

---

---

**Soudage — Micro-assemblage  
des supraconducteurs à haute  
température de deuxième  
génération —**

**Partie 3:  
Méthode d'essai des assemblages**

*Welding — Micro joining of second generation high temperature  
superconductors —*

*Part 3: Test methods for joints*

ISO 17279-3:2021

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/67a9a027-6081-4640-b3fb-d0672ecb480f/iso-17279-3-2021>



**iTeh Standards**  
**(<https://standards.iteh.ai>)**  
**Document Preview**

ISO 17279-3:2021

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/67a9a027-6081-4640-b3fb-d0672ecb480f/iso-17279-3-2021>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2021

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, 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, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office  
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8  
CH-1214 Vernier, Genève  
Tél.: +41 22 749 01 11  
E-mail: [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web: [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

# Sommaire

Page

|                                          |           |
|------------------------------------------|-----------|
| <b>Avant-propos</b>                      | <b>v</b>  |
| <b>Introduction</b>                      | <b>vi</b> |
| <b>1 Domaine d'application</b>           | <b>1</b>  |
| <b>2 Références normatives</b>           | <b>1</b>  |
| <b>3 Termes et définitions</b>           | <b>1</b>  |
| <b>4 Méthode d'essai des assemblages</b> | <b>1</b>  |
| 4.1 Généralités                          | 1         |
| 4.2 Contrôle visuel                      | 2         |
| 4.2.1 Généralités                        | 2         |
| 4.2.2 Qualification du personnel d'essai | 2         |
| 4.2.3 Matériel d'essai                   | 2         |
| 4.2.4 État et préparation de la surface  | 2         |
| 4.2.5 Essais                             | 2         |
| 4.2.6 Critères d'acceptation             | 3         |
| 4.2.7 Rapport d'essai                    | 3         |
| 4.3 Essai par mesure quatre pointes      | 3         |
| 4.3.1 Généralités                        | 3         |
| 4.3.2 Qualification du personnel d'essai | 3         |
| 4.3.3 Matériel d'essai                   | 3         |
| 4.3.4 État et préparation de la surface  | 3         |
| 4.3.5 Essais                             | 3         |
| 4.3.6 Critères d'acceptation             | 9         |
| 4.3.7 Rapport d'essai                    | 9         |
| 4.4 Essai d'affaiblissement du champ     | 9         |
| 4.4.1 Généralités                        | 9         |
| 4.4.2 Qualification du personnel d'essai | 9         |
| 4.4.3 Matériel d'essai                   | 9         |
| 4.4.4 État et préparation de la surface  | 9         |
| 4.4.5 Essais                             | 10        |
| 4.4.6 Critères d'acceptation             | 13        |
| 4.4.7 Rapport d'essai                    | 13        |
| 4.5 Essai en champ magnétique            | 13        |
| 4.5.1 Généralités                        | 13        |
| 4.5.2 Qualification du personnel d'essai | 13        |
| 4.5.3 Matériel d'essai                   | 13        |
| 4.5.4 État et préparation de la surface  | 13        |
| 4.5.5 Essais                             | 13        |
| 4.5.6 Critères d'acceptation             | 15        |
| 4.5.7 Rapport d'essai                    | 16        |
| 4.6 Essai de traction                    | 16        |
| 4.6.1 Généralités                        | 16        |
| 4.6.2 Qualification du personnel d'essai | 16        |
| 4.6.3 Matériel d'essai                   | 16        |
| 4.6.4 État et préparation de la surface  | 16        |
| 4.6.5 Essais                             | 16        |
| 4.6.6 Critères d'acceptation             | 17        |
| 4.6.7 Rapport d'essai                    | 17        |
| 4.7 Essai de pliage                      | 17        |
| 4.7.1 Généralités                        | 17        |
| 4.7.2 Qualification du personnel d'essai | 17        |
| 4.7.3 Matériel d'essai                   | 17        |
| 4.7.4 État et préparation de la surface  | 17        |
| 4.7.5 Essais                             | 17        |

