

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Radiation protection instrumentation – Measuring the imaging performance of X-ray computed tomography (CT) security-screening systems

Instrumentation pour la radioprotection – Mesure des performances d'imagerie des systèmes de contrôle de sécurité utilisant la tomographie par ordinateur (CT) à rayons X

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62945:2018



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED
Copyright © 2018 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 Central Office
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 corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

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 also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 21 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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.

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.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

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 aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 21 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

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.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Radiation protection instrumentation – Measuring the imaging performance of X-ray computed tomography (CT) security-screening systems

Instrumentation pour la radioprotection – Mesure des performances d'imagerie des systèmes de contrôle de sécurité utilisant la tomographie par ordinateur (CT) à rayons X

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 13.280

ISBN 978-2-8322-6025-8

**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.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	8
2 Normative references.....	9
3 Terms and definitions, abbreviated terms, quantities and units	9
3.1 Terms and definitions	9
3.2 Abbreviated terms	12
3.3 Quantities and units	12
4 Imaging performance evaluation procedures	12
4.1 General test performance requirements	12
4.2 Description of test articles	13
4.3 Manually recorded data	16
4.3.1 Purpose	16
4.3.2 System data.....	16
4.3.3 Evaluation environment data	18
4.3.4 Comments	18
4.3.5 Deviations from specified methods	18
4.3.6 Presentation of results	19
4.4 Object length accuracy	20
4.4.1 Purpose	20
4.4.2 Test object description	21
4.4.3 Test method.....	21
4.4.4 Presentation of results	23
4.5 Path-length CT value and Z_{eff}	24
4.5.1 Purpose	24
4.5.2 Test object description	24
4.5.3 Test method.....	25
4.5.4 Presentation of results	26
4.6 Noise equivalent quanta (NEQ)	26
4.6.1 Purpose	26
4.6.2 Test object description	27
4.6.3 Test method.....	27
4.6.4 Presentation of results	29
4.7 CT value consistency	30
4.7.1 Purpose	30
4.7.2 Test object description	30
4.7.3 Test method.....	30
4.7.4 Presentation of results	30
4.8 CT value uniformity and x-ray energy spectrum consistency.....	30
4.8.1 Purpose	30
4.8.2 Test object description	31
4.8.3 Test method.....	31
4.8.4 Presentation of results	32
4.9 Streak artifacts.....	33
4.9.1 Purpose	33
4.9.2 Test object description	33

4.9.3	Test method.....	33
4.9.4	Presentation of results	34
4.10	Slice sensitivity profile (SSP).....	35
4.10.1	Purpose	35
4.10.2	Test object description	35
4.10.3	Test method.....	35
4.10.4	Presentation of results	36
4.11	Image registration	36
4.11.1	Purpose	36
4.11.2	Test object description	36
4.11.3	Test method.....	37
4.11.4	Presentation of results	40
5	Environmental requirements.....	40
Annex A	(normative) Detailed test article specifications and drawings	41
A.1	General.....	41
A.2	Commercial parts	41
A.3	Outer enclosure	41
A.4	Detailed drawings of custom components	42
Annex B	(informative) Example of reporting format	66
B.1	General.....	66
B.2	Example report.....	66
Annex C	(informative) Statistical guidance on multiple scans, summary statistics, and comparison of results.....	70
C.1	General.....	70
C.2	Scenario A: Comparing a single CT system between its baseline and candidate (revised) configuration	70
C.3	Scenario B: Comparing a single (candidate) system against an existing historical population of systems	71
Bibliography		72
Figure 1	– Reference axes for testing procedures	13
Figure 2	– Test article A.....	14
Figure 3	– Test article B.....	15
Figure 4	– Format example for manually recorded data.....	20
Figure 5	– Object length test object.....	21
Figure 6	– Output from object length procedure when test article is submitted within angular tolerance.....	24
Figure 7	– Output from object length procedure when test article rotation is outside of angular tolerance.....	24
Figure 8	– Path-length test object.....	25
Figure 9	– Example plot of path-length test results	26
Figure 10	– NEQ test object.....	27
Figure 11	– Z uniformity test object and streak artifact test object	31
Figure 12	– Pins in test object axial slice (large circle), midpoints between neighboring pin pairs (small circles), traced line, and rectangular ROI.....	33
Figure 13	– Slanted edge test object used to measure z resolution	35
Figure 14	– Registration test object (not to scale)	37

Figure 15 – CT image of registration test object, slice plane 1.....	38
Figure 16 – Horizontal line profile through CT slice of the registration test object	38
Figure 17 – Projection image of the registration test object and vertical profile through image	39
Figure A.1 – Assembly of Case A test article	43
Figure A.2 – Assembly of Case B test article	44
Figure A.3 – Test component sub-assembly of Case A test article (drawing 1 of 2).....	45
Figure A.4 – Test component sub-assembly, Case A test article (drawing 2 of 2).....	46
Figure A.5 – Test component sub-assembly, Case B test article (drawing 1 of 2).....	47
Figure A.6 – Test component sub-assembly, Case B test article (drawing 2 of 2).....	48
Figure A.7 – Sub-components for Case A cylinder test object	49
Figure A.8 – Ring sub-components for Case A cylinder test object.....	50
Figure A.9 – Pin sub-components for Case A cylinder test object (streak artifacts)	51
Figure A.10 – Al sub-component for image registration test object, Case A	52
Figure A.11 – POM sub-components for image registration test object, Case A	53
Figure A.12 – Cylinder test object (NEQ and CT value consistency), Case B.....	54
Figure A.13 – Object length test object, Cases A and B	55
Figure A.14 – Path length test object, Case A.....	56
Figure A.15 – SSP test object, Case B	57
Figure A.16 – Partition panel for component support, Cases A and B (drawing 1 of 4)	58
Figure A.17 – Partition panel for component support, Case A (drawing 2 of 4).....	59
Figure A.18 – Partition panel for component support, Case B (drawing 3 of 4).....	60
Figure A.19 – Partition panel for component support, Case B (drawing 4 of 4).....	61
Figure A.20 – Component support rods, Cases A and B.....	62
Figure A.21 – Assembly washers, Cases A and B.....	63
Figure A.22 – Sub-assembly for Case A cylinder test object.....	64
Figure A.23 – Sub-assembly for Case A image registration test object	65
Table 1 – List of test methods and indicators measured.....	16
Table 2 – NEQ procedure results	29
Table 3 – CT value uniformity results	32
Table 4 – Streak artifact procedure results	34
Table 5 – SSP procedure results.....	36
Table A.1 – Commercial foils required for fabrication of CT value uniformity and x-ray energy spectrum consistency test object (4.8)	41

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**RADIATION PROTECTION INSTRUMENTATION –
MEASURING THE IMAGING PERFORMANCE OF X-RAY
COMPUTED TOMOGRAPHY (CT) SECURITY-SCREENING SYSTEMS**

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) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 62945 has been prepared by subcommittee 45B: Radiation protection instrumentation, of IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation.

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

FDIS	Report on voting
45B/908/FDIS	45B/910/RVD

Full information on the voting for the approval of this International Standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This document has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

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

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

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication 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 62945:2018

INTRODUCTION

This document establishes standard test methods and test objects for measuring the imaging performance of x-ray computed tomography (CT) security-screening systems. The quality of data for automated analysis is the primary concern. This document does not address the system's ability to use its image data to automatically detect explosives or other threat materials, which is typically verified by an appropriate regulatory body.

Three annexes are included. Annex A (normative) provides mechanical drawings of the imaging test objects that compose the test article. A sample test report form is given in Annex B (informative). Annex C (informative) offers statistical guidance on multiple scans, summary statistics, and comparison of results. Finally, a bibliography is given (informative).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62945:2018

RADIATION PROTECTION INSTRUMENTATION – MEASURING THE IMAGING PERFORMANCE OF X-RAY COMPUTED TOMOGRAPHY (CT) SECURITY-SCREENING SYSTEMS

1 Scope

This document provides test methods for the evaluation of image quality of computed tomography (CT) security-screening systems. The quality of data for automated analysis is the primary concern. This document does not address the system's ability to use this image data to automatically detect explosives or other threat materials, nor is it intended for vendor-to-vendor comparisons of threat-detection performance.

Security screening systems are generally used to scan parcels, including luggage, for the presence of illicit items such as explosives, drugs, or other contraband. Many of the screening systems currently used, particularly in transportation security applications, are based on CT imaging technology. Generally, as the parcel is transported through the system, the system collects a CT image of the parcel. These data are then subjected to automated analysis to determine whether a threat may be present or the parcel is considered clear. If the automated analysis determines a threat may be present, the image is often presented to a system operator who can override the automated decision, clearing the parcel, or referring it for further processing such as opening it and manually searching for threats.

Historically, government regulators have established evaluation procedures to determine whether a system's automated detection performance is adequate for use in applications within their borders. Typically, a vendor submits a copy of their product, including their software to the regulator's facility. The regulator runs a wide variety of parcels with threats inside through the system as well as parcels without threats that represent the typical stream of commerce. Detection and false alarm rates are determined and compared against performance criteria. If the criteria are met, the system is approved for use. This testing ensures that the system is capable of meeting the required criteria, but how does one ensure that all copies of the system meet the criteria? Normal manufacturing variability, quality control issues, or aging of the equipment may degrade performance versus what was observed on the article tested by the regulator. Replicating the original test on each machine in question is impractical. Transporting the regulator's threat set to a factory site or to locations where the machines are in use presents significant security and in some cases safety concerns. This document seeks to address this issue by specifying a suite of test methods that can be carried out on site without need for hazardous materials.

The performance testing carried out by the regulators essentially evaluates the combination of the system's ability to produce an image of the parcel along with its automatic analysis of that image data to reach a decision of threat or clear. The second part of this sequence, the analysis, is implemented through software. Regulators generally require that this software be designed so as to not evolve through use. The software used at all locations in the field must perform the same as the software did at the time of evaluation by the regulator. Configuration management of such software is a well-known and straightforward art. Therefore, the real opportunity for performance variation comes from the imaging system that provides the data to the analysis software. If one can quantitatively validate that the quality of the image produced by the system in question is statistically equivalent to the image produced by the article evaluated by the regulator, one can be highly confident that the performance of the system in question is the same as what was approved by the regulator.

Purchasers of CT systems for security screening applications are generally not CT experts. Inconsistencies in methods for measuring seemingly standard image quality values (resolution, signal-to-noise, etc.) can confuse the potential user of such CT systems. Other standards exist for testing aspects of CT image quality, particularly in the medical field. This document specifies a set of methods to apply in assessing CT image quality geared towards security

screening. An application of this document would be in the factory acceptance testing of equipment. The document could be used to indicate whether the unit offered for sale produces the equivalent image quality as the unit that was tested by the cognizant regulatory agency. Since various image quality metrics can be traded off against one another and achieve similar levels of threat detection, it is generally not valid, in contrast to medical CT, to make model-to-model or manufacturer-to-manufacturer comparisons of individual test results for CT systems used for security-screening.

This document does not address image quality presented to the operator. The image quality provided to the operator is not necessarily at the same level as that used by the automated analysis. The data may be degraded before presenting to the operator to decrease resources required for rendering the image on the screen. Conversely, the data used in the automated analysis may be intentionally degraded to control the computational loading of the analysis computer. The user of this document may want to separately assess the quality of the images presented to the system's operator. A wide range of methods is available for this purpose including the use of visual line pair gauges and ASTM F792 [1].¹

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 60050-395:2014, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 395: Nuclear instrumentation: Physical phenomena, basic concepts, instruments, systems, equipment and detectors*

IEC 60050-881, *International Electrotechnical Vocabulary. Radiology and radiological physics*

ASTM E1695, *Standard Test Method for Measurement of Computed Tomography (CT) System Performance*

ASTM publications are available from the ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, USA (<http://www.astm.org/>).

ASTM D6100, *Standard Specification for Extruded, Compression Molded and Injection Molded Polyoxymethylene Shapes (POM)*

SAE AMS 4027: *Aluminum Alloy, Sheet and Plate, 1.0Mg – 0.60Si – 0.28Cu – 0.20Cr (6061; -T6 Sheet, -T651 Plate), Solution and Precipitation Heat Treated*

SAE AMS 4117: *Aluminum Alloy, Rolled or Cold Finished Bars, Rods, and Wire and Flash Welded Rings, 1.0Mg – 0.60Si – 0.28Cu – 0.20Cr, (6061; -T6, -T651), Solution and Precipitation Heat Treated*

3 Terms and definitions, abbreviated terms, quantities and units

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply. The general terminology concerning x-ray systems and radiological physics is given in IEC 60050-395 and IEC 60050-881.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

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

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

3.1.1

computed tomography

CT

process of rendering a three-dimensional image of a volume based on x-ray projection data

3.1.2

CT value

value reported by CT systems on a per voxel basis that is a function of the material's density and atomic number

3.1.3

coronal image

two-dimensional image produced by summing a three-dimensional volume image along the y-axis

Note 1 to entry: Axes defined in Figure 1.

3.1.4

effective atomic number

Z_{eff}

material property that represents the atomic number of a theoretical element that, if the material were replaced by the element, would produce the same x-ray attenuation characteristics

Note 1 to entry: Z_{eff} measurements can be scanner dependent and should not be considered absolute values.

3.1.5

mean

for n quantities, $x_1, x_2, \dots, x_n$, the quotient of the sum of the quantities by n :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

3.1.6

modulation transfer function

MTF

frequency-dependent measure of an imaging system's resolution or ability to reproduce object contrast. In one dimension it is computed from the system's response to an edge of high contrast using ASTM E1695

3.1.7

multi-energy

x-ray imaging system that collects image data at more than one x-ray energy spectrum

Note 1 to entry: This can be accomplished, for example, by varying the x-ray tube voltage, using an energy discriminating detector, or using multiple sets of detectors with differing energy response.

3.1.8**noise equivalent quanta****NEQ**

spatial-frequency-dependent measure of noise, interpreted as the number of quanta (radiation exposure) that an ideal detector would have needed to yield the same signal-to-noise ratio as an actual imaging system. It is computed from measurements of average CT value in an imaged object, the system's modulation transfer function and noise power spectrum

3.1.9**noise power spectrum****NPS**

spatial-frequency-dependent variance of an imaging system's noise, computed using the Fourier transform of uniform noise-limited images

3.1.10**projection image**

x-ray image created by detecting the x-ray intensity transmitted through the subject, resulting in an image in which all the subject's components appear to be projected onto a single image plane

3.1.11**registration**

spatial relationship between the coordinate systems of multiple imaging subsystems. It determines the ability to accurately correlate observations from one image to the others

3.1.12**slice**

cross-sectional image of the inspected object

Note 1 to entry: The normal of the plane of the image is in the direction of the conveyer belt motion (z axis).

3.1.13**slice sensitivity profile****SSP**

frequency-dependent measure of CT image resolution along the direction of the conveyer belt motion (z axis)

3.1.14**standard deviation**

sample standard deviation, σ_n , of n quantities, $x_1, x_2, \dots, x_n$ given by:

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \text{ where } \bar{x} \text{ is given by 3.1.5}$$

3.1.15**standard mode of operation**

mode of operation normally recommended by the manufacturer for inspection of parcels

Note 1 to entry: Some systems have special modes for collecting extra data for training. This would not be considered a standard mode of operation.

3.1.16**test article**

item, to be imaged by the system, containing multiple test objects in a specific geometric layout

Note 1 to entry: As used in this document, test article refers to the specific items defined in 4.2.

3.1.17**test object**

individual object having specific properties (size, shape, materials, etc.) that when imaged by the system allows a certain image quality evaluation to be carried out

3.1.18**voxel**

volume element representing a rectangular prism-shaped region in space within a volumetric image

3.2 Abbreviated terms

CT	computed tomography
MTF	modulation transfer function
NEQ	noise equivalent quanta
NPS	noise power spectrum
POM	polyoxymethylene

NOTE POM is the acetal copolymer $(\text{CH}_2\text{O})_n$ of which the test objects of this document are fabricated.

ROI	region of interest (in an image)
SNR	signal-to-noise ratio
SSP	slice sensitivity profile

3.3 Quantities and units

In this document, the units are the multiples and sub-multiples of units of the International System of Units (SI) [2]. The definitions of radiation quantities are given in IEC 60050-395:2014.

The following units may also be used:

- for energy: electron-volt (symbol: eV), $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$;
- for time: years (symbol: y), days (symbol: d), hours (symbol: h), minutes (symbol: min);
- for temperature: degrees Celsius (symbol: °C), $0 \text{ °C} = 273,15 \text{ K}$.

Multiples and submultiples of SI units are used, when practicable, according to the SI system.

4 Imaging performance evaluation procedures**4.1 General test performance requirements**

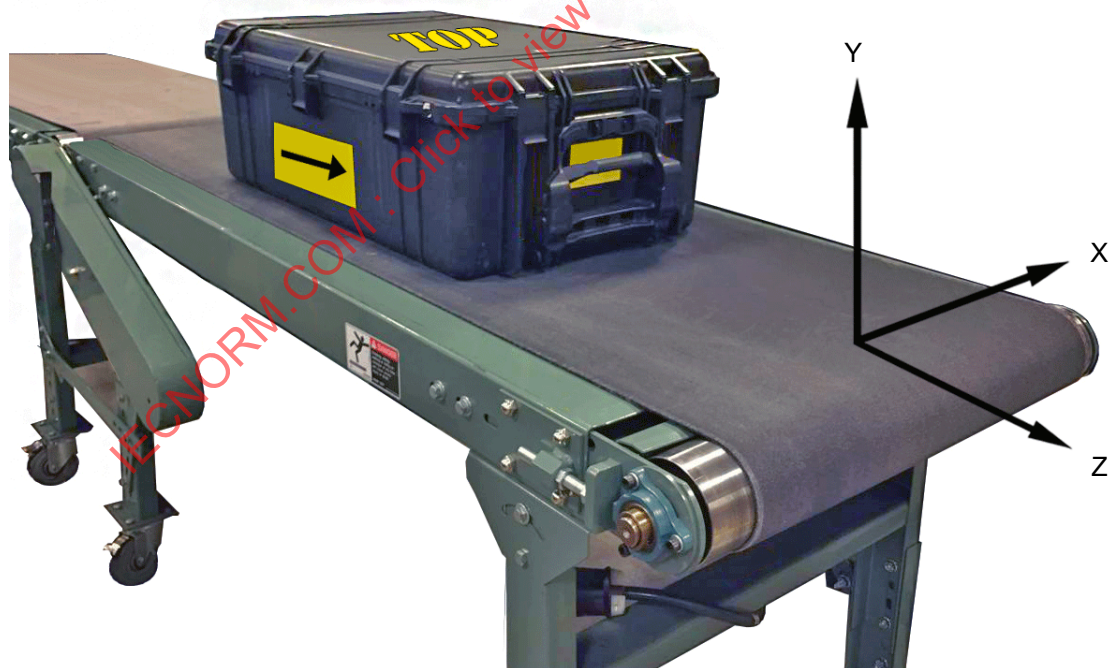
System components and adjustments should be as for the standard commercial product in normal security screening operation mode; any deviations shall be noted by the evaluators in the manually recorded data. If the system is approved to operate under more than one configuration, the user may want to request the test be carried out at all appropriate settings. Evaluation is to be based on images or other data normally used in standard mode of operation. The exposure time and level shall be chosen as that used when the CT system is operated for the intended use in the security screening application. A calibration of the CT system shall be carried out prior to any testing. Any recalibration of the CT system shall be allowed according to the standard operation of the system. In order to ensure that the system is using a configuration approved by the appropriate regulatory agency, the user may wish to request that the vendor provide the specific settings used during the evaluation such as: tube voltage(s), amperage, voxel size, belt speed, etc. Changes in CT image reconstruction software should be followed by gathering a new baseline measurement set. Alternatively, new baseline results may be recomputed offline if the data are available.

The test articles (see 4.2) shall be presented to the system in a controlled position and orientation. The main axis of each test article should be parallel to the conveyor belt motion direction and the front of the article shall enter the system first (front designated via labeling). The test method described in 6.3 determines the angle of rotation and side to side offset of the test articles relative to the centerline of the system conveyor. Results for rotations more than 2 degrees off parallel from conveyor centerline shall be rejected. This document requires that the test articles be measured at the center of the belt, directly on the belt, within ± 2 cm of the conveyor centerline. If the user decides to also run the test articles off centerline, the parallel requirement shall still be met, and the data shall be segregated and treated separately.

For reference, Figure 1 shows the coordinate system that shall be used for all procedure descriptions. The z axis is aligned along the direction of the conveyor motion. The y axis is in the vertical direction and the x axis is across the belt. The positive/negative direction of the axis system is immaterial as used in this document.

Not all the methods stated are applicable to all CT systems. Each method shall identify whether it is applicable to all CT types or only a subset.

Each of the test methods specified in this document can include required procedures and examples of optional techniques for achieving the required results. This is necessary because of the range of implementations used in security CT equipment. Each test method identifies where latitude for deviation from the analysis techniques exists. Any deviation from provided example techniques shall be documented including rationale for deviating from the suggested standard method of analysis. Such documentation shall be provided to the end user of the image quality evaluation.



IEC

Figure 1 – Reference axes for testing procedures

4.2 Description of test articles

Execution of this document requires two test articles. They are designated “test article A” and “test article B,” and are represented in Figure 2 and Figure 3. The articles consist of several test objects supported in a machined frame within a commercial or custom-built carrying case.

The placement of the test objects has been selected to minimize artifacts from one test object interfering with the image of another test object.

When fabricating test articles for use in this document, the test objects and the supporting structural frame shall be built in accordance with the detailed drawing package included in Annex B. The outer case should be selected for durability. It shall be large enough to contain the specified support structure. If commercial encasements are used, they may need to be modified to remove any metal structures (hinges, handles, fasteners, etc.) from the sides, top and bottom. Removing structures on the front and back surfaces (facing the z direction) is optional. If a commercial case is used, it shall be modified to remove any significant plastic structure along the sides, top, and bottom that might interfere with the imaging of the test object. Comparison of testing results, across time for example, shall be made using the same test article enclosure; if the enclosure is changed or modified, then a new baseline measurement shall be completed.

The outer case may be outfitted with appropriate low-density foam inserts to hold the test article support structure firmly in place, parallel to the bottom plane of the case and aligned with its centerline. The detailed dimensions of the individual test objects, their allowed fabrication tolerances, and their relative positions within the test article are given in the drawing package of Annex A.

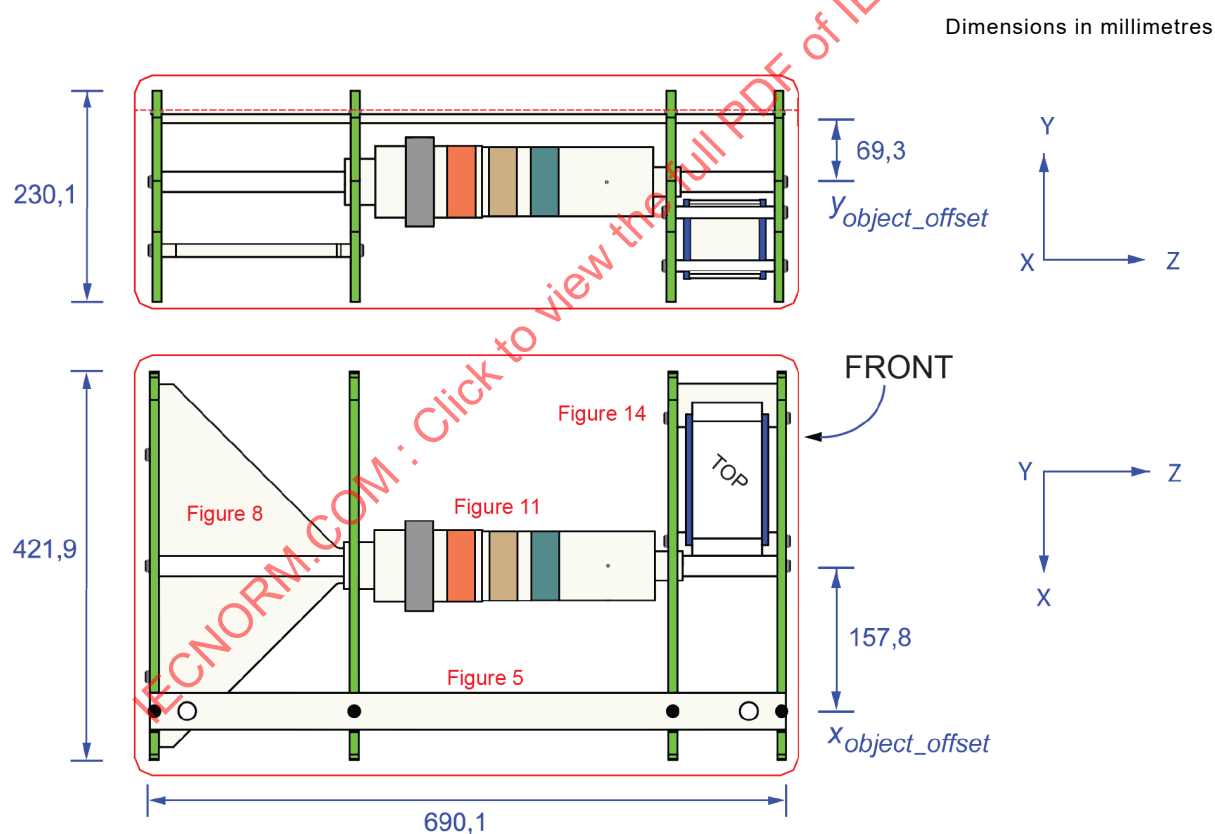
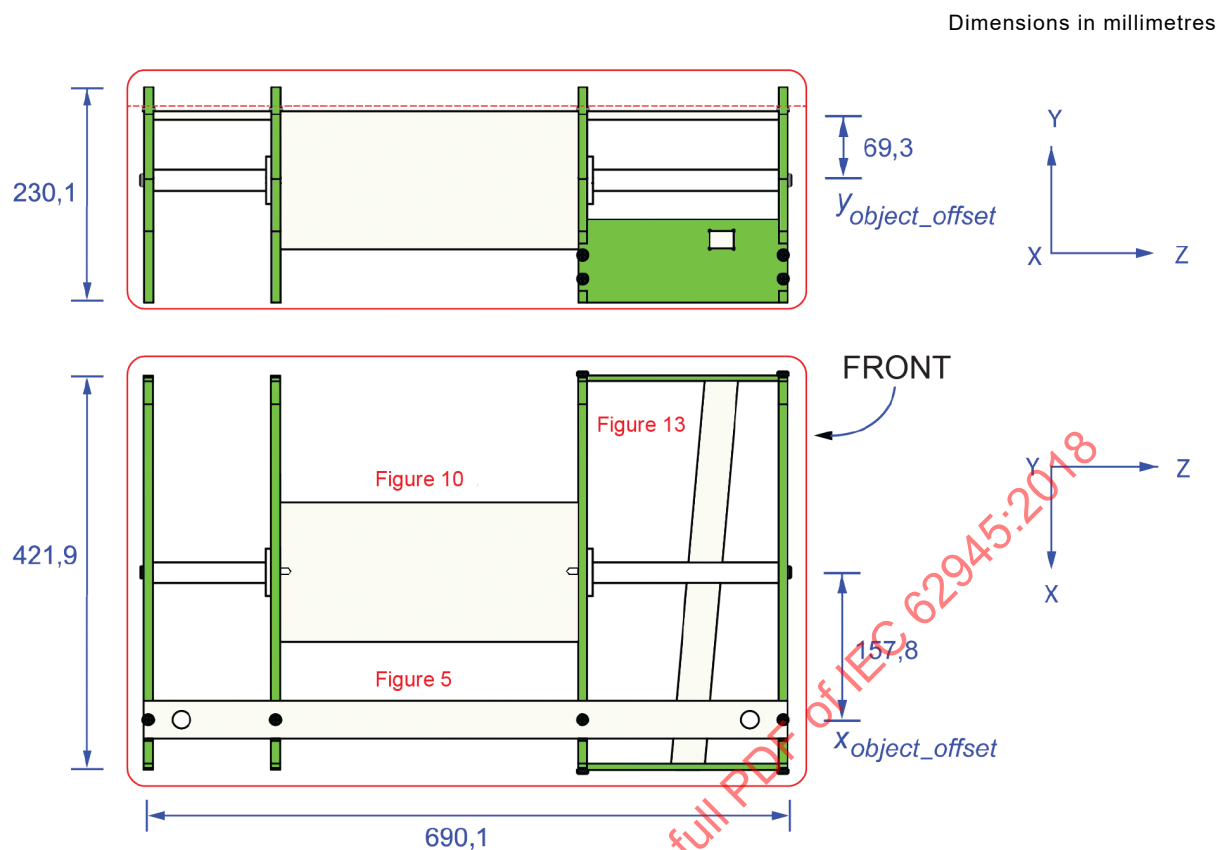


Figure 2 – Test article A

Test article A contains the test objects for the methods covered in the following subclauses:

- 4.4 Object length accuracy (Figure 5)
- 4.5 Path-length CT value and Z_{eff} (Figure 8)
- 4.8 CT value uniformity and x-ray energy spectrum consistency (Figure 11)
- 4.9 Streak artifacts (Figure 11)
- 4.11 Image registration (Figure 14)



IEC

Figure 3 – Test article B

Test article B contains the test objects for the methods covered in the following subclauses:

- 4.4 Object length accuracy (Figure 5)
- 4.6 Noise equivalent quanta (NEQ) (Figure 10)
- 4.7 CT value consistency (Figure 10)
- 4.10 Slice sensitivity profile (SSP) (Figure 13)

To ensure that the test article is oriented on the conveyor belt of the screening system in accordance with the designators “FRONT” and “TOP” in Figures 2 and 3, the exterior of the test article encasements shall include signage such as “belt direction” and “this side up.”

This document specifies procedures for measuring a wide range of image quality indicators. Table 1 provides a list of the test procedures, the image quality indicators they measure, and the test object they use.

Table 1 – List of test methods and indicators measured

Test procedure	Image quality indicator	Test object	Test article
Object length accuracy	Length of objects relative to their expected values	POM ^a plate with machined hole in each end	A and B
Path-length CT value and Z_{eff}	Consistency of density and Z_{eff} measured along a variable x-ray path length	POM triangle	A
Noise equivalent quanta	In-plane spatial resolution of the system normalized by the system's noise	POM cylinder	B
CT value consistency	(a) Measurement of the average CT value for a reference object (b) Variance of CT values within reference object	POM cylinder	B
CT value uniformity and x-ray energy spectrum consistency	Measurement of Z_{eff} and CT value through different thicknesses of attenuating metals	POM cylinder wrapped with layers of aluminum, copper, tin, and lead	A
Streak artifacts	Level of variation in a nominal Z_{eff} material induced by the presence of a high Z_{eff} material in close proximity	POM cylinder with imbedded tungsten alloy pins	A
Slice sensitivity profile (SSP)	Resolution of the image along the direction of belt movement	POM rectangular bar presented at 5°	B
Image registration	Physical alignment between imaging subsystem frames of reference	POM and aluminum plates arranged to form a box with a diagonal POM plate	A
^a Full specification: Use acetal copolymer (polyoxymethylene or POM) that conforms to the specifications of ASTM D6100 and designation therein: S-POM0211,LP (copolymer, unfilled class, general purpose grade, low porosity). This is a thermoplastic, with a density near 1.4 g/cm ³ . It does not include fillers, impact modifiers or other additives including colorant, fiber, chemical lubricant, or heavy metals. Before construction of the NEQ test object, the core of the delivered POM rod shall be verified for low centerline porosity using the procedure specified in ASTM D6100. The POM parts should be fabricated on machines used only for plastics to avoid cross-contamination with metals and machine oils.			

In addition to carrying out the cited image quality methods, it is important to manually record certain data about the system being tested and the environment of the test. The next subclause specifies the manual data to be collected. The following subclauses discuss each method, detailing how the measurements are to be made.

4.3 Manually recorded data

4.3.1 Purpose

Manufacturers may produce a number of models under the same general product name, and they may perform differently under different environmental conditions. When looking at results from this evaluation method, it is important to be sure you are comparing similar machines under similar conditions. This subclause specifies the minimum data that shall be manually recorded about the system and the evaluation conditions.

4.3.2 System data

4.3.2.1 General

The following data are available from the manufacturer of the system, or in some cases, provided by the system itself. It is not intended that the evaluation team actually measure any of the data to record for this subclause.

4.3.2.2 General information

a) Test method: State that the evaluation was carried out in accordance with this document.

- b) Manufacturer: Record the name of the company producing the system.
- c) Model: Record the full model name/number for the system.
- d) Serial number: Record the unique serial number for the system under evaluation.
- e) Configuration: Describe the configuration of the system under evaluation. Is it set up for in-line use or stand-alone use?
- f) Scanning mode: Describe the system's mode of scanning. (helical scan, static slice, non-rotating gantry, etc.)
- g) Belt speed: Record the speed of the system's conveyor belt based on manufacturer specification. If the system operates at multiple speeds during the evaluation, state the maximum speed and any speeds applicable for actual scanning.

4.3.2.3 X-ray source information

- a) X-ray source type: If multiple sources are used, state how many. Describe source characteristics, such as anode material, multi-anode, multi-cathode, continuous emission or voltage grid controlled, scanning beam, nominal inherent filtration (if provided by the manufacturer) and any additional filtration specified by the manufacturer, etc. If more than one source type is used, describe all applicable types and state the number of each type.
- b) X-ray source voltage: State voltage in kV. If more than one voltage is used, state all.
- c) X-ray source current: State current in mA. If more than one current is used, state all.
- d) Number of hours: If the system records the number of hours of operation for the x-ray source, record it here. Otherwise, state not applicable (N/A). If data are available for more than one source, record all available.

In some systems, multiple sources may be used. In those cases, the total number of sources shall be stated and descriptions of unique operating conditions shall be provided. For example, if a system has six sources of the same type and running at the same current, but two run at 100 kV and four at 180 kV, then the description would be as follows:

Type: 6 tungsten cathode, continuous emission source
 Voltage: 2 at 100 kV and 4 at 180 kV
 Current: 10 mA
 Number of Hours: Tubes 1, 3, 4, 5, 6 – 2 122 h, Tube 2 – 135 h

4.3.2.4 Reconstruction information

- a) Reconstruction method: Record the method for reconstruction. (Filtered back projection, Fourier inversion method, iterative, etc.).
- b) Voxel spacing: State the distance between reconstructed voxels in mm in the x, y, and z direction.

4.3.2.5 System software

Record the manufacturer's version numbers for each of the following elements of software. If the manufacturer does not separate out a particular element, state what software element it is included within.

- a) Display: Software controlling the operator display.
- b) Reconstruction: Software that converts projection data in to CT images.
- c) System control: Software that manages control of the system, driving system state, hardware control, interaction with baggage handling system, etc.

- d) Operating system: Operating system(s) for the computers of the system (Windows Vista®, Fedora Core 6 Linux, etc.).²

4.3.3 Evaluation environment data

The following data are related to the environment in which the evaluation was carried out. In general, the evaluation is based on single scanning of each test article and reporting results. In cases where many scans would be run, such as establishing a baseline expectation for a particular scanner, the environmental data shall be reported to show the date, time, temperature, etc., for the beginning of the scanning and for the end.

The evaluators shall provide the following data:

- a) Local date: Record the local date in year/month/day format.
- b) Local time: Record the local time for the start of the evaluation in hours:minutes format, where hours run from 0 to 24.
- c) Location: Record the full address of the location where the scanning for the evaluation was carried out.
- d) Ambient temperature: Record the temperature of the environment surrounding the system in degrees Celsius.
- e) Ambient humidity: Record the relative humidity of the environment surrounding the system.
- f) Detector temperature: If the system provides temperature readings for its detector array(s), record the value after the system has been allowed to warm up and just before scanning the test articles. If the system provides multiple detector readings, record the maximum, minimum, and median values. Record in degrees Celsius.
- g) Personnel: Record the full names and affiliations of the personnel who carried out the evaluation.
- h) Telephone number: Record a telephone number where the lead of the evaluation team may be contacted in case of questions about the evaluation.
- i) Test article manufacturer: Record the manufacturer of the test articles used in the evaluation.
- j) Test article serial numbers: Record the unique serial numbers for each of the test articles used for the evaluation.

4.3.4 Comments

Under the comments subclause, the evaluators should note any issues or problems encountered while running the evaluation. If the system tested differed from the standard commercial product used in normal security screening operation mode, the evaluators shall note those differences here (e.g., "system was operated without its air conditioner running to simulate operation in a hotter climate").

4.3.5 Deviations from specified methods

Some of the test methods described in this document explicitly allow the evaluator to use alternate approaches to calculating their values. Under the deviations section, the evaluators shall note any deviations from the test methods as specified in this document. The notation shall specify which specific methods were modified and describe the modifications and the reasons for each.

In multi-energy systems, the corresponding energy slices may not be properly aligned. The degree of this misalignment could be large enough to affect some calculations. To measure

² This information is given by way of illustration and does not constitute an endorsement by the IEC of these products. Equivalent products may be used if they can be shown to lead to the same results.

this misalignment, correspondences between test article features located at the corners of a case enclosure (Case A or B) could be used to determine and quantify any misalignment of images acquired with different spectra. Matching features could be located interactively, or using an automatic algorithm (e.g., followed by the normalized cross-correlation [3]). Next, possible two-dimensional transformations could be estimated (e.g., by computing the least-squares estimation of transformation parameters between the corresponding features [4]).

4.3.6 Presentation of results

The manually recorded data shall be attached to the corresponding results of the other image evaluation methods specified in this document. The data should be grouped in the same fashion as it is covered in the previous subclause. Figure 4 shows an example format, but other logical formats for the data presentation would be acceptable as well.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62945:2018

Image quality report	
Evaluated in accordance with IEC 62945 standard for measuring the imaging performance of X-ray computed tomography (CT) security-screening systems	
Manual data record	
System under evaluation	
Manufacturer: _____ Model: _____ Serial number: _____ Configuration: _____ Scanning mode: _____ Belt speed: _____	Reconstruction method: _____ Voxel spacing: _____ x: _____ y: _____ z: _____
X-ray Source Type: _____ Voltage: _____ Current: _____ Filtration: _____ Number of hours: _____	Software versions Display: _____ Reconstruction: _____ System control: _____ Operating system: _____
Evaluation conditions	
Local Time: _____ Date: _____ Location: _____ _____ _____ Ambient temperature: _____ Ambient humidity: _____ Detector temperature: _____	Scanning personnel: _____ _____ _____ Telephone number: _____ Test article manufacturer: _____ Test article S/Ns: _____
Comments: _____ _____ Deviations from specified methods: _____ _____	

IEC

Figure 4 – Format example for manually recorded data

4.4 Object length accuracy

4.4.1 Purpose

This test assesses the system's accuracy of measuring the length of an object. This accuracy can be affected by the coordination between belt speed and gantry rotation speed (or other source motion). Errors in length accuracy can affect the system's ability to consistently determine object size and mass.

This test shall apply to all systems.

Because mass is a critical parameter in most security screening applications, it is important to ensure that it is measured with a high-level of consistency. The absolute accuracy of the measurement is not as important as the consistency. If a system consistently measures an object short or long, the detection software can compensate appropriately. However, if the

measurement varies from machine to machine, the software would not be able to compensate and the system's ability to estimate mass of an object would vary.

This method also measures the angle of test object presentation. Due to the sensitivity of some of this document's test methods to test object angle, this measurement is used as a go/no-go criterion on whether to perform the test methods on this particular scan. A copy of the test object will be housed in both test articles, so this test method shall be run on both articles.

Further, this method provides a measure of the consistency of the location of the test article in physical space, both in x and y, which may also be used as go/no-go criterion.

4.4.2 Test object description

The test object for this assessment is shown in Figure 5. It consists of a long rectangular POM plate with a 19,1 mm diameter hole drilled at each end. The object is placed in the test article such that its long axis is parallel to the long axis of the test article, and the axes of the holes are perpendicular to the test article bottom.

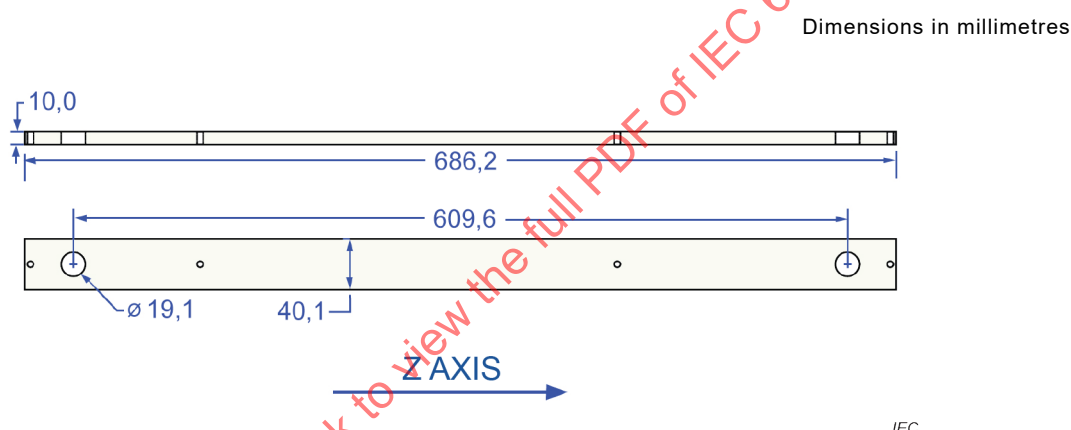


Figure 5 – Object length test object

4.4.3 Test method

The test method shall measure the angle of presentation of the object and the measured length in mm. It isolates the voxels representing the circular holes in the test object ends and calculates their centers of mass. Because this calculation is over many voxels, it determines the location of the hole to a precision less than the voxel size. The locations of the centers of mass shall then be used to determine the length of the object and that the test article is presented at an acceptable angle. Test article offsets are also computed that can be used as a check of consistency of placement of the test article on the belt in the x and y directions.

The following method is an example of how the centers of mass for the holes may be calculated and used where continuous volumetric data are available. Alternative procedures are acceptable as long as they find the center of mass for each of the two holes and base the length and angle measurements on the relative locations of the centers.

- a) Within the CT data, designate a right rectangular subvolume that isolates the object-length test object, $I(x,y,z)$.
- b) Sum all CT values within this ROI along the y axis direction to create a coronal image, $I_c(x,z)$, of the test object whose length and width are equal to the length and width of the subvolume.

Specifically, $I_c(x, z) = \frac{\sum_{i=y_1}^{y_2} I(x, i, z)}{N}$ where $I(x, y, z)$ is the CT voxel data at the x, y, z coordinate, y_1 and y_2 are the lower and upper y coordinates of subvolume I , and N is the height in voxels in the y direction. x, y, z are discrete variables.

- c) Find the maximum value in $I_c(x, z)$ and designate this value with I_{max} .
- d) Create $I_T(x, z)$ from I_c , setting all values in I_T to one (1), where $I_c(x, z)$ is less than $I_{max}/2$ and all values in I_T to zero where $I_c(x, z)$ is greater than or equal to $I_{max}/2$:

$$I_T(x, z) = \begin{cases} 1, & I_c(x, z) < \frac{I_{max}}{2} \\ 0, & I_c(x, z) \geq \frac{I_{max}}{2} \end{cases}$$

- e) Convert the ones to zeros outside the image of the test object in I_T , so that only the holes remain as ones in I_T .
- f) Calculate the center of mass for the first hole.

For each pixel in $I_T(x, z)$ that equals 1 in the area of the first hole:

$$xsum = \sum_z \sum_x I_T(x, z) \times \left(\frac{I_{max}}{2} - I_c(x, z) \right) \times x$$

$$zsum = \sum_z \sum_x I_T(x, z) \times \left(\frac{I_{max}}{2} - I_c(x, z) \right) \times z$$

$$nsum = \sum_z \sum_x I_T(x, z) \times \left(\frac{I_{max}}{2} - I_c(x, z) \right)$$

$$x_{c1} = xsum/nsum$$

$$z_{c1} = zsum/nsum$$

- g) Repeat the calculation for the second hole yielding x_{c2} and z_{c2} .
- h) Convert x_{c1} , z_{c1} , x_{c2} , and z_{c2} to millimetres.
- i) Calculate:

$$length = \sqrt{(z_{c1} - z_{c2})^2 + (x_{c1} - x_{c2})^2}$$

$$\alpha = \arcsin \frac{(x_{c2} - x_{c1})}{length}$$

As a check of consistency of placement of the test article, “bag offsets” are also computed as follows. The following formulas presume that the full reconstructed image volume is centered in x and y along the centerline axis (along the z direction) of the POM cylinder in each case (A and B). It is also assumed that positive x and y are measured from edges of the image volume. If the test article is consistently not in the center of the reconstructed image due to systematic bias, then the value computed below for the bag offsets will nonetheless remain consistent. The formulas may be adjusted to accommodate any bias, constant offset, or choice of origin. For example, the center of the CT reconstruction may be chosen as the origin.

- j) Calculate the average x position of the object-length test object:

$$x_{center} = (x_{c1} + x_{c2})/2$$

- k) Calculate

$$bag_{offset_x} = x_{center} + x_{object_offset} - \frac{x_{width}}{2}$$

where

x_{width} is the width in the x direction (in mm) of the full reconstructed image volume centered as described above, and

x_{object_offset} is the physical offset in the x direction of the center of the object-length test object from the center of the test article (the value labeled in Figure 2 or Figure 3, in mm).

- l) Using the original subvolume that isolated the test object, $I(x,y,z)$, designate two additional rectangular sub-volumes that fully contain each hole. These subvolumes shall be centered on the hole and have dimensions twice the diameter of the hole in x and z and twice the thickness of the plate in y . Designate these sub-volumes as $h_1(x,y,z)$ and $h_2(x,y,z)$.
- m) Find the maximum value in the two sub-volumes. Record it as h_{max} .
- n) Set all values in $h_1(x,y,z)$ and $h_2(x,y,z)$ that are less than $h_{max}/2$ to zero.
- o) Calculate the y center of mass for the first hole. For each voxel in $h_1(x,y,z)$:

$$y_{sum} = \sum_z \sum_y \sum_x h_1(x,y,z) \times y$$

$$n_{sum} = \sum_z \sum_y \sum_x h_1(x,y,z)$$

$$y_{c1} = y_{sum}/n_{sum}$$

- p) Repeat the calculation for the second hole yielding y_{c2} .
- q) Convert y_{c1} and y_{c2} to millimetres.
- r) Calculate the average y position of the object-length test object:

$$y_{center} = (y_{c1} + y_{c2})/2$$

- s) Calculate

$$bag_{offset_y} = y_{center} - y_{object_offset} - \frac{y_{height}}{2}$$

where

y_{height} is the height in the y direction (in mm) of the full image volume centered as described above, and

y_{object_offset} is the physical offset in y direction of the center of the object-length test object from the center of the test article (the value labeled in Figure 2 or Figure 3, in mm).

4.4.4 Presentation of results

The results shall be presented as shown in Figure 6. The results shall state the version of the test article run (A or B), the horizontal and vertical offsets in mm, the measured angle of presentation in degrees, and the allowed tolerance on the angle in degrees. If the angle is within the rotational tolerance, the length of the test object shall be reported in mm and as a percentage of the physical value, as

$$value = \frac{length}{length_{physical}} \times 100$$

where $length_{physical}$ is the specified distance between the centers based on the object-length test object drawing.

NOTE The rotational tolerance is specified in 4.1.

Test article version: (A or B)	
Presentation statistics	
xx,x mm	Bag horizontal (x) offset
yy,y mm	Bag vertical (y) offset
$\alpha\alpha,\alpha^\circ$	Angle of presentation
+/- bb,b °	Allowed angular tolerance
Object length: ll,l mm, vv,v % of physical length	

Figure 6 – Output from object length procedure when test article is submitted within angular tolerance

If the angle is outside of the rotational tolerance, the report shall indicate so and no length shall be reported, as shown in Figure 7.

