

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC  
287-3-2**

1995

AMENDEMENT 1  
AMENDMENT 1

1996-09

---

---

Amendement 1

**Câbles électriques –  
Calcul du courant admissible –**

**Partie 3:**

**Sections concernant les conditions  
de fonctionnement –**

**Section 2: Optimisation économique des sections  
d'âme de câbles électriques de puissance**

Amendment 1

**Electric cables –  
Calculation of the current rating –**

**Part 3:**

**Sections on operating conditions –**

**Section 2: Economic optimization of  
power cable size**

© CEI 1996 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembeé Genève Suisse



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

**B**

● *Pour prix, voir catalogue en vigueur  
For price, see current catalogue*

## AVANT-PROPOS

Le présent amendement a été établi par le sous-comité 20A: Câbles de haute tension, du comité d'études 20 de la CEI: Câbles électriques.

Le texte de cet amendement est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
20A/308/FDIS	20A/322/RVD

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

Page 12

### 1 Domaine d'application

*Remplacer le premier alinéa de cet article par le suivant:*

La présente Norme internationale traite du choix économique de la section d'un câble prenant en compte les coûts des investissements initiaux et les coûts futurs des pertes d'énergie pendant la vie économique du câble.

*Remplacer le deuxième alinéa de cet article par le suivant:*

Les questions telles que la maintenance, les pertes d'énergie dans les systèmes à refroidissement forcé et les coûts horaires de l'énergie ne sont pas traitées dans cette norme.

Page 26

#### 5.2.2 Fonction linéaire du coût pour les coûts de câbles

*Ajouter, après ce paragraphe, le nouveau paragraphe 5.2.3 suivant:*

#### 5.2.3 Pertes diélectriques

Les pertes diélectriques se produisant dans certains types de câbles peuvent être importantes, (voir CEI 287-1-1, tableau 3). Pour de tels câbles les pertes diélectriques doivent être prises en compte lorsque le choix de la section d'âme la plus économique est réalisé. Les pertes diélectriques sont calculées en utilisant les formules indiquées dans la CEI 287-1-1.

Pour un niveau de tension et une épaisseur d'enveloppe isolante donnés, une augmentation du diamètre de l'âme conduit à une augmentation de la capacité du câble et il en résulte une augmentation des pertes dépendant de la tension. De ce fait, lorsque les pertes diélectriques sont incluses dans l'analyse, ces pertes vont tendre à faire décroître le diamètre de l'âme par opposition à l'effet des pertes dépendant du courant.

Lorsqu'on tient compte des pertes diélectriques, les coûts après installation  $CI$ ,  $CI_1$ , et  $CI_2$ , doivent inclure le coût total des pertes diélectriques pendant la vie économique.

Puisqu'une expression analytique pour le calcul de la section d'âme optimale en tenant compte de l'effet des pertes diélectriques serait complexe, la procédure suivante doit être appliquée. D'abord, la section économique de l'âme sans prise en compte des pertes diélectriques est obtenue à partir de l'équation (18). Puis, les coûts de ceci et de deux sections d'âme normalisées, voisines, plus petites, doivent être calculées en incluant le coût des pertes diélectriques et la plus économique est choisie.

## FOREWORD

This amendment has been prepared by subcommittee 20A: High-voltage cables, of IEC technical committee 20: Electric cables.

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

FDIS	Report on voting
20A/308/FDIS	20A/322/RVD

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

Page 13

### 1 Scope

*Replace the first paragraph of this clause by the following:*

This International Standard sets out a method for the selection of a cable size taking into account the initial investment costs and the future costs of energy losses during the economic life of the cable.

*Replace the second paragraph of this clause by the following:*

Matters such as maintenance, energy losses in forced cooling systems and time of day energy costs have not been included in this standard.

Page 27

#### 5.2.2 Linear cost function for cable costs

*Add, after this subclause, the following new subclause 5.2.3:*

#### 5.2.3 Dielectric losses

Dielectric losses occurring in some cable types can be significant (see IEC 287-1-1, table 3). For such cables the dielectric losses shall be considered when a selection of the most economic conductor cross-section is made. Dielectric losses are calculated using formulae given in IEC 287-1-1.

For a given voltage level and insulation thickness, an increase in conductor diameter results in an increase in cable capacitance and, as a result of this, an increase in voltage dependent losses. Because of this, when dielectric losses are included in the analysis, these losses will tend to decrease the conductor diameter as opposed to the effect of current dependent losses.

When dielectric losses are considered the installed costs  $C_1$ ,  $C_1$ , and  $C_2$  shall include the total cost of dielectric losses over the economic life.

Since an analytic expression for the computation of the optimum conductor cross-section including the effect of dielectric losses would be complex, the following procedure shall be applied. First, the economic conductor size without consideration of dielectric losses is obtained from equation (18). Then, the cost of this and two adjacent smaller standard sizes is calculated including the cost of dielectric losses and the most economical one chosen.

**Publications de la CEI préparées  
by Technical Committee No. 20**

**IEC publications prepared  
par le Comité d'Etudes n° 20**

- |  |   |
|--|---|
| 55:— Câbles isolés au papier imprégné sous gaine métal-lique pour des tensions assignées inférieures ou égales à 18/30 kV (avec âmes conductrices en cuivre ou aluminium et à l'exclusion des câbles à pression de gaz et à huile fluide). | 55:— Paper-insulated metal-sheathed cables for rated voltages up to 18/30 kV (with copper or aluminium conductors and excluding gas-pressure and oil-filled cables).                        |
| 55-1 (1978) Première partie: Essais. Modification n° 1 (1989).   | 55-1 (1978) Part 1: Tests. Amendment No. 1 (1989).  |
| 55-2 (1981) Deuxième partie: Généralités et exigences de construction. Modification n° 1 (1989).   | 55-2 (1981) Part 2: General and construction requirements. Amendment No. 1 (1989).  |
| 141:— Essais de câbles à huile fluide, à pression de gaz et de leurs dispositifs accessoires.  | 141:— Tests on oil-filled and gas-pressure cables and their accessories.  |
| 141-1 (1993) Première partie: Câbles au papier à huile fluide et à gaine métallique et accessoires pour des tensions alternatives inférieures ou égales à 400 kV. Amendement 1 (1995).   | 141-1 (1993) Part 1: Oil-filled, paper-insulated, metal-sheathed cables and accessories for alternating voltages up to and including 400 kV. Amendment 1 (1995).                            |
| 141-2 (1963) Deuxième partie: Câbles à pression de gaz interne et accessoires pour des tensions alternatives inférieures ou égales à 275 kV. Modification n° 1 (1967).   | 141-2 (1963) Part 2: Internal gas-pressure cables and accessories for alternating voltages up to 275 kV. Amendment No. 1 (1967).  |
| 141-3 (1963) Troisième partie: Câbles à pression de gaz externe (à compression de gaz) et accessoires pour des tensions alternatives inférieures ou égales à 275 kV. Modification n° 1 (1967).   | 141-3 (1963) Part 3: External gas-pressure (gas compression) cables and accessories for alternating voltages up to 275 kV. Amendment No. 1 (1967).  |
| 141-4 (1980) Quatrième partie: Câbles à huile fluide en tuyau à isolation de papier imprégné sous forte pression d'huile et accessoires pour des tensions alternatives inférieures ou égales à 400 kV. Amendement n° 1 (1990).             | 141-4 (1980) Part 4: Oil-impregnated paper-insulated high-pressure oil-filled pipe-type cables and accessories for alternating voltages up to and including 400 kV. Amendment No. 1 (1990). |
| 173 (1964) Couleurs pour les conducteurs des câbles souples.   | 173 (1964) Colours of the cores of flexible cables and cords.   |
| 183 (1984) Guide pour le choix des câbles à haute tension. Amendement n° 1 (1990).   | 183 (1984) Guide to the selection of high-voltage cables. Amendment No. 1 (1990).   |
| 227:— Conducteurs et câbles isolés au polychlorure de vinyle, de tension nominale au plus égale à 450/750 V.   | 227:— Polyvinyl chloride insulated cables of rated voltages up to and including 450/750 V.  |
| 227-1 (1993) Partie 1: Prescriptions générales. Amendement 1 (1995).   | 227-1 (1993) Part 1: General requirements. Amendment 1 (1995).  |
| 227-2 (1979) Deuxième partie: Méthodes d'essais. Modification n° 1 (1985). Amendement 2 (1995).  | 227-2 (1979) Part 2: Test methods. Amendment No. 1 (1985). Amendment 2 (1995).  |
| 227-3 (1993) Partie 3: Conducteurs pour installations fixes.   | 227-3 (1993) Part 3: Non-sheathed cables for fixed wiring.  |
| 227-4 (1992) Partie 4: Câbles sous gaine pour installations fixes.   | 227-4 (1992) Part 4: Sheathed cables for fixed wiring.  |
| 227-5 (1979) Cinquième partie: Câbles souples. Modification n° 1 (1987). Amendement 2 (1994).  | 227-5 (1979) Part 5: Flexible cables (cords). Amendment No. 1 (1987). Amendment 2 (1994).   |
| 227-6 (1985) Sixième partie: Câbles pour ascenseurs et câbles pour connexions souples.   | 227-6 (1985) Part 6: Lift cables and cables for flexible connections.   |
| 227-7 (1995) Partie 7: Câbles souples avec et sans écran, à deux âmes ou plus.   | 227-7 (1995) Part 7: Flexible cables screened and unscreened with two or more conductors.   |
| 228 (1978) Ames des câbles isolés. Guide pour les limites dimensionnelles des âmes circulaires. Amendement 1 (1993).   | 228 (1978) Conductors of insulated cables. Guide to the dimensional limits of circular conductors. Amendment 1 (1993).  |
| 228A (1982) Premier complément.  | 228A (1982) First supplement.   |
| 229 (1982) Essais sur les gaines extérieures des câbles, qui ont une fonction spéciale de protection et sont appliquées par extrusion.   | 229 (1982) Tests on cable oversheaths which have a special protective function and are applied by extrusion.  |
| 230 (1966) Essais de choc des câbles et de leurs accessoires.  | 230 (1966) Impulse tests on cables and their accessories.   |
| 245:— Conducteurs et câbles isolés au caoutchouc - tension assignée au plus égale à 450/750 V.   | 245:— Rubber insulated cables - Rated voltages up to and including 450/750 V.   |
| 245-1 (1994) Partie 1: Prescriptions générales.  | 245-1 (1994) Part 1: General requirements.  |
| 245-2 (1994) Partie 2: Méthodes d'essais.  | 245-2 (1994) Part 2: Test methods.  |
| 245-3 (1994) Partie 3: Conducteurs isolés au silicone, résistant à la chaleur.   | 245-3 (1994) Part 3: Heat resistant silicone insulated cables.  |

(suite)

(continued)

**Publications de la CEI préparées  
by Technical Committee No. 20 (suite)**

- 245-4 (1994) Partie 4: Câbles souples.
- 245-5 (1994) Partie 5: Câbles pour ascenseurs.
- 245-6 (1994) Partie 6: Câbles souples pour électrodes de soudage à l'arc.
- 245-7 (1994) Partie 7: Câbles isolés à l'éthylène/acétate de vinyle, résistant aux températures élevées.
- 287:— Câbles électriques - Calcul du courant admissible.
- 287-1-1 (1994) Partie 1: Equations de l'intensité du courant admissible (facteur de charge 100 %) et calcul des pertes - Section 1: Généralités. Amendement 1 (1995).
- 287-1-2 (1993) Partie 1: Equations de l'intensité du courant admissible (facteur de charge 100 %) et calcul des pertes - Section 2: Facteurs de pertes par courants de Foucault dans les gaines dans le cas de deux circuits disposés en nappe.
- 287-2-1 (1994) Partie 2: Résistance thermique - Section 1: Calcul de la résistance thermique.
- 287-2-2 (1995) Partie 2: Résistance thermique - Section 2: Méthode de calcul des coefficients de réduction de l'intensité de courant admissible pour des groupes de câbles posés à l'air libre et protégés du rayonnement solaire direct.
- 287-3-1 (1995) Partie 3: Sections concernant les conditions de fonctionnement - Section 1: Conditions de fonctionnement de référence et sélection du type de câble.
- 287-3-2 (1995) Partie 3: Sections concernant les conditions de fonctionnement - Section 2: Optimisation économique des sections d'âme de câbles électriques de puissance. Amendement 1 (1996).
- 331 (1970) Caractéristiques des câbles électriques résistant au feu.
- 332:— Essais des câbles électriques soumis au feu.
- 332-1 (1993) Première partie: Essais sur un fil ou câble vertical isolé.
- 332-2 (1989) Deuxième partie: Essai sur un petit conducteur ou câble isolé à âme en cuivre, en position verticale.
- 332-3 (1992) Troisième partie: Essais sur des fils ou câbles en nappes.
- 502 (1994) Câbles de transport d'énergie isolés par diélectriques massifs extrudés pour des tensions assignées de 1 kV à 30 kV.
- 541 (1976) Comparaison des câbles souples de la CEI et des câbles souples de l'Amérique du Nord.
- 702:— Câbles à isolant minéral et leurs terminaisons de tension nominale ne dépassant pas 750 V.
- 702-1 (1988) Première partie: Câbles. Amendement n° 1 (1992).
- 702-2 (1986) Deuxième partie: Terminaisons.
- 719 (1992) Calcul des valeurs minimales et maximales des dimensions extérieures moyennes des conducteurs et câbles à âmes circulaires en cuivre et de tension nominale au plus égale à 450/750 V.
- 724 (1984) Guide aux limites de température de court-circuit des câbles électriques de tension assignée au plus égale à 0,6/1,0 kV. Amendement 1 (1993).
- 754:— Essai des gaz émis lors de la combustion des câbles électriques.
- 754-1 (1994) Partie 1: Détermination de la quantité de gaz acide halogéné.
- 754-2 (1991) Deuxième partie: Détermination de l'acidité des gaz émis lors de la combustion d'un matériau prélevé sur un câble par mesurage du pH et de la conductivité.
- 800 (1992) Câbles chauffants de tension nominale 300/500 V pour le chauffage des locaux et de la protection contre la formation de glace.

(suite)

**IEC publications prepared  
par le Comité d'Etudes n° 20 (continued)**

- 245-4 (1994) Part 4: Cords and flexible cables.
- 245-5 (1994) Part 5: Lift cables.
- 245-6 (1994) Part 6: Arc welding electrode cables.
- 245-7 (1994) Part 7: Heat resistant ethylene-vinylacetate rubber insulated cables.
- 287:— Electric cables - Calculation of the current rating.
- 287-1-1 (1994) Part 1: Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses - Section 1: General. Amendment 1 (1995).
- 287-1-2 (1993) Part 1: Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses - Section 2: Sheath eddy current loss factors for two circuits in flat formation.
- 287-2-1 (1994) Part 2: Thermal resistance - Section 1: Calculation of thermal resistance.
- 287-2-2 (1995) Part 2: Thermal resistance - Section 2: A method for calculating reduction factors for groups of cables in free air, protected from solar radiation.
- 287-3-1 (1995) Part 3: Sections on operating conditions - Section 1: Reference operating conditions and selection of cable type.
- 287-3-2 (1995) Part 3: Sections on operating conditions - Section 2: Economic optimization of power cable size. Amendment 1 (1996).
- 331 (1970) Fire-resisting characteristics of electric cables.
- 332:— Tests on electric cables under fire conditions.
- 332-1 (1993) Part 1: Test on a single vertical insulated wire or cable.
- 332-2 (1989) Part 2: Test on a single small vertical insulated copper wire or cable.
- 332-3 (1992) Part 3: Tests on bunched wires or cables.
- 502 (1994) Extruded solid dielectric insulated power cables for rated voltages from 1 kV up to 30 kV.
- 541 (1976) Comparative information on IEC and North American flexible cord types.
- 702:— Mineral insulated cables and their terminations with a rated voltage not exceeding 750 V.
- 702-1 (1988) Part 1: Cables. Amendment No. 1 (1992).
- 702-2 (1986) Part 2: Terminations.
- 719 (1992) Calculation of the lower and upper limits for the average outer dimensions of cables with circular copper conductors and of rated voltages up to and including 450/750 V.
- 724 (1984) Guide to the short-circuit temperature limits of electric cables with a rated voltage not exceeding 0,6/1,0 kV. Amendment 1 (1993).
- 754:— Test on gases evolved during combustion of electric cables.
- 754-1 (1994) Part 1: Determination of the amount of halogen acid gas.
- 754-2 (1991) Part 2: Determination of degree of acidity of gases evolved during the combustion of materials taken from electric cables by measuring pH and conductivity.
- 800 (1992) Heating cables with a rated voltage of 300/500 V for comfort heating and prevention of ice formation.

(continued)

**Publications de la CEI préparées  
by Technical Committee No. 20 (suite)**

- 811:— Méthodes d'essais communes pour les matériaux d'isolation et de gainage des câbles électriques.
- 811-1:— Première partie: Méthodes d'application générale.
- 811-1-1 (1993) Section un: Mesure des épaisseurs et des dimensions extérieures - Détermination des propriétés mécaniques.
- 811-1-2 (1985) Section deux: Méthodes de vieillissement thermique. Modification n° 1 (1989).
- 811-1-3 (1993) Section 3: Méthodes de détermination de la masse volumique - Essais d'absorption d'eau - Essai de rétraction.
- 811-1-4 (1985) Section quatre: Essais à basse température. Amendement 1 (1993).
- 811-2:— Deuxième partie: Méthodes spécifiques pour les mélanges élastomères.
- 811-2-1 (1986) Section un: Essai de résistance à l'ozone - Essai d'allongement à chaud - Essai de résistance à l'huile. Amendement 1 (1992). Amendement 2 (1993).
- 811-3:— Troisième partie: Méthodes spécifiques pour les mélanges PVC.
- 811-3-1 (1985) Section un: Essai de pression à température élevée - Essais de résistance à la fissuration. Amendement 1 (1994).
- 811-3-2 (1985) Section deux: Essai de perte de masse - Essai de stabilité thermique. Amendement 1 (1993).
- 811-4:— Quatrième partie: Méthodes spécifiques pour les mélanges polyéthylène et polypropylène.
- 811-4-1 (1985) Section un: Résistance aux craquelures sous contraintes dues à l'environnement - Essai d'enroulement après vieillissement thermique dans l'air - Mesure de l'indice de fluidité à chaud - Mesure dans le PE du taux de noir de carbone et/ou des charges minérales. Modification n° 1 (1988). Amendement 2 (1993).
- 811-4-2 (1990) Section deux: Allongement à la rupture après pré-conditionnement - Essai d'enroulement après pré-conditionnement - Essai d'enroulement après vieillissement thermique dans l'air - Mesure de l'augmentation de masse - Essai de stabilité à long terme (annexe A) - Méthode d'essai pour l'oxydation catalytique par le cuivre (annexe B).
- 811-5-1 (1990) Cinquième partie: Méthodes spécifiques pour les matières de remplissage - Section un: Point de goutte - Séparation d'huile - Fragilité à basse température - Indice d'acide total - Absence de composés corrosifs - Permittivité à 23 °C - Résistivité en courant continu à 23 °C et 100 °C.
- 840 (1988) Essais des câbles de transport d'énergie à isolation extrudée pour des tensions assignées supérieures à 30 kV (Um = 36 kV) et jusqu'à 150 kV (Um = 170 kV). Amendement 2 (1993).
- 853:— Calcul des capacités de transport des câbles pour les régimes de charge cycliques et de surcharge de secours.
- 853-1 (1985) Première partie: Facteurs de capacité de transport cyclique pour des câbles de tensions inférieures ou égales à 18/30 (36) kV. Amendement 1 (1994).
- 853-2 (1989) Deuxième partie: Régime cyclique pour des câbles de tensions supérieures à 18/30 (36) kV et régimes de secours pour des câbles de toutes tensions.
- 885:— Méthodes d'essais électriques pour les câbles électriques.
- 885-1 (1987) Première partie: Essais électriques pour les câbles, les conducteurs et les fils, pour une tension inférieure ou égale à 450/750 V.
- 885-2 (1987) Deuxième partie: Essais de décharges partielles.

(suite)

**IEC publications prepared  
par le Comité d'Etudes n° 20 (continued)**

- 811:— Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables.
- 811-1:— Part 1: Methods for general application.
- 811-1-1 (1993) Section One: Measurement of thickness and overall dimensions - Tests for determining the mechanical properties.
- 811-1-2 (1985) Section Two: Thermal ageing methods. Amendment No. 1 (1989).
- 811-1-3 (1993) Section 3: Methods for determining the density - Water absorption tests - Shrinkage test.
- 811-1-4 (1985) Section Four: Tests at low temperature. Amendment 1 (1993).
- 811-2:— Part 2: Methods specific to elastomeric compounds.
- 811-2-1 (1986) Section One: Ozone resistance test - Hot set test - Mineral oil immersion test. Amendment 1 (1992). Amendment 2 (1993).
- 811-3:— Part 3: Methods specific to PVC compounds.
- 811-3-1 (1985) Section One: Pressure test at high temperature - Tests for resistance to cracking. Amendment 1 (1994).
- 811-3-2 (1985) Section Two: Loss of mass test - Thermal stability test. Amendment 1 (1993).
- 811-4:— Part 4: Methods specific to polyethylene and polypropylene compounds.
- 811-4-1 (1985) Section One: Resistance to environmental stress cracking - Wrapping test after thermal ageing in air - Measurement of the melt flow index - Carbon black and/or mineral content measurement in PE. Amendment No. 1 (1988). Amendment 2 (1993).
- 811-4-2 (1990) Section Two: Elongation at break after pre-conditioning - Wrapping test after pre-conditioning - Wrapping test after thermal ageing in air - Measurement of mass increase - Long-term stability test (Appendix A) - Test method for copper-catalysed oxidative degradation (Appendix B).
- 811-5-1 (1990) Part 5: Methods specific to filling compounds - Section One: Drop point - Separation of oil - Lower temperature brittleness - Total acid number - Absence of corrosive components - Permittivity at 23 °C - D.C. resistivity at 23 °C and 100 °C.
- 840 (1988) Tests for power cables with extruded insulation for rated voltages above 30 kV (Um = 36 kV) up to 150 kV (Um = 170 kV). Amendment 2 (1993).
- 853:— Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables.
- 853-1 (1985) Part 1: Cyclic rating factor for cables up to and including 18/30 (36) kV. Amendment 1 (1994).
- 853-2 (1989) Part 2: Cyclic rating of cables greater than 18/30 (36) kV and emergency ratings for cables of all voltages.
- 885:— Electrical test methods for electric cables.
- 885-1 (1987) Part 1: Electrical test for cables, cords and wires for voltages up to and including 450/750 V.
- 885-2 (1987) Part 2: Partial discharge tests.

