

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60853-1

Première édition
First edition
1985-01

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

Première partie:

Facteur de capacité de transport cyclique
pour des câbles de tensions inférieures ou
égales à 18/30 (36) kV

**Calculation of the cyclic and emergency current
rating of cables**

Part 1:

Cyclic rating factor for cables up to
and including 18/30 (36) kV



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60853-1: 1985

LICENSED TO MECON Limited, - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

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 dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI)*.

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

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 in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*.

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60853-1

Première édition
First edition
1985-01

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

Première partie:

Facteur de capacité de transport cyclique
pour des câbles de tensions inférieures ou
égales à 18/30 (36) kV

**Calculation of the cyclic and emergency current
rating of cables**

Part 1:

Cyclic rating factor for cables up to
and including 18/30 (36) kV

© IEC 1985 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 photo-
copie 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.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

R

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

LICENSED TO MECON Limited - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
INTRODUCTION	6
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Symboles	8
3. Calcul du facteur de capacité de transport cyclique	8
3.1 Un seul circuit	10
3.2 Groupe de câbles avec pertes égales, câbles ou fourreaux non jointifs	14
3.3 Groupe de circuits de trois câbles ou fourreaux identiques également chargés, jointifs et ayant des pertes égales	16
4. Méthode permettant d'utiliser d'autres valeurs de résistivité du sol, diffusivités thermiques du sol et profondeurs de pose	16
5. Diffusivité thermique du sol	18
6. Critères d'application de ces méthodes à des câbles de tension plus élevée	20
7. Exemples	22
ANNEXE A – Théorie fondamentale pour le calcul des facteurs de capacité de transport cyclique lorsque le cycle de charge est de forme quelconque	30
FIGURES	34

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1. Scope	7
2. Symbols	9
3. Calculation of cyclic rating factor	9
3.1 Single isolated circuit	11
3.2 Group of cables with equal losses, cables or ducts not touching	15
3.3 Group of circuits of three equally loaded, identical, touching cables or ducts having equal losses	17
4. Method of dealing with different soil resistivities, soil thermal diffusivities and depths of laying	17
5. Soil thermal diffusivity	19
6. Criteria for application of methods to cables of higher voltage	21
7. Examples	23
APPENDIX A – Basic theory for computation of cyclic rating factors with any shape of load cycle	31
FIGURES	34

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CALCUL DES CAPACITÉS DE TRANSPORT DES CÂBLES POUR LES RÉGIMES DE CHARGE CYCLIQUES ET DE SURCHARGE DE SECOURS

Première partie: Facteur de capacité de transport cyclique pour des câbles de tensions inférieures ou égales à 18/30 (36) kV

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes 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.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

La présente norme a été établie par le Sous-Comité 20A: Câbles de haute tension, du Comité d'Etudes n° 20 de la CEI: Câbles électriques.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
20A(BC)93	20A(BC)97

Pour de plus amples renseignements, consulter le rapport de vote mentionné dans le tableau ci-dessus.

La publication suivante de la CEI est citée dans la présente norme:

Publication n° 287 (1982): Calcul du courant admissible dans les câbles en régime permanent (facteur de charge 100%).

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**CALCULATION OF THE CYCLIC AND EMERGENCY CURRENT RATING
OF CABLES****Part 1: Cyclic rating factor for cables up to and including 18/30 (36) kV**

FOREWORD

- 1) 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.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This standard has been prepared by Sub-Committee 20A: High-voltage Cables, of IEC Technical Committee No. 20: Electric Cables.

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

Six Months' Rule	Report on Voting
20A(CO)93	20A(CO)97

Further information can be found in the Report on Voting indicated in the table above.

The following IEC publication is quoted in this standard:

Publication No. 287 (1982): Calculation of the Continuous Current Rating of Cables (100% Load Factor).

CALCUL DES CAPACITÉS DE TRANSPORT DES CÂBLES POUR LES RÉGIMES DE CHARGE CYCLIQUES ET DE SURCHARGE DE SECOURS

Première partie: Facteur de capacité de transport cyclique pour des câbles de tensions inférieures ou égales à 18/30 (36) kV

INTRODUCTION

La présente norme donne des méthodes de calcul du facteur de capacité de transport cyclique pour des câbles dont la capacité thermique intérieure peut être négligée. La méthode est fondée sur la procédure simplifiée, publiée dans un document CIGRÉ*.