Test article version: (A or B)	
Presentation statistics	
xx,x mm	Bag horizontal (x) offset
yy,y mm	Bag vertical (y) offset
$\alpha\alpha,\alpha^\circ$	Angle of presentation
+/- bb,b °	Allowed angular tolerance
Warning: Angle of presentation for the test article is outside of allowable tolerance. Please re-scan.	

Figure 7 – Output from object length procedure when test article rotation is outside of angular tolerance

4.5 Path-length CT value and Z_{eff}

4.5.1 Purpose

Objects with a large dimension in the CT slice plane (resulting in a long path length) can appear to have a different CT value and Z_{eff} than objects of the same material with smaller dimensions. How much they differ in a given system depends on several aspects of the system's design. This procedure describes how to measure this difference.

4.5.2 Test object description

The test object for this assessment is shown in Figure 8. It consists of a flat triangular piece of POM. The test object is placed flat and parallel to the belt.

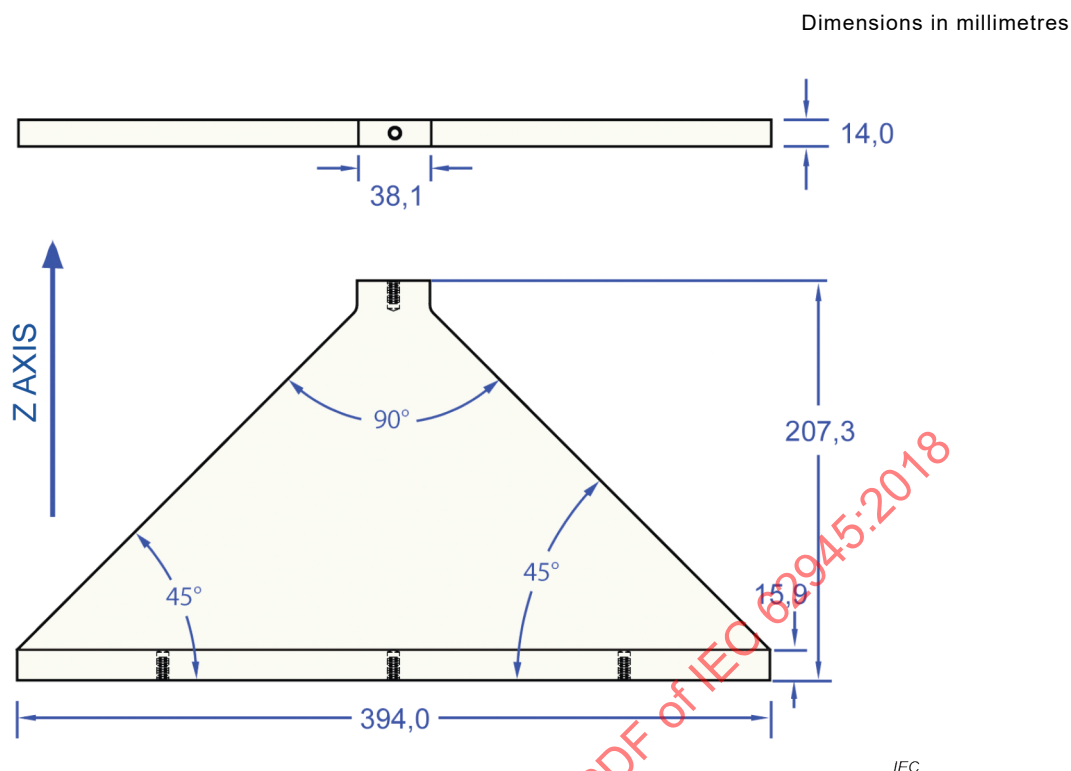


Figure 8 – Path-length test object

4.5.3 Test method

The test object is scanned such that the phantom travels along the z-axis and each scan slice samples a portion of the phantom as depicted in Figure 8. The method shall isolate the object within each slice, determine the length in the slice, and find the maximum CT value at the center of the object in the slice. The maximum separation between slices shall be 10 mm. The CT slices will contain consecutively longer lengths of the test object.

For multi-energy CT systems, the procedure shall be repeated for all image values used by the detection algorithm. Some systems might use an image built from the high-energy data and a second from a Z_{eff} calculation. Others might use a Z_{eff} image and a Compton scattering image. The measurements shall be made and reported for each type of CT image used.

The following method is an example of how to calculate the path-length dependency of the density and Z_{eff} :

- For each slice, establish a ROI that contains the test object, but excludes any mounting region.
- Within this ROI, apply a threshold to eliminate air.
- Within the ROI, determine the maximum CT value along each vertical column (the y axis) for each point along the horizontal direction (x axis). Plot these points to a line.
- Locate the end points of the plotted line along the horizontal direction.
- From these end points compute the distance of a straight line connecting these points (the path length).
- Determine the center point that bisects this line into two equal parts.
- Select all the voxels within the center 2 cm of the line.
- Compute the median value from the maximum CT values within this 2 cm region.
- Record the path length and median value for each slice.

- j) Using the slice that has the path length closest to 10 cm, calculate the median of the projected maximums for the entire line length. Normalize all center median values by this value.

4.5.4 Presentation of results

The results shall be presented as a plot of the normalized center median values against their path lengths for each image used. Figure 9 shows an example of a results plot. A plot shall be generated for each image used by the algorithm with notation citing the image used.

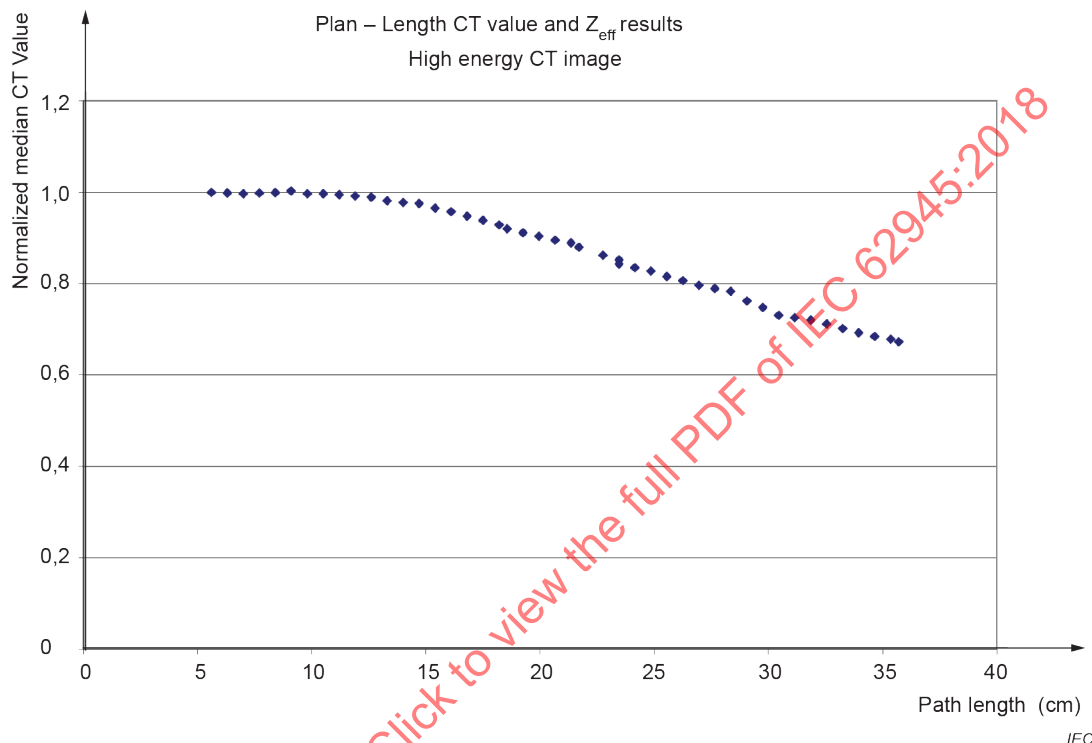


Figure 9 – Example plot of path-length test results

4.6 Noise equivalent quanta (NEQ)

4.6.1 Purpose

NEQ is the spatial-frequency-dependent SNR. It can be computed from measurements of average CT value of the object, MTF, and noise power spectrum as shown in the following formula:

$$NEQ = SNR^2 = \frac{S_{out}^2 MTF^2}{NPS}$$

where:

- SNR is the signal-to-noise ratio;
- S_{out} is the average CT value of the object;
- MTF is the modulation transfer function;
- NPS is the noise power spectrum.

The noise power spectrum quantifies the spatial frequencies characteristic of the variations in an image and can be measured by computing the Fourier transform of the noise images as shown in the following formula:

$$W(v_x, v_y) = \frac{1}{A} \left\langle \left| \iint dx dy D(x, y) e^{-2\pi i(xv_x + yv_y)} \right|^2 \right\rangle$$

where:

$W(v_x, v_y)$ is the noise power spectrum;

v_x is the spatial frequency variable in the x direction;

v_y is the spatial frequency variable in the y direction;

$D(x, y)$ is the noise image;

A is the area over which $D(x, y)$ is defined;

$\langle \rangle$ is the ensemble average over all noise images.

4.6.2 Test object description

The test object for the determination of the NPS and the MTF shall be a cylinder (see Figure 10). The circumference of the cylinder is used as an edge to measure the MTF. The inside of the cylinder is used to calculate NPS.

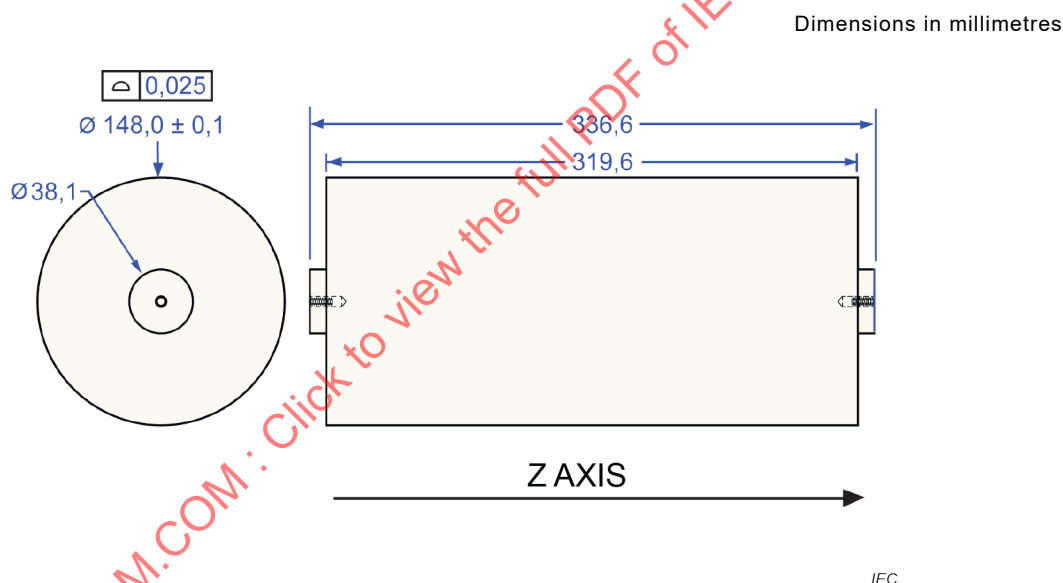


Figure 10 – NEQ test object

4.6.3 Test method

4.6.3.1 Modulation transfer function

The modulation transfer function (MTF) shall be measured using grayscale images according to the ASTM E1695.

4.6.3.2 Noise power spectrum (NPS)

4.6.3.2.1 General

The following procedures shall be used to estimate NPS from a series of images obtained by scanning a uniform cylindrical test object. The approach is to employ a windowed periodogram estimator using Welch's method, as described by Stoica and Moses, but without overlapping windows and generalized from one dimension to two dimensions [5].

The NPS shall be calculated using all three of the following methods. In methods 1 and 2, contributions due to stationary noise within a single image are minimized by examining the difference between image pairs, while method 1 avoids the noise reduction that may enter through correlations between adjacent images. Method 3 includes the stationary noise within individual images. The methods as stated below are required. There are no optional methods in this procedure.

4.6.3.2.2 NPS method 1

- a) Obtain 64 images of the cylindrical test object. If the system cannot create 64 images of the test object (due to slice size, etc.), take the maximum number possible while avoiding the leading and trailing edges of the object.
- b) Form 32 pairs of images with a separation of 32 within each pair, (1,33), (2,34), ... (32,64). If fewer than 64 images were obtained, form as many pairs as possible using each image once. Note that, in some systems, there may be stationary image artifacts related to specific angles in the rotation of the gantry. Under this condition, it may be preferable to use image pairs that are one full rotation apart. This is acceptable. However, the evaluator shall specifically indicate this deviation is necessary and the deviation, along with the specific separation used, shall be noted in the presented results.
- c) Calculate the average center of mass for the circle grayscale images in each pair.
- d) Match the centers of mass of the images in each pair to the nearest pixel and create a single noise image from each pair by taking the difference between the aligned images.
- e) For each image, $x(j,k)$, $j = 1, 2, \dots, J$, $k = 1, 2, \dots, K$, establish a circle of interest with radius, R , equal to the radius of the test object, centered on the average center of mass for the differenced image pair. Apply a radial Hanning window defined as shown in the following formula:

$$y(j,k) = x(j,k) w(j,k)$$

$$w(j,k) = \begin{cases} \cos^2 \frac{\pi r(j,k)}{2R} & , \quad r(j,k) < R \\ 0 & , \quad r(j,k) \geq R \end{cases}$$

where

$y(j,k)$ is the windowed noise image;

$x(j,k)$ is the noise image;

$w(j,k)$ is the Hanning window;

$r(j,k)$ is the radial distance of pixel (j,k) from the center of the circle of interest;

R is the radius of the circle of interest and of the Hanning window.

- f) Zero-pad the windowed noise image, $y(j,k)$, such that it has the dimensions N by N , where N is the nearest power of 2 larger than the noise image dimensions, J by K . Calculate the Discrete Fourier Transform (DFT) of $y(j,k)$ according to

$$Y(u,v) = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N y(j,k) e^{-i2\pi \left(\frac{(u-1)(j-1) + (v-1)(k-1)}{N} \right)}, \quad u = 1, 2, \dots, N, \quad v = 1, 2, \dots, N$$

- g) Compute the square amplitude of the Fourier transformed images, $Y(u,v)$, from step f) and divide by the square of the spatial sampling frequency, f_s^2 , and the sum over squares of the windowing function, $\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K w(j,k)^2$. This results in the normalized two-dimensional NPS estimate,

$$\widehat{NPS}(f(u), f(v)) = \frac{|Y(u+1, v+1)|^2}{f_s^2 \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K w(j,k)^2}, \quad u = 0, 1, \dots, N-1, \quad v = 0, 1, \dots, N-1$$

where

$$f(u) = \begin{cases} u \frac{f_s}{N}, & u < N/2 \\ u \frac{f_s}{N} - f_s, & u \geq N/2 \end{cases}, \quad f(v) = \begin{cases} v \frac{f_s}{N}, & v < N/2 \\ v \frac{f_s}{N} - f_s, & v \geq N/2 \end{cases}$$

- h) Average all the two-dimensional NPS obtained in step g).
- i) Obtain the one-dimensional radial frequency NPS by averaging the two-dimensional NPS obtained in step h) over annuli in frequency space.
- j) Divide the one-dimensional NPS by the square root of 2 in order to estimate the NPS for a single image rather than for a differenced pair of images.

4.6.3.2.3 NPS method 2

Using the same original images, repeat NPS method 1 except for step b), which is modified to use adjacent paired images, (1,2), (3,4), ... instead of pairs separated by 32. This will affect the one-dimensional radial frequency NPS estimates if the correlation between adjacent images is different from the correlation between images spaced 32 apart.

4.6.3.2.4 NPS method 3

- a) Using the same original images, subtract the average cylinder value in each image from the entire image (forming up to 64 noise images).
- b) Repeat steps e) through i) from the NPS method 1 procedure using all original images to create the one-dimensional radial frequency NPS. Step j) is omitted because the noise images are not formed from pairs of images.

4.6.4 Presentation of results

The measurement results for NEQ shall be given as numbers in a table, see Table 2. The NEQ shall be reported at 0,5 cm⁻¹ intervals starting at 0,5 cm⁻¹ and continuing to the first interval beyond the frequency at which the MTF value is below 20 %. The errors shall be reported as the standard deviation measured over the number of scans of the test piece, and the range of values, [min, max], shall also be included. The values shall be reported logarithmically as follows:

$$10\log_{10}(\text{NEQ})$$

The values of the MTF at those intervals shall also be reported. Additionally, the report shall state the number of scans, the number of images per scan used for each method, the number of image pairs, and the separation within a pair for NEQ methods 1, 2, and 3.

Table 2 – NEQ procedure results

Frequency cm ⁻¹	NEQ Method 1	NEQ Method 2	NEQ Method 3	MTF
0,5	aa,a ± a,aa [aa,a, aa,a]	bb,b ± b,bb [bb,b, bb,b]	cc,c ± c,cc [cc,c, cc,c]	0,dd ± 0,ddd [0,dd, 0,dd]
1	ee,e ± e,ee [ee,e, ee,e]	ff,f ± f,ff [ff,f, ff,f]	gg,g ± g,gg [gg,g, gg,g]	0,hh ± 0,hhh [0,hh, 0,hh]
1,5	ii,i ± i,ii [ii,i, ii,i]	jj,j ± j,jj [jj,j, jj,j]	kk,k ± k,kk [kk,k, kk,k]	0,ll ± 0,lll [0,ll, 0,ll]
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$f_{\max}$	ww,w ± w,ww [ww,w, ww,w]	xx,x ± x,xx [xx,x, xx,x]	yy,y ± y,yy [yy,y, yy,y]	0,zz ± 0,zzz [0,zz, 0,zz]

	NEQ Method 1	NEQ Method 2	NEQ Method 3
Number of scans	ww	ww	ww
Number of images/scan	xx	xx	xx
Number of pairs	yy	yy	–
Pair separation (voxels)	zz	zz	–

NOTE While the normative position of the test article is centered laterally on the belt, the evaluator may also elect to measure the position dependence of the NEQ at other locations within the inspection volume.

4.7 CT value consistency

4.7.1 Purpose

The purpose of this measurement is to determine spatial consistency of CT value in a uniform object.

4.7.2 Test object description

The test object for the measurement of CT value consistency is the same as the one used to measure MTF and NPS in 4.6.

4.7.3 Test method

Define a circle of interest in each image used in 4.6.3.2 that has a radius 10 mm less than the radius of the test object, centered on the test object within the image. Define the group of voxels that are completely enclosed within the circle of interest for each image.

Calculate mean and standard deviation of the CT value for each voxel group. Calculate the median and the standard deviations of the set of means and the set of standard deviations. These statistics convolve the overall imaging performance of the system, including noise, cupping artifacts, etc.

Note that, in certain systems, the test object's CT value in each slice image will vary with the specific rotational position of the gantry. Consequently, using an arbitrary number of slices can result in a significant variance in the reported overall median CT value on a given machine. This makes machine-to-machine comparisons more difficult. Under this condition, it may be preferable to calculate the specified statistics for the object across a number of images equivalent to one full rotation. This is acceptable. However, the evaluator shall specifically indicate this deviation is necessary and the deviation, along with the specific number of slices used, shall be noted in the presented results.

4.7.4 Presentation of results

Report the median and standard deviation values for both the means and the standard deviations.

4.8 CT value uniformity and x-ray energy spectrum consistency

4.8.1 Purpose

The uniformity of CT value measurements from machine to machine depends in part on the consistency of the incident and/or detected x-ray spectrum. The consistency of Z_{eff} measurements from machine to machine depends in part on the consistency of the two or more incident and/or detected x-ray energy spectra. This test assesses the consistency of x-ray energy spectra.

This procedure describes how to measure the CT values in the presence of various metals as well as the variance of those measurements for one or more x-ray energy spectra. The procedure is applicable to both multi-energy machines as well as single energy. Single energy machines, however, shall only report results for the CT values.

4.8.2 Test object description

The test object is a POM cylinder divided into two sections: the first for evaluating CT uniformity and x-ray energy spectrum consistency and the second for measuring streak artifacts (used in 4.9). The first section consists of a POM cylinder with sections covered by different thicknesses of aluminum, copper, tin, and lead as shown in Figure 11. The second section consists of the same POM cylinder into which tungsten alloy pins have been inserted into four holes drilled along the axis of the cylinder as shown in the figure.

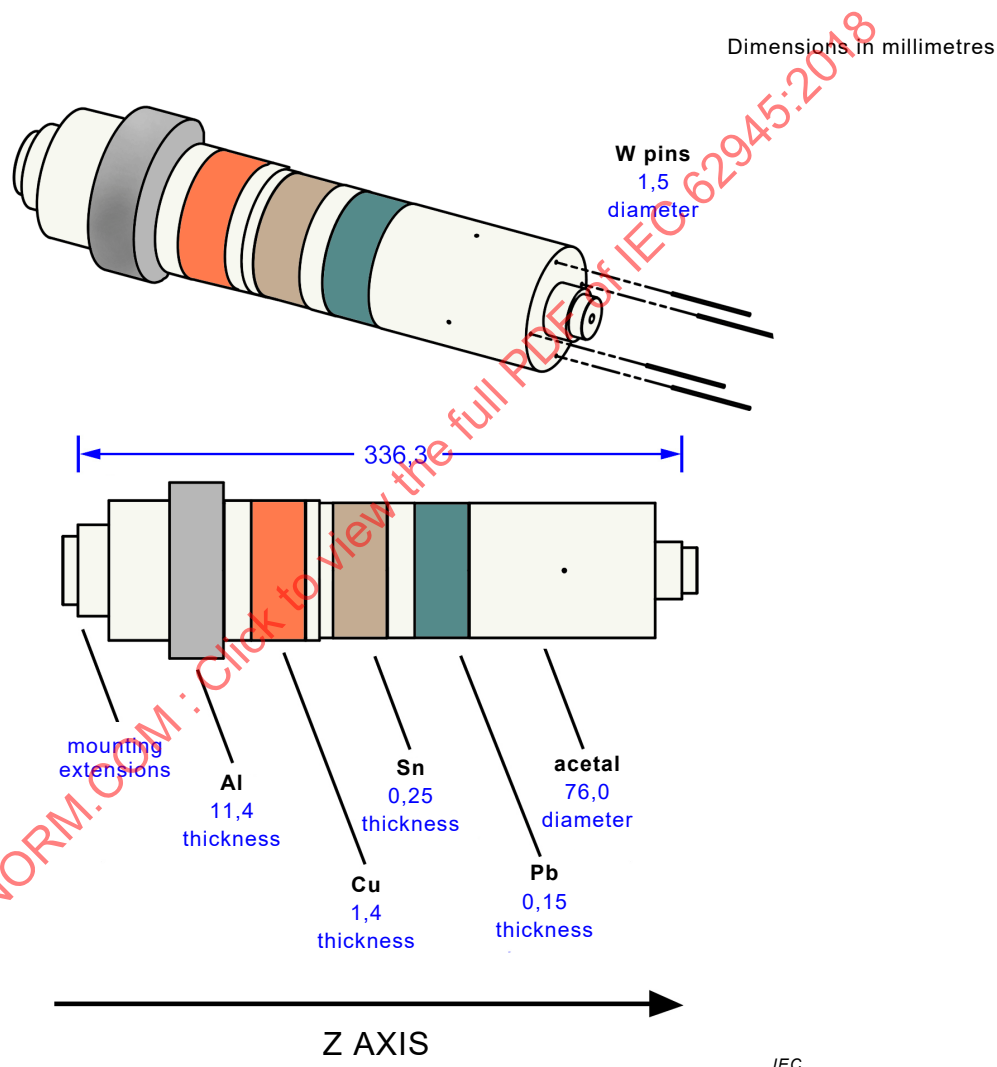


Figure 11 – Z uniformity test object and streak artifact test object

4.8.3 Test method

The CT values of POM in sections covered by different metals are measured to test the consistency and uniformity of the system's image. The ratio of CT values measured in sections covered by metals to values measured in the area outside metal is also reported. All steps in this procedure shall be performed as described for each x-ray energy spectrum.

- Within the image $I(x,y,z)$, designate a subvolume that isolates the portion of the test object that is used for uniformity measurement. The subvolume is defined by the first slice k_{start} and the last slice k_{end} .

- b) Identify slices that pass through the center of the aluminum, copper, tin, and lead bands and also through POM alone as follows:
 - 1) Center-most slice of each metal section is defined as k_c .
 - 2) Selected slice outside of the metal section is denoted as k_o .
- c) Compute the center of the test object cross-section in each slice k_c .
- d) For each metal section:
 - 1) In slice k_c , define a ROI as the largest set of voxels completely enclosed within a 4 cm by 4 cm ROI centered within the test object.
 - 2) Compute means of the CT values in the ROI.
 - 3) Compute standard deviation of the CT values in the ROI.
- e) Compute CT value and value statistics in the slice in the control region (CTRL)
 - 1) In slice k_o , define a ROI as the largest set of voxels completely enclosed within a 4 cm × 4 cm ROI centered within the test object.
 - 2) Compute the means of the CT values in the ROI.
 - 3) Compute standard deviation of the CT values in the ROI.
- f) Compute the ratio of the mean CT value measured in each metal section to the mean CT value measured in the control region.
- g) Compute the ratio of the standard deviation of the CT value measured in each metal section to the standard deviation of the CT value measured in the control region.
- h) In the slice k_c for the aluminum, find the set of voxels within the aluminum band. Select voxels comprising the largest set of voxels completely enclosed between two circles centered on the test object. The circle radii shall be equal to the inner and outer radii of the aluminum band.
- i) Compute the mean and standard deviation of CT values over voxels belonging to aluminum.

NOTE These statistics convolve the overall imaging performance of the system, including noise, cupping artifacts, etc.

4.8.4 Presentation of results

Results of the CT uniformity test are summarized and reported as shown in Table 3.

The table reports results for CT value uniformity of POM in the region outside of the metal sections (CTRL), within each of the metal-covered POM regions, and in the aluminum band for each x-ray energy spectrum. The mean and standard deviation are reported.

Table 3 – CT value uniformity results

			Absolute measurements		Measurements relative to control (CTRL) values	
			MEAN	STD	MEAN	STD
CT value uniformity	POM	CTRL	mm,mm	$\sigma\sigma, \sigma\sigma$	1	1
		Al	mm,mm	$\sigma\sigma, \sigma\sigma$	mm,mm	$\sigma\sigma, \sigma\sigma$
		Cu	mm,mm	$\sigma\sigma, \sigma\sigma$	mm,mm	$\sigma\sigma, \sigma\sigma$
		Sn	mm,mm	$\sigma\sigma, \sigma\sigma$	mm,mm	$\sigma\sigma, \sigma\sigma$
		Pb	mm,mm	$\sigma\sigma, \sigma\sigma$	mm,mm	$\sigma\sigma, \sigma\sigma$
	Aluminum	Band CT value	mm,mm	$\sigma\sigma, \sigma\sigma$	n/a	n/a

4.9 Streak artifacts

4.9.1 Purpose

Metals are common in scanned luggage and produce streaks in the images. This procedure measures the amount of streaks produced by metal pins in a plastic object.

4.9.2 Test object description

The test object is shown in Figure 11. The test object is divided into two sections: one for evaluating CT value uniformity and x-ray spectrum consistency and the other for measuring streak artifacts. The streak section of the test object section consists of tungsten alloy pins inserted into four holes drilled along the axis of the cylinder.

4.9.3 Test method

The streak artifacts are evaluated by measuring the CT value of POM in a ROI in the slice with tungsten wire inserts. In the same slice, the peak-to-peak variation of CT values across diagonal profiles halfway between the tungsten inserts is also measured. The same measurements are performed in the area without metal pins to provide “control” measurements.

- a) Locate the center most slice k_{STR} (relative to the tungsten pins) for the streak artifact measurements (STR).
- b) Locate the center most slice k_{CTRL} for the control (CTRL) measurement.
- c) For streak artifact measurements, perform the following computations in the slice k_{STR} :
 - 1) Find the center and radius of the test object in the slice.
 - 2) Define the set of all voxels completely contained within a circle centered on the test object with radius equal to the POM rod.
 - 3) Find the metal pins using an appropriate threshold.
 - 4) Define two lines, L1 and L2, passing through the midpoints between the neighboring pins:
 - i) L1: Line passing through the midpoint between pins #1 and #2 and through the midpoint between rods #3 and #4, see Figure 12.
 - ii) L2: Line passing through the midpoint between pins #1 and #3 and through the midpoint between pins #2 and #4, see Figure 12.

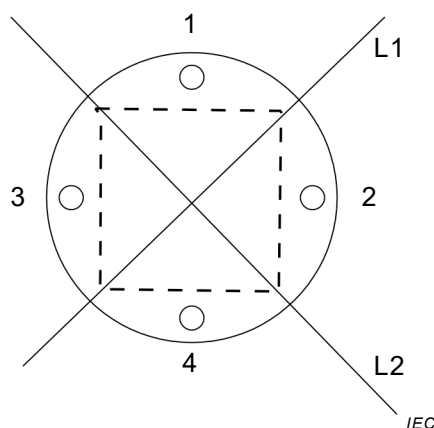


Figure 12 – Pins in test object axial slice (large circle), midpoints between neighboring pin pairs (small circles), traced line, and rectangular ROI

- 5) Identify the set of voxels P whose boundaries cross over or touch line L1 or line L2 within the test object.

- 6) Compute line streak CT value statistics.
 - i) Compute the mean CT value of the voxels within P.
 - ii) Compute the standard deviation of the CT values of the voxels within P.
 - iii) Compute the peak-to-peak variation of the CT values of the voxels within P.
- 7) Compute region streak CT value statistics for a ROI defined as the largest set of voxels completely enclosed within a 4 cm × 4 cm square ROI centered within the test object.
 - i) Compute the mean CT value of the voxels within the ROI.
 - ii) Compute the standard deviation of the CT values of the voxels within the ROI.
 - iii) Compute the peak-to-peak variation of the voxels within the ROI.
- d) For slice CTRL, perform the following computations for slice k_{CTRL} .
 - 1) Find the center and radius of the test object.
 - 2) Define the set of all voxels completely contained within a circle centered on the test object with radius equal to the POM rod.
 - 3) Define two lines, L1 and L2, passing through the center of mass of the test object at +45° and –45° from the y axis.
 - 4) Identify the set of voxels P whose boundaries cross over or touch line L1 or line L2 within the test object.
 - 5) Compute line CTRL CT value statistics.
 - i) Compute the mean CT value of the voxels within P.
 - ii) Compute the standard deviation of the CT values of the voxels within P.
 - iii) Compute the peak-to-peak variation of the CT values of the voxels within P.
 - 6) Compute region CTRL CT value statistics for a ROI defined as the largest set of voxels completely enclosed within a 4 cm × 4 cm square ROI centered within the test object.
 - i) Compute the mean CT value of the voxels within the ROI.
 - ii) Compute the standard deviation of the CT values of the voxels within the ROI.
 - iii) Compute the peak-to-peak variation of the CT values of the voxels within the ROI.

4.9.4 Presentation of results

Report streak artifacts results in the slice with metal pins and in the control area (CTRL). Measurements in the rectangular ROI and along the lines intersecting the test object shall be reported. Mean, standard deviation, and peak-to-peak variation shall be reported.

As indicated in Table 4, absolute values of the measurements shall be reported as well as their values relative to the CTRL values (POM area without pins for streak artifacts test).

Table 4 – Streak artifact procedure results

Streak artifact results		Absolute measurements				Measurements relative to CTRL values			
		MEAN	STD	STD/MEAN	(Max – Min)/Mean	MEAN	STD	STD/MEAN	(Max – Min)/Mean
CTRL	Line	mm,mm	$\sigma\sigma,\sigma\sigma$	nn,nn	pp,pp	1	1	1	1
	Region	mm,mm	$\sigma\sigma,\sigma\sigma$	nn,nn	pp,pp	1	1	1	1
Pin area	Line	mm,mm	$\sigma\sigma,\sigma\sigma$	nn,nn	pp,pp	mm,mm	$\sigma\sigma,\sigma\sigma$	nn,nn	pp,pp
	Region	mm,mm	$\sigma\sigma,\sigma\sigma$	nn,nn	pp,pp	mm,mm	$\sigma\sigma,\sigma\sigma$	nn,nn	pp,pp

4.10 Slice sensitivity profile (SSP)

4.10.1 Purpose

This test assesses the resolution along the slice direction by analyzing CT values in coronal slices through the center of the SSP slanted edge test object mounted within the test article at an angle of $5^\circ \pm 0,5^\circ$ off perpendicular to the long axis of the test article.

The analysis using grayscale images is analogous to the procedure cited in ASTM E1695 and amounts to measuring the resolution using the slice sensitivity profile derived from the variation in CT values across the slanted edge of the test object.

4.10.2 Test object description

The test object for this assessment is a rectangular block of POM of dimensions $411,5 \times 35 \times 24 \text{ mm}^3$ presented as shown in Figure 13.

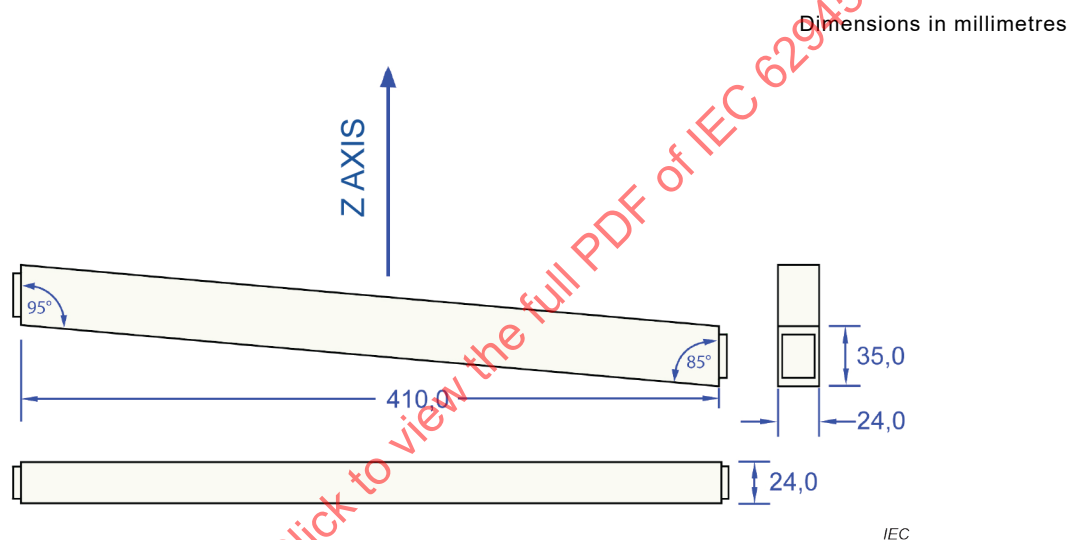


Figure 13 – Slanted edge test object used to measure z resolution

4.10.3 Test method

The acquired three-dimensional images are analyzed to generate the slice sensitivity profile as follows:

- Locate the test object and designate a right-rectangular volume ROI, $I(x,y,z)$, containing the leading, trailing, top and bottom faces of the test object but not the side faces.
- Generate a coronal image $I_c(x,z)$ of the test object by summing all CT values within the ROI along the y-axis (using the formalism in 4.4.3b). The coronal image is oriented so that each horizontal row is specified by a different x value.
- Compute the centerline of the test object
 - Calculate a center of mass, com_x , for each row (in z) in the ROI as shown in the following formula:

$$com_x = \frac{\sum_{z=0}^{z_{max}} z \times I_c(x,z)}{\sum_{z=0}^{z_{max}} I_c(x,z)}$$

where

x is the x-coordinate of the row

z_{max} is the maximum z value in the ROI

- 2) Fit a line in the x-z plane to the set of all com_x .
- d) For each row in the ROI, compute the edge spread function as follows:
 - 1) Compute the z distance of each pixel in the ROI from the centerline.
 - 2) For each row, scale the pixel values by the maximum CT value measured within the ROI to correct for beam hardening and scatter effects.
 - 3) Generate a table of all pixel values within the ROI in the order of their distance from the centerline.
 - 4) Using the methods specified in ASTM E1695 starting at 7.1.1.5 and continuing through 7.1.3.3, generate the edge response function, point spread function, and the modulation transfer function using grayscale images.

4.10.4 Presentation of results

The values for the SSP shall be given as numbers in a table, see Table 5, reflecting the magnitude of the MTF at various spatial frequencies. The SSP shall be reported at $0,5 \text{ cm}^{-1}$ intervals starting at $0,5 \text{ cm}^{-1}$ and continuing to the first interval beyond the frequency at which the SSP is below 0,2.

Table 5 – SSP procedure results

Frequency cm^{-1}	SSP
0,5	0,xxx
1,0	0,yyy
1,5	0,zzz
⋮	⋮
$f_{\max}$	(<0,200)

4.11 Image registration

4.11.1 Purpose

Some CT-based security systems are made up of multiple imaging subsystems. The data collected from the subsystems are combined to reach and/or display a final result. It is important to ensure that the data from the different subsystems are correlated spatially along the z -axis with regard to the frame of reference of the item being inspected. This correlation is commonly referred to as image registration.

This procedure measures how well the data from one subsystem are correlated to another. It also applies to systems with one imaging subsystem that make multiple data collection passes for the bag or object under inspection. Systems that create multiple images but use only one imaging subsystem and one data collection pass do not need to execute this procedure.

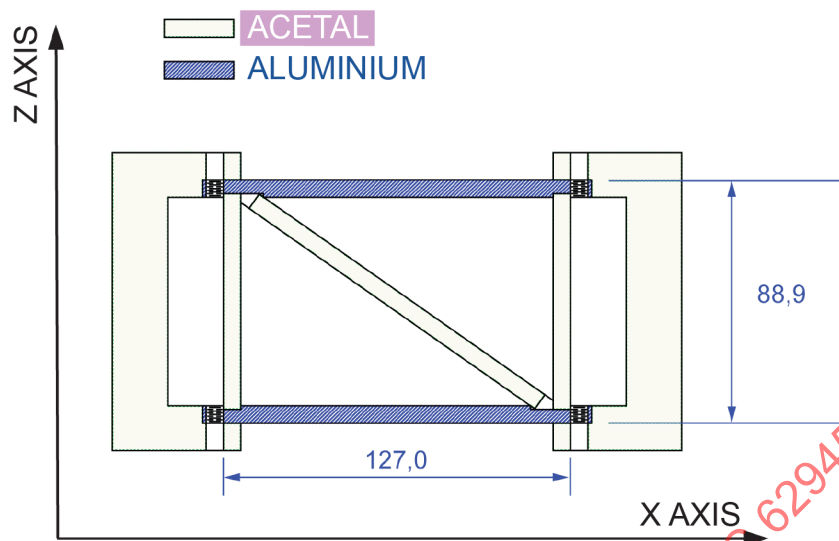
4.11.2 Test object description

The registration test object is designed so that:

- a) It can be identified in both CT and projection images.
- b) The position may be measured accurately in an x-ray projection image.
- c) The z position of a CT slice relative to the test object can be measured accurately.

Figure 14 shows a top view of the registration test object (not to scale). The test object has a POM top and bottom for rigidity. The sides and diagonal section are also POM. The front and back are aluminum, selected to provide good contrast in a projection image.

Dimensions in millimetres



IEC

Figure 14 – Registration test object (not to scale)

4.11.3 Test method

4.11.3.1 General

The image registration method consists of the following steps:

- Acquire images normally used in automated detection.
- Establish a region of interest in each image that contains the registration test object only.
- Measure the test object position in the z direction in each image.
- Compute registration accuracy, which is the difference between the z-axis position measurements in each image.

4.11.3.2 Measuring the test object position using a CT slice

The procedure for finding the test object in a CT slice uses the nature of the intersection of the three plastic walls with the slice plane. If the slice is taken at the center of the object, the intersection of the center, diagonal wall shall be equidistant from the side walls. Slices taken off center shall show the center wall proportionally displaced to one side or the other. By measuring the amount of displacement, the exact location of the slice relative to the center of the object can be calculated.

- Select a CT slice (x-y plane) that passes through the test object within 20 mm of its center. The example in Figure 15 shows a portion of a CT slice containing the test object, slightly off center in the z axis.
- Designate a region of interest (ROI) within the slice that contains the plastic side walls plus at least one layer of air voxels, but excludes the aluminum plates and any other test object.

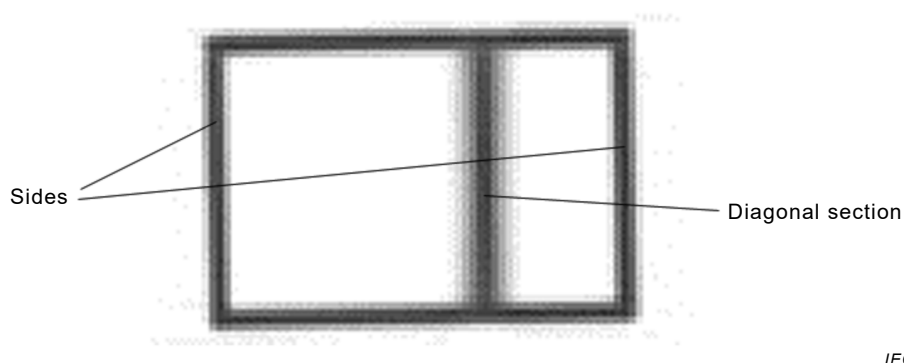


Figure 15 – CT image of registration test object, slice plane 1

- c) Within the ROI, select the horizontal line (x-axis direction) closest to the center of the test object and examine the profile of the line (as shown in Figure 16). Set *threshold* to equal 20 % of the maximum value on this line.

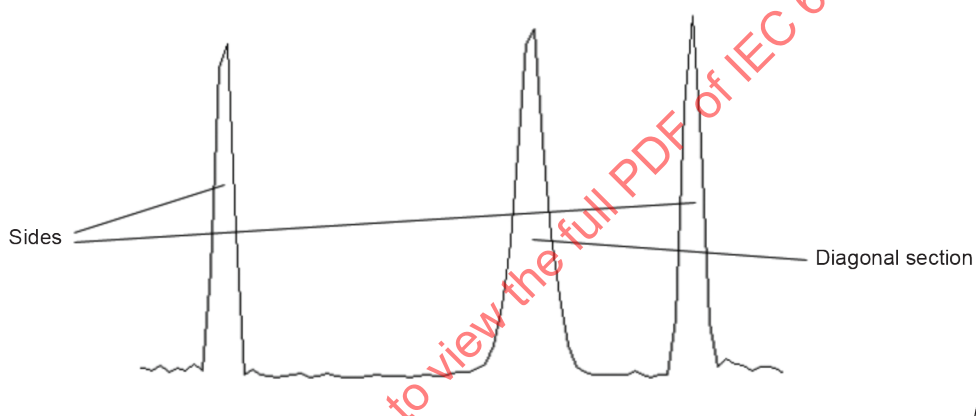


Figure 16 – Horizontal line profile through CT slice of the registration test object

- d) For each horizontal line in the ROI, examine the profile of the line and find all local maxima:
- 1) Working from one end of the line, find the first point greater than *threshold*. Set *edge1* equal to the location of this point.
 - 2) Continuing in the same direction, find the last consecutive point after *edge1* that is greater than *threshold* and set *edge2* equal to its location.
 - 3) If *edge1* or *edge2* is not found before reaching the end of the line, then no local maximum is found.
 - 4) Compute the position of the peak based on its center of gravity as shown in the following formula:

$$position = \frac{\sum_{j=edge1}^{edge2} j \times f(j)}{\sum_{j=edge1}^{edge2} f(j)}$$

where

$f(j)$ is the value of the line profile at location j .

- 5) Continue to process the line until all local maxima are found.
- e) For each horizontal line, if there are exactly three peaks, and the distance between the first and last peak is within 5 % of the width of the test object, select the line. Otherwise, do not include the line in the computation.

- f) Calculate the average position of the first, middle, and last peak for the set of selected lines (p_{Left} , p_{Right} , and p_{Center} , respectively, in mm).
- g) Compute the position of the slice, with respect to the center of the test object, as shown in the following formula:

$$z_{rel} = z_{length} \cdot \left(-0,5 + \frac{p_{Center} - p_{Left}}{p_{Right} - p_{Left}} \right)$$

where

z_{length} is the distance in mm between intersections of the centerline of the diagonal piece and the centerlines of the test object's two vertical acetal sides (specified in test article drawing in Annex A)

z_{rel} is the distance in mm of the slice from the center of the test object

- h) Compute z_{CT} , the position of the center of the registration test object as measured with CT slices, as shown in the following formula:

$$Z_{CT} = Z_{slice} + Z_{rel}$$

where

z_{slice} is the z coordinate in mm of the slice used for the analysis in the CT frame of reference.

4.11.3.3 Measuring the test object position using a projection image

The procedure for finding the test object position in a projection image makes use of the aluminum plates at the leading and trailing edge of the object. In a projection image created with linear arrays of detectors across the direction of belt motion, these plates shall line up with the source/detector plane creating a large, sharp attenuation peak. By finding both peaks, the center of the object in the image can be calculated.

- a) Designate a ROI within the projection image that contains the entire test object and a buffer of "air voxels" in the z-axis direction and the central 80 % of the object in the x-axis direction.
- b) Select a vertical line (z-axis direction). Figure 17 shows a projection image of the test object along with a line profile taken along the z-axis direction. Set threshold equal to 20 % of the maximum value on this line.

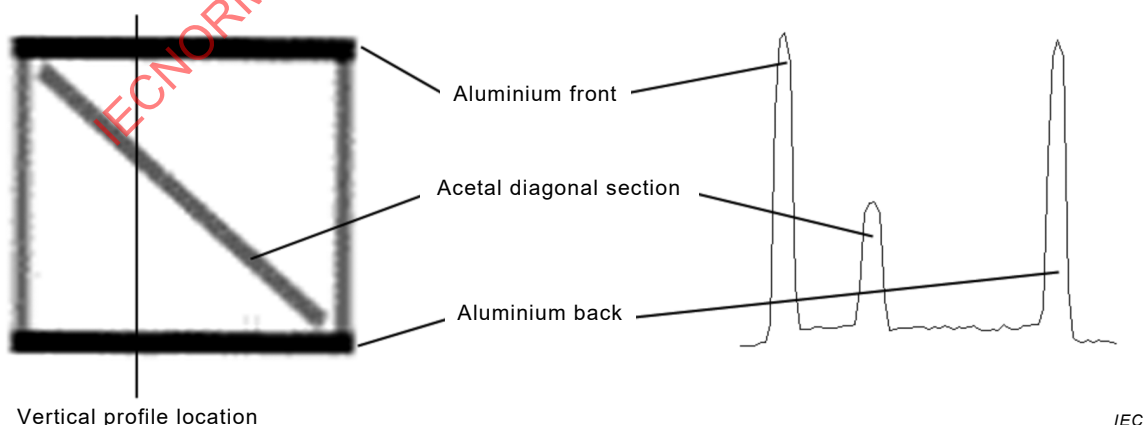


Figure 17 – Projection image of the registration test object and vertical profile through image

- c) For each vertical line in the ROI, examine the profile of the line and find all local maxima using the same method described in 4.11.3.1.

