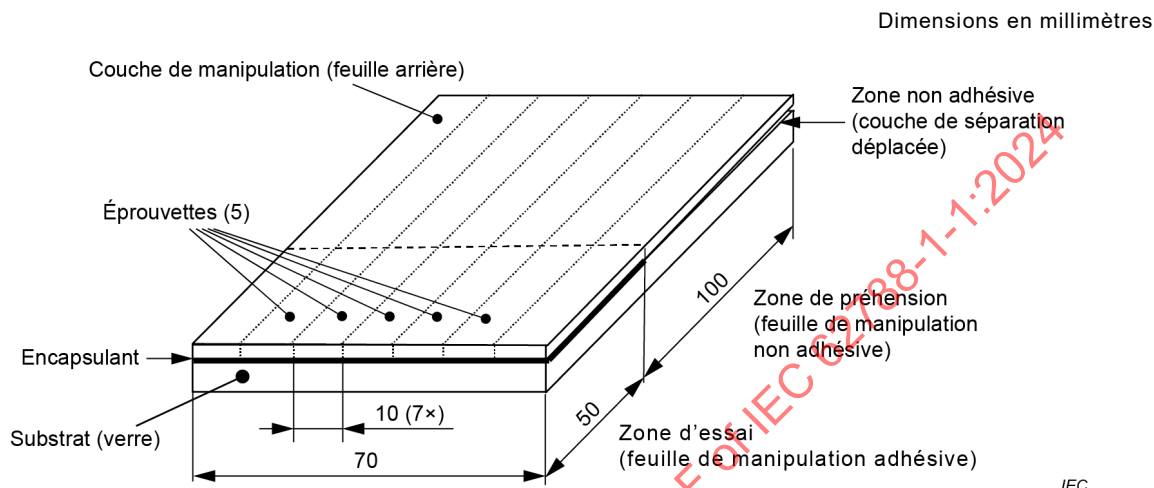


Figure 2 – Représentation schématique de la configuration des éprouvettes dans un coupon laminé pour l'interface feuille arrière/encapsulant.

Un coupon qui contient au moins cinq éprouvettes doit être utilisé, avec une partie non soumise à l'essai de l'échantillon qui présente une largeur d'au moins 10 mm au niveau des bords extérieurs de l'échantillon, afin de limiter la taille d'une zone aérobie au sein de l'encapsulant du coupon lors de l'exposition aux intempéries.

NOTE 1 Bien que les structures d'essai distinctes représentées à la Figure 1 pour les interfaces concernées soient destinées à favoriser la perte de fixation à des interfaces spécifiques, l'essai concluant d'une interface spécifique ne peut pas être assuré dans le cas des éprouvettes non vieillies ou des éprouvettes vieillies.

Les éprouvettes doivent être découpées dans le sens de la largeur dans le coupon après le vieillissement accéléré (le cas échéant) et avant l'essai de pelage. La couche de manipulation peut être plus rigide que l'encapsulant, c'est-à-dire, qu'elle peut être composée d'une feuille arrière souple. Dans certaines structures d'essai, la couche de manipulation peut également inclure la ou les couches d'encapsulation. La feuille d'encapsulant doit être obtenue à partir d'un rouleau représentatif. Pour les besoins de la consignation des informations dans les fiches techniques, le verre doit être un verre sodo-calcique graineux à faible teneur en fer dont l'épaisseur assure une robustesse suffisante pour empêcher toute rupture au cours de l'essai de pelage. Par exemple, une épaisseur de verre de 2,5 mm est généralement suffisante pour de nombreux matériaux encapsulants. Pour faciliter l'exposition aux intempéries sous l'effet des UV, le facteur de transmission à pondération solaire représentatif hémisphérique du verre doit être supérieur à 91,5 % dans la plage de longueur d'onde comprise entre 30 nm et 1250 nm. Du verre trempé peut être utilisé pour le substrat, avec lequel l'utilisation d'une trempe thermique est recommandée pour assurer une chimie de surface représentative d'un module PV. Il convient que la préparation des échantillons inclue une étape de lamination (c'est-à-dire une durée, une température et une période de pression normalisées, avec ou sans lamination réelle d'un encapsulant) afin de reproduire les conditions de traitement lors de la production du module PV.

Du verre flotté ou d'autres substrats rigides peuvent être utilisés pour des besoins autres que la consignation des informations dans les fiches techniques. En cas d'utilisation de verre flotté, il convient de laminier l'encapsulant du côté pauvre en étain du verre. Il convient de ne pas utiliser de verre de silice pour l'essai d'adhésion du fait des différentes chimies d'adhérence et performances résultantes pour ce matériau, ce qui n'est pas représentatif d'un module PV.

NOTE 2 Dans les essais de pelage, la ou les feuilles de manipulation agissent comme un "levier" qui exerce la force de pelage sur les interfaces au sein de l'éprouvette. Par conséquent, en incluant d'autres facteurs, la valeur mesurée de résistance d'adhésion dépend de l'épaisseur, de l'élasticité et de la courbure de la couche soumise à l'essai de pelage. La résistance au pelage mesurée varie également avec la configuration d'essai (l'angle de pelage), selon les conditions aux limites de configuration, qui peut varier au cours de l'essai, limitant ainsi la reproductibilité et la capacité de comparaison de différents produits encapsulants.

Dans l'essai de pelage à 180°, la courbure de la feuille de manipulation est significative, ce qui peut provoquer une rupture de traction de ladite feuille, et rendre impossible toute évaluation de l'adhésion aux interfaces.

La dépendance de la résistance à l'adhésion aux caractéristiques de la feuille de manipulation (épaisseur, élasticité, etc.) limite la comparabilité des essais de pelage; par exemple, seul le même encapsulant de base (d'une épaisseur identique) peut être comparé. Il est possible d'évaluer la dégradation relative de la résistance à l'adhésion avec le vieillissement sous réserve de la non-modification d'autres caractéristiques de couche, telles que l'élasticité ou la résistance de la feuille de manipulation, au cours du vieillissement. Les résultats de l'essai d'adhésion peuvent être limités à la force d'adhésion fournie par la feuille de manipulation ou le substrat de verre.

