



# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE



## Superconductivity –

**Part 19: Mechanical properties measurement – Room temperature tensile test of reacted Nb<sub>3</sub>Sn composite superconductors**

## Supraconductivité –

**Partie 19: Mesure des propriétés mécaniques – Essai de traction à température ambiante des supraconducteurs composites de Nb<sub>3</sub>Sn mis en réaction**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

PRICE CODE  
CODE PRIX



ICS 29.050; 77.040.10

ISBN 978-2-8322-1183-0

**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 .....	8
3 Terms and definitions .....	8
4 Principles .....	10
5 Apparatus.....	10
5.1 General.....	10
5.2 Testing machine.....	10
5.3 Extensometer.....	10
6 Specimen preparation.....	10
6.1 General.....	10
6.2 Length of specimen.....	10
6.3 Removing insulation.....	11
6.4 Determination of cross-sectional area ( $S_0$ ).....	11
7 Testing conditions .....	11
7.1 Specimen gripping .....	11
7.2 Setting of extensometer .....	11
7.3 Testing speed .....	11
7.4 Test .....	11
8 Calculation of results .....	12
8.1 Modulus of elasticity ( $E$ ).....	12
8.2 0,2 % proof strength ( $R_{p0,2-0}$ and $R_{p0,2-U}$ ) .....	13
9 Uncertainty of measurand.....	13
10 Test report.....	13
10.1 Specimen.....	13
10.2 Results .....	14
10.3 Test conditions .....	14
Annex A (informative) Additional information relating to Clauses 1 to 10.....	16
A.1 Scope .....	16
A.2 Extensometer.....	16
A.2.1 Double extensometer.....	16
A.2.2 Single extensometer .....	17
A.3 Optical extensometers .....	18
A.4 Requirements of high resolution extensometers .....	19
A.5 Tensile stress $R_{elasticmax}$ and strain $A_{elasticmax}$ .....	20
A.6 Functional fitting of stress-strain curve obtained by single extensometer and 0,2 % proof strength ( $R_{p0,2-F}$ ).....	21
A.7 Removing insulation.....	22
A.8 Cross-sectional area determination .....	22
A.9 Fixing of the reacted $Nb_3Sn$ wire to the machine by two gripping techniques .....	22
A.10 Tensile strength ( $R_m$ ) .....	23
A.11 Percentage elongation after fracture ( $A$ ) .....	24
A.12 Relative standard uncertainty.....	24
A.13 Determination of modulus of elasticity $E_0$ .....	26

A.14	Assessment on the reliability of the test equipment .....	27
A.15	Reference documents .....	27
Annex B (informative)	Uncertainty considerations .....	28
B.1	Overview.....	28
B.2	Definitions.....	28
B.3	Consideration of the uncertainty concept .....	28
B.4	Uncertainty evaluation example for TC 90 standards.....	30
B.5	Reference documents of Annex B .....	31
Annex C (informative)	Specific examples related to mechanical tests .....	33
C.1	Overview.....	33
C.2	Uncertainty of the modulus of elasticity .....	33
C.3	Evaluation of sensitivity coefficients .....	34
C.4	Combined standard uncertainties of each variable .....	35
C.5	Uncertainty of 0,2 % proof strength $R_{p0,2}$ .....	38
Bibliography	.....	43