- d) For each vertical line, if there are at least two peaks and the distance between the first and the last peak is within 5 % of the length of the test object, select the line. Otherwise, do not include the line in the computation.
- e) Calculate the average position of the first and last peak for the set of selected lines (p_{First} and p_{Last} respectively in mm).
- f) Calculate the position of the test object's center in the projection image as shown in the following formula:

$$Z_{SP} = \frac{1}{2}(p_{First} + p_{Last})$$

4.11.4 Presentation of results

The reported result shall be the difference between the test object's center location in each image used by the system. If the system uses only two imaging subsystems, the results shall be reported as a single signed number, labeled as "Registration Error" and reported in mm with one decimal place as follows:

Registration error x,x mm

If the system uses more than two imaging subsystems, the results shall be reported as a table showing the differences from each image to all other images. The report shall also separately report the maximum difference.

5 Environmental requirements

These tests shall be conducted under ambient temperature and humidity conditions defined as 23 °C ± 5 °C and non-condensing humidity. The temperature and relative humidity shall be reported with the testing results.

If performance is required outside of the above specified environmental conditions, the user should not assume that reported image quality performance metrics are equivalent to those reported under ambient conditions. The user may wish to require testing outside of ambient conditions or request engineering analysis to gauge performance in the field.

Annex A (normative)

Detailed test article specifications and drawings

A.1 General

This annex provides materials specifications and drawings of the test objects as well as the assembled test articles needed to fabricate compliant test articles for use with this document.

A.2 Commercial parts

In addition to the materials noted on the drawing package in Clause A.4, the assembled test article requires the parts listed in Table A.1.

Table A.1 – Commercial foils required for fabrication of CT value uniformity and x-ray energy spectrum consistency test object (4.8)

Foil	Minimum purity %	Thickness mm	Length mm	Width mm	Quantity
tin	99,9	0,25 ± 0,025	236,3 +0/-0,13	30 +0/-0,13	1
lead	99,9	0,15 ± 0,015	235,3 +0/-0,13	30 +0/-0,13	1

The full specification for the acetal copolymer (plate, rod, or bar) used in the fabrication of each of the test objects is as follows:

Use acetal copolymer (also called acetal, polyoxymethylene or POM) that conforms to the specifications of ASTM D6100 and designation therein: S-POM0211,LP (copolymer, unfilled class, general purpose grade, low porosity). This is a thermoplastic, with a density near 1,4 g/cm³. It does not include fillers, impact modifiers or other additives including colorant, fiber, chemical lubricant, or heavy metals. Before construction of the NEQ test object, the core of the delivered POM rod shall be verified for low centerline porosity using the procedure specified in ASTM D6100. The POM parts should be fabricated on machines used only for plastics to avoid cross-contamination with metals and machine oils.

The aluminum sub-component of the image registration test object shall be made with aluminum 6061-T651 in accordance with SAE AMS 4027 (plate), or equivalent. The Al ring subcomponent of the image registration test object shall be made from with aluminum 6061-T651 in accordance with SAE AMS 4027, or SAE AMS 4117 (bar, rod, or rings), or equivalent.

A.3 Outer enclosure

The test articles described in this document can be easily damaged. Therefore it is important to enclose them in an appropriate, rugged outer case. The enclosure should be selected for its size, ruggedness, weight, and low attenuation to the CT source x-ray beams. It shall not have any metal components or significant structures that might cause unintended artifacts in the images. It is permissible to use a commercially available case and modify it to remove problematic structures. If a custom case is not fabricated, some examples of needed modifications might include removal of handles, plastic ribs, metal hinge pins that would appear in the imaged volume together with the test objects. The test objects and their support structure should be firmly supported within the enclosure, keeping it centered in the x

direction within the case to ± 2 mm. This might include open- and closed-cell polyethylene foam cut to appropriate shapes and thicknesses.

To preserve intrinsic image quality, it is strongly recommended that the chosen enclosure lid and bottom collectively attenuate less than 25 % of the probe beam as defined by a Beer's law calculation for linear attenuation of x rays at an energy near the peak of intensity in the nominal incident spectrum used (I/I_0), be it measured, modeled, or estimated. The mass attenuation coefficients for any compound comprising the enclosure are computed as the sum of the constituent coefficients, each scaled by weight fraction. Tabulations of energy- and Z-dependent interaction coefficients μ_m (in cm^2/g) are widely available. If ρ is the density of the enclosure material, and t is the thickness of the sum of two opposing sides of the enclosure, then it is recommended that:

$$I/I_0 \geq 0,75 \text{ where } I/I_0 = e^{-\mu_m \rho t}$$

If a chosen enclosure material is of unknown composition, I/I_0 may be approximated experimentally by using the system's spectrum and a proportional detector to acquire relative signals "with", I , and "without", I_0 , the empty enclosure in the beam path.

To ensure that the test article is oriented on the conveyor belt of the screening system in accordance with the designators "FRONT" and "TOP" in Figures 2 and 3, the exterior of the test article encasements shall include signage such as "belt direction" and "this side up."

A.4 Detailed drawings of custom components

The following detailed drawings, see Figures A.1 to A.23, provide the information needed to construct the individual parts of the test articles. While the individual test objects and support structure is normative, the outer enclosure is not. Hence the location of fasteners of the enclosure to the support structure shown within may vary with choice of enclosure.

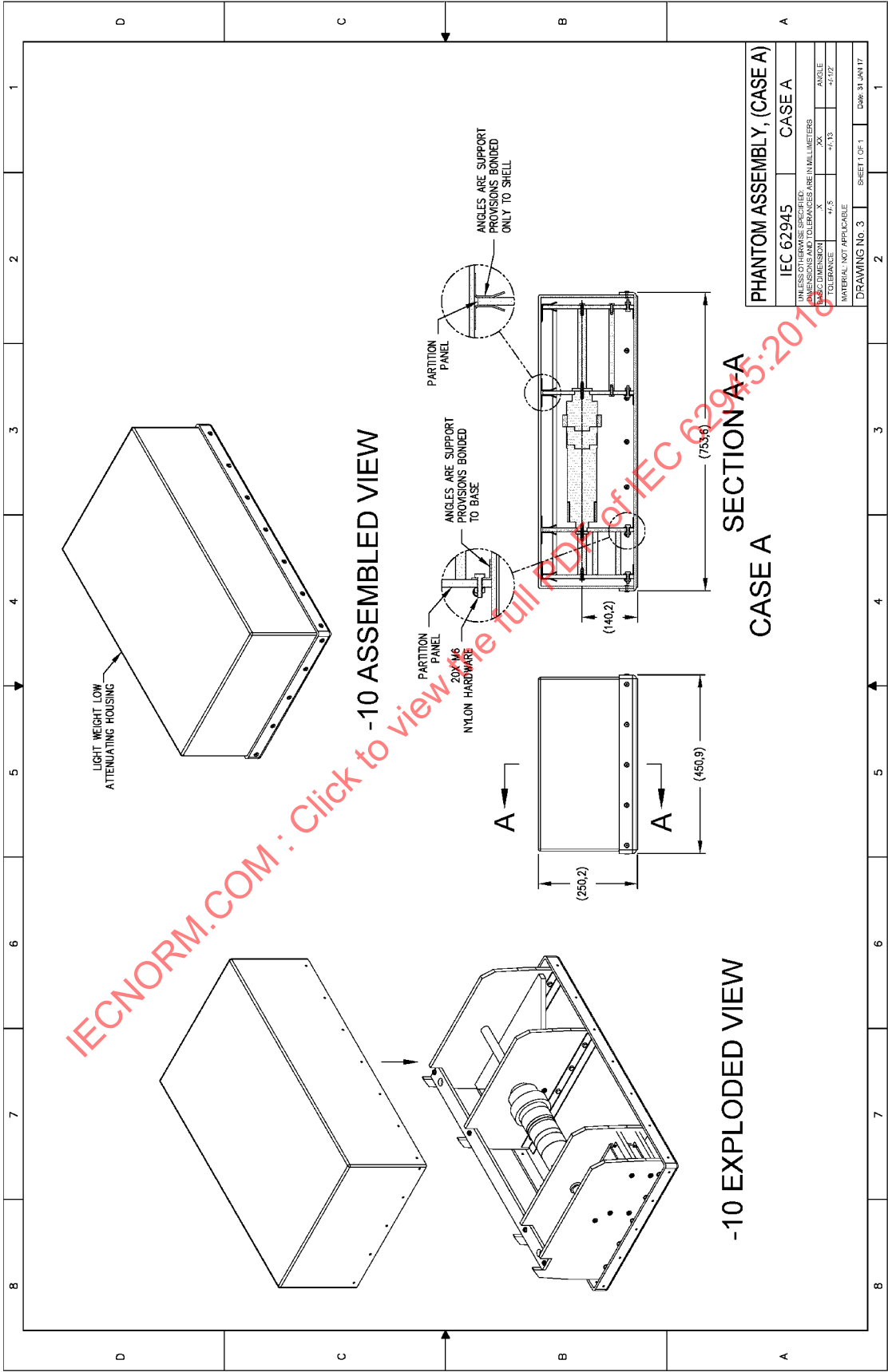
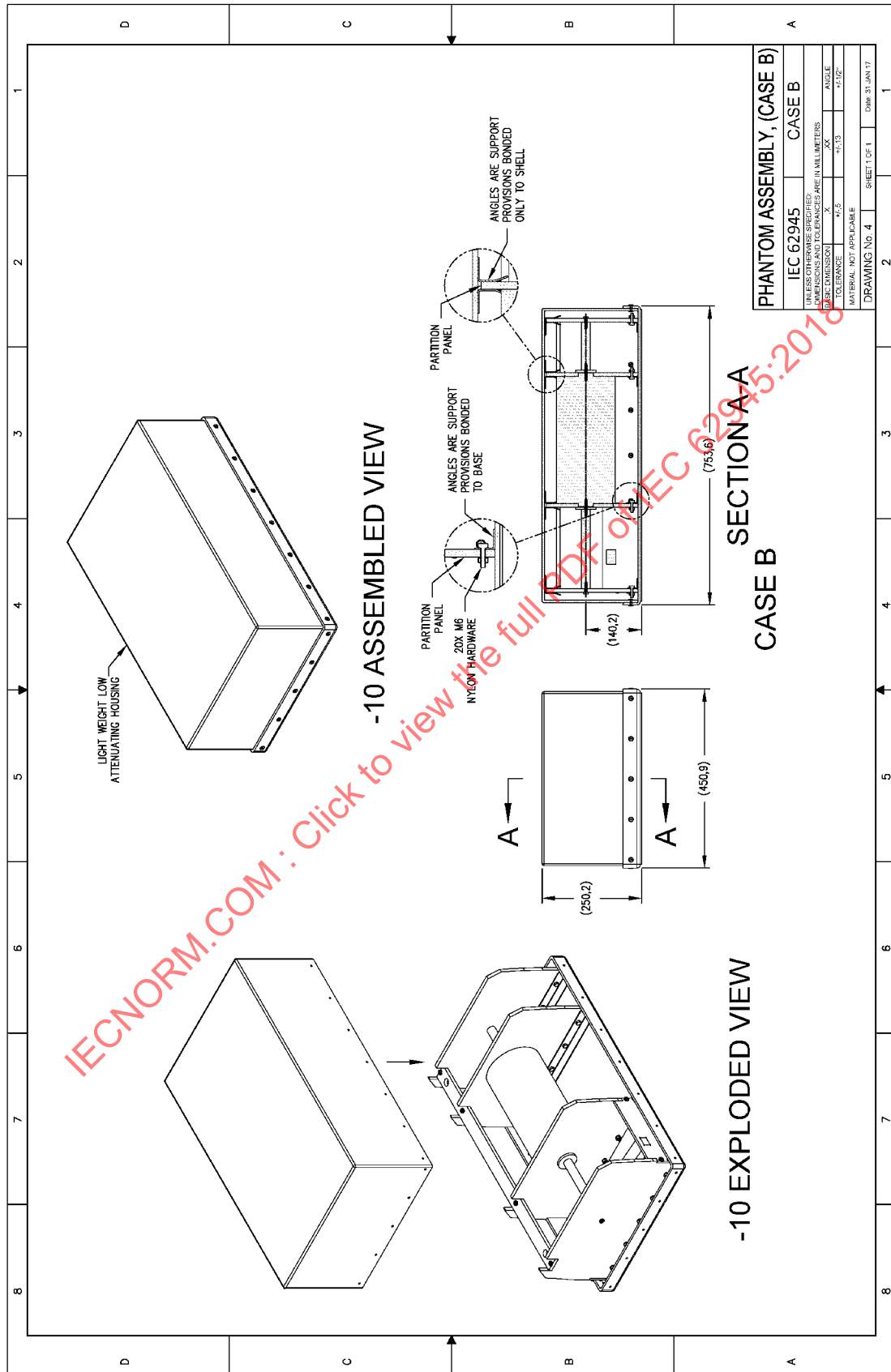


Figure A.1 – Assembly of Case A test article



IEC

Figure A.2 – Assembly of Case B test article

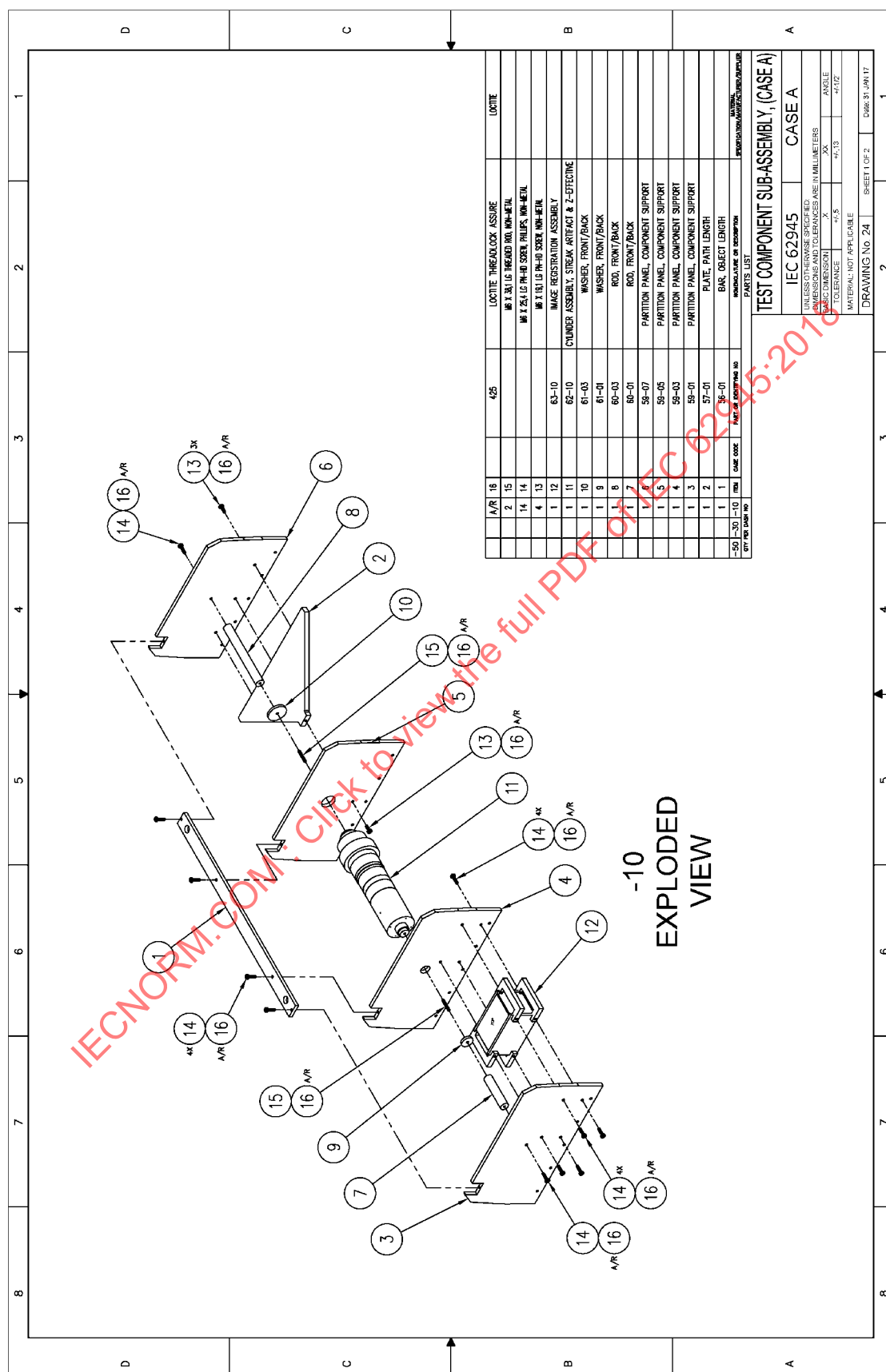
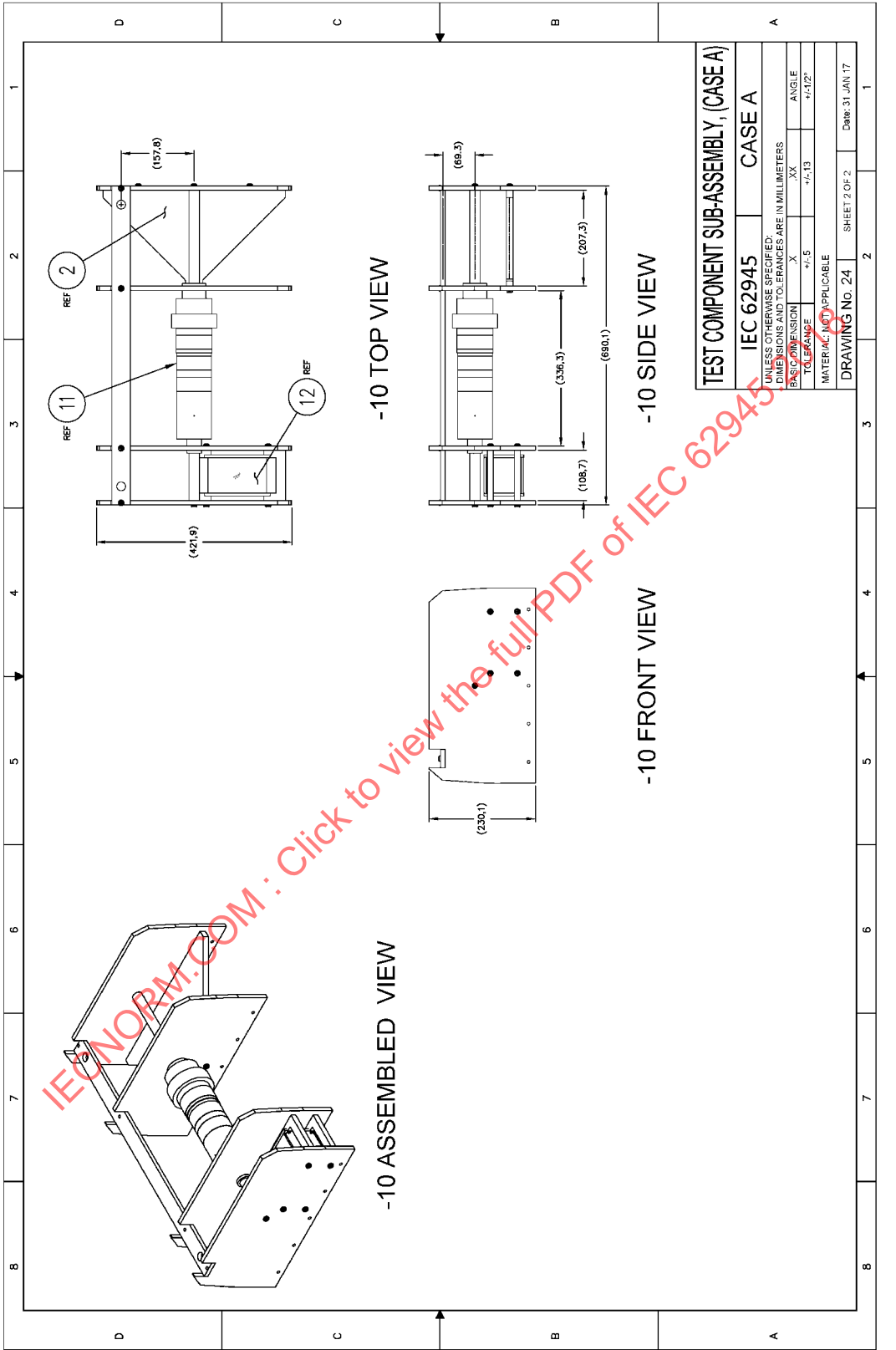


Figure A.3 – Test component sub-assembly of Case A test article (drawing 1 of 2)



IEC

Figure A.4 – Test component sub-assembly, Case A test article (drawing 2 of 2)

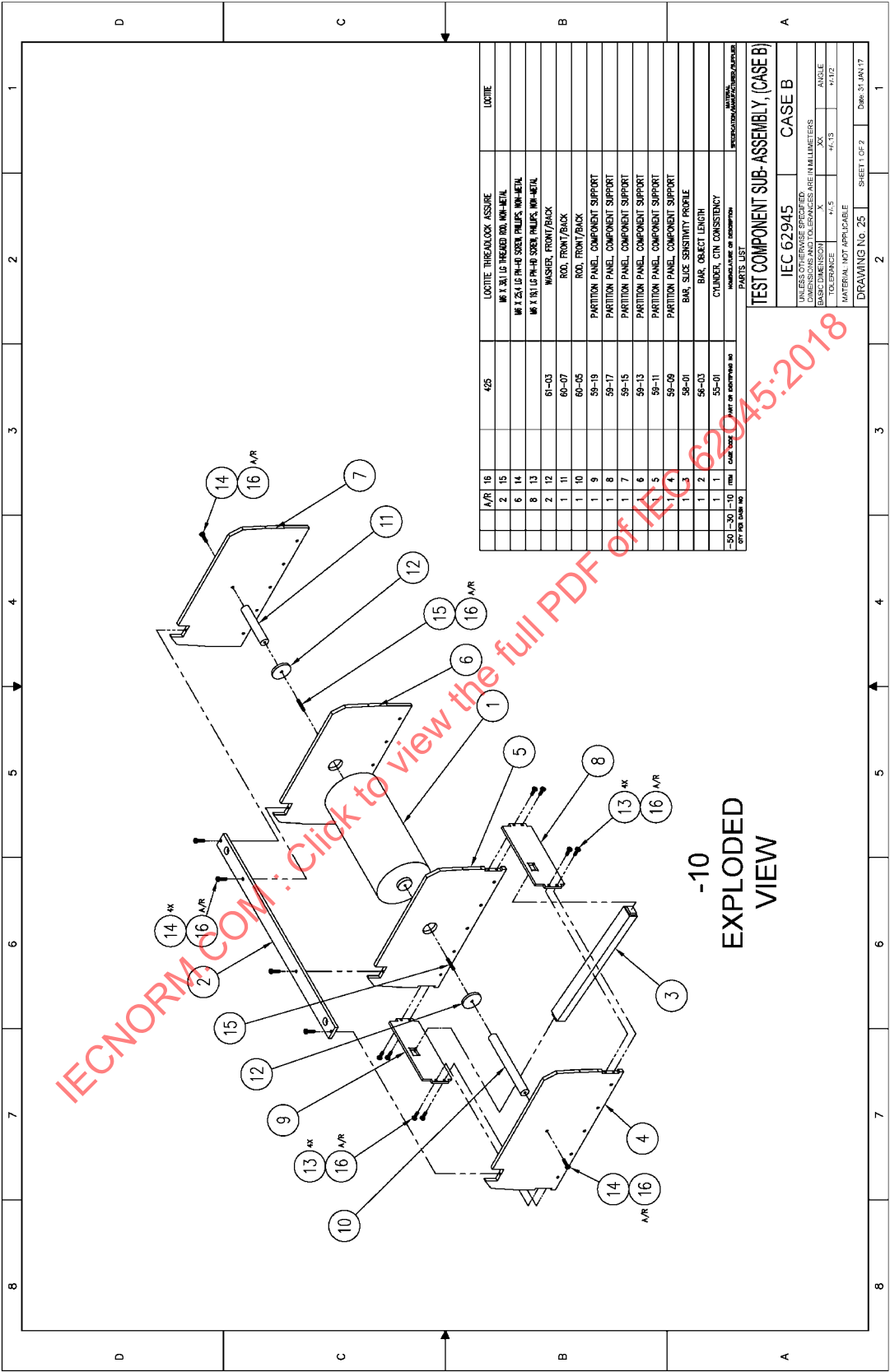
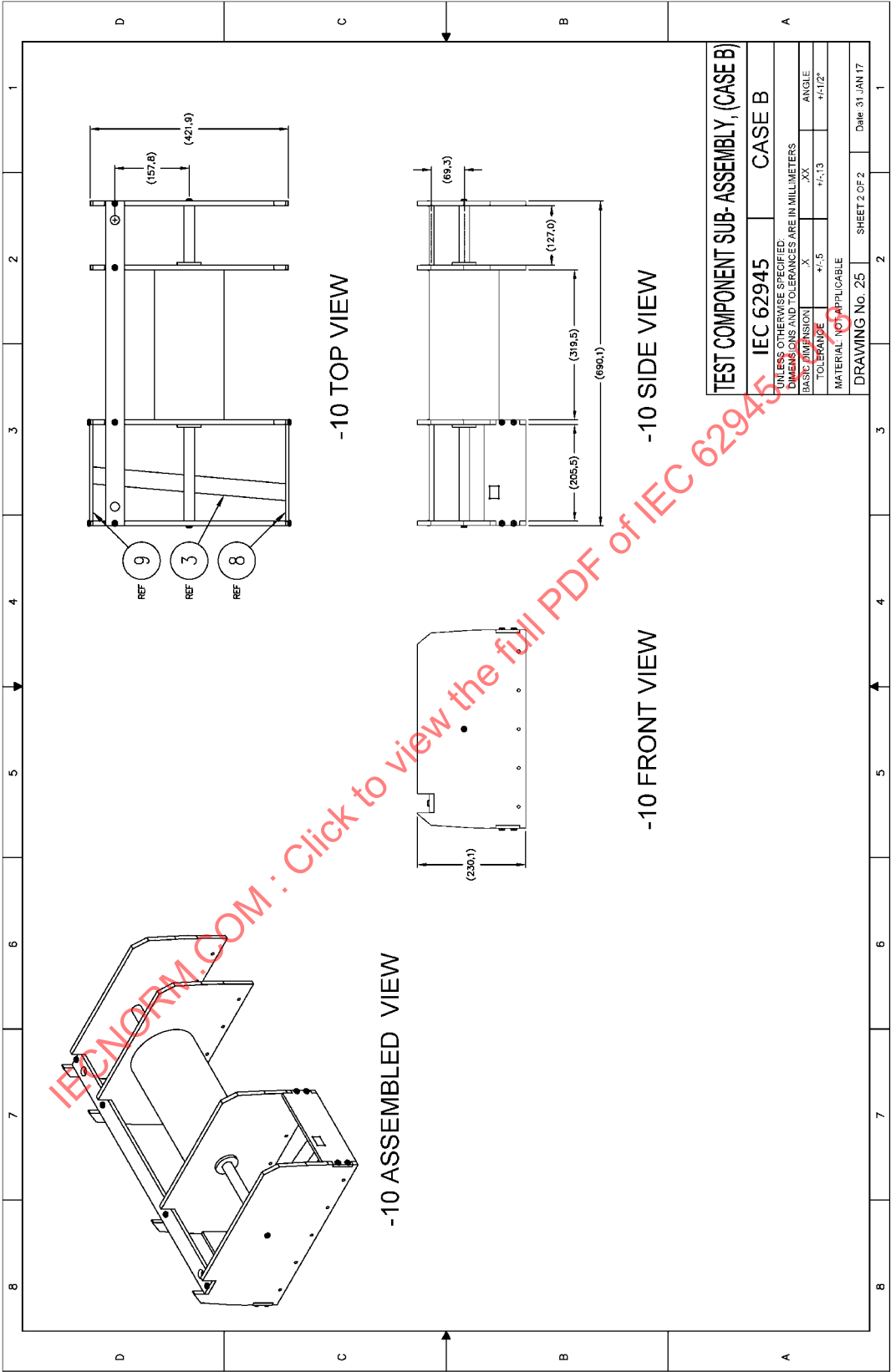


Figure A.5 – Test component sub-assembly, Case B test article (drawing 1 of 2)



IEC

Figure A.6 – Test component sub-assembly, Case B test article (drawing 2 of 2)

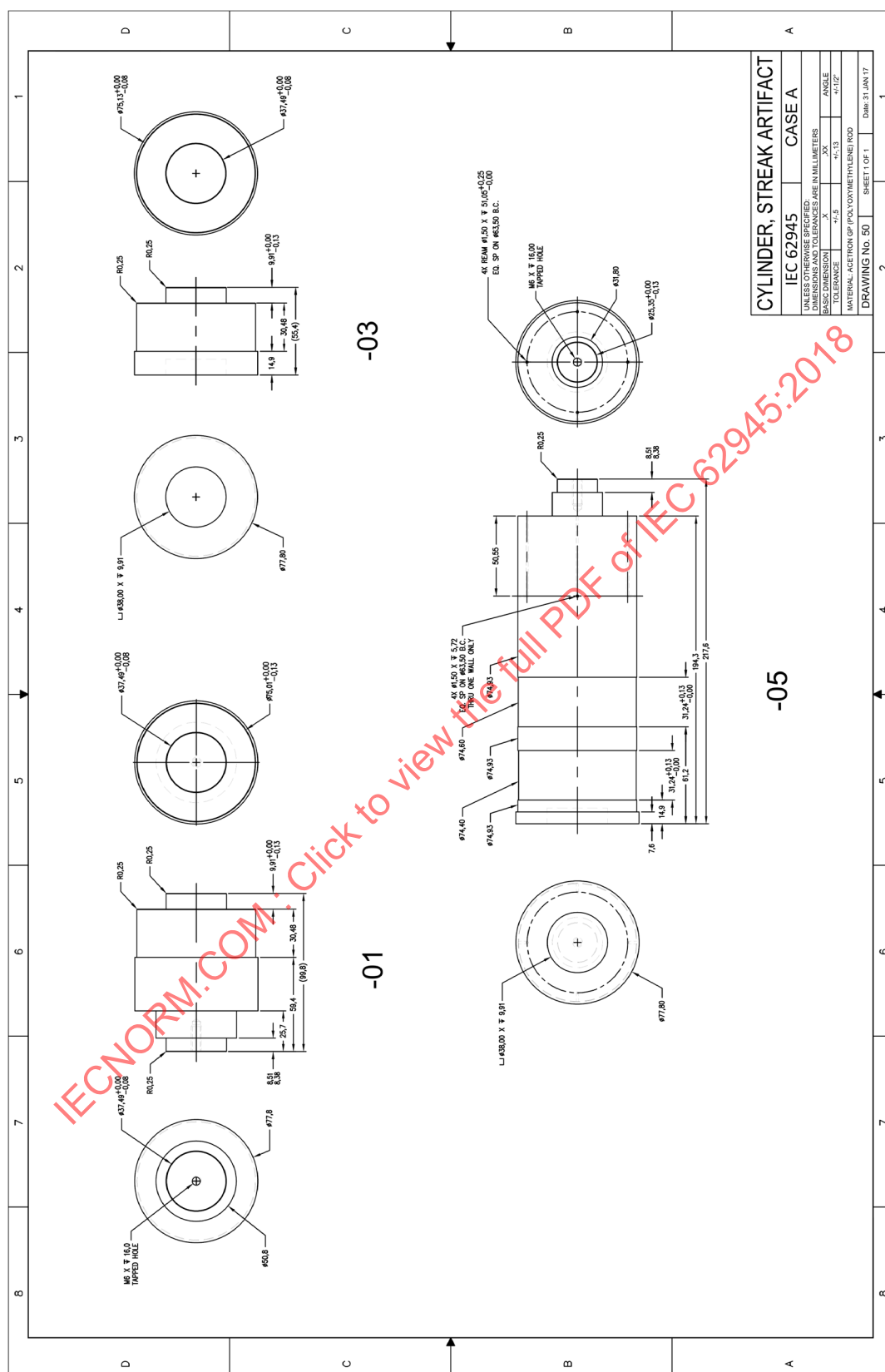


Figure A.7 – Sub-components for Case A cylinder test object

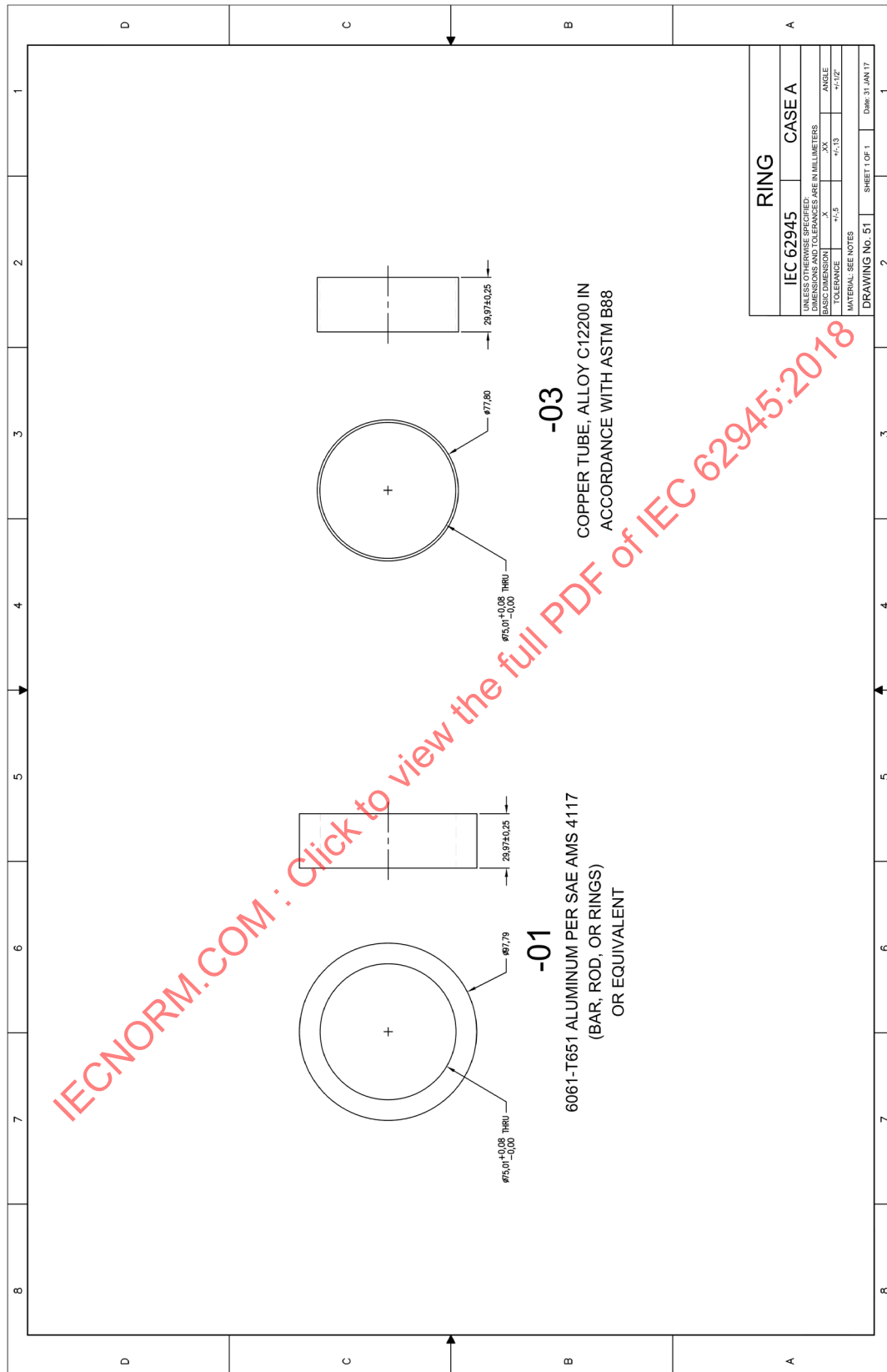


Figure A.8 – Ring sub-components for Case A cylinder test object

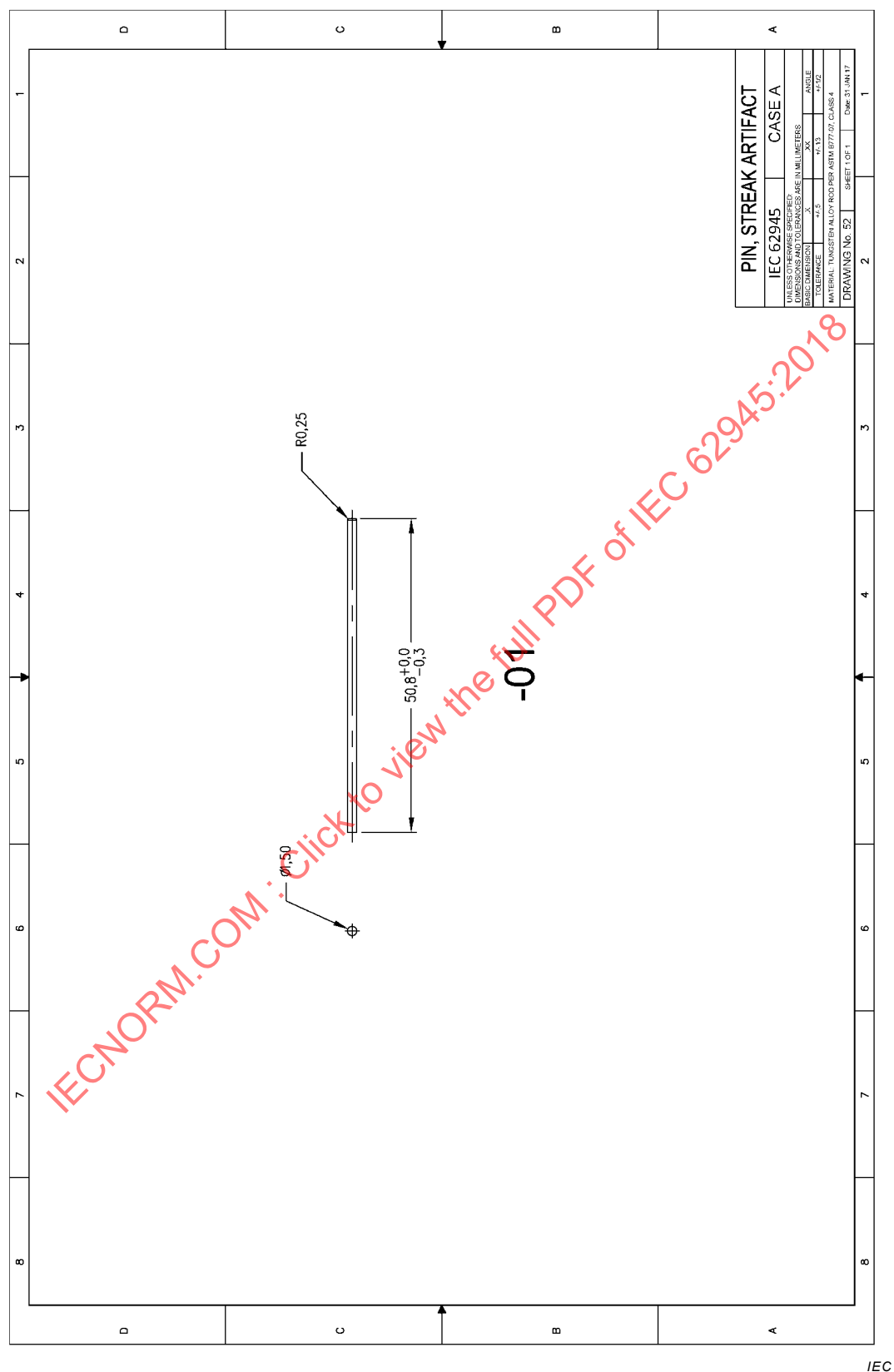
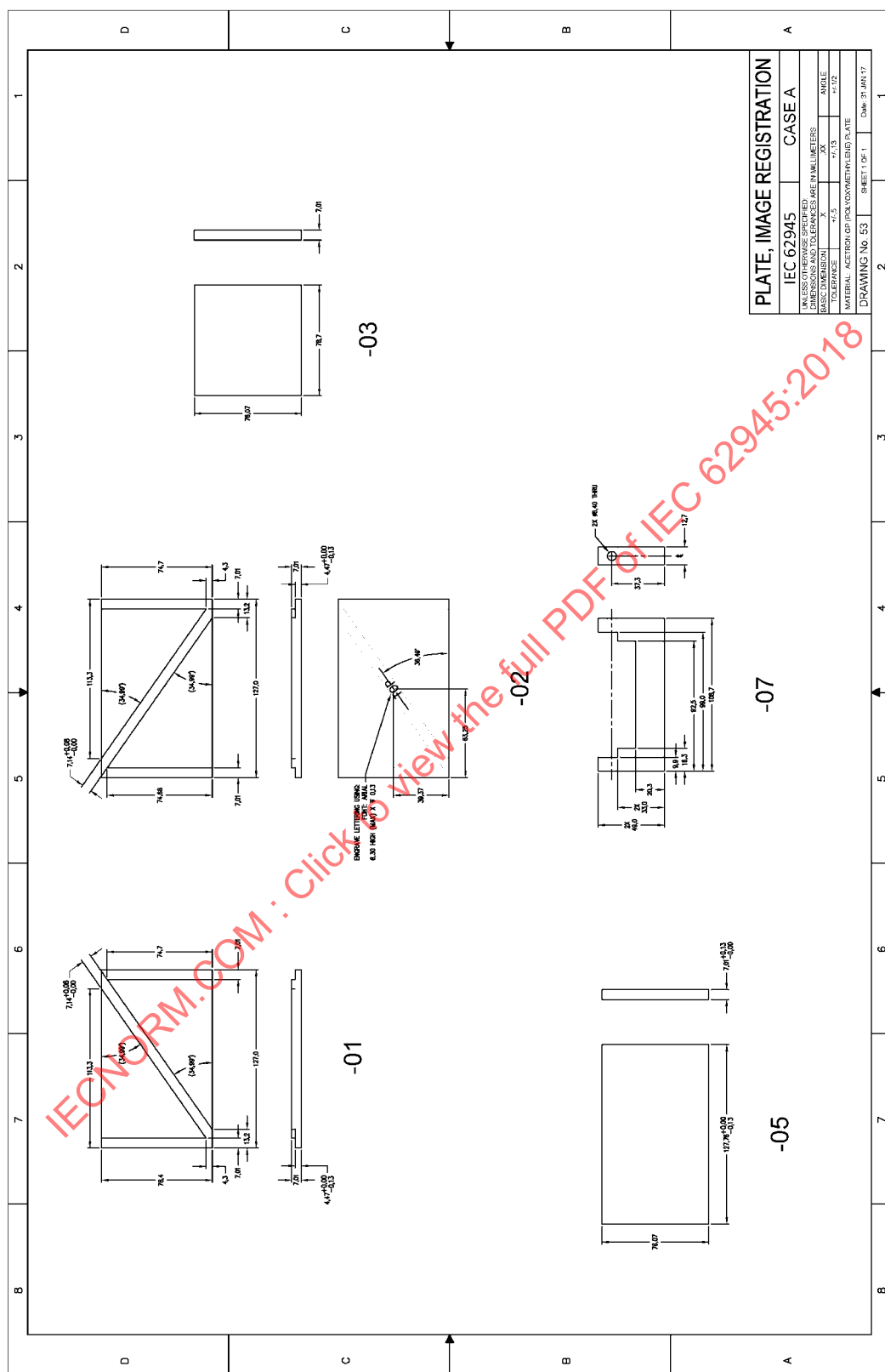


Figure A.9 – Pin sub-components for Case A cylinder test object (streak artifacts)