|                                                                                                                 |                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------|
| 4.7.6                                                                                                           | Critères d'acceptation.....                               | 18        |
| 4.7.7                                                                                                           | Rapport d'essai.....                                      | 18        |
| 4.8                                                                                                             | Essai de champ magnétique critique.....                   | 18        |
| 4.8.1                                                                                                           | Généralités.....                                          | 18        |
| 4.8.2                                                                                                           | Qualification du personnel d'essai.....                   | 18        |
| 4.8.3                                                                                                           | Matériel d'essai.....                                     | 18        |
| 4.8.4                                                                                                           | État et préparation de la surface.....                    | 19        |
| 4.8.5                                                                                                           | Essais.....                                               | 19        |
| 4.8.6                                                                                                           | Critères d'acceptation.....                               | 19        |
| 4.8.7                                                                                                           | Rapport d'essai.....                                      | 19        |
| 4.9                                                                                                             | Essai de distribution de densité de courant critique..... | 19        |
| 4.9.1                                                                                                           | Généralités.....                                          | 19        |
| 4.9.2                                                                                                           | Qualification du personnel d'essai.....                   | 20        |
| 4.9.3                                                                                                           | Matériel d'essai.....                                     | 20        |
| 4.9.4                                                                                                           | État et préparation de la surface.....                    | 20        |
| 4.9.5                                                                                                           | Essais.....                                               | 20        |
| 4.9.6                                                                                                           | Critères d'acceptation.....                               | 20        |
| 4.9.7                                                                                                           | Rapport d'essai.....                                      | 20        |
| 4.10                                                                                                            | Essai au microscope et par diffraction des rayons X.....  | 20        |
| 4.10.1                                                                                                          | Généralités.....                                          | 20        |
| 4.10.2                                                                                                          | Qualification du personnel d'essai.....                   | 20        |
| 4.10.3                                                                                                          | Matériel d'essai.....                                     | 20        |
| 4.10.4                                                                                                          | État et préparation de la surface.....                    | 21        |
| 4.10.5                                                                                                          | Essais.....                                               | 21        |
| 4.10.6                                                                                                          | Critères d'acceptation.....                               | 21        |
| 4.10.7                                                                                                          | Rapport.....                                              | 21        |
| <b>Annexe A (informative) Rapport des résultats de contrôle visuel.....</b>                                     |                                                           | <b>22</b> |
| <b>Annexe B (informative) Rapport des résultats d'essai par mesure quatre pointes.....</b>                      |                                                           | <b>24</b> |
| <b>Annexe C (informative) Rapport des résultats d'essai d'affaiblissement du champ.....</b>                     |                                                           | <b>27</b> |
| <b>Annexe D (informative) Rapport des résultats d'essai en champ magnétique.....</b>                            |                                                           | <b>30</b> |
| <b>Annexe E (informative) Rapport des résultats d'essai de traction.....</b>                                    |                                                           | <b>34</b> |
| <b>Annexe F (informative) Rapport des résultats d'essai de pliage.....</b>                                      |                                                           | <b>37</b> |
| <b>Annexe G (informative) Rapport des résultats d'essai de champ magnétique critique.....</b>                   |                                                           | <b>40</b> |
| <b>Annexe H (informative) Rapport des résultats d'essai de distribution de densité de courant critique.....</b> |                                                           | <b>43</b> |
| <b>Annexe I (informative) Rapport des résultats d'essai au microscope et par diffraction des rayons X.....</b>  |                                                           | <b>45</b> |
| <b>Bibliographie.....</b>                                                                                       |                                                           | <b>47</b> |

## Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives)).

L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir [www.iso.org/brevets](http://www.iso.org/brevets)).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir [www.iso.org/avant-propos](http://www.iso.org/avant-propos).

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 44, *Soudage et technique connexes*, Sous-Comité SC 10, *Gestion de la qualité dans le domaine du soudage*, en collaboration avec le Comité Technique du Comité européen de Normalisation (CEN) CEN/TC 121, *Soudage et techniques connexes*, conformément à l'Accord sur la coopération technique entre l'ISO et le CEN (Accord de Vienne).

Une liste de toutes les parties de la série ISO 17279 se trouve sur le site web de l'ISO.

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse [www.iso.org/members.html](http://www.iso.org/members.html).

