
6. Détermination des sections de conducteurs

6. DETERMINATION DES SECTIONS DE CONDUCTEURS

En raison de leurs spécificités respectives, les conducteurs BT et MT sont traités dans des paragraphes différents.

6.1. Détermination des sections de conducteurs et choix des dispositifs de protection en basse tension

■ définition des termes relatifs aux canalisations basse tension

Câble (isolé)

Ensemble constitué par :

- un ou plusieurs conducteurs isolés
- leur revêtement individuel éventuel
- la protection d'assemblage éventuelle
- le ou les revêtements de protection éventuels

Il peut comporter en plus un ou plusieurs conducteurs non isolés.

Câble multiconducteur / Câble multipolaire

Câble comprenant plus d'une âme, dont éventuellement certaines non isolées.

A noter : le terme câble multipolaire est plus particulièrement utilisé pour désigner le câble constituant les phases d'un système triphasé (câble tripolaire).

Câble unipolaire / Câble à un conducteur

Câble comprenant un seul conducteur isolé.

A noter : le terme câble unipolaire est plus particulièrement utilisé pour désigner le câble constituant l'une des phases d'un système triphasé.

Canalisation

Ensemble constitué par un ou plusieurs conducteurs électriques et les éléments assurant leur fixation et, le cas échéant, leur protection mécanique.

Caniveau

Enceinte située au-dessus ou dans le sol, ventilée ou fermée, ayant des dimensions ne permettant pas aux personnes d'y circuler, mais dans laquelle les canalisations sont accessibles sur toute leur longueur pendant et après installation.

A noter : un caniveau peut ou non faire partie de la construction du bâtiment.

Chemin de câbles (ou tablette)

Support constitué d'une base continue, munie de rebords et ne comportant pas de couvercle.

A noter : un chemin de câbles (ou tablette) peut être perforé ou non perforé.

Circuit (électrique, d'installation)

Ensemble des matériels électriques de l'installation alimentés à partir de la même origine et protégés contre les surintensités par le ou les mêmes dispositifs de protection.

Conducteur (isolé)

Ensemble comprenant l'âme, son enveloppe isolante et ses écrans éventuels.

Conduit (circulaire)

Enveloppe fermée, de section droite circulaire, destinée à la mise en place ou au remplacement de conducteurs isolés ou de câbles par tirage, dans les installations électriques.

Conduits - profilés

Ensemble d'enveloppes fermées, de section non circulaire, destinées à la mise en place ou au remplacement de conducteurs isolés ou de câbles par tirage, dans les installations électriques.

Corbeaux

Supports horizontaux de câbles fixés à l'une de leurs extrémités, disposés de place en place et sur lesquels ceux-ci reposent.

Courant d'emploi d'un circuit

Courant destiné à être transporté dans un circuit en service normal

Courant (permanent) admissible d'un conducteur

Valeur maximale du courant qui peut parcourir en permanence, dans des conditions données, un conducteur, sans que sa température de régime permanent soit supérieure à la valeur spécifiée.

Echelle à câbles

Support de câbles constitué d'une série d'éléments non jointifs rigidement fixés à des montants principaux.

Fourreau (ou buse)

Élément entourant une canalisation et lui conférant une protection complémentaire dans des traversées de paroi (mur, cloison, plancher, plafond) ou dans des parcours enterrés.

Gaine

Enceinte située au-dessus du niveau du sol, dont les dimensions ne permettent pas d'y circuler et telle que les câbles soient accessibles sur toute leur longueur. Une gaine peut être incorporée ou non à la construction.

Goulotte

Ensemble d'enveloppes fermées par un couvercle et assurant une protection mécanique des conducteurs isolés ou des câbles, ceux-ci étant mis en place ou retirés autrement que par tirage et permettant d'y adapter d'autres matériels électriques.

Vide de construction

Espace existant dans la structure ou les éléments d'un bâtiment et accessible seulement à certains emplacements.

A noter : - des espaces dans des parois, des planchers supportés, des plafonds et certains types d' huisseries de fenêtres ou de portes et des chambranles sont des exemples de vides de construction.

- des vides de construction spécialement construits sont également dénommés "alvéoles".

6.1.1. Principe de la méthode

En conformité avec les recommandations de la norme NF C 15-100, le choix de la section des canalisations et du dispositif de protection doit satisfaire plusieurs conditions nécessaires à la sécurité de l'installation.

La canalisation doit :

- véhiculer le courant maximal d'emploi et ses pointes transitoires normales
- ne pas générer des chutes de tension supérieures aux valeurs admissibles.

Le dispositif de protection doit :

- protéger la canalisation contre toutes les surintensités jusqu'au courant de court-circuit
- assurer la protection des personnes contre les contacts indirects.

Le logigramme de la figure 6-1 résume le principe de la méthode qui peut être décrite par les étapes suivantes :

1ère étape :

- connaissant la puissance d'utilisation, on détermine le courant maximal d'emploi I_B et on en déduit le courant assigné I_n du dispositif de protection
- on calcule le courant de court-circuit maximal I_{cc} à l'origine du circuit et on en déduit le pouvoir de coupure PdC du dispositif de protection.

2ème étape :

- selon les conditions d'installation (mode de pose, température ambiante, ...), on détermine le facteur global de correction f
- en fonction de I_n et f , on choisit la section adéquate du conducteur.

3ème étape :

- vérification de la chute de tension maximale
- vérification de la tenue des conducteurs à la contrainte thermique en cas de court-circuit
- pour les schémas TN et IT, vérification de la longueur maximale relative à la protection des personnes contre les contacts indirects.

La section du conducteur satisfaisant toutes ces conditions est alors retenue.

Nota : une section économique supérieure à la section déterminée ci-avant pourra éventuellement être retenue (voir § 6.3).

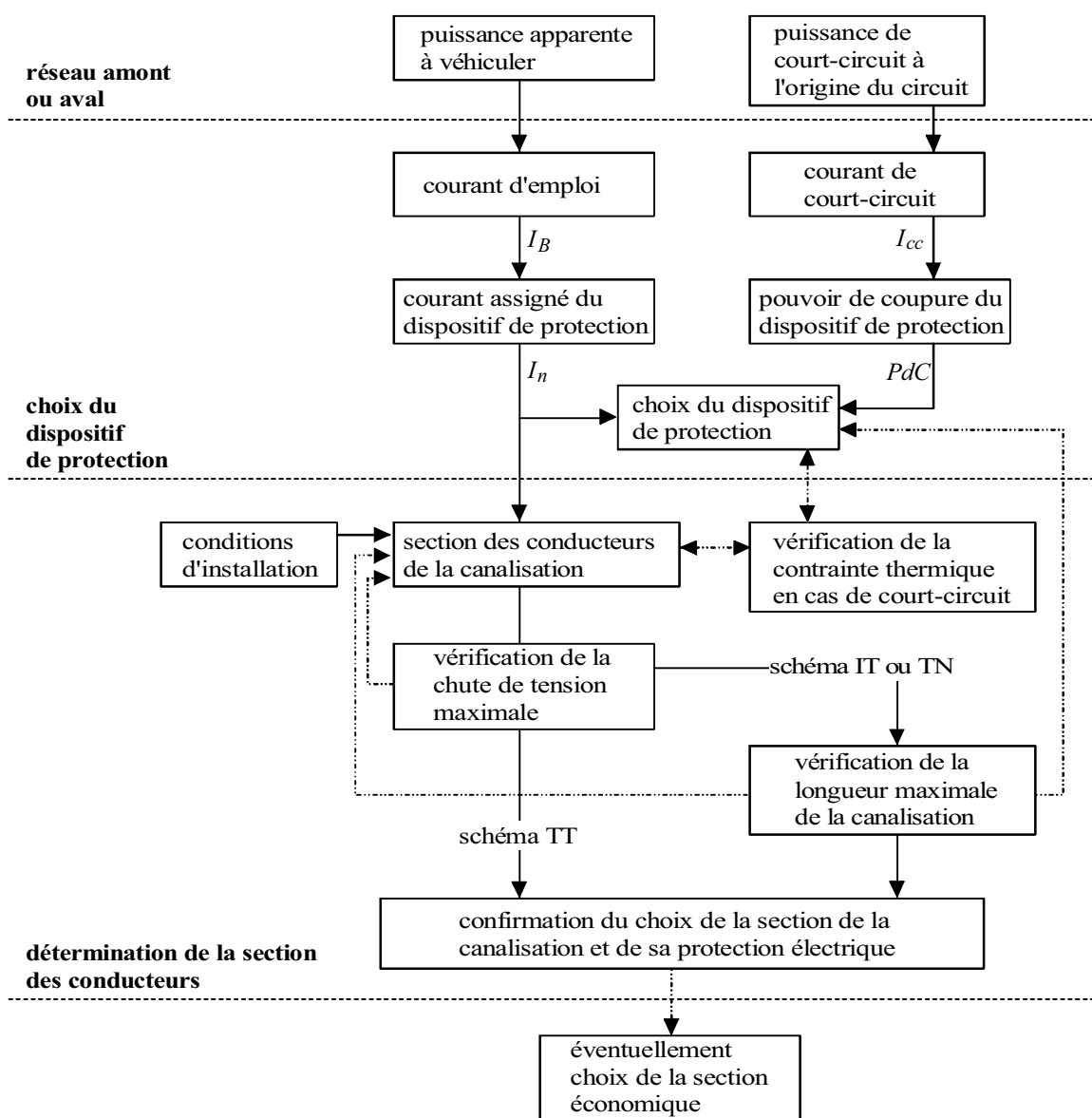


Figure 6-1 : logigramme du choix de la section des canalisations et du dispositif de protection

6.1.2. Détermination du courant maximal d'emploi

Le courant maximal d'emploi (I_B) est défini selon la nature de l'installation alimentée par la canalisation.

Dans le cas de l'alimentation individuelle d'un appareil, le courant I_B sera égal au courant assigné de l'appareil alimenté. Par contre, si la canalisation alimente plusieurs appareils, le courant I_B sera égal à la somme des courants absorbés, en tenant compte des facteurs d'utilisation et de simultanéité de l'installation.

Dans le cas de démarrages de moteurs ou de régimes cycliques de charges (poste de soudure par point, voir § 3.4.2), il faut tenir compte des appels de courant lorsque leurs effets thermiques se cumulent.

Certaines installations sont sujettes à des extensions dans le temps. Le courant correspondant à cette extension sera ajouté à l'existant.

En courant continu :
$$I = \frac{P}{U} \left(\frac{\text{puissance absorbée (en } W)}{\text{tension de service (en } V)} \right)$$

En courant alternatif : $I = \frac{S}{U}$ en monophasé et $I = \frac{S}{U\sqrt{3}}$ en triphasé.

S : puissance apparente absorbée (VA)

U : . tension entre les deux conducteurs pour une alimentation monophasée

. tension entre phases pour une alimentation triphasée

Lorsque des courants harmoniques de valeur importante circulent dans le conducteur, il faut en tenir compte. Pour le choix de la section, on prendra donc :

$$I_{eff} = \left(\sum_{p=1}^{\infty} I_p^2 \right)^{1/2} \quad (\text{voir § 8})$$

I_1 : valeur de courant à 50 Hz (ou 60 Hz)

I_p : valeur du courant harmonique de rang p

Par exemple, pour un variateur de vitesse $\frac{I_{eff}}{I_1} \cong 1,7$

Lorsqu'il existe des condensateurs de compensation en aval de la canalisation, on détermine le courant d'emploi de la façon suivante :

- en supposant que la compensation est en fonctionnement ; en cas de défaillance des condensateurs, la canalisation est mise hors service
- en supposant que la compensation est hors service ; en cas de défaillance des condensateurs, la section des conducteurs est suffisante, on améliore ainsi la disponibilité.

■ facteur tenant compte du facteur de puissance et du rendement : a

La puissance apparente d'un récepteur est :

$$S = \frac{P_u}{r \times F_p} \quad \text{en kVA}$$

P_u : puissance utile en kW

r : rendement

F_p : facteur de puissance

On définit le coefficient : $a = \frac{1}{r \times F_p}$

Lorsque le conducteur est parcouru par un courant dépourvu d'harmoniques, $F_p = \cos \varphi$.

■ facteur d'utilisation des appareils : b

Dans une installation industrielle, on suppose que les récepteurs ne seront jamais utilisés à pleine puissance. On introduit alors un facteur d'utilisation (b) qui varie généralement de 0,3 à 1.

A défaut de précision, on peut prendre :

- $b = 0,75$ pour les moteurs
- $b = 1$ pour l'éclairage et le chauffage

■ facteur de simultanéité : c

Dans une installation industrielle, les récepteurs (d'un atelier par exemple) alimentés par une même canalisation, ne fonctionnent pas simultanément dans tous les cas. Pour tenir compte de ce phénomène, qui reste lié aux conditions d'exploitation de l'installation, dans le dimensionnement des liaisons, on applique à la somme des puissances des récepteurs le facteur de simultanéité.

En l'absence d'indications précises résultant de l'expérience d'exploitation d'installations type, les valeurs des tableaux 6-1 et 6-2 peuvent être utilisées :

| Utilisation | Facteur de simultanéité c |
|------------------------------------|---------------------------------|
| Eclairage | 1 |
| Chauffage et conditionnement d'air | 1 |
| Prises de courant | 0,1 à 0,2 (pour un nombre > 20) |

Tableau 6-1 : facteur de simultanéité pour bâtiment administratif

| Nombre de circuits de courants nominaux voisins | Facteur de simultanéité |
|---|-------------------------|
| 2 et 3 | 0,9 |
| 4 et 5 | 0,8 |
| 5 à 9 | 0,7 |
| 10 et plus | 0,6 |

Tableau 6-2 : facteur de simultanéité pour armoires de distribution industrielle

■ facteur tenant compte des prévisions d'extension : d

La valeur du facteur d doit être estimée suivant les conditions prévisibles d'évolution de l'installation ; il est au moins égal à 1.

A défaut de précision, la valeur 1,2 est souvent utilisée.