IEC

Figure A.10 – AI sub-component for image registration test object, Case A

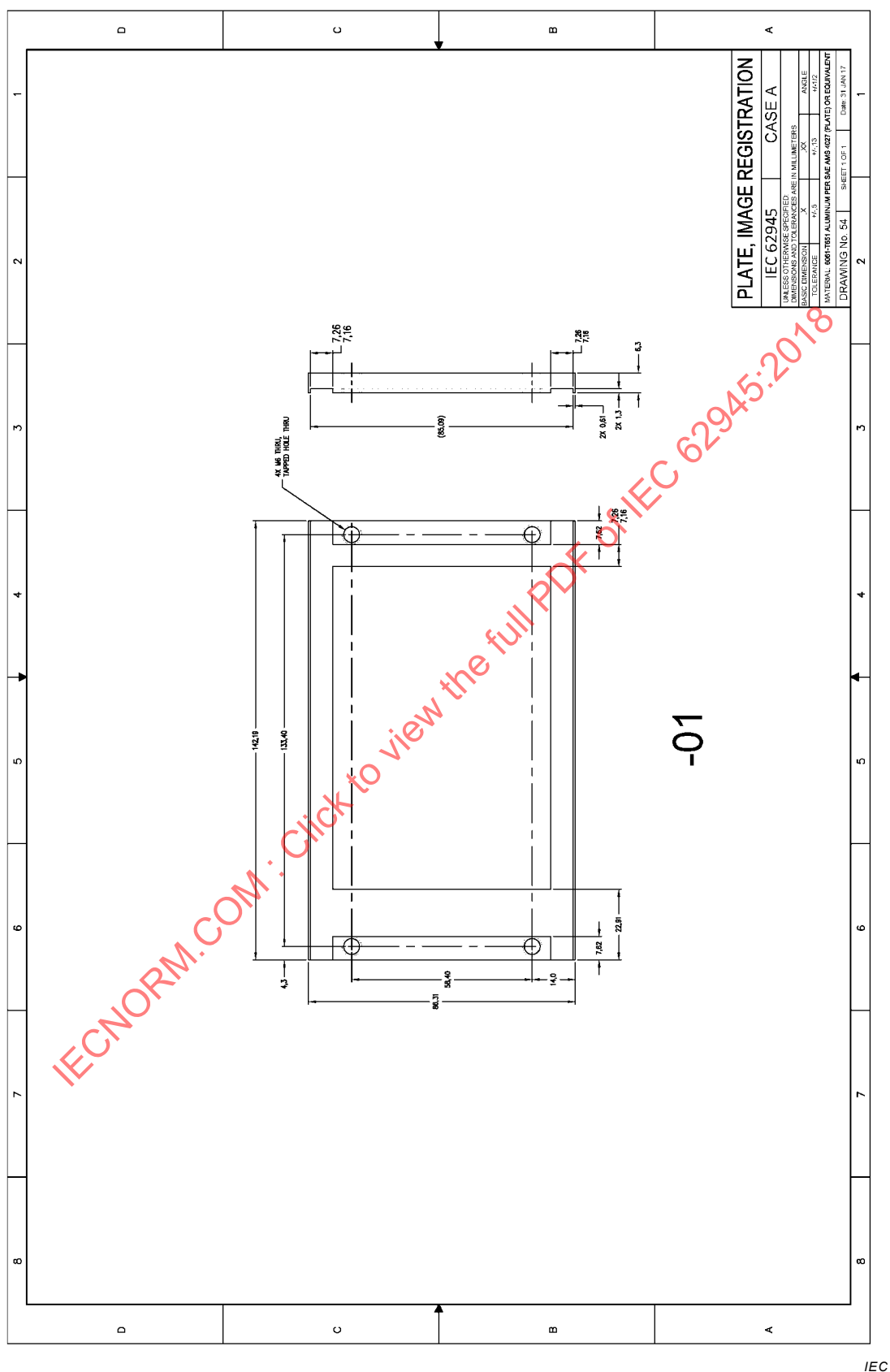
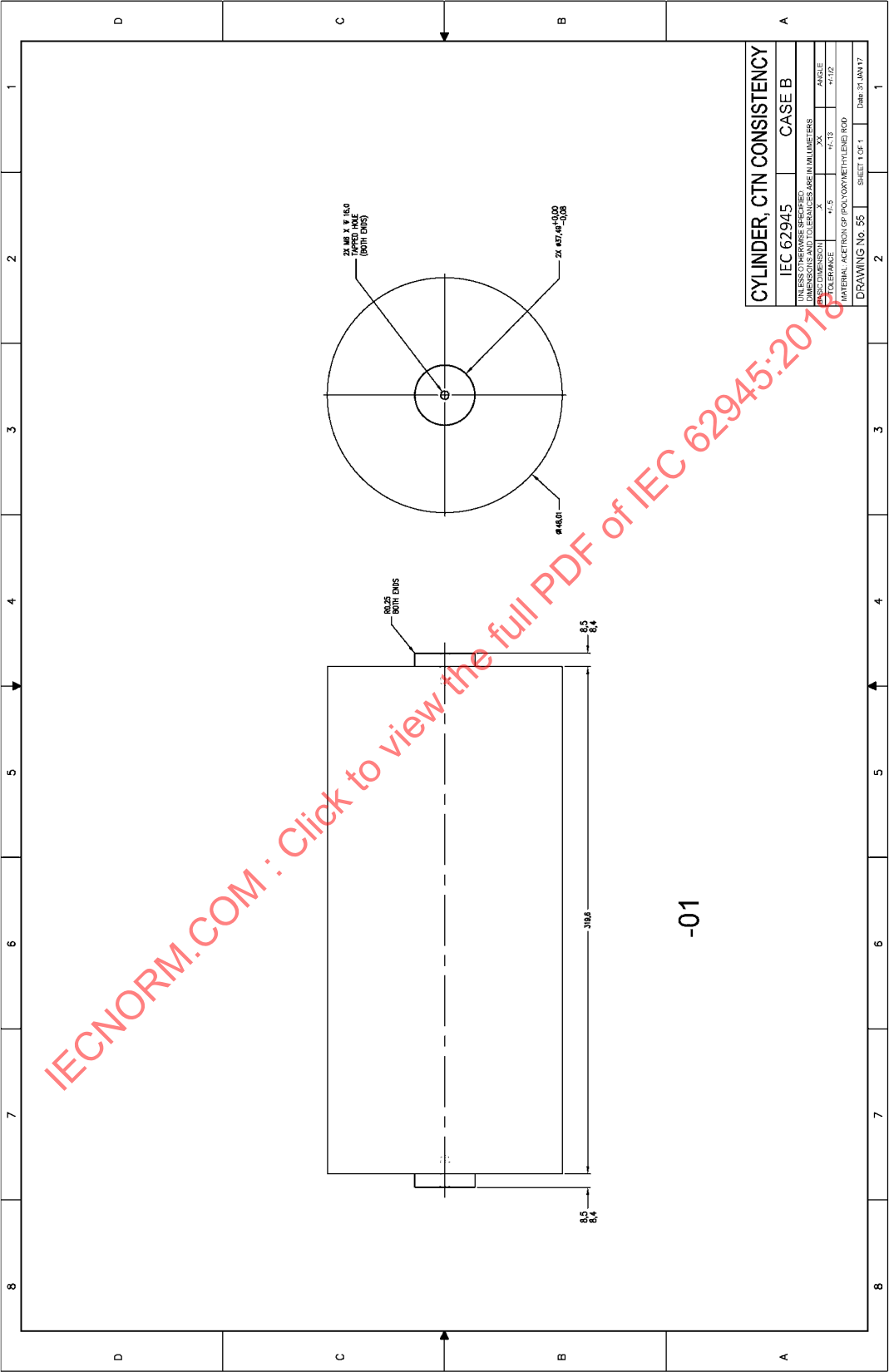
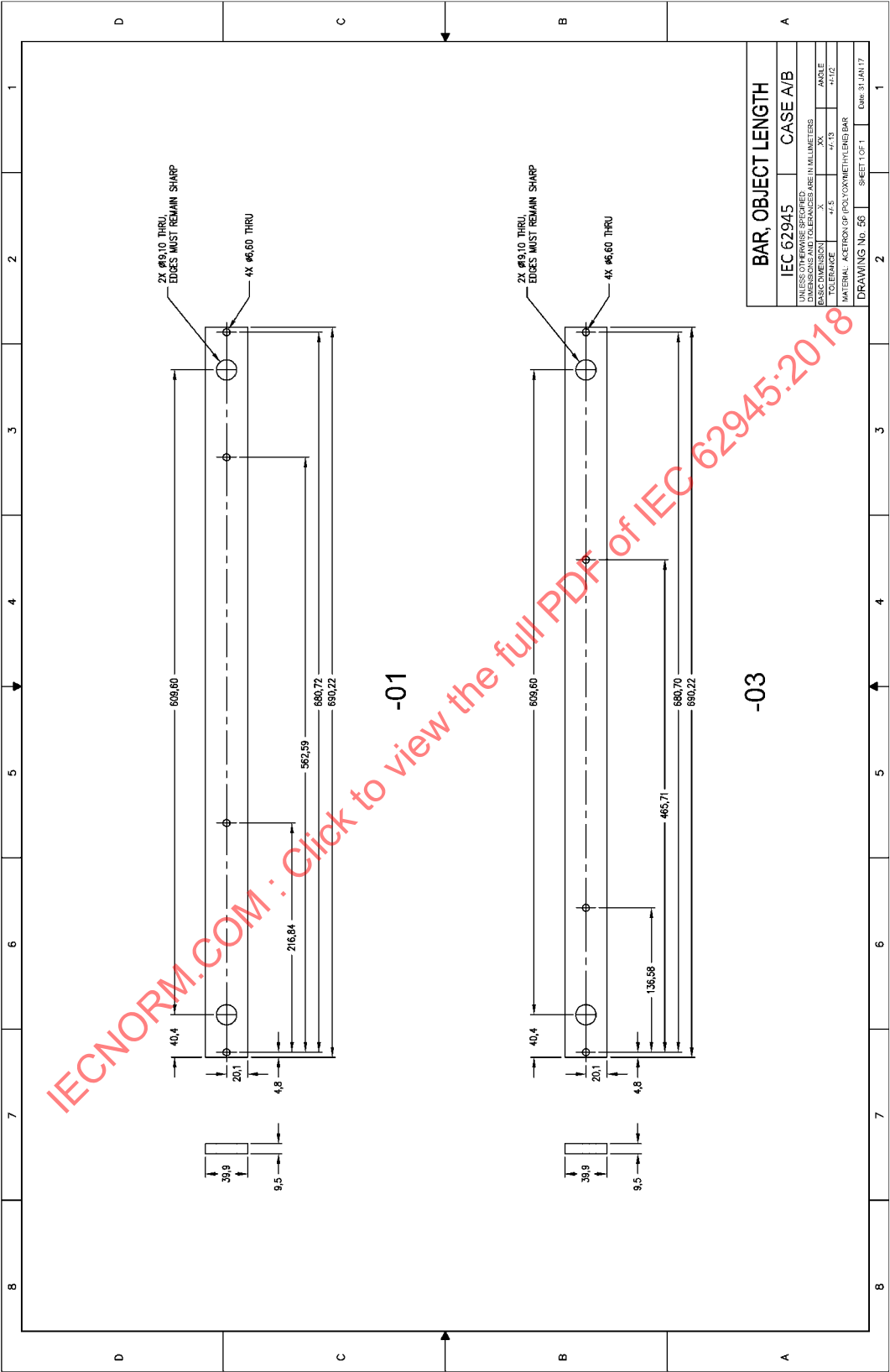


Figure A.11 – POM sub-components for image registration test object, Case A



IEC

Figure A.12 – Cylinder test object (NEQ and CT value consistency), Case B

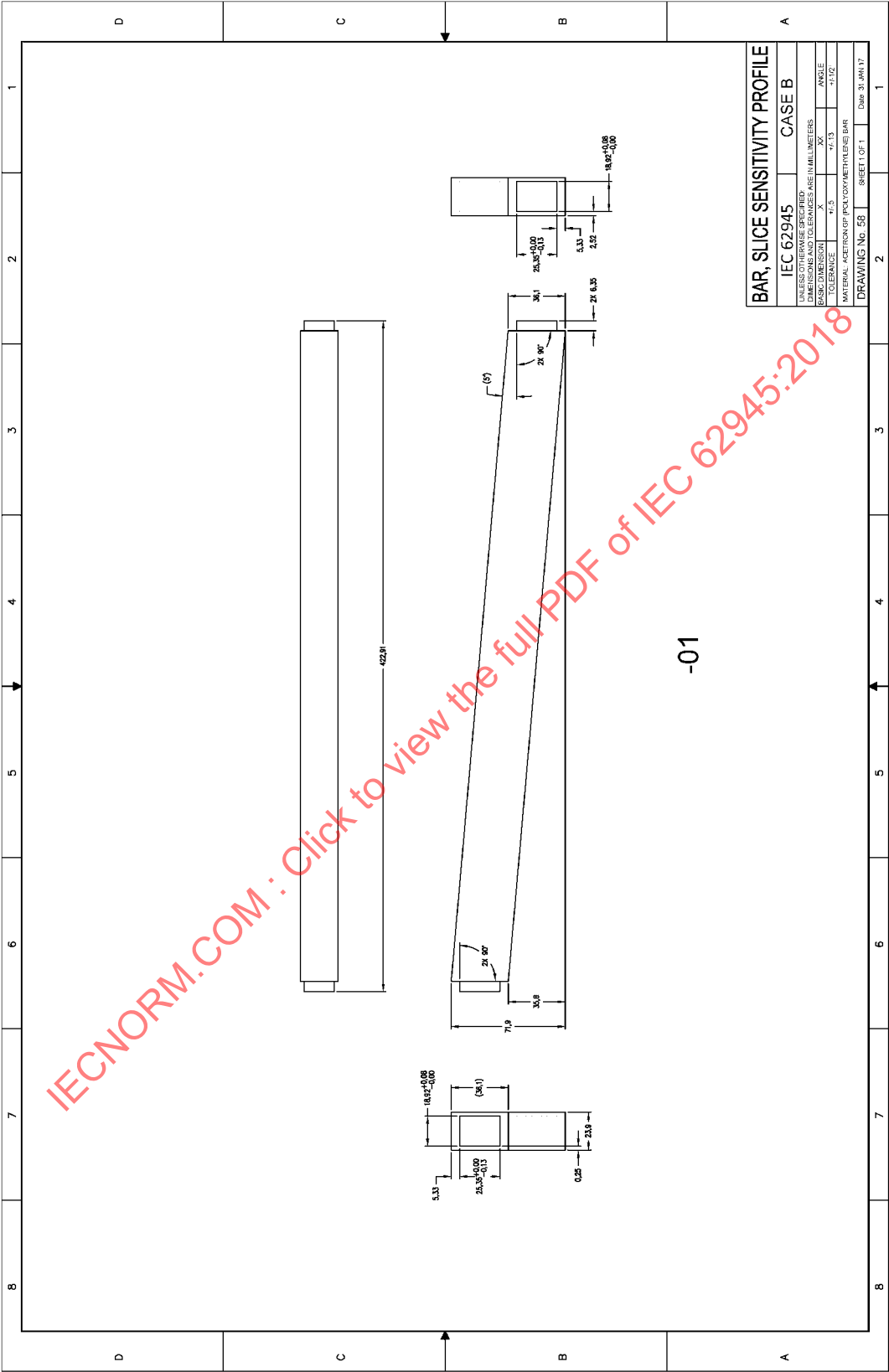


IEC

Figure A.13 – Object length test object, Cases A and B



Figure A.14 – Path length test object, Case A



IEC

Figure A.15 – SSP test object, Case B



Figure A.16 – Partition panel for component support, Cases A and B (drawing 1 of 4)

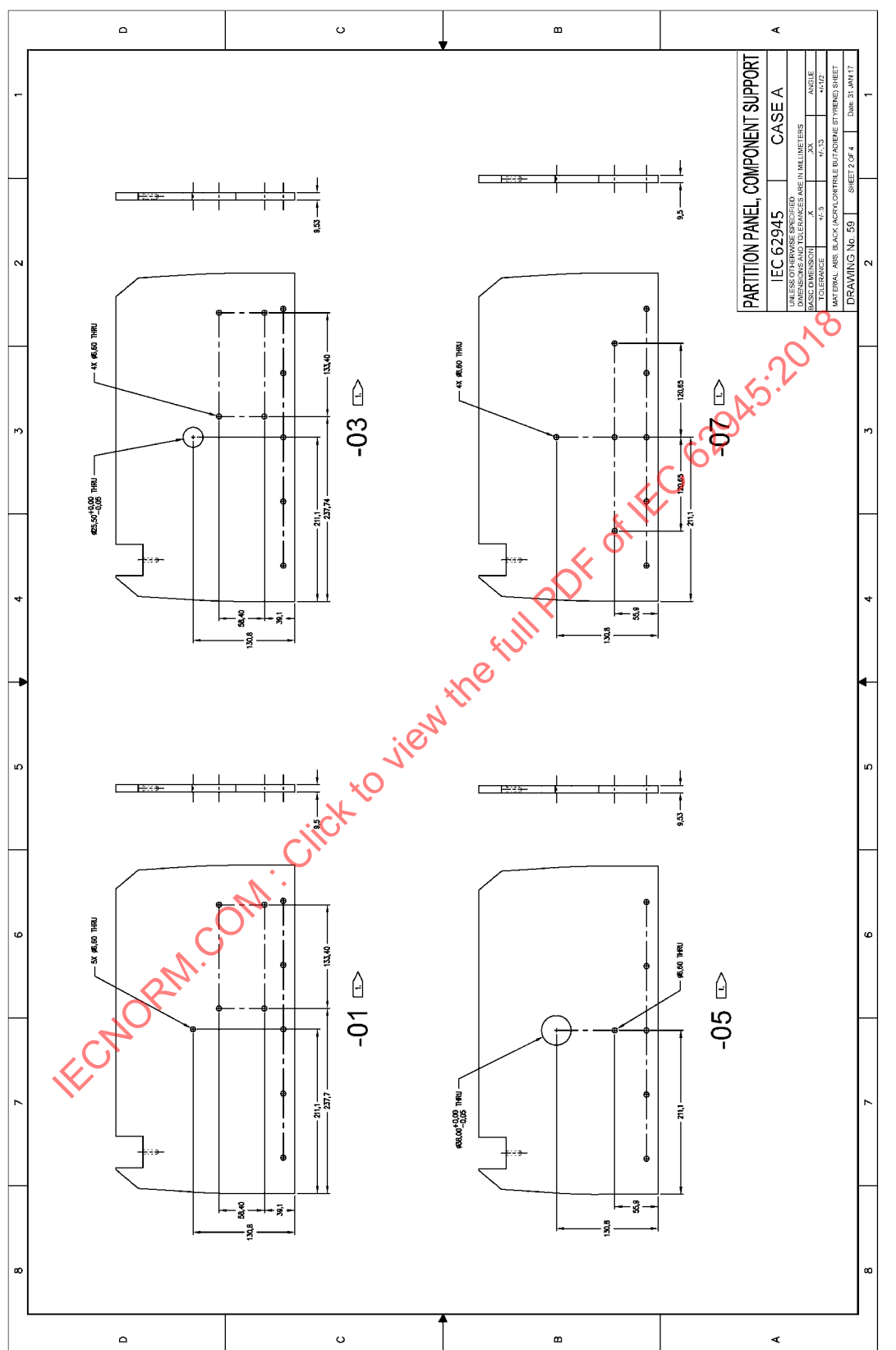


Figure A.17 – Partition panel for component support, Case A (drawing 2 of 4)

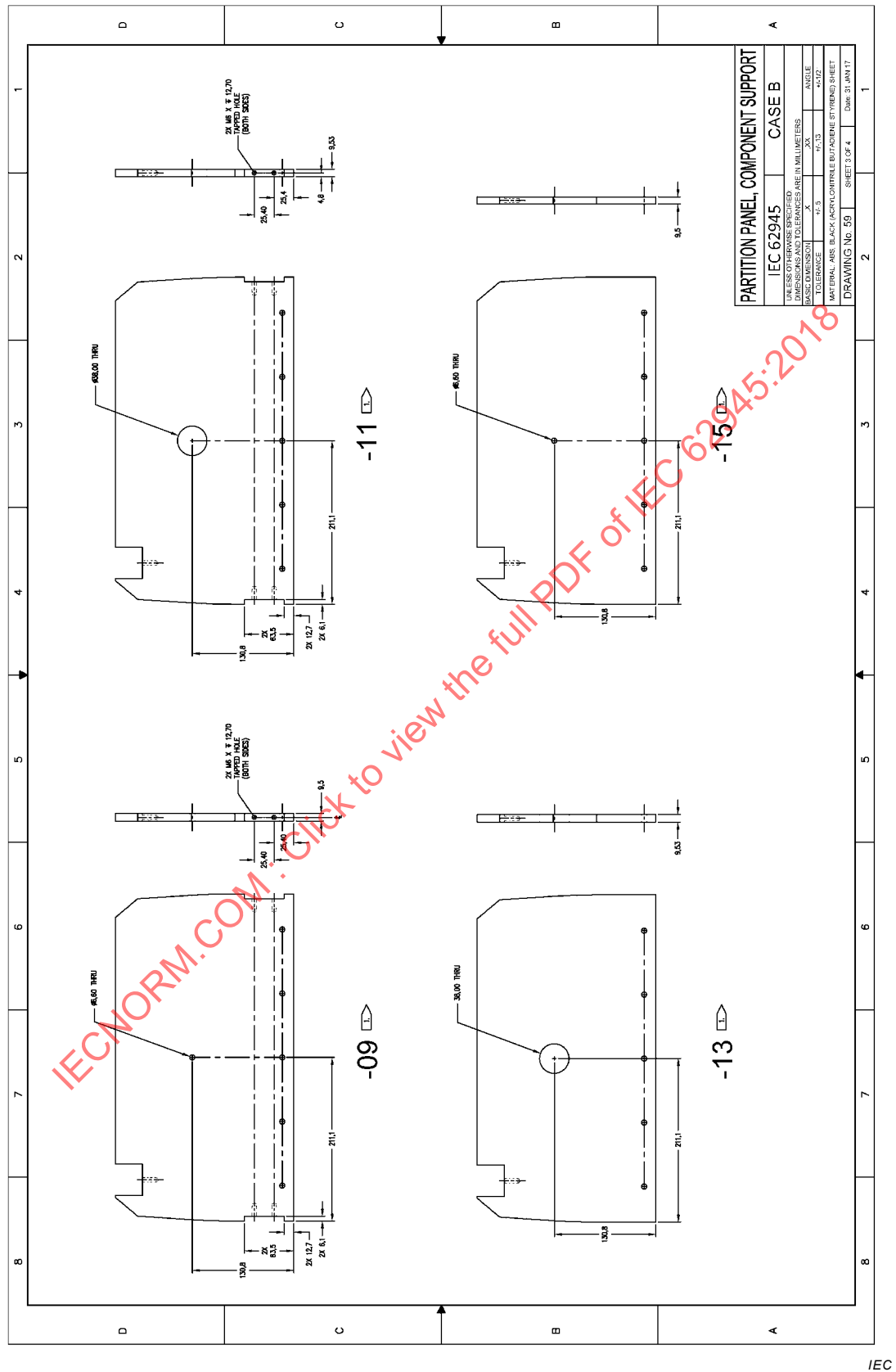
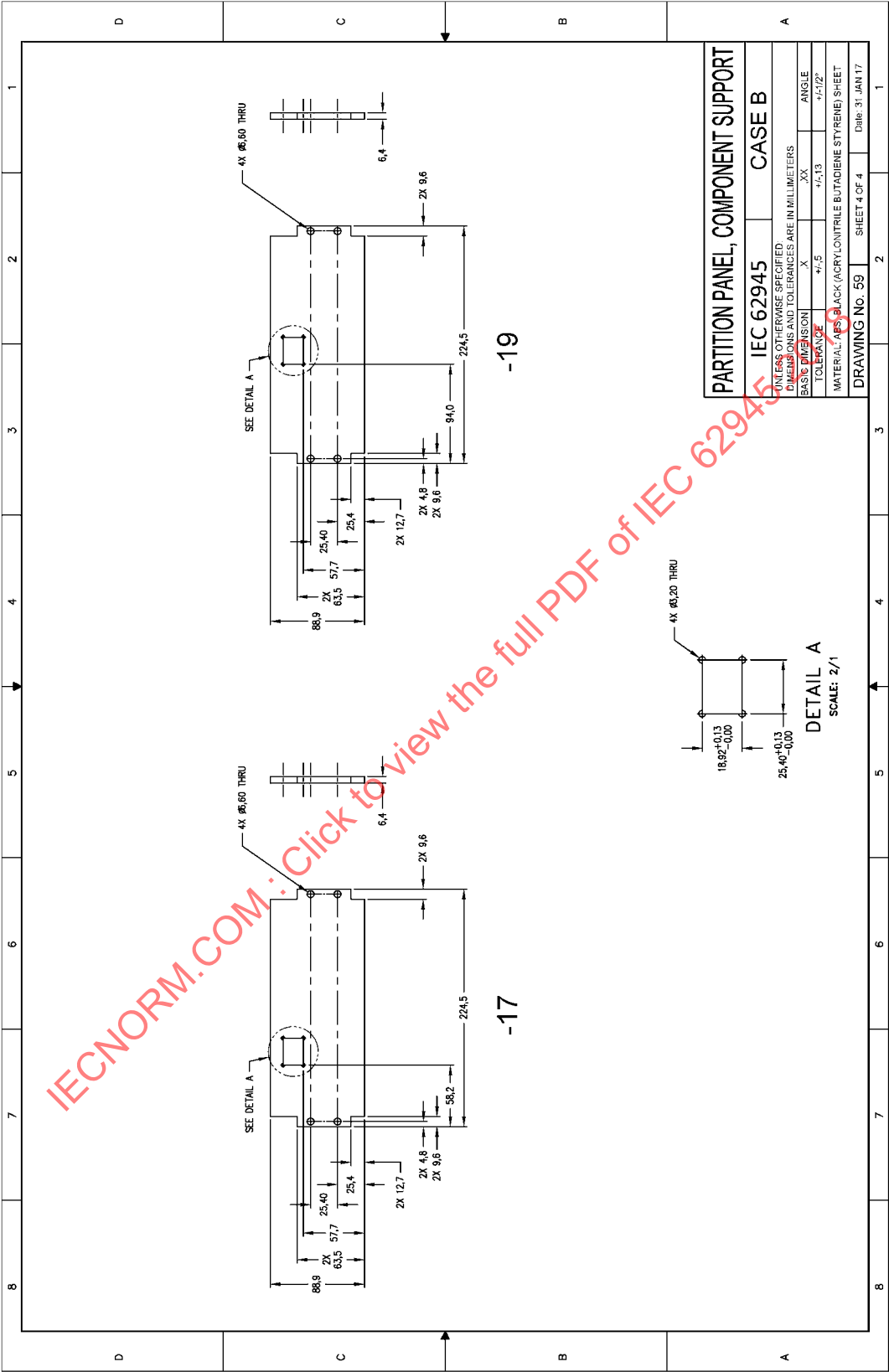
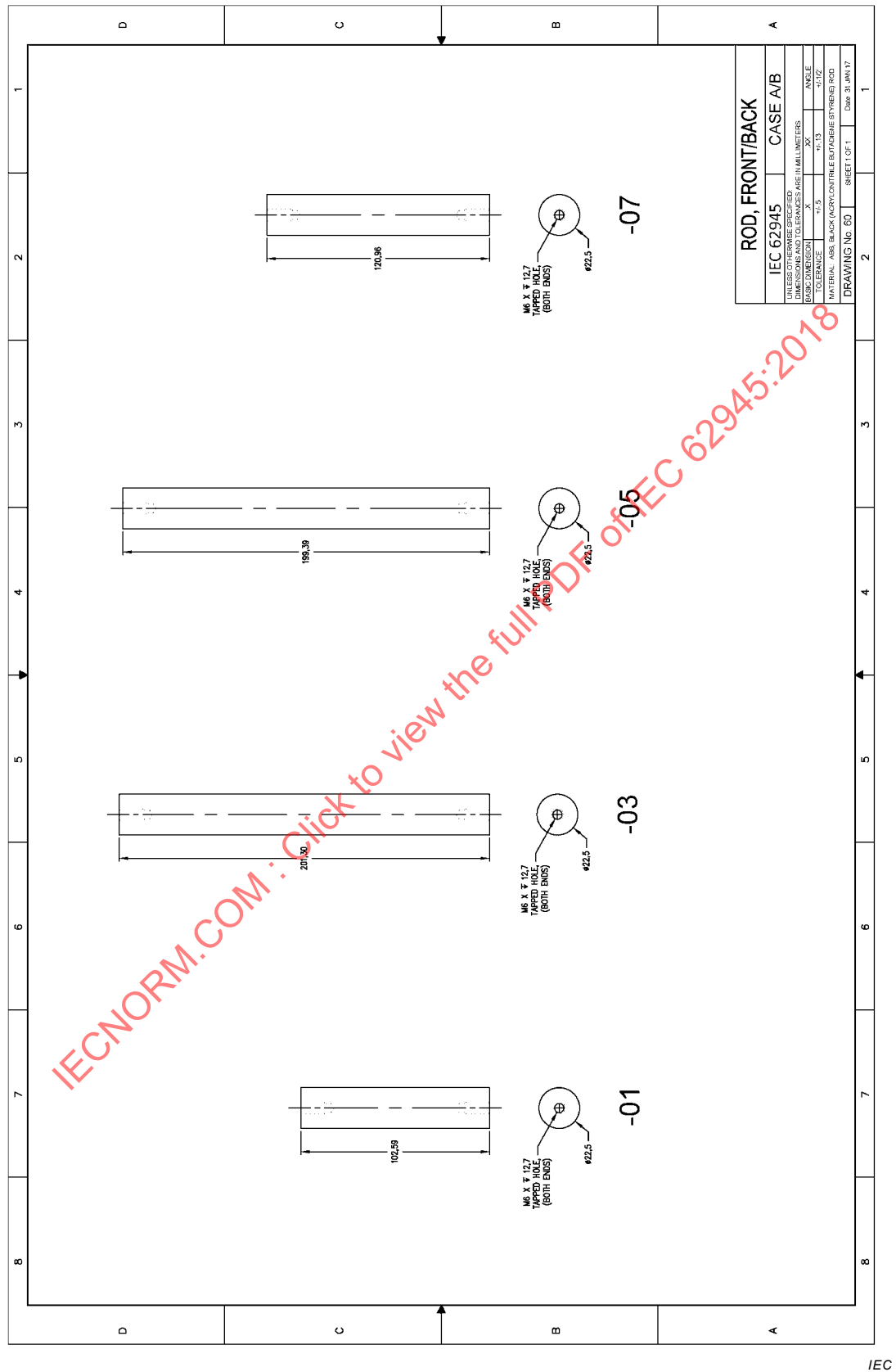


Figure A.18 – Partition panel for component support, Case B (drawing 3 of 4)



IEC

Figure A.19 – Partition panel for component support, Case B (drawing 4 of 4)



IEC

Figure A.20 – Component support rods, Cases A and B

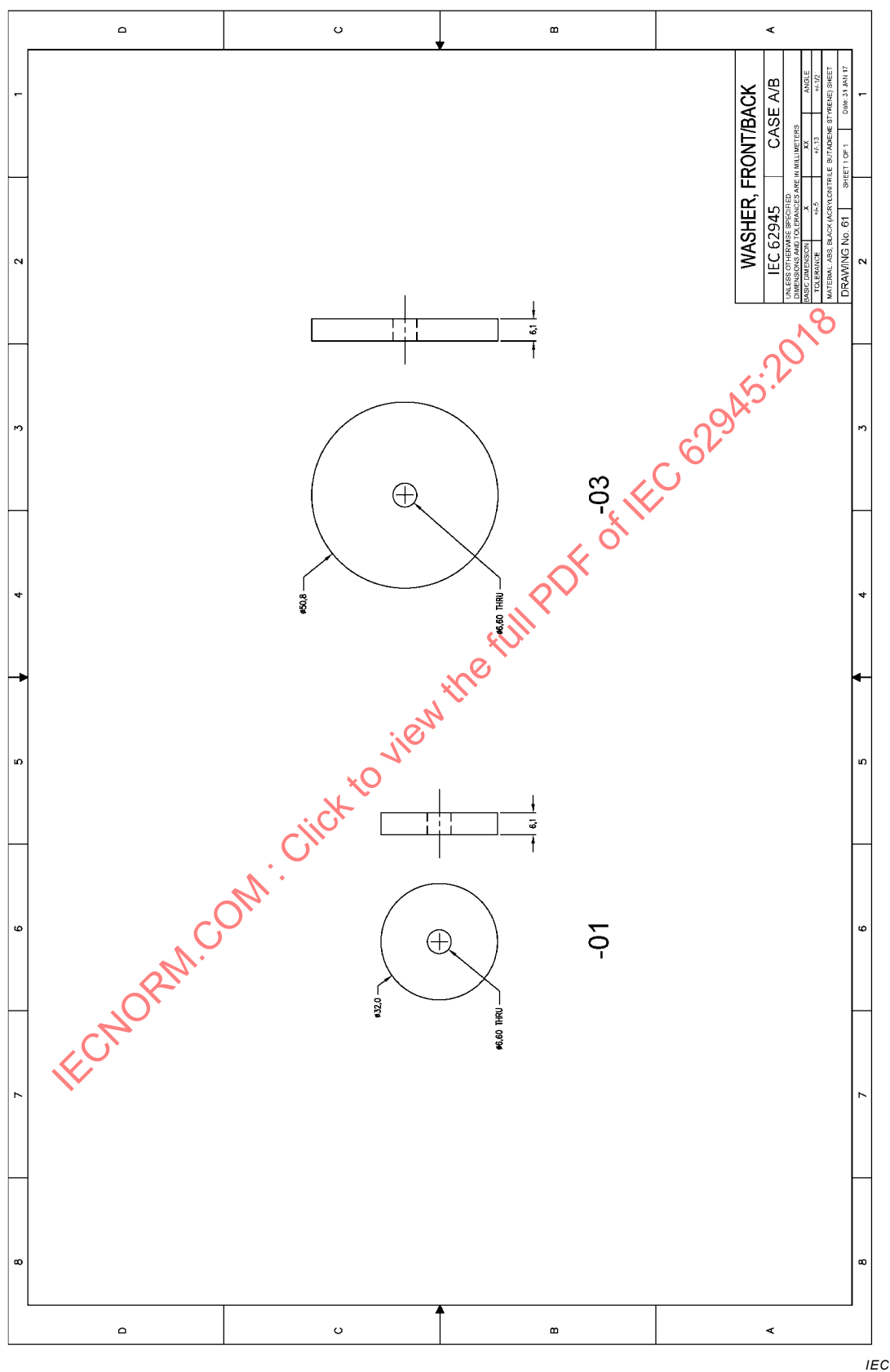


Figure A.21 – Assembly washers, Cases A and B

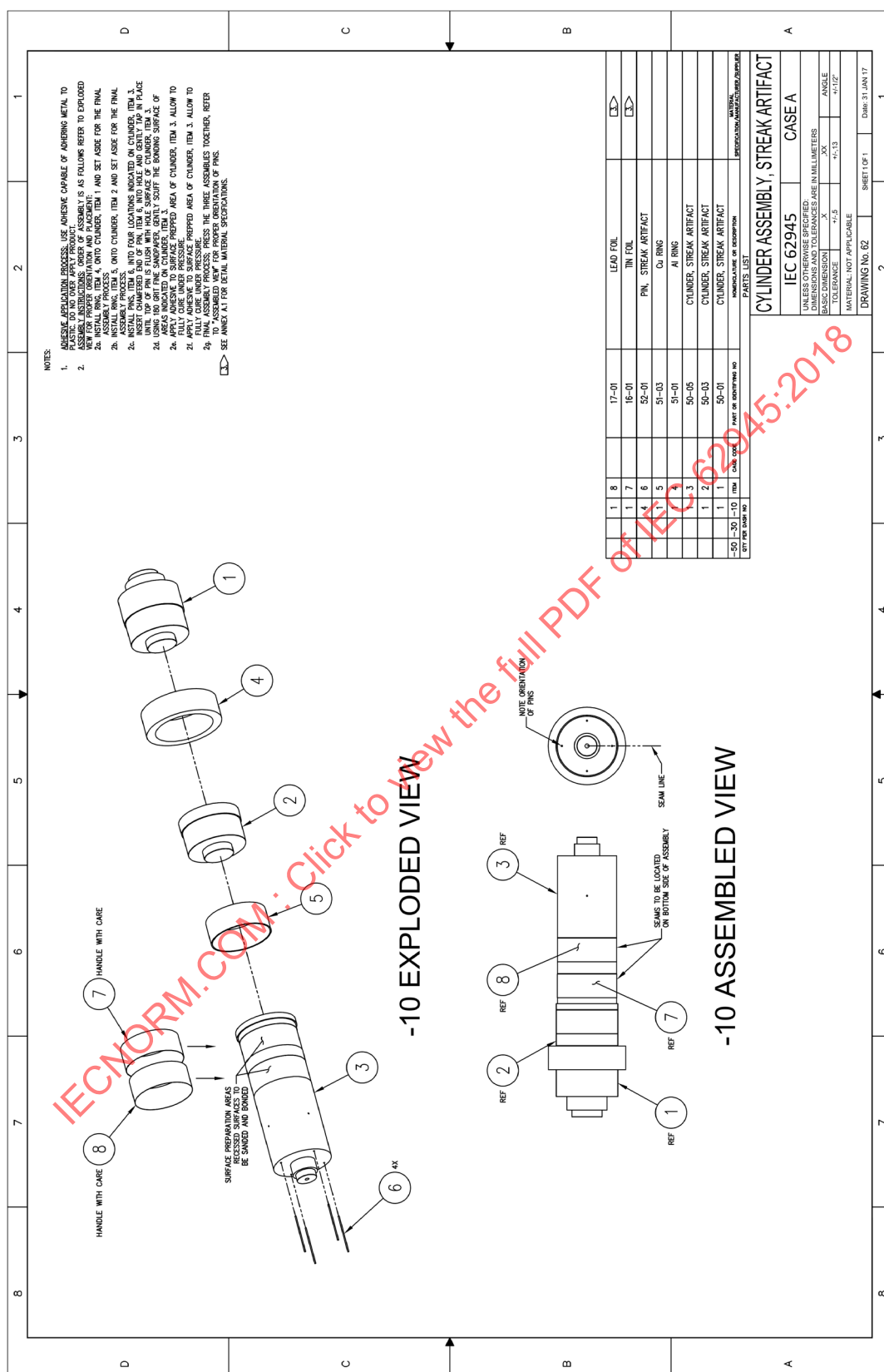
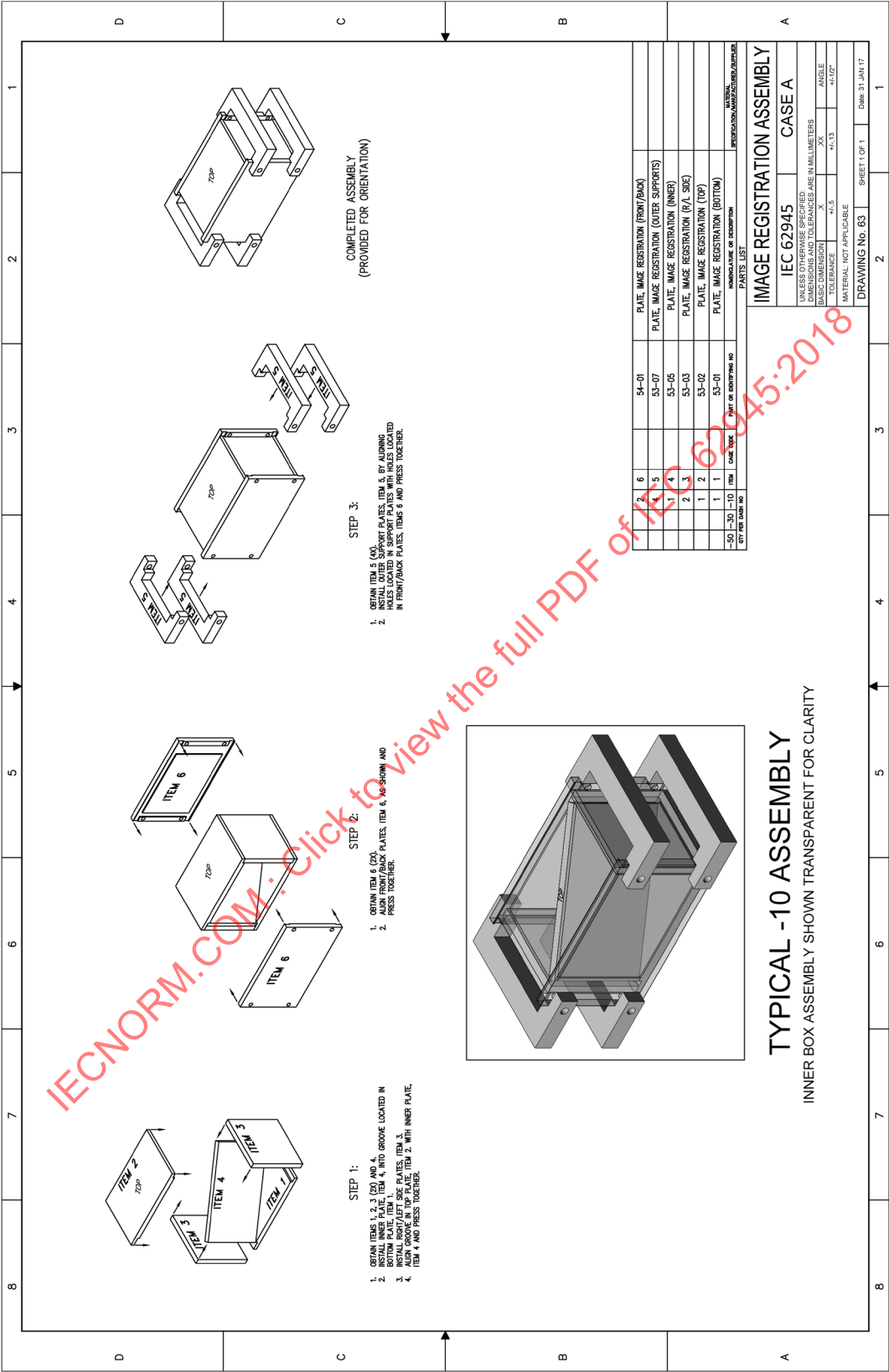


Figure A.22 – Sub-assembly for Case A cylinder test object



IEC

Figure A.23 – Sub-assembly for Case A image registration test object

Annex B (informative)

Example of reporting format

B.1 General

The following is an example of a report that would be generated in executing this document. The first part is manually recorded observations of the test environment. The second part is the result of analysis of test article A, and the third part is from the analysis of test article B. The example machine is a single energy CT system with only one imaging subsystem. A dual energy system report would also include Z_{eff} data for several of the procedures. A system with multiple imaging subsystems or passes would also perform the image registration method and report results (not shown here).

B.2 Example report

Image quality report

Evaluated in accordance with IEC 62945 for Measuring the Imaging Performance of X-ray Computed Tomography (CT) Security-Screening Systems

Manual data record

System under evaluation

Manufacturer: X-ray Corp
 Model: SuperScan 2000
 Serial number: 54321678
 Configuration: Stand alone
 Scanning mode: Helical scan
 Belt speed: 20 cm/s

Reconstruction method: Filtered back projection

Voxel spacing:

x: 3 mm
 y: 3 mm
 z: 3 mm

Software versions

Display: 1.2
 Reconstruction: 1.6.1
 System control: SS09.3
 Operating system: Linux FC6

X-ray source

Type: 1 tube, continuous
 Voltage: 180 kV
 Current: 13 mA
 Number of hours: 253

Scanning personnel: John Doe, TSA
 Sam Smith,
 SFO Airport
 Lisa Jones, X-ray Corp

Evaluation conditions

Local Time: 18:00
 Date: 10/17/2016
 Location: 234 22nd St.,
 San Francisco, CA
 Ambient temperature: 22,1 °C
 Ambient humidity: 72 %
 Detector temperature: N/A

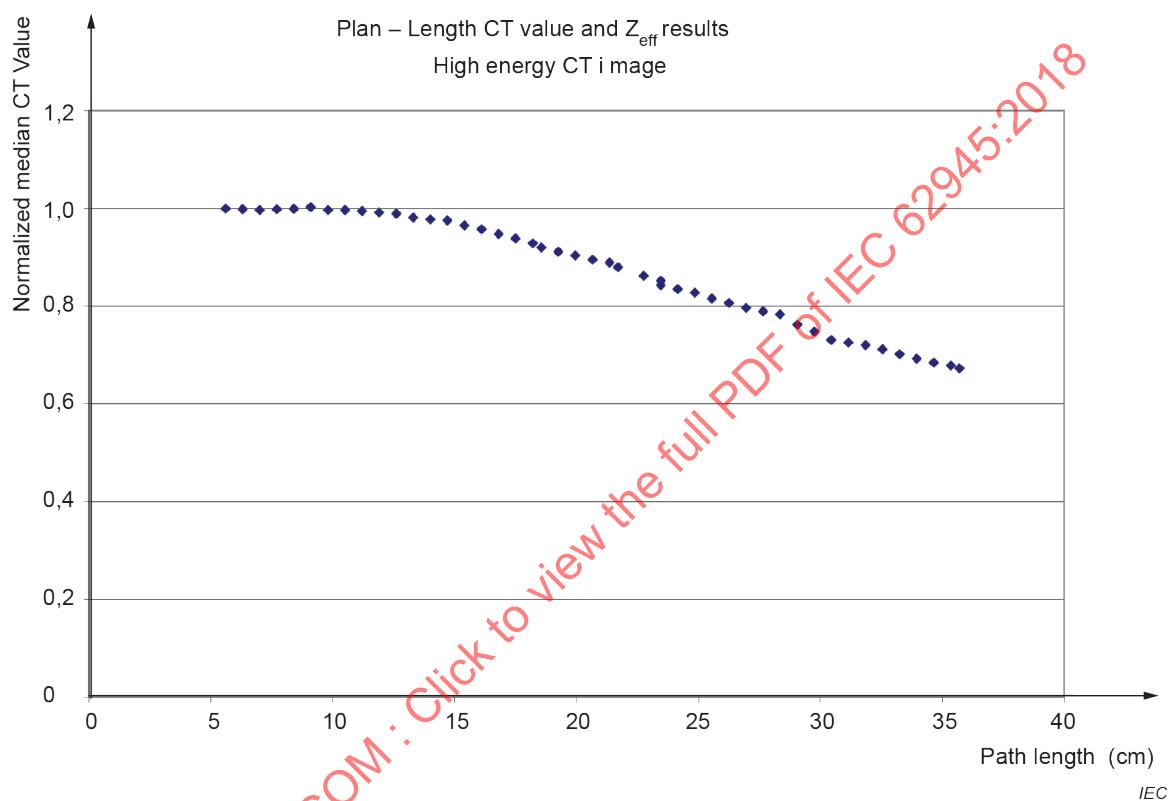
Telephone number: 412 555 1234
 Test article manufacturer: Security labs
 Test article S/N's: A – 021
 B – 034

Comments: All tests went as planned.

Test article version: A**Presentation statistics**

-1,8 mm Bag horizontal (x) offset
 2,6 mm Bag vertical (y) offset
 0,17° Angle of presentation
 ±2,0° Allowed angular tolerance

Object length: 607,35 mm 99,63 % of physical length.

**CT value uniformity results**

			Absolute measurements		Measurements relative to CTRL values	
			Mean	Std	Mean	Std
CT value uniformity	POM	CTRL	1419,13	6,02	1,00	1,00
		Al	1458,84	10,60	1,03	1,76
		Cu	1844,14	84,80	1,30	14,08
		Sn	1681,29	55,90	1,18	9,28
		Pb	1755,87	90,61	1,24	15,05
	Al	Ring CT value	2590,75	426,12	n/a	n/a

Streak artifacts results

		Absolute measurements				Measurements relative to CTRL values			
Streak artifact results		MEAN	STD	STD/MEAN	(Max – Min)/Mean	MEAN	STD	STD/MEAN	(Max – Min)/Mean
CTRL	Line	1401,74	46,19	0,033	0,20	1	1	1	1
	Region	1420,99	5,17	0,004	0,02	1	1	1	1
Rod area	Line	1398,11	85,24	0,061	0,32	1,00	1,88	1,89	1,66
	Region	1411,93	81,37	0,058	0,32	0,99	15,99	16,10	18,44

Image registration results

Not applicable to this machine

Test article version: B

Presentation statistics

–6,93 mm Bag horizontal (x) offset
 4,55 mm Bag vertical (y) offset
 0,30 ° Angle of presentation
 ± 2,0 Allowed angular tolerance

Object length: 605,22 mm 99,28 % of physical length.

Noise equivalent quanta (NEQ) results

Frequency cm ⁻¹	NEQ Method 1 dB	NEQ Method 2 dB	NEQ Method 3 dB	MTF
0,5	34,7 ± 0,35 [34,0, 35,3]	39,3 ± 0,56 [38,4, 40,2]	34,7 ± 0,18 [34,4, 35,1]	0,83 ± 0,005 [0,82, 0,84]
1,0	31,4 ± 0,34 [30,5, 32,0]	34,8 ± 1,37 [33,4, 36,8]	31,4 ± 0,30 [30,7, 31,8]	0,46 ± 0,011 [0,44, 0,47]
1,5	25,4 ± 0,58 [24,6, 26,3]	27,7 ± 2,05 [25,8, 30,7]	25,4 ± 0,57 [24,6, 26,4]	0,17 ± 0,009 [0,15, 0,18]

	NEQ Method 1	NEQ Method 2	NEQ Method 3
Number of scans	20	20	20
Number of images/scan	64	64	64
Number of pairs	32	32	--
Pair separation (voxels)	32	1	--

CT value consistency results

Median of means: 1414,43
 Standard deviation of means: 7,47
 Mean of standard deviations: 21,30

Standard deviation of standard deviations: 3,96

Slice sensitivity profile (SSP) results

Frequency cm ⁻¹	SSP
0,5	0,80 ± 0,03
1,0	0,31 ± 0,04
1,5	0,08 ± 0,03

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62945:2018

Annex C (informative)

Statistical guidance on multiple scans, summary statistics, and comparison of results

C.1 General

This informative annex provides guidance on how many runs or scans of the test article (i.e. repetitions of the measurements and analysis) might be required to obtain statistically significant results in specified use scenarios. Guidance is also offered on how summary statistics might be meaningfully computed and compared.

C.2 Scenario A: Comparing a single CT system between its baseline and candidate (revised) configuration

- a) The recommended number of scans for baseline and revised configurations, under the rationale and assumptions of the example given below, is about 20 scans (minimum) at a 99,7 % level of confidence.

The confidence interval of a population mean reflects the uncertainty due to finite sampling; it is the sample mean plus or minus a margin of error. For a desired value of margin of error, δ , one can estimate the required sample size N from estimates of the population standard deviation, σ (e.g. estimated from historical data) and knowledge of the population probability density function (PDF). Though strictly true for large N , here the normal distribution is used as the PDF. After N is estimated, one may choose to iterate using a t-distribution with $N-1$ degrees of freedom. The margin of error is given by $\delta = z_{\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$, where z_{α} is the ordinate on the normal curve such that $\int_{-z_{\alpha}}^{z_{\alpha}} PDF = \text{the level of confidence} = 1 - \alpha$ (often stated as a percentage). The following is an example based on CT value consistency. If one requires the estimated mean from the sample be within ± 2 CT numbers of the population mean (i.e. $\delta = 2$) with a 99,7 % level of confidence (i.e. $\alpha = 0,003$, which corresponds to $z_{\alpha} \approx 3$ for a normal probability distribution), and one assumes the standard deviation of CT numbers in this density range is known to be $\sigma = \pm 3$ CT, then the required N is [6]:

$$N \sim \frac{z_{\alpha}^2 \sigma^2}{\delta^2} = \frac{3^2 3^2}{2^2} \sim 20 \text{ samples.}$$

One possibility is to determine the number of samples based on a few critical statistics (as in this example) and compute the errors for others based on a confidence level for other statistics.