Il est prévu de publier une seconde partie donnant la méthode complète (un bref résumé figure dans l'annexe A) qui traiterait des cas prenant en compte la capacité thermique du câble. Cette seconde partie inclurait également les méthodes de calcul des capacités de transport en surcharge de secours.

Les méthodes simplifiées de cette norme nécessitent uniquement la connaissance de la forme exacte de la variation de charge pendant une durée n'excédant pas les 6 h précédant immédiatement l'instant où la température atteint sa valeur maximale et une valeur moyenne de cette température pour les périodes précédentes. Cela réduit le travail à effectuer, mais introduit certaines restrictions sur le type de câble et la forme du cycle de charge susceptibles d'être traités. Les méthodes peuvent s'appliquer à toutes tailles et tous types de câbles de tension nominale n'excédant pas 18/30 (36) kV, pour une forme quelconque du cycle de charge avec une marge d'erreur ne dépassant pas 5% dans le sens de la sécurité. Des critères limitant l'application de ces méthodes simplifiées dans le cas des câbles de tension plus élevée sont donnés dans l'article 6.

La variation de la résistance de l'âme en fonction de la température est négligée. On peut démontrer qu'il en résulte une légère erreur dans le sens de la sécurité.

1. Domaine d'application

Il n'a pas été tenu compte pour le moment des effets éventuels de la migration d'humidité sur la résistivité thermique du sol. Cela correspond à la méthode déjà adoptée dans la Publication 287 de la CEI: Calcul du courant admissible dans les câbles en régime permanent (facteur de charge 100%), pour le calcul des capacités de transport en régime permanent des câbles dans un sol uniforme. Des méthodes permettant de tenir compte des zones du sol ayant des caractéristiques thermiques différentes et de l'assèchement du sol sont à l'étude.

Les méthodes de cette norme s'appliquent aux câbles enterrés dans un sol uniforme, soit directement soit en fourreaux, lorsqu'ils transportent une charge variant de façon cyclique sur une durée de 24 h, la forme de chaque cycle journalier étant sensiblement la même. On suppose que la tension a été appliquée pendant une durée suffisante pour que l'échauffement de l'âme dû aux pertes diélectriques ait atteint un régime permanent. L'échauffement total de l'âme au-dessus de l'ambiante est alors égal à la somme de l'échauffement en régime permanent dû aux pertes diélectriques (donné dans la Publication 287) et des variations transitoires de température dues aux variations de courant.

* Capacité de transport des câbles pour les régimes de charge cycliques et de secours d'urgence, Partie 1: Electra n° 24, octobre 1972, page 63.

CALCULATION OF THE CYCLIC AND EMERGENCY CURRENT RATING OF CABLES

Part 1: Cyclic rating factor for cables up to and including 18/30 (36) kV

INTRODUCTION

This standard gives methods for calculating the cyclic rating factor for cables where the internal thermal capacitance can be neglected. The method is based on the simplified procedure published in a CIGRÉ document.*

It is intended to issue a second part detailing the full method (a brief résumé of which is set out in Appendix A) which will provide for those cables where the thermal capacitance should be included. This second part will also include methods for the calculation of emergency ratings.

The simplified methods in this standard require only a knowledge of the full shape of the load variation for not more than 6 h immediately preceding the time of maximum temperature and an average value for times before that. This reduces the amount of work involved, but places some restrictions on the type of cable and shape of load cycle that can be dealt with. The methods can be applied to all sizes and types of cable for nominal voltages up to and including 18/30 (36) kV, with any shape of load cycle, when the margin of error is not expected to exceed 5% on the safe side. Criteria for limited application of these simplified methods to cables for higher voltages are given in Clause 6.

Change in conductor resistance with temperature is neglected. This can be shown to result in a small error on the safe side.