Figure 1 – Stress-strain curve and definition of modulus of elasticity and 0,2 % proof strengths for Cu/Nb <sub>3</sub> Sn wire .....	15
Figure A.1 – Light weight ultra small twin type extensometer .....	16
Figure A.2 – Low mass averaging double extensometer.....	17
Figure A.3 – An example of the extensometer provided with balance weight and vertical specimen axis.....	18
Figure A.4 – Double beam laser extensometer.....	19
Figure A.5 – Load versus displacement record of a reacted Nb <sub>3</sub> Sn wire .....	20
Figure A.6 – Stress-strain curve of a reacted Nb <sub>3</sub> Sn wire .....	21
Figure A.7 – Two alternatives for the gripping technique.....	23
Figure A.8 – Details of the two alternatives of the wire fixing to the machine.....	23
Figure C.1 – Measured stress-strain curve.....	33
Figure C.2 – Stress-strain curve .....	39
Table A.1 – Standard uncertainty value results achieved on different Nb <sub>3</sub> Sn wires during the international round robin tests .....	25
Table A.2 – Results of ANOVA (F-test) for the variations of $E_0$ .....	26
Table B.1 – Output signals from two nominally identical extensometers .....	29
Table B.2 – Mean values of two output signals .....	29
Table B.3 – Experimental standard deviations of two output signals.....	29
Table B.4 – Standard uncertainties of two output signals .....	30
Table B.5 – Coefficient of Variations of two output signals .....	30
Table C.1 – Load cell specifications according to manufacturer’s data sheet.....	35
Table C.2 – Uncertainties of displacement measurement .....	36
Table C.3 – Uncertainties of wire diameter measurement.....	37
Table C.4 – Uncertainties of gauge length measurement .....	37
Table C.5 – Calculation of stress at 0 % and at 0,1 % strain using the zero offset regression line as determined in Figure C.1 (b).....	38
Table C.6 – Linear regression equations computed for the three shifted lines and for the stress – strain curve in the region where the lines intersect .....	40

Table C.7 – Calculation of strain and stress at the intersections of the three shifted lines with the stress – strain curve .....	40
Table C.8 – Measured stress versus strain data and the computed stress based on a linear fit to the data in the region of interest .....	41

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SUPERCONDUCTIVITY –**

**Part 19: Mechanical properties measurement –  
Room temperature tensile test of reacted Nb<sub>3</sub>Sn  
composite superconductors**

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 61788-19 has been prepared by IEC technical committee 90: Superconductivity.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
90/328/FDIS	90/330/RVD

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

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

A list of all parts of the IEC 61788 series, published under the general title *Superconductivity*, can be found on the IEC website.

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

## INTRODUCTION

The Cu/Nb<sub>3</sub>Sn superconductive composite wires are multifilamentary composite materials. They are manufactured in different ways. The first method is the bronze route, where fine Nb / Nb alloy filaments are embedded in a bronze matrix, a barrier and a copper stabilizer. The second is the internal-tin method, where fine multifilaments are composed with copper matrix including Sn reservoirs, a barrier, and a copper stabilizer. The third is the powder-in-tube method, where Nb / Nb alloy tubes are filled with Sn rich powders and are embedded in a Cu stabilizing matrix.

Common to all types of Nb<sub>3</sub>Sn composite wires is that the superconducting A15 phase Nb<sub>3</sub>Sn has been formed at final wire dimension by applying one or more heat treatments for several days with a temperature at the last heat treatment step of around 640 °C or above. This superconducting phase is very brittle and failure of filaments occurs – accompanied by the degradation of the superconducting properties.

Commercial composite superconductors have a high current density and a small cross-sectional area. The major application of the composite superconductors is to build superconducting magnets. This can be done either by winding the superconductor on a spool and applying the heat treatment together with the spool afterwards (wind and react) or by heat treatment of the conductor before winding the magnet (react and wind). While the magnet is being manufactured, complicated stresses are applied to its windings. Therefore the react and wind method is the minority compared to the wind and react manufacturing process.

In the case that the mechanical properties should be determined in the unreacted, non-superconducting stage of the composite, one should also apply this standard or alternatively IEC 61788-6 (*Superconductivity– Part 6: Mechanical properties measurement – Room temperature tensile test of Cu/Nb-Ti composite superconductors*).

While the magnet is being energized, a large electromagnetic force is applied to the superconducting wires because of their high current density. In the case of the react and wind manufacturing technique, the winding strain and stress levels are very restricted.

It is therefore a prerequisite to determine the mechanical properties of the superconductive reacted Nb<sub>3</sub>Sn composite wires of which the windings are manufactured.

## **SUPERCONDUCTIVITY –**

### **Part 19: Mechanical properties measurement – Room temperature tensile test of reacted Nb<sub>3</sub>Sn composite superconductors**

#### **1 Scope**

This part of IEC61788 covers a test method detailing the tensile test procedures to be carried out on reacted Cu/Nb<sub>3</sub>Sn composite superconducting wires at room temperature.

The object of this test is to measure the modulus of elasticity and to determine the proof strength of the composite due to yielding of the copper and the copper tin components from the stress versus strain curve.