■ **facteur de conversion des puissances en intensités : e**

Le facteur de conversion de la puissance en intensité est :

- $e = 8$ en monophasé 127 V
- $e = 2,5$ en triphasé 230 V
- $e = 4,35$ en monophasé 230 V
- $e = 1,4$ en triphasé 400 V

Le courant maximal d'emploi est alors :

$$I_B = P_u \times a \times b \times c \times d \times e$$

P_u : puissance utile en kW

I_B : courant maximal d'emploi en A

6.1.3. **Choix du dispositif de protection**

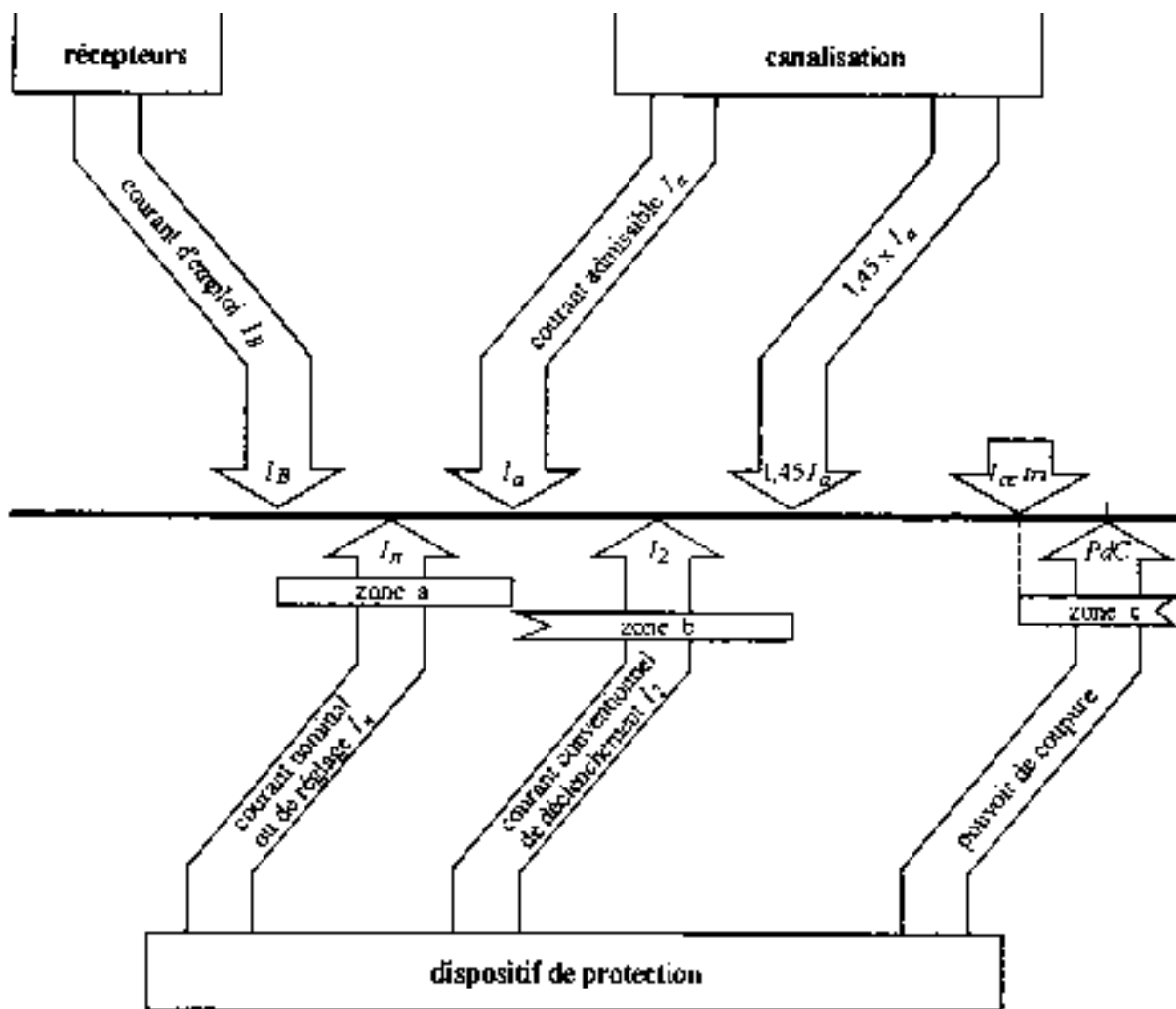


Figure 8.2 - Courants déterminant la protection (selon IEC 60909)

■ règle générale

En conformité avec la NF C 15-100, un dispositif de protection (disjoncteur ou fusible) assure correctement sa fonction si les conditions indiquées ci-après sont satisfaites.

□ courant nominal ou de réglage

Il doit être compris entre le courant d'emploi et le courant admissible I_a de la canalisation :

$$I_B \leq I_n \leq I_a, \text{ ce qui correspond à la zone } a \text{ de la figure 6.2.}$$

□ courant conventionnel de déclenchement

Il doit satisfaire la relation suivante :

$$I_2 \leq 1,45 I_a, \text{ ce qui correspond à la zone } b \text{ de la figure 6.2.}$$

• cas des disjoncteurs

- **Pour les disjoncteurs domestiques**, la norme NF C 61-410 spécifie :

$$I_2 = 1,45 I_n$$

- **Pour les disjoncteurs industriels**, la norme NF C 63-120 spécifie :

$$I_2 = 1,30 I_r$$

on a donc $I_2 \leq 1,45 I_n$ (ou I_r)

or $I_n \leq I_a$ (condition ci-avant)

La condition $I_2 \leq 1,45 I_a$ (zone b) est donc automatiquement respectée.

• cas des fusibles

Les normes NF C 61-201 et ses additifs et NFC 63-210 spécifient que I_2 est le courant qui assure la fusion du fusible dans le temps conventionnel (1 h ou 2 h) ; I_2 est appelé courant conventionnel de fusion (voir § 6.3.1 du *Guide des protections*).

$$I_2 = k_2 \times I_n \quad \text{avec } k_2 = 1,6 \text{ à } 1,9 \text{ selon les fusibles}$$

Un commentaire à la NF C 15-100 introduit le coefficient :

$$k_3 = \frac{k_2}{1,45}$$

Ainsi, la condition $I_2 \leq 1,45 I_a$ est respectée si :

$$I_n \leq \frac{I_a}{k_3}$$

Pour les fusibles *gl* :

| | | |
|--------------------------|---|--------------|
| - $I_n \leq 10 A$ | → | $k_3 = 1,31$ |
| - $10 A < I_n \leq 25 A$ | → | $k_3 = 1,21$ |
| - $I_n > 25 A$ | → | $k_3 = 1,10$ |

□ pouvoir de coupure

Il doit être supérieur à l'intensité de court-circuit maximale triphasée ($I_{cc \text{ tri}}$) en son point d'installation :

$$PdC \geq I_{cc \text{ tri}}, \text{ ce qui correspond à la zone } c \text{ de la figure 6.2.}$$

□ association de dispositifs de protection

L'utilisation d'un appareil de protection possédant un pouvoir de coupure inférieur au courant de court-circuit au point où il est installé est autorisée par la norme NF C 15-100 aux conditions suivantes :

- il existe en amont un autre dispositif ayant au moins le pouvoir de coupure nécessaire
- l'énergie que laisse passer le dispositif placé en amont est inférieure à celle que peut supporter sans dommage l'appareil aval et les canalisations protégées par ces dispositifs ; cette possibilité est mise en oeuvre :
 - . dans les associations disjoncteurs/fusibles
 - . dans la technique de filiation qui utilise le fort pouvoir de limitation de certains disjoncteurs (par exemple, le Compact).

Les associations possibles, résultant d'essais réels effectués en laboratoire, sont données dans les catalogues des constructeurs.

6.1.4. Courants admissibles dans les canalisations

C'est le courant maximal que la canalisation peut véhiculer en permanence sans préjudice pour sa durée de vie.

Pour déterminer ce courant, il faut procéder de la façon suivante :

- à l'aide des tableaux 6-3 à 6-5, définir le mode de pose, son numéro et sa lettre de sélection associés
- à partir des conditions d'installation et d'ambiance, déterminer les valeurs des facteurs de correction qui doivent être appliquées (voir tableaux 6-6 à 6-15)
- calculer le facteur de correction global f égal au produit des facteurs de correction
- à l'aide du tableau 6-16 pour les lettres de sélection B, C, E, F et du tableau 6-17 pour la lettre de sélection D , déterminer le courant maximal I_0 admissible par la canalisation dans les conditions standards (f_0 à $f_{10}=1$)
- calculer le courant maximal admissible par la canalisation en fonction de ses conditions d'installation : $I_a = f I_0$.

■ modes de pose

Les tableaux 6-3 à 6-5 indiquent les principaux modes de pose utilisés dans les réseaux industriels ; les autres modes de pose sont donnés dans la norme NF C 15-100 - tableau 52C.

Pour chaque mode de pose sont indiqués :

- son numéro et sa lettre de sélection associés
- les facteurs de correction à appliquer.

Le facteur f_0 correspond au mode de pose ; les facteurs f_1 à f_{10} sont explicités ci-après (voir tableaux 6-6 à 6-15).

| Exemple | Description | N° | Lettre de sélection | | Facteurs de correction | | | |
|---------|--|-----|---------------------|------------------|------------------------|-------------|-------|-------|
| | | | | | f_0 | à appliquer | | |
| | Câbles mono ou multiconducteurs avec ou sans amure : | | | | | | | |
| | - fixés sur un mur | 11 | <i>C</i> | 1 | f_1 | f_4 | f_5 | |
| | - fixés à un plafond | 11A | <i>C</i> | 0,95 | f_1 | f_4 | f_5 | |
| | - sur des chemins de câbles ou tablettes non perforés | 12 | <i>C</i> | 1 | f_1 | f_4 | f_5 | |
| | | | | | | | | |
| | | | câbles | | | | | |
| | | | multi-conducteurs | mono-conducteurs | | | | |
| | - sur des chemins de câbles ou tablettes perforés en parcours horizontal ou vertical | 13 | <i>E</i> | <i>F</i> | 1 | f_1 | f_4 | f_5 |
| | - sur des corbeaux | 14 | <i>E</i> | <i>F</i> | 1 | f_1 | f_4 | f_5 |
| | - sur des échelles à câbles | 16 | <i>E</i> | <i>F</i> | 1 | f_1 | f_4 | f_5 |

Tableau 6-3 : modes de pose pour les lettres de sélection *C*, *E* et *F*

| Exemple | Description | N° | Lettre de sélection | Facteurs de correction à appliquer | | | | |
|---------|--|-----|---------------------|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | f_0 | f_1 | f_4 | f_5 | |
| | Câbles mono ou multiconducteurs dans des vides de construction | 21 | B | 0,95 | f_1 | f_4 | f_5 | -- |
| | Câbles mono ou multiconducteurs dans des conduits dans des vides de construction | 22A | B | 0,865 | f_1 | f_4 | f_5 | f_6 |
| | Câbles mono ou multiconducteurs dans des conduits profilés dans des vides de construction | 23A | B | 0,865 | f_1 | f_4 | f_5 | f_6 |
| | Câbles mono ou multiconducteurs dans des conduits profilés noyés dans la construction | 24A | B | 0,865 | f_1 | f_4 | f_5 | f_7 |
| | Câbles mono ou multiconducteurs : - dans des faux-plafonds | 25 | B | 0,95 | f_1 | f_4 | f_5 | -- |
| | - dans des plafonds suspendus | | | | | | | |
| | Câbles mono ou multiconducteurs dans des goulottes fixées aux parois : - en parcours horizontal | 31A | B | 0,9 | f_1 | f_4 | f_5 | -- |
| | - en parcours vertical | 32A | B | 0,9 | f_1 | f_4 | f_5 | -- |

Tableau 6-4 : modes de pose pour la lettre de sélection B

| Exemple | Description | N° | Lettre de sélection | Facteurs de correction à appliquer | | | | |
|---------|---|-----|---------------------|------------------------------------|-------|-------|-------|----|
| | | | | f_0 | f_1 | f_4 | f_5 | |
| | Câbles mono ou multi-conducteurs dans des goulottes encastrées dans des planchers | 33A | B | 0,9 | f_1 | f_4 | f_5 | -- |
| | Câble mono ou multi-conducteurs dans des goulottes suspendues | 34A | B | 0,9 | f_1 | f_4 | f_5 | -- |
| | Câbles multiconducteurs dans des caniveaux fermés, en parcours horizontal ou vertical | 41 | B | 0,95 | f_1 | f_4 | f_5 | -- |
| | Câbles mono ou multi-conducteurs dans des caniveaux ouverts ou ventilés | 43 | B | 1 | f_1 | f_4 | f_5 | -- |

Tableau 6-4 (suite) : modes de pose pour la lettre de sélection B

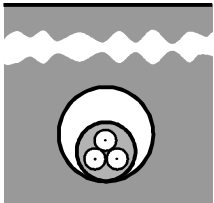
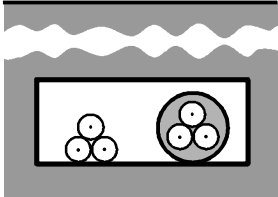
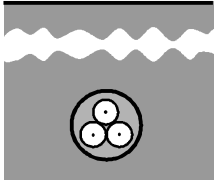
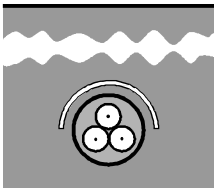
| Exemple | Description | N° | Lettre de sélection | Facteurs de correction à appliquer | | | | |
|---|---|----|---------------------|------------------------------------|-------|-------|----------|-------|
| | | | | f_0 | f_2 | f_3 | f_8 | f_9 |
|  | Câbles mono ou multi-conducteurs dans des conduits ou dans des conduits profilés enterrés | 61 | D | 0,8 | f_2 | f_3 | f_8 | f_9 |
|  | | | | | | | | |
|  | Câbles mono ou multi-conducteurs enterrés sans protection mécanique complémentaire | 62 | D | 1 | f_2 | f_3 | f_{10} | -- |
|  | Câbles mono ou multiconducteurs enterrés avec protection mécanique complémentaire | 63 | D | 1 | f_2 | f_3 | f_{10} | -- |

Tableau 6-5 : modes de pose pour la lettre de sélection D

■ **facteurs de correction pour des températures ambiantes différentes de 30 °C**
(canalisations non enterrées) : f_1

Lorsque des canalisations électriques sont encastrées dans des parois comportant des éléments chauffants, il est généralement nécessaire de réduire les courants admissibles en appliquant les facteurs de réduction du tableau 6-6.

Ceci suppose la connaissance de la répartition des températures à l'intérieur des parois chauffantes en contact avec les canalisations électriques.

Lorsque la température de l'air diffère de 30 °C, le coefficient de correction à appliquer est donné par la formule :

$$f_1 = \sqrt{\frac{\theta_p - \theta_0}{\theta_p - 30^\circ}}$$

θ_p : température maximale admise par l'isolant en régime permanent, °C

θ_0 : température de l'air, °C

La valeur de f_1 est indiquée dans le tableau 6-6 pour différentes valeurs de θ_p et θ_0 .

| Températures ambiantes (°C) θ_0 | Isolation | | |
|---|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | Elastomères (caoutchouc) | PVC | PR et EPR |
| | $\theta_p = 60^\circ\text{C}$ | $\theta_p = 70^\circ\text{C}$ | $\theta_p = 90^\circ\text{C}$ |
| 10 | 1,29 | 1,22 | 1,15 |
| 15 | 1,22 | 1,17 | 1,12 |
| 20 | 1,15 | 1,12 | 1,08 |
| 25 | 1,07 | 1,06 | 1,04 |
| 35 | 0,93 | 0,94 | 0,96 |
| 40 | 0,82 | 0,87 | 0,91 |
| 45 | 0,71 | 0,79 | 0,87 |
| 50 | 0,58 | 0,71 | 0,82 |
| 55 | - | 0,61 | 0,76 |
| 60 | - | 0,50 | 0,71 |
| 65 | - | - | 0,65 |
| 70 | - | - | 0,58 |
| 75 | - | - | 0,50 |
| 80 | - | - | 0,41 |
| 85 | - | - | - |
| 90 | - | - | - |
| 95 | - | - | - |

Tableau 6-6 : facteurs de correction pour des températures ambiantes différentes de 30 °C
(canalisations non enterrées)

■ **facteurs de correction pour des températures du sol différentes de 20 °C**
(canalisations enterrées) : f_2

Lorsque la température du sol est différente de 20 °C, le coefficient de correction à appliquer est donné par la formule :

$$f_2 = \sqrt{\frac{\theta_p - \theta_0}{\theta_p - 20}}$$

θ_p : température maximale admise par l'isolant en régime permanent, °C

θ_0 : température du sol, °C

La valeur de f_2 est indiquée dans le tableau 6-7 pour différentes valeurs de θ_p et θ_0 .

| Températures du sol θ_0 (°C) | Isolation | |
|--|---------------------------|---------------------------------|
| | PVC $\theta_p = 70$ °C | PR et EPR $\theta_p = 90$ °C |
| 10 | 1,10 | 1,07 |
| 15 | 1,05 | 1,04 |
| 25 | 0,95 | 0,96 |
| 30 | 0,89 | 0,93 |
| 35 | 0,84 | 0,89 |
| 40 | 0,77 | 0,85 |
| 45 | 0,71 | 0,80 |
| 50 | 0,63 | 0,76 |
| 55 | 0,55 | 0,71 |
| 60 | 0,45 | 0,65 |
| 65 | - | 0,60 |
| 70 | - | 0,53 |
| 75 | - | 0,46 |
| 80 | - | 0,38 |

Tableau 6-7 : facteurs de correction pour des températures du sol différentes de 20 °C
(canalisations enterrées)

■ **facteurs de correction pour les canalisations enterrées, en fonction de la résistivité thermique du sol : f_3**

La résistivité thermique du sol dépend de la nature et de l'humidité du terrain. Le facteur de correction à appliquer selon la résistivité du sol est donné par le tableau 6-8.

| Résistivité thermique du terrain K.m/W | Facteur de correction | Observations | | | |
|--|-----------------------|---------------------|-----------|-------------------|---------------------|
| | | Humidité | | Nature du terrain | |
| 0,40 | 1,25 | pose immergée | marécages | | |
| 0,50 | 1,21 | terrain très humide | sable | | |
| 0,70 | 1,13 | terrain humide | | argile | |
| 0,85 | 1,05 | terrain dit normal | | et calcaire | |
| 1,00 | 1,00 | terrain sec | | | |
| 1,20 | 0,94 | | | | |
| 1,50 | 0,86 | terrain très sec | | | |
| 2,00 | 0,76 | | | | |
| 2,50 | 0,70 | | | | |
| 3,00 | 0,65 | | | | cendres et mâchefer |

Tableau 6-8 : facteurs de correction pour les canalisations enterrées en fonction de la résistivité thermique du sol

■ **facteurs de correction pour groupement de plusieurs câbles multiconducteurs ou groupes de câbles monoconducteurs**

Les circuits ou les câbles peuvent être :

- jointifs ; il faut alors appliquer le facteur de correction f_4
- disposés en plusieurs couches ; il faut alors appliquer le facteur de correction f_5
- à la fois jointifs et disposés en plusieurs couches (voir fig. 6-3) ; il faut alors appliquer le produit des facteurs de correction f_4 et f_5 .