Some CT systems recalibrate (air/dark corrections) frequently (every bag or a handful of bags), while others may not recalibrate over the collection of 10's or even 100's of bags. For the systems that do not recalibrate frequently, it is advisable to divide the required scans into a few groups (4 or 5) and force recalibration after each group.

- b) Two sets (baseline and revised) of summary statistics are then computed for each test metric, and tabulated.

For each test, report the mean and sample standard deviation of the results of each set of scans (baseline and revised). In some cases it may be useful to also compute the minimum and maximum of relevant statistics. E.g., for path-length CT value and Z_{eff} (subclause 4.5), one may compute statistics at fixed path lengths using linear interpolation, normalized to a 10 cm path, then report mean, standard deviation, and the minimum and maximum of ratios at these fixed path lengths.

- c) Comparison of the baseline and revised results:

To compare if a given parameter x is within limits between two sets 1 (baseline) and 2 (revised), compute:

$$Deviation = \frac{|mean(x_1) - mean(x_2)|}{std(x_1)}$$

The allowable deviation would depend on the parameter and the purpose of comparison.

Box plots will help in visual evaluation.

C.3 Scenario B: Comparing a single (candidate) system against an existing historical population of systems

Here, the issues are similar to scenario A, but are not identical. Historical systems are not typically available for further scans. Use all the scans available that are relevant to the purpose of comparison. If there are over-represented system(s) in the historical data, take care that no system has more than about 3 times the average weight across the population. The scenario A guidance for the number of scans (for the candidate system), what summary statistics (historical and candidate) are computed, and how the summaries are compared is applicable here.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62945:2018

Bibliography

- [1] ASTM F792, *Standard Practice for Evaluating the Imaging Performance of Security X-Ray Systems*

NOTE ASTM publications are available from the ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, USA (<http://www.astm.org/>).
- [2] International Bureau of Weights and Measures: *The International System of Units*, 8th edition, 2006
- [3] C. Harris and M. Stephens, "A combined corner and edge detector," *In Proc. of Fourth Alvey Vision Conference*, pp. 147-151, 1988
- [4] S. Umeyama, "Least-squares estimation of transformation parameters between two point patterns," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 13, no. 4, pp. 376-380, 1991
- [5] Stoica, P. and Moses, R. L., *Introduction to Spectral Analysis*, Prentice-Hall, 2005, p.50
- [6] Lohr, Sharon L. *Sampling: Design and Analysis*. Pacific Grove, California: Duxbury Press (1999) p.47

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62945:2018

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62945:2018

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	78
INTRODUCTION.....	80
1 Domaine d'application.....	81
2 Références normatives.....	82
3 Termes et définitions, termes abrégés, grandeurs et unités.....	83
3.1 Termes et définitions.....	83
3.2 Termes abrégés.....	85
3.3 Grandeurs et unités.....	85
4 Procédures d'évaluation des performances d'imagerie.....	86
4.1 Exigences générales relatives aux performances d'essai.....	86
4.2 Description des articles d'essai.....	87
4.3 Données consignées manuellement.....	90
4.3.1 Objet.....	90
4.3.2 Données du système.....	91
4.3.3 Données relatives à l'environnement d'évaluation.....	92
4.3.4 Commentaires.....	92
4.3.5 Ecart par rapport aux méthodes spécifiées.....	93
4.3.6 Présentation des résultats.....	93
4.4 Exactitude de longueur de l'objet.....	94
4.4.1 Objet.....	94
4.4.2 Description de l'objet d'essai.....	95
4.4.3 Méthode d'essai.....	95
4.4.4 Présentation des résultats.....	97
4.5 Valeur CT de longueur de trajectoire et Z_{eff}	98
4.5.1 Objet.....	98
4.5.2 Description de l'objet d'essai.....	98
4.5.3 Méthode d'essai.....	99
4.5.4 Présentation des résultats.....	100
4.6 Bruit quantique équivalent (NEQ).....	100
4.6.1 Objet.....	100
4.6.2 Description de l'objet d'essai.....	101
4.6.3 Méthode d'essai.....	101
4.6.4 Présentation des résultats.....	103
4.7 Cohérence des valeurs CT.....	104
4.7.1 Objet.....	104
4.7.2 Description de l'objet d'essai.....	104
4.7.3 Méthode d'essai.....	104
4.7.4 Présentation des résultats.....	105
4.8 Uniformité des valeurs CT et cohérence du spectre énergétique des rayons X.....	105
4.8.1 Objet.....	105
4.8.2 Description de l'objet d'essai.....	105
4.8.3 Méthode d'essai.....	106
4.8.4 Présentation des résultats.....	107
4.9 Artéfacts de stries.....	108
4.9.1 Objet.....	108

4.9.2	Description de l'objet d'essai	108
4.9.3	Méthode d'essai	108
4.9.4	Présentation des résultats	109
4.10	Profil de sensibilité de la coupe (SSP)	110
4.10.1	Objet	110
4.10.2	Description de l'objet d'essai	110
4.10.3	Méthode d'essai	110
4.10.4	Présentation des résultats	111
4.11	Recalage des images	111
4.11.1	Objet	111
4.11.2	Description de l'objet d'essai	112
4.11.3	Méthode d'essai	112
4.11.4	Présentation des résultats	115
5	Exigences d'environnement	115
Annexe A (normative)	Spécifications et schémas détaillés de l'article d'essai	117
A.1	Généralités	117
A.2	Composants du commerce	117
A.3	Enceinte extérieure	117
A.4	Schémas détaillés des composants sur mesure	118
Annexe B (informative)	Exemple de format de rapport	167
B.1	Généralités	167
B.2	Exemple de rapport	167
Annexe C (informative)	Recommandations statistiques sur plusieurs analyses, statistiques récapitulatives et comparaison des résultats	171
C.1	Généralités	171
C.2	Scénario A: comparaison d'un système CT entre sa configuration de référence et la configuration candidate (révisée)	171
C.3	Scénario B: comparaison d'un seul système (candidat) à une population historique de systèmes existants	172
Bibliographie		173
Figure 1	– Axes de référence pour les procédures d'essai	87
Figure 2	– Article d'essai A	88
Figure 3	– Article d'essai B	89
Figure 4	– Exemple de format des données consignées manuellement	94
Figure 5	– Objet utilisé pour l'essai de longueur de l'objet	95
Figure 6	– Résultat de la procédure de mesure de la longueur de l'objet lorsque la présentation de l'article d'essai est dans les limites de la tolérance angulaire	98
Figure 7	– Résultat de la procédure de mesure de la longueur de l'objet lorsque la rotation de l'article d'essai est en dehors des limites de la tolérance angulaire	98
Figure 8	– Objet utilisé pour l'essai de longueur de la trajectoire	99
Figure 9	– Exemple de tracé des résultats de l'essai de longueur de trajectoire	100
Figure 10	– Objet utilisé pour l'essai du NEQ	101
Figure 11	– Objet utilisé pour l'essai d'uniformité de Z et objet utilisé pour l'essai des artefacts de stries	106
Figure 12	– Broches dans la coupe axiale de l'objet d'essai (grand cercle), points médians entre les paires de broches voisines (petits cercles), lignes tracées et ROI rectangulaire	108

Figure 13 – Objet d'essai oblique utilisé pour mesurer la résolution z	110
Figure 14 – Objet d'essai de recalage (sans mise à l'échelle).....	112
Figure 15 – Image CT de l'objet d'essai de recalage, plan de coupe 1	113
Figure 16 – Profil de la ligne horizontale à travers la coupe CT de l'objet d'essai de recalage	113
Figure 17 – Image de projection de l'objet d'essai de recalage et du profil vertical à travers l'image	115
Figure A.1 – Assemblage d'un article d'essai – Cas A.....	120
Figure A.2 – Assemblage d'un article d'essai – Cas B.....	122
Figure A.3 – Sous-assemblage des composants d'essai de l'article d'essai – Cas A (schéma 1 sur 2).....	124
Figure A.4 – Sous-assemblage des composants d'essai de l'article d'essai – Cas A (schéma 2 sur 2).....	126
Figure A.5 – Sous-assemblage des composants d'essai de l'article d'essai – Cas B (schéma 1 sur 2).....	128
Figure A.6 – Sous-assemblage des composants d'essai de l'article d'essai – Cas B (schéma 2 sur 2).....	130
Figure A.7 – Sous-composants d'un objet d'essai cylindrique – Cas A.....	132
Figure A.8 – Sous-composants annulaires d'un objet d'essai cylindrique – Cas A.....	134
Figure A.9 – Sous-composants de broches d'un objet d'essai cylindrique – Cas A (artéfacts de stries).....	136
Figure A.10 – Sous-composant AI d'un objet d'essai de recalage d'images – Cas A.....	138
Figure A.11 – Sous-composants POM de l'objet d'essai de recalage d'images – Cas A	140
Figure A.12 – Objet d'essai cylindrique (mesure du NEQ et cohérence des valeurs CT) – Cas B	142
Figure A.13 – Objet utilisé pour l'essai de longueur de l'objet – Cas A et B	144
Figure A.14 – Objet utilisé pour l'essai de longueur de la trajectoire – Cas A.....	146
Figure A.15 – Objet d'essai SSP – Cas B	148
Figure A.16 – Panneau de séparation pour le support des composants – Cas A et B (schéma 1 sur 4).....	150
Figure A.17 – Panneau de séparation pour le support des composants – Cas A (schéma 2 sur 4).....	152
Figure A.18 – Panneau de séparation pour le support des composants – Cas B (schéma 3 sur 4).....	154
Figure A.19 – Panneau de séparation pour le support des composants – Cas B (schéma 4 sur 4).....	156
Figure A.20 – Tiges de support des composants – Cas A et B	158
Figure A.21 – Rondelles d'assemblage – Cas A et B.....	160
Figure A.22 – Sous-assemblage d'un objet d'essai cylindrique – Cas A.....	163
Figure A.23 – Sous-assemblage d'un objet d'essai de recalage d'images – Cas A.....	166
Tableau 1 – Liste des méthodes d'essai et indicateurs utilisés	90
Tableau 2 – Résultats de la procédure d'évaluation du NEQ	104
Tableau 3 – Résultats de l'uniformité des valeurs CT.....	107
Tableau 4 – Résultats de la procédure d'évaluation des artéfacts de stries	110
Tableau 5 – Résultats de la procédure d'évaluation du SSP.....	111

Tableau A.1 – Feuilles du commerce exigées pour la fabrication d'un objet d'essai aux fins de l'essai d'uniformité des valeurs CT et de l'essai de cohérence du spectre énergétique des rayons X (4.8)	117
--	-----

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62945:2018

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**INSTRUMENTATION POUR LA RADIOPROTECTION –
MESURE DES PERFORMANCES D'IMAGERIE
DES SYSTÈMES DE CONTRÔLE DE SÉCURITÉ UTILISANT
LA TOMOGRAPHIE PAR ORDINATEUR (CT) À RAYONS X**

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 62945 a été établie par le sous-comité 45B: Instrumentation pour la radioprotection, du comité d'études 45 de l'IEC: Instrumentation nucléaire.

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

FDIS	Rapport de vote
45B/908/FDIS	45B/910/RVD

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

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

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 "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62945:2018

INTRODUCTION

Le présent document définit des méthodes d'essai et des objets d'essai normalisés pour la mesure des performances d'imagerie des systèmes de contrôle de sécurité utilisant la tomographie par ordinateur (CT) à rayons X. La qualité des données aux fins des analyses automatisées constitue un enjeu majeur. Le présent document ne traite pas de l'aptitude du système à utiliser ses données d'image pour détecter automatiquement des explosifs ou d'autres matériaux dangereux, cet aspect étant généralement vérifié par un organisme de réglementation compétent.

Le présent document comprend trois annexes. L'Annexe A (normative) fournit les schémas mécaniques des objets d'essai d'imagerie qui composent l'article d'essai. L'Annexe B (informative) fournit un exemple de formulaire de rapport d'essai. L'Annexe C (informative) fournit des recommandations statistiques sur plusieurs analyses, des statistiques récapitulatives et une comparaison des résultats. Une bibliographie (informative) est fournie à la fin du document.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62945:2018

INSTRUMENTATION POUR LA RADIOPROTECTION – MESURE DES PERFORMANCES D'IMAGERIE DES SYSTÈMES DE CONTRÔLE DE SÉCURITÉ UTILISANT LA TOMOGRAPHIE PAR ORDINATEUR (CT) À RAYONS X

1 Domaine d'application

Le présent document fournit des méthodes d'essai pour l'évaluation de la qualité d'image des systèmes de contrôle de sécurité utilisant la tomographie par ordinateur (CT). La qualité des données aux fins des analyses automatisées constitue un enjeu majeur. Le présent document ne traite pas de l'aptitude du système à utiliser ces données d'image pour détecter automatiquement des explosifs ou d'autres matériaux dangereux. De même, il n'a pas pour objet de fournir des comparaisons entre différents fournisseurs concernant les performances de détection des menaces.

Les systèmes de contrôle de sécurité sont généralement utilisés pour analyser des colis, notamment des bagages, en vue de détecter la présence d'articles illicites, tels que des explosifs, des drogues ou d'autres produits de contrebande. Un grand nombre des systèmes de contrôle actuellement utilisés, en particulier dans les applications de sécurité dans le domaine du transport, reposent sur la technologie d'imagerie CT. En règle générale, le système capture une image CT du colis pendant que celui-ci est transporté pour traverser le système. Ces données sont ensuite soumises à une analyse automatisée afin de déterminer s'il existe une menace potentielle ou si le colis est considéré sans danger. Si l'analyse automatisée détermine qu'une menace peut exister, l'image est souvent présentée à un opérateur du système qui peut contourner la décision automatisée en validant le colis ou en le signalant afin qu'il soit soumis à un traitement ultérieur (par exemple, l'ouvrir et le fouiller manuellement afin de détecter d'éventuelles menaces).

Dans le passé, les organismes de réglementation gouvernementaux ont instauré des procédures d'évaluation afin de déterminer si les performances de détection automatisée d'un système sont en adéquation avec une utilisation dans des applications intrafrontalières. Généralement, un fournisseur envoie une copie de son produit (y compris du logiciel associé) à l'organisme de réglementation. L'organisme de réglementation achemine dans le système divers colis présentant des menaces, ainsi que des colis exempts de menaces qui représentent le flux commercial habituel. Les taux de détection et les taux de fausses alarmes sont déterminés et comparés à des critères de performances. Si ces critères sont remplis, l'utilisation du système est approuvée. Ces essais permettent de s'assurer que le système est capable de remplir les critères exigés, mais la question est de savoir comment s'assurer que toutes les copies du système répondent bien à ces critères établis. La variabilité normale de production, les problèmes de contrôle qualité ou l'obsolescence du matériel peuvent dégrader les performances par rapport aux observations établies avec l'article soumis à l'essai par l'organisme de réglementation. Il est difficile dans la pratique de répliquer l'essai d'origine sur chaque machine considérée. Le transfert de l'ensemble des menaces de l'organisme de réglementation vers un site de production ou vers des sites où sont utilisées les machines soulève d'importantes questions en matière de sécurité, voire de sûreté. Le présent document traite de cet aspect en spécifiant une suite de méthodes d'essai qui peuvent être effectuées sur site, sans nécessiter l'utilisation de matériaux dangereux.

Les essais de qualification réalisés par les organismes de réglementation consistent essentiellement à évaluer l'aptitude du système à produire une image du colis, mais également l'aptitude du système à effectuer une analyse automatique de ces données d'image afin de décider si le colis présente ou non une menace. La deuxième partie de cette séquence, l'analyse, est mise en œuvre par le biais d'un logiciel. Les organismes de réglementation exigent généralement que ce logiciel soit conçu de manière à ne pas évoluer au fil de son utilisation. Le logiciel utilisé en tout point du site doit présenter les mêmes performances que celles observées au moment de son évaluation par l'organisme de

réglementation. La gestion de configuration d'un tel logiciel est une pratique simple et parfaitement maîtrisée. C'est pourquoi la réelle possibilité de variation des performances provient du système d'imagerie qui transmet les données au logiciel d'analyse. S'il est possible de confirmer quantitativement que la qualité de l'image produite par le système considéré est statistiquement équivalente à l'image produite par l'article évalué par l'organisme de réglementation, il peut être établi avec un haut niveau de confiance que les performances du système considéré sont identiques à celles qui ont été approuvées par l'organisme de réglementation.

Les acheteurs de systèmes CT destinés aux applications de contrôle de sécurité ne sont généralement pas des experts CT. Les incohérences observées dans les méthodes de mesure de valeurs de qualité d'image en apparence normales (résolution, rapport signal à bruit, etc.) peuvent créer une confusion dans l'esprit de l'utilisateur potentiel de tels systèmes CT. D'autres normes traitent des essais concernant les aspects de la qualité d'image CT, tout particulièrement dans le domaine médical. Le présent document spécifie un ensemble de méthodes à appliquer pour l'évaluation de la qualité d'image CT dans le cadre du contrôle de sécurité. Les essais de réception en usine d'équipements constituent une application pertinente du présent document. Le présent document pourrait être utilisé pour indiquer si l'unité proposée à la vente produit une qualité d'image équivalente à celle obtenue avec l'unité soumise à l'essai par l'organisme de réglementation compétent. Dans la mesure où diverses mesures de la qualité d'image peuvent être comparées et produire des niveaux similaires de détection des menaces, il n'est généralement pas pertinent, contrairement à la tomographie par ordinateur employée en milieu médical, de comparer des résultats d'essai isolés entre deux modèles ou entre deux fabricants dans le cas des systèmes CT utilisés à des fins de contrôle de sécurité.

Le présent document ne traite pas de la qualité d'image présentée à l'opérateur. L'image fournie à l'opérateur ne présente pas nécessairement le même niveau de qualité que celui obtenu par l'analyse automatisée. Les données peuvent être dégradées avant d'être présentées à l'opérateur afin de diminuer le volume de ressources exigées pour afficher l'image sur l'écran. À l'inverse, les données utilisées dans l'analyse automatisée peuvent être dégradées volontairement afin de contrôler la charge de calcul de l'ordinateur d'analyse. L'utilisateur du présent document peut souhaiter évaluer séparément la qualité des images présentées à l'opérateur du système. De nombreuses méthodes sont disponibles à cette fin, notamment l'utilisation de jauges visuelles à paires de lignes et la méthode ASTM F792 [1].¹

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte 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 60050-395:2014, *Vocabulaire électrotechnique international – Partie 395: Instrumentation nucléaire: Phénomènes physiques, notions fondamentales, instruments, systèmes, équipements et détecteurs*

IEC 60050-881, *Vocabulaire électrotechnique international. Radiologie et physique radiologique*

ASTM E1695, *Standard Test Method for Measurement of Computed Tomography (CT) System Performance* (disponible en anglais seulement)

Les publications ASTM sont disponibles auprès d'ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, USA (<http://www.astm.org/>).

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

ASTM D6100, *Standard Specification for Extruded, Compression Molded and Injection Molded Polyoxymethylene Shapes (POM)* (disponible en anglais seulement)

SAE AMS 4027, *Aluminum Alloy, Sheet and Plate, 1.0Mg – 0.60Si – 0.28Cu – 0.20Cr (6061; -T6 Sheet, -T651 Plate), Solution and Precipitation Heat Treated* (disponible en anglais seulement)

SAE AMS 4117, *Aluminum Alloy, Rolled or Cold Finished Bars, Rods, and Wire and Flash Welded Rings, 1.0Mg – 0.60Si – 0.28Cu – 0.20Cr, (6061; -T6, -T651), Solution and Precipitation Heat Treated* (disponible en anglais seulement)

3 Termes et définitions, termes abrégés, grandeurs et unités

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent. La terminologie générale relative aux systèmes à rayons X et à la physique radiologique est donnée dans l'IEC 60050-395 et dans l'IEC 60050-881.

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

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

3.1.1

tomographie par ordinateur

CT

procédé consistant à restituer une image tridimensionnelle d'un volume à partir de données de projection par rayons X

Note 1 à l'article: L'abréviation "CT" est dérivée du terme anglais développé correspondant "computed tomography".

3.1.2

valeur CT

valeur restituée par voxel par des systèmes CT en fonction de la densité et du numéro atomique du matériau

3.1.3

image coronale

image bidimensionnelle produite par sommation d'une image de volume tridimensionnelle le long de l'axe y

Note 1 à l'article: Les axes sont définis à la Figure 1.

3.1.4

numéro atomique équivalent

Z_{eff}

propriété d'un matériau représentant le numéro atomique d'un élément théorique qui, si le matériau était remplacé par l'élément, produirait les mêmes caractéristiques d'atténuation des rayons X

Note 1 à l'article: Les mesures Z_{eff} peuvent dépendre de l'analyseur et il convient de ne pas les interpréter comme des valeurs absolues

3.1.5

moyenne

pour n grandeurs, $x_1, x_2, \dots, x_n$, quotient de la somme des grandeurs par n :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

3.1.6

fonction de transfert de modulation

MTF

mesure, dépendant de la fréquence, de la résolution d'un système d'imagerie ou de son aptitude à reproduire le contraste d'un objet. Dans une seule dimension, elle est calculée à partir de la réponse du système à une limite de fort contraste selon l'ASTM E 1695

Note 1 à l'article: L'abréviation "MTF" est dérivée du terme anglais développé correspondant "modulation transfer function".

3.1.7

multiénergie

système d'imagerie par rayons X qui collecte des données d'image sur plusieurs spectres énergétiques de rayons X

Note 1 à l'article: Ceci peut être mis en œuvre, par exemple, en faisant varier la tension du tube à rayons X, en utilisant un détecteur à discrimination d'énergie ou en utilisant plusieurs jeux de détecteurs présentant une réponse énergétique différente.

3.1.8

bruit quantique équivalent

NEQ

mesure du bruit, dépendant de la fréquence spatiale, interprétée comme étant égale au nombre de quantum (exposition aux rayonnements) qu'il faudrait à un détecteur idéal pour produire le même rapport signal à bruit qu'un système d'imagerie réel. Il est calculé à partir des mesures de la valeur CT moyenne dans un objet imagé, de la fonction de transfert de modulation du système et du spectre de puissance du bruit

Note 1 à l'article: L'abréviation "NEQ" est dérivée du terme anglais développé correspondant "noise equivalent quanta".

3.1.9

spectre de puissance du bruit

NPS

variance, dépendant de la fréquence spatiale, du bruit d'un système d'imagerie, calculée à l'aide de la transformée de Fourier d'images uniformes limitées par le bruit

Note 1 à l'article: L'abréviation "NPS" est dérivée du terme anglais développé correspondant "noise power spectrum".

3.1.10

image de projection

image radiographique créée par détection de l'intensité des rayons X transmise à travers l'objet, ce qui produit une image dans laquelle tous les composants de l'objet semblent projetés sur un seul plan d'image

3.1.11

recalage

relation spatiale entre les systèmes de coordonnées de plusieurs sous-systèmes d'imagerie. Il détermine la capacité à corrélérer avec précision les observations d'une image à l'autre

3.1.12

coupe

image transversale de l'objet inspecté

Note 1 à l'article: La normale du plan de l'image s'étend dans la direction du mouvement de la bande transporteuse (axe z).

3.1.13**profil de sensibilité de la coupe****SSP**

mesure de la résolution de l'image CT dépendante de la fréquence dans le sens du mouvement de la bande transporteuse (axe z)

3.1.14**écart-type**

écart-type de l'échantillon, σ_n , de n grandeurs, $x_1, x_2, \dots, x_n$ donné par:

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \text{ où } \bar{x} \text{ est donné par 3.1.5}$$

3.1.15**mode de fonctionnement normalisé**

mode de fonctionnement normalement recommandé par le fabricant pour l'inspection des colis

Note 1 à l'article: Certains systèmes possèdent des modes spéciaux pour la collecte de données supplémentaires à des fins de formation. Ceci n'est pas à interpréter comme un mode de fonctionnement normalisé.

3.1.16**article d'essai**

élément à imager par le système, contenant plusieurs objets d'essai dans une configuration géométrique spécifique

Note 1 à l'article: Dans le cadre du présent document, un article d'essai désigne les éléments spécifiques définis en 4.2.

3.1.17**objet d'essai**

objet individuel présentant des propriétés spécifiques (dimensions, forme, matériaux, etc.) qui, une fois imagé par le système, permet d'effectuer une évaluation de la qualité d'image

3.1.18**voxel**

élément de volume au sein d'une image volumétrique, représentant une région en forme de prisme rectangulaire dans l'espace

3.2 Termes abrégés

CT (Computed Tomography)	tomographie par ordinateur
MTF (Modulation Transfer Function)	fonction de transfert de modulation
NEQ (Noise Equivalent Quanta)	bruit quantique équivalent
NPS (Noise Power Spectrum)	spectre de puissance du bruit
POM	polyoxyméthylène

NOTE Le POM est le copolymère d'acétal $(CH_2O)_n$ à partir duquel sont fabriqués les objets d'essai.

ROI (Region Of Interest)	région d'intérêt (dans une image)
SNR (Signal-to-Noise Ratio)	rapport signal à bruit
SSP (Slice Sensitivity Profile)	profil de sensibilité de la coupe

3.3 Grandeurs et unités

Dans le présent document, les unités sont des multiples et des sous-multiples d'unités du système international d'unités (SI) [2]. Les définitions relatives aux grandeurs de rayonnement sont données dans l'IEC 60050-395:2014.

Les unités suivantes peuvent également être utilisées:

- pour l'énergie: électronvolt (symbole: eV), $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$;
- pour la durée: années (symbole: y), jours (symbole: d), heures (symbole: h), minutes (symbole: min);
- pour la température: degrés Celsius (symbole: °C), $0 \text{ °C} = 273,15 \text{ K}$.

Les multiples et sous-multiples d'unités SI sont utilisés, dans la mesure du possible, selon le système SI.

4 Procédures d'évaluation des performances d'imagerie

4.1 Exigences générales relatives aux performances d'essai

Il convient que les composants et les réglages du système soient identiques à ceux du produit du commerce normalisé en mode de contrôle de sécurité normal; tout écart doit être signalé par les évaluateurs dans les données consignées manuellement. Si le système est approuvé pour fonctionner sous plusieurs configurations, l'utilisateur peut être amené à demander que l'essai soit effectué à tous les réglages appropriés. L'évaluation doit être fondée sur des images ou sur d'autres données normalement employées en mode de fonctionnement normalisé. Le temps et le niveau d'exposition doivent être choisis de manière à coïncider avec ceux utilisés lorsque le système CT est exploité pour l'usage prévu dans l'application de contrôle de sécurité. Un étalonnage du système CT doit être effectué avant tout essai. Tout réétalonnage du système CT doit être permis conformément au fonctionnement normalisé du système. Afin de s'assurer que le système utilise une configuration approuvée par l'organisme de réglementation compétent, l'utilisateur peut être amené à demander au fournisseur de communiquer les réglages spécifiques utilisés au cours de l'évaluation, tels que: la ou les tensions du tube, l'ampérage, la taille de voxel, la vitesse de la bande, etc. Il convient de suivre les modifications apportées au logiciel de reconstruction d'images CT en constituant un nouvel ensemble de mesures de référence. Une autre approche peut consister à recalculer les nouveaux résultats de référence hors connexion si les données sont disponibles.

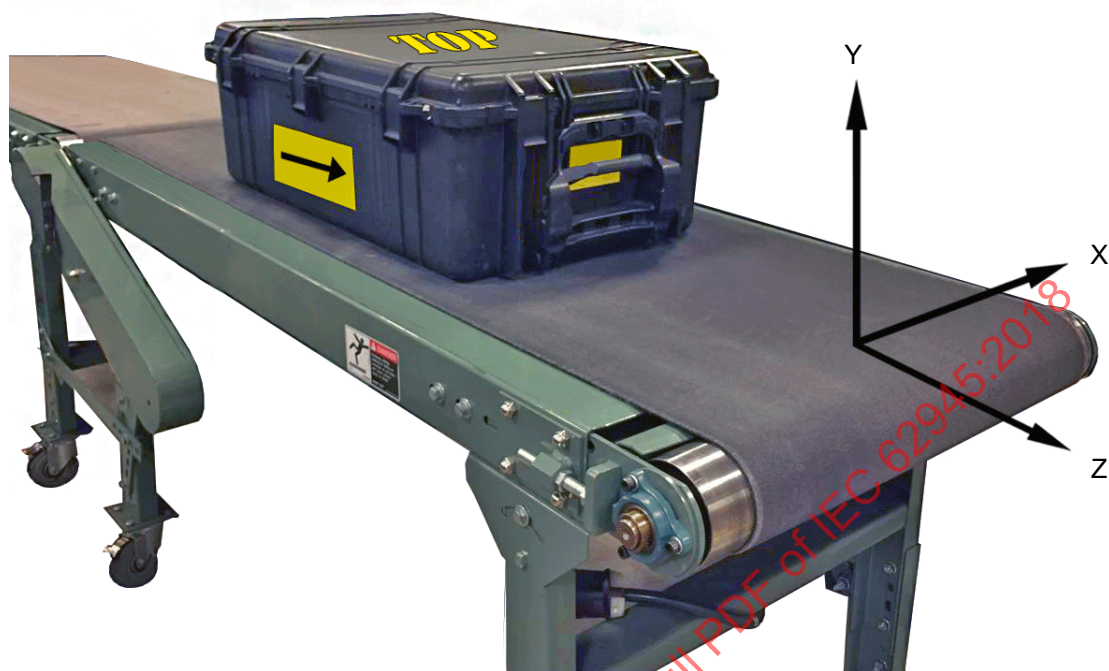
Les articles d'essai (voir 4.2) doivent être présentés au système dans une position et selon une orientation contrôlées. Il convient que l'axe principal de chaque article d'essai soit parallèle au sens du mouvement de la bande transporteuse, l'avant de l'article devant pénétrer en premier dans le système (l'avant étant mis en évidence par un étiquetage). La méthode d'essai décrite en 6.3 détermine l'angle de rotation et le déport latéral des articles d'essai par rapport à l'axe central du convoyeur. Les résultats indiquant des rotations avec un défaut de parallélisme de plus de 2° par rapport à l'axe central du convoyeur doivent être rejetés. Le présent document exige que les articles d'essai soient mesurés au centre de la bande, directement sur la bande, à $\pm 2 \text{ cm}$ de l'axe central du convoyeur. Si l'utilisateur décide de contrôler également les articles d'essai à distance de l'axe central, l'exigence de parallélisme doit rester applicable et les données doivent être isolées et traitées séparément.

A titre de référence, la Figure 1 présente le système de coordonnées qui doit être utilisé pour l'ensemble des descriptions de procédures. L'axe z est aligné dans le sens du mouvement du convoyeur. L'axe y se trouve dans le sens vertical, et l'axe x traverse la bande. La direction positive/négative du système d'axes est sans importance dans le cadre du présent document.

Les méthodes indiquées ne s'appliquent pas toutes à l'ensemble des systèmes CT. Chaque méthode doit identifier si elle s'applique à l'ensemble des types de CT ou seulement à un sous-ensemble de CT.

Chacune des méthodes d'essai spécifiées dans le présent document peut inclure des procédures exigées, ainsi que des exemples de techniques facultatives permettant d'obtenir les résultats exigés. Cet aspect est nécessaire en raison de la diversité des mises en œuvre utilisées dans les équipements CT de sécurité. Chaque méthode d'essai identifie dans quelle mesure un écart par rapport aux techniques d'analyse est admis. Tout écart par rapport aux exemples de techniques fournis doit être documenté, y compris les justificatifs concernant

une dérogation à la méthode d'analyse normalisée suggérée. Cette documentation doit être remise à l'utilisateur final de l'évaluation de la qualité d'image.



IEC

Figure 1 – Axes de référence pour les procédures d'essai

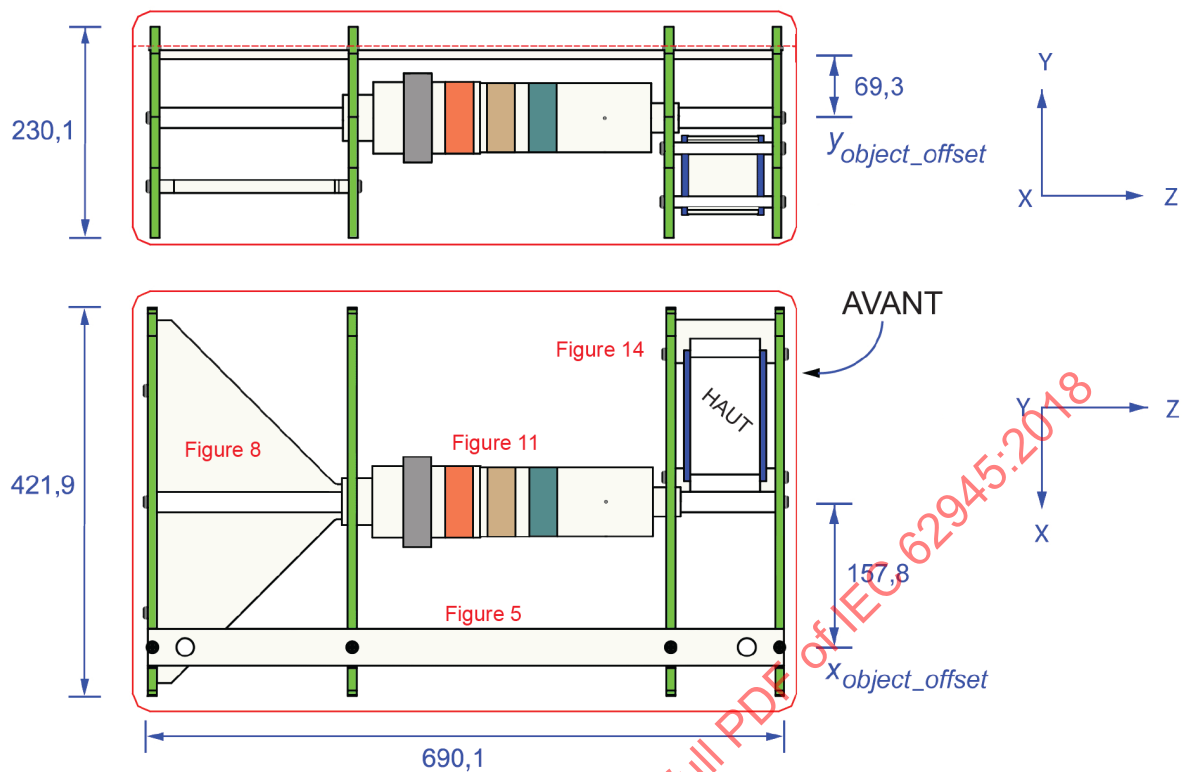
4.2 Description des articles d'essai

L'exécution du présent document exige l'utilisation de deux articles d'essai. Ces articles sont appelés "article d'essai A" et "article d'essai B" et sont représentés à la Figure 2 et à la Figure 3. Les articles comprennent plusieurs objets d'essai placés dans un cadre usiné à l'intérieur d'une mallette de transport disponible dans le commerce ou confectionnée sur mesure. La disposition des objets d'essai a été choisie de telle manière à réduire le plus possible les interférences entre les artéfacts d'un objet d'essai et l'image d'un autre objet d'essai.

Lors de la fabrication des articles d'essai destinés à l'application du présent document, les objets d'essai et le cadre de support structurel doivent être conçus conformément à l'ensemble de schémas détaillés fournis à l'Annexe B. Il convient de choisir le boîtier extérieur pour sa durabilité. Ce dernier doit être suffisamment grand pour contenir la structure de support spécifiée. Si des enceintes du commerce sont utilisées, il peut être nécessaire de les modifier pour en retirer toutes les structures métalliques (charnières, poignées, attaches, etc.) présentes sur les côtés, le dessus et le dessous. Le retrait des structures figurant sur les faces avant et arrière (face à la direction z) est facultatif. Si une mallette du commerce est utilisée, elle doit être modifiée afin d'éliminer toute structure en plastique importante sur les côtés, le dessus et le dessous de la mallette qui pourrait perturber la capture d'images de l'objet d'essai. Une comparaison des résultats d'essai, dans le temps par exemple, doit être effectuée en utilisant la même enceinte pour l'article d'essai; en cas de remplacement ou de modification de l'enceinte, une nouvelle mesure de référence doit être effectuée.

Des coussinets en mousse de faible densité peuvent être placés dans le boîtier extérieur afin de maintenir en place la structure de support de l'article d'essai parallèlement au plan inférieur du boîtier et dans l'alignement de son axe central. Les dimensions précises des objets d'essai, leurs tolérances de fabrication admises et leurs positions relatives à l'intérieur de l'article d'essai sont données dans l'ensemble de schémas de l'Annexe A.

Dimensions en millimètres



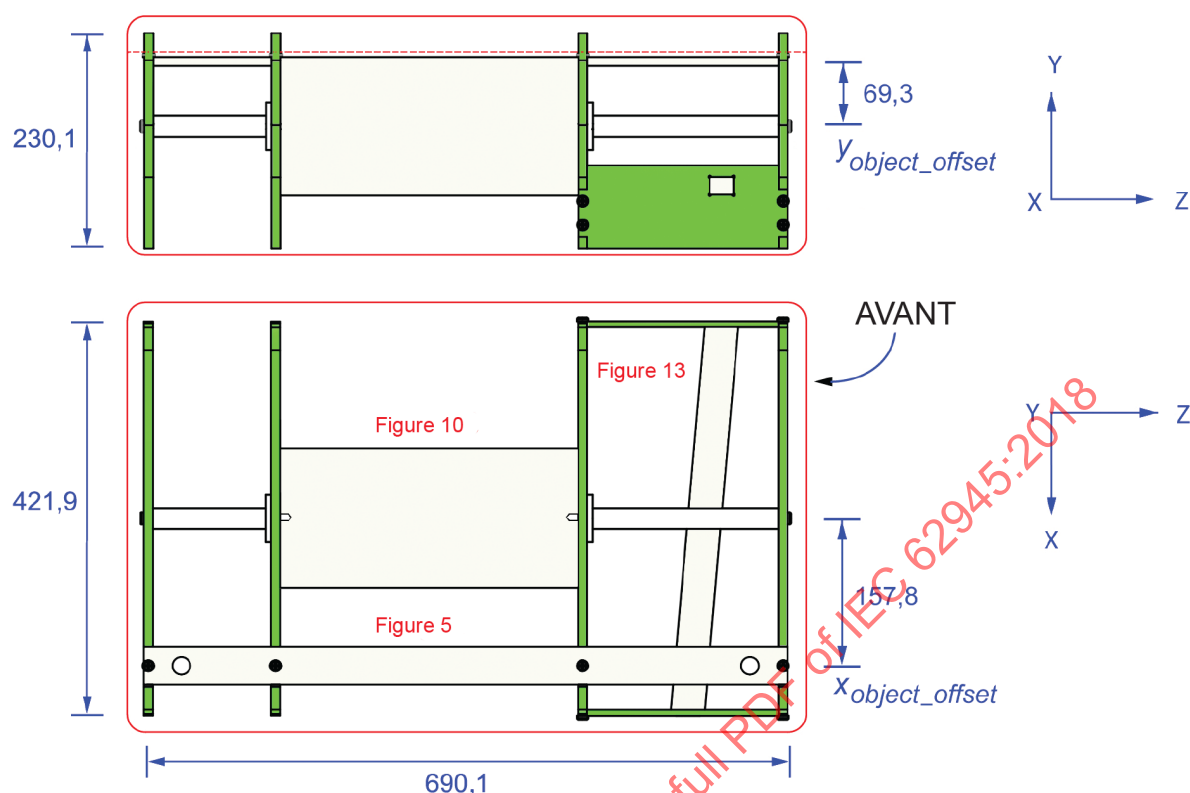
IEC

Figure 2 – Article d'essai A

L'article d'essai A contient les objets d'essai utilisés pour les méthodes couvertes dans les paragraphes suivants:

- 4.4 Exactitude de longueur de l'objet (Figure 5)
- 4.5 Valeur CT de longueur de trajectoire et Z_{eff} (Figure 8)
- 4.8 Uniformité des valeurs CT et cohérence du spectre énergétique des rayons X (Figure 11)
- 4.9 Artéfacts de stries (Figure 11)
- 4.11 Recalage des images (Figure 14)

Dimensions en millimètres



IEC

Figure 3 – Article d'essai B

L'article d'essai B contient les objets d'essai utilisés pour les méthodes couvertes dans les paragraphes suivants:

- 4.4 Exactitude de longueur de l'objet (Figure 5)
- 4.6 Bruit quantique équivalent (NEQ) (Figure 10)
- 4.7 Cohérence des valeurs CT (Figure 10)
- 4.10 Profil de sensibilité de la coupe (SSP) (Figure 13)

Afin de s'assurer que l'article d'essai est orienté sur la bande transporteuse du système de contrôle conformément aux désignations "AVANT" et "HAUT" données dans les Figures 2 et 3, l'extérieur des enceintes enfermant l'article d'essai doit inclure une signalisation du type "Sens de la bande" et "Haut".

Le présent document spécifie les procédures à suivre pour mesurer différents indicateurs de qualité d'image. Le Tableau 1 répertorie les procédures d'essai, ainsi que les indicateurs de qualité d'image mesurés et l'objet d'essai utilisé.

Tableau 1 – Liste des méthodes d'essai et indicateurs utilisés

Procédure d'essai	Indicateur de qualité d'image	Objet d'essai	Article d'essai
Exactitude de longueur de l'objet	Longueur des objets par rapport aux valeurs attendues	Plaque POM ^a avec trou usiné à chaque extrémité	A et B
Valeur CT de longueur de trajectoire et Z_{eff}	Cohérence des valeurs de densité et Z_{eff} mesurées sur une longueur de trajectoire de rayons X variable	Triangle POM	A
Bruit quantique équivalent	Résolution spatiale dans le plan du système, normalisée par le bruit du système	Cylindre POM	B
Cohérence des valeurs CT	(a) Mesure de la valeur CT moyenne pour un objet de référence (b) Variance des valeurs CT dans l'objet de référence	Cylindre POM	B
Uniformité des valeurs CT et cohérence du spectre énergétique des rayons X	Mesure de Z_{eff} et de la valeur CT à travers différentes épaisseurs de métaux absorbants	Cylindre POM enveloppé dans des couches d'aluminium, de cuivre, d'étain et de plomb	A
Artéfacts de stries	Niveau de variation dans un matériau ayant une valeur Z_{eff} nominale, induit par proximité immédiate d'un matériau ayant une valeur Z_{eff} élevée	Cylindre POM avec broches en alliage de tungstène encastrées	A
Profil de sensibilité de la coupe (SSP)	Résolution de l'image dans le sens du mouvement de la bande	Barre rectangulaire POM présentée à un angle de 5°	B
Recalage des images	Alignement physique entre les cadres de sous-systèmes d'imagerie de référence	Plaques en POM et en aluminium disposées de manière à former une boîte avec une plaque POM diagonale	A
^a Spécification complète: Utiliser un copolymère d'acétal (polyoxyméthylène ou POM) conforme aux spécifications de l'ASTM D6100 et à la désignation ci-après: S-POM0211,LP (copolymère, classe sans charge, qualité générale, faible porosité). Ce matériau thermoplastique présente une densité proche de 1,4 g/cm ³ . Il n'inclut ni charge ni agent antichoc ou autre additif (colorant, fibre, lubrifiant chimique ou métaux lourds). Avant la construction de l'objet d'essai NEQ, le noyau de la tige POM livrée doit être vérifié afin d'évaluer la faible porosité de son axe central selon la procédure spécifiée dans l'ASTM D6100. Il convient que les composants POM soient fabriqués sur des machines utilisées uniquement pour les matières plastiques afin d'éviter toute contamination croisée avec des métaux et huiles de machine.			

Outre l'exécution des méthodes d'évaluation de la qualité d'image indiquées, il est important de consigner manuellement certaines données concernant le système soumis à l'essai et l'environnement d'essai. Le paragraphe suivant spécifie les données devant être recueillies manuellement. Les paragraphes qui suivent décrivent chaque méthode, notamment le mode opératoire à appliquer pour les mesures.

4.3 Données consignées manuellement

4.3.1 Objet

Les fabricants peuvent produire un certain nombre de modèles sous la même appellation générale, qui peuvent présenter des performances variables sous l'effet de conditions d'environnement différentes. Au moment de l'étude des résultats obtenus avec cette méthode d'évaluation, il est important de veiller à comparer des machines similaires utilisées dans des conditions similaires. Le présent paragraphe spécifie les données minimales relatives au système et aux conditions d'évaluation qui doivent être consignées manuellement.

4.3.2 Données du système

4.3.2.1 Généralités

Les données suivantes sont disponibles auprès du fabricant du système ou, dans certains cas, fournies par le système lui-même. Il n'est pas prévu que l'équipe d'évaluation mesure effectivement l'ensemble des données à consigner indiquées dans le présent paragraphe.

4.3.2.2 Informations générales

- a) Méthode d'essai: indiquer que l'évaluation a été effectuée conformément au présent document.
- b) Fabricant: indiquer le nom du fabricant du système.
- c) Modèle: indiquer le nom/numéro de modèle complet du système.
- d) Numéro de série: indiquer le numéro de série unique du système soumis à évaluation.
- e) Configuration: décrire la configuration du système soumis à évaluation. Est-il configuré pour une utilisation en ligne ou autonome?
- f) Mode de balayage: décrire le mode de balayage du système (balayage hélicoïdal, coupe statique, portique non rotatif, etc.).
- g) Vitesse de la bande: indiquer la vitesse de la bande transporteuse du système en se reportant aux spécifications du fabricant. Si le système fonctionne à plusieurs vitesses au cours de l'évaluation, indiquer la vitesse maximale ainsi que les vitesses effectivement utilisées pour le balayage.

4.3.2.3 Informations relatives à la source de rayons X

- a) Type de la source de rayons X: si plusieurs sources sont utilisées, préciser le nombre. Décrire les caractéristiques de la source, par exemple matériau d'anode, multianode, multicathode, émission continue ou réseau à tension contrôlée, faisceau de balayage, filtrage inhérent nominal (si fourni par le fabricant) et tout autre filtrage supplémentaire spécifié par le fabricant, etc. Si plusieurs types de sources sont utilisés, décrire tous les types applicables et indiquer le nombre pour chaque type.
- b) Tension de la source de rayons X: indiquer la tension en kV. Si plusieurs tensions sont utilisées, les consigner toutes.
- c) Intensité de la source de rayons X: indiquer l'intensité du courant en mA. Si plusieurs intensités sont utilisées, les consigner toutes.
- d) Nombre d'heures: si le système enregistre le nombre d'heures de fonctionnement de la source de rayons X, l'indiquer ici. Sinon, reporter la mention "Non applicable (N/A)". Si des données sont disponibles pour plusieurs sources, consigner toutes les données disponibles.

Certains systèmes peuvent utiliser plusieurs sources. Dans ce cas, le nombre total de sources doit être indiqué et doit être accompagné des descriptions des conditions de fonctionnement uniques. Par exemple, si un système possède six sources du même type fonctionnant à la même intensité, mais que deux fonctionnent à 100 kV et quatre à 180 kV, fournir la description suivante:

Type:	6 cathodes de tungstène, source d'émission continue
Tension:	2 à 100 kV et 4 à 180 kV
Intensité:	10 mA
Nombre d'heures:	Tubes 1, 3, 4, 5 et 6 – 2 122 h, Tube 2 – 135 h

4.3.2.4 Informations relatives à la reconstruction

- a) Méthode de reconstruction: indiquer la méthode de reconstruction (rétroprojection filtrée, méthode d'inversion de Fourier, méthode itérative, etc.).
- b) Espacement des voxels: indiquer la distance entre les voxels reconstruits, en mm, dans les directions x, y et z.