(continued)

**Publications de la CEI préparées  
by Technical Committee No. 20 (suite)**

- 885-3 (1988) Troisième partie: Méthode d'essais pour mesures de décharges partielles sur longueurs de câbles de puissance extrudés.
- 949 (1988) Calcul des courants de court-circuit admissibles au plan thermique, tenant compte des effets d'un échauffement non adiabatique.
- 986 (1989) Guide aux limites de température de court-circuit des câbles électriques de tension assignée de 1,8/3 (3,6) kV à 18/30 (36) kV.  
Amendement 1 (1993).
- 1034:— Mesure de la densité de fumées dégagées par des câbles électriques brûlant dans des conditions définies.
- 1034-1 (1990) Partie 1: Appareillage d'essai.
- 1034-2 (1991) Part 2: Procédure d'essai et prescriptions.  
Amendement 1 (1993).
- 1042 (1991) Méthode de calcul des coefficients de réduction de l'intensité de courant admissible pour des groupes de câbles posés à l'air libre et protégés du rayonnement solaire direct.
- 1138 (1994) Câbles d'équipement portable de mise à la terre et de court-circuit.  
Amendement 1 (1995).
- 1238-1 (1993) Connecteurs sertis et à serrage mécanique pour câbles d'énergie à âmes en cuivre ou en aluminium - Partie 1: Méthodes d'essais et prescriptions.
- 1423:— Câbles chauffants pour applications industrielles.
- 1423-1 (1995) Partie 1: Prescriptions de performance et méthodes d'essai.
- 1423-2 (1995) Partie 2: Constitution des câbles et caractéristiques des matériaux.

**IEC publications prepared  
par le Comité d'Etudes n° 20 (continued)**

- 885-3 (1988) Part 3: Test methods for partial discharge measurements on lengths of extruded power cables.
- 949 (1988) Calculation of thermally permissible short-circuit currents, taking into account non-adiabatic heating effects.
- 986 (1989) Guide to the short-circuit temperature limits of electric cables with a rated voltage from 1,8/3 (3,6) kV to 18/30 (36) kV.  
Amendment 1 (1993).
- 1034:— Measurement of smoke density of electric cables burning under defined conditions.
- 1034-1 (1990) Part 1: Test apparatus.
- 1034-2 (1991) Part 2: Test procedure and requirements.  
Amendment 1 (1993).
- 1042 (1991) A method for calculating reduction factors for groups of cables in free air, protected from solar radiation.
- 1138 (1994) Cables for portable earthing and short-circuiting equipment.  
Amendment 1 (1995).
- 1238-1 (1993) Compression and mechanical connectors for power cables with copper or aluminium conductors - Part 1: Test methods and requirements.
- 1423:— Heating cables for industrial applications
- 1423-1 (1995) Part 1: Performance requirements and test methods
- 1423-2 (1995) Part 2: Constructional and material requirements.

---

**ICS 29.060.20**

---

Typeset and printed by the IEC Central Office  
GENEVA, SWITZERLAND



**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC  
287-3-2**

Première édition  
First edition  
1995-06

---

---

**Câbles électriques –  
Calcul du courant admissible –**

**Partie 3:**

Sections concernant les conditions  
de fonctionnement –

Section 2: Optimisation économique des sections  
d'âme de câbles électriques de puissance

**Electric cables –  
Calculation of the current rating –**

**Part 3:**

Sections on operating conditions –

Section 2: Economic optimization of power cable size



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 287-3-2: 1995

## Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**  
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**  
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

## Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

## Symboles graphiques et littéraires

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraires et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraires à utiliser en électrotechnique;*
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles;*
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas;*

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale.*

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

## Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

## Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**  
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**  
Published yearly with regular updates

## Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*, which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

## Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology;*
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets;*
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams;*

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice.*

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

## IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC  
287-3-2**

Première édition  
First edition  
1995-06

**Câbles électriques –  
Calcul du courant admissible –**

**Partie 3:**

Sections concernant les conditions  
de fonctionnement –

Section 2: Optimisation économique des sections  
d'âme de câbles électriques de puissance

**Electric cables –  
Calculation of the current rating –**

**Part 3:**

Sections on operating conditions –

Section 2: Economic optimization of power cable size

© CEI 1995 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

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'éditeur

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 the publisher.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

U

Pour prix, voir catalogue en vigueur  
For price, see current catalogue

## SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS .....	4
<b>Articles</b>	
0 Introduction .....	6
1 Domaine d'application .....	12
2 Références normatives .....	12
3 Symboles .....	14
4 Calcul des coûts totaux .....	16
5 Détermination des sections économiques de l'âme .....	22
5.1 Première méthode: fourchette d'intensité de courant économique pour chaque âme d'une série de sections d'âme .....	22
5.2 Deuxième méthode: section économique de l'âme pour une charge donnée .....	24
<b>Annexes</b>	
A Exemples de calculs de sections économiques de l'âme .....	28
B Estimation de la température moyenne et de la résistance des âmes .....	50

## CONTENTS

	Page
<b>FOREWORD .....</b>	<b>5</b>
<b>Clause</b>	
<b>0 Introduction .....</b>	<b>7</b>
<b>1 Scope .....</b>	<b>13</b>
<b>2 Normative references .....</b>	<b>13</b>
<b>3 Symbols .....</b>	<b>15</b>
<b>4 Calculation of total costs .....</b>	<b>17</b>
<b>5 Determination of economic conductor sizes .....</b>	<b>23</b>
<b>5.1 First approach: economic current range for each conductor in         a series of sizes .....</b>	<b>23</b>
<b>5.2 Second approach: economic conductor size for a given load .....</b>	<b>25</b>
<b>Annexes</b>	
<b>A Examples of calculation of economic conductor sizes .....</b>	<b>29</b>
<b>B Mean conductor temperature and resistance .....</b>	<b>51</b>

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CÂBLES ÉLECTRIQUES –  
CALCUL DU COURANT ADMISSIBLE –

**Partie 3: Sections concernant les conditions de fonctionnement –  
Section 2: Optimisation économique des sections d'âme  
de câbles électriques de puissance**

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) 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. 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 en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La Norme internationale CEI 287-3-2 a été établie par le sous-comité 20A: Câbles de haute tension, du comité d'études 20 de la CEI: Câbles électriques.

Cette première édition de la CEI 287-3-2 annule et remplace la première édition de la CEI 1059 parue en 1991, sans changement technique.

La CEI 287-1-1 remplace les sections un et deux de la deuxième édition de la CEI 287; la CEI 287-2-1 remplace la section trois et les annexes C et D de la deuxième édition de la CEI 287; la CEI 287-3-1 remplace les annexes A et B de la deuxième édition de la CEI 287.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote
20A(BC)131	20A(BC)139

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

Les annexes A et B sont données uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTRIC CABLES –  
CALCULATION OF THE CURRENT RATING –

Part 3: Sections on operating conditions –  
Section 2: Economic optimization of power cable size

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the IEC on technical matters, prepared by technical committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.

International Standard IEC 287-3-2 has been prepared by sub-committee 20A: High-voltage cables, of IEC technical committee 20: Electric cables.

This first edition of 287-3-2 cancels and replaces the first edition of IEC 1059 published in 1991 without technical changes.

IEC 287-1-1 replaces sections one and two of the second edition of IEC 287; IEC 287-2-1 replaces section three and annexes C and D of the second edition of IEC 287; IEC 287-3-1 replaces annexes A and B of the second edition of IEC 287.

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

DIS	Report on voting
20A(CO)131	20A(CO)139

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

Annexes A and B are for information only.

## 0 Introduction

La CEI 287 a été divisée en trois parties et diverses sections de manière à faciliter les révisions et les adjonctions.

Chaque partie est divisée en sections qui sont publiées en tant que normes séparées.

Partie 1: Equations de l'intensité du courant admissible (facteur de charge 100 %) et calcul des pertes

Partie 2: Résistance thermique

Partie 3: Sections concernant les conditions de fonctionnement

Auparavant, cette section constituait la CEI 1059.

### 0.1 Aspects généraux

La procédure généralement utilisée pour le choix d'une section d'âme de câble conduit à retenir la section minimale admissible, ce qui diminue également le coût d'investissement initial du câble. Elle ne tient pas compte du coût des pertes intervenant pendant la durée de vie du câble.

Le coût croissant de l'énergie, venant s'ajouter aux pertes d'énergie importantes provoquées par les températures de fonctionnement élevées possibles avec les nouveaux matériaux isolants (par exemple 90 °C pour le PR et l'EPR), impose actuellement d'effectuer le choix des sections de câble en fonction de critères économiques plus larges. Plutôt que de réduire uniquement le coût initial, il convient de minimiser également le coût des pertes sur la durée de vie économique du câble. Concernant cette dernière condition, le choix d'une section de câble plus forte que celle déterminée pour obtenir un coût initial minimal conduit à des pertes plus faibles pour le même courant, ce qui est beaucoup moins coûteux, si l'on considère sa durée de vie économique.

On peut calculer les coûts futurs des pertes d'énergie pendant la durée de vie économique d'un câble en évaluant de façon adéquate l'accroissement de la charge et le coût de l'énergie. La section d'âme la plus économique est obtenue en minimisant la somme des coûts futurs des pertes d'énergie et du coût initial d'achat et d'installation.

Lorsque l'on choisit une section d'âme de câble plus forte que celle déterminée par les contraintes thermiques, l'économie sur le coût global est due à une réduction considérable du coût des pertes par effet Joule comparées à l'augmentation du coût d'achat. Pour les valeurs des paramètres financiers et électriques utilisées dans la présente norme et qui ne sont pas exceptionnelles, l'économie sur le coût total d'achat et d'exploitation est de l'ordre de 50 % (voir l'article A.6 de l'annexe A). Les calculs effectués sur des périodes financières beaucoup plus courtes peuvent conduire à un résultat analogue.

Un point également important, et qui est démontré par des exemples, réside dans le fait que les économies possibles ne dépendent pas de façon critique de la section d'âme lorsqu'elle se situe dans la zone des valeurs économiques, voir la figure A.3. Cela entraîne deux implications:



## 0 Introduction

IEC 287 has been divided into three parts and sections so that revisions of, and additions to, the document can be carried out more conveniently.

Each part is divided into sections which are published as separate standards.

Part 1: Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses

Part 2: Thermal resistance

Part 3: Sections on operating conditions

This section was previously IEC 1059.

### 0.1 General part

The procedure generally used for the selection of a cable size leads to the minimum admissible cross-sectional area, which also minimizes the initial investment cost of the cable. It does not take into account the cost of the losses that will occur during the life of the cable.

The increasing cost of energy, together with the high energy losses which follow from the operating temperatures possible with the newer insulating materials (e.g. 90 °C for XLPE and EPR), now requires that cable size selection be considered on wider economic grounds. Rather than minimizing the initial cost only, the sum of the initial cost and the cost of the losses over the economic life of the cable should also be minimized. For this latter condition a larger size of conductor than would be chosen based on minimum initial cost will lead to a lower power loss for the same current and will, when considered over its economic life, be much less expensive.

The future costs of energy losses during the economic life of the cable can be calculated by making suitable estimates of load growth and cost of energy. The most economical size of conductor is achieved when the sum of the future costs of energy losses and the initial cost of purchase and installation are minimized.

The saving in overall cost, when a conductor size larger than that determined by thermal constraints is chosen, is due to the considerable reduction in the cost of the joule losses compared with the increase in cost of purchase. For the values of the financial and electrical parameters used in this standard, which are not exceptional, the saving in the combined cost of purchase and operation is of the order of 50 % (see clause A.6 in annex A). Calculations for much shorter financial periods can show a similar pattern.

A further important feature, which is demonstrated by examples, is that the savings possible are not critically dependent on the conductor size when it is in the region of the economic value, see figure A.3. This has two implications:

a) L'impact des erreurs sur les données financières, particulièrement celles qui déterminent les coûts futurs, est faible. Alors qu'il est avantageux de rechercher des données aussi précises que possible, on peut réaliser des économies considérables en utilisant des données basées sur des estimations raisonnables.

b) Il est possible, sans perdre une trop grande partie des bénéfices réalisés en choisissant une section d'âme économique, d'accorder l'importance qui convient à d'autres considérations sur le choix des sections d'âme qui entrent dans le coût global d'une installation, telles que les courants de défaut, les chutes de tension et les sections d'âme normalisées.

## 0.2 Aspects économiques

Pour ajouter les coûts d'achat et d'installation au coût des pertes d'énergie intervenant pendant la durée de vie économique du câble, il est nécessaire de les exprimer en termes de valeurs économiques comparables, c'est-à-dire des valeurs qui se rapportent à une même époque dans le temps. Il est pratique d'utiliser la date d'achat de l'installation comme point de référence et de s'y référer comme le «présent». Les coûts «futurs» des pertes d'énergie sont ensuite convertis en leurs «valeurs actuelles» équivalentes. On utilise pour cela le processus d'actualisation, le taux d'actualisation étant lié au coût des emprunts.

Dans la procédure donnée ici, il a été fait abstraction de l'inflation car elle a une influence à la fois sur le coût des emprunts et sur le coût de l'énergie. Si ces paramètres sont considérés sur une même durée et que les effets de l'inflation sont approximativement les mêmes pour les deux, le choix d'une section d'âme économique peut être fait de façon satisfaisante sans y ajouter la complication de l'inflation.

Pour calculer la valeur actualisée des coûts des pertes, il est nécessaire de choisir des valeurs appropriées pour l'accroissement futur de la charge, les augmentations annuelles du prix du kWh et les taux annuels d'actualisation pendant la durée de vie économique du câble, qui peut être de 25 ans ou plus. Cette norme ne peut pas donner d'indications sur ces aspects, ceux-ci étant liés aux conditions et aux contraintes financières des installations particulières. On se contente de donner ici des formules appropriées; le choix des facteurs économiques incombe au concepteur et à l'utilisateur.

Les formules proposées dans cette norme sont simples, mais lors de leur application, il convient de ne pas oublier qu'elles sont basées sur l'hypothèse d'une stabilité des paramètres financiers sur toute la durée de vie économique du câble. Les observations précédentes sur les effets de la précision de ces paramètres sont néanmoins également valables ici.

Il y a deux façons d'aborder le calcul de la section économique, qui s'appuient sur les mêmes concepts financiers. La première, fondée sur la considération d'une série de sections d'âme, consiste à calculer une fourchette de courants économiques pour chacune des sections envisagées pour des conditions d'installation particulières et, ensuite, à choisir la section dont la fourchette économique répond à la valeur requise de la charge. Cette méthode est applicable dans le cas de plusieurs installations similaires. La seconde méthode, qui peut s'avérer meilleure quand il s'agit d'une seule installation, consiste à calculer la section optimale pour la charge requise et à choisir ensuite la section d'âme normalisée la plus proche.

- a) The impact of errors in financial data, particularly those which determine future costs, is small. While it is advantageous to seek data having the best practicable accuracy, considerable savings can be achieved using data based on reasonable estimates.
- b) Other considerations with regard to the choice of conductor size which feature in the overall economics of an installation, such as fault currents, voltage drop and size rationalization, can all be given appropriate emphasis without losing too many of the benefits arising from the choice of an economic size.

## 0.2 Economic aspects

In order to combine the purchase and installation costs with costs of energy losses arising during the economic life of a cable, it is necessary to express them in comparable economic values, that is values which relate to the same point in time. It is convenient to use the date of purchase of the installation as this point and to refer to it as the "present". The "future" costs of the energy losses are then converted to their equivalent "present values". This is done by the process of discounting, the discounting rate being linked to the cost of borrowing money.

In the procedure given here inflation has been omitted on the grounds that it will affect both the cost of borrowing money and the cost of energy. If these items are considered over the same period of time and the effect of inflation is approximately the same for both, the choice of an economic size can be made satisfactorily without introducing the added complication of inflation.

To calculate the present value of the costs of the losses it is necessary to choose appropriate values for the future development of the load, annual increases in kWh price and annual discounting rates over the economic life of the cable, which could be 25 years or more. It is not possible to give guidance on these aspects in this standard because they are dependent on the conditions and financial constraints of individual installations. Only the appropriate formulae are given: it is the responsibility of the designer and the user to agree on the economic factors to be used.

The formulae proposed in this standard are straightforward, but in their application due regard should be taken of the assumption that the financial parameters are assumed to remain unchanged during the economic life of the cable. Nevertheless, the above comments on the effect of the accuracy of these parameters is relevant here also.

There are two approaches to the calculation of the economic size, based on the same financial concepts. The first, where a series of conductor sizes is being considered, is to calculate a range of economic currents for each of the conductor sizes envisaged for particular installation conditions and then to select that size whose economic range contains the required value of the load. This approach is appropriate where several similar installations are under consideration. The second method, which may be more suitable where only one installation is involved, is to calculate the optimum cross-sectional area for the required load and then to select the closest standard conductor size.

### 0.3 Autres critères

On doit également considérer d'autres critères, tels que les courants de court-circuit et leur durée, les chutes de tension et la gamme des sections d'âme normalisées. Cependant, un câble choisi du fait de sa section d'âme économique peut être également satisfaisant sur ces divers points, de sorte que, lors du dimensionnement d'un câble, il peut être utile de suivre la séquence suivante:

- a) calculer la section d'âme économique;
- b) vérifier, en utilisant les méthodes données dans la CEI 287-1, dans la CEI 287-2 et dans la CEI 853, que la section déterminée en a) est suffisante pour transporter la charge maximale prévue à la fin de la période économique, sans que la température de l'âme dépasse la valeur maximale admissible;
- c) vérifier que la section de câble choisie peut supporter en toute sécurité les courants de court-circuit prévus et les courants de défaut à la terre pendant les durées correspondantes;
- d) vérifier que la chute de tension à l'extrémité du câble reste dans des limites acceptables;
- e) vérifier que la section de câble satisfait bien aux autres critères propres à l'installation.

Pour compléter le domaine du choix économique, il convient d'accorder une importance suffisante aux conséquences des interruptions d'alimentation. Il peut s'avérer nécessaire d'utiliser une section d'âme plus forte que ne l'exigent les conditions de charge normales et/ou le choix économique, ou d'adapter le réseau en conséquence.

Les conséquences financières entraînées par des décisions erronées, pondérées par un facteur de probabilité, peuvent également entrer dans les composantes du coût. Cependant, cela conduit à pénétrer dans le domaine de la théorie de la décision, qui ne fait pas l'objet de cette norme.

Ainsi, le dimensionnement économique d'un câble ne représente qu'un des aspects économiques de la liaison dans son ensemble et peut céder le pas à d'autres facteurs économiques prépondérants.

### 0.3 Other criteria

Other criteria, for example short-circuit current and its duration, voltage drop and cable size rationalization, must be considered also. However, a cable chosen to have an economical size of conductor may well be satisfactory also from these other points of view, so that when sizing a cable the following sequence may be advantageous:

- a) calculate the economic cross-sectional area;
- b) check by the methods given in IEC 287-1, in IEC 287-2 and in IEC 853 that the size indicated by a) is adequate to carry the maximum load expected to occur at the end of the economic period without its conductor temperature exceeding the maximum permitted value;
- c) check that the size of cable selected can safely withstand the prospective short-circuit and earth fault currents for the corresponding durations;
- d) check that the voltage drop at the end of the cable remains within acceptable limits;
- e) check against other criteria appropriate to the installation.

To complete the field of economic selection, proper weight should be given to the consequences of interruption of supply. It may be necessary to use a larger cross-section of conductor than the normal load conditions require and/or the economic choice would suggest, or to adapt the network accordingly.

A further cost component may be recognized in the financial consequence of making a faulty decision weighted by its probability. However, in doing so one enters the field of decision theory which is outside the scope of this standard.

Thus, economic cable sizing is only a part of the total economic consideration of a system and may give way to other important economic factors.

## CÂBLES ÉLECTRIQUES – CALCUL DU COURANT ADMISSIBLE –

### Partie 3: Sections concernant les conditions de fonctionnement – Section 2: Optimisation économique des sections d'âme de câbles électriques de puissance

#### 1 Domaine d'application

La présente Norme internationale traite uniquement du choix économique des sections d'âme de câbles basé sur les pertes par effet Joule. Les pertes liées à la tension n'ont pas été prises en compte.

#### NOTES

1 Il est recommandé de ne pas utiliser la méthode donnée dans cette norme pour les câbles fonctionnant à des niveaux de tensions supérieures ou égales aux valeurs suivantes (voir CEI 287-1-1):

<i>Type de câble</i>	<i>Tension du réseau <math>U_0</math></i> kV
<b>Câbles isolés au papier imprégné:</b>	
type «solid»	38
à huile et sous pression de gaz	63,5
<b>Câbles isolés avec d'autres matériaux:</b>	
caoutchouc butyle	18
EPR	63,5
PVC	6
PE (HD et BD)	127
PR (non chargé)	127
PR (chargé)	63,5

2 Les modifications à la méthode donnée dans cette norme, destinées à prendre en compte les pertes diélectriques, sont à l'étude.

De la même façon, des questions telles que la maintenance, les pertes d'énergie dans les systèmes à refroidissement forcé et les coûts d'énergie fonction de l'heure du jour ne sont pas traitées dans cette norme.

Un exemple d'application de la méthode à une liaison d'alimentation hypothétique est donné dans l'annexe A.

#### 2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente section de la CEI 287-3. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente section de la CEI 287-3 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 228: 1978, *Ames des câbles isolés*

## ELECTRIC CABLES – CALCULATION OF THE CURRENT RATING –

### Part 3: Sections on operating conditions – Section 2: Economic optimization of power cable size

#### 1 Scope

This International Standard deals solely with the economic choice of conductor size based on joule losses. Voltage dependent losses have not been considered.

#### NOTES

1 It is recommended that the method given in this standard should not be used for cables operating on system voltages equal to or greater than the following (see IEC 287-1-1):

<i>Type of cable</i>	<i>System voltage <math>U_0</math></i>
	kV
<i>Cables insulated with impregnated paper:</i>	
solid type	38
oil-filled and gas pressure	63,5
<i>Cables with other types of insulation:</i>	
butyl rubber	18
EPR	63,5
PVC	6
PE (HD and LD)	127
XLPE (unfilled)	127
XLPE (filled)	63,5

2 Modifications to the method given in this standard in order to take dielectric losses into account are under consideration.