Pour évaluer une interface spécifique, l'adhésion peut être rendue localement inactive par l'insertion d'un matériau de séparation à une position spécifique dans l'éprouvette coupon laminée, qui divise le laminé global en deux sous-laminés et définit leur interface comme constituant le point de départ de l'essai de pelage. Toutefois, l'utilisation d'une couche de séparation (ou autre méthode) pour définir l'interface de délamination ne permet pas d'assurer une délamination sur toute la longueur de l'interface prévue. Par ailleurs, les couches de séparation peuvent ne pas être appropriées pour toutes les combinaisons d'encapsulants et d'autres couches à la Figure 1, en raison, entre autres, du transport d'oxygène, d'eau ou d'autres espèces au cours de l'exposition aux intempéries, de l'absence de contraintes mécaniques au cours de l'exposition aux intempéries, ou du transport d'additifs entre les matériaux lors de la lamination. D'autres méthodes peuvent être utilisées pour séparer les couches concernées avant les essais, y compris un rasoir ou un bord coupant. Il est admis que la température et l'humidité lors du conditionnement des éprouvettes et de l'essai de pelage, ainsi que la vitesse d'essai (vitesse de déplacement), affectent immédiatement les résultats mesurés. Par conséquent, il convient de contrôler avec la plus grande attention le conditionnement des éprouvettes, les conditions ambiantes dans le laboratoire d'essai, ainsi que les conditions d'essai.

5.3.7.3 Appareillage

Un équipement d'essai de traction mécanique conforme à l'ISO 8510-2 doit être utilisé, y compris un cadre de charge avec contrôle de déplacement, un extensomètre, des mors et un dispositif de fixation des éprouvettes (voir la Figure 1). Des mors mécaniques classiques sont représentés à la figure à titre d'exemple. Toutefois, des mécanismes pneumatiques ou électrodynamiques, voire d'autres mécanismes de préhension peuvent être également utilisés. Des porte-éprouvettes ou des pinces peuvent être utilisés pour faciliter le chargement/déchargement des échantillons en vue d'un fonctionnement en toute sécurité des mors automatisés. Un cadre de charge d'une capacité de déplacement d'au moins 1 m est recommandé, sur la base de la propension des matériaux encapsulants à l'allongement au cours d'un essai de traction. Un extensomètre optique ou laser est fortement recommandé en raison de la conformité significative typique des matériaux encapsulants, qui peut faciliter toute déformation y compris des mors.

Comme le représente la Figure 1, il convient d'utiliser dans toute la mesure du possible des mors et des joints à autoalignement (y compris des raccords articulés universels) afin d'améliorer la précision du mesurage.

Les essais d'adhésion peuvent, de manière facultative, être réalisés à des températures élevées afin d'analyser l'effet de la température sur l'adhésion de l'encapsulant dans un module PV actif. À cette fin, le cadre de charge peut être équipé pour un fonctionnement à des températures élevées au moyen d'une chambre climatique ou tout autre dispositif.

5.3.7.4 Procédure

Les étapes, qui comprennent l'échantillonnage et la fabrication (lamination) des éprouvettes, l'exposition aux intempéries (le cas échéant), le conditionnement, la découpe des éprouvettes à la dimension, la fixation/le montage sur l'appareil, l'équilibre à la température d'essai, le déplacement initial du cadre de charge (c'est-à-dire une précharge afin de réduire la "pointe" de la courbe de données charge/déplacement) et le mesurage de l'essai de pelage à 180°, doivent être exécutées conformément à l'ISO 8510-2.

Après leur découpe à la dimension, les éprouvettes doivent être conditionnées selon la classe 2 de l'ISO 291, c'est-à-dire avec une température de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ et une humidité relative de $(50 \pm 10) \%$ pendant au moins 24 h avant mesurage. Le mesurage est réalisé aux conditions ambiantes de $23 ^\circ\text{C} \pm 2 ^\circ\text{C}$ et avec une humidité relative de $50 \% \pm 10 \%$. Après conditionnement, la zone de préhension non collée d'une longueur de 100 mm doit être courbée perpendiculairement au substrat de verre pour une fixation sur les mors du cadre de charge. Il convient de soumettre les éprouvettes découpées à un examen attentif avant mesurage afin de vérifier qu'elles n'ont pas été endommagées lors de leur découpe ou de leur conditionnement. Il convient d'exclure de l'expérience menée, les éprouvettes découpées ou endommagées de manière intempestive (c'est-à-dire lorsqu'un défaut peut compromettre les résultats de l'essai de pelage). Le mesurage de l'adhésion doit être réalisé une fois sur chaque éprouvette identique, avec application d'une vitesse de déplacement de $50 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, jusqu'à la caractérisation d'une rupture d'adhésion ou de cohésion.

En cas d'utilisation d'une chambre climatique pour la régulation thermique des éprouvettes, il faut laisser les échantillons atteindre l'équilibre thermique à la température d'essai avant les essais. Il convient de prévoir une durée d'au moins 5 min entre la fermeture de la porte de la chambre (après montage de l'échantillon) et le début de l'essai de pelage.

5.3.7.5 Calcul et expression des résultats

Déterminer, à partir des données mesurées, la charge moyenne (en newtons par mm de largeur d'éprouvette) exigée pour la délamination de l'encapsulant.

En l'absence de variation du mode de rupture, un plateau de données unique peut être observé (voir la Figure 3a). Dans la figure, le plateau de données enregistré (à l'exception du début de déchirure au début de l'essai et de la chute rapide à la rupture) peut être pris en considération pour l'analyse de la résistance au pelage. Il convient de vérifier les variations du mode de rupture par examen de l'éprouvette, y compris le point effectif de rupture d'adhésion et le plateau de données effectivement associé à la délamination de l'encapsulant. La résistance de l'éprouvette au pelage doit être déterminée uniquement au moyen du plateau de données associé à la délamination de l'encapsulant (voir la Figure 3b).

