

NORME
INTERNATIONALE

CEI
60287-1-1

Edition 1.2
2001-11

Edition 1:1994 consolidée par les amendements 1:1995 et 2:2001

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

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

*Cette version **française** découle de la publication d'origine **bilingue** dont les pages anglaises ont été supprimées.
Les numéros de page manquants sont ceux des pages supprimées.*



Numéro de référence
CEI 60287-1-1:1994+A1:1995+A2:2001(F)

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions 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

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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 cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI (www.iec.ch)**

- **Catalogue des publications de la CEI**

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/searchpub) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- **IEC Just Published**

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/online_news/justpub) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- **Service clients**

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

NORME INTERNATIONALE

CEI 60287-1-1

Edition 1.2
2001-11

Edition 1:1994 consolidée par les amendements 1:1995 et 2:2001

Câbles électriques – Calcul du courant admissible –

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

© IEC 2001 Droits de reproduction réservés

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.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembe, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	6
INTRODUCTION.....	10
1 Généralités.....	12
1.1 Domaine d'application	12
1.2 Références normatives.....	12
1.3 Symboles	14
1.4 Evaluation de l'intensité admissible du courant dans les câbles.....	20
1.4.1 Câbles enterrés dans le cas où il n'y a pas d'assèchement du sol ou câbles posés à l'air libre	20
1.4.2 Câbles enterrés dans le cas où se produit un assèchement partiel du sol	22
1.4.3 Câbles enterrés dans le cas où un assèchement du sol est à éviter.....	24
1.4.4 Câbles directement exposés au rayonnement solaire	26
2 Calcul des pertes.....	26
2.1 Résistance de l'âme en courant alternatif.....	26
2.1.1 Résistance de l'âme en courant continu.....	28
2.1.2 Facteur d'effet de peau γ_s	28
2.1.3 Facteur d'effet de proximité γ_p dans le cas de câbles bipolaires ou de deux câbles unipolaires	28
2.1.4 Facteur d'effet de proximité γ_p dans le cas de câbles tripolaires ou de trois câbles unipolaires	30
2.1.5 Effets de peau et de proximité dans le cas des câbles en tuyau d'acier	30
2.2 Pertes diélectriques (applicable uniquement aux câbles à courant alternatif).....	32
2.3 Facteur de pertes dans les gaines ou les écrans (applicable uniquement aux câbles à courant alternatif à fréquence industrielle).....	32
2.3.1 Deux câbles unipolaires et trois câbles unipolaires (disposés en trèfle), avec gaines court-circuitées aux deux extrémités d'une section électrique	34
2.3.2 Trois câbles unipolaires disposés en nappe, régulièrement transposés, avec gaines court-circuitées aux deux extrémités d'une section électrique	36
2.3.3 Trois câbles unipolaires disposés en nappe, non transposés, avec gaines court-circuitées aux deux extrémités d'une section électrique.....	36
2.3.4 Variation de l'écartement des câbles unipolaires entre les points où les gaines sont court-circuitées.....	38
2.3.5 Influence des grosses âmes segmentées.....	40
2.3.6 Câbles unipolaires avec gaines court-circuitées en un seul point ou permutées	40
2.3.7 Câbles bipolaires non armés sous gaine commune.....	44
2.3.8 Câbles tripolaires non armés sous gaine commune	46
2.3.9 Câbles bipolaires et tripolaires armés de feuillards d'acier.....	46
2.3.10 Câbles triplombs armés	48
2.3.11 Pertes dans les écrans et les gaines de câbles en tuyau d'acier.....	48