Likewise, matters such as maintenance, energy losses in forced cooling systems and time of day energy costs have not been included in this standard.

An example of the application of the method to a hypothetical supply system is given in annex A.

#### 2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this section of IEC 287-3. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this section of IEC 287-3 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 228: 1978, *Conductors of insulated cables*

CEI 287-1-1: 1994, *Câbles électriques – Calcul du courant admissible – Partie 1: Equations de l'intensité du courant admissible (facteur de charge 100 %) et calcul des pertes – Section 1: Généralités*

CEI 287-2-1: 1994, *Câbles électriques – Calcul du courant admissible – Partie 2: Résistance thermique – Section 1: Calcul de la résistance thermique*

CEI 853, *Calcul des capacités de transport des câbles pour les régimes de charge cycliques et de surcharge de secours*

### 3 Symboles

Les symboles utilisés dans la présente norme et les grandeurs qu'ils représentent sont donnés dans la liste suivante:

<b>A</b>	composante variable linéique du coût liée à la section de l'âme	cu/m.mm <sup>2</sup>
<b>B</b>	grandeur auxiliaire définie par l'équation (16)	-
<b>C</b>	composante constante linéique du coût liée aux conditions de pose, etc.	cu/m
<b>CT</b>	coût total d'une liaison	cu
<b>D</b>	frais annuels pour couvrir les pertes	cu/W.année
<b>F</b>	grandeur auxiliaire définie par l'équation (10)	cu/W
<b>I<sub>max</sub></b>	intensité du courant à la charge maximale au cours de la première année, c'est-à-dire valeur moyenne horaire la plus élevée	A
<b>I(t)</b>	intensité du courant en fonction du temps	A
<b>l</b>	longueur de câble	m
<b>CJ</b>	valeur actualisée du coût des pertes par effet Joule pendant N années	cu
<b>N</b>	période couverte par les calculs financiers, également dénommée «durée de vie économique»	année
<b>N<sub>p</sub></b>	nombre de conducteurs de phase par circuit	-
<b>N<sub>c</sub></b>	nombre de circuits transportant une charge de même type et de même valeur	-
<b>P</b>	coût d'un wattheure au niveau de tension approprié	cu/W.h
<b>CI</b>	coût après installation de la longueur de câble considérée	cu
<b>CI<sub>2</sub></b>	coût après installation d'un câble de section d'âme normalisée immédiatement supérieure	cu
<b>CI<sub>1</sub></b>	coût après installation d'un câble de section d'âme normalisée immédiatement inférieure	cu
<b>CI(S)</b>	coût après installation d'un câble en fonction de sa section	cu
<b>Q</b>	grandeur auxiliaire définie par l'équation (8)	-
<b>R</b>	résistance linéique du câble en courant alternatif, y compris les effets de $y_p$ , $y_s$ , $\lambda_1$ , $\lambda_2$ (considérée comme une valeur constante à une température moyenne de fonctionnement, voir l'article 4)	$\Omega/m$
<b>R<sub>2</sub></b>	résistance linéique en courant alternatif de l'âme de section normalisée immédiatement supérieure	$\Omega/m$



IEC 287-1-1: 1994, *Electric cables – Calculation of the current rating – Part 1: Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses – Section 1: General*

IEC 287-2-1: 1994, *Electric cables – Calculation of the current rating – Part 2: Thermal resistance – Section 1: Calculation of thermal resistance*

IEC 853, *Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables*

### 3 Symbols

The symbols used in this standard and the quantities which they represent are given in the following list:

<b>A</b>	variable component of cost per unit length related to conductor size	cu/m.mm <sup>2</sup>
<b>B</b>	auxiliary quantity defined by equation (16)	–
<b>C</b>	constant component of cost per unit length related to laying conditions, etc.	cu/m
<b>CT</b>	total cost of a system	cu
<b>D</b>	demand charge each year	cu/W.year
<b>F</b>	auxiliary quantity defined by equation (10)	cu/W
<b>I<sub>max</sub></b>	maximum load in first year i.e. the highest hourly mean value	A
<b>I(t)</b>	load as a function of time	A
<b>l</b>	cable length	m
<b>CJ</b>	present value of the cost of joule losses during <i>N</i> years	cu
<b>N</b>	period covered by financial calculations, also referred to as "economic life"	year
<b>N<sub>p</sub></b>	number of phase conductors per circuit	–
<b>N<sub>c</sub></b>	number of circuits carrying the same type and value of load	–
<b>P</b>	cost of one watt-hour at relevant voltage level	cu/W.h
<b>CI</b>	installed cost of the length of cable being considered	cu
<b>CI<sub>2</sub></b>	installed cost of the next larger standard size of conductor	cu
<b>CI<sub>1</sub></b>	installed cost of the next smaller standard size of conductor	cu
<b>CI(S)</b>	installed cost of a cable as a function of its cross-sectional area	cu
<b>Q</b>	auxiliary quantity defined by equation (8)	–
<b>R</b>	cable a.c. resistance per unit length, including the effect of $y_p, y_s, \lambda_1, \lambda_2$ (considered to be a constant value at an average operating temperature, see clause 4)	Ω/m
<b>R<sub>2</sub></b>	a.c. resistance per unit length of next larger standard conductor size	Ω/m

$R_1$	résistance linéique en courant alternatif de l'âme de section normalisée immédiatement inférieure	$\Omega/m$
$R(S)$	résistance linéique en courant alternatif d'une âme en fonction de sa section	$\Omega/m$
$S$	section de l'âme d'un câble	$mm^2$
$S_{ec}$	section économique de l'âme	$mm^2$
$T$	temps de fonctionnement à pertes maximales par effet Joule	h/année
$a$	accroissement annuel de $I_{max}$	%
$b$	augmentation annuelle de $P$ non provoquée par l'inflation	%
$i$	taux d'actualisation utilisé pour le calcul des valeurs actuelles	%
$r$	grandeur auxiliaire définie par l'équation (9)	-
$t$	temps	h
$y_p$	facteur d'effet de proximité, voir CEI 287-1-1	-
$y_s$	facteur d'effet de peau, voir CEI 287-1-1	-
$\alpha_{20}$	coefficient de variation de la résistance électrique de l'âme en fonction de la température, pris à 20 °C	1/K
$\theta$	température assignée maximale de service à l'âme du câble	°C
$\theta_a$	température ambiante moyenne	°C
$\theta_m$	température moyenne de service de l'âme du câble	°C
$\lambda_1, \lambda_2$	facteurs de pertes dans les gaines métalliques et dans l'armure, voir CEI 287-1-1	-
$\mu$	facteur de charge des pertes, voir CEI 853	-
$\rho_{20}$	résistivité de l'âme à 20 °C, voir 5.2	$\Omega.m$

#### 4 Calcul des coûts totaux

Le coût total d'installation et d'exploitation d'un câble pendant sa durée de vie économique, exprimé en valeurs actualisées, se calcule comme exposé ci-après. Il est à noter que toutes les grandeurs financières sont exprimées en unités de monnaie arbitraires, (cu).

$$\text{Le coût total} = CT = CI + CJ \text{ (cu)} \quad (1)$$

où

$CI$  est le coût de la longueur de câble installé, cu;

$CJ$  est le coût équivalent à la date de l'achat de l'installation, c'est-à-dire valeur actualisée des pertes par effet Joule pendant une durée de vie économique de  $N$  années, cu.

#### Evaluation de $CJ$

Le coût total dû aux pertes se compose de deux parties: a) les frais d'énergie, et b) le coût associé à une puissance de pointe supplémentaire nécessaire pour couvrir les pertes.

$R_1$	a.c. resistance per unit length of next smaller standard conductor size	$\Omega/m$
$R(S)$	a.c. resistance per unit length of a conductor as a function of its area	$\Omega/m$
$S$	cross-sectional area of a cable conductor	$mm^2$
$S_{ec}$	economic conductor size	$mm^2$
$T$	operating time at maximum joule loss	h/year
$a$	annual increase in $I_{max}$	%
$b$	annual increase in $P$ , not covered by inflation	%
$i$	discounting rate used to compute present values	%
$r$	auxiliary quantity defined by equation (9)	-
$t$	time	h
$y_p$	proximity effect factor, see IEC 287-1-1	-
$y_s$	skin effect factor, see IEC 287 1-1	-
$\alpha_{20}$	temperature coefficient of conductor resistance at 20 °C	1/K
$\theta$	maximum rated conductor operating temperature	°C
$\theta_a$	ambient average temperature	°C
$\theta_m$	mean operating conductor temperature	°C
$\lambda_1, \lambda_2$	sheath and armour loss factors, see IEC 287-1-1	-
$\mu$	loss load factor, see IEC 853	-
$\rho_{20}$	conductor resistivity at 20 °C, see 5.2	$\Omega.m$

#### 4 Calculation of total costs

The total cost of installing and operating a cable during its economic life, expressed in present values, is calculated as follows. Note that all financial quantities are expressed in arbitrary currency units, (cu).

$$\text{The total cost} = CT = CI + CJ \text{ (cu)} \quad (1)$$

where

$CI$  is the cost of the installed length of cable, cu;

$CJ$  is the equivalent cost at the date the installation was purchased, i.e. the present value, of the joule losses during an economic life of  $N$  years, cu.

#### Evaluation of $CJ$

The total cost due to the losses is composed of two parts: a) the energy charge and b) the charge for the additional supply capacity to provide the losses.

a) *Coût dû aux frais d'énergie*

$$\text{Pertes d'énergie pendant la première année} = (I_{\max}^2 \cdot R \cdot l \cdot N_p \cdot N_c) T \text{ (W.h)} \quad (2)$$

où

$I_{\max}$  est l'intensité à la charge maximale au cours de la première année, A;

$l$  est la longueur de câble, m;

$R$  est la résistance linéique apparente de l'âme du câble en courant alternatif, tenant compte des effets de peau et de proximité ( $\gamma_p, \gamma_s$ ) et des pertes dans les écrans métalliques et l'armure ( $\lambda_1, \lambda_2$ ),  $\Omega/m$ .

La section économique de l'âme étant généralement supérieure à la section basée sur des considérations d'ordre thermique (c'est-à-dire la section déterminée par l'utilisation de la CEI 287-1, de la CEI 287-2 et/ou de la CEI 853), sa température sera inférieure à la valeur maximale admissible. En l'absence d'informations plus précises, il est commode de supposer  $R$  constant, sa valeur correspondant à la température de  $(\theta - \theta_a)/3 + \theta_a$ .

Ici,  $\theta$  est la température maximale assignée à l'âme pour le type de câble concerné et  $\theta_a$  est la température ambiante moyenne. Le diviseur 3 est empirique, voir annexe B.

NOTE - Si l'on demande une précision plus grande (par exemple, lorsque les calculs n'indiquent pas clairement quelle section nominale il convient de choisir ou que l'augmentation de la charge est telle que sa valeur durant les dernières années est notablement supérieure à celle de la première année), on peut faire une meilleure estimation de la température de l'âme en partant de la section d'âme de ce câble, obtenue à partir de la température approximative indiquée ci-dessus.

Des méthodes pour une estimation plus précise de la température et de la résistance de l'âme sont données dans l'annexe B. La section économique est ensuite déterminée à nouveau, en utilisant la valeur révisée de la résistance de l'âme.

L'effet de la résistance de l'âme sur la valeur de la section économique est faible et il est rarement nécessaire de refaire l'itération une seconde fois.

$N_p$  est le nombre de conducteurs de phase par circuit;

$N_c$  est le nombre de circuits transportant une charge de même valeur et de même type;

$T$  est le temps de fonctionnement à pertes maximales par effet joule, h/année;

est le nombre d'heures par année de fonctionnement au courant maximal  $I_{\max}$  qu'il faudrait pour produire les mêmes pertes totales annuelles d'énergie que le courant de charge variable effectif;

$$T = \int_0^{8760} \frac{I(t)^2 \cdot dt}{I_{\max}^2}$$

Si le facteur de charge des pertes  $\mu$  est connu et peut être supposé constant pendant la durée de vie économique du câble, on a alors:

$T$  est égal à  $\mu \cdot 8760$

Voir la CEI 853 pour l'obtention du facteur de pertes de charge,  $\mu$ ;

$t$  est le temps, h;

$I(t)$  est le courant de charge en fonction du temps; A.

a) Cost due to energy charge

Energy loss during the first year = (I\_max^2 . R . l . N\_p . N\_c) T (W.h) (2)

where

- I\_max is the maximum load on the cable during the first year, A;
l is the length of cable, m;
R is the apparent a.c. resistance of a conductor per unit length, taking into account both skin and proximity effects (gamma\_p, gamma\_s) and losses in metal screens and armour (lambda\_1, lambda\_2), Ohm/m.

As the economic conductor size is usually larger than the size based on thermal considerations (i.e. the size determined by the use of IEC 287-1, IEC 287-2 and/or IEC 853), its temperature will be lower than the maximum permissible value. It is convenient to assume, in the absence of more precise information, that R is constant and has a value corresponding to a temperature of (theta - theta\_a)/3 + theta\_a.

Here theta is the maximum rated conductor temperature for the type of cable concerned and theta\_a is the ambient average temperature. Factor 3 is empirical, see annex B.

NOTE - If greater precision is required (for example where the calculations do not indicate clearly which nominal conductor size should be chosen or the growth in load is such that its value during the final years is significantly higher than that of the first year) a better estimate of conductor temperature can be made using as a starting point the conductor size obtained from the approximate temperature given above.

Methods for making a more refined estimate of conductor temperature and resistance are given in annex B. The economical size is then redetermined using the revised value of conductor resistance.

The effect of conductor resistance on the value of the economical size is small and it is seldom worthwhile to perform the iteration more than once.

- N\_p is the number of phase conductors per circuit;
N\_c is the number of circuits carrying the same value and type of load;
T is the operating time at maximum joule loss, h/year;
is the number of hours per year that the maximum current I\_max would need to flow in order to produce the same total yearly energy losses as the actual, variable, load current;

T = integral from 0 to 8760 of (I(t)^2 . dt) / I\_max^2

If the loss load factor mu is known and can be assumed to be constant during the economic life, then:

- T is equal to mu . 8760
See IEC 853 for the derivation of the loss load factor, mu;
t is the time, h;
I(t) is the load current as a function of time, A.

Le coût des pertes au cours de la première année est:

$$= (I_{\max}^2 \cdot R \cdot l \cdot N_p \cdot N_c) \cdot T \cdot P \quad (\text{cu}) \quad (3)$$

où

$P$  est le coût d'un wattheure au niveau de tension approprié, cu/W.h.

b) *Coût dû à la capacité additionnelle de production*

Le coût de la capacité de production additionnelle nécessaire pour compenser ces pertes est:

$$= (I_{\max}^2 \cdot R \cdot l \cdot N_p \cdot N_c) \cdot D \quad (\text{cu/année}) \quad (4)$$

où

$D$  est égal aux frais annuels pour couvrir ces pertes, cu/W.année.

Le coût global des pertes au cours de la première année est donc:

$$= (I_{\max}^2 \cdot R \cdot l \cdot N_p \cdot N_c) \cdot (T \cdot P + D) \quad (\text{cu}) \quad (5)$$

Si les coûts sont payés en fin d'année, leur valeur actualisée à la date d'achat de l'installation est:

$$= \frac{(I_{\max}^2 \cdot R \cdot l \cdot N_p \cdot N_c) \cdot (T \cdot P + D)}{(1 + i/100)} \quad (\text{cu}) \quad (6)$$

où

$i$  est le taux d'actualisation, en faisant abstraction de l'inflation, %.

De la même façon, la valeur actuelle des coûts de l'énergie pendant  $N$  années de service, actualisée à la date de l'achat est:

$$CJ = (I_{\max}^2 \cdot R \cdot l \cdot N_p \cdot N_c) \cdot (T \cdot P + D) \cdot \frac{Q}{(1 + i/100)} \quad (\text{cu}) \quad (7)$$

où

$Q$  est le coefficient prenant en compte l'accroissement de charge, l'augmentation du coût de l'énergie pendant les  $N$  années et le taux d'actualisation.

$$= \sum_{n=1}^N (r^{n-1}) = \frac{1 - r^N}{1 - r} \quad (8)$$

$$r = \frac{(1 + a/100)^2 \cdot (1 + b/100)}{(1 + i/100)} \quad (9)$$

et

$a$  est l'accroissement annuel de charge, %;

$b$  est l'augmentation annuelle du coût de l'énergie, abstraction faite de l'inflation, %.

The cost of the first year's losses is:

$$= (I_{\max}^2 \cdot R \cdot l \cdot N_p \cdot N_c) \cdot T \cdot P \quad (\text{cu}) \quad (3)$$

where

$P$  is the cost of one watt-hour of energy at the relevant voltage level, cu/W.h.

**b) Cost due to additional supply capacity**

The cost of additional supply capacity to provide these losses is:

$$= (I_{\max}^2 \cdot R \cdot l \cdot N_p \cdot N_c) \cdot D \quad (\text{cu/year}) \quad (4)$$

where

$D$  is the demand charge per year, cu/W.year.

The overall cost of the first year's losses is therefore:

$$= (I_{\max}^2 \cdot R \cdot l \cdot N_p \cdot N_c) \cdot (T \cdot P + D) \quad (\text{cu}) \quad (5)$$

If costs are paid at the end of the year, then at the date of the purchase of the installation their present value is:

$$= \frac{(I_{\max}^2 \cdot R \cdot l \cdot N_p \cdot N_c) \cdot (T \cdot P + D)}{(1 + i/100)} \quad (\text{cu}) \quad (6)$$

where

$i$  is the discount rate, not including the effect of inflation, %.

Similarly, the present value of energy costs during  $N$  years of operation, discounted to the date of purchase is:

$$CJ = (I_{\max}^2 \cdot R \cdot l \cdot N_p \cdot N_c) \cdot (T \cdot P + D) \cdot \frac{Q}{(1 + i/100)} \quad (\text{cu}) \quad (7)$$

where

$Q$  is a coefficient taking into account the increase in load, the increase in cost of energy over  $N$  years and the discount rate.

$$= \sum_{n=1}^N (r^{n-1}) = \frac{1 - r^N}{1 - r} \quad (8)$$

$$r = \frac{(1 + a/100)^2 \cdot (1 + b/100)}{(1 + i/100)} \quad (9)$$

and

$a$  is the increase in load per year, %;

$b$  is the increase in cost of energy per year, not including the effect of inflation, %.

Lorsque l'utilisation de différentes sections d'âme de câble nécessite plusieurs calculs, il est avantageux d'exprimer tous les paramètres, à l'exception du courant et de la résistance de l'âme, par un seul coefficient  $F$ , où

$$F = N_p \cdot N_c \cdot (T \cdot P + D) \cdot \frac{Q}{(1 + i/100)} \quad (\text{cu/W}) \quad (10)$$

Le coût total est alors donné par:

$$CT = CI + I_{\max}^2 \cdot R \cdot L \cdot F \quad (\text{cu}) \quad (11)$$

## 5 Détermination des sections économiques de l'âme

### 5.1 Première méthode: fourchette d'intensité de courant économique pour chaque âme d'une série de sections d'âmes

Toutes les sections d'âme ont une fourchette d'intensité de courant économique pour des conditions d'installation données. Les limites inférieure et supérieure de la fourchette économique sont données par:

$$\text{limite inférieure de } I_{\max} = \sqrt{\frac{CI - CI_1}{F \cdot L \cdot (R_1 - R)}} \quad (\text{A}) \quad (12)$$

$$\text{limite supérieure de } I_{\max} = \sqrt{\frac{CI_2 - CI}{F \cdot L \cdot (R - R_2)}} \quad (\text{A}) \quad (13)$$

où

$CI$  est le coût après installation de la longueur du câble de section considérée, cu;

$R$  est la résistance linéique en courant alternatif de l'âme de la section considérée,  $\Omega/\text{m}$ ;

$CI_1$  est le coût après installation du câble de section d'âme normalisée immédiatement inférieure, cu;

$R_1$  est la résistance linéique en courant alternatif de l'âme de section immédiatement inférieure,  $\Omega/\text{m}$ ;

$CI_2$  est le coût après installation du câble de section d'âme normalisée immédiatement supérieure, cu;

$R_2$  est la résistance linéique en courant alternatif de l'âme de section immédiatement supérieure,  $\Omega/\text{m}$ .

#### NOTES

1 Les limites supérieure et inférieure de l'intensité de courant économique de chaque section d'âme peuvent être calculées et utilisées pour choisir la section la plus économique pour une charge particulière.

2 La limite supérieure de l'intensité de courant économique pour une section d'âme est égale à la limite inférieure de l'intensité économique pour la section d'âme immédiatement supérieure.



Where a number of calculations involving different sizes of conductor are required, it is advantageous to express all the parameters excepting conductor current and resistance in one coefficient  $F$ , where

$$F = N_p \cdot N_c \cdot (T \cdot P + D) \cdot \frac{Q}{(1 + i/100)} \quad (\text{cu/W}) \quad (10)$$

The total cost is then given by:

$$CT = CI + I_{\max}^2 \cdot R \cdot L \cdot F \quad (\text{cu}) \quad (11)$$

## 5 Determination of economic conductor sizes

### 5.1 First approach: economic current range for each conductor in a series of sizes

All conductor sizes have an economic current range for given installation conditions. The upper and lower limits of the economic range for a given conductor size are given by:

$$\text{lower limit of } I_{\max} = \sqrt{\frac{CI - CI_1}{F.L.(R_1 - R)}} \quad (\text{A}) \quad (12)$$

$$\text{upper limit } I_{\max} = \sqrt{\frac{CI_2 - CI}{F.L.(R - R_2)}} \quad (\text{A}) \quad (13)$$

where

$CI$  is the installed cost of the length of cable whose conductor size is being considered, cu;

$R$  is the a.c. resistance per unit length of the conductor size being considered,  $\Omega/\text{m}$ ;

$CI_1$  is the installed cost of the next smaller standard conductor, cu;

$R_1$  is the a.c. resistance per unit length of the next smaller standard conductor,  $\Omega/\text{m}$ ;

$CI_2$  is the installed cost of the next larger standard conductor, cu;

$R_2$  is the a.c. resistance per unit length of the next larger standard conductor,  $\Omega/\text{m}$ .

#### NOTES

1 The upper and lower economic current limits of each conductor size may be tabulated and used to select the most economic size of conductor for a particular load.