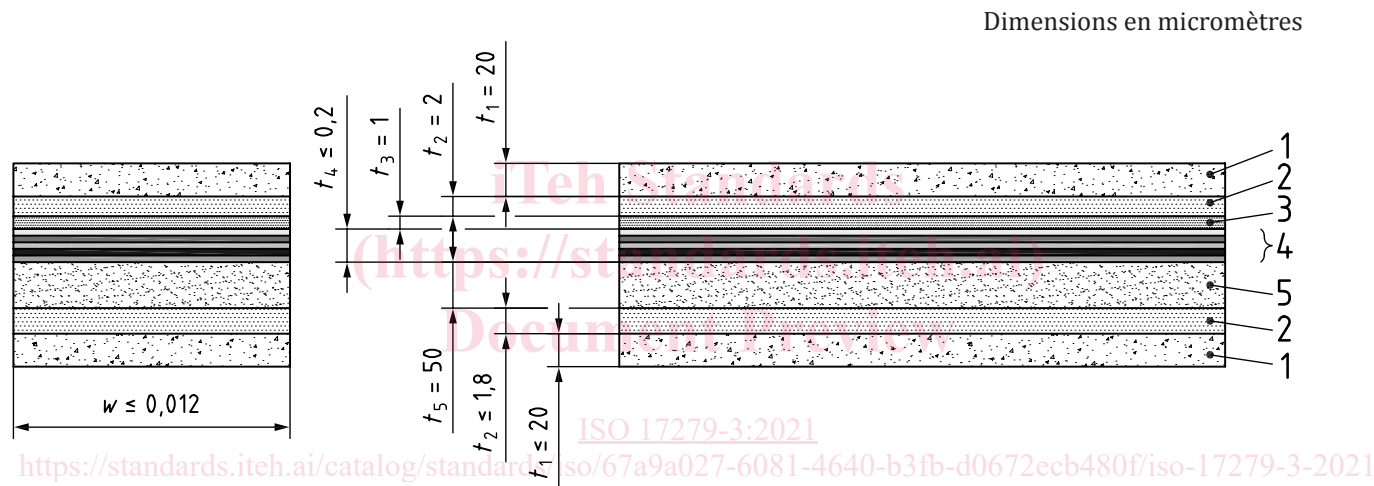
Les interprétations officielles des documents de l'ISO/TC 44, lorsqu'elles existent sont disponibles depuis la page: <https://committee.iso.org/sites/tc44/home/interpretation.html>.

Introduction

L'utilisation croissante de supraconducteurs à haute température de deuxième génération (2G HTS) et l'invention d'assemblages sans résistance sur les 2G HTS ont créé le besoin de la série ISO 17279 afin de garantir que l'assemblage est réalisé de la manière la plus efficace possible et que tous les aspects de l'opération sont correctement contrôlés. Les normes ISO relatives aux modes opératoires de micro-assemblage et d'évaluation des assemblages sont par conséquent essentielles pour obtenir un assemblage 2G HTS de qualité excellente et uniforme.

Le supraconducteur est un matériau qui conduit l'électricité sans résistance et qui se caractérise par un diamagnétisme en dessous d'une température critique ( $T_c$ ), d'un champ magnétique critique ( $B_c$ ) et d'une densité de courant critique ( $J_c$ ). Une fois déclenché, le courant électrique circule à l'infini en boucle fermée dans le matériau supraconducteur en phase diamagnétique.

Un 2G HTS est constitué de plusieurs couches dont l'épaisseur totale se situe entre 60  $\mu\text{m}$  et 90  $\mu\text{m}$ ; la couche supraconductrice en  $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  ne fait qu'entre 1  $\mu\text{m}$  et 3  $\mu\text{m}$  selon les spécifications du fabricant. La [Figure 1](#) montre un schéma des multiples couches typiques, ainsi que les constituants et l'épaisseur de chaque couche du 2G HTS.