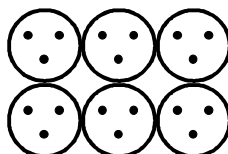


Figure 6-3 : 6 câbles multiconducteurs - 2 couches de 3 câbles jointifs

□ **câbles multiconducteurs ou groupes de câbles monoconducteurs jointifs** : f_4

Les facteurs du tableau 6-9 sont applicables à des groupes homogènes de câbles, également chargés, pour les modes de pose indiqués.

Lorsque la distance horizontale entre câbles voisins est supérieure à deux fois leur diamètre extérieur, aucun facteur de réduction n'est nécessaire.

Les mêmes facteurs de correction sont applicables :

- aux groupes de deux ou trois câbles monoconducteurs
- aux câbles multiconducteurs.

| N° des modes de pose | Nombre de câbles multiconducteurs ou groupes de câbles monoconducteurs jointifs | | | | | | | | | | | |
|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|--|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 12 | 16 | 20 |
| 21, 22A, 23A, 24A, 25, 31, 31A, 32, 32A, 33A, 34A, 41, 43 | 1,00 | 0,80 | 0,70 | 0,65 | 0,60 | 0,55 | 0,55 | 0,50 | 0,50 | 0,45 | 0,40 | 0,40 |
| 11, 12 | 1,00 | 0,85 | 0,79 | 0,75 | 0,73 | 0,72 | 0,72 | 0,71 | 0,70 | Pas de facteur de réduction supplémentaire pour plus de 9 câbles | | |
| 11A | 1,00 | 0,85 | 0,76 | 0,72 | 0,69 | 0,67 | 0,66 | 0,65 | 0,64 | | | |
| 13 | 1,00 | 0,88 | 0,82 | 0,77 | 0,75 | 0,73 | 0,73 | 0,72 | 0,72 | | | |
| 14, 16 | 1,00 | 0,88 | 0,82 | 0,80 | 0,80 | 0,79 | 0,79 | 0,78 | 0,78 | | | |

Tableau 6-9 : facteurs de correction pour groupement de câbles multiconducteurs ou groupes de câbles monoconducteurs jointifs

□ **câbles multiconducteurs ou groupes de câbles monoconducteurs disposés en plusieurs couches** : f_5

Lorsque les câbles sont disposés en plusieurs couches, les facteurs de correction du tableau 6-10 doivent être appliqués.

| Nombre de couches | 2 | 3 | 4 ou 5 | 6 à 8 | 9 et plus |
|------------------------------|------|------|--------|-------|-----------|
| Facteurs de correction f_5 | 0,80 | 0,73 | 0,70 | 0,68 | 0,66 |

tableau 6-10 : facteurs de correction pour groupement de câbles multiconducteurs ou groupes de câbles monoconducteurs disposés en plusieurs couches

- **facteurs de correction en fonction du nombre de conduits dans l'air et de leur disposition** (voir tableau 6-11) : f_6

| Nombre de conduits disposés verticalement | Nombre de conduits disposés horizontalement | | | | | |
|---|---|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 1 | 0,94 | 0,91 | 0,88 | 0,87 | 0,86 |
| 2 | 0,92 | 0,87 | 0,84 | 0,81 | 0,80 | 0,79 |
| 3 | 0,85 | 0,81 | 0,78 | 0,76 | 0,75 | 0,74 |
| 4 | 0,82 | 0,78 | 0,74 | 0,73 | 0,72 | 0,72 |
| 5 | 0,80 | 0,76 | 0,72 | 0,71 | 0,70 | 0,70 |
| 6 | 0,79 | 0,75 | 0,71 | 0,70 | 0,69 | 0,68 |

Tableau 6-11 : facteurs de correction en fonction du nombre de conduits dans l'air et de leur disposition

- **facteurs de correction en fonction du nombre de conduits enterrés ou noyés dans le béton et de leur disposition** (voir tableau 6-12) : f_7

| Nombre de conduits disposés verticalement | Nombre de conduits disposés horizontalement | | | | | |
|---|---|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 1 | 0,87 | 0,77 | 0,72 | 0,68 | 0,65 |
| 2 | 0,87 | 0,71 | 0,62 | 0,57 | 0,53 | 0,50 |
| 3 | 0,77 | 0,62 | 0,53 | 0,48 | 0,45 | 0,42 |
| 4 | 0,72 | 0,57 | 0,48 | 0,44 | 0,40 | 0,38 |
| 5 | 0,68 | 0,53 | 0,45 | 0,40 | 0,37 | 0,35 |
| 6 | 0,65 | 0,50 | 0,42 | 0,38 | 0,35 | 0,32 |

Tableau 6-12 : facteurs de correction en fonction du nombre de conduits enterrés ou noyés dans le béton et de leur disposition

- facteurs de correction pour conduits enterrés non jointifs disposés horizontalement ou verticalement à raison d'un câble ou d'un groupement de 3 câbles monoconducteurs par conduit (voir tableau 6-13) : f_8

| Nombre de conduits | Distance entre conduits (a) | | |
|--------------------|-----------------------------|-------|-------|
| | 0,25 m | 0,5 m | 1,0 m |
| 2 | 0,93 | 0,95 | 0,97 |
| 3 | 0,87 | 0,91 | 0,95 |
| 4 | 0,84 | 0,89 | 0,94 |
| 5 | 0,81 | 0,87 | 0,93 |
| 6 | 0,79 | 0,86 | 0,93 |

Tableau 6-13 : facteurs de correction pour conduits enterrés non jointifs disposés horizontalement ou verticalement à raison d'un câble ou d'un groupement de 3 câbles monoconducteurs par conduit

Les distances entre conduits sont mesurées comme indiqué sur la figure 6-4.

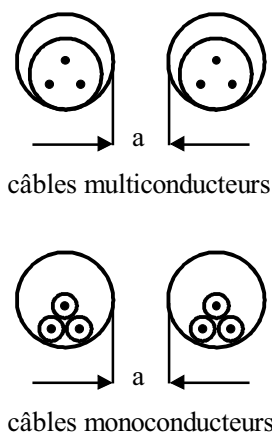


Figure 6-4 : distance entre conduits (a)

- **facteurs de correction dans le cas de plusieurs circuits ou câbles dans un même conduit enterré** (voir tableau 6-14) : f_9

Ceci est applicable à des groupements de câbles de sections différentes mais ayant la même température maximale admissible.

| Disposition de circuits ou de câbles jointifs | Facteurs de correction | | | | | | | | | | | |
|---|--|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 12 | 16 | 20 |
| Posés dans un conduit enterré | 1 | 0,71 | 0,58 | 0,5 | 0,45 | 0,41 | 0,38 | 0,35 | 0,33 | 0,29 | 0,25 | 0,22 |

Tableau 6-14 : facteurs de correction dans le cas de plusieurs circuits ou câbles dans un même conduit enterré

- **facteurs de correction pour groupement de plusieurs câbles posés directement dans le sol - câbles monoconducteurs ou multiconducteurs disposés horizontalement ou verticalement** (voir tableau 6-15) : f_{10}

| Nombre de câbles ou de circuits | Distance entre câbles ou groupements de 3 câbles monoconducteurs (a) | | | | |
|---------------------------------|--|----------------------|--------|-------|-------|
| | Nulle (câbles jointifs) | Un diamètre de câble | 0,25 m | 0,5 m | 1,0 m |
| 2 | 0,76 | 0,79 | 0,84 | 0,88 | 0,92 |
| 3 | 0,64 | 0,67 | 0,74 | 0,79 | 0,85 |
| 4 | 0,57 | 0,61 | 0,69 | 0,75 | 0,82 |
| 5 | 0,52 | 0,56 | 0,65 | 0,71 | 0,80 |
| 6 | 0,49 | 0,53 | 0,60 | 0,69 | 0,78 |

Tableau 6-15 : facteurs de correction pour groupement de plusieurs câbles posés directement dans le sol câbles monoconducteurs ou multiconducteurs disposés horizontalement ou verticalement

Les distances entre câbles sont mesurées comme indiqué sur la figure 6-5.

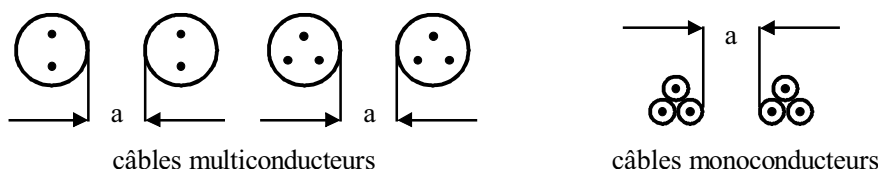


Figure 6-5 : distance entre câbles (a)

■ **courants admissibles (en ampère) par les canalisations dans les conditions standards d'installation pour les lettres de sélection B, C, E, F**

Les courants admissibles indiqués dans le tableau 6-16 sont valables pour des circuits simples constitués du nombre suivant de conducteurs :

Lettre de sélection B :

- deux conducteurs isolés ou deux câbles monoconducteurs ou un câble à deux conducteurs
- trois conducteurs isolés ou trois câbles monoconducteurs ou un câble à trois conducteurs

Lettre de sélection C :

- deux câbles monoconducteurs ou un câble à deux conducteurs
- trois câbles monoconducteurs ou un câble à trois conducteurs

Lettres de sélection E et F (voir fig. 6-6) :

- un câble à deux ou trois conducteurs pour la lettre E
- deux ou trois câbles monoconducteurs pour la lettre F .

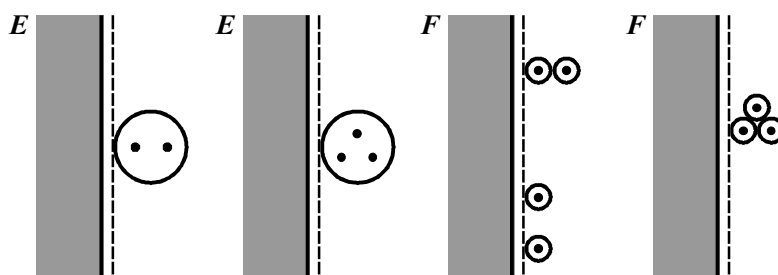


Figure 6-6 : illustration des modes de pose correspondant aux lettres de sélection E et F

Le nombre de conducteurs à considérer dans un circuit est celui des conducteurs effectivement parcourus par le courant. Lorsque, dans un circuit triphasé, les courants sont supposés équilibrés, il n'y a pas lieu de tenir compte du conducteur neutre correspondant.

Lorsque la valeur du courant du conducteur neutre est proche de celle des phases, un facteur de réduction de 0,84 est à appliquer. De tels courants peuvent, par exemple, être dus à la présence de courants harmoniques 3 dans les conducteurs de phase (voir § 6.2).

| Lettre de sélection | Isolant et nombre de conducteurs chargés | | | | | | | | |
|--|--|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| | B | PVC 3 | PVC 2 | | PR 3 | | PR 2 | | |
| C | | PVC 3 | | | PVC 2 | PR 3 | | PR 2 | |
| E | | | PVC 3 | | PVC 2 | PR 3 | | PR 2 | |
| F | | | | PVC 3 | | PVC 2 | PR 3 | | PR 2 |
| Section (mm ²) <i>Cuivre</i> | | | | | | | | | |
| 1,5 | 15,5 | 17,5 | 18,5 | 19,5 | 22 | 23 | 24 | 26 | |
| 2,5 | 21 | 24 | 25 | 27 | 30 | 31 | 33 | 36 | |
| 4 | 28 | 32 | 34 | 36 | 40 | 42 | 45 | 49 | |
| 6 | 36 | 41 | 43 | 48 | 51 | 54 | 58 | 63 | |
| 10 | 50 | 57 | 60 | 63 | 70 | 75 | 80 | 86 | |
| 16 | 68 | 76 | 80 | 85 | 94 | 100 | 107 | 115 | |
| 25 | 89 | 96 | 101 | 112 | 119 | 127 | 138 | 149 | 161 |
| 35 | 110 | 119 | 126 | 138 | 147 | 158 | 169 | 185 | 200 |
| 50 | 134 | 144 | 153 | 168 | 179 | 192 | 207 | 225 | 242 |
| 70 | 171 | 184 | 196 | 213 | 229 | 246 | 268 | 289 | 310 |
| 95 | 207 | 223 | 238 | 258 | 278 | 298 | 328 | 352 | 377 |
| 120 | 239 | 259 | 276 | 299 | 322 | 346 | 382 | 410 | 437 |
| 150 | | 299 | 319 | 344 | 371 | 395 | 441 | 473 | 504 |
| 185 | | 341 | 364 | 392 | 424 | 450 | 506 | 542 | 575 |
| 240 | | 403 | 430 | 461 | 500 | 538 | 599 | 641 | 679 |
| 300 | | 464 | 497 | 530 | 576 | 621 | 693 | 741 | 783 |
| 400 | | | | | 656 | 754 | 825 | | 940 |
| 500 | | | | | 749 | 868 | 946 | | 1083 |
| 630 | | | | | 855 | 1005 | 1088 | | 1254 |
| Section (mm ²) <i>Aluminium</i> | | | | | | | | | |
| 2,5 | 16,5 | 18,5 | 19,5 | 21 | 23 | 24 | 26 | 28 | |
| 4 | 22 | 25 | 26 | 28 | 31 | 32 | 35 | 38 | |
| 6 | 28 | 32 | 33 | 36 | 39 | 42 | 45 | 49 | |
| 10 | 39 | 44 | 46 | 49 | 54 | 58 | 62 | 67 | |
| 16 | 53 | 59 | 61 | 66 | 73 | 77 | 84 | 91 | |
| 25 | 70 | 73 | 78 | 83 | 90 | 97 | 101 | 108 | 121 |
| 35 | 86 | 90 | 96 | 103 | 112 | 120 | 126 | 135 | 150 |
| 50 | 104 | 110 | 117 | 125 | 136 | 146 | 154 | 164 | 184 |
| 70 | 133 | 140 | 150 | 160 | 174 | 187 | 198 | 211 | 237 |
| 95 | 161 | 170 | 183 | 195 | 211 | 227 | 241 | 257 | 289 |
| 120 | 186 | 197 | 212 | 226 | 245 | 263 | 280 | 300 | 337 |
| 150 | | 227 | 245 | 261 | 283 | 304 | 324 | 346 | 389 |
| 185 | | 259 | 280 | 298 | 323 | 347 | 371 | 397 | 447 |
| 240 | | 305 | 330 | 352 | 382 | 409 | 439 | 470 | 530 |
| 300 | | 351 | 381 | 406 | 440 | 471 | 508 | 543 | 613 |
| 400 | | | | | 526 | 600 | 663 | | 740 |
| 500 | | | | | 610 | 694 | 770 | | 856 |
| 630 | | | | | 711 | 808 | 899 | | 996 |