2 The upper economic current limit of one conductor size is the lower economic current limit for the next larger conductor size.

## 5.2 Deuxième méthode: section économique de l'âme pour une charge donnée

### 5.2.1 Equation générale

La section économique de l'âme,  $S_{ec}$ , est la section qui minimise la fonction du coût total:

$$CT(S) = CI(S) + I_{max}^2 \cdot R(S) \cdot L \cdot F \quad (\text{cu}) \quad (14)$$

où  $CI(S)$  et  $R(S)$  sont exprimés comme des fonctions de la section d'âme  $S$ , voir 5.2.2.

L'équation donnant la relation entre  $CI(S)$  et la section d'âme peut être obtenue à partir des coûts connus de câbles de sections normalisées. En général, s'il est possible d'adopter une relation approximativement linéaire aux coûts, éventuellement sur une gamme réduite de sections d'âme, il convient de l'utiliser. Cela peut conduire à des erreurs minimales dans les résultats, eu égard aux incertitudes éventuelles sur les paramètres financiers adoptés pour la période de vie économique choisie.

Selon la CEI 287-1-1, la résistance apparente de l'âme peut s'exprimer en fonction de la section par:

$$R(S) = \frac{\rho_{20} \cdot B [1 + \alpha_{20} (\theta_m - 20)]}{S} \times 10^6 \quad (\Omega/\text{m}) \quad (15)$$

$$B = (1 + y_p + y_s) (1 + \lambda_1 + \lambda_2) \quad (16)$$

où

$\rho_{20}$  est la résistivité en courant continu de l'âme,  $\Omega \cdot \text{m}$ .

NOTE - Il est peu probable que la section d'âme économique soit identique à une section normalisée; il est donc nécessaire de fournir une relation continue entre la résistance et la section. Pour cela, il faut émettre une hypothèse quant à la valeur de la résistivité pour chaque matériau de l'âme. Les valeurs recommandées ici pour  $\rho_{20}$  sont  $18,35 \times 10^{-9}$  pour le cuivre et  $30,3 \times 10^{-9}$  pour l'aluminium. Ces valeurs ne sont pas les valeurs exactes prévues pour ces matériaux, mais il s'agit là de valeurs moyennes choisies de manière à calculer directement les résistances de l'âme à partir des sections nominales, plutôt qu'à partir des sections réelles effectives.

$y_p, y_s$  sont les facteurs d'effet de peau et de proximité, voir CEI 287-1-1;

$\lambda_1, \lambda_2$  sont les facteurs de pertes dans les gaines métalliques et dans l'armure, voir CEI 287-1-1;

$\alpha_{20}$  est le coefficient de variation de la résistivité du matériau de l'âme en fonction de la température, pris à 20 °C,  $\text{K}^{-1}$ ;

$\theta_m$  est la température de l'âme, voir l'explication donnée dans la définition de  $R$  pour l'équation (2), °C;

$B$  est la grandeur auxiliaire définie par l'équation (16), qui peut être calculée en utilisant la CEI 287-1-1, en supposant une valeur probable pour la section économique de l'âme;

$S$  est la section de l'âme du câble,  $\text{mm}^2$ .

## 5.2 Second approach: economic conductor size for a given load

### 5.2.1 General equation

The economic conductor size,  $S_{ec}$  is the cross-section that minimizes the total cost function:

$$CT(S) = CI(S) + I_{max}^2 \cdot R(S) \cdot I \cdot F \quad (\text{cu}) \quad (14)$$

where  $CI(S)$  and  $R(S)$  are expressed as functions of the conductor cross-section  $S$ , see 5.2.2.

The equation for the relationship between  $CI(S)$  and conductor size can be derived from known costs of standard cable sizes. In general, if a reasonably linear relationship can be fitted to the costs, possibly over a restricted range of conductor sizes, it should be used. This will cause little error in the results, in view of the possible uncertainties in the assumed financial parameters for the economic life period chosen.

According to IEC 287-1-1, the apparent conductor resistance can be expressed as a function of the cross-section by:

$$R(S) = \frac{\rho_{20} \cdot B [1 + \alpha_{20} (\theta_m - 20)]}{S} \times 10^6 \quad (\Omega/\text{m}) \quad (15)$$

$$B = (1 + y_p + y_s) (1 + \lambda_1 + \lambda_2) \quad (16)$$

where

$\rho_{20}$  is the d.c. resistivity of the conductor,  $\Omega \cdot \text{m}$ .

**NOTE** – The economic conductor size is unlikely to be identical to a standard size and so it is necessary to provide a continuous relationship between resistance and size. This is done by assuming a value of resistivity for each conductor material. The values recommended here for  $\rho_{20}$  are:  $18,35 \times 10^{-9}$  for copper and  $30,3 \times 10^{-9}$  for aluminium. These values are not the actual values for the materials, but are compromise values chosen so that conductor resistances can be calculated directly from nominal conductor sizes, rather than from the actual effective cross-sectional areas.

$y_p, y_s$  are the skin and proximity effect factors, see IEC 287-1-1;

$\lambda_1, \lambda_2$  are the sheath and armour loss factors, see IEC 287-1-1;

$\alpha_{20}$  is the temperature coefficient of resistivity for the particular conductor material at 20 °C,  $\text{K}^{-1}$ ;

$\theta_m$  is the conductor temperature, see explanation given in the definition of  $R$  for equation (2), °C;

$B$  is the auxiliary value defined by equation (16), which can be calculated from IEC 287-1-1 by assuming a probable value for the economic size of conductor;

$S$  is the cross-sectional area of cable conductor,  $\text{mm}^2$ .

### 5.2.2 Fonction linéaire du coût pour les coûts de câbles

S'il est possible d'adapter un modèle linéaire au coût initial pour le type de câble et d'installation à l'étude, on a alors:

$$CI(S) = l.(A.S + C) \text{ (cu)} \quad (17)$$

où

*A* est la composante variable du coût liée à la section d'âme, cu/m.mm<sup>2</sup>;

*C* est la composante constante du coût indépendante de la section de l'âme du câble, cu/m;

*l* est la longueur de câble, m.

La section optimale  $S_{ec}$  (mm<sup>2</sup>) peut donc être obtenue en égalant à zéro la dérivée de l'équation (14) par rapport à *S*, ce qui donne:

$$S_{ec} = 1\,000 \left[ \frac{l_{max}^2 \cdot F \cdot \rho_{20} \cdot B [1 + \alpha_{20} (\theta_m - 20)]}{A} \right]^{0,5} \text{ (mm}^2\text{)} \quad (18)$$

#### NOTES

1 La section économique de l'âme n'étant pas connue, il faut émettre une hypothèse quant à la section de l'âme probable pour calculer des valeurs correctes de  $\gamma_p$ ,  $\gamma_s$ ,  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$ , puis recommencer le calcul si la section économique s'avère trop différente.

2 La composante constante du coût, *C*, dans l'équation (17), n'affecte pas l'évaluation de la section économique  $S_{ec}$ .

$S_{ec}$  n'étant probablement pas une section d'âme normalisée (voir CEI 228), il faut donc déterminer le coût pour les sections de l'âme immédiatement supérieure et immédiatement inférieure et choisir la section de l'âme la plus économique.

### 5.2.2 Linear cost function for cable costs

If a linear model can be fitted to the values of initial cost for the type of cable and installation under consideration, then:

$$C(S) = l.(A.S + C) \quad (\text{cu}) \quad (17)$$

where

**A** is the variable component of cost, related to conductor size, cu/m.mm<sup>2</sup>;

**C** is the constant component of cost, unaffected by size of cable, cu/m;

**l** is the length of cable, m.

Then the optimum size  $S_{ec}$  (mm<sup>2</sup>) can be obtained by equating to zero the derivative of equation (14) with respect to **S**, giving:

$$S_{ec} = 1\,000 \left[ \frac{I_{max}^2 \cdot F \cdot \rho_{20} \cdot B [1 + \alpha_{20} (\theta_m - 20)]}{A} \right]^{0.5} \quad (\text{mm}^2) \quad (18)$$

#### NOTES

1 As the economic size is unknown, it is necessary to make an assumption as to the probable cable size in order that reasonable values of  $y_p$ ,  $y_s$ ,  $\lambda_1$  and  $\lambda_2$  can be calculated. Recalculation may be necessary if the economic size is too different.

2 The constant component of the cost, **C**, in equation (17), does not affect the evaluation of the economic size  $S_{ec}$ .

$S_{ec}$  is unlikely to be exactly equal to a standard size (see IEC 228) and so the cost for the adjacent larger and smaller standard sizes shall be calculated and the most economical one chosen.

## Annexe A (informative)

### Exemples de calculs de sections économiques de l'âme

#### A.1 Généralités

Ces exemples de calcul sont donnés pour une liaison d'alimentation de dix charges réparties régulièrement sur son parcours, dans les cas suivants:

- a) Application de la première approche (voir 5.1), méthode de la fourchette d'intensité de courant économique, pour dimensionner chaque câble entre les charges adjacentes.
- b) Application de la deuxième approche (voir 5.2), méthode de la section économique de l'âme, pour dimensionner chaque câble entre les charges adjacentes.
- c) Application des deux méthodes pour déterminer la section de l'âme la plus économique lorsqu'une seule section de l'âme est utilisée sur tout le parcours de la liaison.

Les résultats sont résumés en A.6 pour indiquer l'économie qui peut être obtenue en choisissant une section de l'âme économique qui diminue les coûts globaux, au lieu de minimiser le coût initial.

#### A.2 Renseignements concernant les câbles et le réseau d'alimentation

##### *Données sur les charges et le tracé de la liaison*

Un circuit de câbles 10 kV doit être dimensionné de manière à alimenter dix postes électriques 10 kV/0,4 kV, régulièrement espacés sur un tracé à partir d'un poste source 150 kV/10 kV (voir figure A.1). (Il n'y a qu'un circuit triphasé, donc  $N_c = 1$  et  $N_p = 3$ .)

La longueur de câble entre chaque poste est de 500 m.

Les valeurs moyennes horaires les plus élevées de l'intensité du courant,  $I_{max}$ , pendant la première année pour chaque tronçon du trajet, sont:

Tronçon	Courant (A)
1	160
2	144
3	128
réduction de 16 A à chaque poste jusqu'à:	
9	32
10	16

Le facteur de capacité de transport cyclique,  $M$ , pour toutes les charges est 1,11 (voir CEI 853). On suppose que ce facteur reste constant pendant la durée de vie économique du câble.

Pour chaque tronçon du parcours, la section d'âme du câble est choisie en fonction des critères suivants:

- a) Minimisation de la somme du coût initial et de la valeur actualisée des pertes par effet Joule au cours de la vie économique du câble.

## Annex A (informative)

### Examples of calculation of economic conductor sizes

#### A.1 General

Example calculations are given for a supply system feeding ten equal loads uniformly spaced along a route for the following cases:

- a) An application of the first approach (see 5.1), the economic current range method, to size each cable between adjacent loads.
- b) An application of the second method (see 5.2), the economic conductor size method, to size each cable between adjacent loads.
- c) An application of both methods to give the most economical conductor size where only one size of cable is used throughout the whole route.

The results are summarized in A.6 to show the saving that can be obtained by choosing a conductor size which reduces the overall costs, rather than by minimizing the first cost.

#### A.2 Cable and supply system details

##### *Load and route data*

A 10 kV cable circuit has to be sized to supply ten 10 kV/0,4 kV substations equally spaced along a route from a 150 kV/10 kV station (see figure A.1). (There is only one three-phase circuit so  $N_c = 1$  and  $N_p = 3$ .)

The cable length between substations is 500 m.

The highest hourly mean values of current  $I_{\max}$ , in the first year for each section of the route are:

Section	Current (A)
1	160
2	144
3	128
reducing by 16 A at each station to:	
9	32
10	16

The cyclic rating factor,  $M$ , for all loads is 1,11 (see IEC 853). It is assumed that this factor remains constant during the economic life of the cable.

For each section of the route the cable size is chosen according to the following criteria:

- a) The minimized sum of the primary cost plus the present value of the joule losses for the economic life of the cable.

b) Capacité de transport de courant nécessaire pour alimenter la charge pendant la dernière année de la vie économique du câble. La capacité de transport requise pour cet exemple est de 0,9 fois l'intensité maximale, c'est-à-dire l'intensité maximale divisée par le facteur de capacité de transport cyclique de 1,11.

c) D'autres facteurs, tels que la tenue aux courts-circuits et les chutes de tension, n'ont pas été considérés dans cet exemple; cependant ils peuvent être introduits comme indiqué à l'article 0.3 de l'introduction de cette norme.

*Données d'ordre financier*

vie économique	<i>N</i>	30	(année)
temps de fonctionnement à pertes maximales (la valeur de 2 250 comprend l'effet de la charge cyclique journalière)	<i>T</i>	2 250	(h/année)
coûts de pertes par effet Joule à la fin de la première année à 10 kV	<i>P</i>	$60,9 \times 10^{-6}$	(cu./W.h)
frais pour couvrir les pertes	<i>D</i>	0,003	(cu./W.an)
Les coûts des câbles et les coûts d'installation par unité de longueur sont donnés au tableau A.1			(cu/m)
Pour cet exemple, le coefficient de la partie des coûts d'installation qui dépend de la section d'âme a comme valeur	<i>A</i>	0,1133	(cu/m.mm <sup>2</sup> )
accroissement annuel de la charge	<i>a</i>	0,5	(%)
accroissement annuel du prix de l'énergie (prix du kW.h)	<i>b</i>	2,0	(%)
taux d'actualisation annuel	<i>i</i>	5,0	(%)

*Données concernant les câbles*

Pour cet exemple, on a retenu un câble triphasé fictif 6/10 kV. Les résistances en courant alternatif des âmes à 40 °C et 80 °C sont données dans les colonnes (2) et (3) du tableau A.1 et les détails financiers dans les colonnes (4) à (6). Les capacités de transport en régime permanent, pour une température maximale admissible à l'âme de 80 °C, dans le cas d'une pose enterrée dans le sol à la température de 20 °C, sont données en A.3.3.

*Calcul des grandeurs auxiliaires*

$$r = \frac{[1 + (0,5/100)]^2 \times [1 + (2/100)]}{1 + (5/100)} = 0,98117 \quad (\text{équation (9)})$$

$$Q = \frac{1 - 0,9812^{30}}{1 - 0,9812} = 23,081 \quad (\text{équation (8)})$$

$$F = \frac{3 \times 1 \times (2\,250 \times 60,9 \times 10^{-6} + 0,003) \times 23,08}{1 + (5/100)} = 9,2341 \quad (\text{équation (10)})$$



b) The current-carrying capacity required for the load during the last year of the economic life of the cable. The required current-carrying capacity for this example is 0,9 times the maximum load, i.e. the maximum load divided by the cyclic rating factor of 1,11.

c) Other factors, such as short-circuit withstand and voltage drop, have not been considered in this example, but can be introduced as indicated in clause 0.3 of the introduction to this standard.

#### Financial data

economic life	<i>N</i>	30	(year)
operating time at maximum loss (the value of 2 250 includes the effect of the daily cyclic load)	<i>T</i>	2 250	(h/year)
price of joule losses at end of first year at 10 kV	<i>P</i>	$60,9 \times 10^{-6}$	(cu./W.h)
demand charges	<i>D</i>	0,003	(cu/W.year)
Cable and installation costs per unit length are given in table A.1			(cu/m)
For this example, the coefficient of that part of the installation costs which depends on conductor size has been calculated to be	<i>A</i>	0,1133	(cu/m.mm <sup>2</sup> )
annual increase of load	<i>a</i>	0,5	(%)
annual increase of cost of energy (kW.h price)	<i>b</i>	2,0	(%)
annual discounting rate	<i>i</i>	5,0	(%)

#### Cable data

For the purpose of this example a fictional three-core 6/10 kV type of cable has been assumed. The a.c. resistances of the conductors at 40 °C and 80 °C are given in columns (2) and (3) of table A.1 and the financial details are given in columns (4) to (6). It has a permissible maximum conductor temperature of 80 °C and when laid in the ground the steady-state ratings at this temperature, for a 20 °C ground ambient temperature, are those given in A.3.3.

#### Calculation of auxiliary quantities

$$r = \frac{[1 + (0,5/100)]^2 \times [1 + (2/100)]}{1 + (5/100)} = 0,98117 \quad (\text{equation (9)})$$

$$Q = \frac{1 - 0,9812^{30}}{1 - 0,9812} = 23,081 \quad (\text{equation (8)})$$

$$F = \frac{3 \times 1 \times (2\,250 \times 60,9 \times 10^{-6} + 0,003) \times 23,08}{1 + (5/100)} = 9,2341 \quad (\text{equation (10)})$$

### A.3 Calcul utilisant la méthode de la fourchette d'intensités de courant économique (voir 5.1)

#### A.3.1 Calcul de la fourchette d'intensité de courant économique pour une section de l'âme

A titre d'exemple, on détermine la fourchette d'intensités de courant économiques pour une âme de 240 mm<sup>2</sup>. On utilise les équations (12) et (13).

$$\text{Limite inférieure de } I_{\max} = \sqrt{\frac{500 \times (52,2 - 45,96) \times 10^3}{9,2341 \times 500 \times (0,181 - 0,140)}} = 128 \text{ A} \quad (\text{équation (12)})$$

$$\text{Limite supérieure de } I_{\max} = \sqrt{\frac{500 \times (58,99 - 52,2) \times 10^3}{9,2341 \times 500 \times (0,140 - 0,114)}} = 168 \text{ A} \quad (\text{équation (13)})$$

Les limites supérieures de courant pour une série de sections d'âme normalisées, lorsque les câbles sont installés dans les conditions retenues pour cet exemple, ont été déterminées de la même façon. Puisque la limite inférieure de courant pour une section d'âme donnée est aussi la limite supérieure pour l'âme de section immédiatement inférieure, les valeurs calculées peuvent être exprimées par des fourchettes d'intensités de courant comme indiqué au tableau suivant:

*Fourchettes d'intensités de courant économiques pour les sections d'âmes de 25 mm<sup>2</sup> à 400 mm<sup>2</sup>*

Section d'âme nominale mm <sup>2</sup>	Fourchette d'intensités de courant A	
25	-	19
35	19	27
50	27	34
70	34	48
95	48	66
120	66	85
150	85	98
185	98	128
240	128	168
300	168	231
400	231	-

Les relations entre la charge maximale pendant la première année et le coût linéique total pour trois sections d'âmes de câble sont données sur la figure A.2. On peut voir que chaque section d'âme fournit l'installation la plus économique pour une fourchette de courants.

La conséquence d'un changement de section d'âme sur les coûts totaux, lorsque le câble transporte une charge donnée, est indiquée sur la figure A.3. On a retenu le câble et les paramètres financiers de l'exemple mais on a supposé une charge fixe,  $I_{\max}$ , de 100 A. On peut voir que, dans la zone de la section d'âme la plus économique, les coûts totaux ne sont pas fortement affectés par le choix de la section d'âme du câble. Cependant, la réduction des coûts est très significative, en comparaison avec ceux basés sur l'utilisation d'une section d'âme choisie à partir de considérations d'ordre thermique.

### A.3 Calculation using the economic current range method (see 5.1)

#### A.3.1 Calculation of the economic current range of one size

As an example, the economic current range for a 240 mm<sup>2</sup> conductor will be found. Equations (12) and (13) are used.

$$\text{Lower limit of } I_{\max} = \sqrt{\frac{500 \times (52,2 - 45,96) \times 10^3}{9,2341 \times 500 \times (0,181 - 0,140)}} = 128 \text{ A} \quad (\text{equation (12)})$$

$$\text{Upper limit of } I_{\max} = \sqrt{\frac{500 \times (58,99 - 52,2) \times 10^3}{9,2341 \times 500 \times (0,140 - 0,114)}} = 168 \text{ A} \quad (\text{equation (13)})$$

The upper limits of current for a range of standard conductor sizes, when installed under the conditions assumed for this example, have been similarly worked out. Since the lower limit of current for a given size of conductor is also the upper limit for the next smaller conductor, the values calculated can be expressed as current ranges as shown in the following table:

*Economic current ranges for cable sizes 25 mm<sup>2</sup> to 400 mm<sup>2</sup>*

Nominal size mm <sup>2</sup>	Current range A	
	Lower limit	Upper limit
25	–	19
35	19	27
50	27	34
70	34	48
95	48	66
120	66	85
150	85	98
185	98	128
240	128	168
300	168	231
400	231	–

Relationships between maximum load during the first year and total cost per unit length for three sizes of cable are given in figure A.2. It can be seen that each size of cable provides the most economical installation over a range of currents.

The effect of a change in conductor size on the overall costs, when carrying a given load, is shown in figure A.3. Here the cable and financial parameters of this example have been retained, but a fixed load,  $I_{\max}$ , of 100 A has been assumed. It can be seen that, in the region of the most economic size, the total costs are not greatly affected by the choice of cable size. However, the reduction in costs, compared with those based on the use of a size chosen from thermal considerations, is very significant.

### A.3.2 Sélection d'une section économique d'âme pour chaque tronçon

A partir des fourchettes d'intensités de courant économiques présentées sous forme de tableau en A.3.1 ci-avant, il est possible de choisir une section d'âme appropriée pour chaque tronçon de câble sur le parcours de la liaison, basée sur chaque valeur de  $I_{\max}$  pour la première année. Les sections d'âme ainsi choisies pour chaque tronçon sont données au tableau A.2, de même que les coûts déterminés à partir de l'équation (11).

Un exemple type du calcul des coûts est donné ci-dessous.

Pour le tronçon 1,  $I_{\max}$  est 160 A.

La section économique d'âme choisie dans le tableau de A.3.1 est 240 mm<sup>2</sup>, qui a une fourchette d'intensité de courant économique de 128 A à 168 A.

$$\begin{aligned} CT &= [52,2 \times 500] + [160^2 \times (0,140/1\ 000) \times 500 \times 9,2341] \\ &= 26\ 100 + 16\ 548 \\ &= 42\ 648\ \text{cu} \end{aligned}$$

Les coûts pour chaque tronçon de la liaison sont résumés sur le tableau A.2.

On peut voir d'après le tableau A.2 que le coût total pour l'installation du câble sur 30 années, sur une base économique est de 290 535 cu.

### A.3.3 Section d'âme basée sur l'intensité maximale de courant - Choix basé sur les capacités de transport à la limite thermique

La section de l'âme du câble pour chaque tronçon est choisie de façon à pouvoir transporter l'intensité maximale de courant prévue pendant la dernière année de la vie économique et ne pas dépasser la température maximale admissible à l'âme.