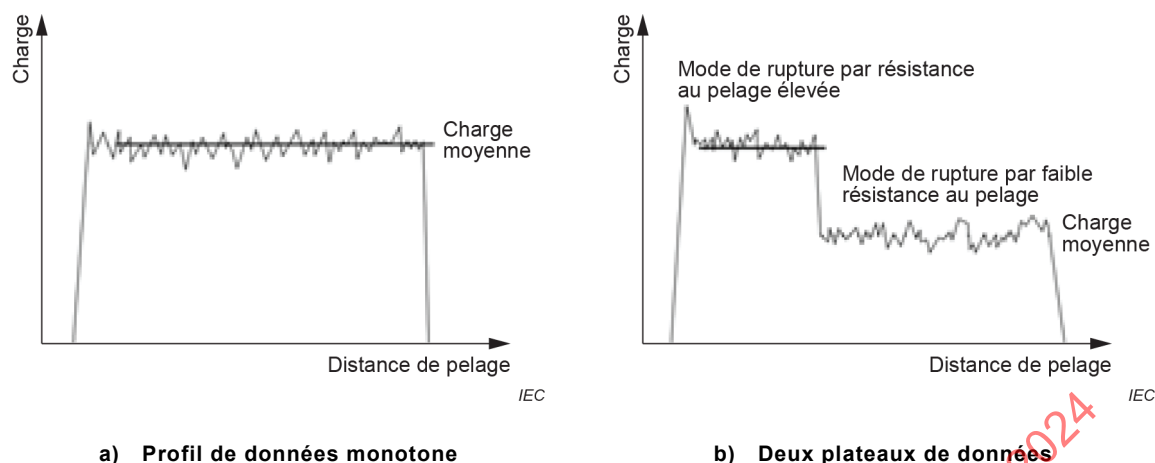


Figure 3 – Représentation schématique d'un exemple de profils de données pour l'essai de pelage à 180°

NOTE Dans le cas de la rupture de cohésion, la charge moyenne ne représente pas la résistance d'adhésion entre la ou les couches d'éprouvettes, mais elle peut être considérée comme une limite inférieure de la résistance au pelage de toutes les autres interfaces adhésives dans l'éprouvette soumise à l'essai. Dans ce type de cas, le rapport d'essai peut désigner le résultat comme "supérieur à" la valeur de résistance de cohésion mesurée correspondante.

La satisfaction à l'essai auquel est soumise l'interface concernée ne peut pas être assurée, en raison, entre autres, de la rupture d'une interface différente plus faible, et de la rupture de la feuille de manipulation avant l'interface concernée. Dans ce type de cas, le fabricant ou le fournisseur d'échantillons doit être consulté afin de déterminer si les éprouvettes, y compris les feuilles arrière (substrat) et de manipulation, peuvent être construites différemment pour obtenir un résultat valide. Toutefois, le rapport d'essai doit indiquer, par la mention ("ne peut pas être déterminée"), toute impossibilité de soumettre à l'essai l'interface concernée, accompagnée d'une explication succincte (par exemple, "rupture prématurée"). Dans certains cas, une limite inférieure peut être déterminée à partir des résultats (par exemple, " $>100 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$, la résistance de la feuille de manipulation").

5.3.8 Mécanique: durabilité d'adhésion

5.3.8.1 Généralités

Cet essai a pour objet de quantifier la durabilité d'adhésion de l'encapsulant. Outre les résultats obtenus pour des éprouvettes non vieilles, l'adhésion doit être quantifiée après l'essai de durabilité d'adhésion, lorsque cela est spécifié dans le Tableau 1. L'essai de durabilité d'adhésion est destiné à faciliter le choix des matériaux. Cet essai est inclus afin de vérifier l'adhésion constante après utilisation dans un environnement qui comprend une contrainte par UV et une contrainte hygrométrique. Bien qu'il n'existe aucune exigence de sécurité formelle, la perte d'adhésion peut produire la délamination d'un module PV, y compris la séparation physique complète des composants et l'exposition des composants électriquement actifs. Les résultats mesurés relatifs à l'adhésion après un vieillissement accéléré doivent être consignés dans la fiche technique du fabricant. Aucun critère de réussite/échec n'a été établi, y compris un examen visuel ou les résultats mesurés de l'essai.

NOTE Le facteur d'accélération utilisé pour cet essai de vieillissement n'a pas été déterminé par rapport à un module PV qui sert à la production d'électricité. Une préfiissure effective de l'éprouvette (par exemple, générée au moyen d'une couche de séparation lors de la fabrication de l'éprouvette) peut accélérer la dégradation par rapport à une éprouvette entièrement laminée (qui ne comporte aucune préfiissure), parce que la préfiissure peut faciliter le transport de l'eau, de l'oxygène, et d'autres espèces chimiques vers la partie interne de l'éprouvette. Toutefois, du fait de l'absence de la couche de séparation au cours de l'essai de durabilité d'adhésion, il convient que le vieillissement accéléré ne génère aucun effet parasite comme les interactions de matériaux entre l'éprouvette et la couche de séparation.

5.3.8.2 Échantillonnage

Les échantillons doivent être créés comme cela est spécifié en 5.3.7.2.

5.3.8.3 Appareillage

Un équipement d'essai de traction mécanique conforme à 5.3.7.3 doit être utilisé.

Un appareillage d'exposition artificielle aux intempéries sous l'effet des UV doit être utilisé selon une méthode conforme à la méthode A3 spécifiée dans l'IEC TS 62788-7-2.

Une chambre climatique doit être utilisée selon une méthode conforme au MQT 13 spécifié dans l'IEC 61215-2.

5.3.8.4 Procédure

La séquence d'essai suivante doit être appliquée:

- a) fabrication et préparation des éprouvettes (5.3.7.2);
- b) conditionnement des éprouvettes avant exposition aux intempéries sous l'effet des UV à une température de $85\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ et une humidité relative de $85\% \pm 5\%$ pendant une durée de 500 h + 48 h / -0 h (analogue à l'IEC 61215-2, MQT 13);
- c) exposition aux intempéries sous l'effet des UV (IEC TS 62788-7-2, méthode A3) pendant une durée de 2 000 h.

