



INSTRUCTION DE SÉCURITÉ SAFETY INSTRUCTION

Ayant force d'obligation selon SAPOCO/42

**IS23
Rev. 3**

Publiée par : SC/GS

Date de révision : février 2005

Original : anglais

Critères et méthodes d'essai standard pour le choix des câbles et fils électriques en fonction de leur sécurité au feu et de leur résistance aux radiations

La présente Instruction de sécurité est publiée par la Commission de sécurité conformément au document SAPOCO/42 sur la politique de sécurité du CERN et en tenant compte des Codes de Sécurité du CERN. Elle est basée sur :

- le Code CERN E de protection contre l'incendie ;
- les normes et les publications de la CEI et d'autres organisations internationalement reconnues ;
- le Code CERN C1 de Sécurité électrique ;
- les Recommandations du Groupe de travail sur les matériaux et les câbles pour les câbles résistant au feu et aux radiations.

La présente Instruction a pour objectif d'apporter une sécurité de très haut niveau. Elle doit être appliquée pour tous les câbles des nouvelles installations au CERN, ainsi que pour l'adjonction de nouveaux câbles dans des installations existantes. Le CERN attache de plus en plus d'importance aux dangers associés à la combustion des matières plastiques : fumée, toxicité et corrosion.

L'IS23 doit, en particulier, être intégralement prise en compte dans toutes les spécifications d'achats de câbles. Elle s'applique aussi à l'infrastructure du CERN, par exemple aux ponts roulants, ascenseurs, installations de ventilation, etc.

Table des matières

1	Introduction et champ d'application	1
2	Propriétés requises pour les matériaux isolants des câbles	1
3	Critères pour les spécifications et la sélection des matériaux isolants des câbles	2
3.1	Normes applicables	2
3.2	Propagation des flammes et résistance au feu	2
3.3	Densité des fumées	2
3.4	Toxicité des gaz de combustion	3
3.5	Corrosivité des gaz de combustion	3
3.6	Résistance aux radiations	3
3.6.1	<i>Câbles à usage général</i>	3
3.6.2	<i>Câbles spéciaux résistant aux radiations</i>	4
3.7	Matériaux existants satisfaisant aux critères spécifiés	4
3.7.1	<i>Câbles de puissance</i>	4
3.7.2	<i>Câbles de contrôle et de signalisation</i>	4
3.7.3	<i>Fils et câbles miniaturisés pour l'électronique</i>	5
4	Matériaux isolants utilisés dans les équipements électriques et électroniques	5
5	Acquisition de câbles	5
Annexe 1		7
	Résumé des propriétés de sécurité au feu et de résistance aux radiations requises pour la sélection des câbles et fils électriques	
Annexe 2		9
	Une sélection de laboratoires indépendants en mesure d'effectuer des essais sur la résistance au feu, les fumées et la toxicité, et capacités de certains laboratoires indépendants	
Annexe 3		12
	Normes citées	

1 Introduction et champ d'application

Cette instruction prescrit des méthodes standard d'essai en vue du choix de matériaux appropriés pour l'isolation et les gaines des câbles et des fils de puissance, de contrôle et de signalisation, en fonction de leur résistance au feu et aux radiations ionisantes. Elle résume les propriétés requises pour les différents matériaux et types de câbles en fournissant les critères en matière de spécifications, de sélection et d'essais. Elle s'applique à tous les types de câbles et fils utilisés dans les installations du CERN, y compris les équipements pour prototypes, essais et expériences (câbles de puissance haute et basse tensions, de contrôle, de signalisation haute et basse fréquences, fibres optiques, etc.). L'utilisation d'autres pièces isolante associées aux installations électriques est traitée dans l'IS41.