Pour le tronçon 1:

$$\begin{aligned} I_{\max} \text{ (première année)} &= 160\ \text{A} \\ \text{Intensité maximale du courant} & \\ \text{au cours de la dernière année} &= 160 \times [1 + (0,5/100)]^{30-1} \\ &= 160 \times 1,1556 \\ &= 185\ \text{A} \end{aligned}$$

La capacité de transport requise (facteur de charge 100 %),  $I$ , pour la dernière année ne doit pas être inférieure à:

$$I = 185/1,11 = 167\ \text{A}$$

où le nombre 1,11 est le facteur de capacité de transport cyclique fixé en A.2 b) ci-avant.

### A.3.2 Selection of an economic conductor size for each section

From the economic current ranges tabulated in A.3.1 above it is possible to select an appropriate conductor size for each section of the cable route, based on each value of  $I_{\max}$  for the first year. The sizes so selected for each section are given in table A.2 together with the costs calculated by means of equation (11).

A typical example of the calculation of costs is given below:

For section 1,  $I_{\max}$  is 160 A.

The economic conductor size selected from the table in A.3.1 is 240 mm<sup>2</sup>, which has an economic current range of 128 A to 168 A.

$$\begin{aligned} CT &= [52,2 \times 500] + [160^2 \times (0,140/1\ 000) \times 500 \times 9,2341] \\ &= 26\ 100 + 16\ 548 \\ &= 42\ 648\ \text{cu} \end{aligned}$$

The costs for each section of the route are summarized in table A.2.

It can be seen from table A.2 that the total cost for the cable installation over 30 years on an economic basis is 290 535 cu.

### A.3.3 Conductor size based on maximum load - Choice based on thermal ratings

The cable size for each section is chosen so as to carry the anticipated maximum load for the last year of the economic life and not to exceed the maximum permissible conductor temperature.

For section 1:

$$\begin{aligned} I_{\max} \text{ (first year)} &= 160\ \text{A} \\ \text{Maximum current in last year} &= 160 \times [1 + (0,5/100)]^{30-1} \\ &= 160 \times 1,1556 \\ &= 185\ \text{A} \end{aligned}$$

The required current-carrying capacity (100 % load factor),  $I$ , for the final year shall be not less than:

$$185/1,11 = 167\ \text{A}$$

where the number 1,11 is the cyclic rating factor assumed in A.2 b) above.

D'après le tableau suivant de courants admissibles (calculés selon les méthodes de la CEI 287-1-1 et CEI 287-2-1, pour le type de câble considéré en pose enterrée) la section d'âme nécessaire est de 70 mm<sup>2</sup>.

Section d'âme nominale, mm <sup>2</sup>	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400
Capacité de transport, A	103	125	147	181	221	255	281	328	382	429	482

Afin d'établir une comparaison équitable avec les pertes et les résultats financiers obtenus pour le choix économique d'une section d'âme, il est nécessaire de prendre une température d'âme appropriée à laquelle on calcule les pertes. Pour le choix économique, on a supposé que la température de l'âme était d'environ 40 °C (voir l'article 4). On propose ici que, pour la comparaison, la température des âmes dont la section est choisie sur la base des capacités de transport à la limite thermique soit la valeur maximale admissible de 80 °C.

La résistance des âmes à une température de 80 °C est donnée dans le tableau A.1.

Le coût total du tronçon 1 pendant la période de 30 années est obtenu à partir de l'équation (11).

$$\begin{aligned}
 CT &= [32,95 \times 500] + [160^2 \times (0,553/1\ 000) \times 500 \times 9,2341] \\
 &= 16\ 475 + 65\ 363 \\
 &= 81\ 838 \text{ cu}
 \end{aligned}$$

La comparaison avec le coût de ce tronçon obtenue en A.3.2 en utilisant la section d'âme économique indique une économie de  $(81\ 838 - 42\ 648) \times 100/81\ 838 = 48\ %$ .

Des calculs similaires utilisant des sections d'âme basées sur les capacités de transport maximales au plan thermique ont été faits pour tous les tronçons et sont donnés au tableau A.3. L'économie totale pour les dix tronçons est de  $(547\ 864 - 290\ 535) \times 100/547\ 864 = 47\ %$ .

#### A.4 Calculs utilisant la méthode de section économique de l'âme (voir 5.2)

Le tronçon 1 est utilisé comme exemple.

$$\begin{aligned}
 I_{\max} &= 160 \text{ A} \\
 \rho_{20} &= 30,3 \times 10^{-9} \ \Omega \cdot \text{m} \text{ (voir 5.2.1)} \\
 \alpha_{20} &= 0,00403 \text{ K}^{-1} \\
 B &= 1,023 \text{ (en considérant initialement que la section d'âme de } 185 \text{ mm}^2 \text{ peut constituer un optimum économique)} \\
 A &= 0,1133 \text{ cu/m} \cdot \text{mm}^2 \text{ (coefficient de la partie variable des coûts d'installation, voir 5.2.2)}
 \end{aligned}$$

From the following table of current ratings (calculated according to the methods in IEC 287-1-1 and IEC 287-2-1, for this type of cable when installed in the ground) the required conductor size is 70 mm<sup>2</sup>.

Nominal size, mm <sup>2</sup>	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400
Current-carrying capacity, A	103	125	147	181	221	255	281	328	382	429	482

In order to make a fair comparison with the losses and financial figures calculated for the economic choice of conductor size, it is necessary to assume an appropriate conductor temperature at which to calculate the losses. For the economic choice it was assumed that the temperature of the conductor would be about 40 °C (see clause 4). It is proposed here that a comparable assumption for the temperature of conductors chosen on the basis of thermal ratings would be the maximum permissible value of 80 °C.

The conductor resistance at a temperature of 80 °C is given in table A.1.

The total cost of section 1 during the 30-year period is obtained from equation (11).

$$\begin{aligned}
 CT &= [32,95 \times 500] + [160^2 \times (0,553/1\ 000) \times 500 \times 9,2341] \\
 &= 16\ 475 + 65\ 363 \\
 &= 81\ 838\ \text{cu}
 \end{aligned}$$

Comparison with the cost for this section when using the economical size of conductor, evaluated in A.3.2, shows that the saving in cost for this section is  $(81\ 838 - 42\ 648) \times 100/81\ 838 = 48\ %$ .

Similar calculations using sizes based on maximum thermal current-carrying capacity have been made for all the sections and are given in table A.3. The total saving for the ten sections is  $(547\ 864 - 290\ 535) \times 100/547\ 864 = 47\ %$ .

#### A.4 Calculation using the economic conductor size method (see 5.2)

Route section 1 is used as an example.

$$\begin{aligned}
 I_{\max} &= 160\ \text{A} \\
 \rho_{20} &= 30,3 \times 10^{-9}\ \Omega \cdot \text{m} \text{ (see 5.2.1)} \\
 \alpha_{20} &= 0,00403\ \text{K}^{-1} \\
 B &= 1,023 \text{ (assuming initially that a conductor size of } 185\ \text{mm}^2 \text{ could be the economic optimum)} \\
 A &= 0,1133\ \text{cu/m} \cdot \text{mm}^2 \text{ (coefficient of the variable part of the installation costs, see 5.2.2)}
 \end{aligned}$$

$$F = 9,2341 \text{ cu/W}$$

$$\theta_m = (80 - 20)/3 + 20 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$S_{ec} = 1\,000 \times \left[ \frac{160^2 \times 9,2341 \times 30,3 \times 10^{-9} \times 1,023[1 + 0,00403(40 - 20)]}{0,1133} \right]^{0,5}$$

$$= 264 \text{ mm}^2$$

On peut donc choisir une section d'âme de 240 mm<sup>2</sup> ou 300 mm<sup>2</sup>.

Le choix initial d'une âme de 185 mm<sup>2</sup> pour l'estimation de  $B$  peut maintenant être amélioré.

En refaisant les calculs avec une valeur de  $B = 1,057$ , pour une âme de 300 mm<sup>2</sup>, on obtient une valeur pour  $S_{ec}$  de 269 mm<sup>2</sup>, qui demeure dans la gamme 240 mm<sup>2</sup> à 300 mm<sup>2</sup>.

Le coût total pour chaque section d'âme possible est calculé alors à l'aide de l'équation (11).

$$CT_{240} = [52,2 \times 500] + [160^2 \times (0,140/1\,000) \times 500 \times 9,2341]$$

$$= 26\,100 + 16\,548$$

$$= 42\,648 \text{ cu}$$

$$CT_{300} = [58,99 \times 500] + [160^2 \times (0,114/1\,000) \times 500 \times 9,2341]$$

$$= 29\,495 + 13\,474$$

$$= 42\,969 \text{ cu}$$

Ainsi, la section d'âme de 240 mm<sup>2</sup> est la plus économique.

Les sections d'âme et les coûts pour les autres tronçons ont été calculés de la même façon. Les valeurs sont identiques à celles obtenues par les précédentes méthodes exposées en A.3.1 et A.3.2 et le résumé donnant les sections d'âme et les coûts est identique à celui du tableau A.2.

#### A.5 Calculs établis sur la base de l'utilisation d'une section d'âme normalisée pour tous les tronçons du trajet

##### A.5.1 Utilisation de la méthode de la fourchette de courants économiques

Il est tout d'abord nécessaire de retenir une section d'âme probable et de calculer le coût total à partir de l'équation (11) en utilisant cette section d'âme pour tous les tronçons. Les coûts supposant l'utilisation de sections d'âme immédiatement inférieures et immédiatement supérieures sont ensuite calculées afin de confirmer que la section choisie est bien la plus économique.

Pour cet exemple, on suppose qu'une âme de 185 mm<sup>2</sup> constitue le meilleur choix.

Les coûts, dans le cas où tous les tronçons sont équipés de câbles de même section d'âme de 185 mm<sup>2</sup>, puis de 150 mm<sup>2</sup> et de 240 mm<sup>2</sup> ont été calculés et sont donnés au tableau A.4.



$$F = 9,2341 \text{ cu/W}$$

$$\theta_m = (80 - 20)/3 + 20 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$S_{ec} = 1\,000 \times \left[ \frac{160^2 \times 9,2341 \times 30,3 \times 10^{-9} \times 1,023[1 + 0,00403(40 - 20)]}{0,1133} \right]^{0,5}$$

$$= 264 \text{ mm}^2$$

Thus either a 240 mm<sup>2</sup> or a 300 mm<sup>2</sup> conductor size could be chosen.

The initial choice of a 185 mm<sup>2</sup> conductor for the estimation of  $B$  can now be improved.

Recalculating with a value of  $B = 1,057$ , for a 300 mm<sup>2</sup> conductor, gives a value for  $S_{ec}$  of 269 mm<sup>2</sup>, which is also within the 240 mm<sup>2</sup> to 300 mm<sup>2</sup> range.

The total cost for each of the possible conductor sizes is now calculated with the aid of equation (11).

$$CT_{240} = [52,2 \times 500] + [160^2 \times (0,140/1\,000) \times 500 \times 9,2341]$$

$$= 26\,100 + 16\,548$$

$$= 42\,648 \text{ cu}$$

$$CT_{300} = [58,99 \times 500] + [160^2 \times (0,114/1\,000) \times 500 \times 9,2341]$$

$$= 29\,495 + 13\,474$$

$$= 42\,969 \text{ cu}$$

The 240 mm<sup>2</sup> conductor is therefore the more economical size.

Sizes and costs for the other sections have been calculated in a similar manner. The values agree identically with those derived by the previous method demonstrated in A.3.1 and A.3.2 and the summary of sizes and cost is the same as that already given in table A.2.

## A.5 Calculation based on the use of one standard conductor size for all sections of the route

### A.5.1 Using the economic current range method

It is first necessary to assume a probable conductor size and the total cost is calculated with equation (11) using this size for all sections. Then costs assuming the use of the next smaller and larger sizes of conductor are calculated in order to confirm that the assumed size is indeed the most economical.

For the purpose of this example it is assumed that a 185 mm<sup>2</sup> conductor would be the best choice.

The costs for all sections using 185 mm<sup>2</sup>, and then 150 mm<sup>2</sup> and 240 mm<sup>2</sup> have been calculated and are set out in table A.4.

Les coûts totaux sont:

150 mm <sup>2</sup>	312 841 cu
185 mm <sup>2</sup>	312 166 cu
240 mm <sup>2</sup>	324 707 cu

Cela indique que, si à des fins de normalisation, une seule section d'âme peut être utilisée, 185 mm<sup>2</sup> est le choix le plus économique.

On peut voir que la légère variation dans le coût total due au changement de section d'âme notée en A.3.1, et sur la figure A.3, s'applique également ici.

#### A.5.2 Méthode de la section économique d'âme

Bien qu'une seule section d'âme soit utilisée, le courant est différent pour chaque tronçon de câble, de sorte que les pertes moyennes doivent être calculées, (on suppose que tous les tronçons fonctionnent à la même température et donc que la résistance de l'âme est la même).

$$\frac{\text{Pertes moyennes}}{\text{Pertes maximales}} = \frac{500 \times 160^2 + 500 \times 144^2 + \dots + \dots + 500 \times 16^2}{10 \times 500 \times 160^2}$$

$$= 0,385$$

A partir de l'équation (18), en utilisant la valeur de  $B$  pour une âme de 185 mm<sup>2</sup>

$$S_{ec} = 1\,000 \times \left[ \frac{160^2 \times 1,023 \times 30,3 \times 10^{-9} [1 + 0,00403(40 - 20)] \times 9,2341 \times 0,385}{0,1133} \right]^{0,5}$$

$$= 164 \text{ mm}^2$$

De ce fait, les âmes de section 150 mm<sup>2</sup> ou 185 mm<sup>2</sup> s'avèrent être les plus économiques.

Les coûts totaux pour chacune de ces sections d'âme sont:

$$CT_{150} = 42,00 \times 500 \times 10 + 160^2 \times (0,226/1\,000) \times 500 \times 10 \times 9,2341 \times 0,385$$

$$= 210\,000 + 102\,843$$

$$= 312\,843 \text{ cu}$$

$$CT_{185} = 45,96 \times 500 \times 10 + 160^2 \times (0,181/1\,000) \times 500 \times 10 \times 9,2341 \times 0,385$$

$$= 229\,800 + 82\,365$$

$$= 312\,165 \text{ cu}$$

Ainsi, la section de 185 mm<sup>2</sup> est confirmée comme étant la section d'âme la plus économique, dans le cas où on utilise la même section sur tout le trajet.

Après comparaison avec les sections d'âme choisies au tableau A.3, il apparaît que la section de 185 mm<sup>2</sup> est thermiquement adaptée pour le transport de la charge maximale à la fin de la période de 30 ans.

The total costs are:

150 mm <sup>2</sup>	312 841 cu
185 mm <sup>2</sup>	312 166 cu
240 mm <sup>2</sup>	324 707 cu

This indicates that, if for the purpose of standardization one conductor size only can be used, 185 mm<sup>2</sup> is the most economic choice.

The small change in total cost with change in conductor size noted in A.3.1, and figure A.3, can be seen to apply here also.

#### A.5.2 Economic conductor size method

Although only one conductor size is used, the current is different for each cable section, so that the average losses must be computed (all sections are assumed to operate at the same temperature and hence the same conductor resistance).

$$\frac{\text{Average losses}}{\text{Maximum losses}} = \frac{500 \times 160^2 + 500 \times 144^2 + \dots + \dots + 500 \times 16^2}{10 \times 500 \times 160^2}$$

$$= 0,385$$

From equation (18), using  $B$  for a 185 mm<sup>2</sup> conductor

$$S_{ec} = 1\,000 \times \left[ \frac{160^2 \times 1,023 \times 30,3 \times 10^{-9} [1 + 0,00403(40 - 20)] \times 9,2341 \times 0,385}{0,1133} \right]^{0,5}$$

$$= 164 \text{ mm}^2$$

So that either 150 mm<sup>2</sup> or 185 mm<sup>2</sup> conductors could prove to be the most economic.

Total costs for each of these conductors are:

$$\begin{aligned} CT_{150} &= 42,00 \times 500 \times 10 + 160^2 \times (0,226/1\,000) \times 500 \times 10 \times 9,2341 \times 0,385 \\ &= 210\,000 + 102\,843 \\ &= 312\,843 \text{ cu} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CT_{185} &= 45,96 \times 500 \times 10 + 160^2 \times (0,181/1\,000) \times 500 \times 10 \times 9,2341 \times 0,385 \\ &= 229\,800 + 82\,365 \\ &= 312\,165 \text{ cu} \end{aligned}$$

Thus the 185 mm<sup>2</sup> size is confirmed as the most economic size to use if only one conductor size is to be used throughout the route.

It is clear, by comparison with the sizes chosen in table A.3, that a 185 mm<sup>2</sup> conductor is thermally adequate to carry the maximum load at the end of the 30-year period.

## A.6 Résumé des résultats

Un résumé des résultats des calculs pour le câble et des conditions décrits en A.2 est donné ci-dessous.

### Résumé des coûts

Base d'évaluation des coûts	<i>C<sub>I</sub></i>	<i>C<sub>J</sub></i>	TOTAL	
	cu	cu	cu	%
Capacité de transport maximale au plan thermique pour chaque tronçon	146 330	401 534	547 864	100
Section d'âme économique pour chaque tronçon	202 095	88 440	290 535	53
Section d'âme économique - utilisation d'une seule section normalisée de 185 mm <sup>2</sup>	229 800	82 365	312 165	57

Tableau A.1 - Renseignements sur les câbles

Section d'âme mm <sup>2</sup> (1)	Résistance par phase à		Coût initial		
	40 °C Ω/km (2)	80 °C Ω/km (3)	Câble cu/m (4)	Pose cu/m (5)	Somme cu/m (6)
	25	1,298	1,491	10,62	17,23
35	0,939	1,079	11,65	17,33	28,98
50	0,694	0,798	13,19	17,49	30,68
70	0,481	0,553	15,24	17,71	32,95
95	0,348	0,400	17,81	17,97	35,78
120	0,277	0,318	20,37	18,24	38,61
150	0,226	0,259	23,45	18,55	42,00
185	0,181	0,208	27,04	18,92	45,96
240	0,140	0,161	32,69	19,51	52,20
300	0,114	0,131	38,85	20,14	58,99
400	0,091	0,104	49,11	21,20	70,31

**A.6 Summary of results**

A summary of the results of the calculations for the cable and conditions described in A.2 is given below.

Summary of costs

Basis of costing	<i>CI</i>	<i>CJ</i>	TOTAL	%
	cu	cu		
Thermal current-carrying capacity for each section	146 330	401 534	547 864	100
Economic size for each section	202 095	88 440	290 535	53
Economic size using one standard size of 185 mm <sup>2</sup> throughout	229 800	82 365	312 165	57

**Table A.1 – Cable details**

Cable size mm <sup>2</sup> (1)	Resistance by phase at		Primary cost		
	40 °C Ω/km (2)	80 °C Ω/km (3)	Cable cu/m (4)	Laying cu/m (5)	Sum cu/m (6)
	25	1,298	1,491	10,62	17,23
35	0,939	1,079	11,65	17,33	28,98
50	0,694	0,798	13,19	17,49	30,68
70	0,481	0,553	15,24	17,71	32,95
95	0,348	0,400	17,81	17,97	35,78
120	0,277	0,318	20,37	18,24	38,61
150	0,226	0,259	23,45	18,55	42,00
185	0,181	0,208	27,04	18,92	45,96
240	0,140	0,161	32,69	19,51	52,20
300	0,114	0,131	38,85	20,14	58,99
400	0,091	0,104	49,11	21,20	70,31

1

Tableau A.2 – Intensité de courant économique

Numéro de tronçons	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<b>Charge</b>											
$I_{max}$ (A)	160	144	128	112	96	80	64	48	32	16	
<b>Câble</b>											
Section (mm <sup>2</sup> )	240	240	185	185	150	120	95	70	50	25	
Intensité (A)	382	382	328	328	281	255	221	181	147	103	
<b>Coût par tronçon et coût total</b>											<b>Somme</b>
Câble (cu)	16 345	16 345	13 520	13 520	11 725	10 185	8 905	7 620	6 595	5 310	110 070
Pose (cu)	9 755	9 755	9 460	9 460	9 275	9 120	8 985	8 855	8 745	8 615	92 025
<b>CI</b> (cu)	26 100	26 100	22 980	22 980	21 000	19 305	17 890	16 475	15 340	13 925	202 095
<b>CJ</b> (cu)	16 548	13 403	13 692	10 483	9 616	8 185	6 581	5 117	3 281	1 534	88 440
<b>CT</b> (cu)	42 648	39 503	36 672	33 463	30 616	27 490	24 471	21 592	18 621	15 459	290 535

Tableau A.3 – Critère de capacité de transport

Numéro de tronçons	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<b>Charge</b>											
$I_{max}$ (A)	160	144	128	112	96	80	64	48	32	16	
$I_{fin}$ (A)	185	166	148	129	111	92	74	55	37	18	
$I_{fin}/1,11$ (A)	167	150	133	117	100	83	67	50	33	17	
<b>Câble</b>											
Section (mm <sup>2</sup> )	70	70	50	35	25	25	25	25	25	25	
Intensité (A)	181	181	147	125	103	103	103	103	103	103	
<b>Coût par tronçon et coût total</b>											<b>Somme</b>
Câble (cu)	7 620	7 620	6 595	5 825	5 310	5 310	5 310	5 310	5 310	5 310	59 520
Pose (cu)	8 855	8 855	8 745	8 665	8 615	8 615	8 615	8 615	8 615	8 615	86 810
<b>CI</b> (cu)	16 475	16 475	15 340	14 490	13 925	13 925	13 925	13 925	13 925	13 925	146 330
<b>CJ</b> (cu)	65 363	52 944	60 365	62 492	63 443	44 058	28 197	15 861	7 049	1 762	401 534
<b>CT</b> (cu)	81 838	69 419	75 705	76 982	77 368	57 983	42 122	29 786	20 974	15 687	547 864