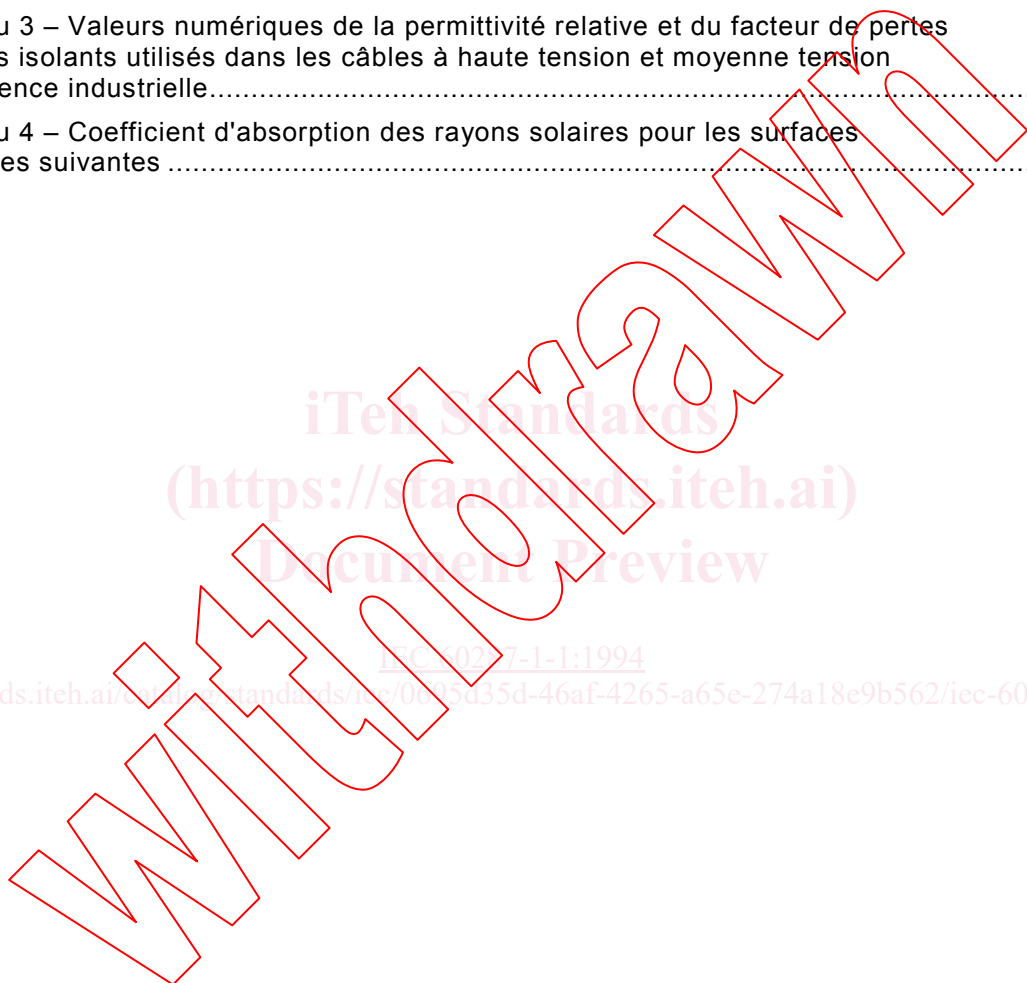
2.4	Facteur de pertes dans les armures, les frettages et les tuyaux d'acier (applicable uniquement aux câbles à courant alternatif à fréquence industrielle).....	48
2.4.1	Armure ou frettage non magnétique.....	50
2.4.2	Armure ou frettage magnétique	50
2.4.3	Pertes dans les tuyaux d'acier	58

Tableau 1	– Résistivités électriques et coefficients de variation de la résistivité avec la température des métaux utilisés	60
-----------	---	----

Tableau 2	– Effets de peau et de proximité – Valeurs expérimentales pour les coefficients k_s et k_p	62
-----------	--	----

Tableau 3	– Valeurs numériques de la permittivité relative et du facteur de pertes pour les isolants utilisés dans les câbles à haute tension et moyenne tension à fréquence industrielle.....	64
-----------	--	----

Tableau 4	– Coefficient d'absorption des rayons solaires pour les surfaces de câbles suivantes	66
-----------	--	----



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

<https://standards.iteh.ai/standards/iec/06845d35d-46af-4265-a65e-274a18e9b562/iec-60287-1-1-1994>

<https://standards.iteh.ai/standards/iec/06845d35d-46af-4265-a65e-274a18e9b562/iec-60287-1-1-1994>

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CÂBLES ÉLECTRIQUES –

CALCUL DU COURANT ADMISSIBLE –

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

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 concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels 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.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60287-1-1 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 60287-1-1 annule et remplace les sections un et deux de la deuxième édition de la CEI 60287 parue en 1982 et la partie appropriée de l'amendement 3, sans changement technique.

La CEI 60287-2-1 remplace la section trois et les annexes C et D de la deuxième édition de la CEI 60287; la CEI 60287-3-1 remplace les annexes A et B de la deuxième édition de la CEI 60287.