2 Propriétés requises pour les matériaux isolants des câbles

Tous les types de câbles doivent répondre aux exigences suivantes :

- propriétés de tenue électrique, mécanique, thermique et à l'environnement conformes aux normes appropriées ;
- caractéristiques ignifuges conformes aux normes appropriées ;
- exempts d'halogènes et de soufre ;
- faible densité des fumées ;
- faible toxicité des gaz de combustion ;
- faible corrosivité des gaz de combustion ;
- conservation des capacités fonctionnelles jusqu'à l'indice de rayonnement spécifié (soit une dose intégrée de 5×10^5 Gy pour les câbles d'usage général et de 10^7 Gy pour les câbles spéciaux résistant aux radiations).

N.B. : Les exigences de faible densité des fumées, de faibles toxicité et corrosivité des gaz de combustion excluent un certain nombre de matériaux très couramment utilisés comme le polychlorure de vinyle (PVC), le polyéthylène chlorosulfoné (Hypalon®), le polychloroprène (Néoprène®), les fluorocarbones (p. ex. Téflon®) et d'autres composés halogénés ou sulfurés.

3 Critères pour les spécifications et la sélection des matériaux isolants des câbles

3.1 Normes applicables

La présente section décrit les propriétés exigées qui sont résumées, avec les normes correspondantes, dans le tableau 1 et l'annexe 3. L'annexe 2 fournit une liste de laboratoires indépendants en mesure d'effectuer des essais de résistance au feu ainsi que sur les fumées émises et leur toxicité.

3.2 Propagation des flammes et résistance au feu

Une distinction est faite entre les caractéristiques au feu des matériaux et celles des câbles. L'utilisation de matériaux retardateurs de la flamme est indispensable mais ne garantit pas que le câble fini possédera les propriétés au feu requises.

On peut classer les câbles et fils électriques en quatre catégories de résistance croissante au feu :

- i) Les fils isolés monoconducteurs de petites dimensions, avec un conducteur de diamètre inférieur à 0,8 mm ($0,5 \text{ mm}^2$), doivent être testés selon la norme CEI 60332-2.
- ii) Les fils isolés monoconducteurs avec un conducteur dépassant $0,5 \text{ mm}^2$ et tous les câbles multiconducteurs, ronds ou plats de toutes dimensions, doivent satisfaire aux tests de la norme CEI 60332-1. Pour les câbles plats, la flamme doit être appliquée à l'une des extrémités du câble. L'axe du tube du brûleur doit être dans le même plan que l'axe principal du câble.
- iii) Tous les types de câbles finis d'un diamètre extérieur supérieur à 10 mm et tous ceux utilisés en nappes doivent être testés dans cette configuration et satisfaire aux tests de la norme CEI 60332-3, catégorie 24.
- iv) Les câbles résistant au feu doivent continuer à fonctionner pendant un temps déterminé pendant et après un incendie. On les utilise principalement dans les installations de sécurité, et ils doivent satisfaire aux tests de la norme CEI 60331.

3.3 Densité des fumées

Des échantillons des fils et câbles finis doivent être soumis à des essais conformes aux normes ASTM E 662 ou ISO 5659-2. La valeur requise pour la densité optique spécifique, DS, doit être inférieure à 250, aussi bien dans le test avec flamme que dans le test sans flamme.

Pour tous les contrats importants du CERN portant sur des câbles, ces derniers doivent en outre satisfaire aux essais plus étendus de la norme CEI 61034, parties 1 et 2.

3.4 Toxicité des gaz de combustion

Les câbles finis sont soumis à la norme CEI 60695-7, parties 50 et 51, dont le principe consiste à calculer la dose effective fractionnelle de produits toxiques accumulés durant l'exposition aux effluents d'un feu.

Tous les résultats doivent être analysés en collaboration avec la Section Chimie, gaz et hygiène industrielle de la Commission de sécurité du CERN.

3.5 Corrosivité des gaz de combustion

Tous les matériaux entrant dans la composition des câbles, y compris les rubans et les matières de remplissage, doivent être exempts d'halogènes et de soufre. Les matériaux doivent satisfaire à l'essai CEI 60745-2 avec un pH supérieur à 4,3 et une conductivité inférieure à 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

3.6 Résistance aux radiations

Les spécifications ci-dessous s'appliquent à toute installation de câbles dans des zones du CERN où la dose-vie devrait dépasser 100 Gy.