La durée maximale de 24 h doit être observée entre la fin du conditionnement des éprouvettes et le début de l'exposition aux intempéries sous l'effet des UV;

- d) conditionnement et vieillissement hygrométrique combinés des éprouvettes à une température de 85 °C et une humidité relative de 85% pendant une durée de 1 000 h + 48 h / -0 h (IEC 61215-2, MQT 13).

La durée maximale de 200 h doit être observée entre la fin de l'exposition aux intempéries sous l'effet des UV et le début du conditionnement et du vieillissement hygrométrique combinés des éprouvettes;

- e) mesurage de l'adhésion des éprouvettes vieilles (5.3.7.4).

La durée maximale de 24 h doit être observée entre la fin du vieillissement hygrométrique et le début du mesurage de l'adhésion;

- f) calcul et expression des résultats (5.3.7.5).

5.3.8.5 Exigences de consignation des informations

La résistance au pelage doit être consignée selon une méthode conforme à l'ISO 8510-2. Les résultats doivent être consignés pour la moyenne arithmétique de la résistance moyenne au pelage pour toutes les éprouvettes identiques soumises à l'essai, ainsi que les moyennes arithmétiques des résistances maximale et minimale. Les informations détaillées suivantes doivent également être consignées:

- a) mode de rupture, c'est-à-dire, le type de rupture (d'adhésion ou de cohésion) et l'emplacement (interfaces encapsulant/feuille arrière, encapsulant/verre, encapsulant/cellule, ou encapsulant-1/encapsulant-2, ou la masse de la feuille arrière, de l'encapsulant, du verre ou de la cellule);
- b) matériaux utilisés:
 - matériau(x) d'essai encapsulant(s) (marque et nom/numéro de produit);
 - feuille de manipulation arrière (marque et nom/numéro de produit);
 - couche de verre (marque et nom/numéro de produit);
 - couche de cellule (marque et nom/numéro de produit).

- c) informations détaillées relatives à la construction et à la préparation des échantillons:
- conditions de lamination de l'encapsulant;
 - matériau de couche de séparation, le cas échéant;
 - colles et matériaux de manipulation ou substrats supplémentaires (verre, aluminium, etc.), le cas échéant;
- d) l'historique des éprouvettes, c'est-à-dire éprouvettes non vieilles ou éprouvettes après l'essai accéléré. Les résultats de l'essai pour éprouvettes non vieilles et de l'essai accéléré doivent être consignés.

5.3.9 Mécanique: températures de transition de phase et de transition vitreuse

5.3.9.1 Généralités

Cet essai a pour objectif de quantifier les températures de transition de phase pour l'encapsulant, y compris la température de transition vitreuse telle que spécifiée dans l'ISO 11357-2, la température de fusion comme cela est spécifié dans l'ISO 11357-3, et la température de cristallisation comme cela est spécifié dans l'ISO 11357-3. Ces trois températures caractéristiques s'appliquent toutes à de nombreux polymères utilisés comme encapsulants photovoltaïques, comme l'EVA, parce qu'il s'agit de matériaux semicristallins. Les températures de transition de phase peuvent être utilisées dans le choix des matériaux ou pour une meilleure appréhension d'un module PV. Par exemple, la fusion d'un encapsulant dans la plage de températures appliquée peut affecter de manière significative la contrainte mécanique exercée dans un module PV ou peut modifier la réponse cinétique liée à l'exposition aux intempéries ou à la diffusion d'espèces dissoutes. Bien que plusieurs méthodes, y compris la rhéométrie et l'analyse thermomécanique, puissent être utilisées pour évaluer les températures de transition de phase, l'analyse calorimétrique différentielle (DSC - differential scanning calorimetry) est spécifiée ici du fait de sa facilité d'utilisation, de la disponibilité des équipements et de l'interprétation rapide des résultats. Ici, l'essai est conçu pour fournir des données analysables valides pour une température comprise entre au moins -40 °C (la température minimale spécifiée dans l'IEC 61215-2 (norme de qualification de la conception et d'homologation) et au moins 175 °C (température qui approche la décomposition thermique de certains polymères). Les résultats de l'essai peuvent (de manière facultative) être inclus dans la fiche technique du fabricant. L'utilisation de la DSC pour vérifier le degré de durcissement de l'EVA à des fins de contrôle de fabrication et de procédé est spécifiée en 5.3.10.

Bien qu'il ne soit pas exigé pour la consignation de l'UCF ou des informations dans les fiches techniques, le degré de cristallisation peut également être quantifié à partir des données d'évaluation des températures de transition de phase et de transition vitreuse, selon la méthode spécifiée dans la norme ASTM D3418.

5.3.9.2 Échantillonnage

Des échantillons doivent être obtenus à partir d'un rouleau d'encapsulant représentatif. Le durcissement des éprouvettes peut s'effectuer entre les couches de séparation afin d'obtenir une surface lisse. Les éprouvettes non durcies peuvent également être utilisées dans cet essai. Un ensemble d'éprouvettes de films identiques conformes à l'ISO 11357-1 doit être obtenu (c'est-à-dire, au moins deux éprouvettes identiques, de taille comprise entre 5 mg et 9 mg). Il convient de découper les éprouvettes à la dimension afin de prévoir un ajustement avec jeu par rapport au creuset, avec des surfaces planes pour permettre un bon contact thermique avec ce dernier. Les éprouvettes peuvent être durcies (le cas échéant) selon les spécifications du fabricant au moyen d'un procédé le plus proche possible de la méthode utilisée dans le procédé de fabrication prévu. Pour prévenir les effets parasites de l'eau, il convient de soumettre les éprouvettes à dessiccation (humidité relative <1 %) pendant au moins 24 h avant mesurage.

5.3.9.3 Appareillage

Un calorimètre différentiel à balayage étalonné conformément à l'ISO 11357-1 et qui satisfait à ses exigences doit être utilisé. Des creusets non hermétiques (par exemple, aluminium) peuvent être utilisés pour cet essai. L'utilisation d'un gaz de purge (par exemple, azote de qualité analytique) est recommandée.