Tableau 6-16 : courants admissibles (en ampère) par les canalisations dans les conditions standards d'installation (f_0 à $f_{10} = 1$) pour les lettres de sélection B, C, E, F

■ courants admissibles (en ampère) par les canalisations dans les conditions standards d'installation pour la lettre de sélection *D* (canalisations enterrées) (voir tableau 6-17)

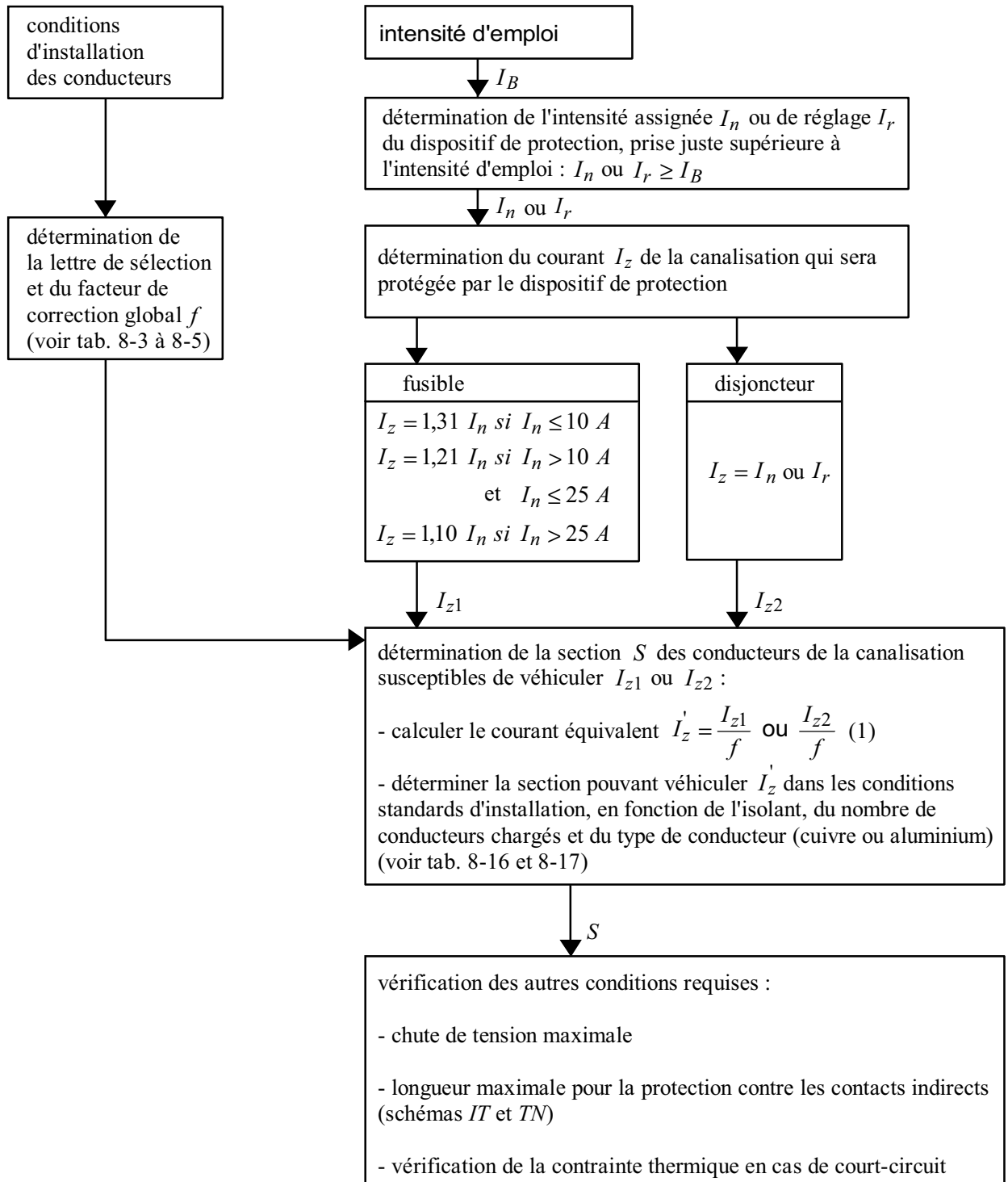
Le nombre de conducteurs à considérer dans un circuit est celui des conducteurs effectivement parcourus par le courant. Lorsque, dans un circuit triphasé, les courants sont supposés équilibrés, il n'y a pas lieu de tenir compte du conducteur neutre correspondant.

Lorsque la valeur du courant du conducteur neutre est proche de celle des phases, un facteur de réduction de 0,84 est à appliquer. De tels courants peuvent, par exemple, être dus à la présence de courants harmoniques 3 dans les conducteurs de phase (voir § 6.2).

| Lettre de sélection <i>D</i> | Isolant et nombre de conducteurs chargés | | | |
|--|--|-------|------|------|
| | PVC 3 | PVC 2 | PR 3 | PR 2 |
| Section (mm ²) <i>Cuivre</i> | | | | |
| 1,5 | 26 | 32 | 31 | 37 |
| 2,5 | 34 | 42 | 41 | 48 |
| 4 | 44 | 54 | 53 | 63 |
| 6 | 56 | 67 | 66 | 80 |
| 10 | 74 | 90 | 87 | 104 |
| 16 | 96 | 116 | 113 | 136 |
| 25 | 123 | 148 | 144 | 173 |
| 35 | 147 | 178 | 174 | 208 |
| 50 | 174 | 211 | 206 | 247 |
| 70 | 216 | 261 | 254 | 304 |
| 95 | 256 | 308 | 301 | 360 |
| 120 | 290 | 351 | 343 | 410 |
| 150 | 328 | 397 | 387 | 463 |
| 185 | 367 | 445 | 434 | 518 |
| 240 | 424 | 514 | 501 | 598 |
| 300 | 480 | 581 | 565 | 677 |
| Section (mm ²) <i>Aluminium</i> | | | | |
| 10 | 57 | 68 | 67 | 80 |
| 16 | 74 | 88 | 87 | 104 |
| 25 | 94 | 114 | 111 | 133 |
| 35 | 114 | 137 | 134 | 160 |
| 50 | 134 | 161 | 160 | 188 |
| 70 | 167 | 200 | 197 | 233 |
| 95 | 197 | 237 | 234 | 275 |
| 120 | 224 | 270 | 266 | 314 |
| 150 | 254 | 304 | 300 | 359 |
| 185 | 285 | 343 | 337 | 398 |
| 240 | 328 | 396 | 388 | 458 |
| 300 | 371 | 447 | 440 | 520 |

Tableau 6-17 : courants admissibles (en ampère) par les canalisations dans les conditions standards d'installation (f_0 à $f_{10} = 1$) pour la lettre de sélection *D* (canalisations enterrées)

6.1.5. Détermination pratique de la section minimale d'une canalisation BT



(1) I'_z est un courant équivalent qui, dans les conditions standards d'installation provoque le même effet thermique que I_{z1} ou I_{z2} dans les conditions réelles d'installation

Figure 6-7 : logigramme de la détermination de la section d'une canalisation

6.1.6. Section des conducteurs de protection (PE), d'équipotentialité et de neutre (NF C 15-100)

Dans une installation basse tension, les conducteurs de protection assurent l'interconnexion des masses d'utilisation et l'écoulement à la terre des courants de défaut d'isolement.

Les conducteurs d'équipotentialité permettent de mettre au même potentiel, ou à des potentiels voisins, des masses et des éléments conducteurs.

Dans ce chapitre, on se limitera aux règles de dimensionnement des conducteurs. Concernant les règles de raccordement et de protection, se reporter au paragraphe 2.

■ section des conducteurs de protection entre transformateur HTA/BT et tableau principal BT (voir fig. 6-8)

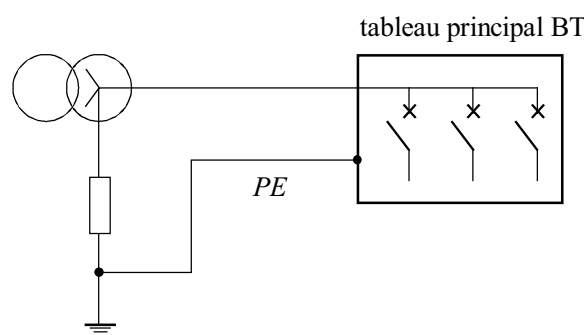


Figure 6-8 : conducteur PE entre transformateur et tableau principal

Le tableau 6-18 donne les valeurs des sections des conducteurs de protection (en mm²) en fonction :

- de la puissance nominale du transformateur HTA/BT
- du temps de fonctionnement t (en seconde) de la protection HTA. Lorsque la protection est assurée par un fusible, la section à prendre en compte correspond à $t = 0,2 s$
- de la matière isolante et de la nature du métal du conducteur.

En schéma IT , si un dispositif de protection contre les surtensions est inséré entre le neutre et la terre, le même dimensionnement s'applique à ses conducteurs de raccordement.

Dans le cas du fonctionnement en parallèle de plusieurs transformateurs, la somme de leurs puissances nominales sera utilisée pour la détermination de la section.

| Puissance du transformateur (kVA) | | Nature des conducteurs | | Conducteurs nus | | | Conducteurs isolés au PVC | | | Conducteurs isolés au PR | | |
|-----------------------------------|-----------|---|-------|-----------------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|
| Tension BT | | Cuivre | t (s) | 0,2 s | 0,5 s | - | 0,2 s | 0,5 s | - | 0,2 s | 0,5 s | - |
| 127/220 V | 230/400 V | Aluminium | | - | 0,2 s | 0,5 s | - | 0,2 s | 0,5 s | - | 0,2 s | 0,5 s |
| ≤ 63 | ≤ 100 | Section des conducteurs de protection S_{PE} (mm ²) | | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 100 | 160 | | | 25 | 25 | 35 | 25 | 25 | 50 | 25 | 25 | 35 |
| 125 | 200 | | | 25 | 35 | 50 | 25 | 35 | 50 | 25 | 25 | 50 |
| 160 | 250 | | | 25 | 35 | 70 | 35 | 50 | 70 | 25 | 35 | 50 |
| 200 | 315 | | | 35 | 50 | 70 | 35 | 50 | 95 | 35 | 50 | 70 |
| 250 | 400 | | | 50 | 70 | 95 | 50 | 70 | 95 | 35 | 50 | 95 |
| 315 | 500 | | | 50 | 70 | 120 | 70 | 95 | 120 | 50 | 70 | 95 |
| 400 | 630 | | | 70 | 95 | 150 | 70 | 95 | 150 | 70 | 95 | 120 |
| 500 | 800 | | | 70 | 120 | 150 | 95 | 120 | 185 | 70 | 95 | 150 |
| 630 | 1 000 | | | 95 | 120 | 185 | 95 | 120 | 185 | 95 | 120 | 150 |
| 800 | 1 250 | | | 95 | 150 | 185 | 120 | 150 | 240 | 95 | 120 | 185 |

Tableau 6-18 : section des conducteurs de protection entre transformateur HTA/BT et tableau principal BT

■ sections des conducteurs de protection des masses basse tension : (PE)

La section du conducteur PE est définie en fonction de la section des phases (pour le même métal conducteur) comme suit :

- pour $S_{phase} \leq 16 \text{ mm}^2$, $S_{PE} = S_{phase}$ (1)

- pour $16 \text{ mm}^2 < S_{phase} \leq 35 \text{ mm}^2$, $S_{PE} = 16 \text{ mm}^2$

- pour $S_{phase} > 35 \text{ mm}^2$, $S_{PE} = \frac{S_{phase}}{2}$

(1) lorsque le conducteur de protection ne fait pas partie de la canalisation, il doit avoir une section d'au moins :

- 2,5 mm² s'il comporte une protection mécanique

- 4 mm² s'il ne comporte pas de protection mécanique

Dans le schéma TT , la section du conducteur de protection peut être limitée à :

- 25 mm² pour le cuivre
- 35 mm² pour l'aluminium

à condition que les prises de terre du neutre et des masses soient distinctes, sinon les conditions du schéma TN sont applicables (en schéma TT , une liaison fortuite par charpente métallique ou autre peut exister entre les deux prises de terre ; le courant de défaut à la terre est alors important).

■ section des conducteurs d'équipotentialité

□ conducteur d'équipotentialité principale

Sa section doit être au moins égale à la moitié de la section du plus grand conducteur de protection de l'installation, avec un minimum de 6 mm². Toutefois, elle peut être limitée à 25 mm² pour le cuivre ou 35 mm² pour l'aluminium.

□ conducteur d'équipotentialité supplémentaire

S'il relie deux masses, sa section ne doit pas être inférieure à la plus petite des sections des conducteurs de protection reliés à ces masses (voir fig. 6-9-a).

S'il relie une masse à un élément conducteur, sa section ne doit pas être inférieure à la moitié de la section du conducteur de protection relié à cette masse (voir fig. 6-9-b).

$$\text{Si } \begin{aligned} S_{PE1} &\leq S_{PE2} \\ S_{LS} &= S_{PE1} \end{aligned}$$

$$S_{LS} = \frac{S_{PE}}{2} \quad (*)$$

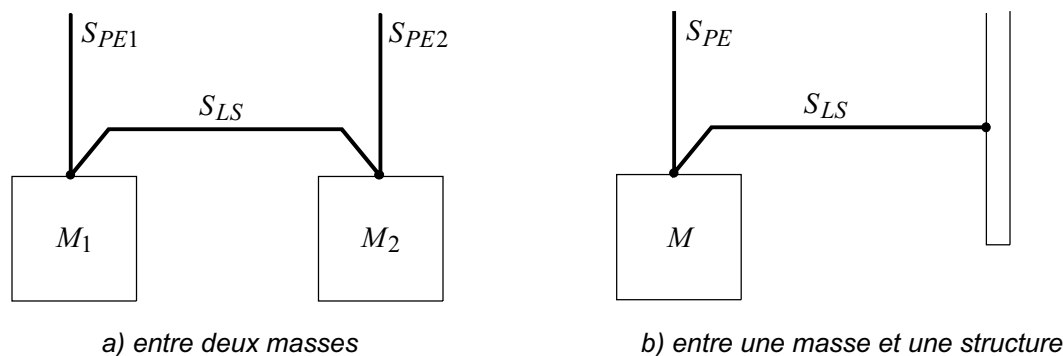


Figure 6-9 : section des conducteurs d'équipotentialité supplémentaire

- (*) avec un minimum de : - 2,5 mm² si les conducteurs sont mécaniquement protégés
 - 4 mm² si les conducteurs ne sont pas mécaniquement protégés

Les conducteurs non incorporés dans un câble sont mécaniquement protégés lorsqu'ils sont posés dans des conduits, des goulottes, des moulures ou protégés de façon analogue.

■ section des conducteurs *PEN*

Dans le cas du schéma *TNC*, le conducteur de protection assure également la fonction du neutre.

Dans ce cas la section du *PEN* doit être au moins égale à la plus grande valeur résultant des contraintes suivantes :

$$- S_{PEN} \geq \begin{cases} - 10 \text{ mm}^2 & \text{pour le cuivre} \\ - 16 \text{ mm}^2 & \text{pour l'aluminium} \end{cases}$$

- répondre aux conditions relatives au conducteur *PE*
- répondre aux conditions imposées pour la section du conducteur neutre.

■ section du conducteur neutre

- Le conducteur de neutre doit avoir la même section que les conducteurs de phase dans les cas suivants :
 - . circuit monophasé
 - . circuit triphasé ayant des sections de phase inférieures ou égales à 16 mm² pour le cuivre ou 25 mm² pour l'aluminium.
- Pour les circuits triphasés ayant une section de phase supérieure à 16 mm² pour le cuivre ou 25 mm² pour l'aluminium, la section du neutre peut être inférieure à celle des phases à conditions de respecter, simultanément les conditions suivantes :
 - . le courant maximal susceptible de circuler en permanence dans le neutre est inférieur au courant admissible de la section choisie. Il faut tenir compte du déséquilibre des charges monophasées et des courants harmoniques 3 et multiples de 3 qui peuvent exiger l'utilisation d'une section supérieure à celle des phases (voir § 8.2 - *échauffement du conducteur neutre*).
 - . le conducteur neutre est protégé contre les surintensités par un fusible ou un réglage du déclencheur du disjoncteur adapté à sa section.
 - . la section du conducteur neutre est au moins égale à 16 mm² pour le cuivre ou 25 mm² pour l'aluminium.