1

Table A.2 – Economic loading

Section number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<i>Load</i>											
$I_{max}$ (A)	160	144	128	112	96	80	64	48	32	16	
<i>Cable</i>											
Size (mm <sup>2</sup> )	240	240	185	185	150	120	95	70	50	25	
Capacity (A)	382	382	328	328	281	255	221	181	147	103	
<i>Costs per section and total</i>											<i>Sum</i>
Cable (cu)	16 345	16 345	13 520	13 520	11 725	10 185	8 905	7 620	6 595	5 310	110 070
Laying (cu)	9 755	9 755	9 460	9 460	9 275	9 120	8 985	8 855	8 745	8 615	92 025
<i>CI</i> (cu)	26 100	26 100	22 980	22 980	21 000	19 305	17 890	16 475	15 340	13 925	202 095
<i>CJ</i> (cu)	16 548	13 403	13 692	10 483	9 616	8 185	6 581	5 117	3 281	1 534	88 440
<i>CT</i> (cu)	42 648	39 503	36 672	33 463	30 616	27 490	24 471	21 592	18 621	15 459	290 535

Table A.3 – Current-carrying capacity criterion

Section number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<i>Load</i>											
$I_{max}$ (A)	160	144	128	112	96	80	64	48	32	16	
$I_{end}$ (A)	185	166	148	129	111	92	74	55	37	18	
$I_{end}/1,11$ (A)	167	150	133	117	100	83	67	50	33	17	
<i>Cable</i>											
Size (mm <sup>2</sup> )	70	70	50	35	25	25	25	25	25	25	
Capacity (A)	181	181	147	125	103	103	103	103	103	103	
<i>Costs per section and total</i>											<i>Sum</i>
Cable (cu)	7 620	7 620	6 595	5 825	5 310	5 310	5 310	5 310	5 310	5 310	59 520
Laying (cu)	8 855	8 855	8 745	8 665	8 615	8 615	8 615	8 615	8 615	8 615	86 810
<i>CI</i> (cu)	16 475	16 475	15 340	14 490	13 925	13 925	13 925	13 925	13 925	13 925	146 330
<i>CJ</i> (cu)	65 363	52 944	60 365	62 492	63 443	44 058	28 197	15 861	7 049	1 762	401 534
<i>CT</i> (cu)	81 838	69 419	75 705	76 982	77 368	57 983	42 122	29 786	20 974	15 687	547 864

**Tableau A.4 – Intensité de courant économique, section d'âme normalisée pour tous les tronçons – Section normalisée: 150 mm<sup>2</sup>**

Numéro de tronçon		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
$I_{max}$	(A)	160	144	128	112	96	80	64	48	32	16	
<b>Câble</b>												
Section	(mm <sup>2</sup> )	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
Intensité	(A)	281	281	281	281	281	281	281	281	281	281	
<b>Coût par tronçon et coût total</b>												<b>Somme</b>
Câble	(cu)	11 725	11 725	11 725	11 725	11 725	11 725	11 725	11 725	11 725	11 725	117 250
Pose	(cu)	9 275	9 275	9 275	9 275	9 275	9 275	9 275	9 275	9 275	9 275	92 750
$CI$	(cu)	21 000	21 000	21 000	21 000	21 000	21 000	21 000	21 000	21 000	21 000	210 000
$CJ$	(cu)	26 712	21 637	17 096	13 089	9 616	6 678	4 274	2 404	1 068	267	102 841
$CT$	(cu)	47 712	42 637	38 096	34 089	30 616	27 678	25 274	23 404	22 068	21 267	312 841

**Section normalisée: 185 mm<sup>2</sup>**

Numéro de tronçon		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
$I_{max}$	(A)	160	144	128	112	96	80	64	48	32	16	
<b>Câble</b>												
Section	(mm <sup>2</sup> )	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	
Intensité	(A)	328	328	328	328	328	328	328	328	328	328	
<b>Coût par tronçon et coût total</b>												<b>Somme</b>
Câble	(cu)	13 520	13 520	13 520	13 520	13 520	13 520	13 520	13 520	13 520	13 520	135 200
Pose	(cu)	9 460	9 460	9 460	9 460	9 460	9 460	9 460	9 460	9 460	9 460	94 600
$CI$	(cu)	22 980	22 980	22 980	22 980	22 980	22 980	22 980	22 980	22 980	22 980	229 800
$CJ$	(cu)	21 393	17 329	13 692	10 483	7 702	5 348	3 423	1 925	856	214	82 365
$CT$	(cu)	44 373	40 309	36 672	33 463	30 682	28 328	26 403	24 905	23 836	23 194	312 165

**Section normalisée: 240 mm<sup>2</sup>**

Numéro de tronçon		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
$I_{max}$	(A)	160	144	128	112	96	80	64	48	32	16	
<b>Câble</b>												
Section	(mm <sup>2</sup> )	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	
Intensité	(A)	382	382	382	382	382	382	382	382	382	382	
<b>Coût par tronçon et coût total</b>												<b>Somme</b>
Câble	(cu)	16 345	16 345	16 345	16 345	16 345	16 345	16 345	16 345	16 345	16 345	163 450
Pose	(cu)	9 755	9 755	9 755	9 755	9 755	9 755	9 755	9 755	9 755	9 755	97 550
$CI$	(cu)	26 100	26 100	26 100	26 100	26 100	26 100	26 100	26 100	26 100	26 100	261 000
$CJ$	(cu)	16 548	13 403	10 590	8 108	5 957	4 137	2 648	1 489	662	165	63 707
$CT$	(cu)	42 648	39 503	36 690	34 208	32 057	30 237	28 748	27 589	26 762	26 265	324 707



**Table A.4 – Economic loading, standard conductor size for all sections**  
**Standard size: 150 mm<sup>2</sup>**

Section number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
$I_{max}$ (A)	160	144	128	112	96	80	64	48	32	16		
<i>Cable</i>												
Size (mm <sup>2</sup> )	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
Capacity (A)	281	281	281	281	281	281	281	281	281	281	281	
<i>Costs per section and total</i>											<i>Sum</i>	
Cable (cu)	11 725	11 725	11 725	11 725	11 725	11 725	11 725	11 725	11 725	11 725	11 725	117 250
Laying (cu)	9 275	9 275	9 275	9 275	9 275	9 275	9 275	9 275	9 275	9 275	9 275	92 750
<i>CI</i> (cu)	21 000	21 000	21 000	21 000	21 000	21 000	21 000	21 000	21 000	21 000	21 000	210 000
<i>CJ</i> (cu)	26 712	21 637	17 096	13 089	9 616	6 678	4 274	2 404	1 068	267		102 841
<i>CT</i> (cu)	47 712	42 637	38 096	34 089	30 616	27 678	25 274	23 404	22 068	21 267		312 841

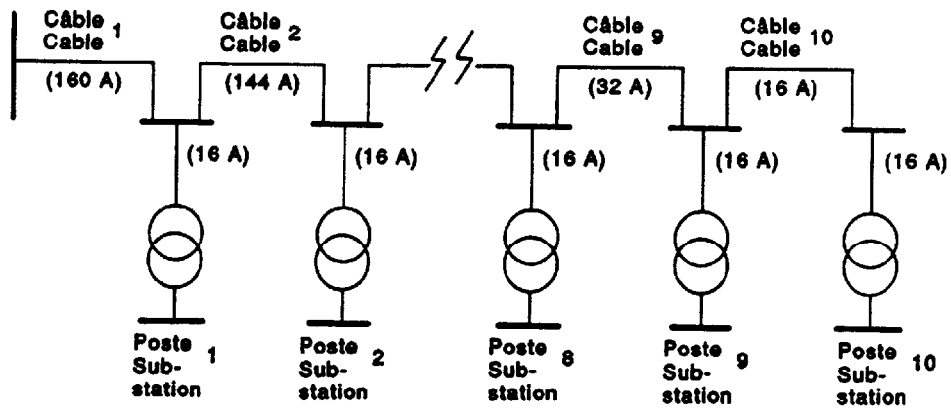
**Standard size: 185 mm<sup>2</sup>**

Section number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
$I_{max}$ (A)	160	144	128	112	96	80	64	48	32	16		
<i>Cable</i>												
Size (mm <sup>2</sup> )	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	
Capacity (A)	328	328	328	328	328	328	328	328	328	328	328	
<i>Costs per section and total</i>											<i>Sum</i>	
Cable (cu)	13 520	13 520	13 520	13 520	13 520	13 520	13 520	13 520	13 520	13 520	13 520	135 200
Laying (cu)	9 460	9 460	9 460	9 460	9 460	9 460	9 460	9 460	9 460	9 460	9 460	94 600
<i>CI</i> (cu)	22 980	22 980	22 980	22 980	22 980	22 980	22 980	22 980	22 980	22 980	22 980	229 800
<i>CJ</i> (cu)	21 393	17 329	13 692	10 483	7 702	5 348	3 423	1 925	856	214		82 365
<i>CT</i> (cu)	44 373	40 309	36 672	33 463	30 682	28 328	26 403	24 905	23 836	23 194		312 165

**Standard size: 240 mm<sup>2</sup>**

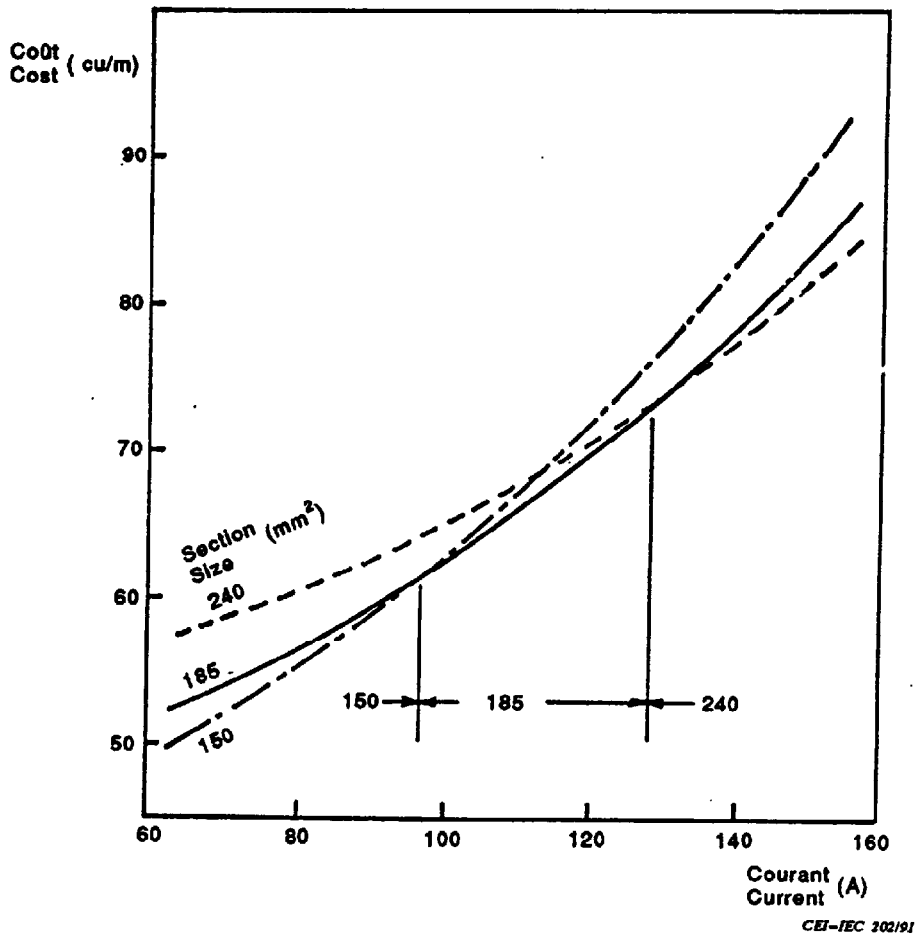
Section number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
$I_{max}$ (A)	160	144	128	112	96	80	64	48	32	16		
<i>Cable</i>												
Size (mm <sup>2</sup> )	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	
Capacity (A)	382	382	382	382	382	382	382	382	382	382	382	
<i>Costs per section and total</i>											<i>Sum</i>	
Cable (cu)	16 345	16 345	16 345	16 345	16 345	16 345	16 345	16 345	16 345	16 345	16 345	163 450
Laying (cu)	9 755	9 755	9 755	9 755	9 755	9 755	9 755	9 755	9 755	9 755	9 755	97 550
<i>CI</i> (cu)	26 100	26 100	26 100	26 100	26 100	26 100	26 100	26 100	26 100	26 100	26 100	261 000
<i>CJ</i> (cu)	16 548	13 403	10 590	8 108	5 957	4 137	2 648	1 489	662	165		63 707
<i>CT</i> (cu)	42 648	39 503	36 690	34 208	32 057	30 237	28 748	27 589	26 762	26 265		324 707

Poste source  
Main station



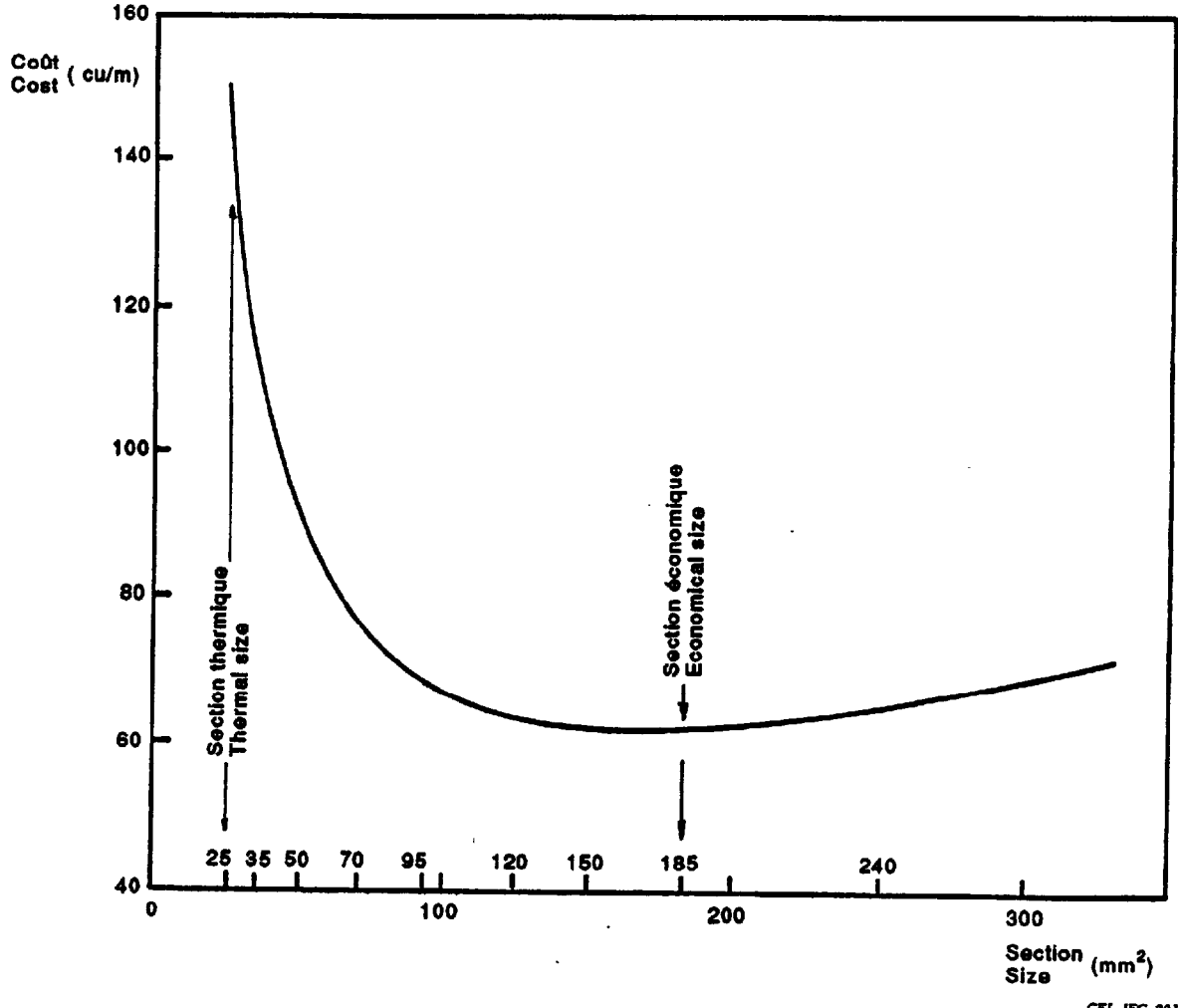
CEI-IEC 201/91

Figure A.1 - Disposition de la liaison  
System layout



CEI-IEC 202/91

Figure A.2 - Fourchettes de courant économique  
Economic current ranges



CEI-IEC 203/91

Figure A.3 - Variation du coût en fonction de la section d'âme  
Variation of cost with conductor size

## Annexe B (informative)

### Estimation de la température moyenne et de la résistance des âmes

#### B.1 Méthodes destinées à l'estimation de la température moyenne et de la résistance des âmes

Il est pratique, et d'habitude assez précis, d'admettre que la résistance de l'âme reste constante pendant la durée de vie du câble. Une formule simple d'évaluation de la température de fonctionnement de l'âme et, en conséquence, de sa résistance, est donnée à l'article 4. Elle est basée sur des observations de résultats de calculs selon lesquels l'élévation de la température moyenne de fonctionnement d'une âme de section économique, pendant la durée de la vie économique du câble, est d'environ un tiers de son échauffement maximal admissible au plan thermique.

Pour l'exemple utilisé dans cette norme, les erreurs sur la section d'âme et les coûts totaux, par suite de l'utilisation de cette évaluation, ne sont pas supérieures à 2% environ. Cependant, des erreurs plus importantes peuvent se produire lorsque la combinaison des coûts après installation, des coûts de pertes et l'augmentation de la charge conduisent pendant les dernières années de la période économique à des températures d'âme avoisinant les valeurs maximales admissibles.

En général, une valeur plus précise de la résistance des âmes influe sur le choix d'une section d'âme économique uniquement dans des cas limites. Il y a peut-être des situations où une meilleure précision pour le coût des pertes d'énergie est requise et un effort supplémentaire acceptable.

Si on désire une précision plus grande dans certains cas particuliers, des valeurs plus exactes pour la température et la résistance des âmes peuvent être déterminées en utilisant, comme point de départ, la section d'âme ou la fourchette des intensités de courant économiques obtenues au moyen de l'estimation simple de la température proposée à l'article 4.

#### B.2 Formules pour la détermination de la température moyenne et de la résistance moyenne de l'âme

On peut obtenir la température de l'âme comme une moyenne des valeurs pendant la première année et la dernière année d'une période économique, à partir de:

$$\theta_m = \frac{\theta_s + \theta_f}{2} = \frac{\beta + \theta_a}{2} \left[ \frac{1}{1-\gamma} + \frac{1}{1-g\gamma} \right] - \beta \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (19)$$

où

$\theta_s$  est la température de l'âme pendant la première année,  $^\circ\text{C}$ ;

$\theta_f$  est la température de l'âme pendant la dernière année,  $^\circ\text{C}$ ;

$\theta_a$  est la température ambiante,  $^\circ\text{C}$ ;

$\beta$  est l'inverse du coefficient de température de la résistance électrique du matériau de l'âme, K.

Pour l'aluminium  $\beta = 228$ , pour le cuivre  $\beta = 234,4$ ;

## Annex B (informative)

### Mean conductor temperature and resistance

#### B.1 Methods for estimating mean conductor temperature and resistance

It is convenient and usually sufficiently accurate to assume that conductor resistance is constant during the life of the cable. A simple formula for making an estimate of conductor operating temperature and hence its resistance is given in clause 4. This is based on observations of typical calculations that the average operating temperature rise of an economic size of conductor, taken over its economic life, is in the region of one-third of the rise occurring with its maximum permissible thermal rating.

For the example used in this standard, errors in conductor size and total costs, as a result of using this estimate, are not greater than about 2 %. However, larger errors may occur where the combination of installed cost, cost of losses and load growth lead to conductor temperatures, during the final years of the economic period, approaching the maximum permissible value.

In general, a more precise value of conductor resistance will affect the selection of an economic size only in very marginal cases. There may be situations where better precision in the cost of energy losses is required and the additional effort can be accepted.

If greater accuracy is desired for particular cases, refined values for conductor temperature and resistance can be made, using as a starting-point the conductor size or range of economic currents obtained by means of the simple temperature estimate suggested in clause 4.

#### B.2 Formulae to determine mean conductor temperature and resistance

Conductor temperature, as a mean of the values during the first and last years of an economic period, can be obtained from:

$$\theta_m = \frac{\theta_s + \theta_f}{2} = \frac{\beta + \theta_a}{2} \left[ \frac{1}{1-\gamma} + \frac{1}{1-g\gamma} \right] - \beta \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (19)$$

where

$\theta_s$  is the conductor temperature during the first year,  $^\circ\text{C}$ ;

$\theta_f$  is the conductor temperature during the last year,  $^\circ\text{C}$ ;

$\theta_a$  is the ambient temperature,  $^\circ\text{C}$ ;

$\beta$  is the reciprocal of the temperature coefficient of resistance of the conductor material, K.

For aluminium  $\beta = 228$ , for copper  $\beta = 234,4$ ;

$$\gamma = \left[ \frac{I_{\max}}{I_z} \right]^2 \left[ \frac{\theta - \theta_a}{\beta + \theta} \right] \quad (20)$$

- $I_{\max}$  est l'intensité du courant à la charge maximale pendant la première année, A;
- $I_z$  est la capacité de transport pour un échauffement maximal admissible de  $\theta - \theta_a$ , en utilisant la CEI 287-1 et la CEI 287-2, A;
- $\theta$  est la température maximale admissible de l'âme, °C;
- $g$  est  $(1 + a/100)^{2(N-1)}$ ;
- $a$  est l'accroissement annuel de  $I_{\max}$ , %;
- $N$  est la durée de la période économique, années.

La résistance moyenne de l'âme, considérée comme une moyenne des valeurs pendant les première et dernière année est:

$$R_m = \frac{R_{20}}{2} \left( \frac{\beta + \theta_a}{\beta + 20} \right) \left( \frac{1}{1 - \gamma} + \frac{1}{1 - g\gamma} \right) \quad (\Omega/m) \quad (21)$$

La valeur de  $R_m$  peut être remplacée directement dans les équations (11), (12) et (13).

On peut utiliser de la même façon l'équation suivante pour obtenir une valeur de la résistivité moyenne  $\rho_m$  qui peut remplacer  $\rho_{20}[1 + \alpha_{20}(\theta_m - 20)]$  dans les équations (15) et (18):

$$\rho_m = \frac{\rho_{20}}{2} \left[ \frac{\beta + \theta_a}{\beta + 20} \right] \cdot \left[ \frac{1}{1 - \gamma} + \frac{1}{1 - g\gamma} \right] \quad (\Omega.m) \quad (22)$$

### B.3 Application à la détermination d'une fourchette d'intensités de courants économiques (voir 5.1)

Cette application est basée sur l'exemple de A.3, dans l'annexe A.