On fera une distinction entre les câbles à usage général et les câbles spéciaux utilisés dans les zones de radiations intenses.

Les câbles à fibres optiques ordinaires sont très sensibles aux rayonnements ; on recommande de ne pas les utiliser dans les zones de radiations.

3.6.1 Câbles à usage général

Pour les câbles dont la gaine ou les matériaux d'isolation sont constitués d'élastomères ou de thermoplastiques ordinaires, la résistance aux radiations et l'indice de rayonnement (IR) sont évalués conformément à la norme CEI 60544-4.

Cette norme préconise, comme propriété critique, un allongement à la rupture des matériaux isolants mesuré conformément aux normes ISO R37 (élastomère) ou ISO R527 (plastique).

L'indice de rayonnement est le logarithme ($\log 10$) de la dose absorbée en gray (Gy), arrondi à deux chiffres significatifs, au-dessus de laquelle la valeur de la propriété critique adéquate a atteint le critère de point limite dans les conditions spécifiées. Par exemple, l'indice de rayonnement d'un matériau dont le point limite est à 5×10^5 Gy est de 5,7 (soit $\log 5 \times 10^5 = 5,699$).

L'allongement comme critère de point limite peut être exprimé soit comme une valeur absolue, p. ex. 100%, soit comme un pourcentage de la valeur initiale, p. ex. 50%.

La valeur de l'IR sera fixée en fonction de l'application. Toutefois, pour les câbles ayant diverses applications, comme ceux des magasins du CERN, il est fortement recommandé de spécifier un IR de 5,7, qui correspond à une dose intégrée de 5×10^5 Gy.

N.B. : Cette recommandation se base sur une longue expérience qui a montré que cette spécification peut être respectée pour un grand nombre de matériaux de câbles disponibles sur le marché et produits par de nombreux fabricants différents.

Le Groupe Radioprotection du CERN peut prendre les dispositions nécessaires pour que l'on procède aux essais d'irradiation. Pour la qualification, ils sont généralement réalisés à un débit de dose élevé (> 1 Gy/s).

N.B. : Dans les polymères, les dégâts peuvent être jusqu'à dix fois plus importants avec une irradiation à un débit de dose inférieur ou un débit de dose d'exploitation, ce qui doit être pris en considération dans la spécification de l'IR.

3.6.2 Câbles spéciaux résistant aux radiations

Pour les câbles de contrôle et de signalisation, on recommande d'employer des rubans en polyimide (p. ex. Kapton®) ou un thermoplaste en polyétheréthercétone (p. ex. PEEK) pour l'isolation. La résistance aux radiations obtenue est d'environ 5×10^7 Gy. Pour des doses plus élevées et pour les câbles de puissance, il faut faire appel à des matériaux inorganiques, par exemple un ruban de mica, un oxyde de magnésium ou un oxyde d'aluminium.

3.7 Matériaux existants satisfaisant aux critères spécifiés

3.7.1 Câbles de puissance

Pour l'isolation, aussi bien que pour la gaine extérieure des câbles de puissance, on spécifiera un caoutchouc en polymère éthylène propylène (EPR ou EPDM).

L'éthylène-acétate de vinyle (EVA) ou un copolymère de polyoléfine pourront être utilisés si leurs propriétés sont équivalentes à celles de l'EPR. Soumis à une irradiation prolongée, ces matériaux présentent une dégradation plus importante que l'EPR, cette variante n'est donc pas recommandée pour les câbles de puissance dans les zones de radiation.

On peut employer une isolation en polyéthylène pour les câbles haute tension dans les cas où ses propriétés électriques représentent un net avantage.