6.1.7. Vérification des chutes de tension

La chute de tension sur une canalisation est calculée par la formule :

$$\Delta V = b \left(\rho_1 \frac{L}{S} \cos \varphi + \lambda L \sin \varphi \right) \times I_B$$

ΔV : chute de tension, en volt

b : coefficient $\begin{cases} = 1 \text{ pour circuit triphasé} \\ = 2 \text{ pour circuit monophasé} \end{cases}$

ρ_1 : résistivité du conducteur en service normal, soit 1,25 fois celle à 20°C

$\rho_1 = 0,0225 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ pour le cuivre ; $\rho_1 = 0,036 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ pour l'aluminium

L : longueur de la canalisation, en mètre


S : section des conducteurs, en mm^2



$\cos \varphi$: facteur de puissance ; en l'absence d'indication précise on peut prendre $\cos \varphi = 0,8$ ($\sin \varphi = 0,6$)


I_B : courant maximal d'emploi, en ampère

λ : réactance linéique des conducteurs, en Ω/m

Les valeurs de λ en BT sont :

- $0,08 \times 10^{-3} \Omega / \text{m}$ pour les câbles tripolaires 

- $0,09 \times 10^{-3} \Omega / \text{m}$ pour les câbles unipolaires serrés en nappe  ou en triangle 

- $0,15 \times 10^{-3} \Omega / \text{m}$ pour les câbles unipolaires espacés $d = 8r$ 

d : distance moyenne entre conducteur

r : rayon des âmes conductrices

On définit la chute de tension relative :

$\frac{\Delta V}{V_n}$ pour les circuits triphasés ou monophasés alimentés entre phase et neutre

$\frac{\Delta V}{U_n}$ pour les circuits monophasés alimentés entre phases (dans ce cas,

ΔV représente une chute de tension entre phases)

V_n : tension simple nominale

U_n : tension composée nominale

Conformément à la norme NFC 15-100 § 525, la chute de tension entre l'origine de l'installation et tout point d'utilisation ne doit pas être supérieure aux valeurs du tableau 6-19.

| | Eclairage | Autres usages |
|---|-----------|---------------|
| A - Installations alimentées directement par un branchement à basse tension, à partir d'un réseau de distribution publique à basse tension. | 3 % | 5 % |
| B - Installations alimentées par un poste de livraison ou par un poste de transformation à partir d'une installation à haute tension (l'origine de l'installation est le point de raccordement HTA) * | 6 % | 8 % |
| (*) dans la mesure du possible, les chutes de tension dans les circuits terminaux ne doivent pas être supérieures aux valeurs indiquées en A. | | |

Tableau 6-19 : chutes de tension admissibles dans les réseaux BT

■ circuits alimentant des moteurs

La chute de tension est calculée en remplaçant le courant d'emploi I_B par le courant de démarrage du moteur.

La norme NF C 15-100 préconise que la chute de tension, en tenant compte de tous les moteurs pouvant démarrer simultanément, soit inférieure à 15%. Une limitation à 10% est préférable.

6.1.8. Longueurs maximales des canalisations pour la protection contre les contacts indirects (régime *TN* et *IT*)

La norme NF C 15-100 impose pour les schémas *TN* et *IT* que le courant de défaut soit éliminé dans un temps compatible avec la protection des personnes.

Ce temps est déterminé par une courbe en fonction de la tension de contact présumée ; il est basé sur les effets physiologiques du courant électrique sur le corps humain. Par mesure de simplification, à partir de cette courbe, il est possible de déterminer un temps de coupure maximal en fonction de la tension nominale de l'installation (voir tableau 6-20 et 6-21).

| Tension nominale alternative V_n / U_n (Volts) | Temps de coupure (secondes) (*) | |
|---|---------------------------------|------------------|
| | neutre non distribué | neutre distribué |
| 127/220 | 0,8 | 5 |
| 220/380, 230/400 | 0,4 | 0,8 |
| 400/690 | 0,2 | 0,4 |
| 580/1000 | 0,1 | 0,2 |

Tableau 6-20 : temps de coupure maximaux dans le schéma *IT* (deuxième défaut)

| Tension nominale alternative V_n (Volts) (**) | Temps de coupure (secondes) (*) |
|---|---------------------------------|
| 120, 127 | 0,8 |
| 220, 230 | 0,4 |
| 380, 400 | 0,2 |
| > 400 | 0,1 |

Tableau 6-21 : temps de coupure maximaux dans le schéma *TN*

(*) ces valeurs ne sont pas valables dans les locaux contenant une baignoire ou une douche.

(**) ces valeurs sont basées sur la norme CEI 38

Nota 1 : si le temps de coupure est supérieur au temps t_0 , mais inférieur à 5 secondes la protection est admise par la C 15-100 (§ 413.1.3.5) dans les cas suivants :

- dans les circuits de distribution lorsque le conducteur de protection à l'extrémité aval du circuit est relié directement à la liaison équipotentielle principale.
- dans les circuits terminaux n'alimentant que des matériels fixes et dont le conducteur de protection est relié à la liaison équipotentielle principale et qui sont situés dans la zone d'influence de la liaison équipotentielle principale.

Nota 2 : en schéma TT , la protection est en général assurée par des dispositifs à courant différentiel résiduel dont le réglage doit satisfaire la condition suivante (voir NF C 15-100, § 413.1.4.2) :

$$R_A I_A \leq 50 V$$

R_A : résistance de la prise de terre des masses

I_A : courant différentiel résiduel assigné du disjoncteur

Si une sélectivité est jugée nécessaire, un temps de fonctionnement au plus égal à 1 s est admis dans les circuits de distribution sans tenir compte de la tension de contact.

Nota 3 : en schéma IT , lorsque les masses sont mises à la terre individuellement ou par groupes, les conditions du schéma TT indiquées en Nota 2 doivent être respectées (voir NF C 15-100, § 413.1.5.3)

■ protection par disjoncteur

La norme NF C 15-100 impose pour les schémas TN et IT que le seuil de déclenchement magnétique du disjoncteur soit inférieur au courant de court-circuit minimal. De plus, la temporisation éventuelle du disjoncteur doit être inférieure au temps de coupure maximal défini dans les tableaux 6-20 et 6-21.

Pour un disjoncteur et une section de conducteur donnés, il existe donc une longueur maximale du circuit à ne pas dépasser afin de respecter les contraintes concernant la protection des personnes contre les contacts indirects.

Dans ce qui suit, on applique la méthode conventionnelle pour déterminer les longueurs maximales des circuits. Celle-ci est plus pénalisante que la méthode des impédances, mais peut être appliquée en effectuant manuellement les calculs .

Dans la méthode conventionnelle, on néglige l'influence de la réactance des conducteurs pour des sections inférieures à 150mm².

Pour les fortes sections, on tiendra compte de l'influence de la réactance en divisant L_{\max} par :

- 1,15 pour une section de 150 mm²
- 1,20 pour une section de 185 mm²
- 1,25 pour une section de 240 mm²
- 1,30 pour une section de 300 mm².

Nota : pour les calculs du courant de court-circuit minimal, se reporter au "Guide des protections des réseaux industriels" § 4.4.1.

□ schéma *TN*

La longueur maximale d'un circuit en schéma *TN* est :

$$L_{\max} = \frac{0,8 \times V_n \times S_{ph}}{\rho \times (1 + m) \times I_m}$$

L_{\max} : longueur maximale en m

V_n : tension simple en volts

S_{ph} : section des phases en mm²

ρ : résistivité des conducteurs prise égale à 1,5 fois celle à 20°C ($\rho = 0,027 \Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$ pour le cuivre ;
 $\rho = 0,043 \Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$ pour l'aluminium)

$$m = \left(\frac{S_{ph} : \text{section des phases}}{S_{PE} : \text{section du conducteur de protection}} \right)$$

I_m : courant de fonctionnement du déclencheur magnétique du disjoncteur

□ schéma *IT*

La longueur maximale d'un circuit en schéma *IT* est :

- si le conducteur neutre n'est pas distribué :

$$L_{\max} = \frac{0,8 \times \sqrt{3} \times V_n \times S_{ph}}{2 \rho \times (1 + m) \times I_m}$$

- si le conducteur neutre est distribué :

$$L_{\max} = \frac{0,8 \times V_n \times S_1}{2 \rho \times (1 + m) \times I_m}$$

$$S_1 : \begin{cases} = S_{ph} & \text{si le départ considéré ne comporte pas de neutre} \\ = S_{neutre} & \text{si le départ considéré comporte un neutre} \end{cases}$$

□ schéma *TT*

Aucune condition sur la longueur de la canalisation n'est imposée car la protection des personnes est réalisée par le dispositif différentiel résiduel.

■ protection par fusible

A partir de la courbe de fusion du fusible, on détermine le courant I_a assurant la fusion du fusible dans le temps t_0 spécifié dans les tableaux 6-20 et 6-21 (voir fig. 6-10). On calcule alors la longueur maximale de la canalisation de la même façon que pour le disjoncteur en remplaçant I_m par I_a .

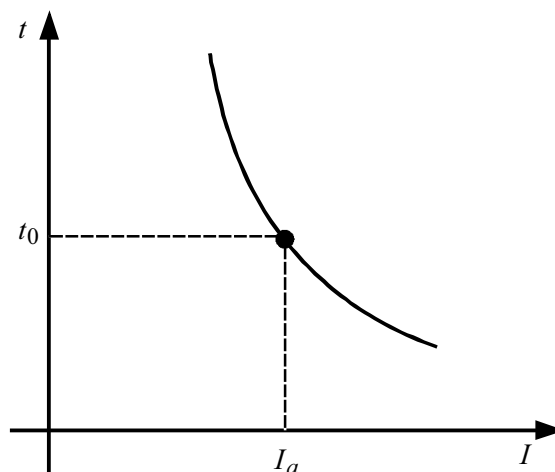


Figure 6-10 : courbe de fusion d'un fusible

■ application

En pratique, la vérification de la section de la canalisation par rapport à la protection des personnes contre les contacts indirects consiste à s'assurer que la longueur de la canalisation est inférieure à L_{\max} pour un schéma donné.

Si la longueur de la canalisation est supérieure à L_{\max} , on peut prendre les mesures suivantes :

- choisir un disjoncteur (ou un déclencheur) avec un seuil magnétique plus bas si les contraintes de sélectivité le permettent
- installer un disjoncteur différentiel résiduel pour les schémas *TNS* et *IT* (en *TNC*, il n'est pas possible d'utiliser des DDR)
- prendre des sections de conducteurs de phase et de protection plus importantes, vérifiant la condition sur la longueur maximale.

6.1.9. Vérification des contraintes thermiques des conducteurs

Lors du passage d'un courant de court-circuit dans les conducteurs d'une canalisation pendant un temps très court (jusqu'à cinq secondes), l'échauffement est considéré adiabatique ; cela signifie que l'énergie emmagasinée reste au niveau du métal de l'âme et n'est pas transmise à l'isolant. Il faut donc vérifier que la contrainte thermique du court-circuit est inférieure à la contrainte thermique admissible du conducteur :

$$t_c I_{cc}^2 \leq k^2 S^2$$

t_c : temps de coupure du dispositif de protection en seconde

S : section des conducteurs en mm²

I_{cc} : courant de court-circuit en A

La valeur de k dépend du matériau de l'âme et de la nature de l'isolant (voir tableau 6-22).

| Isolant | PVC | PR |
|------------|-----|-----|
| Ame | | |
| Cuivre | 115 | 135 |
| Aluminium | 74 | 87 |

Tableau 6-22 : valeur du coefficient k conformément à la norme NF C 15-100

Si le temps de coupure est donné, la section doit satisfaire la condition :

$$S \geq \frac{I_{cc}}{k} \times \sqrt{t_c}$$

■ protection par disjoncteur

La vérification doit être faite pour le courant de court-circuit maximal au niveau du disjoncteur considéré.

Les courbes des catalogues des constructeurs donnent le temps de coupure maximal du disjoncteur. Lorsque le déclenchement du disjoncteur est temporisé, le temps de coupure est pris égal à la temporisation.

Pour la vérification des contraintes thermiques, la valeur du courant de court-circuit doit être calculée avec une résistivité ρ des conducteurs prise égale à 1,5 fois celle à 20°C :

- $\rho = 0,027 \Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$ pour le cuivre
- $\rho = 0,043 \Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$ pour l'aluminium

□ cas des disjoncteurs limiteurs de courant

Lors d'un court-circuit, les disjoncteurs limiteurs ont la particularité de ne laisser passer qu'un courant inférieur au courant de défaut présumé (voir fig. 6-11).

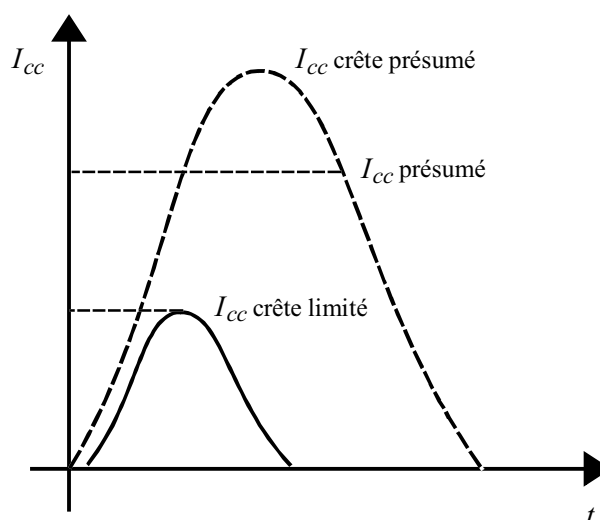


Figure 6-11 : courbe de limitation de courant

La canalisation protégée par ce type d'appareil ne subit donc pas la contrainte thermique de I_{cc} calculé (présumé), mais une contrainte plus faible définie par les courbes de limitation des constructeurs données pour chaque type de disjoncteur.

Les courbes de limitation fournissent la contrainte thermique $t_c I_{cc}^2$ exprimée en $\text{A}^2 \times \text{seconde}$.

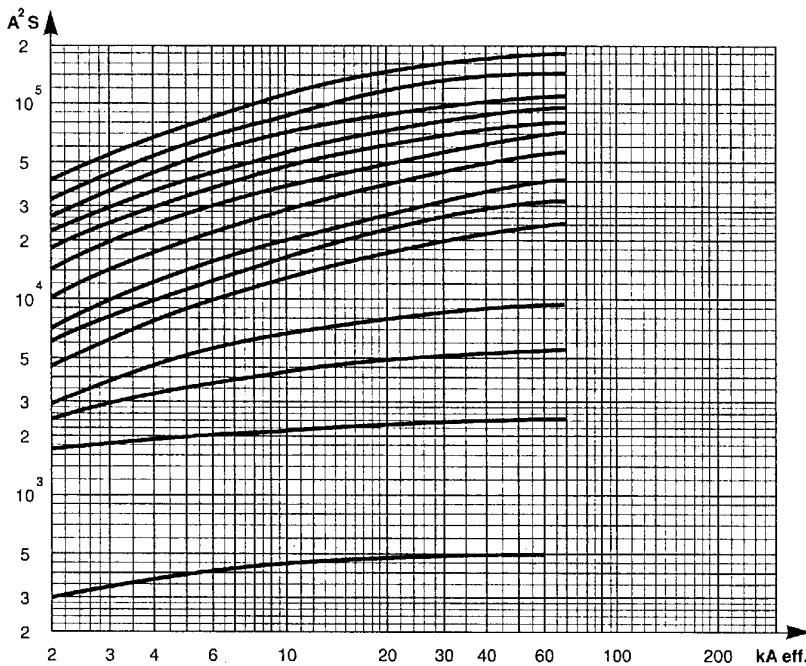
□ exemple

On désire vérifier la contrainte thermique d'un conducteur en cuivre de 6 mm² isolé au PVC protégé par un disjoncteur Compact NS 80H-MA 380/415 V équipé d'un relais thermique LR2-D33 63.