On considère la fourchette d'intensités de courant déterminée pour une âme de 240 mm<sup>2</sup>, et on suppose que  $I(1)$  et  $I(2)$  sont les limites inférieure et supérieure de cette fourchette, obtenues par la simple estimation de la température de l'âme. Dans l'exemple,  $I(1) = 128$  A et  $I(2) = 168$  A.

Les données suivantes sont nécessaires pour les trois sections d'âmes concernées:

Section d'âme mm <sup>2</sup>	$R_{20}$ Ω/km	$CI$ cu/m	$I_z$ A *	$I_{\max z}$ = $I_z \times M$ , A **
185	0,1675	45,96	328	364
240	0,1296	52,20	382	424
300	0,1053	58,99	429	476

\* Voir A.3.3 de l'annexe A.

\*\* Le facteur de capacité de transport cyclique  $M = 1,11$ , voir A.2 de l'annexe A.

$$\gamma = \left[ \frac{I_{\max}}{I_z} \right]^2 \left[ \frac{\theta - \theta_a}{\beta + \theta} \right] \quad (20)$$

$I_{\max}$  is the value of load current during the first year, A;

$I_z$  is the current-carrying capacity, for a maximum permitted temperature rise of  $\theta - \theta_a$ , using IEC 287-1 and 287-2, A;

$\theta$  is the maximum permissible conductor temperature, °C;

$g$  is  $(1 + a/100)^{2(N-1)}$ ;

$a$  is the annual increase in  $I_{\max}$ , %;

$N$  is the duration of economic period, years.

The mean conductor resistance, as an average of the values during the first and last years is:

$$R_m = \frac{R_{20}}{2} \left( \frac{\beta + \theta_a}{\beta + 20} \right) \left( \frac{1}{1 - \gamma} + \frac{1}{1 - g\gamma} \right) \quad (\Omega/m) \quad (21)$$

The value of  $R_m$  can be substituted directly in equations (11), (12) and (13).

Similarly, the following equation can be used to obtain a value of  $\rho_m$  which can be substituted for  $\rho_{20}[1 + \alpha_{20}(\theta_m - 20)]$  in equations (15) and (18):

$$\rho_m = \frac{\rho_{20}}{2} \left[ \frac{\beta + \theta_a}{\beta + 20} \right] \left[ \frac{1}{1 - \gamma} + \frac{1}{1 - g\gamma} \right] \quad (\Omega.m) \quad (22)$$

### B.3 Application to the determination of an economic current range (see 5.1)

This application is based on the example in A.3 of annex A.

Consider the current range calculated for a 240 mm<sup>2</sup> conductor and let  $I(1)$  and  $I(2)$  be the lower and upper limits to this range, calculated by means of the simple estimate of conductor temperature. In the example,  $I(1) = 128$  A and  $I(2) = 168$  A.

The following data are needed for the three conductor sizes involved:

Size mm <sup>2</sup>	$R_{20}$ Ω/km	$C/I$ cu/m	$I_z$ A *	$I_{\max.z}$ = $I_z \times M$ , A **
185	0,1675	45,96	328	364
240	0,1296	52,20	382	424
300	0,1053	58,99	429	476

\* See A.3.3 of annex A.

\*\* The cyclic rating factor  $M = 1,11$ , see A.2 of annex A.

De A.2, on tire:

$$F = 9,2341.$$

Le procédé de réévaluation des températures de fonctionnement et de la résistance de l'âme pour la limite supérieure de la fourchette d'intensités de courant pour une âme de 240 mm<sup>2</sup> est le suivant.

On détermine la grandeur auxiliaire, à partir de:

$$\gamma(240) = \left(\frac{168}{424}\right)^2 \times \left(\frac{80 - 20}{228 + 80}\right) = 0,03058 \quad (\text{équation (20)})$$

où la valeur de 168 A était tirée du calcul initial de A.3 en utilisant l'évaluation simple pour  $\theta_m$ .

L'augmentation de pertes de puissance due à l'accroissement de la charge est

$$g = [1 + (a/100)]^{2(N-1)} \\ = 1,3355$$

d'où  $g\gamma(240) = 1,3355 \times 0,03058 = 0,04084$ .

L'évaluation améliorée de la résistance de l'âme de 240 mm<sup>2</sup> est alors obtenue à partir de:

$$R_m(240) = \left(\frac{0,1296}{2}\right) \times \left(\frac{228 + 20}{228 + 20}\right) \times \left(\frac{1}{1 - 0,03058} + \frac{1}{1 - 0,04084}\right) \\ = 0,1344 \Omega/\text{km}. \quad (\text{équation (21)})$$

Pareillement, pour l'âme de 300 mm<sup>2</sup>

$$\gamma(300) = \left(\frac{168}{476}\right)^2 \times \left(\frac{80 - 20}{228 + 80}\right) = 0,02427 \quad (\text{équation (20)})$$

$$\text{et } g\gamma(300) = 1,3355 \times 0,02427 = 0,03241$$

alors,

$$R_m(300) = \left(\frac{0,1053}{2}\right) \times \left(\frac{228 + 20}{228 + 20}\right) \times \left(\frac{1}{1 - 0,02427} + \frac{1}{1 - 0,03241}\right) \\ = 0,1084 \Omega/\text{km}. \quad (\text{équation (21)})$$

La limite supérieure révisée du courant est donc:

$$I(2) = \sqrt{\frac{500 \times (58,99 - 52,20) \times 1\,000}{9,2341 \times 500 \times (0,1344 - 0,1084)}} \quad (\text{équation (12)}) \\ = 168 \text{ A}.$$



From A.2:

$$F = 9,2341.$$

The procedure for re-estimating the operating temperature and conductor resistance for the upper limit of the current range for the 240 mm<sup>2</sup> conductor is as follows.

Calculate the auxiliary quantity  $\gamma$ , from

$$\gamma(240) = \left(\frac{168}{424}\right)^2 \times \left(\frac{80-20}{228+80}\right) = 0,03058 \quad (\text{equation (20)})$$

where the value of 168 A was derived by the initial calculation in A.3 using the simple estimate for  $\theta_m$ .

The increase in power loss due to growth in load is

$$\begin{aligned} g &= [1 + (a/100)]^{2(N-1)} \\ &= 1,3355 \end{aligned}$$

hence  $g\gamma(240) = 1,3355 \times 0,03058 = 0,04084$ .

Then the improved estimate for the resistance of the 240 mm<sup>2</sup> conductor is obtained from:

$$\begin{aligned} R_m(240) &= \left(\frac{0,1296}{2}\right) \times \left(\frac{228+20}{228+20}\right) \times \left(\frac{1}{1-0,03058} + \frac{1}{1-0,04084}\right) \\ &= 0,1344 \text{ } \Omega/\text{km}. \end{aligned} \quad (\text{equation (21)})$$

Similarly, for the 300 mm<sup>2</sup> conductor,

$$\gamma(300) = \left(\frac{168}{476}\right)^2 \times \left(\frac{80-20}{228+80}\right) = 0,02427 \quad (\text{equation (20)})$$

$$\text{and } g\gamma(300) = 1,3355 \times 0,02427 = 0,03241$$

then,

$$\begin{aligned} R_m(300) &= \left(\frac{0,1053}{2}\right) \times \left(\frac{228+20}{228+20}\right) \times \left(\frac{1}{1-0,02427} + \frac{1}{1-0,03241}\right) \\ &= 0,1084 \text{ } \Omega/\text{km}. \end{aligned} \quad (\text{equation (21)})$$

The revised upper current limit is then:

$$\begin{aligned} I(2) &= \sqrt{\frac{500 \times (58,99 - 52,20) \times 1\,000}{9,2341 \times 500 \times (0,1344 - 0,1084)}} \quad (\text{equation (12)}) \\ &= 168 \text{ A.} \end{aligned}$$

La différence avec la valeur initiale de 168 A est dans la limite des erreurs dues à l'arrondissement des nombres et parce que les températures des deux âmes ont été corrigées par environ la même quantité. Le choix d'une section d'âme de 240 mm<sup>2</sup> pour une charge maximale de 160 A pour le premier tronçon de la liaison n'est pas affecté.

Un calcul similaire peut être fait pour la limite inférieure.

Le coût total,  $CT$ , obtenu par le calcul initial était 42 648 cu (voir A.3.2); on peut maintenant obtenir un coût basé sur la valeur plus précise de la résistance de l'âme de 240 mm<sup>2</sup>.

Pour la valeur du courant de charge maximal,  $I_{\max} = 160$  A, la grandeur auxiliaire est:

$$\gamma(240) = \left(\frac{160}{424}\right)^2 \times \left(\frac{80 - 20}{228 + 80}\right) = 0,02774 \quad (\text{équation (20)})$$

$$g\gamma(240) = 1,3355 \times 0,02774 = 0,03705$$

de sorte que:

$$\begin{aligned} R_m(240) &= \left(\frac{0,1296}{2}\right) \times \left(\frac{228 + 20}{228 + 20}\right) \times \left(\frac{1}{1 - 0,02774} + \frac{1}{1 - 0,03705}\right) \\ &= 0,1339 \Omega/\text{km} \end{aligned} \quad (\text{équation (21)})$$

$$\begin{aligned} CT &= 52,2 \times 500 + 160^2 \times \frac{0,1339}{1\,000} \times 9,2341 \times 500 \quad (\text{équation (11)}) \\ &= 26\,100 + 15\,827 \\ &= 41\,927 \text{ cu} \end{aligned}$$

Lorsqu'on compare ce résultat au coût de 42 648 cu obtenu pour cet exemple par un processus plus simple, on peut constater que la réduction est de moins de 2 %.

#### B.4 Application à la détermination d'une section économique d'âme (voir 5.2)

Pour cette application, on a pris les valeurs numériques de l'exemple de A.4.

L'exemple de A.4, après les corrections pour le facteur de résistance en courant alternatif,  $B$ , indique que la section la plus économique est 269 mm<sup>2</sup>, qui est légèrement plus proche de la section d'âme normalisée de 240 mm<sup>2</sup> que de celle de 300 mm<sup>2</sup>.

On peut faire maintenant une réévaluation de cette section d'âme en corrigeant sa résistance. Les données se rapportant à une âme de 240 mm<sup>2</sup> sont déjà fournies en B.2. Le courant à transporter est de 160 A.

$$\gamma(240) = \left(\frac{160}{424}\right)^2 \times \left(\frac{80 - 20}{228 + 80}\right) = 0,02774 \quad (\text{équation (20)})$$

$$g\gamma(240) = 1,3355 \times 0,02774 = 0,03705$$

The difference from the initial value of 168 A is within errors due to rounding and because temperatures of both conductors have been corrected by about the same amount. The selection of a 240 mm<sup>2</sup> conductor for a maximum load of 160 A for the first section of the cable route is not affected.

A similar calculation can be made for the lower limit.

The total cost, *CT*, obtained by the initial calculation was 42 648 cu (see A.3.2); a cost based on the refined value of resistance for the 240 mm<sup>2</sup> conductor can now be obtained.

At the value of maximum load current,  $I_{\max} = 160$  A, the auxiliary quantity is:

$$\gamma(240) = \left(\frac{160}{424}\right)^2 \times \left(\frac{80 - 20}{228 + 80}\right) = 0,02774 \quad (\text{equation (20)})$$

$$g\gamma(240) = 1,3355 \times 0,02774 = 0,03705$$

so that:

$$\begin{aligned} R_m(240) &= \left(\frac{0,1296}{2}\right) \times \left(\frac{228 + 20}{228 + 20}\right) \times \left(\frac{1}{1 - 0,02774} + \frac{1}{1 - 0,03705}\right) \\ &= 0,1339 \Omega/\text{km} \end{aligned} \quad (\text{equation (21)})$$

$$\begin{aligned} CT &= 52,2 \times 500 + 160^2 \times \frac{0,1339}{1\,000} \times 9,2341 \times 500 \quad (\text{equation (11)}) \\ &= 26\,100 + 15\,827 \\ &= 41\,927 \text{ cu} \end{aligned}$$

When compared with the cost of 42 648 cu obtained for this example by the simpler procedure, the reduction can be seen to be less than 2 %.

#### B.4 Application to the determination of an economic size of conductor (see 5.2)

Numerical values for this explanation are taken from the example in A.4.

The example in A.4, after correction for the a.c. resistance factor *B*, showed the most economical cross-section as 269 mm<sup>2</sup>, which is marginally closer to the standard size of 240 mm<sup>2</sup> than to the 300 mm<sup>2</sup> size.

A re-assessment of this size, making a correction to the conductor resistance, can now be made. The relevant data for a 240 mm<sup>2</sup> conductor is already given in B.2. The load to be carried is 160 A.

$$\gamma(240) = \left(\frac{160}{424}\right)^2 \times \left(\frac{80 - 20}{228 + 80}\right) = 0,02774 \quad (\text{equation (20)})$$

$$g\gamma(240) = 1,3355 \times 0,02774 = 0,03705$$

La nouvelle valeur de la résistivité, corrigée pour la température, est donnée par:

$$\begin{aligned} \rho_m &= \frac{30,3 \times 10^{-9}}{2} \times \left( \frac{228 + 20}{228 + 20} \right) \times \left( \frac{1}{1 - 0,02774} + \frac{1}{1 - 0,03705} \right) \\ &= 30,3 \times 10^{-9} \times 1,0335 \quad (\text{équation (22)}) \\ &= 31,32 \times 10^{-9} \Omega.m \end{aligned}$$

et la section d'âme la plus économique est:

$$\begin{aligned} S_{ec} &= 1\,000 \times \left[ \frac{160^2 \times 9,2341 \times 31,32 \times 10^{-9} \times 1,057}{0,1133} \right]^{0,5} \quad (\text{équation (18)}) \\ &= 263 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Ce léger changement rapproche un peu  $S_{ec}$  de la valeur normalisée de 240 mm<sup>2</sup>.

Le coût total pour un câble de 240 mm<sup>2</sup> de section d'âme sera le même que celui déjà calculé à l'article B.2.

La température moyenne de l'âme de 240 mm<sup>2</sup> pendant la vie économique du câble est:

$$\begin{aligned} \theta_m &= \frac{228 + 20}{2} \times \left( \frac{1}{1 - 0,02774} + \frac{1}{1 - 0,03705} \right) - 228 \quad (\text{équation (19)}) \\ &= 28,3 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

The new value of resistivity, corrected for temperature, is given by:

$$\begin{aligned}\rho_m &= \frac{30,3 \times 10^{-9}}{2} \times \left( \frac{228 + 20}{228 + 20} \right) \times \left( \frac{1}{1 - 0,02774} + \frac{1}{1 - 0,03705} \right) \\ &= 30,3 \times 10^{-9} \times 1,0335 \quad (\text{equation (22)}) \\ &= 31,32 \times 10^{-9} \Omega \cdot \text{m}\end{aligned}$$

and the most economic size is:

$$\begin{aligned}S_{ec} &= 1\,000 \times \left[ \frac{160^2 \times 9,2341 \times 31,32 \times 10^{-9} \times 1,057}{0,1133} \right]^{0,5} \quad (\text{equation (18)}) \\ &= 263 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

This trivial change brings  $S_{ec}$  a little closer to the standard value of 240 mm<sup>2</sup>.

The total cost for a 240 mm<sup>2</sup> conductor cable will be the same as that already calculated in B.2.

The mean temperature of the 240 mm<sup>2</sup> conductor during the economic life is:

$$\begin{aligned}\theta_m &= \left( \frac{228 + 20}{2} \right) \times \left( \frac{1}{1 - 0,02774} + \frac{1}{1 - 0,03705} \right) - 228 \quad (\text{equation (19)}) \\ &= 28,3 \text{ }^\circ\text{C}\end{aligned}$$



## Standards Survey

We at the IEC want to know how our standards are used once they are published. The answers to this survey will help us to improve IEC standards and standard related information to meet your future needs.

Would you please take a minute to answer the survey on the other side and mail or fax to:

Customer Service Centre (CSC)  
**International Electrotechnical Commission**

3, rue de Varembé  
 Case postale 131  
 1211 Geneva 20

Switzerland

or

Fax to: CSC at +41 22 919 03 00

Thank you for your contribution to the standards making process.

**A Prioritaire**

Nicht frankieren  
 Ne pas affranchir



Non affrancare  
 No stamp required

**RÉPONSE PAYÉE**  
**SUISSE**

Customer Service Centre (CSC)  
**International Electrotechnical Commission**  
 3, rue de Varembé  
 Case postale 131  
 1211 Geneva 20  
 Switzerland

1. No. of IEC standard:  
.....

2. Tell us why you have the standard. (check as many as apply). I am:  
 the buyer  
 the user  
 a librarian  
 a researcher  
 an engineer  
 a safety expert  
 involved in testing  
 with a government agency  
 in industry  
 other .....

3. This standard was purchased from:  
.....

4. This standard will be used (check as many as apply):  
 for reference  
 in a standards library  
 to develop a new product  
 to write specifications  
 to use in a tender  
 for educational purposes  
 for a lawsuit  
 for quality assessment  
 for certification  
 for general information  
 for design purposes  
 for testing  
 other .....

5. This standard will be used in conjunction with (check as many as apply):  
 IEC  
 ISO  
 corporate  
 other (published by ..... )  
 other (published by ..... )  
 other (published by ..... )

6. This standard meets my needs (check one):  
 not at all  
 almost  
 fairly well  
 exactly

7. Please rate the standard in the following areas as (1) bad, (2) below average, (3) average, (4) above average, (5) exceptional (0) not applicable:  
 clearly written  
 logically arranged  
 information given by tables  
 illustrations  
 technical information

8. I would like to know how I can legally reproduce this standard for:  
 internal use  
 sales information  
 product demonstration  
 other .....

9. In what medium of standard does your organization maintain most of its standards (check one):  
 paper  
 microfilm/microfiche  
 mag tape  
 CD ROM  
 floppy disk  
 on line

9A. If your organization currently maintains part or all of its standards collection in electronic media please indicate the format(s).  
 raster image  
 full text

10. In what medium does your organization intend to maintain its standards collection in the future (check all that apply):  
 paper  
 microfilm/microfiche  
 mag tape  
 CD ROM  
 floppy disk  
 on line

10A. For electronic media which format will be chosen (check one):  
 raster image  
 full text

11. My organization is in the following sector (e.g. engineering, manufacturing)  
.....

12. Does your organization have a standards library:  
 Yes  
 No

13. If you said yes to 12 then how many volumes:  
.....

14. Which standards organizations published the standards in your library (e.g. ISO, DIN, ANSI, BSI, etc.):  
.....

15. My organization supports the standards-making process by (check as many as apply):  
 buying standards  
 using standards  
 membership in standards organizations  
 serving on standards development committees  
 other .....

16. My organization uses (check one):  
 French text only  
 English text only  
 Both English/French text

17. Other comments:  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

18. Please give us information about you and your company  
name: .....

job title: .....

company: .....

address: .....

.....  
.....  
.....

No. employees at your location: .....

turnover/sales: .....



Enquête sur les normes

La CEI se préoccupe de savoir comment ses normes sont accueillies et utilisées. Les réponses que nous procurera cette enquête nous aideront tout à la fois à améliorer nos normes et les informations qui les concernent afin de toujours mieux répondre à votre attente.

Nous aimerions que vous nous consacriez une petite minute pour remplir le questionnaire joint que nous vous invitons à retourner au:

Centre du Service Clientèle (CSC)  
**Commission Electrotechnique Internationale**  
 3, rue de Varembe  
 Case postale 131  
 CH1211 – Genève 20  
 Suisse  
 Télécopie: IEC/CSC +41 22 919 03 00

Nous vous remercions de la contribution que vous voudrez bien apporter ainsi à la Normalisation Internationale.

**A Prioritaire**

Nicht frankieren  
 Ne pas affranchir



Non affrancare  
 No stamp required

**RÉPONSE PAYÉE**  
**SUISSE**

Centre du Service Clientèle (CSC)  
**Commission Electrotechnique Internationale**  
 3, rue de Varembe  
 Case postale 131  
 CH1211 – Genève 20  
 Suisse



1.  
Numéro de la Norme CEI:  
.....

2.  
Pourquoi possédez-vous cette norme?  
(plusieurs réponses possibles). Je suis:

l'acheteur  
 l'utilisateur  
 bibliothécaire  
 chercheur  
 ingénieur  
 expert en sécurité  
 chargé d'effectuer des essais  
 fonctionnaire d'Etat  
 dans l'industrie  
 autres.....

3.  
Où avez-vous acheté cette norme?  
.....

4.  
Comment cette norme sera-t-elle  
utilisée? (plusieurs réponses possibles)

comme référence  
 dans une bibliothèque de normes  
 pour développer un produit nouveau  
 pour rédiger des spécifications  
 pour utilisation dans une soumission  
 à des fins éducatives  
 pour un procès  
 pour une évaluation de la qualité  
 pour la certification  
 à titre d'information générale  
 pour une étude de conception  
 pour effectuer des essais  
 autres.....

5.  
Cette norme est-elle appelée à être  
utilisée conjointement avec d'autres  
normes? Lesquelles? (plusieurs  
réponses possibles):

CEI  
 ISO  
 internes à votre société  
 autre (publiée par..... )  
 autre (publiée par..... )  
 autre (publiée par..... )

6.  
Cette norme répond-elle  
à vos besoins?

pas du tout  
 à peu près  
 assez bien  
 parfaitement

7.  
Nous vous demandons maintenant de donner  
une note à chacun des critères ci-dessous  
(1, mauvais; 2, en-dessous de la moyenne;  
3, moyen; 4, au-dessus de la moyenne;  
5, exceptionnel; 0, sans objet)

clarté de la rédaction  
 logique de la disposition  
 tableaux informatifs  
 illustrations  
 Informations techniques

8.  
J'aimerais savoir comment je peux reproduire  
légalement cette norme pour:

usage interne  
 des renseignements commerciaux  
 des démonstrations de produit  
 autres.....