3.7.2 Câbles de contrôle et de signalisation

Le matériau préféré comme diélectrique et/ou pour l'isolation est le polyéthylène (PE). Pour la gaine extérieure, on doit utiliser un matériau retardateur de la flamme tel que l'éthylène-acétate de vinyle (EVA) ou un copolymère de polyoléfine.

3.7.3 *Fils et câbles miniaturisés pour l'électronique*

Les circuits électroniques utilisent des fils miniaturisés quand l'espace disponible est sévèrement limité ou quand leur fonctionnement l'exige. Pour ces câbles et fils, il est recommandé que l'isolation et/ou la gaine soient à base de polyimide (p. ex. Kapton®), de polyétherimide (p. ex. Ultem®), de polyétheréthercétone (PEEK), d'oxydes de polyphénylène (Noryl®) ou de matériaux similaires.

4 **Matériaux isolants utilisés dans les équipements électriques et électroniques**

Pour des raisons évidentes, les mêmes règles s'appliquent également dans le choix des équipements annexes. L'Instruction de Sécurité 41 du CERN, intitulée « L'emploi de matières plastiques et autres matières non métalliques au CERN en fonction de leur sécurité au feu et de leur résistance aux radiations », formule les recommandations relatives à l'emploi de matières plastiques et synthétiques dans les zones où les produits de combustion libérés dans un incendie pourraient entraîner des dégâts matériels ou mettre en danger la santé ou la vie des personnes exposées.

5 **Acquisition de câbles**

Le CERN achète dans ses États membres une grande quantité de câbles de puissance, de contrôle et de signalisation conformes aux critères définis dans le présent document et ses éditions précédentes.

Dans les magasins du CERN, tous les fils et câbles ont été remplacés par des modèles sans halogène.

Pour faciliter l'acquisition de câbles conformes aux critères spécifiés, les utilisateurs du CERN peuvent consulter les spécialistes compétents du groupe FI/LS (c'est-à-dire le groupe chargé des achats et de la gestion des stocks) et la Commission de sécurité du Laboratoire. Dans toutes les demandes de renseignements ou commandes, il est essentiel d'énoncer clairement les spécifications pour garantir que les câbles livrés auront les propriétés requises.

Seul le Chef de la Commission de sécurité (SC) peut autoriser des exceptions, qui appelleront alors des mesures compensatoires. Le Chef de groupe ou le GLIMOS responsable de l'installation doit conserver une liste complète de tous les câbles non conformes à l'IS23 qui ont été installés. Cette liste sera communiquée à la SC, qui en conservera également un exemplaire.

Tableau 1
Propriétés de sécurité au feu et de résistance aux radiations requises pour
la sélection des câbles et fils électriques

Propriétés	Normes*	Exigences	Remarques
Propagation de la flamme et du feu	CEI 60332-2	conformité	S'applique à tous les fils monoconducteurs.
	CEI 60332-1	conformité	S'applique à tous les câbles et tous les fils monoconducteurs > 0,5 mm ²
	CEI 60332-3 catégorie 24	conformité	S'applique à tous les câbles de diam. ext. > 10 mm
Résistance au feu	CEI 60331	conformité	Concerne seulement câbles avec fonctions spéciales de sécurité (p. ex. urgence, éclairage, alarmes, ascenseurs, etc.)
Densité des fumées	ASTM E 662 ou ISO 5659	$D_s < 250$ tests avec ou sans flamme	Concerne tous les câbles
	CEI 61034 -1 et 2	conformité	Concerne tous les grands contrats CERN pour des câbles
Toxicité des gaz de combustion	CEI 60695 – 7 50 et 51.	Calcul de la dose effective fractionnelle.	Conditions du test à convenir avec la SC et les résultats doivent être acceptables pour toutes les parties concernées.
Corrosivité des gaz de combustion	CEI 60754-2	pH > 4,3 conductivité < 100 mS/cm	Les câbles doivent être exempts d'halogène et de soufre.
Résistance aux UV	CEI 60068-2-5	Pas de décoloration Non poisseux	Méthode C, 10 jours, 40°C
Résistance aux radiations	CEI 60544-2 et 4 et ISO R527	Indice de rayonnement en fonction de l'application valeur recommandée IR > 5,7	Allongement à la rupture (ISO 37) 50% de la valeur initiale ou 100% en valeur absolue après absorption de la dose spécifiée. Test avec débits de dose élevés (> 1 Gy/s).