Furthermore, the elastic limit, the tensile strength, and the elongation after fracture can be determined by means of the present method, but they are treated as optional quantities because the measured quantities of the elastic limit and the elongation after fracture have been reported to be subject to significant uncertainties according to the international round robin test.

The sample covered by this test procedure should have a bare round or rectangular cross-section with an area between 0,15 mm<sup>2</sup> and 2,0 mm<sup>2</sup> and a copper to non-copper volume ratio of 0,2 to 1,5 and should have no insulation.

#### **2 Normative references**

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60050 (all parts), *International Electrotechnical Vocabulary* (available at <<http://www.electropedia.org>>)

ISO 376, *Metallic materials – Calibration of force-proving instruments used for the verification of uniaxial testing machines*

ISO 6892-1, *Metallic materials – Tensile testing – Part 1: Method of test at room temperature*

ISO 7500-1, *Metallic materials – Verification of static uniaxial testing machines – Part 1: Tension/compression testing machines – Verification and calibration of the force-measuring system*

ISO 9513, *Metallic materials – Calibration of extensometer systems used in uniaxial testing*



## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	47
INTRODUCTION.....	49
1 Domaine d'application .....	50
2 Références normatives .....	50
3 Termes et définitions .....	51
4 Présentation .....	52
5 Appareillage .....	52
5.1 Généralités .....	52
5.2 Machine d'essai .....	52
5.3 Extensomètre.....	52
6 Préparation de l'éprouvette.....	52
6.1 Généralités .....	52
6.2 Longueur de l'éprouvette.....	53
6.3 Retrait de l'isolation .....	53
6.4 Détermination de la section ( $S_0$ ).....	53
7 Conditions d'essai .....	53
7.1 Serrage de l'éprouvette.....	53
7.2 Réglage de l'extensomètre.....	53
7.3 Vitesse d'essai.....	53
7.4 Essai .....	54
8 Calcul des résultats .....	54
8.1 Module d'élasticité ( $E$ ).....	54
8.2 Charge d'épreuve à 0,2 % ( $R_{p0,2-0}$ et $R_{p0,2-U}$ ) .....	55
9 Incertitude du mesurande .....	55
10 Rapport d'essai .....	56
10.1 Éprouvette .....	56
10.2 Résultats .....	56
10.3 Conditions d'essai.....	56
Annexe A (informative) Informations supplémentaires concernant les Articles 1 à 10.....	58
A.1 Domaine d'application .....	58
A.2 Extensomètre.....	58
A.2.1 Double extensomètre.....	58
A.2.2 Extensomètre simple .....	59
A.3 Extensomètre optique .....	60
A.4 Exigences relatives à la haute résolution des extensomètres .....	61
A.5 Contrainte de traction $R_{elasticmax}$ et déformation $A_{elasticmax}$ .....	62
A.6 L'ajustement de la fonction de la courbe de contrainte-déformation obtenue par un extensomètre simple et une charge d'épreuve à 0,2 % ( $R_{p0,2-F}$ ).....	63
A.7 Retrait de l'isolation .....	64
A.8 Détermination de la section.....	64
A.9 Fixation sur la machine du fil de $Nb_3Sn$ mis en réaction par deux techniques d'attache .....	65
A.10 Résistance à la traction ( $R_m$ ).....	66

A.11	Pourcentage d'allongement après fracture (A).....	66
A.12	Incertitude-type relative .....	67
A.13	Détermination du module d'élasticité $E_0$ .....	69
A.14	Évaluation de la fiabilité de l'équipement d'essai.....	69
A.15	Documents de référence .....	70
Annexe B (informative)	Considérations relatives à l'incertitude .....	71
B.1	Vue d'ensemble .....	71
B.2	Définitions.....	71
B.3	Considérations relatives au concept d'incertitude.....	72
B.4	Exemple d'évaluation d'incertitude pour les normes du CE 90.....	73
B.5	Documents de référence de l'Annexe B.....	74
Annexe C (informative)	Exemples spécifiques relatifs aux essais mécaniques .....	76
C.1	Vue d'ensemble .....	76
C.2	Incertitude du module d'élasticité .....	76
C.3	Évaluation des coefficients de sensibilité .....	77
C.4	Incertitudes-types composées de chaque variable .....	78
C.5	Incertitude de la charge d'épreuve à 0,2 %, $R_{p0,2}$ .....	81
Bibliography	.....	86