La contrainte thermique admissible par le câble est : $k^2 S^2 = (115)^2 \times 6^2 = 4,76 \times 10^5 A^2 \times s$.

Les courbes de limitation de la figure 6-12 donnent la contrainte thermique maximale du disjoncteur : $2 \times 10^5 A^2 \times s$.

Le câble est donc protégé jusqu'au pouvoir de coupure du disjoncteur.



| disjoncteur NS80H-MA | relais thermique |
|-------------------------|---------------------|
| cal. 80 A | LR2-D33 63 |
| cal. 80 A | LR2-D33 59 |
| cal. 50 A | LR2-D33 57 |
| cal. 50 A | LR2-D33 55 |
| cal. 50 A | LR2-D33 53 |
| cal. 25 A | LR2-D33 22 |
| cal. 25 A | LR2-D13 21 |
| cal. 12,5 A | LR2-D13 16 |
| cal. 12,5 A | LR2-D13 14 |
| cal. 12,5 A | LR2-D13 12 |
| cal. 6,3 A | LR2-D13 10 |
| cal. 6,3 A | LR2-D13 08 |
| cal. 2,5 A | LR2-D13 07 |
| cal. 2,5 A | LR2-D13 06 |

Les courbes sont dans l'ordre du tableau

Figure 6-12 : courbes de limitation en contrainte thermique des disjoncteurs Compact NS 80H-MA-380/415V

■ protection par fusible

Le courant le plus contraignant est le courant de court-circuit **minimal** à l'extrémité de la canalisation.

Le temps de fusion t_f du fusible correspondant à $I_{cc \min}$ doit vérifier la relation :

$$t_f I_{cc \min}^2 \leq k^2 S^2$$

La méthode pour calculer $I_{cc \min}$ est indiquée dans le paragraphe 4.4.1 du *Guide des protections*.

6.1.10. Exemple d'application

■ hypothèses

Considérons le schéma de la figure 6-13 dont les données sont indiquées ci-après.

L'installation alimentant des récepteurs nécessitant une bonne continuité de service, on choisit le schéma de liaison à la terre IT sans neutre distribué.

□ canalisation C2

Elle est constituée d'un câble tripolaire en cuivre isolé au PVC, en pose jointive avec 3 autres câbles multiconducteurs, sur des tablettes perforées dans une température ambiante de 40 °C. Elle est protégée par des fusibles. Elle alimente un récepteur dont les caractéristiques sont :

- puissance utile $P_u = 15 \text{ kW}$
- rendement $r = 0,89$
- $\cos \varphi = 0,85$
- facteur d'utilisation $b = 0,9$.

□ canalisation C1

Elle est constituée de 3 câbles unipolaires en cuivre isolés au PR, serrés en triangle. Les câbles sont enterrés seuls, sans protection mécanique complémentaire dans un sol de résistivité thermique 0,85 K.m/W et de température 35 °C. Ils sont protégés par un disjoncteur. La canalisation alimente le récepteur R_1 et 3 autres départs dont les valeurs des courants I_B sont données par la figure 6-13.

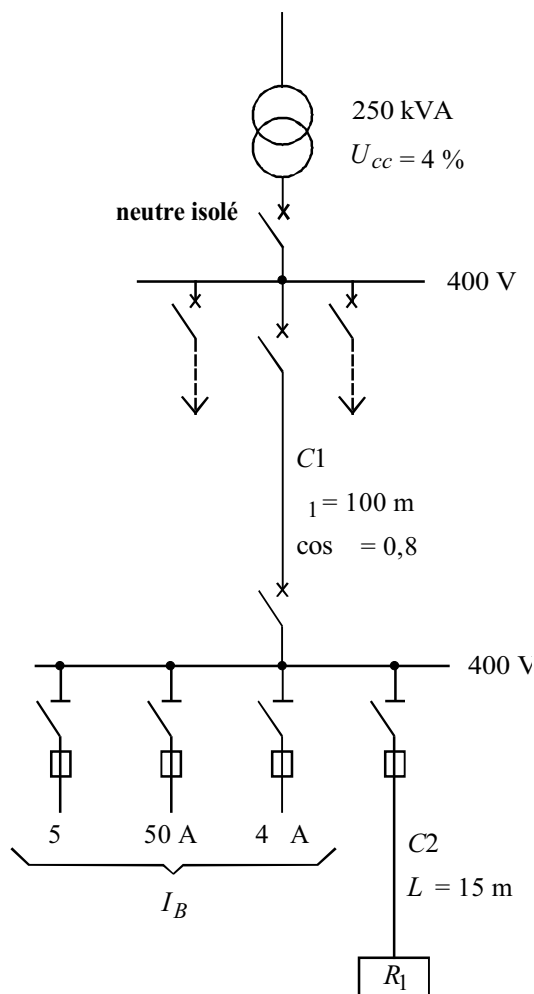


Figure 6-13 : schéma d'une installation

■ détermination du courant maximal d'emploi

□ canalisation C2

- $P_u = 15 \text{ kW}$
- le facteur $a = \frac{1}{r \cos \varphi} = 1,32$
- le facteur d'utilisation $b = 0,9$
- pour un seul récepteur le facteur de simultanéité est $c = 1$
- aucune extension n'est prévue, donc $d = 1$
- pour un réseau triphasé 400 V, le facteur de conversion des puissances en intensité est $e = 1,4$.

On a alors : $I_B = P_u \times a \times b \times c \times d \times e = 15 \times 1,32 \times 0,9 \times 1 \times 1 \times 1,4 = 24,9 \text{ A}$.

□ canalisation C1

Le courant maximal d'emploi de la canalisation C1 est obtenu en sommant les courants (I_B) de tous les départs alimentés par C1 et en appliquant un facteur de simultanéité estimé à 0,8 (voir tableau 6-2) :

$$I_B = (25 + 50 + 40 + 24,9) \times 0,8 = 115,9 \text{ A}$$

■ facteurs de correction

□ canalisation C2

Le tableau 6-3 donne le mode de pose N° 13 et la lettre de sélection E .

Les facteurs de correction à appliquer sont:

- température ambiante (voir tableau 6-6) : $f_1 = 0,87$
- groupement de câble (voir tableaux 6-9 et 6-10) : $f_4 = 0,77$ et $f_5 = 1$

Le facteur de correction global est :

$$f = 0,87 \times 0,77 \times 1 = 0,67$$

□ canalisation C1

Le tableau 6-3 donne le mode de pose N° 62 et la lettre de sélection D .

Les facteurs de correction à appliquer sont:

- température du sol (voir tableau 6-7) : $f_2 = 0,89$
- résistivité thermique du sol (voir tableau 6-8) : $f_3 = 1,05$
- groupement de câble (voir tableau 6-15) : $f_{10} = 1$

Le facteur de correction global est :

$$f = 0,89 \times 1,05 \times 1 = 0,935$$

■ détermination de la section et choix du dispositif de protection

□ canalisation C2

$$I_B = 24,9 \text{ A}$$

$$f = 0,67$$

Le courant nominal du fusible doit vérifier la condition $I_n \geq I_B$.

On choisit le fusible de calibre $I_n = 25 \text{ A}$.

Pour $10 \text{ A} < I_n \leq 25 \text{ A}$, le courant I_z de la canalisation protégée par ce fusible est :

$$I_z = k_3 I_n = 1,21 I_n = 30,3 \text{ A}$$

Le courant équivalent que la canalisation doit pouvoir véhiculer dans les conditions standards d'installation est : $I'_z = \frac{I_z}{f} = 45,1 \text{ A}$

Le tableau 6-16 (lettre de sélection E , PVC3, cuivre) donne une section minimale $S = 10 \text{ mm}^2$ qui a un courant admissible $I_0 = 60 \text{ A}$.

□ canalisation C1

$$I_B = 115,9 \text{ A}$$

$$f = 0,935$$

Pour un disjoncteur réglable, le courant de réglage doit vérifier la condition $I_r \geq I_B$; on choisit $I_r = 120 \text{ A}$.

Le courant I_z de la canalisation protégée par ce réglage est :

$$I_z = I_n = 120 \text{ A}$$

Le courant équivalent que la canalisation doit pouvoir véhiculer dans les conditions standards d'installation est : $I'_z = \frac{I_z}{f} = 128,3 \text{ A}$

Le tableau 6-17 (lettre de sélection D , PR3, cuivre) donne une section minimale $S = 25 \text{ mm}^2$ qui a un courant admissible $I_0 = 144 \text{ A}$.

■ longueur maximale de la canalisation

□ canalisation C2

Pour $S_{ph} = 10 \text{ mm}^2$, on a $S_{PE} = S_{ph} = 10 \text{ mm}^2$

$$\text{d'où } m = \frac{S_{ph}}{S_{PE}} = 1$$

Le tableau 6-20 donne un temps de coupure maximal $t = 0,4 \text{ s}$ pour un réseau à neutre non distribué.

La caractéristique temps-courant du fusible de calibre 25 A nous donne un courant $I_a = 200 \text{ A}$ pour un temps de coupure de $0,4 \text{ s}$.

Le neutre n'est pas distribué, on a donc :

$$L_{\max} = \frac{0,8 \times \sqrt{3} \times V_n \times S_{ph}}{2 \rho (1 + m) I_a} = \frac{0,8 \times \sqrt{3} \times 230 \times 10}{2 \times 0,027 \times 2 \times 200} = 147,5 \text{ m}$$

La longueur de la canalisation C2 (15 m) est très inférieure à L_{\max} , la protection des personnes contre les contacts indirects est donc assurée.

□ canalisation C1

Pour $16 \text{ mm}^2 < S \leq 35 \text{ mm}^2$, on a $S_{PE} = 16 \text{ mm}^2$

$$\text{d'où } m = \frac{S_{ph}}{S_{PE}} = \frac{25}{16} = 1,56$$

Le disjoncteur choisi est un Compact NS 125E avec un déclencheur STR 22SE dont le seuil magnétique de déclenchement est réglé à $I_m = 1\,250 \text{ A}$ pour des raisons de sélectivité.

Le neutre n'est pas distribué, on a donc :

$$L_{\max} = \frac{0,8 \times \sqrt{3} \times V_n \times S_{ph}}{2 \rho (1 + m) I_m} = \frac{0,8 \times \sqrt{3} \times 230 \times 25}{2 \times 0,027 \times 2,56 \times 1\,250} = 46,1 \text{ m}$$

La longueur de la canalisation C1 (100 m) est supérieure à L_{\max} .

En prenant des sections supérieures $S_{ph} = 35 \text{ mm}^2$ et $S_{PE} = 35 \text{ mm}^2$ ($m=1$), on trouve $L_{\max} = 82,6 \text{ m} < 100 \text{ m}$; ce qui n'est pas suffisant.

Afin de ne pas surdimensionner les conducteurs, on décide d'équiper le départ d'un dispositif différentiel résiduel qui assure la protection des personnes contre les contacts indirects.

■ vérification de la chute de tension

□ canalisation C2

$$S = 10 \text{ mm}^2, \quad L = 15 \text{ m}, \quad I_B = 24,9 \text{ A}$$

Le câble est tripolaire, on a donc $\lambda = 0,08 \times 10^{-3} \Omega / m$.

Le facteur de puissance est $\cos\varphi = 0,85$, d'où $\sin\varphi = 0,53$.

$$\text{On en déduit } \Delta V = \left(0,0225 \times \frac{15}{10} \times 0,85 + 0,08 \times 10^{-3} \times 15 \times 0,53 \right) \times 24,9$$

$$\Delta V = 0,73 \text{ V}$$

$$\text{d'où } \frac{\Delta V}{V_n} = \frac{0,73}{230} = 0,3 \%$$

La chute de tension totale est 4,2 % (la chute de tension dans la canalisation C1 est 3,9 %, voir ci-dessous). Elle est inférieure à la chute de tension admissible (5%) indiquée dans le tableau 6-19.

□ canalisation C1

$$S = 25 \text{ mm}^2, \quad L = 100 \text{ m}, \quad I_B = 115,9 \text{ A}$$

Les 3 câbles unipolaires sont serrés en triangle, on a donc :

$$\lambda = 0,09 \times 10^{-3} \Omega / m$$

Le facteur de puissance global de l'installation est $\cos\varphi = 0,8$, d'où $\sin\varphi = 0,6$.

Pour un circuit triphasé $b = 1$.

Pour le cuivre $\rho_1 = 0,0225 \Omega \text{ mm}^2 / m$.

$$\text{On en déduit } \Delta V = \left(0,0225 \times \frac{100}{25} \times 0,8 + 0,09 \times 10^{-3} \times 100 \times 0,6 \right) \times 115,9$$

$$\Delta V = 8,97 \text{ V}$$

$$\text{d'où } \frac{\Delta V}{V_n} = \frac{8,97}{230} = 3,9 \%$$

■ vérification de la contrainte thermique

□ canalisation C2

Pour une protection par fusible, le courant à prendre en compte est le courant de court-circuit minimal à l'extrémité de la canalisation. Pour le schéma *IT*, c'est le courant de court-circuit pour un double défaut phase-terre.

En appliquant la méthode conventionnelle (voir § 4.4.1.2 du *Guide des protections*), on calcule :

$$I_{cc \min} = \frac{\sqrt{3} \times V_n \times 0,8}{2 L_2 \rho \left(\frac{1}{S_{ph}} + \frac{1}{S_{PE}} \right)} = \frac{\sqrt{3} \times 230 \times 0,8}{2 \times 15 \times 0,027 \left(\frac{1}{10} + \frac{1}{10} \right)} = 1,97 \text{ kA}$$

La caractéristique temps-courant du fusible de 25 A nous donne un temps de fusion $t_f = 5 \text{ ms}$ pour un courant de 1,97 kA.

La contrainte thermique maximale est donc :

$$I_{cc \min}^2 \times t = \left(1,97 \times 10^3 \right)^2 \times 5 \times 10^{-3} = 19,4 \times 10^3 \text{ A}^2 \times \text{s}$$

La contrainte thermique admissible par le câble est : $k^2 S^2 = (115)^2 \times 10^2 = 1322 \times 10^3 \text{ A}^2 \times \text{s}$.

La section $S = 10 \text{ mm}^2$ supporte donc largement la contrainte thermique du fusible.

□ canalisation C1

Le courant de court-circuit maximal au niveau du disjoncteur (en négligeant la liaison reliant le disjoncteur au transformateur) est :

$$I_{cc} = \frac{S_n}{\sqrt{3} U_n} \times \frac{1}{U_{cc}} = \frac{250 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400} \times \frac{100}{4} = 9,02 \text{ kA}$$

On suppose que le déclencheur du disjoncteur est temporisé à 0,1 seconde, la contrainte thermique maximale du court-circuit est alors :

$$I_{cc}^2 t = \left(9,02 \times 10^3 \right)^2 \times 0,1 = 8,14 \times 10^6 \text{ A}^2 \times \text{s}$$

La contrainte thermique admissible par le câble est : $k^2 \times S^2 = 143^2 \times 25^2 = 12,78 \times 10^6 \text{ A}^2 \times \text{s}$

La section $S = 25 \text{ mm}^2$ supporte donc la contrainte thermique du disjoncteur.