5.3.9.4 Procédure

Les étapes, qui comprennent l'échantillonnage et la fabrication des éprouvettes, le conditionnement (dessiccation), la pesée des composants (creusets, éprouvettes), le montage dans le creuset, le déclenchement du débit de gaz de purge, le préchauffage du calorimètre différentiel à balayage et le mesurage, doivent être exécutées conformément à l'ISO 11357-1. La fréquence d'échantillonnage des données de 5 Hz (0,2 s·point⁻¹) doit être utilisée avec la vitesse de chauffage de 10 °C·min⁻¹. La température initiale de 25 °C, la température maximale de 225 °C et la température minimale de –90 °C doivent être utilisées pour l'essai. Deux cycles de chauffage/refroidissement (de 25 °C à 225 °C et de –90 °C à 25 °C, puis de 25 °C à 225 °C et de –90 °C à 25 °C) doivent être appliqués pour supprimer le traitement thermique préalable des éprouvettes, suivi du mesurage. Tous les résultats doivent être déterminés à partir de l'analyse du second cycle de chauffage/refroidissement selon une méthode conforme à l'ISO 11357. Lorsque les mesurages reproduits diffèrent de plus de 10 %, l'essai doit être répété afin d'obtenir un résultat valide.

NOTE Des facteurs tels qu'un faible contact thermique avec le creuset, la durée limite de stockage des matériaux et la dégradation des matériaux, peuvent altérer l'essai. Par conséquent, au moins deux éprouvettes sont examinées pour assurer un résultat valide.

5.3.9.5 Exigences de consignation des informations

Le cas échéant, les températures de transition (y compris la température de transition vitreuse, la température de fusion et la température de cristallisation) doivent être consignées selon une méthode conforme à l'ISO 11357-1. Les résultats doivent être consignés pour la moyenne des mesurages reproduits.

5.3.10 Mécanique: Degré de durcissement (DoC) de l'EVA

5.3.10.1 Généralités

Cet essai a pour objet de quantifier le degré de durcissement (DoC - degree of cure) comme cela est défini dans l'IEC 62788-1-6. Le DoC peut être quantifié au moyen des méthodes secondaires existantes quelles qu'elles soient, y compris l'enthalpie ou la DSC par fusion/gel, ainsi que la pénétration. Les méthodes secondaires produisent généralement des résultats similaires et sont typiquement corrélées à la méthode principale, c'est-à-dire, l'essai du taux de gel. Les méthodes ont été spécifiées dans l'IEC 62788-1-6 pour l'EVA, mais elles peuvent également être appliquées à d'autres encapsulants réticulés. Les résultats de l'essai dépendent du traitement de l'encapsulant, et ne sont par conséquent pas inclus dans la fiche technique du fabricant. L'essai DoC est inclus ici principalement pour le contrôle de fabrication et de procédé, pour lequel il peut être contrôlé par les fabricants d'encapsulants ou de modules. Un durcissement approprié et une activation adéquate de l'apprêt sont nécessaires pour assurer une bonne adhésion des interfaces. Un durcissement inapproprié peut produire des peroxydes résiduels (ce qui facilite la corrosion) et peut également permettre un fluage mécanique (voir [4] et [5]). Le DoC ne constitue pas une caractéristique permanente, étant donné que la concentration d'initiateur de réticulation et le degré de réticulation moléculaire dans l'encapsulant peuvent varier avec le traitement thermique, ainsi qu'avec l'exposition aux intempéries. La recherche associée à la question du fluage mécanique est décrite en [4] et [5]. Le développement de l'essai DoC est décrit en [6].

5.3.10.2 Échantillonnage

Des éprouvettes doivent être obtenues à partir d'un échantillon d'encapsulant représentatif. Selon l'application des méthodes, les échantillons peuvent inclure: les éprouvettes obtenues à partir d'un rouleau d'encapsulant représentatif (avant ou après lamination), les éprouvettes obtenues à partir d'un module PV ou les éprouvettes obtenues à partir d'un coupon témoin (après lamination). Des éprouvettes conformes à l'IEC 62788-1-6 doivent être utilisées, y compris le nombre d'éprouvettes identiques.

5.3.10.3 Appareillage

Un appareillage qui satisfait aux exigences de l'IEC 62788-1-6 doit être utilisé pour les mesurages du DoC. Selon la méthode utilisée issue de l'IEC 62788-1-6, les appareillages suivants peuvent être utilisés: un calorimètre différentiel à balayage (pour les méthodes DSC "secondaires" d'enthalpie ou de fusion/gel), un appareil d'essai d'indentation instrumenté (pour la méthode d'indentation "secondaire"), ou un extracteur Soxhlet (ou similaire) (pour la méthode "principale" [de référence] du taux de gel).

5.3.10.4 Procédure

Préalablement au mesurage du DoC, les éprouvettes doivent être laminées (lorsqu'elles ne l'ont pas été précédemment), puis conditionnées conformément à l'IEC 62788-1-6.

Suivre la procédure de réalisation des mesurages du DoC décrite dans l'IEC 62788-1-6.

Pour obtenir le DoC, l'analyse des données doit être effectuée conformément à l'IEC 62788-1-6, selon la méthode d'essai utilisée.

5.3.10.5 Exigences de consignation des informations

Le DoC doit être consigné selon une méthode conforme à l'IEC 62788-1-6. Les résultats d'une méthode secondaire et/ou les résultats de la méthode principale doivent être consignés selon une méthode conforme aux exigences spécifiques à l'utilisateur applicables au contrôle de fabrication et de procédé. Les résultats des méthodes secondaires doivent être consignés par rapport à leur corrélation avec la méthode principale, c'est-à-dire, par l'application de G_e , G_a , G_i , ou $G\%$.