1. Scope

No account has been taken at present of possible effects of moisture migration on the thermal resistivity of the soil. This is in line with the approach already adopted for the calculation of steady-state ratings in uniform soil as given in IEC Publication 287: Calculation of the Continuous Current Rating of Cables (100% Load Factor). Methods for dealing with regions having different thermal characteristics and with drying out of the soil are under consideration.

The methods in this standard apply to cables buried in uniform soil, either directly or in ducts, when carrying a load which varies cyclically over a 24 h period, the shape of each daily cycle being substantially the same. It is assumed that the voltage has been applied for a sufficiently long time for the conductor temperature rise due to dielectric loss to have reached a steady state. The total temperature rise of the conductor above ambient is then the sum of the steady-state temperature rise due to the dielectric loss (as given by IEC Publication 287) and the transient temperature variations due to changes of current.

* Current Ratings of Cables for Cyclic and Emergency Loads, Part 1: Electra No.24, October 1972, Page 63.

En ce qui concerne les câbles posés à l'air libre, la température de l'âme suit les variations du courant de charge de manière suffisamment rapide pour que les cycles journaliers habituels ne permettent pas des charges dont la valeur de pointe soit plus élevée que la valeur en régime permanent.

Des valeurs numériques sont données pour l'évaluation des facteurs de capacité de transport cyclique des câbles enterrés à 1 m de profondeur dans un sol ayant une diffusivité de $0,5 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, mais des méthodes permettant d'utiliser d'autres conditions sont également traitées. On suppose les propriétés du sol constantes à la fois dans le temps et dans l'espace.

2. Symboles

Symboles	Définitions	Unités
B	= grandeur utilisée à l'article 3 et dans l'annexe A	
D_e	= diamètre extérieur d'un câble ou d'un fourreau,	m
F	= coefficient utilisé pour exprimer un échauffement mutuel permanent provoqué par les autres câbles d'un groupe	
I	= valeur du courant de charge observé à intervalles horaires durant un cycle de 24 h	A
$I_{\max}$	= valeur la plus élevée du courant de charge horaire	A
L	= profondeur de pose mesurée par rapport à l'axe du câble	m
M	= facteur de capacité de transport dû à une variation cyclique du courant de charge	
T_4	= résistance thermique extérieure d'un seul câble ou d'un fourreau, soit posé de manière isolée, soit faisant partie d'un groupe	K.m/W
ΔT_4	= augmentation de la résistance thermique extérieure du câble considéré, due à la présence d'autres câbles dans le groupe	K.m/W
W	= pertes totales par effet Joule (fonction du courant) par câble, déterminées en utilisant la résistance de l'âme à la température maximale de fonctionnement	W/m
$Y_0, Y_1, Y_2, \dots, Y_i$	= coefficient proportionnel aux pertes, fonction du courant dans un câble entre les heures (i) et ($i+1$) précédant l'instant où la température de l'âme est la plus élevée	
i	= temps précédant le moment prévu pour la température maximale	h
k	= rapport de l'élévation de température au-dessus de l'ambiante de la surface extérieure d'un câble (ou d'un fourreau) à l'élévation de température de l'âme au-dessus de l'ambiante en régime permanent	
k_1	= valeur de k pour un câble dans un groupe	
p	= fraction du cycle journalier de charge durant laquelle la charge n'atteint pas sa valeur maximale	
t	= temps précédant le moment prévu pour la température maximale	s
$\theta(\infty)$	= élévation de la température de l'âme au-dessus de l'ambiante en régime permanent (mais voir paragraphe 3.1.1 lorsque les pertes diélectriques ne sont pas négligeables)	K
$\theta_R(i)$	= élévation de la température de l'âme au-dessus de l'ambiante au temps i en heures, due à l'application d'une fonction échelon de courant de charge égale au courant nominal en régime permanent (facteur de charge 100%). $\theta_R(\infty)$ représente l'élévation de température permanente de l'âme, due au courant nominal en régime permanent (voir aussi les remarques au symbole $\theta(\infty)$ lorsque les pertes diélectriques ne sont pas négligeables).	K
$\Phi_0, \Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_i$	= fonction définie dans l'annexe A; valeurs numériques données au tableau II	
$\alpha(i)$	= facteur d'approche de la température de l'âme du câble au temps (i) en heures, $\alpha(\infty) = 1$	
$\beta(i)$	= facteur d'approche de la température de la surface extérieure du câble (ou du fourreau) au temps (i) en heures, $\beta(\infty) = 1$	
$\gamma(i)$	= fonction utilisée dans les calculs des facteurs de capacité de transport cyclique pour l'un des câbles d'un groupe	
δ	= diffusivité thermique du sol	m^2/s
μ	= facteur de charge des pertes du cycle de charge considéré	
ϱ_T	= résistivité thermique du sol	K.m/W