Figure 1	– Courbe de contrainte-déformation et définition du module d'élasticité et charges d'épreuve à 0,2 % pour un fil Cu/Nb <sub>3</sub> Sn .....	57
Figure A.1	– Extensomètre jumelé ultra compact et léger.....	58
Figure A.2	– Double extensomètre calculant la moyenne de masses faibles .....	59
Figure A.3	– Exemple d'extensomètre muni d'une masse d'équilibrage et d'un axe d'éprouvette vertical.....	60
Figure A.4	– Extensomètre à double faisceau laser.....	61
Figure A.5	– Enregistrement de la charge par rapport au déplacement d'un fil de Nb <sub>3</sub> Sn mis en réaction.....	62
Figure A.6	– Courbe de contrainte en fonction de la déformation d'un fil de Nb <sub>3</sub> Sn mis en réaction.....	63
Figure A.7	– Deux techniques alternatives de fixation .....	65
Figure A.8	– Détails des deux possibilités de la fixation des fils à la machine .....	66
Figure C.1	– Courbe de contrainte mesurée en fonction de la déformation.....	76
Figure C.2	– Courbe de contrainte en fonction de la déformation .....	83
Tableau A.1	– Valeurs de l'incertitude-type obtenues sur différents fils de Nb <sub>3</sub> Sn lors des essais interlaboratoires internationaux .....	68
Tableau A.2	– Résultats de l'analyse de la variance ANOVA (essai F) pour les variations de $E_0$ .....	69
Tableau B.1	– Signaux de sortie de deux extensomètres nominalement identiques.....	72
Tableau B.2	– Valeurs moyennes de deux signaux de sortie .....	72
Tableau B.3	– Écarts-types expérimentaux de deux signaux de sortie .....	72
Tableau B.4	– Incertitudes-types de deux signaux de sortie.....	73
Tableau B.5	– Coefficient de variation de deux signaux de sortie .....	73
Tableau C.1	– Caractéristiques du dynamomètre selon les fiches de caractéristiques du fabricant.....	79
Tableau C.2	– Incertitudes de mesure de déplacement .....	80

Tableau C.3 – Incertitudes de mesure du diamètre du fil .....	80
Tableau C.4 – Incertitudes de mesure de longueur entre repères .....	80
Tableau C.5 – Calcul de la contrainte à 0 % et de la déformation à 0,1 % en utilisant la ligne de régression de décalage nul déterminée à la Figure C.1 (b) .....	82
Tableau C.6 – Équations de régression linéaire calculées d'après les trois lignes décalées et pour la courbe de contrainte en fonction de la déformation dans la région où les lignes se coupent .....	83
Tableau C.7 – Calcul de la déformation et de la contrainte aux intersections des trois lignes décalées avec la courbe contrainte-déformation .....	83
Tableau C.8 – Données mesurées de contrainte en fonction de la déformation et contrainte calculée basée sur un ajustement linéaire aux données dans la région d'intérêt .....	84

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

### SUPRACONDUCTIVITÉ –

#### **Partie 19: Mesure des propriétés mécaniques – Essai de traction à température ambiante des supraconducteurs composites de Nb<sub>3</sub>Sn mis en réaction**

##### AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI 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 la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI 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 la CEI. La CEI 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 la CEI, 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 la CEI, 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 la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, 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 la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI 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 CEI 61788-19 a été établie par le comité d'études 90 de la CEI: Supraconductivité.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
90/328/FDIS	90/330/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.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 61788, publiées sous le titre général *Supraconductivité*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de la CEI sous "http://webstore.iec.ch" dans les données relatives à la publication recherchée. À cette date, la publication sera

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

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

## INTRODUCTION

Les fils composites supraconducteurs Cu/Nb<sub>3</sub>Sn sont des matériaux composites multifilamentaires. Ils sont fabriqués de différentes façons. La première méthode est la voie du bronze, dans laquelle de fins filaments de Nb / alliage de Nb sont insérés dans une matrice de bronze, une barrière et un stabilisateur en cuivre. La deuxième est la méthode de l'étain interne, dans laquelle les fins multifilaments sont composés d'une matrice de cuivre comprenant des réservoirs de Sn, une barrière et un stabilisateur en cuivre. La troisième est la méthode des poudres ('powder-in-tube' method en anglais), dans laquelle des tubes en Nb / alliage Nb sont remplis de poudres riches en Sn et sont insérés dans une matrice de stabilisation en cuivre.