La présente version consolidée de la CEI 60287-1-1 est issue de la première édition (1994) [documents 20A(BC)75 et 20A(BC)81], de son amendement 1 (1995) [documents 20A/262/FDIS et 20A/280/RVD] et de son amendement 2 (2001) [documents 20A/477/FDIS et 20A/483/RVD].

Elle porte le numéro d'édition 1.2.

Une ligne verticale dans la marge indique où la publication de base a été modifiée par les amendements 1 et 2.

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de ses amendements ne sera pas modifié avant 2006. A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

Withdrawing

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

<https://standards.iteh.ai/standards/iec/0695d35d-46af-4265-a65e-274a18e9b562/iec-60287-1-1-1994>

<https://standards.iteh.ai/standards/iec/0695d35d-46af-4265-a65e-274a18e9b562/iec-60287-1-1-1994>

INTRODUCTION

La CEI 60287 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

La partie 1 – Section 1: Généralités, contient des formules relatives aux quantités R , W_d , λ_1 et λ_2 .

La présente section contient des méthodes pour le calcul du courant admissible à partir des détails de l'accroissement admissible de la température de la résistance des conducteurs, des pertes et de la résistivité thermique.

Des formules pour le calcul des pertes se trouvent aussi dans cette section.

Les formules de cette norme contiennent des paramètres variant avec la spécification du câble et les matériaux utilisés. Les valeurs données dans les tableaux sont soit approuvées internationalement, comme les résistivités électriques et la constante diélectrique des matériaux, ou bien généralement acceptées dans la pratique, comme les résistivités thermiques et les permittivités des matériaux. Certaines des valeurs de la dernière catégorie ne sont pas caractéristiques de la qualité des câbles neufs mais de celle des câbles ayant déjà subi une longue période d'utilisation. Dans le but d'obtenir des résultats comparables et reproductibles, les régimes permanents doivent être calculés avec les valeurs indiquées dans la présente norme. Toutefois, lorsqu'on sait avec certitude que d'autres valeurs sont plus appropriées aux matériaux et à leur mise en œuvre, ces dernières peuvent alors être utilisées en déclarant le régime permanent correspondant, pourvu que les différentes valeurs soient indiquées.

Les données relatives aux conditions de service sont susceptibles de varier considérablement d'un pays à l'autre. Par exemple, pour ce qui est de la température ambiante et de la résistance thermique du sol, les valeurs sont régies dans les différents pays par diverses considérations. Une comparaison hâtive entre les valeurs utilisées dans les différents pays peut amener des conclusions erronées, si elle n'est pas faite sur des bases communes; par exemple, on peut compter sur des espérances de vie du câble différentes; de même, dans certains pays, la spécification est établie sur la valeur maximale de la résistance thermique du sol, tandis que dans d'autres c'est la valeur moyenne qui est utilisée. En particulier, dans le cas de la résistivité thermique du sol, il est bien connu que celle-ci est très sensible au taux d'humidité et peut varier sensiblement dans le temps suivant le type de sol, les conditions topographiques et météorologiques et la charge du câble.

Le choix des valeurs des différents paramètres sera dès lors effectué de la façon suivante.

Les valeurs numériques devront, de préférence, être basées sur des résultats de mesures valables. De tels résultats sont déjà souvent inclus dans les spécifications nationales sous forme de valeurs recommandées, de telle sorte que le calcul peut être exécuté sur la base de ces valeurs, généralement utilisées dans le pays en question; un examen de ces valeurs est fait dans la partie 3, section 1.

On trouvera un choix d'informations nécessaires pour sélectionner le type de câble approprié dans la partie 3, section 1.

CÂBLES ÉLECTRIQUES –

CALCUL DU COURANT ADMISSIBLE –

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

1 Généralités

1.1 Domaine d'application

La présente section de la CEI 60287 concerne uniquement le fonctionnement en régime permanent des câbles de toutes tensions alternatives et de tensions continues jusqu'à 5 kV, enterrés directement dans le sol, placés dans des fourreaux, caniveaux ou tubes d'acier, avec ou sans assèchement partiel du sol, ainsi que les câbles posés à l'air libre. On entend par «régime permanent» la circulation continue d'un courant constant (facteur de charge 100 %) juste suffisant pour atteindre asymptotiquement la température maximale de l'âme en supposant que les conditions du milieu ambiant restent inchangées.

Cette section fournit des formules pour l'intensité du courant et les pertes.