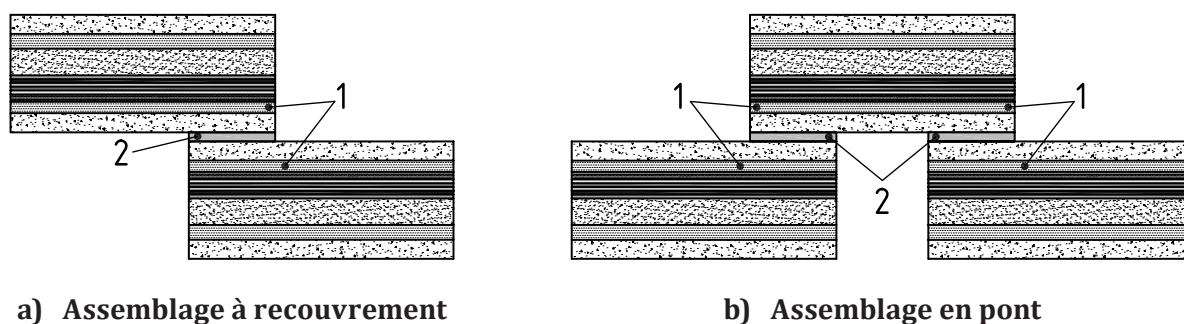
Légende

- |                                     |                                |
|-------------------------------------|--------------------------------|
| 1 stabilisant en cuivre (Cu)        | $t_1$ épaisseur de la couche 1 |
| 2 couche protectrice en argent (Ag) | $t_2$ épaisseur de la couche 2 |
| 3 couche supraconductrice ReBCO     | $t_3$ épaisseur de la couche 3 |
| 4 couche tampon                     | $t_4$ épaisseur de la couche 4 |
| 5 substrat en hastelloy®C-276       | $t_5$ épaisseur de la couche 5 |

NOTE schéma non à l'échelle.

Figure 1 — Multiples couches typiques d'un 2G HTS, et constituants et épaisseur de chaque couche

Pur l'heure, l'industrie des supraconducteurs recourt aux techniques de brasage fort ou tendre ainsi qu'à tout procédé d'apport de métal comme l'indique la [Figure 2](#), qui montre la haute résistance électrique au niveau de l'assemblage, source de défaillance fatale dans le supraconducteur.

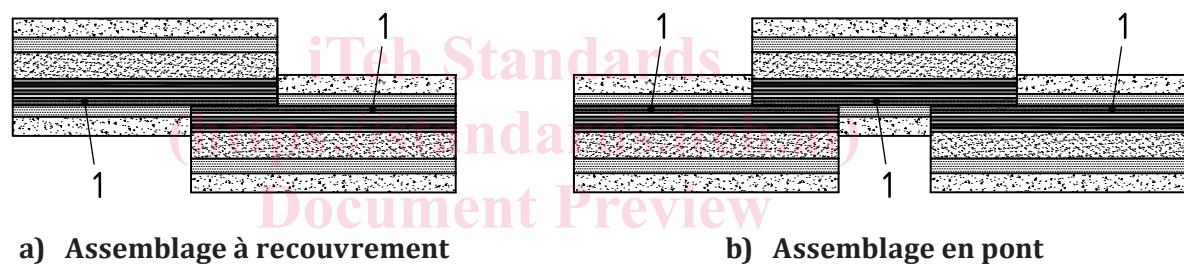


#### Légende

- 1 couche supraconductrice ReBCO
- 2 produit d'apport de brasage tendre

**Figure 2 — Brasage d'assemblage d'un 2G HTS**

Néanmoins, la série des ISO 17279 s'intéresse plus particulièrement à l'assemblage autogène direct de couches supraconductrices de 1  $\mu\text{m}$  à 3  $\mu\text{m}$  d'épaisseur de 2G HTS tel que présenté sur la [Figure 3](#), sans métaux d'apport et avec récupération des propriétés supraconductrices par procédé de recuit d'oxygénation, qui ne montre quasiment aucune résistance électrique au niveau de l'assemblage.



#### Légende

- 1 couche supraconductrice ReBCO

**Figure 3 — Assemblage autogène direct de couches supraconductrices de 1  $\mu\text{m}$  à 3  $\mu\text{m}$  d'épaisseur de 2G HTS pour un assemblage supraconducteur**

L'ISO 17279-1 spécifie les exigences pour la qualification du mode opératoire d'assemblage de 2G HTS. Il convient que les assemblages de 2G HTS soient capables de réunir les propriétés électriques, magnétiques et mécaniques requises et libres d'imperfections graves en production et en service. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de prévoir des contrôles pendant la conception et la fabrication.

L'ISO 17279-2 spécifie les exigences pour la qualification du personnel réalisant le soudage et les essais.