* Voir annexe 3.

NB : d'autres normes ISO, CEI, ainsi que d'autres normes internationales ou nationales, peuvent être envisagées en accord avec le CERN (Commission de sécurité); elles seront choisies de préférence parmi les méthodes d'essai énumérées dans la section 5 et l'annexe A de la norme CEI 60695-3-1 ou dans le manuel de sécurité CEI. Toutes les normes citées ci-dessus peuvent être consultées auprès de la Commission de sécurité du CERN.

Résumé des propriétés de sécurité au feu et de résistance aux radiations requises pour la sélection des câbles et fils électriques

A Pour tous les câbles et fils

- a) Caractéristiques retardatrices de la flamme conformes aux normes appropriées
- b) Exempts d'halogènes et de soufre
- c) Fumées de faible densité
- d) Faible toxicité des gaz de combustion
- e) Faible corrosivité des gaz de combustion
- f) Rester fonctionnels jusqu'à la dose de radiation intégrée spécifiée. La dose recommandée est de 5×10^5 Gy pour les câbles ayant diverses applications au CERN, dans les magasins par exemple.

Le fournisseur doit adresser les résultats ou certificats d'essais prouvant que les câbles satisfont aux exigences des essais définis dans le tableau 1.

Note concernant b), c), d) et e) : ces exigences excluent certains matériaux utilisés très couramment comme le PVC, l'Hypalon®, le Néoprène®, les fluorocarbones et les composés qui contiennent des halogènes ou du soufre (p. ex. le Téflon®).

Note concernant f) : cette exigence s'applique à toute installation de câbles dans les zones du CERN où la dose-vie devrait dépasser 100 Gy. L'indice de rayonnement¹⁾ pour une dose intégrée spécifiée est évalué selon la norme CEI 60544. Le fournisseur doit prouver qu'il satisfait à cette exigence ou fournir des échantillons afin que le CERN puisse effectuer des essais de résistance aux radiations.

B Câbles de puissance

Les matériaux d'isolation et des gaines extérieures seront de préférence en EPR ou en EPDM, mais le fournisseur peut proposer d'autres matériaux (p. ex. EVA ou polyoléfine). Il doit toutefois prouver que toutes les exigences spécifiées sont satisfaites.

¹ $IR = \log_{10}$ de la dose absorbée en grays au-dessus de laquelle la valeur de la propriété critique a atteint le critère de point limite.

C Câbles et fils pour contrôle et signalisation

On recommande le PE comme matériau d'isolation et, pour les gaines extérieures, un matériau retardateur de la flamme comme l'EVA ou un copolymère de polyoléfine.

D Équipements électriques et électroniques

Le câblage interne des équipements électriques et électroniques doit suivre les règles applicables aux câbles d'alimentation, de contrôle et de signalisation. Il en va de même pour toutes les autres sortes de matériaux organiques utilisés dans ces équipements tels que connecteurs, tubes, plaques à bornes, châssis, couvercles, entretoises, etc. (voir IS41).

**Une sélection de laboratoires indépendants en mesure
d'effectuer des essais sur la résistance au feu, les fumées et
la toxicité, et capacités de certains laboratoires indépendants**

- 1. FRS, BRE**
Garston
Watford
WD 259 XX
UK
Tél : +44 (0) 1923 664982
Fax : +44 (0) 1923 664910
Web : www.bre.co.uk

- 2. Warrington Fire Research Centre**
Holmesfield Road
Warrington
Cheshire
WA1 2DS
Tél : +44 (0)1925 655 116
Fax : +44 (0)1925 655 419
Web : www.wfrc.co.uk