5.3.11 Mécanique: variation des dimensions linéaires (CiLD)

5.3.11.1 Généralités

Cet essai a pour objet de quantifier la variation des dimensions linéaires (CiLD - change in linear dimension) comme cela est défini dans l'IEC 62788-1-5. La méthode peut être utilisée pour évaluer le rétrécissement latéral ou la dilatation de la feuille d'encapsulant à la température de lamination. Bien que la CiLD n'ait pas encore été directement étudiée en détail, elle peut contribuer à la formation de vides, à l'application d'une contrainte résiduelle dans un module PV, et à la modification de l'emplacement des composants lors de la lamination [7]. Bien que la CiLD d'un encapsulant laminé dans un module dépende du traitement thermique et mécanique réel lors de la lamination (qui inclut également les effets de frottement et autres interactions superficielles), les résultats pour l'IEC 62788-1-5 doivent être consignés dans la fiche technique du fabricant afin de faciliter le choix des matériaux. La CiLD peut également être contrôlée à des fins de contrôle de fabrication et de procédé par les fabricants des encapsulants ou des modules. Le développement de la norme CiLD est décrit en [7].

5.3.11.2 Échantillonnage

Des échantillons de film doivent être obtenus à partir d'un rouleau d'encapsulant représentatif. Le nombre d'éprouvettes identiques doit satisfaire aux exigences de l'IEC 62788-1-5 (c'est-à-dire ≥ 3 éprouvettes identiques à des fins de contrôle de fabrication et de procédé, ou ≥ 6 ensembles de ≥ 3 éprouvettes identiques pour la consignation des informations dans les fiches techniques).

5.3.11.3 Appareillage

Une étuve à commande en boucle fermée et à circulation d'air et un dispositif de mesure linéaire étalonné conforme aux exigences de l'IEC 62788-1-5 doivent être utilisés pour mesurer la CiLD.

5.3.11.4 Procédure

Les éprouvettes doivent être échantillonnées, marquées (afin de désigner le sens machine et/ou d'extrusion), mesurées (épaisseur et dimensions latérales) et conditionnées conformément à l'IEC 62788-1-5 avant de mesurer la CiLD.

Suivre la procédure d'application du traitement thermique et de réalisation des mesurages de la CiLD décrite dans l'IEC 62788-1-5.

L'analyse des données doit être effectuée conformément à l'IEC 62788-1-5 afin d'obtenir la valeur CiLD pour les deux sens de marquage des matériaux.

5.3.11.5 Exigences de consignation des informations

La CiLD doit être consignée selon une méthode conforme à l'IEC 62788-1-5, y compris la CiLD maximale et l'étendue correspondante de mesure, ainsi que la CiLD moyenne et deux écarts-types de ces mesurages.

5.3.12 Mécanique: charge bloquante

5.3.12.1 Généralités

L'essai de pouvoir bloquant a pour objet de quantifier la tendance à la solidarisation des feuilles d'encapsulant après stockage. L'essai peut être utilisé pour évaluer l'efficacité des couches à texture superficielle ou de séparation par rapport au stockage ou au transport. Les résultats de l'essai peuvent (de manière facultative) être inclus dans la fiche technique du fabricant.

5.3.12.2 Échantillonnage

Des échantillons doivent être obtenus à partir d'un rouleau d'encapsulant représentatif. Un ensemble d'éprouvettes de bandes de films identiques conformes à l'ISO 11502 doit être obtenu (c'est-à-dire ≥ 10 bandes identiques). Les éprouvettes ne doivent pas être durcies. Pour une comparaison interlaboratoire, les éprouvettes doivent être conditionnées selon la classe 2 de l'ISO 291, c'est-à-dire avec une température de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ et une humidité relative de $(50 \pm 10) \%$ pendant au moins 24 h avant mesurage. Pour une évaluation de l'efficacité des couches à texture superficielle ou de séparation, les éprouvettes peuvent être conditionnées à d'autres températures et humidités.

5.3.12.3 Appareillage

Un cadre de charge mécanique conforme aux exigences de l'ISO 11502 doit être utilisé. Une chambre thermique peut être utilisée avec l'appareillage afin de quantifier l'effet de la température sur le pouvoir bloquant.

5.3.12.4 Procédure

Les échantillons doivent être extraits, assemblés par paires (entre le verre et le papier), puis pesés et soumis à un traitement thermique dans une étuve comme cela est spécifié dans l'ISO 11502 (c'est-à-dire avec application de poids de 2,3 kg à 50 °C pendant 3 h). La configuration d'essai de la méthode A ou celle de la méthode B spécifiée dans l'ISO 11502 peut être utilisée. Pour une évaluation de l'efficacité des couches à texture superficielle ou de séparation, les éprouvettes peuvent être soumises à un traitement à d'autres températures. Pour une évaluation de la charge bloquante dans des conditions de stockage, les conditions maximales d'entreposage ou d'expédition peuvent être utilisées, par exemple, une température de 40 °C.

Les échantillons doivent ensuite être conditionnés avant l'essai avec le cadre de charge. Ce dernier doit permettre de déterminer la force de séparation.

L'analyse des données doit être effectuée conformément à l'ISO 11502 afin d'obtenir la force de pouvoir bloquant.

5.3.12.5 Exigences de consignation des informations

Le pouvoir bloquant doit être consigné selon une méthode conforme à l'ISO 11502, y compris la moyenne et la variation de deux écarts-types des mesurages reproduits.

5.4 Électrique

5.4.1 Électrique: résistivité transversale

5.4.1.1 Généralités

Cet essai a pour objet de quantifier la résistivité électrique transversale au moyen des méthodes décrites dans l'IEC 62788-1-2. La résistance électrique peut limiter le flux des espèces électroniques et ioniques, ce qui réduit la corrosion électrochimique et la dégradation induite par des potentiels (PID - potential induced degradation). La corrélation entre la résistivité et la réduction de corrosion ou de la PID peut ne pas être directement adaptée à différentes classes ou différentes résines de base de matériaux polymères. Les résultats de l'essai doivent être consignés dans la fiche technique du fabricant afin de faciliter le choix des matériaux. La résistivité transversale peut également être contrôlée à des fins de contrôle de fabrication et de procédé par les fabricants des encapsulants ou des modules. Le développement de la norme de résistivité transversale est décrit en [8].