3. Calcul du facteur de capacité de transport cyclique

La méthode de calcul varie en fonction de la forme et des informations disponibles pour le cycle de charge. La méthode de base est donnée pour référence dans l'annexe A, et les formules données ici sont des simplifications susceptibles d'être faites en fonction des cas considérés. Le tableau I constitue un guide pour le choix de la méthode à retenir dans chacun des cas considérés.

For cables in air the conductor temperature follows changes in load current sufficiently rapidly so that the usual daily cycles do not permit peak loads greater than the steady state value.

Numerical values are provided for the evaluation of cyclic rating factors for cables buried at 1 m depth in soil having a diffusivity of $0.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, but methods for dealing with other conditions are included. It is assumed that soil properties are constant in both time and space.

2. Symbols

Symbol	Definition	Unit
B	= quality used in Clause 3 and Appendix A	
D_e	= external diameter of a cable or a duct	m
F	= coefficient used to express the steady state mutual heating caused by other cables in a group	
I	= value of load current observed at hourly intervals during a 24 h cycle	A
$I_{\max}$	= highest of the hourly values of load current	A
L	= depth of laying measured to cable axis	m
M	= rating factor due to a cyclic variation of load current	
T_4	= external thermal resistance of a single cable or duct either in isolation or as one of a group	K.m/W
ΔT_4	= increase in external thermal resistance of the cable under consideration due to the presence of other cables in the group	K.m/W
W	= total joule (current dependent) losses per cable determined using conductor resistance at maximum operating temperature	W/m
$Y_0, Y_1, Y_2, \dots, Y_i$	= coefficient proportional to the current-dependent losses in a cable between (i) and $(i+1)$ hours prior to the instant of highest conductor temperature	
i	= time prior to expected time of maximum temperature	h
k	= ratio of cable (or duct) external surface temperature rise above ambient to conductor temperature rise above ambient under steady-state conditions	
k_1	= value of k for a cable in a group	
p	= fraction of daily load cycle during which the load is not at its maximum value	
t	= time prior to expected time of maximum temperature	s
$\theta(\infty)$	= conductor steady state temperature rise above ambient (but see Sub-clause 3.1.1 when dielectric loss is not negligible)	K
$\theta_R(i)$	= conductor temperature rise above ambient at time i hours due to the application of a step function of load current equal to the sustained (100% load factor) rated current. $\theta_R(\infty)$ is the steady state conductor temperature rise due to the sustained rated current (see also remarks to $\theta(\infty)$ when dielectric loss is not negligible)	K
$\Phi_0, \Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_i$	= function defined in Appendix A. Numerical values given in Table II	
$\alpha(i)$	= cable conductor temperature attainment factor at time (i) hours, $\alpha(\infty) = 1$	
$\beta(i)$	= cable (or duct) outer surface temperature attainment factor at time (i) hours, $\beta(\infty) = 1$	
$\gamma(i)$	= function used in calculating cyclic rating factors for one of a group of cables	
δ	= soil thermal diffusivity	m^2/s
μ	= loss load factor for load current cycle under consideration	
ρ_T	= soil thermal resistivity	K.m/W

3. Calculation of cyclic rating factor

The method varies depending on the shape and the amount of detail known for the load cycle. The basic method is given for reference in Appendix A, and the formulae given here are simplifications which can be made according to the case being dealt with. Table I provides a guide to the method to be selected for each case.