Tous les types de fils composites en Nb<sub>3</sub>Sn ont en commun le fait que la phase supraconductrice A15 du Nb<sub>3</sub>Sn se forme lorsque le fil possède sa dimension finale, en appliquant un ou plusieurs traitements thermiques pendant plusieurs jours, avec des températures autour de 640 °C ou plus lors du dernier traitement thermique. Cette phase supraconductrice est très fragile et des défauts apparaissent dans les filaments, s'accompagnant de la dégradation des propriétés supraconductrices.

Les composites supraconducteurs commercialisés ont une forte densité de courant et une faible section. La principale application des composites supraconducteurs est la construction d'aimants supraconducteurs. Le supraconducteur peut être bobiné puis le traitement thermique est appliqué à la bobine (bobinage avant réaction) ou bien le traitement thermique est appliqué au conducteur avant le bobinage de l'aimant (réaction avant bobinage). Pendant la fabrication de l'aimant, des contraintes complexes sont appliquées à ses enroulements. La méthode de réaction avant bobinage est donc minoritaire par rapport au processus de fabrication par bobinage avant réaction.

Dans le cas où il convient de déterminer les propriétés mécaniques avant la réaction et au stade non supraconducteur du matériau composite, il convient d'appliquer également la présente norme ou la CEI 61788-6 (*Supraconductivité – Partie 6: Mesure des propriétés mécaniques – Essai de traction à température ambiante des supraconducteurs composites de Cu/Nb-Ti*).

Lors de la mise sous tension de l'aimant, une puissante force électromagnétique est appliquée aux fils supraconducteurs en raison de leur forte densité de courant. Pour une fabrication par réaction avant bobinage, les niveaux de déformation et de contrainte du bobinage sont très limités.

Il faut donc déterminer à l'avance les propriétés mécaniques des fils composites supraconducteurs de Nb<sub>3</sub>Sn qui seront mis en réaction et qui constituent les bobinages.

## SUPRACONDUCTIVITÉ –

### Partie 19: Mesure des propriétés mécaniques – Essai de traction à température ambiante des supraconducteurs composites de Nb<sub>3</sub>Sn mis en réaction

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61788 spécifie une méthode d'essai détaillant les modes opératoires d'essai de traction à exécuter à température ambiante sur des fils composites supraconducteurs de Cu / Nb<sub>3</sub>Sn mis en réaction.

L'objectif de cet essai est de mesurer le module d'élasticité et de déterminer la charge d'épreuve du composite due à la déformation du cuivre et des composants en cuivre et en étain sur la courbe de contrainte en fonction de la déformation.

De plus, la limite élastique, la résistance à la traction et l'allongement après fracture peuvent être déterminés par le biais de la présente méthode, mais ils sont traités comme des grandeurs facultatives, car l'essai interlaboratoire international a démontré de considérables incertitudes au sujet des valeurs mesurées pour la limite élastique et pour l'allongement après fracture.

Il convient que l'échantillon couvert par la présente procédure d'essai ait une section transversale circulaire ou rectangulaire avec une surface comprise entre 0,15 mm<sup>2</sup> et 2,0 mm<sup>2</sup> et un rapport volumique entre le cuivre et le non-cuivre de 0,2 à 1,5. Il convient également qu'il n'ait pas d'isolation.

#### 2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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).

CEI 60050 (toutes les parties), *Vocabulaire Électrotechnique International* (disponible à l'adresse <<http://www.electropedia.org>>)

ISO 376, *Matériaux métalliques – Étalonnage des instruments de mesure de force utilisés pour la vérification des machines d'essais uniaxiaux*

ISO 6892-1, *Matériaux métalliques – Essai de traction – Partie 1: Méthode d'essai à température ambiante*

ISO 7500-1, *Matériaux métalliques – Vérification des machines pour essais statiques uniaxiaux – Partie 1: Machines d'essai de traction/compression – Vérification et étalonnage du système de mesure de force*

ISO 9513, *Matériaux métalliques – Étalonnage des chaînes extensométriques utilisées lors d'essais uniaxiaux*