- 3. Laboratoire National d'Essai**
LNE TRAPPES-ELANCOURT
ZA de Trappes-Élancourt
29 avenue Roger Hennequin
F-78197 TRAPPES Cedex
Tél : 01 30 69 10 00
Fax : 01 30 69 12 34
Web : www.lne.fr

- 4. Laboratoire Central des Industries Electriques**
33, avenue du Général Leclerc
F-92260 Fontenay-Aux-Roses
France
Tél : +33 1 40 95 60 60
Fax : +33 1 40 95 60 95
Web : www.lcie.fr

- 5. ISSEP**
200 rue du Chera
B-4000 Liège
Belgique
Tél : + 32 41 229 83 11
Fax : + 32 41 252 46 65
Web : www.issep.be
- 6. Kema**
Utrechtseweg 310 , 6812 AR Arnhem
P.O.Box: 9035,
NL-6800 ET Arnhem
Pays-Bas
Tél : +1 7036316912
Fax : +1 7036314119
Web : www.kema.nl
- 7. VDE**
Institut d'essai et de certification
Merianstrasse 28
D-63069 Offenbach
Allemagne
Tél : + 49 69 83 06 0
Fax : + 49 69 83 08 555
Web : www.vde-institute.com
- 8. Institut danois de technologie de la sécurité et de la prévention d'incendies**
Jernholmen 12
DK-2650 Hvidovre
Danemark
Tél : +45 36349000
Fax : +45 36349001
Web : www.dift.dk

Capacités de certains laboratoires indépendants

Normes	Laboratoires						
	Warrington	LCIE	ISSEP	Kema	VDE	FRS	Institut danois
CEI 60332-2		X	X	X	X	X	
CEI 60332-1	X	X	X	X	X	X	X
CEI 60332-3	X		X		X	X	
CEI 60331	X		X	X	X	X	
ASTM E 662 ou ISO 5659	X		X	X		X	X
CEI 61034	X		X	X	X	X	
CEI 60795-7 50 et 51						X	
CEI 60754-2	X	X	X	X	X	X	

Normes citées²⁾
(la version la plus récente doit être appliquée)

ASTM E 662	Standard Test Method for Specific Optical Density of smoke generated by Solid Materials
CEI 60068-2-5	Rayonnement solaire simulé au sol
CEI 60331	Caractéristiques des câbles électriques résistant au feu
CEI 60332	Essais des câbles électriques soumis au feu : 332-1 Partie 1 : Essais effectués sur un fil ou câble isolé vertical 332-2 Partie 2 : Essais effectués sur un fil ou câble isolé vertical en cuivre de petites dimensions 332-3 Partie 24 : Essais effectués sur des fils ou câbles en nappes
CEI 60544	Guide pour la détermination des effets des rayonnements ionisants sur les matériaux isolants 544-1 Partie 1 : Interaction des rayonnements 544-2 Partie 2 : Méthodes d'irradiation et d'essais 544-4 Partie 4 : Système de classification pour l'utilisation dans un environnement sous rayonnement
CEI 60695-7	Essais relatifs aux risques du feu Parties 50 et 51 Partie 50 : toxicité des effluents du feu, estimation du pouvoir toxique, méthode d'essai Partie 51 : toxicité des effluents du feu, estimation du pouvoir toxique, calcul et interprétation des résultats des essais
CEI 60754-2	Essai sur les gaz émis lors de la combustion des câbles électriques
IEC 61034	Essai de mesure de la densité de fumées dégagées par des câbles électriques brûlant dans des conditions définies. Parties 1 et 2
ISO 5659 -2	Production de fumée, détermination de la densité optique par un essai en enceinte unique.
ISO R37	Caoutchouc vulcanisé. Détermination des caractéristiques de contrainte-déformation en traction.
ISO R527	Plastiques, détermination des caractéristiques d'allongement.

²⁾ *ASTM = American Society for Testing and Materials*
CEI = Commission Electrotechnique Internationale
ISO = Organisation internationale de normalisation