TABLEAU I
Guide pour le choix des méthodes

Description du circuit	Description du cycle de charge	Paragraphes
Un seul câble ou Un seul circuit comportant trois câbles unipolaires. Posés directement dans le sol ou en fourreaux. Câbles ou fourreaux jointifs	Type quelconque de variation de charge	3.1.1
	Courant maintenu à sa valeur maximale pendant au moins 6 h, fraction constante pour le reste du cycle	3.1.2
	Courant maintenu à sa valeur maximale pendant au moins 6 h, type quelconque de variation pour le reste du cycle	3.1.3
	Cycle de charge inconnu à l'exception du facteur de charge des pertes μ	3.1.4
Groupe de câbles avec pertes égales Posés directement dans le sol ou en fourreaux. Câbles ou fourreaux non jointifs	Type quelconque de variation de charge	3.2.1
	Courant maintenu à sa valeur maximale pendant au moins 6 h, type quelconque de variation pour le reste du cycle	3.2.2
Groupe de circuits, chacun d'eux étant formé par trois câbles, tous les câbles ayant des pertes égales. Posés directement dans le sol ou en fourreaux. Câbles ou fourreaux jointifs dans chaque circuit, circuits espacés	Type quelconque de variation de charge	3.3
	Courant maintenu à sa valeur maximale pendant au moins 6 h, type quelconque de variation pour le reste du cycle	3.3

Le facteur de capacité de transport cyclique est dénoté par la lettre M et représente le facteur par lequel on peut multiplier le courant cyclique journalier ayant une valeur maximale égale au courant nominal admissible en régime permanent (facteur de charge 100%) pour que l'âme atteigne, sans la dépasser, la température maximale admissible normalisée.

3.1 Un seul circuit formé de:

- Un câble multiconducteur posé directement dans le sol ou dans un fourreau.
- Trois câbles jointifs disposés en trèfle ou en nappe.
- Trois câbles posés dans des fourreaux jointifs disposés en trèfle ou en nappe.

3.1.1 Cycle de charge quelconque de forme connue

Le cycle de charge journalier est tout d'abord exprimé en 24 valeurs horaires en graduant son échelle de manière que sa valeur maximale soit égale à l'unité (voir figures 1a et 1b, page 34). L'amplitude de chaque valeur horaire est ensuite élevée au carré pour donner 24 valeurs représentant le cycle des pertes par effet Joule du câble (voir figure 1c, page 34). Cette courbe est alors exprimée en une série de variations en échelons conduisant à une courbe discontinue en créneaux ayant approximativement la valeur moyenne de la courbe originale (voir figure 1d, page 34). On désigne par $Y_0, Y_1, Y_2, \dots, Y_5$ les ordonnées de la courbe en créneaux pour les six périodes horaires précédant l'instant où la température atteint sa valeur maximale. On notera que la méthode particulière adoptée pour le tracé des courbes de charge et des pertes de la figure 1 suppose que les valeurs mesurées données dans l'exemple du paragraphe 7.1 s'appliquent à des durées s'étendant une demi-heure avant et après chaque période

TABLE I
Guide to selection of methods

Description of circuit	Description of load cycle	Sub-clause
Isolated cable or Isolated circuit of three single-core cables Direct buried or in ducts. Cables or ducts touching each other	Any type of load variation	3.1.1
	Sustained maximum for at least 6 h, constant fraction for remainder	3.1.2
	Sustained maximum for at least 6 h, any type of variation for remainder	3.1.3
	Nothing known about load cycle except the loss load factor μ	3.1.4
Group of cables with equal losses Direct buried or in ducts. Cables or ducts not touching	Any type of load variation	3.2.1
	Sustained maximum for at least 6 h, any type of variation for remainder	3.2.2
Group of circuits, each circuit having three cables, all cables having equal losses. Direct buried or in ducts. Cables or ducts in each circuit touching, circuits are spaced	Any type of load variation	3.3
	Sustained maximum for at least 6 h, any type of variation for remainder	3.3

The cyclic rating factor is denoted by the letter M , and is that factor by which a daily cyclic current, whose maximum value is equal to the sustained (100% load factor) rated current permissible under steady-state conditions, may be multiplied for the conductor to attain, but not exceed, the standard maximum permissible temperature.

3.1 Single isolated circuit of:

- One multicore cable, direct buried or in a duct.
- Three cables direct buried, in trefoil touching or flat touching formation.
- Three cables in ducts, in trefoil touching or flat touching formation.