9.  
Quel support votre société utilise-t-elle pour  
garder la plupart des ses normes?

papier  
 microfilm/microfiche  
 bandes magnétiques  
 CD-ROM  
 disquettes  
 abonnement à un serveur électronique

9A.  
Si votre société conserve en totalité ou en partie  
sa collection de normes sous forme électronique,  
indiquer la ou les formats:

format tramé (ou image balayée ligne par ligne)  
 texte intégral

10.  
Sur quels supports votre société prévoit-elle  
de conserver sa collection de normes à  
l'avenir (plusieurs réponses possibles):

papier  
 microfilm/microfiche  
 bande magnétique  
 CD-ROM  
 disquette  
 abonnement à un serveur électronique

10A.  
Quel format serait retenu pour un moyen  
électronique? (une seule réponse)

format tramé  
 texte intégral

11.  
A quel secteur d'activité appartient votre société?  
(par ex. ingénierie, fabrication)  
.....

12.  
Votre société possède-t-elle une  
bibliothèque de normes?

Oui  
 Non

13.  
En combien de volumes dans le cas  
affirmatif ?  
.....

14.  
Quelles organisations de normalisation ont  
publiées les normes de cette bibliothèque ?  
(ISO, DIN, ANSI, BSI, etc.):  
.....

15.  
Ma société apporte sa contribution à l'élaboration  
des normes par les moyens suivants  
(plusieurs réponses possibles):

en achetant des normes  
 en utilisant des normes  
 en qualité de membre d'organisations  
de normalisation  
 en qualité de membre de comités de  
normalisation  
 autres.....

16.  
Ma société utilise:  
(une seule réponse)

des normes en français seulement  
 des normes en anglais seulement  
 des normes bilingues anglais/français

17.  
Autres observations:  
.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

18.  
Pourriez-vous nous donner quelques  
informations sur vous-même et votre société?:

nom: .....

fonction:.....

nom de la société:.....

adresse:.....

.....

.....

nombre d'employés:.....

chiffre d'affaires:.....

**Publications de la CEI préparées  
par le Comité d'Etudes n° 20**

- 55:– Câbles isolés au papier imprégné sous gaine métallique pour des tensions assignées inférieures ou égales à 18/30 kV (avec âmes conductrices en cuivre ou aluminium et à l'exclusion des câbles à pression de gaz et à huile fluide).
- 55-1 (1978) Première partie: Essais.  
Modification n° 1 (1989).
- 55-2 (1981) Deuxième partie: Généralités et exigences de construction.  
Modification n° 1 (1989).
- 141:– Essais de câbles à huile fluide, à pression de gaz et de leurs dispositifs accessoires.
- 141-1 (1993) Première partie: Câbles au papier à huile fluide et à gaine métallique et accessoires pour des tensions alternatives inférieures ou égales à 400 kV.  
Amendement 1 (1995).
- 141-2 (1963) Deuxième partie: Câbles à pression de gaz interne et accessoires pour des tensions alternatives inférieures ou égales à 275 kV.  
Modification n° 1 (1967).
- 141-3 (1963) Troisième partie: Câbles à pression de gaz externe (à compression de gaz) et accessoires pour des tensions alternatives inférieures ou égales à 275 kV.  
Modification n° 1 (1967).
- 141-4 (1980) Quatrième partie: Câbles à huile fluide en tuyau à isolation de papier imprégné sous forte pression d'huile et accessoires pour des tensions alternatives inférieures ou égales à 400 kV.  
Amendement n° 1 (1990).
- 173 (1964) Couleurs pour les conducteurs des câbles souples.
- 183 (1984) Guide pour le choix des câbles à haute tension.  
Amendement n° 1 (1990).
- 227:– Conducteurs et câbles isolés au polychlorure de vinyle, de tension nominale au plus égale à 450/750 V.
- 227-1 (1993) Partie 1: Prescriptions générales.
- 227-2 (1979) Deuxième partie: Méthodes d'essais.  
Modification n° 1 (1985).
- 227-3 (1993) Partie 3: Conducteurs pour installations fixes.
- 227-4 (1992) Partie 4: Câbles sous gaine pour installations fixes.
- 227-5 (1979) Cinquième partie: Câbles souples.  
Modification n° 1 (1987).  
Amendement 2 (1994).
- 227-6 (1985) Sixième partie: Câbles pour ascenseurs et câbles pour connexions souples.
- 228 (1978) Ames des câbles isolés. Guide pour les limites dimensionnelles des âmes circulaires.  
Amendement 1 (1993).
- 228A (1982) Premier complément.
- 229 (1982) Essais sur les gaines extérieures des câbles, qui ont une fonction spéciale de protection et sont appliquées par extrusion.
- 230 (1966) Essais de choc des câbles et de leurs accessoires.
- 245:– Conducteurs et câbles isolés au caoutchouc – Tension assignée au plus égale à 450/750 V.
- 245-1 (1994) Partie 1: Prescriptions générales.
- 245-2 (1994) Partie 2: Méthodes d'essais.
- 245-3 (1994) Partie 3: Conducteurs isolés au silicone, résistant à la chaleur.

(suite)

**IEC publications prepared  
by Technical Committee No. 20**

- 55:– Paper-insulated metal-sheathed cables for rated voltages up to 18/30 kV (with copper or aluminium conductors and excluding gas-pressure and oil-filled cables).
- 55-1 (1978) Part 1: Tests.  
Amendment No. 1 (1989).
- 55-2 (1981) Part 2: General and construction requirements.  
Amendment No. 1 (1989).
- 141:– Tests on oil-filled and gas-pressure cables and their accessories.
- 141-1 (1993) Part 1: Oil-filled, paper-insulated, metal-sheathed cables and accessories for alternating voltages up to and including 400 kV.  
Amendment 1 (1995).
- 141-2 (1963) Part 2: Internal gas-pressure cables and accessories for alternating voltages up to 275 kV.  
Amendment No. 1 (1967).
- 141-3 (1963) Part 3: External gas-pressure (gas compression) cables and accessories for alternating voltages up to 275 kV.  
Amendment No. 1 (1967).
- 141-4 (1980) Part 4: Oil-impregnated paper-insulated high-pressure oil-filled pipe-type cables and accessories for alternating voltages up to and including 400 kV.  
Amendment No. 1 (1990).
- 173 (1964) Colours of the cores of flexible cables and cords.
- 183 (1984) Guide to the selection of high-voltage cables.  
Amendment No. 1 (1990).
- 227:– Polyvinyl chloride insulated cables of rated voltages up to and including 450/750 V.
- 227-1 (1993) Part 1: General requirements.
- 227-2 (1979) Part 2: Test methods.  
Amendment No. 1 (1985).
- 227-3 (1993) Part 3: Non-sheathed cables for fixed wiring.
- 227-4 (1992) Part 4: Sheathed cables for fixed wiring.
- 227-5 (1979) Part 5: Flexible cables (cords).  
Amendment No. 1 (1987).  
Amendment 2 (1994).
- 227-6 (1985) Part 6: Lift cables and cables for flexible connections.
- 228 (1978) Conductors of insulated cables. Guide to the dimensional limits of circular conductors.  
Amendment 1 (1993).
- 228A (1982) First supplement.
- 229 (1982) Tests on cable oversheaths which have a special protective function and are applied by extrusion.
- 230 (1966) Impulse tests on cables and their accessories.
- 245:– Rubber insulated cables – Rated voltages up to and including 450/750 V.
- 245-1 (1994) Part 1: General requirements.
- 245-2 (1994) Part 2: Test methods.
- 245-3 (1994) Part 3: Heat resistant silicone insulated cables.

(continued)

**Publications de la CEI préparées  
par le Comité d'Etudes n° 20 (suite)**

- 245-4 (1994) Partie 4: Câbles souples.  
245-5 (1994) Partie 5: Câbles pour ascenseurs.  
245-6 (1994) Partie 6: Câbles souples pour électrodes de soudage à l'arc.  
245-7 (1994) Partie 7: Câbles isolés à l'éthylène/acétate de vinyle, résistant aux températures élevées.  
287 (1982) Calcul du courant admissible dans les câbles en régime permanent (facteur de charge 100 %).  
Modification n° 1 (1988).  
Amendement n° 2 (1991).  
Amendement n° 3 (1993).  
287:- Câbles électriques – Calcul du courant admissible.  
287-1-1 (1994) Partie 1: Equations de l'intensité du courant admissible (facteur de charge 100 %) et calcul des pertes – Section 1: Généralités.  
287-1-2 (1993) Partie 1: Equations de l'intensité du courant admissible (facteur de charge 100 %) et calcul des pertes – Section 2: Facteurs de pertes par courants de Foucault dans les gaines dans le cas de deux circuits disposés en nappe.  
287-2-1 (1994) Partie 2: Résistance thermique – Section 1: Calcul de la résistance thermique.  
287-2-2 (1995) Partie 2: Résistance thermique – Section 2: Méthode de calcul des coefficients de réduction de l'intensité de courant admissible pour des groupes de câbles posés à l'air libre et protégés du rayonnement solaire direct.  
287-3-1 Partie 3: Sections concernant les conditions de fonctionnement – Section 1: Conditions de fonctionnement de référence et sélection du type de câble.  
287-3-2 (1995) Partie 3: Sections concernant les conditions de fonctionnement – Section 2: Optimisation économique des sections d'âme de câbles électriques de puissance.  
331 (1970) Caractéristiques des câbles électriques résistant au feu.  
332:- Essais des câbles électriques soumis au feu.  
332-1 (1993) Première partie: Essais sur un fil ou câble vertical isolé.  
332-2 (1989) Deuxième partie: Essai sur un petit conducteur ou câble isolé à âme en cuivre, en position verticale.  
332-3 (1992) Troisième partie: Essais sur des fils ou câbles en nappes.  
502 (1994) Câbles de transport d'énergie isolés par diélectriques massifs extrudés pour des tensions assignées de 1 kV à 30 kV.  
541 (1976) Comparaison des câbles souples de la CEI et des câbles souples de l'Amérique du Nord.  
702:- Câbles à isolant minéral et leurs terminaisons de tension nominale ne dépassant pas 750 V.  
702-1 (1988) Première partie: Câbles.  
Amendement n° 1 (1992).  
702-2 (1986) Deuxième partie: Terminaisons.  
719 (1992) Calcul des valeurs minimales et maximales des dimensions extérieures moyennes des conducteurs et câbles à âmes circulaires en cuivre et de tension nominale au plus égale à 450/750 V.  
724 (1984) Guide aux limites de température de court-circuit des câbles électriques de tension assignée au plus égale à 0,6/1,0 kV.  
Amendement 1 (1993).

(suite)

**IEC publications prepared  
by Technical Committee No. 20 (continued)**

- 245-4 (1994) Part 4: Cords and flexible cables.  
245-5 (1994) Part 5: Lift cables.  
245-6 (1994) Part 6: Arc welding electrode cables.  
245-7 (1994) Part 7: Heat resistant ethylene-vinylacetate rubber insulated cables.  
287 (1982) Calculation of the continuous current rating of cables 100 % load factor).  
Amendment No. 1 (1988).  
Amendment No. 2 (1991).  
Amendment No. 3 (1993).  
287:- Electric cables – Calculation of the current rating.  
287-1-1 (1994) Part 1: Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses – Section 1: General.  
287-1-2 (1993) Part 1: Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses – Section 2: Sheath eddy current loss factors for two circuits in flat formation.  
287-2-1 (1994) Part 2: Thermal resistance – Section 1: Calculation of thermal resistance.  
287-2-2 (1995) Part 2: Thermal resistance – Section 2: A method for calculating reduction factors for groups of cables in free air, protected from solar radiation.  
287-3-1 Part 3: Sections on operating conditions – Section 1: Reference operating conditions and selection of cable type  
287-3-2 (1995) Part 3: Sections on operating conditions – Section 2: Economic optimization of power cable size.  
331 (1970) Fire-resisting characteristics of electric cables.  
332:- Tests on electric cables under fire conditions.  
332-1 (1993) Part 1: Test on a single vertical insulated wire or cable.  
332-2 (1989) Part 2: Test on a single small vertical insulated copper wire or cable.  
332-3 (1992) Part 3: Tests on bunched wires or cables.  
502 (1994) Extruded solid dielectric insulated power cables for rated voltages from 1 kV up to 30 kV.  
541 (1976) Comparative information on IEC and North American flexible cord types.  
702:- Mineral insulated cables and their terminations with a rated voltage not exceeding 750 V.  
702-1 (1988) Part 1: Cables.  
Amendment No. 1 (1992).  
702-2 (1986) Part 2: Terminations.  
719 (1992) Calculation of the lower and upper limits for the average outer dimensions of cables with circular copper conductors and of rated voltages up to and including 450/750 V.  
724 (1984) Guide to the short-circuit temperature limits of electric cables with a rated voltage not exceeding 0,6/1,0 kV.  
Amendment 1 (1993).

(continued)

**Publications de la CEI préparées  
par le Comité d'Etudes n° 20 (suite)**

- 754:– Essai des gaz émis lors de la combustion des câbles électriques.
- 754-1 (1994) Partie 1: Détermination de la quantité de gaz acide halogéné.
- 754-2 (1991) Deuxième partie: Détermination de l'acidité des gaz émis lors de la combustion d'un matériau prélevé sur un câble par mesurage du pH et de la conductivité.
- 800 (1992) Câbles chauffants de tension nominale 300/500 V pour le chauffage des locaux et de la protection contre la formation de glace.
- 811:– Méthodes d'essais communes pour les matériaux d'isolation et de gainage des câbles électriques.
- 811-1:– Première partie: Méthodes d'application générale.
- 811-1-1 (1993) Section un: Mesure des épaisseurs et des dimensions extérieures – Détermination des propriétés mécaniques.
- 811-1-2 (1985) Section deux: Méthodes de vieillissement thermique. Modification n° 1 (1989).
- 811-1-3 (1993) Section 3: Méthodes de détermination de la masse volumique – Essais d'absorption d'eau – Essai de rétraction.
- 811-1-4 (1985) Section quatre: Essais à basse température. Amendement 1 (1993).
- 811-2:– Deuxième partie: Méthodes spécifiques pour les mélanges élastomères.
- 811-2-1 (1986) Section un: Essai de résistance à l'ozone – Essai d'allongement à chaud – Essai de résistance à l'huile. Amendement 1 (1992). Amendement 2 (1993).
- 811-3:– Troisième partie: Méthodes spécifiques pour les mélanges PVC.
- 811-3-1 (1985) Section un: Essai de pression à température élevée – Essais de résistance à la fissuration. Amendement 1 (1994).
- 811-3-2 (1985) Section deux: Essai de perte de masse – Essai de stabilité thermique. Amendement 1 (1993).
- 811-4:– Quatrième partie: Méthodes spécifiques pour les mélanges polyéthylène et polypropylène.
- 811-4-1 (1985) Section un: Résistance aux craquelures sous contraintes dues à l'environnement – Essai d'enroulement après vieillissement thermique dans l'air – Mesure de l'indice de fluidité à chaud – Mesure dans le PE du taux de noir de carbone et/ou des charges minérales. Modification n° 1 (1988). Amendement 2 (1993).
- 811-4-2 (1990) Section deux: Allongement à la rupture après pré-conditionnement – Essai d'enroulement après pré-conditionnement – Essai d'enroulement après vieillissement thermique dans l'air – Mesure de l'augmentation de masse – Essai de stabilité à long terme (annexe A) – Méthode d'essai pour l'oxydation catalytique par le cuivre (annexe B).
- 811-5-1 (1990) Cinquième partie: Méthodes spécifiques pour les matières de remplissage – Section un: Point de goutte – Séparation d'huile – Fragilité à basse température – Indice d'acide total – Absence de composés corrosifs – Permittivité à 23 °C – Résistivité en courant continu à 23 °C et 100 °C.
- 840 (1988) Essais des câbles de transport d'énergie à isolation extrudée pour des tensions assignées supérieures à 30 kV ( $U_m = 36$  kV) et jusqu'à 150 kV ( $U_m = 170$  kV). Amendement 2 (1993).

(suite)

**IEC publications prepared  
by Technical Committee No. 20 (continued)**

- 754:– Test on gases evolved during combustion of electric cables.
- 754-1 (1994) Part 1: Determination of the amount of halogen acid gas.
- 754-2 (1991) Part 2: Determination of degree of acidity of gases evolved during the combustion of materials taken from electric cables by measuring pH and conductivity.
- 800 (1992) Heating cables with a rated voltage of 300/500 V for comfort heating and prevention of ice formation.
- 811:– Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables.
- 811-1:– Part 1: Methods for general application.
- 811-1-1 (1993) Section One: Measurement of thickness and overall dimensions – Tests for determining the mechanical properties.
- 811-1-2 (1985) Section Two: Thermal ageing methods. Amendment No. 1 (1989).
- 811-1-3 (1993) Section 3: Methods for determining the density – Water absorption tests – Shrinkage test.
- 811-1-4 (1985) Section Four: Tests at low temperature. Amendment 1 (1993).
- 811-2:– Part 2: Methods specific to elastomeric compounds.
- 811-2-1 (1986) Section One: Ozone resistance test – Hot set test – Mineral oil immersion test. Amendment 1 (1992). Amendment 2 (1993).
- 811-3:– Part 3: Methods specific to PVC compounds.
- 811-3-1 (1985) Section One: Pressure test at high temperature – Tests for resistance to cracking. Amendment 1 (1994).
- 811-3-2 (1985) Section Two: Loss of mass test – Thermal stability test. Amendment 1 (1993).
- 811-4:– Part 4: Methods specific to polyethylene and polypropylene compounds.
- 811-4-1 (1985) Section One: Resistance to environmental stress cracking – Wrapping test after thermal ageing in air – Measurement of the melt flow index – Carbon black and/or mineral content measurement in PE. Amendment No. 1 (1988). Amendment 2 (1993).
- 811-4-2 (1990) Section Two: Elongation at break after pre-conditioning – Wrapping test after pre-conditioning – Wrapping test after thermal ageing in air – Measurement of mass increase – Long-term stability test (Appendix A) – Test method for copper-catalysed oxidative degradation (Appendix B).
- 811-5-1 (1990) Part 5: Methods specific to filling compounds – Section One: Drop point – Separation of oil – Lower temperature brittleness – Total acid number – Absence of corrosive components – Permittivity at 23 °C – D.C. resistivity at 23 °C and 100 °C.
- 840 (1988) Tests for power cables with extruded insulation for rated voltages above 30 kV ( $U_m = 36$  kV) up to 150 kV ( $U_m = 170$  kV). Amendment 2 (1993).

(continued)

**Publications de la CEI préparées  
par le Comité d'Etudes n° 20 (suite)**

- 853:– Calcul des capacités de transport des câbles pour les régimes de charge cycliques et de surcharge de secours.
- 853-1 (1985) Première partie: Facteurs de capacité de transport cyclique pour des câbles de tensions inférieures ou égales à 18/30 (36) kV.  
Amendement 1 (1994).
- 853-2 (1989) Deuxième partie: Régime cyclique pour des câbles de tensions supérieures à 18/30 (36) kV et régimes de secours pour des câbles de toutes tensions.
- 885:– Méthodes d'essais électriques pour les câbles électriques.
- 885-1 (1987) Première partie: Essais électriques pour les câbles, les conducteurs et les fils, pour une tension inférieure ou égale à 450/750 V.
- 885-2 (1987) Deuxième partie: Essais de décharges partielles.
- 885-3 (1988) Troisième partie: Méthode d'essais pour mesures de décharges partielles sur longueurs de câbles de puissance extrudés.
- 949 (1988) Calcul des courants de court-circuit admissibles au plan thermique, tenant compte des effets d'un échauffement non adiabatique.
- 986 (1989) Guide aux limites de température de court-circuit des câbles électriques de tension assignée de 1,8/3 (3,6) kV à 18/30 (36) kV.  
Amendement 1 (1993).
- 1034:– Mesure de la densité de fumées dégagées par des câbles électriques brûlant dans des conditions définies.
- 1034-1 (1990) Partie 1: Appareillage d'essai.
- 1034-2 (1991) Part 2: Procédure d'essai et prescriptions.  
Amendement 1 (1993).
- 1042 (1991) Méthode de calcul des coefficients de réduction de l'intensité de courant admissible pour des groupes de câbles posés à l'air libre et protégés du rayonnement solaire direct.
- 1138 (1994) Câbles d'équipement portable de mise à la terre et de court-circuit.  
Amendement 1 (1995).
- 1238-1 (1993) Connecteurs sertis et à serrage mécanique pour câbles d'énergie à âmes en cuivre ou en aluminium – Partie 1: Méthodes d'essais et prescriptions.
- 1423:– Câbles chauffants pour applications industrielles.
- 1423-1 (1995) Partie 1: Prescriptions de performance et méthodes d'essai.
- 1423-2 (1995) Partie 2: Constitution des câbles et caractéristiques des matériaux.

**IEC publications prepared  
by Technical Committee No. 20 (continued)**

- 853:– Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables.
- 853-1 (1985) Part 1: Cyclic rating factor for cables up to and including 18/30 (36) kV.  
Amendment 1 (1994).
- 853-2 (1989) Part 2: Cyclic rating of cables greater than 18/30 (36) kV and emergency ratings for cables of all voltages.
- 885:– Electrical test methods for electric cables.
- 885-1 (1987) Part 1: Electrical test for cables, cords and wires for voltages up to and including 450/750 V.
- 885-2 (1987) Part 2: Partial discharge tests.
- 885-3 (1988) Part 3: Test methods for partial discharge measurements on lengths of extruded power cables.
- 949 (1988) Calculation of thermally permissible short-circuit currents, taking into account non-adiabatic heating effects.
- 986 (1989) Guide to the short-circuit temperature limits of electric cables with a rated voltage from 1,8/3 (3,6) kV to 18/30 (36) kV.  
Amendment 1 (1993).
- 1034:– Measurement of smoke density of electric cables burning under defined conditions.
- 1034-1 (1990) Part 1: Test apparatus.
- 1034-2 (1991) Part 2: Test procedure and requirements.  
Amendment 1 (1993).
- 1042 (1991) A method for calculating reduction factors for groups of cables in free air, protected from solar radiation.
- 1138 (1994) Cables for portable earthing and short-circuiting equipment.  
Amendment 1 (1995).
- 1238-1 (1993) Compression and mechanical connectors for power cables with copper or aluminium conductors – Part 1: Test methods and requirements.
- 1423:– Heating cables for industrial applications
- 1423-1 (1995) Part 1: Performance requirements and test methods
- 1423-2 (1995) Part 2: Constructional and material requirements.

Publication 287-3-2

Typeset and printed by the IEC Central Office  
GENEVA, SWITZERLAND