4.3.2.5 Logiciel système

Consigner les numéros de version du fabricant pour chacun des éléments suivants du logiciel. Si le fabricant ne distingue pas d'éléments en particulier, préciser l'élément logiciel qui y est inclus.

- a) Affichage: logiciel contrôlant l'écran de l'opérateur.
- b) Reconstruction: logiciel qui convertit les données de projection en images CT.
- c) Contrôle du système: logiciel qui gère le contrôle du système, l'état du système d'entraînement, le contrôle du matériel, l'interaction avec le système de traitement des bagages, etc.
- d) Système d'exploitation: système(s) d'exploitation des ordinateurs du système (Windows Vista®, Fedora Core 6 Linux, etc.).²

4.3.3 Données relatives à l'environnement d'évaluation

Les données suivantes sont associées à l'environnement dans lequel l'évaluation a été effectuée. En règle générale, l'évaluation s'appuie sur un balayage de chaque article d'essai et sur la compilation des résultats obtenus dans un rapport. Dans l'éventualité où l'évaluation impliquerait un grand nombre de balayages (afin d'établir une courbe de référence pour un dispositif de balayage particulier, par exemple), les données d'environnement doivent être consignées de manière à indiquer la date, l'heure, la température, etc., pour le début et la fin du balayage.

Les évaluateurs doivent fournir les données suivantes:

- a) Date locale: indiquer la date locale au format année/mois/jour;
- b) Heure locale: indiquer l'heure locale au début de l'évaluation, sous la forme heures:minutes et au format 0-24 heures;
- c) Lieu: indiquer l'adresse complète du lieu où a été effectuée l'évaluation;
- d) Température ambiante: indiquer la température, en degrés Celsius, de l'environnement ambiant du système;
- e) Humidité ambiante: indiquer l'humidité relative de l'environnement ambiant du système;
- f) Température du détecteur: si le système fournit des relevés de température pour son ou ses réseaux de détecteurs, consigner la valeur obtenue après avoir laissé le système chauffer, juste avant le balayage des articles d'essai. Si le système fournit plusieurs relevés de détecteurs, consigner les valeurs minimale, médiane et maximale. Indiquer les valeurs en degrés Celsius;
- g) Personnel: indiquer les noms complets et affiliations du personnel qui a effectué l'évaluation;
- h) Numéro de téléphone: indiquer le numéro de téléphone, où le responsable de l'équipe d'évaluation peut être contacté en cas de question concernant l'évaluation;
- i) Fabricant des articles d'essai: indiquer le fabricant des articles d'essai utilisés pour l'évaluation;
- j) Numéros de série des articles d'essai: indiquer les numéros de série uniques pour chacun des articles d'essai utilisés pour l'évaluation.

4.3.4 Commentaires

Il convient que les évaluateurs indiquent les problèmes ou difficultés éventuellement rencontrés lors de l'évaluation dans la section commentaires. Si le système soumis à l'essai

² Ces informations sont données à titre d'illustration et ne signifient nullement que l'IEC approuve ou recommande l'emploi exclusif des produits ainsi désignés. Des produits équivalents peuvent être utilisés s'il est démontré qu'ils conduisent aux mêmes résultats.

présente des différences par rapport au produit du commerce normalisé utilisé en mode de contrôle de sécurité normal, les évaluateurs doivent noter ici ces différences (par exemple, "le système a été utilisé sans mettre en fonctionnement le système de climatisation afin de simuler un fonctionnement dans des conditions climatiques plus chaudes").

4.3.5 Ecart par rapport aux méthodes spécifiées

Certaines des méthodes décrites dans le présent document autorisent explicitement l'évaluateur à employer d'autres approches pour le calcul des valeurs. Dans le paragraphe relatif aux écarts, les évaluateurs doivent mentionner tous les écarts constatés par rapport aux méthodes d'essai spécifiées dans le présent document. La notation doit spécifier quelles méthodes spécifiques ont été modifiées et décrire les modifications ainsi que les raisons correspondantes.

Dans des systèmes multiénergie, les coupes énergétiques correspondantes peuvent ne pas être alignées correctement. L'importance du degré de désalignement peut être suffisante pour affecter certains calculs. Pour mesurer ce désalignement, des correspondances entre les caractéristiques de l'article d'essai situées aux angles de l'enveloppe d'un boîtier (Boîtier A ou B) peuvent être utilisées pour déterminer et quantifier tout désalignement des images acquises avec différents spectres. Les caractéristiques correspondantes peuvent être repérées de façon interactive ou au moyen d'un algorithme automatique (par exemple, suivi de la corrélation croisée normalisée [3]). Après quoi, les transformations bidimensionnelles possibles peuvent être estimées (par exemple, en calculant l'estimation par les moindres carrés des paramètres de transformation entre les caractéristiques correspondantes [4]).

4.3.6 Présentation des résultats

Les données consignées manuellement doivent être jointes aux résultats correspondants des autres méthodes d'évaluation d'images spécifiées dans le présent document. Il convient de regrouper les données de la même manière que dans le paragraphe précédent. La Figure 4 présente un exemple de format, mais d'autres formats logiques sont également acceptables pour la présentation des données.

Rapport de qualité d'image	
Évaluée conformément à la norme IEC 62945 pour la mesure des performances d'imagerie des systèmes de contrôle de sécurité utilisant la tomographie par ordinateur (CT) à rayons X	
Registre manuel de données	
Système soumis à évaluation	
Fabricant: _____	Méthode de reconstruction: _____
Modèle: _____	
Numéro de série: _____	Espacement des voxels: _____
Configuration: _____	x: _____
Mode de balayage: _____	y: _____
Vitesse de la bande: _____	z: _____
Source de rayons X	Versions du logiciel
Type: _____	Affichage: _____
Tension: _____	Reconstruction: _____
Intensité: _____	Contrôle du système: _____
Filtrage: _____	Système d'exploitation: _____
Nombre d'heures: _____	
Conditions d'évaluation	
Heure locale: _____	Personnel en charge du balayage: _____
Date locale: _____	
Lieu: _____	
	Numéro de téléphone: _____
Température ambiante: _____	Fabricant des articles d'essai: _____
Humidité ambiante: _____	N° de série des articles d'essai: _____
Température du détecteur: _____	
Commentaires: _____	
Écarts par rapport aux méthodes spécifiées: _____	

IEC

Figure 4 – Exemple de format des données consignées manuellement

4.4 Exactitude de longueur de l'objet

4.4.1 Objet

Cet essai évalue l'exactitude à laquelle le système mesure la longueur d'un objet. Cette exactitude peut être affectée par la coordination entre la vitesse de la bande et la vitesse de rotation du portique (ou toute autre source de mouvement). Les erreurs d'exactitude de longueur peuvent affecter l'aptitude du système à déterminer avec cohérence les dimensions et la masse de l'objet.

Cet essai doit s'appliquer à l'ensemble des systèmes.

La masse étant un paramètre critique dans la plupart des applications de contrôle de sécurité, il est important de veiller à ce qu'elle soit mesurée avec un haut degré de cohérence. L'exactitude absolue de la mesure a moins d'importance que sa cohérence. Si un système

mesure de façon cohérente un objet court ou long, le logiciel de détection peut corriger la mesure de façon appropriée. Cependant, si la mesure varie d'une machine à l'autre, le logiciel ne sera pas capable d'appliquer une correction et sa capacité à estimer la masse d'un objet variera.

Cette méthode mesure également l'angle de présentation de l'objet d'essai. En raison de la sensibilité à l'angle de l'objet d'essai de certaines méthodes d'essai du présent document, cette mesure est utilisée comme un critère de réussite/échec conditionnant l'exécution des méthodes d'essai sur cette analyse en particulier. Une copie de l'objet d'essai étant enfermée dans les deux articles d'essai, cette méthode d'essai doit être appliquée sur les deux articles.

De plus, cette méthode permet de mesurer la cohérence du positionnement de l'article d'essai dans l'espace physique, à la fois dans les directions x et y , ce qui peut également être utilisé comme critère de réussite/d'échec.

4.4.2 Description de l'objet d'essai

L'objet d'essai pour cette évaluation est représenté à la Figure 5. Il se compose d'une longue plaque rectangulaire en POM, percée d'un trou de diamètre 19,1 mm à chaque extrémité. L'objet est placé dans l'article d'essai de telle sorte que son axe long soit parallèle à l'axe long de l'article d'essai et que les axes des trous soient perpendiculaires à la partie inférieure de l'article d'essai.

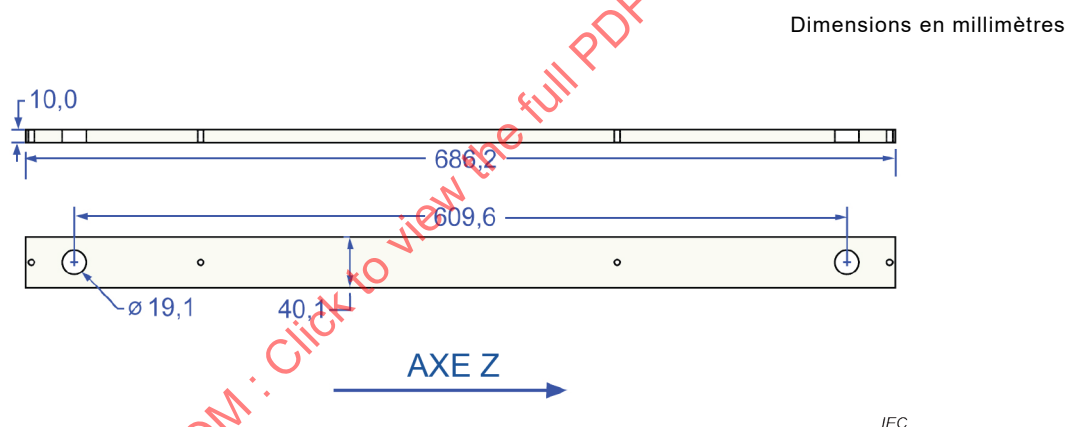


Figure 5 – Objet utilisé pour l'essai de longueur de l'objet

4.4.3 Méthode d'essai

La méthode d'essai doit mesurer l'angle de présentation de l'objet et la longueur mesurée en mm. Elle isole les voxels représentant les trous circulaires aux extrémités de l'objet d'essai et calcule leurs centres de gravité. Puisque ce calcul couvre de nombreux voxels, il détermine la position du trou à une précision inférieure à la taille d'un voxel. Les emplacements des centres de gravité doivent ensuite être utilisés pour déterminer la longueur de l'objet et s'assurer que l'article d'essai est présenté à un angle acceptable. Le calcul porte également sur les dépôts de l'article d'essai, qui peuvent être utilisés pour vérifier la cohérence du positionnement de l'article d'essai sur la bande dans les directions x et y .

La méthode suivante donne un exemple qui décrit de quelle manière les centres de gravité des trous peuvent être calculés et utilisés lorsque des données volumétriques continues sont disponibles. D'autres procédures sont acceptables, sous réserve qu'elles permettent de déterminer le centre de gravité de chacun des deux trous et qu'elles mesurent la longueur et l'angle à partir des positions relatives de ces centres de gravité.

- a) Dans les données CT, désigner un sous-volume rectangulaire adéquat qui isole l'objet utilisé pour l'essai de longueur de l'objet, $I(x,y,z)$.

- b) Additionner toutes les valeurs CT dans cette ROI dans la direction de l'axe y pour créer une image coronale $I_c(x,z)$, de l'objet d'essai dont la longueur et la largeur sont égales à la longueur et à la largeur du sous-volume.

Plus spécifiquement $I_c(x,z) = \frac{\sum_{i=y_1}^{y_2} I(x,i,z)}{N}$ où $I(x,y,z)$ représente les données de voxels CT aux coordonnées x, y, z , où y_1 et y_2 représentent les coordonnées y inférieures et supérieures du sous-volume I et où N représente la hauteur en voxels dans la direction y. x, y, z sont des variables discrètes.

- c) Rechercher la valeur maximale dans $I_c(x,z)$ et noter cette valeur I_{max} .
- d) Dériver $I_T(x,z)$ à partir de I_c en définissant toutes les valeurs de I_T sur un (1) lorsque $I_c(x,z)$ est inférieur à $I_{max}/2$, et toutes les valeurs de I_T sur zéro lorsque $I_c(x,z)$ est supérieur ou égal à $I_{max}/2$:

$$I_T(x,z) = \begin{cases} 1, & I_c(x,z) < \frac{I_{max}}{2} \\ 0, & I_c(x,z) \geq \frac{I_{max}}{2} \end{cases}$$

- e) Convertir les uns en zéros en dehors de l'image de l'objet d'essai dans I_T de sorte que seuls les trous conservent une valeur de un dans I_T .
- f) Calculer le centre de gravité du premier trou.

Pour chaque pixel dans $I_T(x,z)$ qui est égal à 1 dans la zone du premier trou:

$$xsum = \sum_z \sum_x I_T(x,z) \times \left(\frac{I_{max}}{2} - I_c(x,z)\right) \times x$$

$$zsum = \sum_z \sum_x I_T(x,z) \times \left(\frac{I_{max}}{2} - I_c(x,z)\right) \times z$$

$$nsum = \sum_z \sum_x I_T(x,z) \times \left(\frac{I_{max}}{2} - I_c(x,z)\right)$$

$$x_{c1} = xsum/nsum$$

$$z_{c1} = zsum/nsum$$

- g) Répéter le calcul pour le deuxième trou afin d'obtenir x_{c2} et z_{c2} .
- h) Convertir x_{c1} , z_{c1} , x_{c2} et z_{c2} en millimètres.
- i) Calculer:

$$length = \sqrt{(z_{c1} - z_{c2})^2 + (x_{c1} - x_{c2})^2}$$

$$\alpha = \arcsin \frac{(x_{c2} - x_{c1})}{length}$$

Afin de vérifier la cohérence du positionnement de l'article d'essai, les "déports du sac" sont également calculés comme suit. Les formules suivantes reposent sur l'hypothèse que le volume total de l'image reconstruite est centré dans x et y le long de l'axe central (dans la direction z) du cylindre POM dans chaque cas de figure (A et B). Il est également admis par hypothèse que les valeurs positives x et y sont mesurées à partir des bords du volume de l'image. Si l'article d'essai ne se trouve pas constamment au centre de l'image reconstruite en raison d'un biais systématique, alors la valeur calculée ci-dessous pour les déports du sac reste néanmoins cohérente. Les formules peuvent être ajustées afin de tenir compte des biais éventuels, d'un déport constant ou du choix de l'origine. Par exemple, le centre de la reconstruction CT peut être choisi comme origine.

- j) Calculer la position x moyenne de l'objet utilisé pour l'essai de longueur de l'objet:

$$x_{center} = (x_{c1} + x_{c2})/2$$

- k) Calculer:

$$bag_{offset_x} = x_{center} + x_{object_offset} - \frac{x_{width}}{2}$$

où:

x_{width} est la largeur dans la direction x (en mm) du volume total de l'image reconstruite, centré comme décrit ci-dessus; et

x_{object_offset} est le déport physique dans la direction x du centre de l'objet utilisé pour l'essai de longueur de l'objet par rapport au centre de l'article d'essai (la valeur indiquée à la Figure 2 ou à la Figure 3, en mm).

- l) En utilisant le sous-volume initial utilisé pour isoler l'objet d'essai, $I(x,y,z)$, désigner deux sous-volumes rectangulaires supplémentaires qui enferment complètement chaque trou. Ces sous-volumes doivent être centrés sur le trou et présenter des dimensions égales à deux fois le diamètre du trou dans les axes x et z et deux fois l'épaisseur de la plaque dans l'axe y . Noter ces sous-volumes $h_1(x,y,z)$ et $h_2(x,y,z)$.
- m) Rechercher la valeur maximale dans les deux sous-volumes. Consigner le résultat sous h_{max} .
- n) Définir sur zéro toutes les valeurs qui, dans $h_1(x,y,z)$ et $h_2(x,y,z)$, sont inférieures à $h_{max}/2$.
- o) Calculer le centre de gravité y du premier trou. Pour chaque voxel dans $h_1(x,y,z)$:

$$y_{sum} = \sum_z \sum_y \sum_x h_1(x,y,z) \times y$$

$$n_{sum} = \sum_z \sum_y \sum_x h_1(x,y,z)$$

$$y_{c1} = y_{sum}/n_{sum}$$

- p) Répéter le calcul pour le deuxième trou afin d'obtenir y_{c2} .
- q) Convertir y_{c1} et y_{c2} en millimètres.
- r) Calculer la position y moyenne de l'objet utilisé pour l'essai de longueur de l'objet:

$$y_{center} = (y_{c1} + y_{c2})/2$$

- s) Calculer:

$$bag_{offset_y} = y_{center} - y_{object_offset} - \frac{y_{height}}{2}$$

où:

y_{height} est la hauteur dans la direction y (en mm) du volume total de l'image, centré comme décrit ci-dessus; et

y_{object_offset} est le déport physique dans la direction y du centre de l'objet utilisé pour l'essai de longueur de l'objet par rapport au centre de l'article d'essai (la valeur indiquée à la Figure 2 ou à la Figure 3, en mm).

4.4.4 Présentation des résultats

Les résultats doivent être présentés comme indiqué à la Figure 6. Les résultats doivent indiquer la version de l'article d'essai contrôlé (A ou B), les déports horizontaux et verticaux en millimètres, l'angle de présentation mesuré en degrés, ainsi que la tolérance admise sur l'angle en degrés. Si l'angle se trouve dans les limites de la tolérance rotationnelle, la

longueur de l'objet d'essai doit être consignée en mm et en pourcentage de la valeur physique comme suit:

$$value = \frac{length}{length_{physical}} \times 100$$

où $length_{physical}$ est la distance spécifiée entre les centres conformément au schéma de l'objet utilisé pour l'essai de longueur de l'objet.

NOTE La tolérance rotationnelle est spécifiée en 4.1.

Version de l'article d'essai: (A ou B)	
Statistiques de présentation	
xx,x mm	Déport horizontal (x) du sac
yy,y mm	Déport vertical (y) du sac
$\alpha\alpha, \alpha^\circ$	Angle de présentation
+/- bb,b°	Tolérance angulaire admise
Longueur de l'objet: ll,l mm, vv,v % de la longueur physique	

Figure 6 – Résultat de la procédure de mesure de la longueur de l'objet lorsque la présentation de l'article d'essai est dans les limites de la tolérance angulaire

Si l'angle est en dehors de la tolérance rotationnelle, le rapport doit en faire mention et aucune longueur ne doit être consignée, comme indiqué à la Figure 7.

Version de l'article d'essai: (A ou B)	
Statistiques de présentation	
xx,x mm	Déport horizontal (x) du sac
yy,y mm	Déport vertical (y) du sac
$\alpha\alpha, \alpha^\circ$	Angle de présentation
+/- bb,b°	Tolérance angulaire admise
Avertissement: L'angle de présentation de l'article d'essai est en dehors de la tolérance admissible. Répéter le balayage.	

Figure 7 – Résultat de la procédure de mesure de la longueur de l'objet lorsque la rotation de l'article d'essai est en dehors des limites de la tolérance angulaire

4.5 Valeur CT de longueur de trajectoire et Z_{eff}

4.5.1 Objet

Les objets de grandes dimensions se trouvant dans le plan de coupe CT (ce qui se traduit par une longueur de trajectoire importante) peuvent avoir une valeur CT et une valeur Z_{eff} différentes de celles des objets constitués du même matériau, mais de dimensions inférieures. Leur degré de variation dans un système donné dépend de nombreux aspects de conception du système. Cette procédure décrit comment mesurer cette différence.

4.5.2 Description de l'objet d'essai

L'objet d'essai pour cette évaluation est représenté à la Figure 8. Il se compose d'un morceau de POM triangulaire et plat. L'objet d'essai est disposé à plat, parallèlement à la bande.

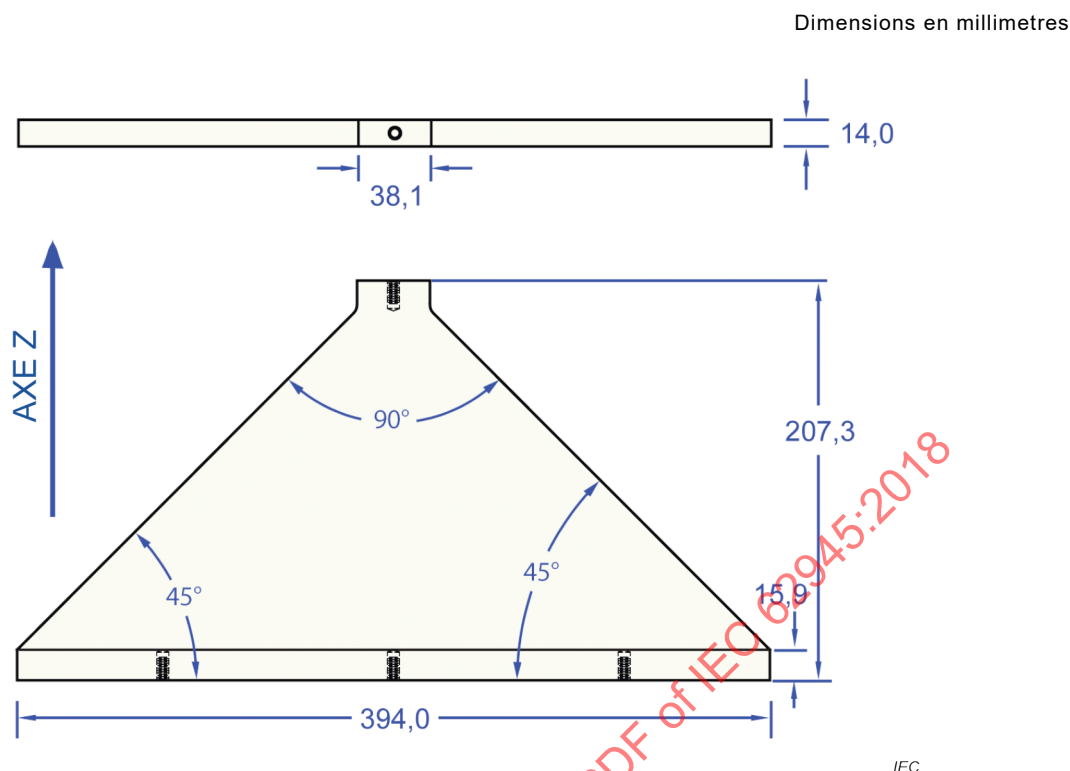


Figure 8 – Objet utilisé pour l'essai de longueur de la trajectoire

4.5.3 Méthode d'essai

L'objet d'essai est balayé de telle sorte que l'image fantôme se déplace le long de l'axe z et que chaque coupe de balayage échantillonne une partie de l'image fantôme (voir Figure 8). La méthode doit isoler l'objet dans chaque coupe, déterminer la longueur dans la coupe et rechercher la valeur CT maximale au centre de l'objet dans la coupe. La séparation maximale entre les coupes doit être de 10 mm. Les coupes CT contiennent des sections consécutivement plus longues de l'objet d'essai.

Pour les systèmes CT multiénergie, la procédure doit être répétée pour l'ensemble des valeurs d'image utilisées par l'algorithme de détection. Certains systèmes peuvent utiliser une image construite à partir des données de grande énergie et une deuxième déduite d'un calcul de la valeur Z_{eff} . D'autres systèmes peuvent utiliser une image Z_{eff} et une image obtenue par diffusion Compton. Les mesures doivent être effectuées et consignées pour chaque type d'image CT utilisée.

La méthode suivante est un exemple qui montre comment calculer la dépendance de la densité et de la valeur Z_{eff} à la longueur de la trajectoire:

- Pour chaque coupe, définir une ROI qui contient l'objet d'essai, mais qui exclut toute région de montage.
- Dans cette ROI, appliquer un seuil pour éliminer l'air.
- Dans cette ROI, déterminer la valeur CT maximale le long de chaque colonne verticale (l'axe y) pour chaque point se trouvant dans la direction horizontale (l'axe x). Tracer une droite à partir de ces points.
- Placer les points d'extrémité de la droite tracée dans la direction horizontale.
- A partir de ces points d'extrémité, calculer la distance d'une ligne droite reliant ces points (la longueur de la trajectoire).
- Déterminer le point central qui coupe cette droite en deux segments égaux.
- Choisir tous les voxels se trouvant à moins de 2 cm au centre de la ligne.

- h) Calculer la valeur médiane à partir des valeurs CT maximales situées dans cette région de 2 cm.
- i) Consigner la longueur de la trajectoire et la valeur médiane pour chaque coupe.
- j) En utilisant la coupe dont la longueur de trajectoire est la plus proche de 10 cm, calculer la médiane des valeurs maximales projetées pour toute la longueur de la droite. Normaliser toutes les valeurs médianes centrales selon cette valeur.

4.5.4 Présentation des résultats

Les résultats doivent être présentés sous la forme d'une courbe des valeurs médianes centrales normalisées par rapport à leurs longueurs de trajectoire pour chaque image utilisée. La Figure 9 représente un exemple de tracé des résultats. Une courbe doit être tracée pour chaque image utilisée par l'algorithme, avec une notation mentionnant l'image utilisée.

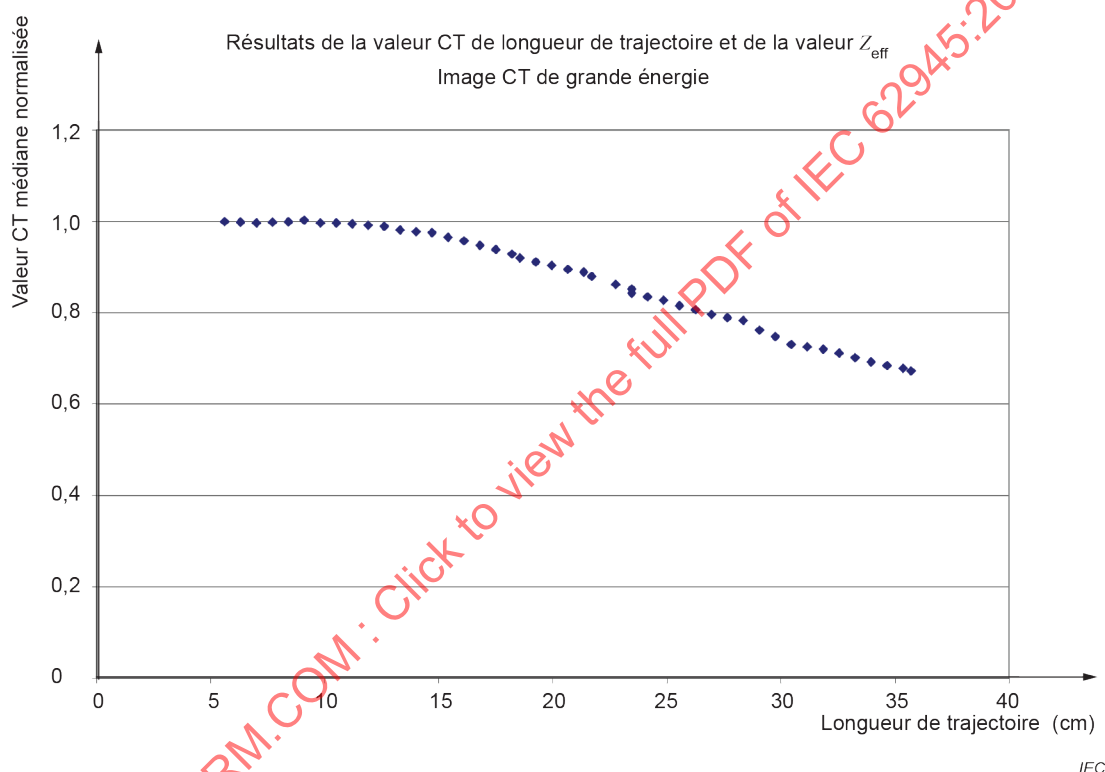


Figure 9 – Exemple de tracé des résultats de l'essai de longueur de trajectoire

4.6 Bruit quantique équivalent (NEQ)

4.6.1 Objet

Le NEQ est le rapport signal à bruit (SNR) dépendant de la fréquence spatiale. Il peut être calculé à partir des mesures de la valeur CT moyenne de l'objet, de la MTF et du spectre de puissance du bruit, selon la formule suivante:

$$NEQ = SNR^2 = \frac{S_{out}^2 MTF^2}{NPS}$$

où:

SNR est le rapport signal à bruit;

S_{out} est la valeur CT moyenne de l'objet;

MTF est la fonction de transfert de modulation;

NPS est le spectre de puissance du bruit.

Le spectre de puissance du bruit quantifie les fréquences spatiales caractéristiques des variations dans une image et peut être mesuré en calculant la transformée de Fourier des images de bruit, selon la formule suivante:

$$W(v_x, v_y) = \frac{1}{A} \left\langle \left| \iint dx dy D(x, y) e^{-2\pi i(xv_x + yv_y)} \right|^2 \right\rangle$$

où:

$W(v_x, v_y)$ est le spectre de puissance du bruit;

v_x est la variable de fréquence spatiale dans la direction x ;

v_y est la variable de fréquence spatiale dans la direction y ;

$D(x, y)$ est l'image de bruit;

A est la surface où est défini $D(x, y)$;

$\langle \rangle$ est la moyenne de l'ensemble sur toutes les images de bruit.

4.6.2 Description de l'objet d'essai

L'objet d'essai utilisé pour la détermination du NPS et de la MTF doit être un cylindre (voir Figure 10). La circonférence du cylindre est utilisée comme bord pour la mesure de la MTF. L'intérieur du cylindre est utilisé pour calculer le NPS.

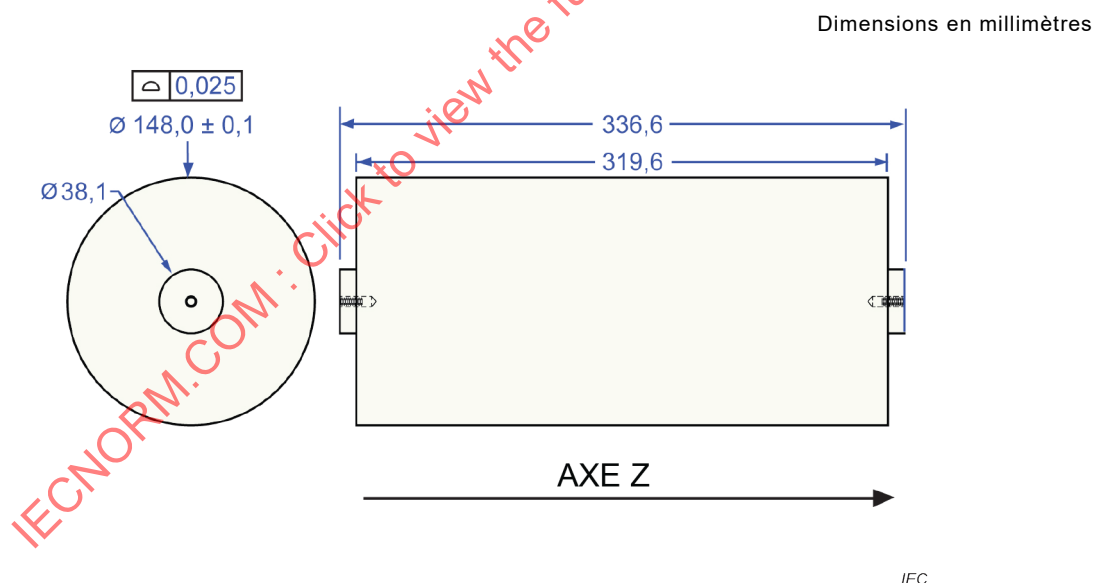


Figure 10 – Objet utilisé pour l'essai du NEQ

4.6.3 Méthode d'essai

4.6.3.1 Fonction de transfert de modulation

La fonction de transfert de modulation (MTF) doit être mesurée en utilisant des images achromatiques conformément à l'ASTM E1695.

4.6.3.2 Spectre de puissance du bruit (NPS)

4.6.3.2.1 Généralités

Les procédures suivantes doivent être utilisées pour estimer le NPS à partir d'une série d'images obtenues par balayage d'un objet d'essai cylindrique et uniforme. L'approche consiste à employer un estimateur basé sur le périodogramme lissé selon la méthode de Welch, telle qu'elle est décrite par Stoica et Moses, mais sans chevauchement des fenêtres et en généralisant l'estimation d'une dimension à deux dimensions [5].

Le NPS doit être calculé en utilisant les trois méthodes suivantes. Dans les méthodes 1 et 2, les contributions dues au bruit stationnaire dans une image unique sont réduites le plus possible en examinant la différence entre les paires d'images, tandis que la méthode 3 évite la réduction du bruit qui peut se produire au travers des corrélations entre des images adjacentes. La méthode 3 intègre le bruit stationnaire au sein des images individuelles. Les méthodes indiquées ci-dessous sont exigées. Il n'existe aucune méthode facultative dans cette procédure.

4.6.3.2.2 Méthode 1 d'évaluation du NPS

- Obtenir 64 images de l'objet d'essai cylindrique. Si le système ne peut pas créer 64 images de l'objet d'essai (en raison de la dimension des coupes, etc.), prendre le nombre maximal possible en évitant les bords d'attaque et de fuite de l'objet.
- Former 32 paires d'images avec une séparation de 32 dans chaque paire (1,33), (2,34), ... (32,64). Si moins de 64 images ont été obtenues, former autant de paires que possible en utilisant chaque image une seule fois. Noter que, dans certains systèmes, des artefacts d'images stationnaires associés à des angles spécifiques de rotation du portique peuvent apparaître. Dans ces conditions, il peut être préférable d'utiliser des paires d'images espacées d'une rotation complète. Cela est acceptable. Cependant, l'évaluateur doit indiquer spécifiquement que cet écart est nécessaire et l'écart, de même que la séparation spécifique utilisée, doit être mentionné dans les résultats présentés.
- Calculer le centre de gravité moyen des images achromatiques circulaires dans chaque paire.
- Corréler les centres de gravité des images dans chaque paire avec le pixel le plus proche, et créer une seule image de bruit à partir de chaque paire en utilisant la différence entre les images alignées.
- Pour chaque image, $x(j,k)$, $j = 1,2,...,J$, $k = 1,2,...,K$, définir un cercle d'intérêt de rayon, R , égal au rayon de l'objet d'essai, centré sur le centre de gravité moyen pour la paire différenciée d'images. Appliquer une fenêtre de Hann radiale définie comme indiqué dans la formule suivante:

$$y(j,k) = x(j,k) w(j,k)$$

$$w(j,k) = \begin{cases} \cos^2 \frac{\pi r(j,k)}{2R} , & r(j,k) < R \\ 0 , & r(j,k) \geq R \end{cases}$$

où:

$y(j,k)$ est l'image de bruit fenêtrée;

$x(j,k)$ est l'image de bruit;

$w(j,k)$ est la fenêtre de Hann;

$r(j,k)$ est la distance radiale entre le pixel (j,k) et le centre du cercle d'intérêt;

R est le rayon du cercle d'intérêt et de la fenêtre de Hann.

- Ajouter des zéros à l'image de bruit fenêtrée, $y(j,k)$, de sorte qu'elle présente les dimensions N par N , où N est la puissance de 2 la plus proche supérieure aux dimensions

de l'image de bruit, J par K . Calculer la transformée de Fourier discrète (DFT) de $y(j,k)$ selon

$$Y(u, v) = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N y(j, k) e^{-i2\pi \left(\frac{(u-1)(j-1) + (v-1)(k-1)}{N} \right)}, \quad u = 1, 2, \dots, N, \quad v = 1, 2, \dots, N$$

- g) Calculer l'amplitude au carré des images à transformée de Fourier, $Y(u, v)$, obtenues à l'étape f) et diviser le résultat par le carré de la fréquence d'échantillonnage spatiale, f_s^2 , et la somme des carrés de la fonction de fenêtrage, $\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K w(j, k)^2$. Cela donne une estimation normalisée bidimensionnelle du NPS:

$$\widehat{NPS}(f(u), f(v)) = \frac{|Y(u+1, v+1)|^2}{f_s^2 \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K w(j, k)^2}, \quad u = 0, 1, \dots, N-1, \quad v = 0, 1, \dots, N-1$$

où:

$$f(u) = \begin{cases} u \frac{f_s}{N}, & u < N/2 \\ u \frac{f_s}{N} - f_s, & u \geq N/2 \end{cases}, \quad f(v) = \begin{cases} v \frac{f_s}{N}, & v < N/2 \\ v \frac{f_s}{N} - f_s, & v \geq N/2 \end{cases}$$

- h) Calculer la moyenne de tous les résultats NPS bidimensionnels obtenus à l'étape g).
i) Dériver le NPS à fréquence radiale en une dimension en calculant la moyenne du NPS bidimensionnel obtenu à l'étape h) sur les anneaux dans l'espace de fréquence.
j) Diviser le NPS en une dimension par la racine carrée de 2 afin d'estimer le NPS pour une seule image plutôt que pour une paire différenciée d'images.

4.6.3.2.3 Méthode 2 d'évaluation du NPS

En utilisant les mêmes images d'origine, répéter la méthode 1 d'évaluation du NPS en ignorant l'étape b) qui est modifiée de manière à utiliser des images appariées adjacentes, (1,2), (3,4), ... au lieu de paires séparées par 32. Cela affecte les estimations du NPS à fréquence radiale en une dimension si la corrélation entre des images adjacentes est différente de la corrélation entre des images espacées de 32.

4.6.3.2.4 Méthode 3 d'évaluation du NPS

- a) En utilisant les mêmes images d'origine, soustraire la valeur moyenne du cylindre dans chaque image de l'ensemble de l'image (formant jusqu'à 64 images de bruit).
b) Répéter les étapes e) à i) de la procédure indiquée pour la méthode 1 en utilisant toutes les images d'origine pour créer le NPS à fréquence radiale en une dimension. L'étape j) est ignorée car les images de bruit ne sont pas formées à partir de paires d'images.

4.6.4 Présentation des résultats

Les résultats de mesure du NEQ doivent être donnés sous forme de nombres dans un tableau (voir Tableau 2). Le NEQ doit être consigné à intervalles de $0,5 \text{ cm}^{-1}$ en commençant à $0,5 \text{ cm}^{-1}$ et en poursuivant jusqu'au premier intervalle au-delà de la fréquence à laquelle la valeur de la MTF est inférieure à 20 %. Les erreurs doivent être consignées sous la forme de l'écart-type mesuré concernant le nombre de balayages de l'éprouvette d'essai, et la plage de valeurs [min, max] doit également être indiquée. Les valeurs doivent être présentées sous une forme logarithmique comme suit:

$$10 \log_{10}(\text{NEQ})$$

Les valeurs de la MTF à ces intervalles doivent également être consignées. En outre, le rapport doit indiquer le nombre de balayages, le nombre d'images utilisées par balayage pour chaque méthode, le nombre de paires d'images et la séparation au sein d'une paire pour les méthodes d'évaluation 1, 2 et 3 du NEQ.

Tableau 2 – Résultats de la procédure d'évaluation du NEQ

Fréquence cm ⁻¹	NEQ Méthode 1	NEQ Méthode 2	NEQ Méthode 3	MTF
0,5	aa,a ± a,aa [aa,a, aa,a]	bb,b ± b,bb [bb,b, bb,b]	cc,c ± c,cc [cc,c, cc,c]	0,dd ± 0,ddd [0,dd, 0,dd]
1	ee,e ± e,ee [ee,e, ee,e]	ff,f ± f,ff [ff,f, ff,f]	gg,g ± g,gg [gg,g, gg,g]	0,hh ± 0,hhh [0,hh, 0,hh]
1,5	ii,i ± i,ii [ii,i, ii,i]	jj,j ± j,jj [jj,j, jj,j]	kk,k ± k,kk [kk,k, kk,k]	0,ll ± 0,lll [0,ll, 0,ll]
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
f _{max}	ww,w ± w,ww [ww,w, ww,w]	xx,x ± x,xx [xx,x, xx,x]	yy,y ± y,yy [yy,y, yy,y]	0,zz ± 0,zzz [0,zz, 0,zz]

	NEQ Méthode 1	NEQ Méthode 2	NEQ Méthode 3
Nombre de balayages	ww	ww	ww
Nombre d'images par balayage	xx	xx	xx
Nombre de paires	yy	yy	–
Séparation des paires (voxels)	zz	zz	–

NOTE Si la position normative de l'article d'essai est centrée latéralement sur la bande, l'évaluateur peut également choisir de mesurer la dépendance de position du NEQ à d'autres emplacements dans le volume d'inspection.

4.7 Cohérence des valeurs CT

4.7.1 Objet

L'objet de cette mesure est de déterminer la cohérence spatiale de la valeur CT dans un objet uniforme.

4.7.2 Description de l'objet d'essai

L'objet d'essai pour la mesure de la cohérence des valeurs CT est le même que celui utilisé pour mesurer la MTF et le NPS en 4.6.

4.7.3 Méthode d'essai

Définir un cercle d'intérêt dans chaque image utilisée au 4.6.3.2, qui présente un rayon de 10 mm de moins que le rayon de l'objet d'essai, centré sur l'objet d'essai à l'intérieur de l'image. Définir le groupe de voxels entièrement circonscrits dans le cercle d'intérêt pour chaque image.

Calculer la moyenne et l'écart-type de la valeur CT pour chaque groupe de voxels. Calculer la médiane et les écarts-types de l'ensemble de moyennes et de l'ensemble d'écarts-types. Ces statistiques convolvent les performances d'imagerie globales du système, y compris le bruit, les artefacts de tuile, etc.

Noter que, dans certains systèmes, la valeur CT de l'objet d'essai dans chaque image de coupe varie avec la position rotationnelle spécifique du portique. Par conséquent, l'utilisation d'un nombre arbitraire de coupes peut produire une variance significative au niveau de la valeur CT médiane globale indiquée sur une machine donnée. Cela complique d'autant plus les comparaisons de machine à machine. Dans ces conditions, il peut être préférable de

calculer les statistiques spécifiées pour l'objet sur un nombre d'images équivalant à une rotation complète. Cela est acceptable. Cependant, l'évaluateur doit indiquer spécifiquement que cet écart est nécessaire et l'écart, de même que le nombre spécifique de coupes utilisées, doit être mentionné dans les résultats présentés.

4.7.4 Présentation des résultats

Consigner les valeurs médianes et les valeurs d'écart-types pour les moyennes et pour les écart-types.

4.8 Uniformité des valeurs CT et cohérence du spectre énergétique des rayons X

4.8.1 Objet

L'uniformité des mesures de valeurs CT d'une machine à l'autre dépend en partie de la cohérence de l'incident et/ou du spectre de rayons X détecté. La cohérence des mesures Z_{eff} d'une machine à l'autre dépend en partie de la cohérence de deux incidents ou plus et/ou des spectres énergétiques des rayons X détectés. Cet essai évalue la cohérence des spectres énergétiques des rayons X.

Cette procédure explique comment mesurer les valeurs CT en présence de divers métaux, ainsi que la variance de ces mesures pour un ou plusieurs spectres énergétiques de rayons X. Elle s'applique aussi bien aux machines multiénergie qu'aux machines utilisant une seule énergie. Cependant, les machines utilisant une seule énergie doivent déclarer uniquement les résultats correspondant aux valeurs CT.

4.8.2 Description de l'objet d'essai

L'objet d'essai est un cylindre POM divisé en deux sections: la première pour évaluer l'uniformité des valeurs CT et la cohérence du spectre énergétique des rayons X, et la seconde pour mesurer les artefacts de stries (utilisée au 4.9). La première section se compose d'un cylindre POM avec des sections recouvertes par différentes épaisseurs d'aluminium, de cuivre, d'étain et de plomb (voir Figure 11). La deuxième section comprend le même cylindre POM dans lequel des broches en alliage de tungstène ont été insérées dans quatre trous le long de l'axe du cylindre, comme représenté sur la figure.

The drawing consists of two parts: a perspective view at the top and a cross-sectional view at the bottom.

Perspective View: Shows a cylindrical component with a grey mounting extension on the left, followed by a series of colored rings (orange, white, brown, white, green), and a larger white cylindrical body on the right. Two thin wires (broches) emerge from the right end. A dimension line indicates a length of 336,3.

Cross-sectional View (AXE Z): A detailed view of the component's layers along the Z-axis. The layers from left to right are:

- extensions de montage:** Mounting extensions.
- Al:** Aluminum layer with a thickness (épaisseur) of 11,4.
- Cu:** Copper layer with a thickness (épaisseur) of 1,4.
- Sn:** Tin layer with a thickness (épaisseur) of 0,25.
- Pb:** Lead layer with a thickness (épaisseur) of 0,15.
- acétal:** Acetal layer with a diameter (diamètre) of 76,0.

A red diagonal watermark reads "to view the full PDF of IEC 62947".

Figure 11 – Objet utilisé pour l'essai d'uniformité de Z et objet utilisé pour l'essai des artéfacts de stries

Les valeurs CT du POM dans les sections recouvertes par différents métaux sont mesurées afin de soumettre à l'essai la cohérence et l'uniformité de l'image du système. Le rapport entre les valeurs CT mesurées dans les sections recouvertes par des métaux et les valeurs mesurées dans la zone non recouverte de métal est également consigné. Toutes les étapes de cette procédure doivent être effectuées comme décrit pour chaque spectre énergétique des rayons X.

- a) Dans l'image $I(x,y,z)$, désigner un sous-volume qui isole la partie de l'objet d'essai utilisée pour la mesure de l'uniformité. Le sous-volume est défini par la première coupe k_{start} et la dernière coupe k_{end} .
- b) Identifier les coupes qui traversent le centre des bandes d'aluminium, de cuivre, d'étain et de plomb ainsi que celles qui traversent le POM seul comme suit:
 - 1) La coupe la plus au centre de chaque section métallique est définie comme k_c .
 - 2) La coupe choisie en dehors de la section métallique est désignée par k_o .
- c) Calculer le centre de la coupe transversale de l'objet d'essai dans chaque coupe k_c .
- d) Pour chaque section métallique:

- 1) Dans la coupe k_c , définir une ROI en utilisant le plus grand ensemble de voxels entièrement circonscrits dans une ROI de 4 cm par 4 cm centrée à l'intérieur de l'objet d'essai.
 - 2) Calculer la moyenne des valeurs CT dans la ROI.
 - 3) Calculer l'écart-type des valeurs CT dans la ROI.
- e) Calculer la valeur et les statistiques de valeurs CT dans la coupe de la région témoin (CTRL).
- 1) Dans la coupe k_o , définir une ROI en utilisant le plus grand ensemble de voxels entièrement circonscrits dans une ROI de 4 cm × 4 cm centrée à l'intérieur de l'objet d'essai.
 - 2) Calculer la moyenne des valeurs CT dans la ROI.
 - 3) Calculer l'écart-type des valeurs CT dans la ROI.
- f) Calculer le rapport entre la valeur CT moyenne mesurée dans chaque section métallique et la valeur CT moyenne mesurée dans la région témoin.
- g) Calculer le rapport entre l'écart-type de la valeur CT mesurée dans chaque section métallique et l'écart-type de la valeur CT mesurée dans la région témoin.
- h) Dans la coupe k_c correspondant à l'aluminium, rechercher l'ensemble de voxels se trouvant dans la bande d'aluminium. Choisir les voxels qui comprennent le plus grand ensemble de voxels entièrement circonscrits entre deux cercles centrés sur l'objet d'essai. Les rayons des cercles doivent être égaux aux rayons intérieur et extérieur de la bande d'aluminium.
- i) Calculer la moyenne et l'écart-type des valeurs CT sur les voxels appartenant à l'aluminium.