■ conclusion

Les sections à retenir sont :

- canalisation C1 : $3 \times 35 \text{ mm}^2 + 1 \times 16 \text{ mm}^2$ cuivre
- canalisation C2 : $3 \times 10 \text{ mm}^2 + 1 \times 10 \text{ mm}^2$ cuivre

6.2. Détermination des sections de conducteurs en moyenne tension (suivant la norme NF C 13-205)

6.2.1. Principe de la méthode

La méthode de détermination de la section des conducteurs en moyenne tension consiste à :

- déterminer le courant maximal d'emploi I_B des récepteurs à alimenter
- déterminer la section S_1 satisfaisant l'échauffement de l'âme du câble en régime de fonctionnement normal, qui peut être permanent ou discontinu. Cette étape nécessite la connaissance :
 - . des conditions d'installation réelles de la canalisation, par conséquent du facteur de correction global f
 - . des valeurs des courants admissibles des différents types de câble dans les conditions standards d'installation.
- déterminer la section S_2 nécessaire à la tenue thermique du câble en cas de court-circuit triphasé
- déterminer la section S_3 nécessaire à la tenue thermique de l'écran du câble en cas de court-circuit à la terre
- vérifier éventuellement la chute de tension dans la canalisation pour la section S retenue. La section technique S à retenir est la valeur maximale parmi les sections S_1 , S_2 et S_3 .
- éventuellement, calculer et choisir la section économique.

6.2.2. Détermination du courant maximal d'emploi

Le courant maximal d'emploi I_B est déterminé sur la base de la somme des puissances des récepteurs alimentés, en appliquant si nécessaire des coefficients d'utilisation et de simultanéité (voir § 6.1.2.).

En moyenne tension, une canalisation alimente le plus souvent un seul récepteur (transformateur, moteur, four, chaudière), dans ce cas I_B est pris égal au courant assigné de l'appareil.

6.2.3. Courants admissibles dans les canalisations

■ règles générales

C'est le courant maximal que la canalisation peut véhiculer en permanence sans préjudice pour sa durée de vie.

Les courants admissibles dans les câbles sont donnés dans les normes ou par les constructeurs pour des conditions standards d'installation.

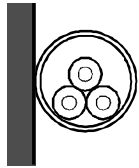
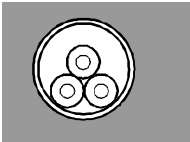
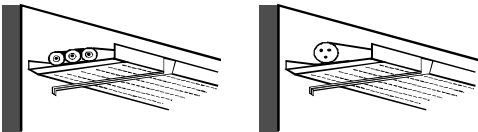
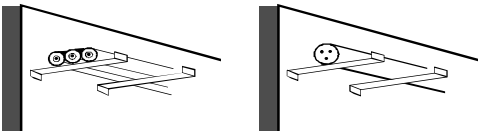
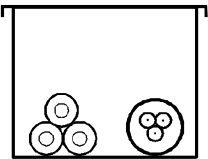
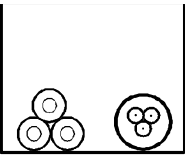
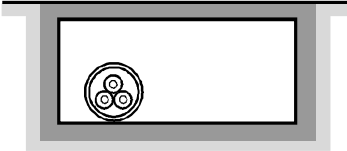
Pour déterminer le courant admissible par une canalisation dans les conditions réelles d'installation, il faut procéder de la façon suivante :

- à l'aide du tableau 6-23, définir le mode de pose et son numéro de colonne des tableaux associé
- à partir des conditions d'installation et d'ambiance, déterminer les valeurs des facteurs de correction qui doivent être appliqués (voir tableaux 6-24 à 6-28)
- calculer le facteur de correction global f égal au produit des facteurs de correction
- à l'aide du tableau 6-29 pour les câbles isolés au papier imprégné et des tableaux 6-30 à 6-34 pour les câbles avec isolant synthétique, déterminer le courant maximal I_0 admissible par la canalisation dans les conditions standards (f_0 à $f_6 = 1$)
- calculer le courant maximal admissible par la canalisation en fonction de ses conditions d'installation : $I_a = f I_0$.

■ modes de pose

Le tableau 6-23 indique, pour chaque mode de pose, la colonne des tableaux des courants admissibles à utiliser pour le choix de la section des conducteurs (voir tableaux 6-29 à 6-34).

Le facteur f_0 correspond au mode de pose ; les facteurs f_1 à f_6 sont explicités ci-après (voir tableaux 6-24 à 6-28).

| Modes de pose | Exemple | Colonne des tableaux | Facteurs de correction | | |
|--|--|----------------------|------------------------|-------------|-------|
| | | | f_0 | à appliquer | |
| A Conduits en montage apparent |  | (3) | 0,90 | f_1 | f_5 |
| B Conduits en montage encastré |  | (3) | 0,90 | f_1 | f_5 |
| F Pose sur chemins de câbles ou tablettes |  | (3) | 1 | f_1 | f_5 |
| G Pose sur corbeaux ou sur échelles à câbles |  | (3) | 1 | f_1 | f_6 |
| H Goulottes (fermées) |  | (3) | 0,90 | f_1 | f_5 |
| J Gouttières (goulottes ouvertes) |  | (3) | 1 | f_1 | f_6 |
| L1 Conduits dans caniveaux ouverts ou ventilés |  | (3) | 0,80 | f_1 | f_5 |

| Modes de pose | Exemple | Colonne des tableaux | | Facteurs de correction à appliquer | | | |
|---|---------|----------------------|----------|------------------------------------|-------|-------|-------|
| | | | | f_0 | | | |
| L3 Pose directe dans caniveaux ouverts ou ventilés | | (3) | 0,90 | f_1 | -- | f_5 | |
| L4 Pose directe dans caniveaux fermés | | (3) | 0,80 | f_1 | -- | f_5 | |
| L5 Pose directe dans des caniveaux remplis de sable | | (3) | 0,80 | f_1 | -- | f_5 | |
| N Alvéoles | | (3) | 0,90 | f_1 | -- | f_5 | |
| P Blocs manufacturés | | (3) | 0,90 | f_1 | -- | f_5 | |
| S1 Enterré directement (câbles armés) | | P (1) | D (2) | 1 | f_2 | f_3 | f_4 |
| S2 Enterré avec protection mécanique | | (1) | (2) | 1 | f_2 | f_3 | f_4 |

P : régime permanent

D : régime discontinu

| Modes de pose | Exemple | Colonne des tableaux | | Facteurs de correction | | | |
|---|---------|----------------------|----------|------------------------|-------------|-------|-------|
| | | | | f_0 | à appliquer | | |
| S3 Enterré dans des fourreaux | | P (1) | D (2) | 0,8 | f_2 | f_3 | f_4 |
| S4 Câbles posés en trèfle sur caniveau préfabriqué, enterré directement dans le sol avec, éventuellement, apport de remblai contrôlé | | (1) | (2) | 0,8 | f_2 | f_3 | f_4 |
| S5 Câbles unipolaires posés en caniveaux individuels, enterrés directement dans le sol avec, éventuellement, apport de remblai contrôlé | | (1) | (2) | 0,8 | f_2 | f_3 | f_4 |
| S6 Câbles unipolaires posés en nappe espacée dans un caniveau préfabriqué, enterré directement dans le sol avec, éventuellement, apport de remblai contrôlé | | (1) | (2) | 0,8 | f_2 | f_3 | f_4 |
| V Lignes aériennes | | (3) | | 1,1 | f | -- | |

P :
D :

Tableau 6-23 : modes de pose

■ (câbles) f_1 °C

| Température | Nature de l'isolant | |
|-------------|---------------------|------|
| | PVC PE | EPR |
| 10 | 1,22 | 1,15 |
| 15 | 1,17 | 1,12 |
| 20 | 1,12 | 1,08 |
| 25 | 1,06 | 1,04 |
| 30 | 1,00 | 1,00 |
| 35 | 0,94 | 0,96 |
| 40 | 0,87 | 0,91 |
| 45 | 0,79 | 0,87 |
| 50 | 0,71 | 0,82 |
| 55 | 0,61 | 0,76 |

Tableau 6-24 : facteurs de correction pour des températures ambiantes différentes de 30 °C
(câbles posés dans l'air)

■ (câbles) : 2

°C

| °C | Nature de l'isolant | |
|----|---------------------|------|
| | PE | PR |
| 0 | 1,18 | 1,13 |
| 5 | 1,14 | 1,10 |
| 10 | 1,10 | 1,07 |
| 15 | 1,05 | 1,04 |
| 20 | 1,00 | 1,00 |
| 25 | 0,95 | 0,96 |
| 30 | 0,89 | 0,93 |
| 35 | 0,84 | 0,89 |
| 40 | 0,77 | 0,85 |
| 45 | 0,71 | 0,80 |
| 50 | 0,63 | 0,76 |
| 60 | 0,45 | 0,65 |
| 65 | - | 0,60 |
| 70 | - | 0,53 |
| 75 | - | 0,46 |
| 80 | - | 0,38 |

Tableau 6-25 : facteurs de correction pour des températures du sol différentes de 20 °C (câbles enterrés)

■ **facteurs de correction pour des résistivités thermiques du sol différentes de 1 K.m/W**
(câbles enterrés) : f

| Résistivité du sol (K.m/W) | Humidité | Nature du terrain | | | Ensemble de trois câbles unipolaires | Câbles tripolaires | |
|----------------------------|---------------------|-------------------|---------------------|------|--------------------------------------|--------------------|------|
| 0,5 | Terrain très humide | Sable | | | 1,25 | 1,20 | |
| 0,7 | Terrain humide | | | | Argile et Calcaire | 1,14 | 1,10 |
| 0,85 | Terrain dit normal | | | | | 1,06 | 1,05 |
| 1 | Terrain sec | | Cendres et Mâchefer | 1,00 | 1,00 | | |
| 1,2 | Terrain très sec | | | 0,93 | 0,95 | | |
| 1,5 | | | | 0,85 | 0,88 | | |
| 2 | | | 0,75 | 0,79 | | | |
| 2,5 | | | 0,68 | 0,72 | | | |
| 3 | | | 0,62 | 0,68 | | | |

Tableau 6-26 : facteurs de correction pour des résistivités thermiques du sol différentes de 1 K.m/W (câbles enterrés)

■ **facteurs de correction pour groupement de plusieurs canalisations** (câbles enterrés) : f_4

| Nombre de circuits | Distance entre câbles "a" (*) | | | | |
|--------------------|-------------------------------|----------------------|---------|--------|-------|
| | Nulle (câbles jointifs) | Un diamètre de câble | 0,125 m | 0,25 m | 0,5 m |
| 2 | 0,75 | 0,80 | 0,85 | 0,90 | 0,90 |
| 3 | 0,65 | 0,70 | 0,75 | 0,80 | 0,85 |
| 4 | 0,60 | 0,60 | 0,70 | 0,75 | 0,80 |
| 5 | 0,55 | 0,55 | 0,65 | 0,70 | 0,80 |
| 6 | 0,50 | 0,55 | 0,60 | 0,70 | 0,80 |

câbles unipolaires

câbles tripolaires

(*) détermination de la distance "a" dans le cas de câbles unipolaires posés en nappe ou en trèfle et de câbles tripolaires.

Tableau 6-27 : facteurs de correction pour groupement de plusieurs canalisations (câbles enterrés)

- **facteurs de correction pour groupement de plusieurs circuits ou de plusieurs câbles** (câbles posés dans l'air et à l'abri du rayonnement solaire direct) : f_5, f_6

| Modes de pose | Disposition | Nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs | | | | |
|---------------|--|--|------|------|------|------|
| | | 2 | 3 | 4 | 6 | > 9 |
| f_5 | Sur tablettes horizontales non perforées | 0,85 | 0,80 | 0,75 | 0,70 | 0,70 |
| f_6 | Sur tablettes horizontales perforées ou sur corbeaux..... | 0,90 | 0,80 | 0,80 | 0,75 | 0,75 |

Tableau 6-28 : facteurs de correction pour groupement de plusieurs circuits ou de plusieurs câbles (câbles posés dans l'air et à l'abri du rayonnement solaire direct)

- **valeurs des courants admissibles dans les câbles, dans les conditions standards d'installation** (f_0 à $f_6 = 1$)

Les références (1), (2) et (3) des tableaux 6-29 à 6-34 correspondent aux numéros de colonne indiqués dans le tableau 6-23.

□ câbles isolés au papier imprégné

Les câbles isolés au papier imprégné ne sont plus fabriqués depuis plusieurs années. Toutefois, pour des besoins de calcul sur des installations existantes, les courants admissibles peuvent être calculés avec une approximation de $\pm 5\%$ à l'aide de la formule suivante:

$$I = 10^B \times S^A$$

I : intensité admissible, en A

S : section nominale du câble, en mm^2

A et B : sont des coefficients donnés pour chaque type de câbles (voir tableau 6-29)

| Canalisations | Colonnes | Cuivre | | Aluminium | |
|---|----------|--------|-------|-----------|-------|
| | | A | B | A | B |
| Câbles tripolaires à champ non radial | (1) | 0,540 | 1,446 | 0,549 | 1,321 |
| | (2) | 0,543 | 1,492 | 0,544 | 1,386 |
| | (3) | 0,588 | 1,371 | 0,598 | 1,293 |
| 3 câbles unipolaires | (1) | 0,556 | 1,269 | 0,571 | 1,130 |
| | (2) | 0,567 | 1,286 | 0,573 | 1,179 |
| | (3) | 0,587 | 1,196 | 0,605 | 1,064 |
| Câbles tripolaires à champ radial | (1) | 0,581 | 1,215 | 0,594 | 1,089 |
| | (2) | 0,573 | 1,264 | 0,578 | 1,155 |
| | (3) | 0,600 | 1,117 | 0,608 | 1,004 |

Tableau 6-29 : valeurs des coefficients A et B pour les câbles isolés au papier imprégné

□ câbles avec isolant synthétique

La méthode détaillée de calcul des courants admissibles dans les câbles en régime permanent est présentée dans la publication 287 de la CEI.

Les valeurs des courants admissibles sont données dans les tableaux 6-30 à 6-34, suivant le type de conducteur, la nature de l'isolant et la tension assignée.

La tension assignée, pour laquelle un câble est conçu, s'exprime par un ensemble de trois valeurs, en kV, sous la forme $U_0 / U (U_m)$, avec :

- U_0 : tension entre l'âme d'un conducteur et un potentiel de référence (écran ou terre)
- U : tension entre les âmes de deux conducteurs de phase
- U_m : tension maximale qui peut apparaître entre les phases du réseau dans les conditions normales d'exploitation

L'expression de la tension assignée diffère selon que le câble est du type à champ radial ou non (voir fig. 4-12 et 4-13 du *Guide des protections*). Pour un câble à champ radial, U_0 est différent de U , les deux valeurs étant en général dans le rapport $\sqrt{3}$.