Les formules proposées sont essentiellement littérales et laissent en principe libre le choix de certains paramètres importants. Ceux-ci peuvent être divisés en trois groupes:

- les paramètres liés à la constitution du câble (par exemple résistance thermique de l'isolant) pour lesquels des valeurs représentatives ont été recueillies, à partir des travaux publiés;
- les paramètres liés aux conditions du milieu, qui peuvent varier considérablement; le choix de ceux-ci dépend du pays où les câbles sont ou doivent être utilisés;
- les paramètres résultant d'un accord entre fabricant et utilisateur et qui supposent une marge de sécurité en service (par exemple température maximale du conducteur).

1.2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60027, *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*

CEI 60028:1925, *Spécification internationale d'un cuivre-type recuit*

CEI 60141, *Essais de câbles à huile fluide, à pression de gaz et de leurs dispositifs accessoires*

CEI 60183:1984, *Guide pour le choix des câbles à haute tension*

CEI 60228:1978, *Ames des câbles isolés*
Amendement 1 (1993)

CEI 60228A:1982, *Premier complément – Guide pour les limites dimensionnelles des âmes circulaires*

CEI 60502:1983, *Câbles de transport d'énergie isolés par diélectriques massifs extrudés pour des tensions assignées de 1 kV à 30 kV*

CEI 60889:1987, *Fils d'aluminium écroui dur pour conducteurs de lignes aériennes*

1.3 Symboles

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

A	section droite de l'armure	mm^2
B_1 B_2	} coefficients (voir 2.4.2)	
C	capacité par phase	F/m
D_e^*	diamètre extérieur du câble	m
D_i	diamètre sur isolant	mm
D_s	diamètre extérieur de la gaine métallique	mm
D_{oc}	diamètre du cylindre imaginaire coaxial à la gaine ondulée et tangent à la surface extérieure des crêtes	mm
D_{it}	diamètre du cylindre imaginaire coaxial à la gaine ondulée et tangent à la surface intérieure des creux	mm
F	coefficient défini en 2.3.5	
H	intensité des radiations solaires	W/m^2
H	force magnétisante (voir 2.4.2)	ampère-tours/m
H_s	inductance de la gaine	H/m
H_1 H_2 H_3	} composants de l'inductance due aux fils d'acier (voir 2.4.2)	H/m
I	intensité du courant dans une âme (valeur efficace)	A
M N	} coefficients définis en 2.3.5	
P Q	} coefficients définis en 2.3.3	Ω/m
R	résistance électrique de l'âme en courant alternatif à sa température maximale de service	Ω/m
R_A	résistance de l'armure en courant alternatif	Ω/m
R_e	résistance équivalente en courant alternatif de la gaine et de l'armure en parallèle	Ω/m
R_s	résistance de la gaine en courant alternatif	Ω/m
R'	résistance électrique de l'âme en courant continu à la température maximale de service	Ω/m
R_0	résistance électrique de l'âme en courant continu à 20 °C	Ω/m
T_1	résistance thermique par phase entre âme et gaine métallique ou écran	K.m/W
T_2	résistance thermique entre gaine métallique ou écran et armure	K.m/W
T_3	résistance thermique du revêtement	K.m/W
T_4	résistance thermique du milieu extérieur (rapport de l'échauffement de la surface du câble au-dessus de l'ambiante aux pertes totales par unité de longueur)	K.m/W
T_4^*	résistance thermique du milieu extérieur à l'air libre tenant compte du rayonnement solaire	K.m/W
U_0	tension entre âme et écran ou gaine	V