5.4.1.2 Échantillonnage

Des échantillons de film doivent être obtenus à partir d'un rouleau d'encapsulant représentatif. Le nombre d'éprouvettes identiques doit satisfaire aux exigences de l'IEC 62788-1-2 (c'est-à-dire ≥ 5 éprouvettes identiques) pour la consignation des informations dans les fiches techniques.

5.4.1.3 Appareillage

Un électromètre et un dispositif de fixation des électrodes avec deux plaques métalliques planes conformes aux exigences de l'IEC 62788-1-2 doivent être utilisés pour mesurer la résistivité transversale.

5.4.1.4 Procédure

Avant de mesurer la résistivité, les éprouvettes doivent être échantillonnées, conditionnées ("conditions ambiantes de laboratoire") puis mesurées (c'est-à-dire l'épaisseur) conformément à l'IEC 62788-1-2.

Suivre la procédure d'application de la température d'essai, du niveau de tension et de durée de cycle de mesure spécifiée dans l'IEC 62788-1-2. La température d'essai de 23 °C, le niveau de tension (1 000 V) et la durée de cycle de mesure (durée de cycle de 1 h) de la méthode A doivent être utilisés pour les éprouvettes conditionnées dans les "conditions ambiantes de laboratoire" (ISO 291, Classe 2) pour la consignation des informations dans les fiches techniques. La température d'essai de 23 °C, le niveau de tension (1 000 V) et la durée de cycle de mesure (durée de cycle de 1 min) de la méthode B doivent être utilisés pour les éprouvettes conditionnées dans les "conditions ambiantes de laboratoire" (ISO 291, Classe 2) pour le contrôle de fabrication et de procédé.

L'analyse des données doit être effectuée conformément à l'IEC 62788-1-2 afin d'obtenir la résistivité transversale.

5.4.1.5 Exigences de consignation des informations

La résistivité transversale doit être consignée selon une méthode conforme à l'IEC 62788-1-2.

5.4.2 Électrique: indice de résistance au cheminement (IRC)

5.4.2.1 Généralités

Cet essai a pour objet de quantifier l'indice de résistance au cheminement (IRC) de l'encapsulant. L'IRC se rapporte à la possibilité d'un cheminement électrique (c'est-à-dire la dégradation des matériaux) entre des composants sous tension. Les résultats de l'essai peuvent (de manière facultative) être consignés dans la fiche technique du fabricant afin de faciliter le choix des matériaux. L'IRC peut être exigé pour certaines conceptions de modules afin de satisfaire aux exigences de lignes de fuite et de distances d'isolement spécifiées dans l'IEC 61730-2.

5.4.2.2 Échantillonnage

Des échantillons doivent être obtenus à partir d'un rouleau d'encapsulant représentatif. Un ensemble d'échantillons conformes à l'IEC 60112 doit être utilisé (c'est-à-dire ≥ 5 éprouvettes identiques). L'épaisseur de l'éprouvette ou des éprouvettes doit être au moins de 3 mm. Cette épaisseur peut être obtenue au moyen d'un empilement de feuilles de matériau ou d'un échantillon laminé de telle sorte que son épaisseur soit au moins de 3 mm, en utilisant plusieurs feuilles d'encapsulant. Il convient de durcir (le cas échéant) les éprouvettes monolithes selon les spécifications du fabricant au moyen d'un procédé le plus proche possible de la méthode utilisée dans le procédé de fabrication prévu. Les éprouvettes peuvent être durcies entre des couches de séparation au sein d'un cadre de l'épaisseur représentative afin d'améliorer l'uniformité de l'épaisseur.

5.4.2.3 Appareillage

Un appareillage IRC conforme aux exigences de l'IEC 60112 doit être utilisé.

5.4.2.4 Procédure

Les étapes, qui comprennent, l'échantillonnage et la fabrication des éprouvettes, le conditionnement, la fixation/le montage sur l'appareillage, l'équilibrage à la température d'essai, l'application d'une tension externe à courant alternatif, l'application de gouttelettes de chlorure d'ammonium, et l'application du niveau de tension spécifié pour la durée exigée, doivent être exécutées conformément à l'IEC 60112. Les éprouvettes doivent être conditionnées selon la classe 2 de l'ISO 291, c'est-à-dire avec une température de (23 ± 2) °C et une humidité relative de (50 ± 10) % pendant au moins 24 h avant mesurage. Le mesurage doit être effectué une fois sur chaque éprouvette identique à une température de 23 °C. La procédure d'essai doit être répétée sur chaque éprouvette conformément à l'IEC 60112, avec augmentation de la tension appliquée jusqu'à ce qu'une surintensité valide soit observée.

5.4.2.5 Exigences de consignation des informations

L'IRC doit être consigné selon une méthode conforme à l'IEC 60112. Les résultats de l'essai incluent la catégorie de tension et la catégorie de niveau de performances (dans certaines juridictions). Les résultats, outre le groupe de matériaux correspondant ou la catégorie de niveau de performances correspondante, doivent être consignés pour la moyenne des mesurages reproduits, avec indication de la variation pour la moitié de la plage correspondante. La plage doit être déterminée comme la valeur mesurée maximale moins la valeur mesurée minimale.

5.5 Thermique

5.5.1 Thermique: conductivité

5.5.1.1 Généralités

Cet essai a pour objet de quantifier la conductivité thermique de l'encapsulant. La conductivité thermique contribue à la gestion thermique du module PV lors de son utilisation ou de son installation. Les résultats de l'essai peuvent (de manière facultative) être consignés dans la fiche technique du fabricant afin de faciliter le choix des matériaux.