NOTE Ces statistiques convolvent les performances d'imagerie globales du système, y compris le bruit, les artefacts de tuile, etc.

4.8.4 Présentation des résultats

Les résultats de l'essai d'uniformité des valeurs CT sont récapitulés et consignés conformément au Tableau 3.

Le tableau répertorie les résultats obtenus pour l'uniformité des valeurs CT du POM dans la région située en dehors des sections métalliques (CTRL), dans chacune des régions POM recouvertes de métal et dans la bande d'aluminium, pour chaque spectre énergétique des rayons X. La moyenne et l'écart-type sont indiqués.

Tableau 3 – Résultats de l'uniformité des valeurs CT

			Mesures absolues		Mesures par rapport aux valeurs témoins (CTRL)	
			MOYENNE	ÉCART-TYPE	MOYENNE	ÉCART-TYPE
Uniformité des valeurs CT	POM	CTRL	mm,mm	$\sigma\sigma, \sigma\sigma$	1	1
		Al	mm,mm	$\sigma\sigma, \sigma\sigma$	mm,mm	$\sigma\sigma, \sigma\sigma$
		Cu	mm,mm	$\sigma\sigma, \sigma\sigma$	mm,mm	$\sigma\sigma, \sigma\sigma$
		Sn	mm,mm	$\sigma\sigma, \sigma\sigma$	mm,mm	$\sigma\sigma, \sigma\sigma$
		Pb	mm,mm	$\sigma\sigma, \sigma\sigma$	mm,mm	$\sigma\sigma, \sigma\sigma$
	Aluminium	Valeur CT de la bande	mm,mm	$\sigma\sigma, \sigma\sigma$	n/a	n/a

4.9 Artéfacts de stries

4.9.1 Objet

Des métaux sont fréquemment détectés dans les bagages analysés, et leur présence produit des stries sur les images. Cette procédure mesure la quantité de stries produites par des broches métalliques dans un objet en matière plastique.

4.9.2 Description de l'objet d'essai

L'objet d'essai est représenté à la Figure 11. L'objet d'essai est divisé en deux sections: une section permet d'évaluer l'uniformité des valeurs CT et la cohérence du spectre énergétique des rayons X, l'autre section permet de pour mesurer les artéfacts de stries. La section de stries de l'objet d'essai se compose de broches en alliage de tungstène insérées dans quatre trous percés le long de l'axe du cylindre.

4.9.3 Méthode d'essai

Les artéfacts de stries sont évalués en mesurant la valeur CT du POM dans une ROI au niveau de la coupe, où sont insérés les fils de tungstène. Dans la même coupe, la variation des valeurs CT sur les profils diagonaux à mi-chemin entre les inserts de tungstène est également mesurée. Les mêmes mesures sont effectuées dans la zone exempte de broches métalliques afin de produire des mesures "témoins".

- Repérer la coupe la plus au centre k_{STR} (par rapport aux broches de tungstène) pour les mesures des artéfacts de stries (STR).
- Repérer la coupe la plus au centre k_{CTRL} pour la mesure témoin (CTRL).
- Pour les mesures des artéfacts de stries, effectuer les calculs suivants dans la coupe k_{STR} :
 - Trouver le centre et le rayon de l'objet d'essai dans la coupe.
 - Définir l'ensemble des voxels entièrement circonscrits dans un cercle centré sur l'objet d'essai dont le rayon est égal à la tige en POM.
 - Rechercher les broches métalliques en utilisant un seuil approprié.
 - Définir deux lignes, L1 et L2, traversant les points médians entre les broches voisines:
 - L1: ligne traversant le point médian entre les broches n° 1 et n° 2 et traversant le point médian entre les broches n° 3 et n° 4 (voir Figure 12);
 - L2: ligne traversant le point médian entre les broches n° 1 et n° 3 et traversant le point médian entre les broches n° 2 et n° 4 (voir Figure 12).

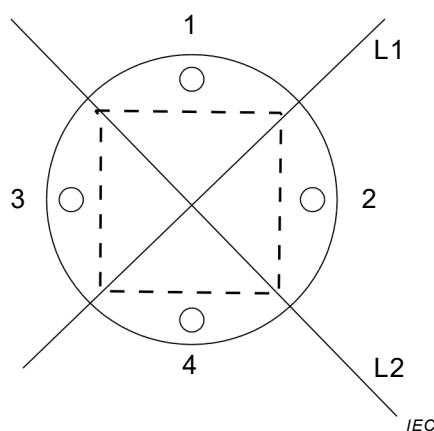


Figure 12 – Broches dans la coupe axiale de l'objet d'essai (grand cercle), points médians entre les paires de broches voisines (petits cercles), lignes tracées et ROI rectangulaire

- 5) Identifier l'ensemble de voxels P dont les limites traversent ou touchent la ligne $L1$ ou $L2$ à l'intérieur de l'objet d'essai.
- 6) Calculer les statistiques des valeurs CT sur les stries de la ligne.
 - i) Calculer la valeur CT moyenne des voxels se trouvant à l'intérieur de P .
 - ii) Calculer l'écart-type des valeurs CT des voxels se trouvant à l'intérieur de P .
 - iii) Calculer la variation crête à crête des valeurs CT des voxels se trouvant à l'intérieur de P .
- 7) Calculer les statistiques des valeurs CT sur les stries de la région pour une ROI définie en utilisant le plus grand ensemble de voxels entièrement circonscrits dans une ROI carrée de $4\text{ cm} \times 4\text{ cm}$ centrée à l'intérieur de l'objet d'essai.
 - i) Calculer la valeur CT moyenne des voxels se trouvant à l'intérieur de la ROI.
 - ii) Calculer l'écart-type des valeurs CT des voxels se trouvant à l'intérieur de la ROI.
 - iii) Calculer la variation crête à crête des voxels se trouvant à l'intérieur de la ROI.
- d) Pour la coupe CTRL, effectuer les calculs suivants pour la coupe k_{CTRL} .
 - 1) Trouver le centre et le rayon de l'objet d'essai.
 - 2) Définir l'ensemble des voxels entièrement circonscrits dans un cercle centré sur l'objet d'essai dont le rayon est égal à la tige en POM.
 - 3) Définir deux lignes, $L1$ et $L2$, traversant le centre de gravité de l'objet d'essai à $+45^\circ$ et -45° par rapport à l'axe y .
 - 4) Identifier l'ensemble de voxels P dont les limites traversent ou touchent la ligne $L1$ ou $L2$ à l'intérieur de l'objet d'essai.
 - 5) Calculer les statistiques des valeurs CT de la coupe CTRL.
 - i) Calculer la valeur CT moyenne des voxels se trouvant à l'intérieur de P .
 - ii) Calculer l'écart-type des valeurs CT des voxels se trouvant à l'intérieur de P .
 - iii) Calculer la variation crête à crête des valeurs CT des voxels se trouvant à l'intérieur de P .
 - 6) Calculer les statistiques des valeurs CT de la coupe CTRL pour une ROI définie en utilisant le plus grand ensemble de voxels entièrement circonscrits dans une ROI carrée de $4\text{ cm} \times 4\text{ cm}$ centrée à l'intérieur de l'objet d'essai.
 - i) Calculer la valeur CT moyenne des voxels se trouvant à l'intérieur de la ROI.
 - ii) Calculer l'écart-type des valeurs CT des voxels se trouvant à l'intérieur de la ROI.
 - iii) Calculer la variation crête à crête des valeurs CT des voxels se trouvant à l'intérieur de la ROI.

4.9.4 Présentation des résultats

Consigner les résultats des artéfacts de stries obtenus dans la coupe, où se trouvent les broches métalliques, ainsi que dans la zone témoin (CTRL). Les mesures relevées dans la ROI rectangulaire et le long des lignes coupant l'objet d'essai doivent également être consignées. La valeur moyenne, l'écart-type et la variation crête à crête doivent être consignés.

Comme indiqué au Tableau 4, les valeurs absolues des mesures doivent être consignées tout comme leurs valeurs par rapport aux valeurs CTRL (la zone en POM sans broches utilisée pour l'essai des artéfacts de stries).

Tableau 4 – Résultats de la procédure d'évaluation des artefacts de stries

Résultats de l'évaluation des artefacts de stries		Mesures absolues				Mesures par rapport aux valeurs CTRL			
		MOYENNE	ÉCART - TYPE	ÉCART-TYPE / MOYENNE	(Max – Min)/ Moyenne	MOYENNE	ÉCART - TYPE	ÉCART-TYPE / MOYENNE	(Max – Min)/ Moyenne
CTRL	Ligne	mm,mm	$\sigma\sigma,\sigma\sigma$	nn,nn	pp,pp	1	1	1	1
	Région	mm,mm	$\sigma\sigma,\sigma\sigma$	nn,nn	pp,pp	1	1	1	1
Zone de broches	Ligne	mm,mm	$\sigma\sigma,\sigma\sigma$	nn,nn	pp,pp	mm,mm	$\sigma\sigma,\sigma\sigma$	nn,nn	pp,pp
	Région	mm,mm	$\sigma\sigma,\sigma\sigma$	nn,nn	pp,pp	mm,mm	$\sigma\sigma,\sigma\sigma$	nn,nn	pp,pp

4.10 Profil de sensibilité de la coupe (SSP)

4.10.1 Objet

Cet essai évalue la résolution dans la direction de la coupe en analysant les valeurs CT dans les coupes coronales à travers le centre de l'objet d'essai oblique SSP, monté dans l'article d'essai à un angle de $5^\circ \pm 0,5^\circ$ perpendiculairement à l'axe long de l'article d'essai.

L'analyse utilisant des images achromatiques est similaire à la procédure décrite dans l'ASTM E1695 et consiste à mesurer la résolution en utilisant le profil de sensibilité de la coupe déduit de la variation des valeurs CT sur le bord oblique de l'objet d'essai.

4.10.2 Description de l'objet d'essai

L'objet d'essai utilisé pour cette évaluation est un bloc rectangulaire en POM de dimensions $411,5 \times 35 \times 24 \text{ mm}^3$ (voir Figure 13).

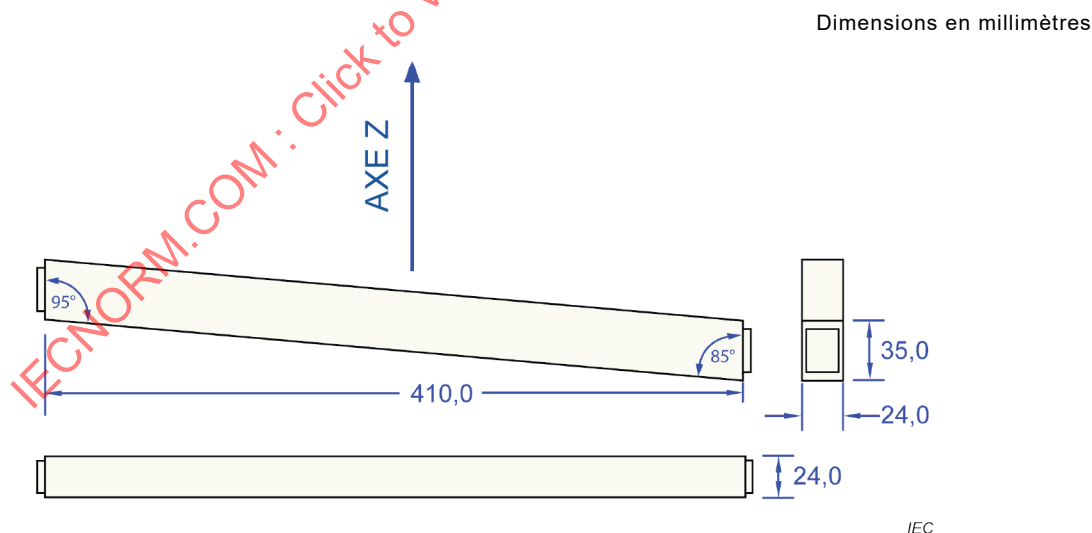


Figure 13 – Objet d'essai oblique utilisé pour mesurer la résolution z

4.10.3 Méthode d'essai

Les images tridimensionnelles acquises sont analysées pour générer le profil de sensibilité de la coupe comme suit:

- Repérer l'objet d'essai et désigner une ROI sous la forme d'un volume rectangulaire droit, $I(x,y,z)$, contenant le bord d'attaque, le bord de fuite et les faces inférieure et supérieure de l'objet d'essai, mais sans ses faces latérales.

- b) Générer une image coronale $I_c(x,z)$ de l'objet d'essai en additionnant toutes les valeurs CT contenues dans la ROI le long de l'axe y (en utilisant le formalisme décrit au 4.4.3b). L'image coronale est orientée de telle sorte que chaque ligne horizontale soit spécifiée par une valeur x différente.
- c) Calculer l'axe central de l'objet d'essai.
- 1) Calculer un centre de gravité, com_x , pour chaque ligne (en z) contenue dans la ROI, comme indiqué dans la formule suivante:

$$com_x = \frac{\sum_{z=0}^{z_{max}} z \times I_c(x, z)}{\sum_{z=0}^{z_{max}} I_c(x, z)}$$

où:

x est la coordonnée x de la ligne;

z_{max} est la valeur z maximale de la ROI.

- 2) Tracer une ligne dans le plan x-z jusqu'à l'ensemble de tous les com_x .
- d) Pour chaque ligne contenue dans la ROI, calculer la fonction de dispersion des bords comme suit:
- 1) Calculer la distance z de chaque pixel dans la ROI par rapport à l'axe central.
- 2) Pour chaque ligne, mettre à l'échelle les valeurs de pixel par la valeur CT maximale mesurée dans la ROI pour compenser les effets de durcissement du faisceau et de dispersion.
- 3) Générer un tableau de toutes les valeurs de pixel dans la ROI, dans l'ordre de leur distance par rapport à l'axe central.
- 4) En utilisant les méthodes spécifiées dans l'ASTM E1695 à partir du 7.1.1.5 et en poursuivant jusqu'au 7.1.3.3, générer la fonction de réponse des bords, la fonction de dispersion des points et la fonction de transfert de modulation à l'aide d'images achromatiques.

4.10.4 Présentation des résultats

Les valeurs du SSP doivent être données sous forme de nombres dans un tableau (voir Tableau 5) reflétant l'amplitude de la MTF à différentes fréquences spatiales. Le SSP doit être consigné à intervalles de $0,5 \text{ cm}^{-1}$ en commençant à $0,5 \text{ cm}^{-1}$ et en poursuivant jusqu'au premier intervalle au-delà de la fréquence à laquelle le SSP est inférieur à 0,2.

Tableau 5 – Résultats de la procédure d'évaluation du SSP

Fréquence cm^{-1}	SSP
0,5	0,xxx
1,0	0,yyy
1,5	0,zzz
⋮	⋮
$f_{\max}$	(<0,200)

4.11 Recalage des images

4.11.1 Objet

Certains systèmes de sécurité reposant sur la tomographie par ordinateur (CT) sont constitués de plusieurs sous-systèmes d'imagerie. Les données recueillies par les sous-systèmes sont combinées de manière à produire et/ou afficher un résultat final. Il est important de s'assurer que les données des différents sous-systèmes sont corrélées dans

l'espace le long de l'axe z par rapport au cadre de référence de l'article inspecté. Cette corrélation est couramment appelée "recalage des images".

Cette procédure mesure le degré de corrélation entre deux sous-systèmes. Elle s'applique également à des systèmes comprenant un seul sous-système d'imagerie qui produit plusieurs séquences de collecte de données pour le sac ou l'objet soumis à inspection. Il n'est pas nécessaire d'exécuter cette procédure pour les systèmes qui produisent plusieurs images, mais qui n'utilisent qu'un seul sous-système d'imagerie et une seule séquence de collecte de données.

4.11.2 Description de l'objet d'essai

L'objet d'essai de recalage est conçu de telle sorte:

- qu'il puisse être identifié aussi bien dans les coupes CT que dans les images de projection;
- que sa position puisse être mesurée avec exactitude dans une image de projection par rayons X;
- que la position z d'une coupe CT par rapport à l'objet d'essai puisse être mesurée avec exactitude.

La Figure 14 représente l'objet d'essai de recalage vu du dessus (sans mise à l'échelle). Les parties inférieure et supérieure de l'objet d'essai sont en POM pour des questions de rigidité. Les côtés et la section diagonale sont également en POM. L'avant et l'arrière de l'objet sont en aluminium, un matériau choisi pour sa capacité à produire un excellent contraste dans une image de projection.

Dimensions en millimètres

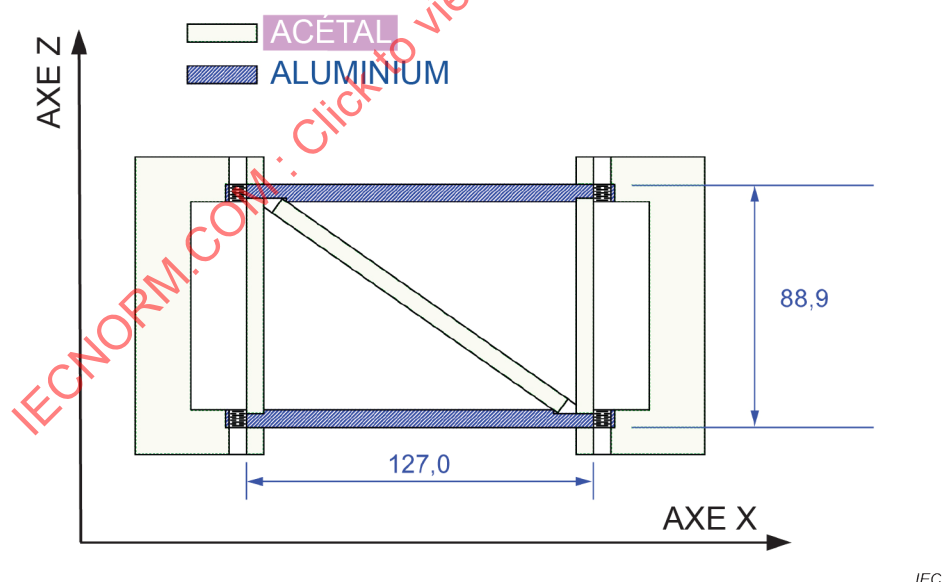


Figure 14 – Objet d'essai de recalage (sans mise à l'échelle)

4.11.3 Méthode d'essai

4.11.3.1 Généralités

La méthode de recalage des images se déroule en plusieurs étapes:

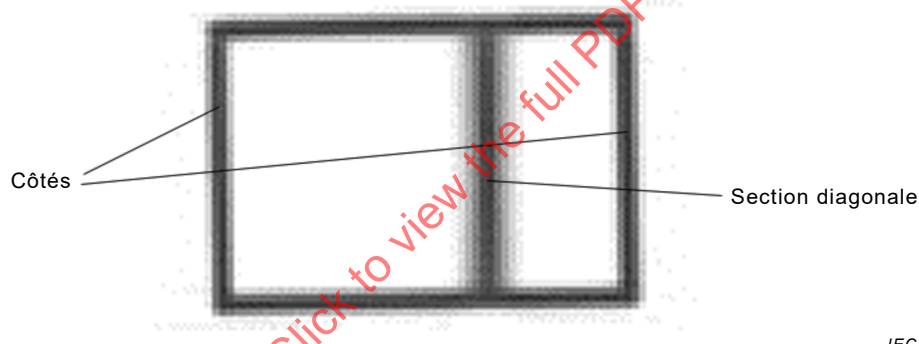
- acquisition des images normalement utilisées en détection automatisée;

- b) définition dans chaque image d'une région d'intérêt contenant uniquement l'objet d'essai de recalage;
- c) mesure de la position de l'objet d'essai dans la direction z dans chaque image;
- d) calcul de l'exactitude du recalage, qui correspond à la différence entre les mesures de la position de l'axe z dans chaque image.

4.11.3.2 Mesure de la position de l'objet d'essai à l'aide d'une coupe CT

La procédure de repérage de l'objet d'essai dans une coupe CT utilise la nature de l'intersection des trois parois en plastique avec le plan de coupe. Si la coupe est prise au centre de l'objet, à l'intersection du centre, la paroi diagonale doit être équidistante par rapport aux parois latérales. Pour les coupes décentrées, la paroi centrale doit être proportionnellement déplacée vers un côté ou l'autre. En mesurant le niveau de déplacement, l'emplacement exact de la coupe par rapport au centre de l'objet peut être calculé.

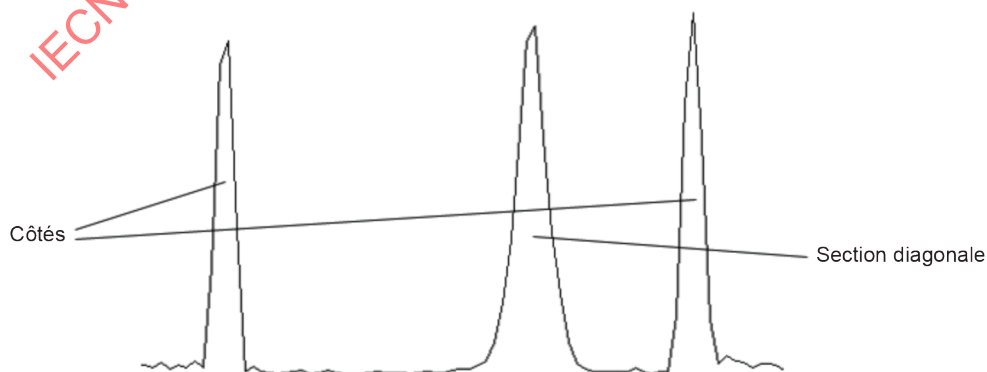
- a) Choisir une coupe CT (plan x-y) traversant l'objet d'essai à moins de 20 mm de son centre. L'exemple donné à la Figure 15 montre une partie d'une coupe CT contenant l'objet de l'essai, légèrement décentré dans l'axe z.
- b) Désigner dans la coupe une région d'intérêt (ROI) contenant les parois latérales en plastique plus au moins une couche de voxels d'air, mais qui exclut les plaques d'aluminium et tout autre objet d'essai.



IEC

Figure 15 – Image CT de l'objet d'essai de recalage, plan de coupe 1

- c) Dans la ROI, choisir la ligne horizontale (dans la direction de l'axe x) la plus proche du centre de l'objet d'essai et examiner le profil de la ligne (comme indiqué à la Figure 16). Définir un *seuil* égal à 20 % de la valeur maximale sur cette ligne.



IEC

Figure 16 – Profil de la ligne horizontale à travers la coupe CT de l'objet d'essai de recalage

- d) Pour chaque ligne horizontale contenue dans la ROI, examiner le profil de la ligne et rechercher toutes les valeurs maximales locales:
- 1) En commençant par une extrémité de la ligne, rechercher le premier point dépassant le *seuil*. Définir *edge1* comme étant égal à l'emplacement de ce point.
 - 2) En continuant dans la même direction, trouver le dernier point consécutif après *edge1* qui est supérieur au *seuil* et définir *edge2* comme étant égal à cet emplacement.
 - 3) Si *edge1* ou *edge2* n'est pas trouvé avant d'atteindre l'extrémité de la ligne, aucune valeur maximale locale n'est alors détectée.
 - 4) Calculer la position de la crête en fonction de son centre de gravité, selon la formule suivante:

$$position = \frac{\sum_{j=edge1}^{edge2} j \times f(j)}{\sum_{j=edge1}^{edge2} f(j)}$$

où

$f(j)$ est la valeur du profil de la ligne à l'emplacement j .

- 5) Continuer de traiter la ligne jusqu'à obtention de toutes les valeurs maximales locales.
- e) Pour chaque ligne horizontale, s'il y a exactement trois crêtes et si la distance entre la première crête et la dernière crête est inférieure ou égale à 5 % de la largeur de l'objet d'essai, choisir cette ligne. Sinon, ne pas tenir compte de la ligne dans le calcul.
- f) Calculer la position moyenne de la première crête, de la crête médiane et de la dernière crête pour l'ensemble des lignes choisies ($pLeft$, $pRight$ et $pCenter$, respectivement, en mm).
- g) Calculer la position de la coupe par rapport au centre de l'objet d'essai, selon la formule suivante:

$$z_{rel} = z_{length} \cdot \left(-0,5 + \frac{pCenter - pLeft}{pRight - pLeft} \right)$$

où:

z_{length} est la distance en mm entre les intersections de l'axe central du segment diagonal et des axes centraux des deux côtés verticaux en acétal de l'objet d'essai (spécifiés dans le schéma de l'article d'essai à l'Annexe A);

z_{rel} est la distance en mm de la coupe par rapport au centre de l'objet d'essai;

- h) Calculer z_{CT} , la position du centre de l'objet d'essai de recalage telle qu'elle a été mesurée avec les coupes CT, selon la formule suivante:

$$Z_{CT} = Z_{Slice} + Z_{rel}$$

où:

z_{Slice} est la coordonnée z , en mm, de la coupe utilisée pour l'analyse dans le cadre CT de référence.

4.11.3.3 Mesure de la position de l'objet d'essai à l'aide d'une image de projection

La procédure de détermination de la position de l'objet d'essai dans une image de projection utilise les plaques d'aluminium sur le bord d'attaque et sur le bord de fuite de l'objet. Dans une image de projection créée avec des réseaux linéaires de détecteurs dans le sens du mouvement de la bande, ces plaques doivent s'aligner avec le plan de la source/du détecteur afin de créer une grande crête d'atténuation pointue. Le centre de l'objet dans l'image peut être calculé en recherchant les deux crêtes.

- a) Définir, dans l'image de projection, une ROI contenant l'intégralité de l'objet d'essai ainsi qu'un tampon de "voxels d'air" dans le sens de l'axe z et dans la zone centrale représentant les 80 % de l'objet dans le sens de l'axe x .

- b) Choisir une ligne verticale (dans le sens de l'axe z). La Figure 17 représente une image de projection de l'objet d'essai ainsi qu'un profil de ligne tracé dans le sens de l'axe z. Définir un seuil égal à 20 % de la valeur maximale sur cette ligne.

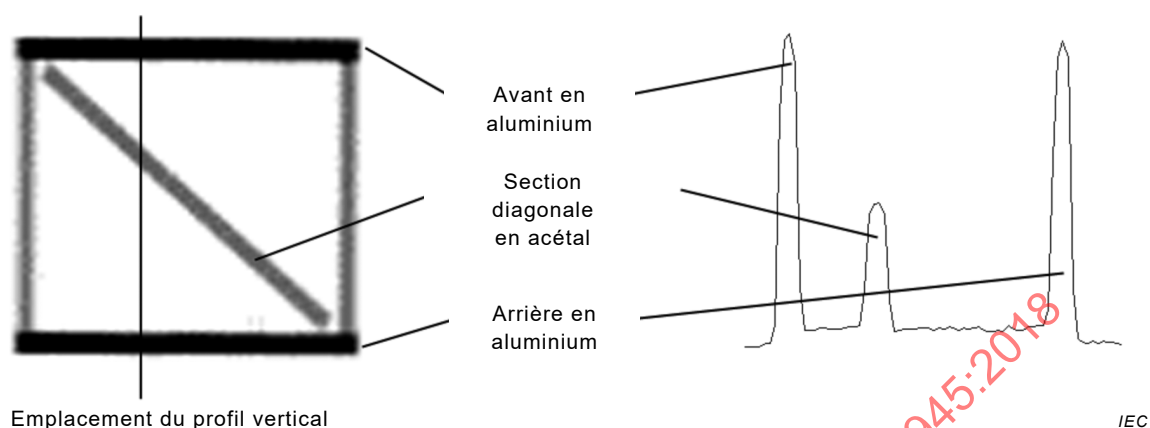


Figure 17 – Image de projection de l'objet d'essai de recalage et du profil vertical à travers l'image

- c) Pour chaque ligne verticale contenue dans la ROI, examiner le profil de la ligne et rechercher toutes les valeurs maximales locales en suivant la même méthode que celle décrite au 4.11.3.1.
- d) Pour chaque ligne verticale, s'il y a au moins deux crêtes et si la distance entre la première crête et la dernière crête est inférieure ou égale à 5 % de la longueur de l'objet d'essai, choisir cette ligne. Sinon, ne pas tenir compte de la ligne dans le calcul.
- e) Calculer la position moyenne de la première crête et de la dernière crête pour l'ensemble de lignes choisies ($pFirst$ et $pLast$, respectivement, en mm).
- f) Calculer la position du centre de l'objet d'essai dans l'image de projection, selon la formule suivante:

$$Z_{SP} = \frac{1}{2}(pFirst + pLast)$$

4.11.4 Présentation des résultats

Le résultat consigné doit correspondre à la différence entre l'emplacement du centre de l'objet d'essai dans chaque image utilisée par le système. Si le système utilise seulement deux sous-systèmes d'imagerie, les résultats doivent être consignés sous la forme d'un nombre signé unique, être associés à une "Erreur de recalage" et être consignés en mm sous forme d'une valeur à une décimale comme suit:

Erreur de recalage x,x mm

Si le système utilise plus de deux sous-systèmes d'imagerie, les résultats doivent être consignés dans un tableau indiquant les différences observées sur chaque image par rapport à toutes les autres images. Le rapport doit également mentionner séparément la différence maximale.

5 Exigences d'environnement

Ces essais doivent être réalisés dans des conditions de température ambiante de $23\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ et d'humidité ambiante sans condensation. La température et l'humidité relative doivent être consignées avec les résultats d'essai.

Si le système doit être utilisé en dehors des conditions environnementales spécifiées ci-dessus, il convient que l'utilisateur écarte l'hypothèse que les indicateurs de performances de qualité d'image déclarés équivalent à ceux déclarés dans des conditions ambiantes. L'utilisateur peut être libre d'exiger des essais en dehors des conditions ambiantes ou de demander une analyse d'ingénierie afin d'évaluer les performances sur le terrain.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62945:2018

Annexe A (normative)

Spécifications et schémas détaillés de l'article d'essai

A.1 Généralités

La présente annexe fournit les spécifications de matériaux et les schémas des objets d'essai, ainsi que les articles d'essai assemblés nécessaires pour fabriquer les articles d'essai conformes à l'utilisation du présent document.

A.2 Composants du commerce

Outre les matériaux indiqués sur l'ensemble de schémas à l'Article A.4, l'article d'essai assemblé exige les composants répertoriés dans le Tableau A.1.

Tableau A.1 – Feuilles du commerce exigées pour la fabrication d'un objet d'essai aux fins de l'essai d'uniformité des valeurs CT et de l'essai de cohérence du spectre énergétique des rayons X (4.8)

Feuille	Pureté minimale %	Epaisseur mm	Longueur mm	Largeur mm	Quantité
étain	99,9	0,25 ± 0,025	236,3 +0/-0,13	30 +0/-0,13	1
plomb	99,9	0,15 ± 0,015	235,3 +0/-0,13	30 +0/-0,13	1

La spécification complète du copolymère d'acétal (plaque, tige ou barre) utilisé dans la fabrication de chaque objet d'essai est la suivante:

Utiliser un copolymère d'acétal (également appelé acétal, polyoxyméthylène ou POM) conforme aux spécifications de l'ASTM D6100 et à la désignation ci-après: S-POM0211,LP (copolymère, classe sans charge, qualité générale, faible porosité). Ce matériau thermoplastique présente une densité proche de 1,4 g/cm³. Il n'inclut ni charge ni agent antichoc ou autre additif (colorant, fibre, lubrifiant chimique ou métaux lourds). Avant la construction de l'objet d'essai NEQ, le noyau de la tige POM livrée doit être vérifié afin d'évaluer la faible porosité de son axe central selon la procédure spécifiée dans l'ASTM D6100. Il convient que les composants POM soient fabriqués sur des machines utilisées uniquement pour les matières plastiques afin d'éviter toute contamination croisée avec des métaux et huiles de machine.

Le sous-composant en aluminium de l'objet d'essai de recalage des images doit être produit avec de l'aluminium 6061-T651 conformément à la SAE AMS 4027 (plaque), ou un matériau équivalent. La bague en aluminium de l'objet d'essai de recalage des images doit être produite avec de l'aluminium 6061-T651 conformément à la SAE AMS 4027 ou à la SAE AMS 4117 (barre, tiges ou bagues), ou un matériau équivalent.

A.3 Enceinte extérieure

Les articles d'essai décrits dans le présent document peuvent être facilement endommagés. Il est donc important de les protéger dans un boîtier extérieur robuste et approprié. Il convient de choisir l'enceinte en fonction de ses dimensions, de sa robustesse, de sa masse et de sa capacité à atténuer faiblement les faisceaux de rayons X émis par la source CT. Il ne doit contenir aucun composant métallique ou structure importante qui pourrait provoquer des artefacts imprévus dans les images. Il est admis d'utiliser un boîtier disponible dans le commerce et de le modifier en vue d'en éliminer les structures problématiques. Si aucun

boîtier sur mesure n'est fabriqué, les modifications nécessaires peuvent inclure, par exemple, la dépose des poignées, des nervures en plastique et des goupilles de charnières métalliques qui apparaissent sur le volume imagé en même temps que les objets d'essai. Il convient que les objets d'essai et leur structure de support soient solidement soutenus à l'intérieur de l'enceinte de telle sorte qu'ils restent centrés dans la direction x à l'intérieur du boîtier avec une tolérance de ± 2 mm. Cela peut inclure l'utilisation d'une mousse de polyéthylène à alvéoles ouverts et fermés, découpée selon des formes et des épaisseurs appropriées.

Pour préserver la qualité d'image intrinsèque, il est fortement recommandé que le couvercle et le fond de l'enceinte atténuent collectivement moins de 25 % du faisceau sonde, tel que défini par un calcul de l'atténuation linéaire des rayons X selon la loi de Beer à une énergie proche du pic d'intensité dans le spectre incident nominal utilisé (I/I_0), qu'il soit mesuré, modélisé ou estimé. Les coefficients d'atténuation de la masse sont calculés, pour tous les composants constitutifs de l'enceinte, comme étant égaux à la somme des coefficients constitutifs, chacun étant mis à l'échelle par une fraction de masse. Des tabulations des coefficients d'interaction dépendant de l'énergie et de $Z \mu_m$ (en cm^2/g) sont largement disponibles. Si ρ est la densité du matériau de l'enceinte et si t est l'épaisseur de la somme des deux côtés opposés de l'enceinte, alors il est recommandé que:

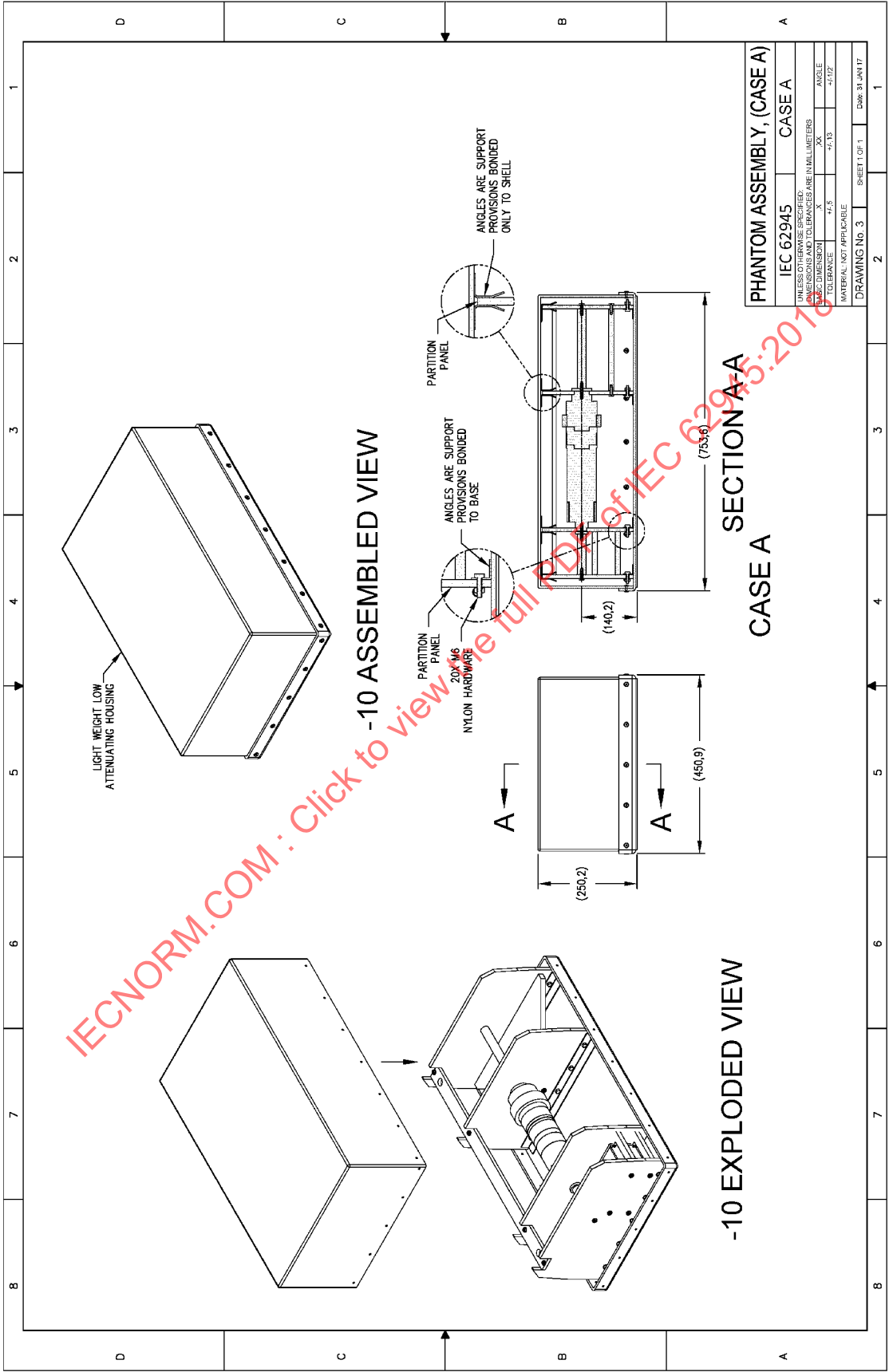
$$I/I_0 \geq 0,75 \text{ où: } I/I_0 = e^{-\mu_m \rho t}$$

Si le matériau d'enceinte choisi est de composition inconnue, I/I_0 peut être évalué expérimentalement en utilisant le spectre du système et un détecteur proportionnel afin d'acquérir les signaux relatifs "avec", I , et "sans", I_0 , l'enceinte vide étant placée dans la trajectoire du faisceau.

Afin de s'assurer que l'article d'essai est orienté sur la bande transporteuse du système de contrôle conformément aux désignations "AVANT" et "HAUT" données dans les Figures 2 et 3, l'extérieur des enceintes enfermant l'article d'essai doit inclure une signalisation du type "Sens de la bande" et "Haut".

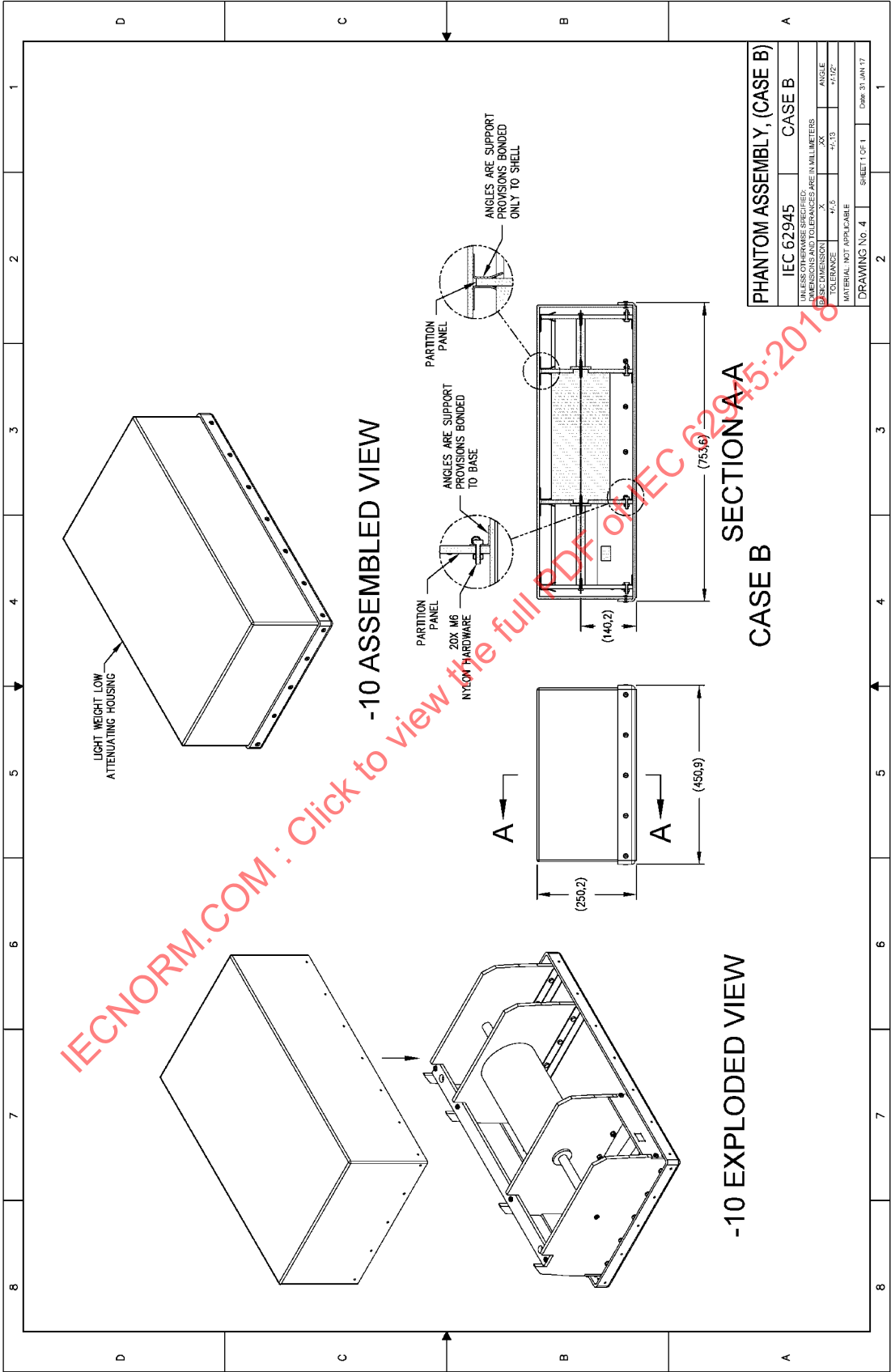
A.4 Schémas détaillés des composants sur mesure

Les schémas détaillés suivants (voir Figures A.1 à A.23) fournissent les informations nécessaires pour construire les différents composants des articles d'essai. L'enceinte extérieure n'est pas normalisée contrairement aux objets d'essai individuels et à la structure de support. L'emplacement des fixations de l'enceinte sur la structure de support, tel qu'il est représenté, peut donc varier en fonction du choix de l'enceinte.