W_A	pertes dissipées dans l'armure par unité de longueur	W/m
W_C	pertes dissipées dans l'âme par unité de longueur	W/m
W_d	pertes diélectriques par unité de longueur et par phase	W/m
W_s	pertes dissipées dans la gaine par unité de longueur	W/m
$W_{(s+A)}$	pertes totales dissipées dans la gaine et l'armure par unité de longueur	W/m
X	réactance de la gaine quand les câbles sont bipolaires ou tripolaires (en trèfle)	Ω/m
X_1	réactance de la gaine quand les câbles sont disposés en nappe	Ω/m
X_m	réactance mutuelle entre la gaine d'un câble et les âmes des deux autres lorsque les câbles sont posés en nappe	Ω/m
a	plus petite longueur d'une section électrique à permutation d'écran ayant des longueurs différentes	
c	distance entre les axes des âmes et l'axe du câble quand les câbles sont tripolaires (= $0,55 r_1 + 0,29 t$ pour les âmes sectoriales)	mm
d	diamètre moyen de la gaine ou de l'écran	mm
d'	diamètre moyen de la gaine et du freinage	mm
d_2	diamètre moyen du freinage	mm
d_A	diamètre moyen de l'armure	mm
d_c	diamètre extérieur de l'âme	mm
d'_c	diamètre extérieur de l'âme massive ronde, ayant le même canal central qu'une âme creuse	mm
d_d	diamètre intérieur du tuyau	mm
d_f	diamètre d'un fil d'acier	mm
d_i	diamètre intérieur d'une âme creuse	mm
d_M	plus grand diamètre d'écran ou de gaine d'une âme ovale	mm
d_m	plus petit diamètre d'écran ou de gaine d'une âme ovale	mm
d_x	diamètre d'une âme circulaire équivalente ayant la même section et le même degré de rétreint que l'âme sectoriale	mm
f	fréquence du réseau	Hz
g_s	coefficient utilisé en 2.3.6.1	
k	facteur utilisé pour le calcul des pertes par hystérésis dans les armures ou freinages (voir 2.4.2.4)	
k_p	facteur utilisé dans le calcul de x_p (effet de proximité)	
k_s	facteur utilisé dans le calcul de x_s (effet de peau)	
l	longueur d'une section de câble (symbole général, voir article 2.3 et 2.3.4)	m
\ln	logarithme naturel (logarithme en base e)	
m	$\frac{\omega}{R_s} 10^{-7}$	
n	nombre d'âmes dans un câble	
n_1	nombre de fils d'acier dans un câble (voir 2.4.2)	
p	pas d'assemblage d'un fil d'acier sur un câble (voir 2.4.2)	
p q	coefficients utilisés en 2.3.6.2	
r_1		rayon du cercle circonscrit aux deux ou trois âmes sectoriales dans un câble bipolaire ou tripolaire

s	distance entre axes et âmes	mm
s_1	distance entre axes de deux câbles adjacents dans une nappe horizontale de trois câbles non jointifs	mm
s_2	séparation axiale des câbles (voir 2.4.2)	mm
t	épaisseur d'isolant entre âmes	mm
t_3	épaisseur du revêtement externe	mm
t_s	épaisseur de la gaine	mm
ν	rapport des résistivités thermiques des zones de sol sec et humide ($\nu = \rho_d/\rho_w$)	
x_p	argument de la fonction de Bessel, utilisé dans le calcul de l'effet de proximité	
x_s	argument de la fonction de Bessel, utilisé dans le calcul de l'effet de peau	
y_p	facteur d'effet de proximité } (voir 2.1)	
y_s		facteur d'effet de peau
α_{20}	coefficient de variation de la résistance électrique avec la température à 20 °C, par kelvin	1/K
β	angle formé par l'axe d'un fil d'armure et l'axe du câble (voir 2.4.2)	
β_1	coefficient utilisé en 2.3.6.1	
γ	déphasage (voir 2.4.2)	
Δ_1	} coefficients utilisés en 2.3.6.1	
Δ_2		
δ	épaisseur équivalente de l'armure ou du frettage	mm
$\tan \delta$	facteur de pertes de l'isolant	
ϵ	permittivité relative de l'isolant	
θ	température maximale de service de l'âme	°C
θ_a	température ambiante	°C
θ_x	température critique du sol et température de la frontière entre zone sèche ou zone humide	°C
$\Delta\theta$	échauffement admissible à l'âme par rapport à la température ambiante	K
$\Delta\theta_x$	échauffement critique du sol et échauffement de la frontière entre les zones sèche et humide au-dessus de la température ambiante du sol	K
λ_0	coefficient utilisé en 2.3.6.1	
λ_1, λ_2	rapport utilisé des pertes totales dans les gaines métalliques et armures respectivement aux pertes totales des âmes (ou pertes dans une gaine ou armure aux pertes dans une âme)	
λ'_1	rapport des pertes dans une gaine produites par les courants de circulation dans la gaine aux pertes dans une âme	
λ''_1	rapport des pertes dans une gaine produites par les courants de Foucault aux pertes dans une âme	
λ'_{1m}	facteur de perte du câble médian	} Trois câbles posés en nappe non transposés avec gaines court-circuitées aux deux extrémités
λ'_{11}	facteur de perte du câble extérieur ayant les pertes les plus importantes	
λ'_{12}	facteur de perte du câble extérieur ayant les pertes les plus faibles	