5.5.1.2 Échantillonnage

Des échantillons doivent être obtenus à partir d'un rouleau d'encapsulant représentatif. Étant donné que le chauffage (c'est-à-dire le processus de durcissement, le cas échéant) peut affecter la forme des éprouvettes, celles-ci doivent être durcies avant échantillonnage (le cas échéant) selon les spécifications du fabricant, au moyen d'un procédé le plus proche possible de la méthode employée dans le procédé de fabrication prévu. Le durcissement des éprouvettes peut s'effectuer entre les couches de séparation afin d'obtenir une surface lisse. Le revêtement des matériaux encapsulants transparents pour la source flash doit être conforme à l'ISO 22007-4 afin d'empêcher toute pénétration du faisceau laser dans l'éprouvette au cours de l'essai. Un ensemble d'éprouvettes de films identiques conformes à l'ISO 22007-4 doit être obtenu (c'est-à-dire ≥ 2 éprouvettes de films circulaires identiques, de diamètre compris entre 5 mm et 20 mm).

5.5.1.3 Appareillage

Une source flash laser conforme aux exigences de l'ISO 22007-4 doit être utilisée.

5.5.1.4 Procédure

Les étapes, qui comprennent l'échantillonnage et la fabrication des éprouvettes, le conditionnement des éprouvettes, l'équilibrage de l'appareillage, le mesurage de l'épaisseur des éprouvettes, le montage de l'éprouvette sur l'appareillage, le déclenchement du débit de gaz de purge, la mise à zéro de la thermobalance, la stabilisation du four ou de l'enceinte climatique, et le mesurage, doivent être exécutées conformément à l'ISO 22007-4. Les éprouvettes doivent être conditionnées selon la classe 2 de l'ISO 291, c'est-à-dire avec une température de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ et une humidité relative de $(50 \pm 10) \%$ pendant au moins 24 h avant mesurage. Le mesurage doit être effectué trois fois sur chaque éprouvette identique à la température de $23 ^\circ\text{C}$. L'analyse des données doit être effectuée conformément à l'ISO 22007-4. Lorsque les résultats pour les éprouvettes identiques diffèrent de plus de 10 %, l'essai doit être répété afin d'obtenir un résultat valide.

5.5.1.5 Exigences de consignation des informations

La conductivité thermique doit être consignée selon une méthode conforme à l'ISO 22007-4. La moyenne des mesurages reproduits doit être consignée, avec indication de la variation pour la moitié de la plage correspondante. La plage doit être déterminée à partir de la valeur mesurée maximale moins la valeur mesurée minimale.

5.5.2 Thermique: température de décomposition (TDT)

5.5.2.1 Généralités

Cet essai a pour objet de quantifier la température de décomposition thermique (TDT - thermal decomposition temperature) de l'encapsulant. Les résultats de l'essai peuvent indiquer une décomposition chimique de la résine ou la perte des additifs de formulation à une température élevée. Les résultats de l'essai peuvent (de manière facultative) être consignés dans la fiche technique du fabricant afin de faciliter le choix des matériaux.

5.5.2.2 Échantillonnage

Des échantillons doivent être obtenus à partir d'un rouleau d'encapsulant représentatif. Étant donné que le processus de durcissement peut produire des espèces volatiles avec une perte de masse ultérieure, les éprouvettes doivent être durcies avant échantillonnage (le cas échéant) selon les spécifications du fabricant, au moyen d'un procédé le plus proche possible de la méthode employée dans le procédé de fabrication prévu. Le durcissement des éprouvettes peut s'effectuer entre les couches de séparation afin d'obtenir une surface lisse. Les éprouvettes non durcies peuvent également être utilisées dans cet essai. Un ensemble d'éprouvettes de films identiques conformes à l'ISO 11358-1 doit être obtenu (c'est-à-dire, au moins deux éprouvettes circulaires identiques, de taille comprise entre 5 mg et 9 mg). Pour prévenir les effets parasites de l'eau, il convient de soumettre les éprouvettes à dessiccation (humidité relative <1 %) pendant au moins 24 h avant mesurage.

5.5.2.3 Appareillage

Un analyseur thermogravimétrique (TGA - thermogravimetric analyser) étalonné conformément à l'ISO 11358-1 et qui satisfait à ses exigences doit être utilisé. Une régulation thermique linéaire ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$) doit être utilisée, mais il convient de ne pas utiliser une régulation thermique modulée (par exemple, sinusoïdale dans la durée, pour la détermination de l'énergie d'activation). Il convient d'utiliser un gaz (azote) de qualité analytique. De l'air comprimé (et non synthétique) peut être utilisé. Un débit gazeux de $(90 \pm 9) \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ est recommandé pour l'air ou l'azote gazeux de purge vers l'éprouvette. Un débit gazeux de $(10 \pm 1) \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ est recommandé pour l'azote gazeux de purge vers la balance.

5.5.2.4 Procédure

Les étapes, qui comprennent l'échantillonnage et la fabrication des éprouvettes, le conditionnement (dessiccation), la mise en place du porte-échantillons, le déclenchement du débit de gaz de purge, et le mesurage, doivent être exécutées conformément à l'ISO 11358-1. La température initiale de 25°C et la température maximale de 800°C doivent être utilisées pour l'essai. Un cycle de chauffage (entre 25°C et 800°C) doit être utilisé pour l'essai TDT. Tous les résultats doivent être déterminés à partir de l'analyse du cycle de chauffage selon une méthode conforme à l'ISO 11358-1. La TDT doit être prise comme la température avec laquelle une perte de masse de 5 % est observée par rapport à la masse de l'éprouvette au début de l'expérience. Lorsque les mesurages reproduits diffèrent de plus de 10 %, l'essai doit être répété afin d'obtenir un résultat valide. Dans la mesure où les environnements aérobies et anaérobies peuvent produire des résultats significativement différents, l'air et l'azote doivent tous deux être utilisés séparément pour déterminer la TDT.

NOTE Des facteurs tels qu'un faible contact thermique avec le creuset, la durée limite de stockage des matériaux et la dégradation des matériaux, peuvent altérer l'essai. Par conséquent, deux éprouvettes sont examinées pour assurer un résultat valide.

5.5.2.5 Exigences de consignation des informations

La TDT doit être consignée selon une méthode conforme à l'ISO 11358-1. Les résultats doivent être consignés à la fois pour les essais réalisés pour les éprouvettes purgées dans l'air et pour les essais réalisés pour les éprouvettes purgées dans l'azote. La moyenne des mesurages reproduits doit être consignée.