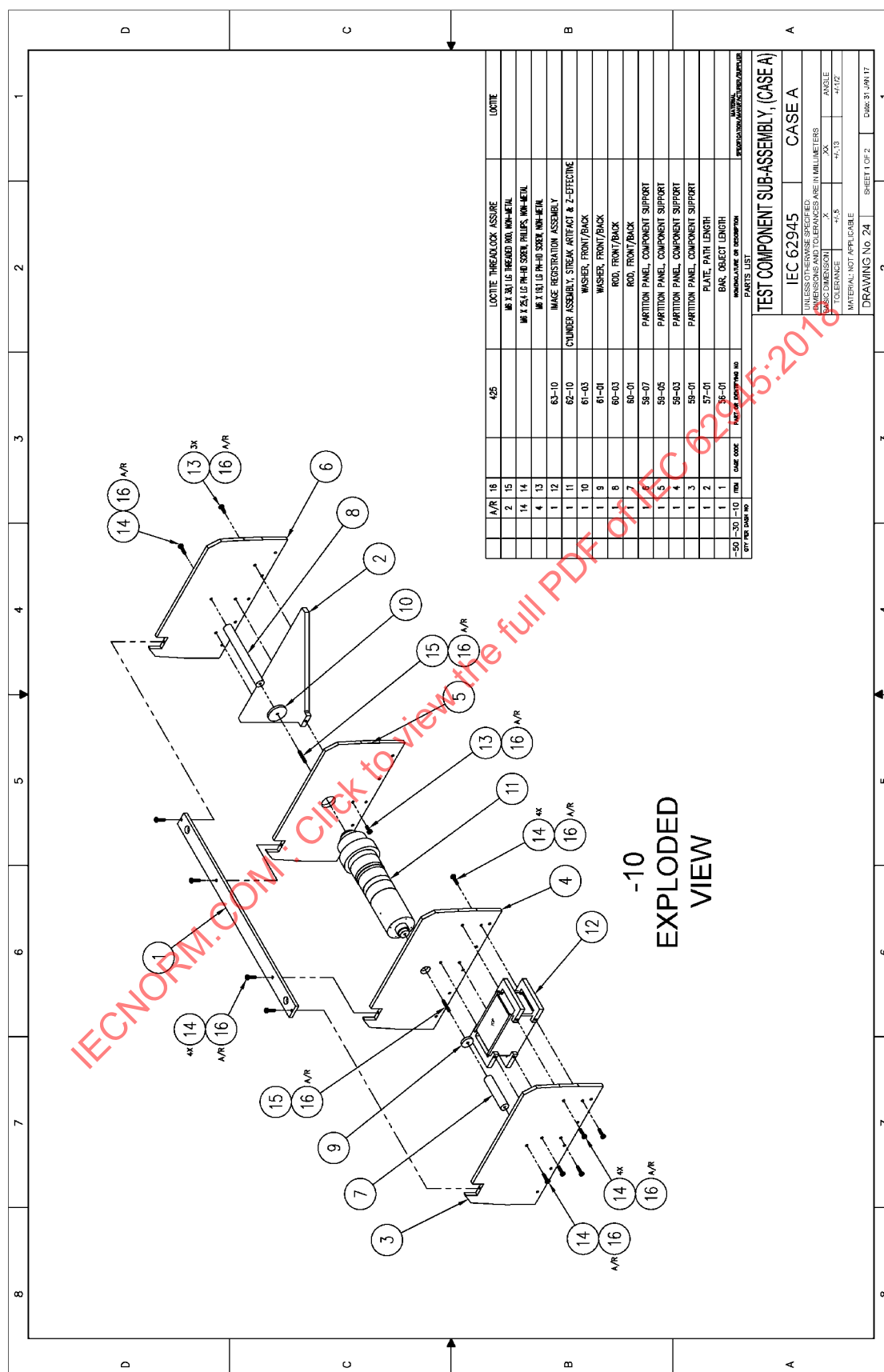
Anglais	Français
LIGHT WEIGHT LOW ATTENUATING HOUSING	BOÎTIER LÉGER À FAIBLE ATTÉNUATION
-10 ASSEMBLED VIEW	-10 VUE ASSEMBLÉE
-10 EXPLODED VIEW	-10 VUE ÉCLATÉE
PARTITION PANEL	PANNEAU DE SÉPARATION
20X M6 NYLON HARDWARE	PIÈCE NYLON 20X M6
ANGLES ARE SUPPORT PROVISIONS BONDED TO BASE	LES ANGLES SONT LES DISPOSITIFS DE SUPPORT LIÉS À LA BASE
ANGLES ARE SUPPORT PROVISIONS BONDED ONLY TO SHELL	LES ANGLES SONT LES DISPOSITIFS DE SUPPORT LIÉS UNIQUEMENT À L'ENVELOPPE
SECTION A-A	COUPE A-A
CASE A	CAS A
PHANTOM ASSEMBLY, (CASE A)	MONTAGE FANTÔME (CAS A)
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONS AND TOLERANCES ARE IN MILLIMETRES	SAUF SPÉCIFICATION CONTRAIRE, LES DIMENSIONS ET LES TOLÉRANCES SONT EXPRIMÉES EN MILLIMÈTRES
BASIC DIMENSION	DIMENSION DE BASE
ANGLE	ANGLE
TOLERANCE	TOLÉRANCE
MATERIAL: NOT APPLICABLE	MATÉRIAU: NON APPLICABLE
DRAWING No. 3	SCHÉMA No. 3
SHEET 1 OF 1	FEUILLE 1 SUR 1

Figure A.1 – Assemblage d'un article d'essai – Cas A



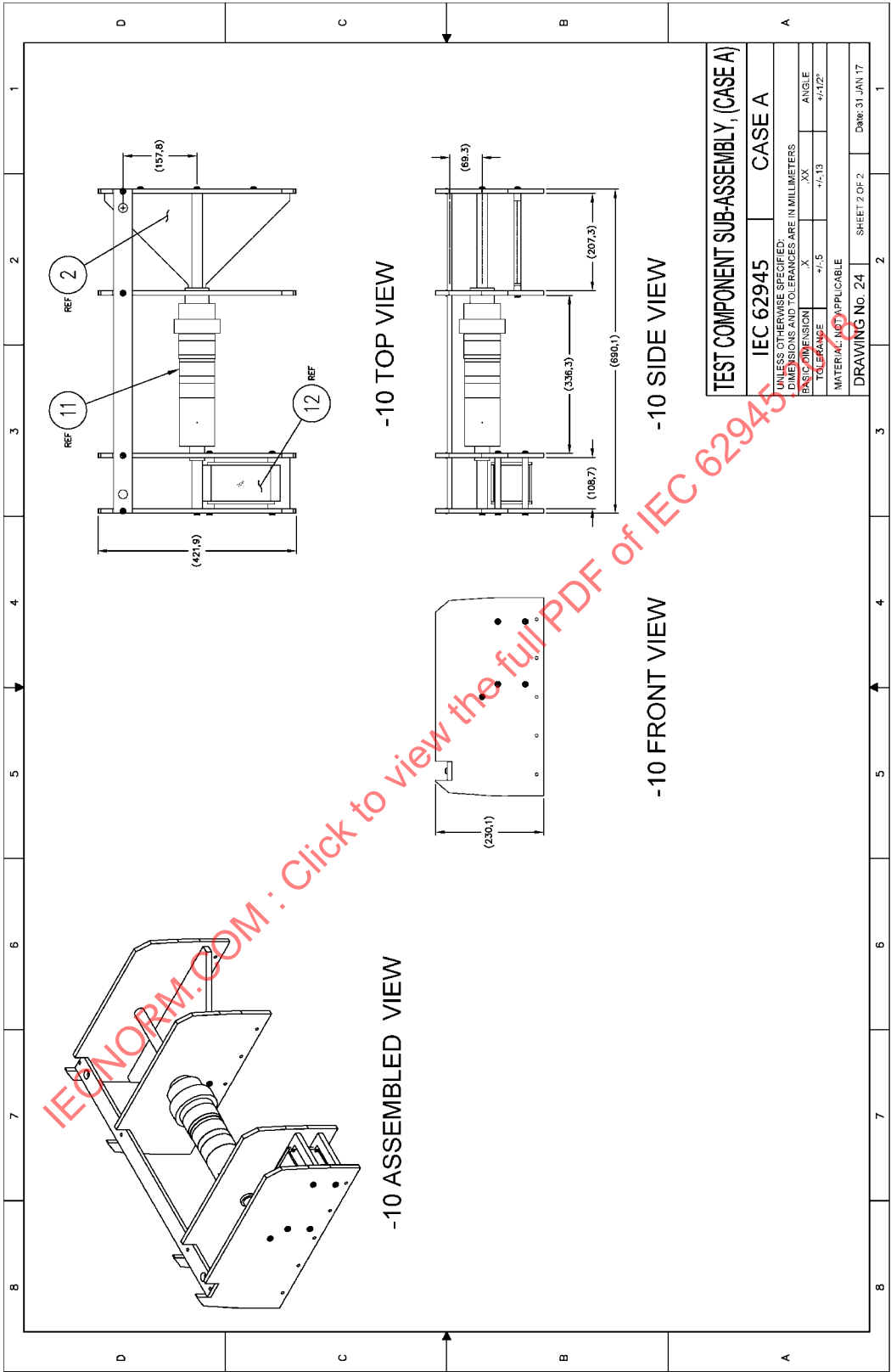
Anglais	Français
LIGHT WEIGHT LOW ATTENUATING HOUSING	BOÎTIER LÉGER À FAIBLE ATTÉNUATION
-10 ASSEMBLED VIEW	-10 VUE ASSEMBLÉE
-10 EXPLODED VIEW	-10 VUE ÉCLATÉE
PARTITION PANEL	PANNEAU DE SÉPARATION
20X M6 NYLON HARDWARE	PIÈCE NYLON 20X M6
ANGLES ARE SUPPORT PROVISIONS BONDED TO BASE	LES ANGLES SONT LES DISPOSITIFS DE SUPPORT LIÉS À LA BASE
ANGLES ARE SUPPORT PROVISIONS BONDED ONLY TO SHELL	LES ANGLES SONT LES DISPOSITIFS DE SUPPORT LIÉS UNIQUEMENT À L'ENVELOPPE
SECTION A-A	COUPE A-A
CASE B	CAS B
PHANTOM ASSEMBLY, (CASE B)	MONTAGE FANTÔME (CAS B)
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONS AND TOLERANCES ARE IN MILLIMETRES	SAUF SPÉCIFICATION CONTRAIRE, LES DIMENSIONS ET LES TOLÉRANCES SONT EXPRIMÉES EN MILLIMÈTRES
BASIC DIMENSION	DIMENSION DE BASE
ANGLE	ANGLE
TOLERANCE	TOLÉRANCE
MATERIAL: NOT APPLICABLE	MATÉRIAU: NON APPLICABLE
DRAWING No. 4	SCHÉMA No. 4
SHEET 1 OF 1	FEUILLE 1 SUR 1

Figure A.2 – Assemblage d'un article d'essai – Cas B



Anglais	Français
-10 EXPLODED VIEW	-10 VUE ÉCLATÉE
LOCTITE THREADLOCK ASSURE	FREIN-FILET LOCTITE
LOCTITE	LOCTITE
M6 X 38,1 LG THREADED ROD, NON-METAL	TIGE FILETÉE LONGUE M6 X 38,1, NON MÉTALLIQUE
M6 X 25,4 LG PAN-HD SCREW, PHILIPS, NON-METAL	VIS LONGUE À TÊTE CYLINDRIQUE À EMPREINTE CRUCIFORME, M6 X 25,4, NON MÉTALLIQUE
M6 X 19,1 LG PAN-HD SCREW, NON-METAL	VIS LONGUE À TÊTE CYLINDRIQUE À EMPREINTE CRUCIFORME, M6 X 19,1, NON MÉTALLIQUE
IMAGE REGISTRATION ASSEMBLY	ASSEMBLAGE DU RECALAGE DES IMAGES
CYLINDER ASSEMBLY, STREAK ARTIFACT & Z-EFFECTIVE	ASSEMBLAGE DU CYLINDRE, ARTÉFACT DE STRIES ET Z_{EFF}
WASHER, FRONT/BACK	RONDELLE, AVANT/ARRIÈRE
ROD, FRONT/BACK	TIGE, AVANT/ARRIÈRE
PARTITION PANEL, COMPONENT SUPPORT	PANNEAU DE SÉPARATION, SUPPORT DES COMPOSANTS
PLATE, PATH LENGTH	PLAQUE, LONGUEUR DE LA TRAJECTOIRE
BAR, OBJECT LENGTH	BARRE, LONGUEUR DE L'OBJET
ITEM	ÉLÉMENT
CASE CODE	CODE DE CAS
PART OR IDENTIFYING NO	PIÈCE OU NUMÉRO D'IDENTIFICATION
NOMENCLATURE OR DESCRIPTION	NOMENCLATURE OU DESCRIPTION
MATERIAL SPECIFICATION/MANUFACTURER/SUPPLIER	SPÉCIFICATION/FABRICANT/FOURNISSEUR DU MATÉRIAU
QTY PER DASH NO	QTÉ PAR N°
PARTS LIST	LISTE DES PIÈCES
TEST COMPONENT SUB-ASSEMBLY, (CASE A)	SOUS-ASSEMBLAGE DES COMPOSANTS D'ESSAI (CAS A)
CASE A	CAS A
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONS AND TOLERANCES ARE IN MILLIMETRES	SAUF SPÉCIFICATION CONTRAIRE, LES DIMENSIONS ET LES TOLÉRANCES SONT EXPRIMÉES EN MILLIMÈTRES
BASIC DIMENSION	DIMENSION DE BASE
ANGLE	ANGLE
TOLERANCE	TOLÉRANCE
MATERIAL: NOT APPLICABLE	MATÉRIAU: NON APPLICABLE
DRAWING No. 24	SCHÉMA No. 24
SHEET 1 OF 2	FEUILLE 1 SUR 2

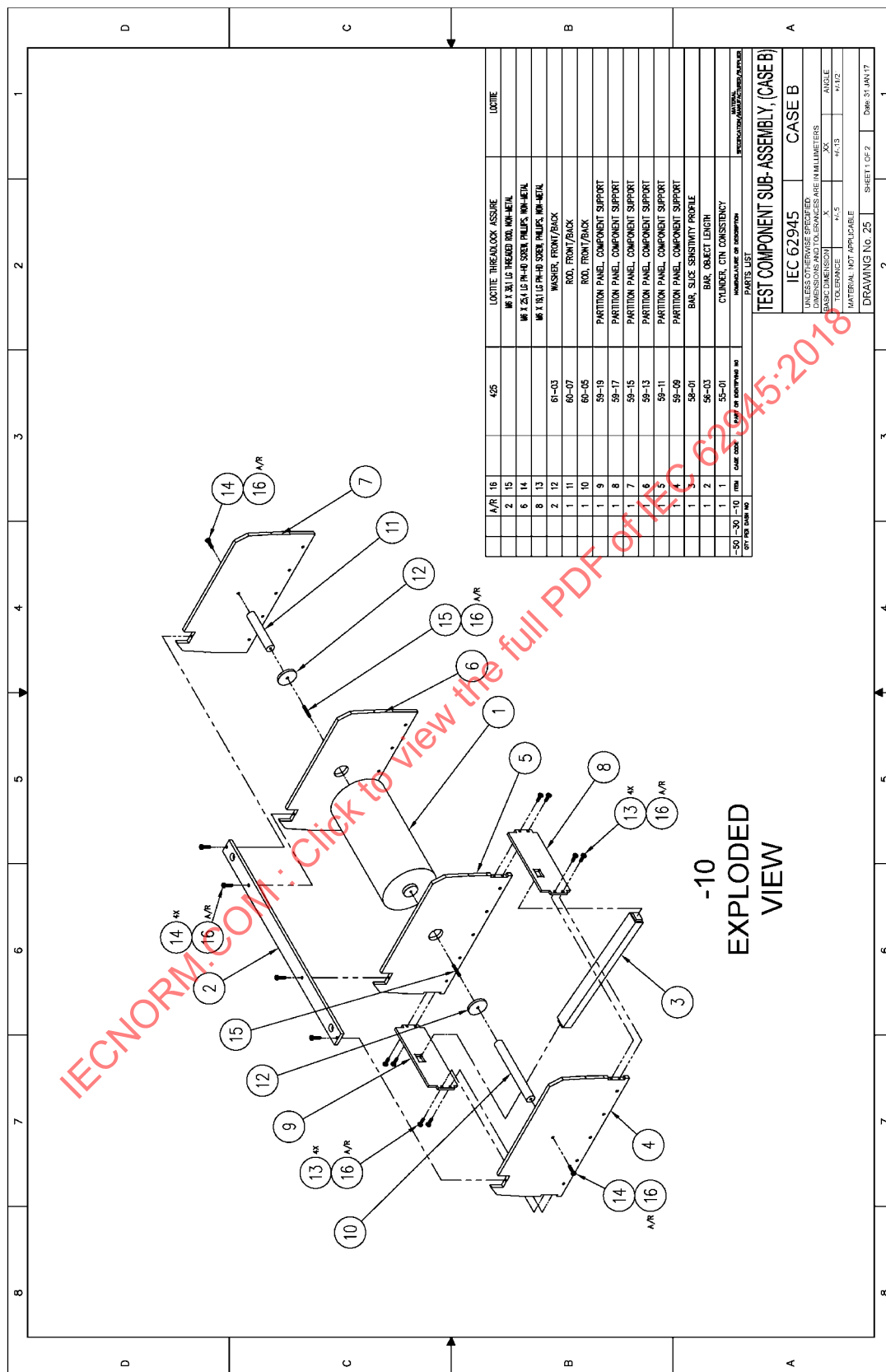
Figure A.3 – Sous-assemblage des composants d'essai de l'article d'essai – Cas A (schéma 1 sur 2)



Anglais	Français
-10 ASSEMBLED VIEW	-10 VUE ASSEMBLÉE
-10 TOP VIEW	-10 VUE DU DESSUS
-10 FRONT VIEW	-10 VUE AVANT
-10 SIDE VIEW	-10 VUE DE CÔTÉ
TEST COMPONENT SUB-ASSEMBLY, (CASE A)	SOUS-ASSEMBLAGE DES COMPOSANTS D'ESSAI (CAS A)
CASE A	CAS A
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONS AND TOLERANCES ARE IN MILLIMETRES	SAUF SPÉCIFICATION CONTRAIRE, LES DIMENSIONS ET LES TOLÉRANCES SONT EXPRIMÉES EN MILLIMÈTRES
BASIC DIMENSION	DIMENSION DE BASE
ANGLE	ANGLE
TOLERANCE	TOLÉRANCE
MATERIAL: NOT APPLICABLE	MATÉRIAU: NON APPLICABLE
DRAWING No. 24	SCHÉMA No. 24
SHEET 2 OF 2	FEUILLE 2 SUR 2

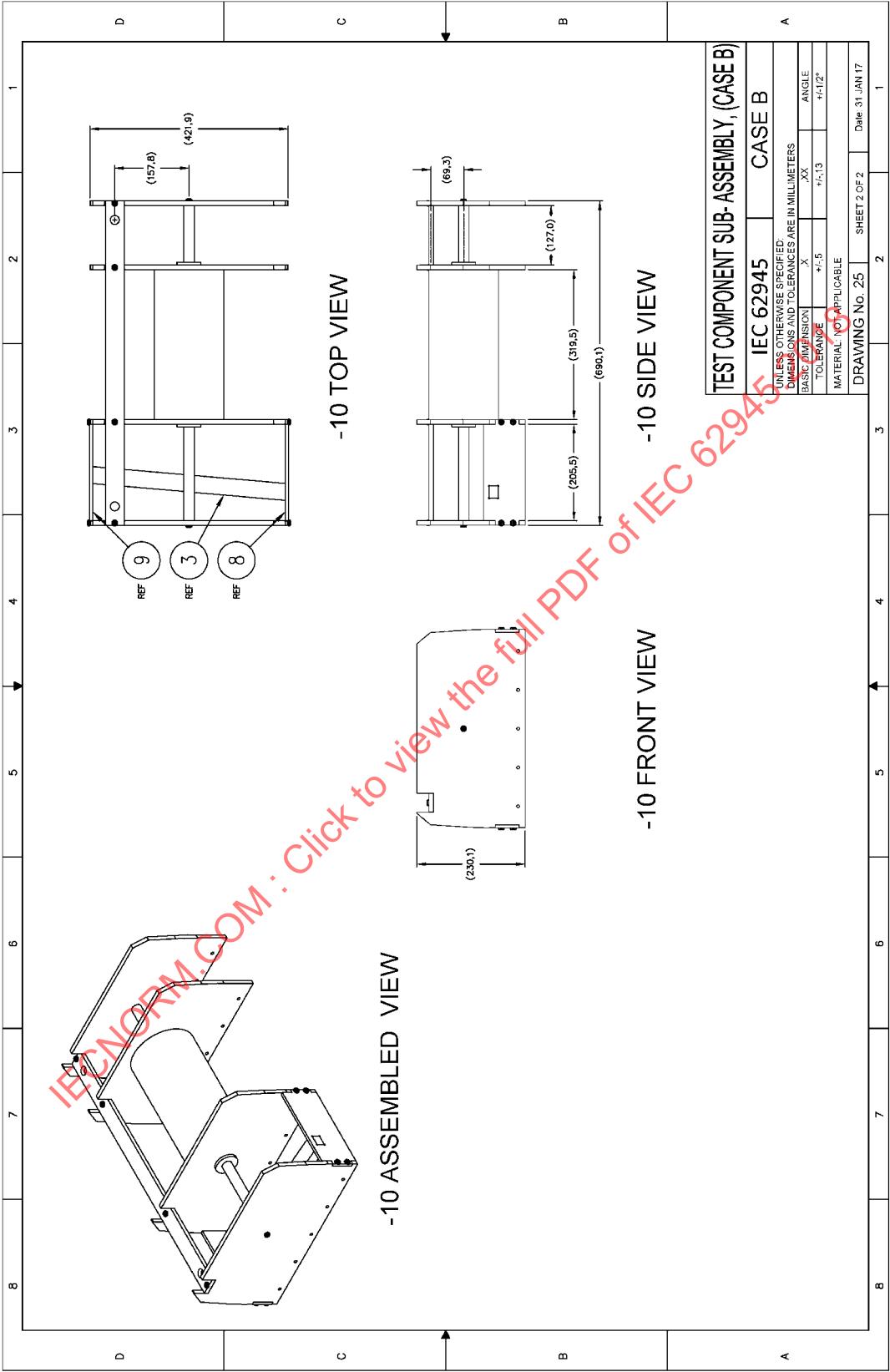
Figure A.4 – Sous-assemblage des composants d'essai de l'article d'essai – Cas A (schéma 2 sur 2)

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62945:2018



Anglais	Français
-10 EXPLODED VIEW	-10 VUE ÉCLATÉE
LOCTITE THREADLOCK ASSURE	FREIN-FILET LOCTITE
LOCTITE	LOCTITE
M6 X 38,1 LG THREADED ROD, NON-METAL	TIGE FILETÉE LONGUE M6 X 38,1, NON MÉTALLIQUE
M6 X 25,4 LG PAN-HD SCREW, PHILIPS, NON-METAL	VIS LONGUE À TÊTE CYLINDRIQUE À EMPREINTE CRUCIFORME, M6 X 25,4, NON MÉTALLIQUE
M6 X 19,1 LG PAN-HD SCREW, NON-METAL	VIS LONGUE À TÊTE CYLINDRIQUE À EMPREINTE CRUCIFORME, M6 X 19,1, NON MÉTALLIQUE
IMAGE REGISTRATION ASSEMBLY	ASSEMBLAGE DU RECALAGE DES IMAGES
CYLINDER ASSEMBLY, STREAK ARTIFACT & Z-EFFECTIVE	ASSEMBLAGE DU CYLINDRE, ARTÉFACT DE STRIES ET Z_{EFF}
WASHER, FRONT/BACK	RONDELLE, AVANT/ARRIÈRE
ROD, FRONT/BACK	TIGE, AVANT/ARRIÈRE
PARTITION PANEL, COMPONENT SUPPORT	PANNEAU DE SÉPARATION, SUPPORT DES COMPOSANTS
BAR, SLICE SENSITIVITY PROFILE	BARRE, PROFIL DE SENSIBILITÉ DE LA COUPE
BAR, OBJECT LENGTH	BARRE, LONGUEUR DE L'OBJET
CYLINDER, CTN CONSISTENCY	CYLINDRE, COHÉRENCE CTN
ITEM	ÉLÉMENT
CASE CODE	CODE DE CAS
PART OR IDENTIFYING NO	PIÈCE OU NUMÉRO D'IDENTIFICATION
NOMENCLATURE OR DESCRIPTION	NOMENCLATURE OU DESCRIPTION
MATERIAL SPECIFICATION/MANUFACTURER/SUPPLIER	SPÉCIFICATION/FABRICANT/FOURNISSEUR DU MATÉRIAU
QTY PER DASH NO	QTÉ PAR N°
PARTS LIST	LISTE DES PIÈCES
TEST COMPONENT SUB-ASSEMBLY, (CASE B)	SOUS-ASSEMBLAGE DES COMPOSANTS D'ESSAI (CAS B)
CASE B	CAS B
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONS AND TOLERANCES ARE IN MILLIMETRES	SAUF SPÉCIFICATION CONTRAIRE, LES DIMENSIONS ET LES TOLÉRANCES SONT EXPRIMÉES EN MILLIMÈTRES
BASIC DIMENSION	DIMENSION DE BASE
ANGLE	ANGLE
TOLERANCE	TOLÉRANCE
MATERIAL: NOT APPLICABLE	MATÉRIAU: NON APPLICABLE
DRAWING No. 25	SCHÉMA No. 25
SHEET 1 OF 2	FEUILLE 1 SUR 2

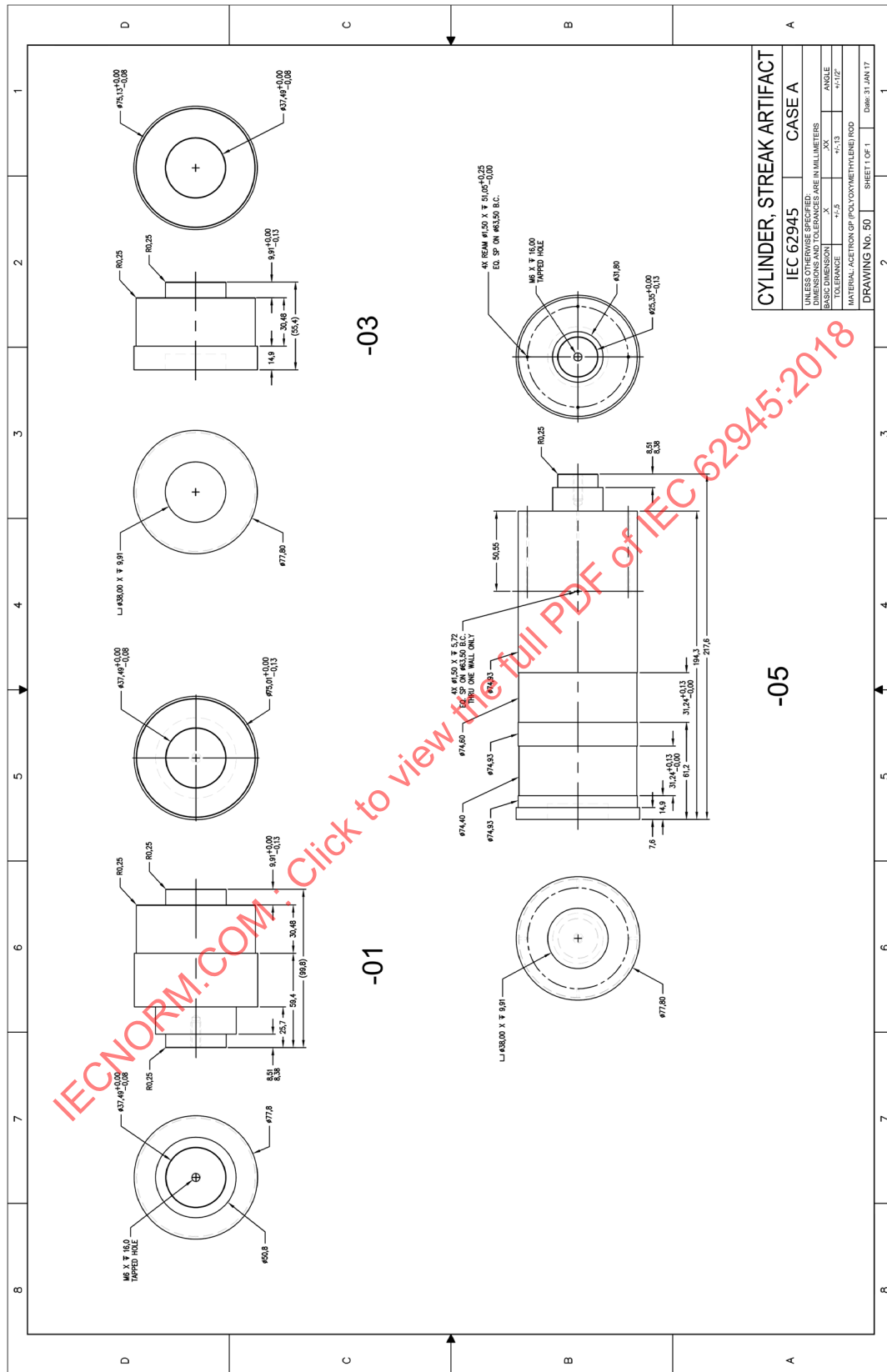
Figure A.5 – Sous-assemblage des composants d'essai de l'article d'essai – Cas B (schéma 1 sur 2)



Anglais	Français
-10 ASSEMBLED VIEW	-10 VUE ASSEMBLÉE
-10 TOP VIEW	-10 VUE DU DESSUS
-10 FRONT VIEW	-10 VUE AVANT
-10 SIDE VIEW	-10 VUE DE CÔTÉ
TEST COMPONENT SUB-ASSEMBLY, (CASE B)	SOUS-ASSEMBLAGE DES COMPOSANTS D'ESSAI (CAS B)
CASE B	CAS B
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONS AND TOLERANCES ARE IN MILLIMETRES	SAUF SPÉCIFICATION CONTRAIRE, LES DIMENSIONS ET LES TOLÉRANCES SONT EXPRIMÉES EN MILLIMÈTRES
BASIC DIMENSION	DIMENSION DE BASE
ANGLE	ANGLE
TOLERANCE	TOLÉRANCE
MATERIAL: NOT APPLICABLE	MATÉRIAU: NON APPLICABLE
DRAWING No. 25	SCHÉMA No. 25
SHEET 2 OF 2	FEUILLE 2 SUR 2

Figure A.6 – Sous-assemblage des composants d'essai de l'article d'essai – Cas B (schéma 2 sur 2)

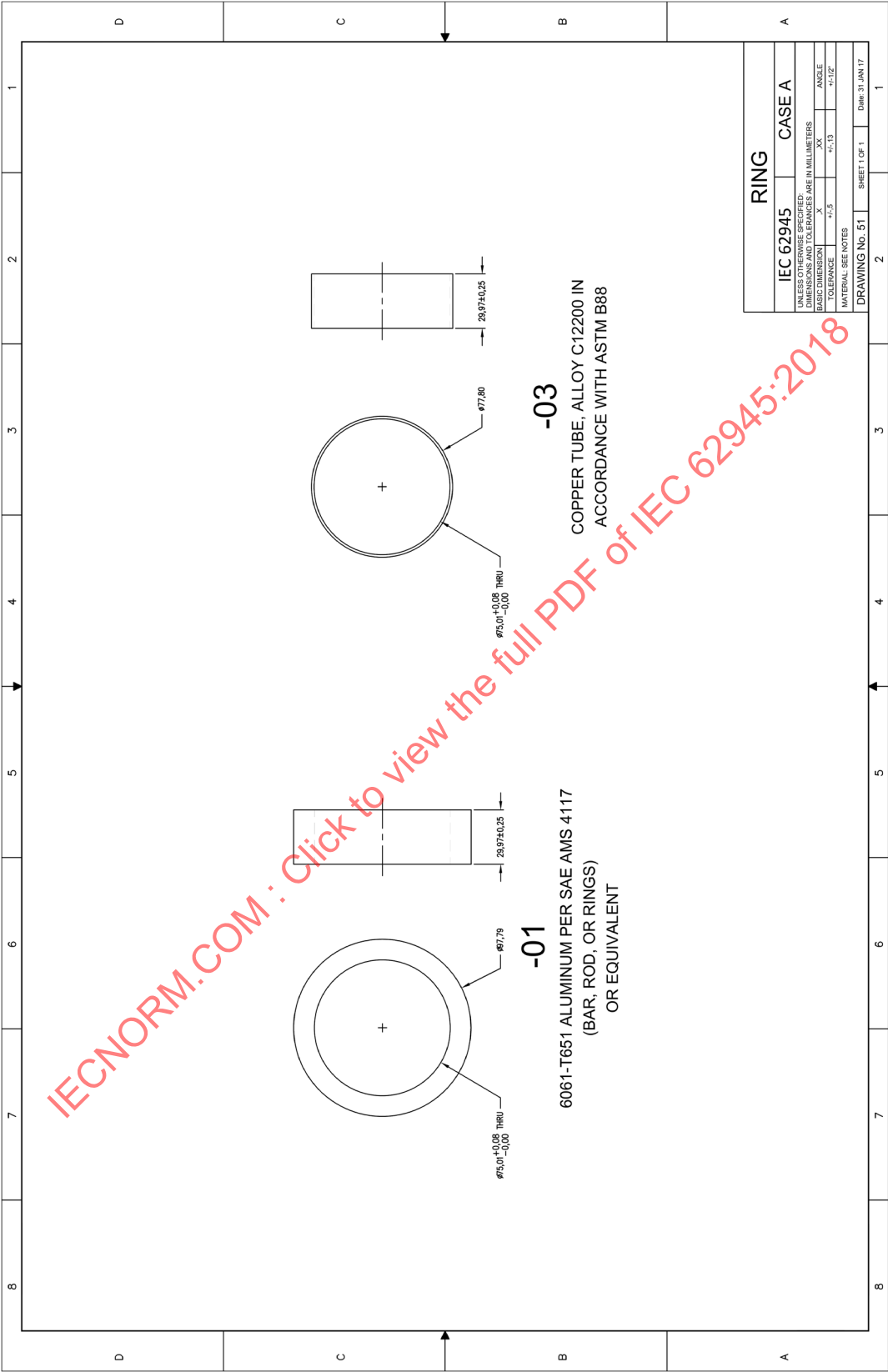
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62945:2018



Anglais	Français
TAPPED HOLE	TROU TARAUDÉ
4X REAM	FIXATION 4X
EQ. SP ON Ø 63,50 B.C. THRU ONE WALL ONLY	ESPACEMENT ÉGAL SUR Ø 63,50 B.C. À TRAVERS UN MUR SEULEMENT
CYLINDER, STREAK ARTIFACT	CYLINDRE, ARTÉFACT DE STRIES
CASE A	CAS A
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONS AND TOLERANCES ARE IN MILLIMETRES	SAUF SPÉCIFICATION CONTRAIRE, LES DIMENSIONS ET LES TOLÉRANCES SONT EXPRIMÉES EN MILLIMÈTRES
BASIC DIMENSION	DIMENSION DE BASE
ANGLE	ANGLE
TOLERANCE	TOLÉRANCE
MATERIAL: ACETRON GP (POLYOXYMETHYLENE) ROD	MATÉRIAU: ACETRON GP (POLYOXYMÉTHYLÈNE), TIGE
DRAWING No. 50	SCHÉMA No. 50
SHEET 1 OF 1	FEUILLE 1 SUR 1

Figure A.7 – Sous-composants d'un objet d'essai cylindrique – Cas A

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62945:2018

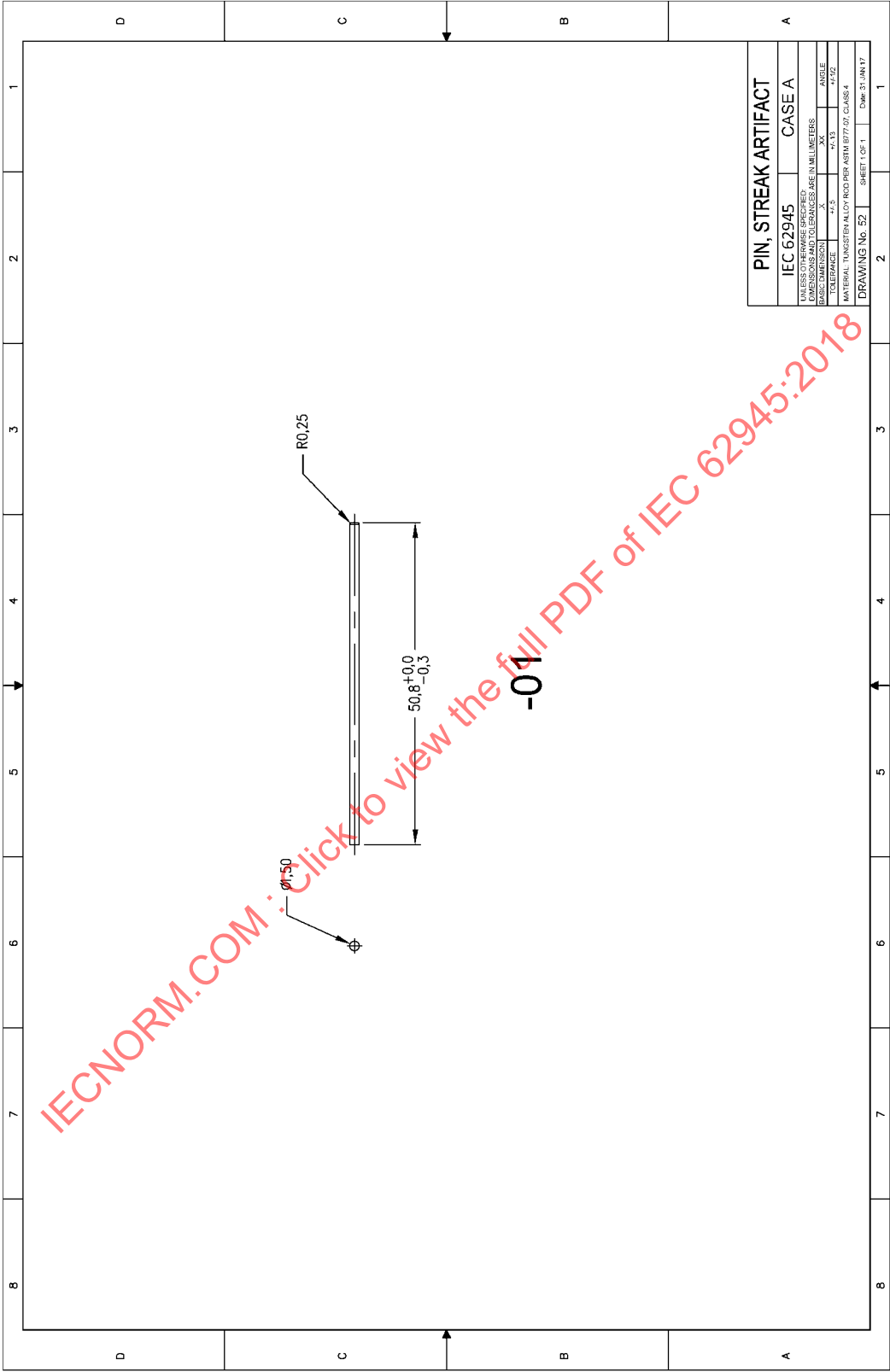


RING	
IEC 62945	CASE A
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONS AND TOLERANCES ARE IN MILLIMETERS	
BASIC DIMENSION	X
TOLERANCE	XX
ANGLE	XX
MATERIAL SEE NOTES	XX
DRAWING No. 51	DATE: 31 JAN 17

Anglais	Français
6061-T651 ALUMINUM PER SAE AMS 4117 (BAR, ROD, OR RINGS) OR EQUIVALENT	ALUMINIUM 6061-T651 CONFORME À LA SAE AMS 4117 (BARRE, TIGE OU BAGUES) OU MATÉRIAU ÉQUIVALENT
COPPER TUBE, ALLOY C12200 IN ACCORDANCE WITH ASTM B88	TUBE CUIVRE, ALLIAGE C12200 CONFORME À L'ASTM B88
RING	BAGUE
CASE A	CAS A
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONS AND TOLERANCES ARE IN MILLIMETRES	SAUF SPÉCIFICATION CONTRAIRE, LES DIMENSIONS ET LES TOLÉRANCES SONT EXPRIMÉES EN MILLIMÈTRES
BASIC DIMENSION	DIMENSION DE BASE
ANGLE	ANGLE
TOLERANCE	TOLÉRANCE
MATERIAL: SEE NOTES	MATÉRIAU: VOIR NOTES
DRAWING No. 51	SCHÉMA No. 51
SHEET 1 OF 1	FEUILLE 1 SUR 1

Figure A.8 – Sous-composants annulaires d'un objet d'essai cylindrique – Cas A

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62945:2018

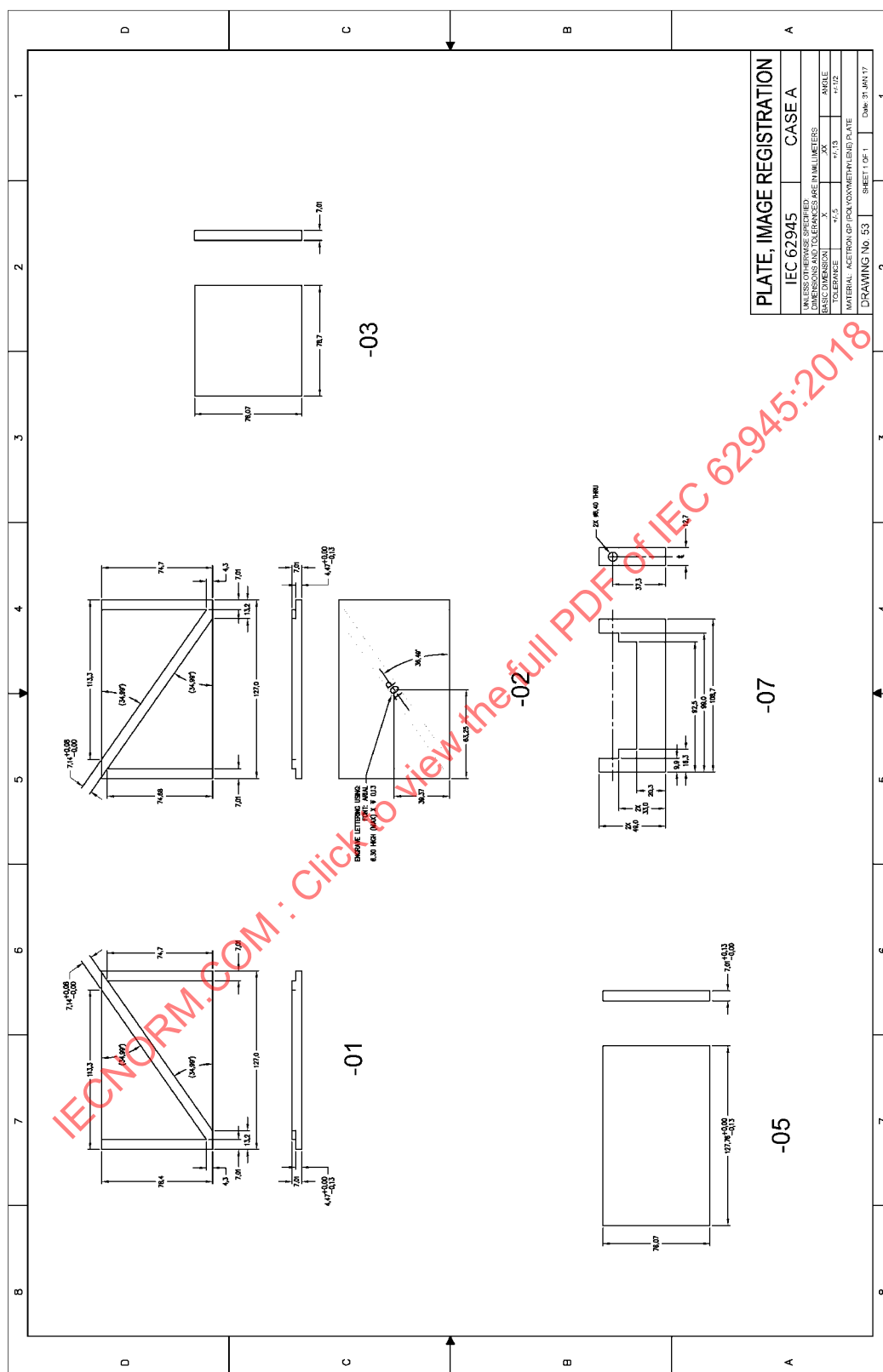


PIN, STREAK ARTIFACT			
IEC 62945		CASE A	
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS AND TOLERANCES ARE IN MILLIMETERS			
BASIC DIMENSION	X	XX	ANGLE
TOLERANCE	+0.5	+0.13	+0.12
MATERIAL: TUNGSTEN ALLOY ROD PER ASTM B771-07, CLASS 4			
DRAWING No. 52		SHEET 1 OF 1	Date: 31 JAN 17

Anglais	Français
PIN, STREAK ARTIFACT	BROCHE, ARTÉFACT DE STRIES
CASE A	CAS A
BASIC DIMENSION	DIMENSION DE BASE
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONS AND TOLERANCES ARE IN MILLIMETERS	SAUF SPÉCIFICATION CONTRAIRE, LES DIMENSIONS ET LES TOLÉRANCES SONT EXPRIMÉES EN MILLIMÈTRES
ANGLE	ANGLE
TOLERANCE	TOLÉRANCE
MATERIAL: TUNGSTEN ALLOY ROD PER ASTM B777-07, CLASS 4	MATÉRIAU: TIGE EN ALLIAGE DE TUNGSTÈNE CONFORME À L'ASTM B777-07, CLASSE 4
DRAWING No. 52	SCHÉMA No. 52
SHEET 1 OF 1	FEUILLE 1 SUR 1

Figure A.9 – Sous-composants de broches d'un objet d'essai cylindrique – Cas A (artéfacts de stries)

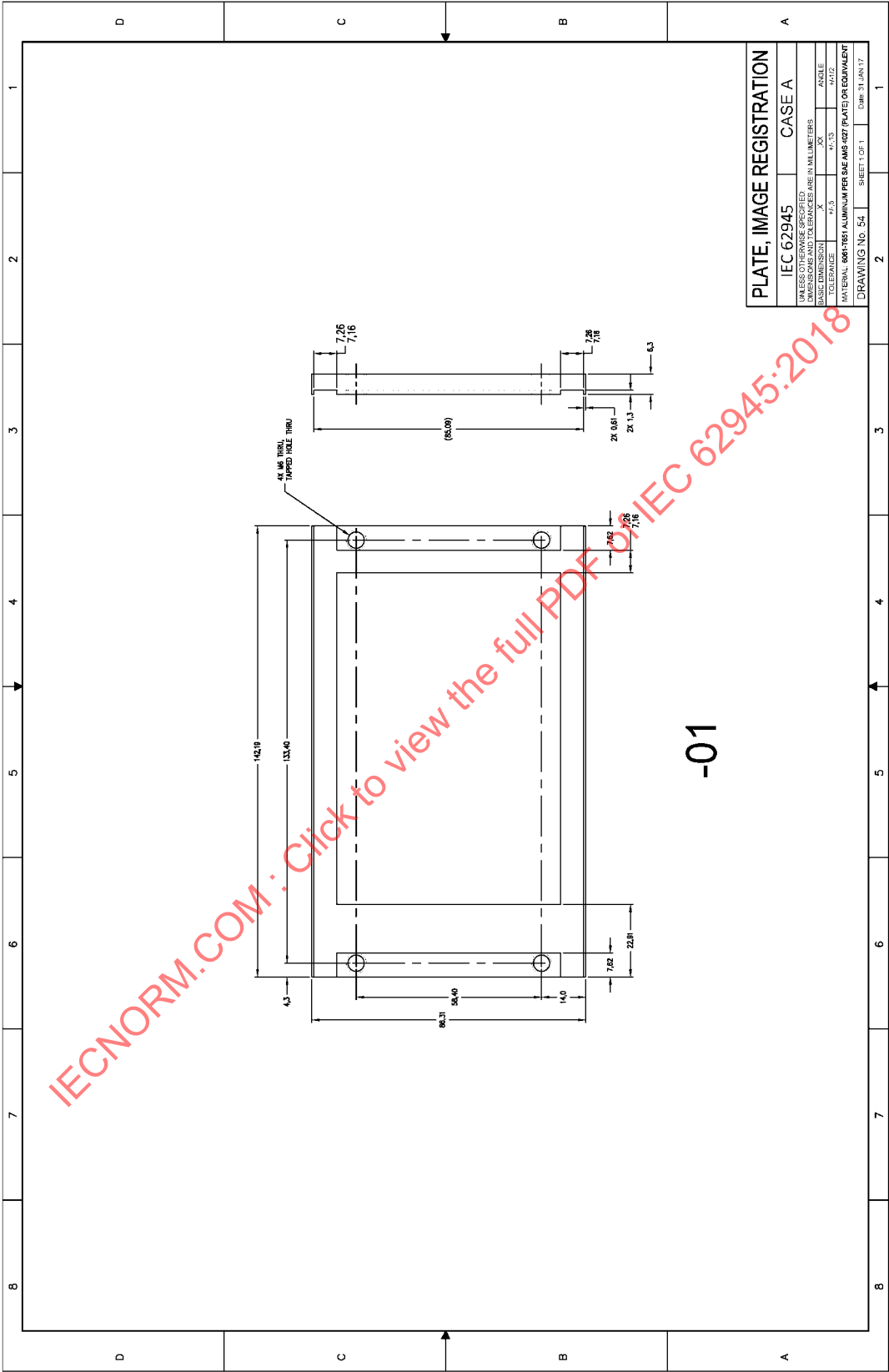
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62945:2018



Anglais	Français
ENGRAVE LETTERING USING FONT: ARIAL	GRAVAGE DU LETTRAGE DANS LA POLICE: ARIAL
6,30 HIGH (MAX)	HAUTEUR 6,30 (MAX)
PLATE, IMAGE REGISTRATION	PLAQUE, RECALAGE DES IMAGES
CASE A	CAS A
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONS AND TOLERANCES ARE IN MILLIMETRES	SAUF SPÉCIFICATION CONTRAIRE, LES DIMENSIONS ET LES TOLÉRANCES SONT EXPRIMÉES EN MILLIMÈTRES
BASIC DIMENSION	DIMENSION DE BASE
ANGLE	ANGLE
TOLERANCE	TOLÉRANCE
MATERIAL: ACETRON GP (POLYOXYMETHYLENE) ROD	MATÉRIAU: ACETRON GP (POLYOXYMÉTHYLÈNE), TIGE
DRAWING No. 53	SCHÉMA No. 53
SHEET 1 OF 1	FEUILLE 1 SUR 1

Figure A.10 – Sous-composant A1 d'un objet d'essai de recalage d'images – Cas A

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62945:2018



Anglais	Français
4X M6 THRU, TAPPED HOLE THRU	4X M6 TRAVERSANT, TROU TARAUDÉ TRAVERSANT
PLATE, IMAGE REGISTRATION	PLAQUE, RECALAGE DES IMAGES
CASE A	CAS A
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONS AND TOLERANCES ARE IN MILLIMETRES	SAUF SPÉCIFICATION CONTRAIRE, LES DIMENSIONS ET LES TOLÉRANCES SONT EXPRIMÉES EN MILLIMÈTRES
BASIC DIMENSION	DIMENSION DE BASE
ANGLE	ANGLE
TOLERANCE	TOLÉRANCE
MATERIAL: 6061-T651 ALUMINUM PER SAE AMS 4027 (PLATE) OR EQUIVALENT	MATÉRIAU: ALUMINIUM 6061-T651 CONFORME À LA SAE AMS 4027 (PLAQUE) OU MATÉRIAU ÉQUIVALENT
DRAWING No. 54	SCHÉMA No. 54
SHEET 1 OF 1	FEUILLE 1 SUR 1

Figure A.11 – Sous-composants POM de l'objet d'essai de recalage d'images – Cas A

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62945:2018