

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

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 U_0</i> kV
<i>Câbles isolés au papier imprégné:</i>	
type «solid»	38
à huile et sous pression de gaz	63,5
<i>Câbles isolés avec d'autres matériaux:</i>	
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 U_0</i> kV
Cables insulated with impregnated paper:	
solid type	38
oil-filled and gas pressure	63,5
Cables with other types of insulation:	
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

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*