3.1.1 Any load cycle of known shape

The daily load cycle is first expressed as 24 hourly values by scaling the whole cycle so that its maximum value is equal to unity (see Figures 1a and 1b, page 34). The magnitude of each hourly value is then squared to give 24 values representing the cycle of cable joule losses (see Figure 1c, page 34). This curve is then expressed as a series of step function changes so as to give a stepped curve having approximately the same average value as the original one (see Figure 1d, page 34). Denote the ordinates of the stepped curve for the six hourly periods before the occurrence of the highest temperature by $Y_0, Y_1, Y_2 \dots Y_5$. It should be noted that the particular way in which the load and loss-load curves of Figure 1 have been drawn assumes that the measured values as given in the example of Sub-clause 7.1 apply to periods of time which extend half an hour before and after each observation time. Location of the time of the highest temperature is done by inspection, bearing in mind that although it

d'observation. La détermination de l'instant où la température atteint sa valeur maximale est faite par examen en se rappelant que ce maximum apparaît généralement à la fin de la période où le courant est le plus élevé, mais que cela n'est pas toujours le cas. La température dépend également du niveau général de courant précédant cette période. Ainsi, dans l'exemple donné au paragraphe 7.1 et à la figure 1, la température la plus élevée se produit à 17,5 h, bien que le courant soit passé par sa valeur maximale à 8 h.

Le facteur de charge des pertes (μ) est donné par:

$$\mu = \frac{1}{24} \sum_{i=0}^{23} Y_i \quad (1)$$

Le facteur de capacité de transport cyclique (M) est donné par:

$$M = \frac{1}{((1-k)Y_0 + k\{B + \mu[1 - \beta(6)]\})^{1/2}} \quad (2)$$

où:

$$B = Y_0\Phi_0 + Y_1\Phi_1 + Y_2\Phi_2 + Y_3\Phi_3 + Y_4\Phi_4 + Y_5\Phi_5 \quad (3)$$

Les valeurs de Φ_0 à Φ_5 et de $[1 - \beta(6)]$ pour un câble enterré à 1 m de profondeur et une diffusivité thermique du sol de $0,5 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ sont données dans le tableau IV. Ces valeurs peuvent être utilisées pour des profondeurs de câble ou de fourreau dans la gamme de 0,75 m à 1,5 m avec une erreur sur le facteur M généralement inférieure à 1,5%. Les méthodes à utiliser pour toutes autres valeurs de la profondeur et de la diffusivité thermique du sol sont données dans l'article 4.

$$k = \frac{WT_4}{\theta(\infty)} \quad (4)$$

où:

W sont les pertes totales par effet Joule par câble à la température maximale de fonctionnement, W/m

T_4 est la résistance thermique extérieure d'un seul câble ou d'un fourreau, K.m/W

$\theta(\infty)$ est l'élévation de la température de l'âme au-dessus de l'ambiante en régime permanent, K

Si les pertes diélectriques ne sont pas négligeables, $\theta(\infty)$ est alors défini comme l'élévation de la température de l'âme en régime permanent, due uniquement aux pertes par effet Joule, c'est-à-dire aux pertes W par unité de longueur de câble, calculées comme indiqué dans la Publication 287 de la CEI.

La résistance thermique extérieure (T_4) est donnée par:

i) Pour un seul câble ou un seul fourreau

$$T_4 = \frac{\rho_T}{2\pi} \ln \left(\frac{4L}{D_e} \right) \quad (5)$$

où:

ρ_T est la résistivité thermique du sol, K.m/W

L est la profondeur de pose, mètres

D_e est le diamètre extérieur du câble ou du fourreau, mètres

ii) Pour des circuits isolés comportant trois câbles ou fourreaux jointifs, disposés en trèfle ou en nappe.

Les formules donnant T_4 seront prises dans la Publication 287 de la CEI.

La valeur du diamètre du câble ou du fourreau à utiliser pour obtenir les valeurs Φ_0 à Φ_5 et $[1 - \beta(6)]$ est celle d'un câble seul. On suppose ainsi qu'un groupe de câbles jointifs se comporte thermiquement comme une unité.