Par contre, du fait de sa constitution, un câble à ceinture (champ non radial) présente un niveau d'isolement équivalent entre deux phases et entre une phase et l'écran. Il en résulte que U_0 et U ont des valeurs identiques.

| Isolé PVC | | | Section nominale (mm ²)* | Isolé EPR ou PR | | |
|-----------|-----|-----|--------------------------------------|-----------------|-----|-----|
| (1) | (2) | (3) | | Cuivre | (1) | (2) |
| 72 | 78 | 62 | 10 | 86 | 94 | 78 |
| 94 | 100 | 81 | 16 | 110 | 120 | 100 |
| 120 | 130 | 105 | 25 | 145 | 155 | 130 |
| 145 | 160 | 130 | 35 | 170 | 190 | 165 |
| 185 | 205 | 165 | 50 | 215 | 240 | 205 |
| 225 | 250 | 205 | 70 | 260 | 295 | 255 |
| 270 | 300 | 250 | 95 | 315 | 355 | 310 |
| 310 | 345 | 290 | 120 | 360 | 405 | 360 |
| 345 | 390 | 330 | 150 | 405 | 455 | 410 |
| 385 | 430 | 370 | 185 | 450 | 505 | 460 |
| 445 | 500 | 440 | 240 | 525 | 590 | 550 |
| (1) | (2) | (3) | Aluminium | (1) | (2) | (3) |
| 56 | 61 | 48 | 10 | 67 | 73 | 60 |
| 72 | 79 | 62 | 16 | 86 | 94 | 79 |
| 94 | 100 | 82 | 25 | 110 | 120 | 105 |
| 115 | 125 | 100 | 35 | 135 | 145 | 125 |
| 145 | 160 | 130 | 50 | 165 | 185 | 160 |
| 175 | 195 | 160 | 70 | 205 | 230 | 195 |
| 210 | 235 | 195 | 95 | 245 | 275 | 240 |
| 240 | 270 | 225 | 120 | 280 | 315 | 280 |
| 270 | 300 | 255 | 150 | 315 | 355 | 320 |
| 300 | 335 | 285 | 185 | 350 | 395 | 360 |
| 350 | 390 | 345 | 240 | 410 | 460 | 430 |

(*) A partir de 50 mm², les valeurs sont calculés pour des câbles à âme sectorale

Tableau 6-30 : courants admissibles dans les câbles tripolaires à champ non radial de tension assignée inférieure ou égale à 6/6 (7,2) kV

| Section nominale (mm ²) | Isolé PVC | | | Isolé PE* | | | Isolé EPR ou PR | | |
|-------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|
| | Cuivre | (1) | (2) | (3) | (1) | (2) | (3) | (1) | (2) |
| 10 | 80 | 89 | 71 | 86 | 97 | 76 | 99 | 110 | 93 |
| 16 | 105 | 115 | 95 | 110 | 125 | 100 | 125 | 145 | 120 |
| 25 | 135 | 150 | 125 | 140 | 160 | 130 | 165 | 185 | 160 |
| 35 | 160 | 180 | 150 | 170 | 195 | 160 | 195 | 225 | 200 |
| 50 | 190 | 215 | 180 | 200 | 230 | 190 | 230 | 265 | 235 |
| 70 | 235 | 265 | 230 | 245 | 285 | 240 | 285 | 325 | 295 |
| 95 | 285 | 320 | 280 | 295 | 340 | 295 | 340 | 390 | 360 |
| 120 | 320 | 365 | 320 | 335 | 385 | 340 | 385 | 445 | 420 |
| 150 | 360 | 410 | 370 | 375 | 435 | 385 | 430 | 500 | 475 |
| 185 | 410 | 470 | 425 | 425 | 490 | 445 | 485 | 560 | 550 |
| 240 | 475 | 540 | 500 | 490 | 570 | 530 | 560 | 650 | 650 |
| 300 | 540 | 610 | 580 | 550 | 640 | 600 | 630 | 730 | 740 |
| 400 | 610 | 700 | 670 | 600 | 690 | 700 | 720 | 840 | 860 |
| 500 | 680 | 780 | 760 | 700 | 810 | 790 | 800 | 940 | 990 |
| 630 | 770 | 880 | 870 | 790 | 920 | 920 | 910 | 1 060 | 1 140 |
| 800 | 850 | 980 | 990 | 870 | 1 010 | 1 040 | 1 000 | 1 170 | 1 300 |
| 1 000 | 930 | 1 070 | 1 110 | 950 | 1 100 | 1 160 | 1 100 | 1 270 | 1 450 |
| 1 200 | 980 | 1 130 | 1 210 | 1 000 | 1 160 | 1 260 | 1 160 | 1 350 | 1 570 |
| 1 400 | 1 030 | 1 190 | 1 290 | 1 050 | 1 220 | 1 350 | 1 220 | 1 420 | 1 680 |
| 1 600 | 1 080 | 1 250 | 1 360 | 1 100 | 1 280 | 1 420 | 1 280 | 1 480 | 1 770 |
| Aluminium | (1) | (2) | (3) | (1) | (2) | (3) | (1) | (2) | (3) |
| 10 | 62 | 69 | 55 | 67 | 76 | 59 | 77 | 87 | 72 |
| 16 | 80 | 89 | 73 | 86 | 97 | 78 | 98 | 110 | 95 |
| 25 | 105 | 115 | 96 | 110 | 125 | 100 | 125 | 145 | 125 |
| 35 | 125 | 140 | 115 | 130 | 150 | 125 | 150 | 175 | 150 |
| 50 | 150 | 170 | 140 | 160 | 180 | 150 | 180 | 205 | 185 |
| 70 | 180 | 205 | 175 | 190 | 220 | 185 | 220 | 250 | 230 |
| 95 | 220 | 250 | 215 | 230 | 265 | 230 | 260 | 300 | 280 |
| 120 | 250 | 285 | 250 | 260 | 300 | 265 | 300 | 345 | 325 |
| 150 | 280 | 320 | 285 | 290 | 335 | 300 | 335 | 385 | 370 |
| 185 | 320 | 365 | 330 | 330 | 380 | 345 | 380 | 440 | 425 |
| 240 | 370 | 425 | 390 | 385 | 445 | 410 | 440 | 510 | 510 |
| 300 | 420 | 485 | 455 | 435 | 500 | 470 | 500 | 580 | 580 |
| 400 | 480 | 550 | 530 | 495 | 580 | 550 | 570 | 660 | 680 |
| 500 | 540 | 630 | 610 | 560 | 650 | 640 | 640 | 750 | 790 |
| 630 | 620 | 720 | 710 | 640 | 750 | 750 | 740 | 860 | 920 |
| 800 | 700 | 810 | 820 | 720 | 840 | 860 | 830 | 970 | 1 070 |
| 1 000 | 780 | 900 | 940 | 800 | 930 | 980 | 920 | 1 070 | 1 220 |
| 1 200 | 840 | 970 | 1 030 | 860 | 1 000 | 1 080 | 990 | 1 150 | 1 340 |
| 1 400 | 890 | 1 030 | 1 110 | 910 | 1 060 | 1 160 | 1 050 | 1 230 | 1 450 |
| 1 600 | 940 | 1 080 | 1 180 | 950 | 1 110 | 1 230 | 1 100 | 1 290 | 1 530 |

(*) Pour les câbles dont l'isolation est en polyéthylène haute densité (PEHD), les valeurs sont à multiplier par :
1,05 pour les colonnes (1) et (2)
1,06 pour la colonne (3)

Tableau 6-31 : courants admissibles dans les câbles constitués par trois câbles unipolaires de tension assignée inférieure ou égale à 6/10 (12) kV

| Isolé PE* | | | Section nominale (mm ²) | Isolé EPR ou PR | | |
|-----------|-------|-------|-------------------------------------|-----------------|-------|-------|
| (1) | (2) | (3)* | | Cuivre | (1) | (2) |
| 110 | 125 | 105 | 16 | 125 | 140 | 130 |
| 140 | 160 | 135 | 25 | 165 | 185 | 170 |
| 170 | 195 | 165 | 35 | 195 | 220 | 200 |
| 200 | 230 | 200 | 50 | 230 | 260 | 245 |
| 250 | 280 | 250 | 70 | 280 | 320 | 305 |
| 295 | 335 | 300 | 95 | 335 | 385 | 375 |
| 335 | 385 | 350 | 120 | 385 | 440 | 425 |
| 375 | 430 | 395 | 150 | 430 | 495 | 485 |
| 425 | 490 | 455 | 185 | 490 | 560 | 560 |
| 490 | 560 | 530 | 240 | 560 | 650 | 660 |
| 550 | 640 | 610 | 300 | 640 | 730 | 750 |
| 630 | 720 | 710 | 400 | 720 | 830 | 870 |
| 700 | 810 | 810 | 500 | 810 | 940 | 1 000 |
| 790 | 920 | 930 | 630 | 910 | 1 060 | 1 150 |
| 870 | 1 010 | 1 050 | 800 | 1 010 | 1 170 | 1 300 |
| 960 | 1 100 | 1 180 | 1 000 | 1 110 | 1 280 | 1 470 |
| 1 010 | 1 170 | 1 270 | 1 200 | 1 180 | 1 360 | 1 590 |
| 1 070 | 1 240 | 1 360 | 1 400 | 1 240 | 1 440 | 1 700 |
| 1 110 | 1 290 | 1 430 | 1 600 | 1 290 | 1 500 | 1 790 |
| (1) | (2) | (3) | Aluminium | (1) | (2) | (3) |
| 86 | 96 | 81 | 16 | 98 | 110 | 99 |
| 110 | 125 | 105 | 25 | 125 | 140 | 130 |
| 130 | 150 | 130 | 35 | 150 | 170 | 160 |
| 155 | 180 | 155 | 50 | 180 | 205 | 190 |
| 190 | 220 | 190 | 70 | 220 | 250 | 235 |
| 230 | 260 | 235 | 95 | 260 | 300 | 290 |
| 260 | 300 | 270 | 120 | 300 | 340 | 330 |
| 290 | 335 | 305 | 150 | 335 | 385 | 375 |
| 330 | 380 | 355 | 185 | 380 | 435 | 430 |
| 385 | 445 | 420 | 240 | 440 | 510 | 510 |
| 435 | 500 | 480 | 300 | 500 | 570 | 590 |
| 495 | 570 | 560 | 400 | 570 | 660 | 680 |
| 560 | 650 | 650 | 500 | 640 | 740 | 790 |
| 640 | 740 | 750 | 630 | 740 | 850 | 930 |
| 720 | 830 | 860 | 800 | 830 | 960 | 1 060 |
| 800 | 930 | 990 | 1 000 | 930 | 1 070 | 1 230 |
| 860 | 1 000 | 1 090 | 1 200 | 1 000 | 1 160 | 1 350 |
| 920 | 1 060 | 1 170 | 1 400 | 1 060 | 1 230 | 1 450 |
| 960 | 1 110 | 1 240 | 1 600 | 1 110 | 1 290 | 1 540 |

(*) Pour les câbles dont l'isolation est en polyéthylène haute densité (PEHD), les valeurs sont à multiplier par:
1,05 pour les colonnes (1) et (2)
1,06 pour la colonne (3)

Tableau 6-32 : courants admissibles dans les câbles constitués par trois câbles unipolaires de tension assignée supérieure à 6/6 (7,2) kV et inférieure ou égale à 18/30 (36) kV

| Section nominale (mm ²) | Isolé PVC | | | Isolé PE* | | | Isolé EPR ou PR | | |
|--|-----------|-----|-----|-----------|-----|-----|-----------------|-----|-----|
| | Cuivre | (1) | (2) | (3) | (1) | (2) | (3) | (1) | (2) |
| 10 | 80 | 87 | 71 | 85 | 94 | 75 | 97 | 110 | 92 |
| 16 | 100 | 115 | 90 | 110 | 120 | 98 | 125 | 140 | 120 |
| 25 | 130 | 145 | 120 | 140 | 155 | 125 | 160 | 180 | 155 |
| 35 | 160 | 175 | 145 | 165 | 190 | 155 | 190 | 215 | 190 |
| 50 | 185 | 205 | 175 | 195 | 220 | 185 | 225 | 250 | 225 |
| 70 | 230 | 255 | 215 | 240 | 270 | 230 | 275 | 310 | 280 |
| 95 | 275 | 305 | 260 | 285 | 320 | 275 | 330 | 370 | 340 |
| 120 | 310 | 345 | 300 | 325 | 365 | 315 | 370 | 420 | 385 |
| 150 | 345 | 385 | 340 | 365 | 415 | 365 | 420 | 475 | 445 |
| 185 | 390 | 435 | 385 | 410 | 465 | 410 | 470 | 535 | 510 |
| 240 | 450 | 500 | 450 | 475 | 530 | 485 | 540 | 610 | 590 |
| 300 | 500 | 560 | 520 | 530 | 605 | 560 | 610 | 690 | 680 |
| Aluminium | (1) | (2) | (3) | (1) | (2) | (3) | (1) | (2) | (3) |
| 10 | 62 | 68 | 55 | 66 | 73 | 58 | 75 | 84 | 71 |
| 16 | 79 | 87 | 71 | 84 | 94 | 76 | 96 | 110 | 92 |
| 25 | 100 | 115 | 93 | 110 | 120 | 99 | 125 | 140 | 120 |
| 35 | 120 | 135 | 115 | 130 | 145 | 120 | 150 | 165 | 145 |
| 50 | 145 | 160 | 135 | 150 | 170 | 140 | 175 | 195 | 175 |
| 70 | 180 | 195 | 165 | 185 | 210 | 175 | 215 | 240 | 215 |
| 95 | 210 | 235 | 205 | 220 | 250 | 215 | 255 | 285 | 260 |
| 120 | 240 | 270 | 235 | 250 | 285 | 245 | 290 | 325 | 300 |
| 150 | 270 | 300 | 265 | 285 | 325 | 280 | 325 | 370 | 345 |
| 185 | 305 | 340 | 300 | 320 | 360 | 320 | 365 | 415 | 395 |
| 240 | 350 | 390 | 355 | 370 | 420 | 380 | 425 | 480 | 465 |
| 300 | 395 | 440 | 405 | 420 | 475 | 435 | 480 | 540 | 530 |
| (*) Pour les câbles dont l'isolation est en polyéthylène haute densité (PEHD), les valeurs sont à multiplier par: 1,05 pour les colonnes (1) et (2) 1,06 pour la colonne (3) | | | | | | | | | |

Tableau 6-33 : courants admissibles dans les câbles tripolaires à champ radial de tension assignée inférieure ou égale à 6/10 (12) kV

| Section nominale (mm ²) | Isolé EPR ou PR | | |
|--|-----------------|-----|-----|
| | (1) | (2) | (3) |
| Cuivre | | | |
| 16 | 125 | 140 | 125 |
| 25 | 160 | 175 | 160 |
| 35 | 190 | 210 | 195 |
| 50 | 225 | 250 | 230 |
| 70 | 270 | 305 | 280 |
| 95 | 330 | 370 | 345 |
| 120 | 370 | 420 | 395 |
| 150 | 415 | 465 | 450 |
| 185 | 465 | 525 | 510 |
| 240 | 540 | 610 | 600 |
| Aluminium | | | |
| 16 | 96 | 105 | 95 |
| 25 | 125 | 135 | 125 |
| 35 | 145 | 165 | 150 |
| 50 | 175 | 195 | 175 |
| 70 | 210 | 235 | 220 |
| 95 | 255 | 285 | 265 |
| 120 | 290 | 325 | 305 |
| 150 | 320 | 360 | 345 |
| 185 | 360 | 410 | 395 |
| 240 | 420 | 475 | 470 |

Tableau 6-34 : courants admissibles dans les câbles tripolaires à champ radial de tension assignée supérieure à 6/6 (7,2) kV et inférieure ou égale à 18/30 (36) kV

6.2.4. Contraintes thermiques des conducteurs en cas de court-circuit et détermination de la section S_2

La contrainte thermique des conducteurs actifs doit être vérifiée pour le courant de court-circuit maximal à l'origine du câble. Il est calculé par la méthode des impédances en tenant compte de la participation de l'ensemble des éléments du réseau (moteurs, alternateurs..., voir *Guide des protections* § 4.2).

Dans le cas d'une installation avec groupe de production interne, la contrainte thermique est établie sur la base du courant de court-circuit pendant la période transitoire, celle-ci correspond approximativement au temps d'élimination du court-circuit (voir *Guide des protections* § 4.1.2).

Pour une durée de court-circuit inférieure à 5 secondes, l'échauffement du câble est considéré adiabatique ; cela signifie que l'énergie emmagasinée reste au niveau de l'âme et n'est pas transmise à l'isolant. Les calculs thermiques sont alors simplifiés, ils sont présentés ci-dessous.

Nota : pour vérifier les contraintes thermiques des conducteurs de protection et des liaisons équipotentielles, il faut prendre en compte le courant de défaut à la terre (voir § 4.2.2 du *Guide des protections*)

■ méthode générale

Les résultats des calculs d'échauffement sont représentés par les courbes de la figure 6-14. Elles donnent les densités de courant admissibles δ_0 dans différents types de câbles pour une durée de court-circuit d'une seconde, en fonction de la température du câble avant le court-circuit.

La section minimale du conducteur satisfaisant l'échauffement en cas de court-circuit est déterminée par la formule :

$$S = \frac{I_{cc}}{\delta}$$

I_{cc} : intensité de court-circuit maximal, en A

δ : densité de courant admissible, en A / mm^2

pour une durée de court-circuit différente de 1 seconde, on a :

$$\delta = \frac{\delta_0}{\sqrt{t}}$$

t : durée du court-circuit

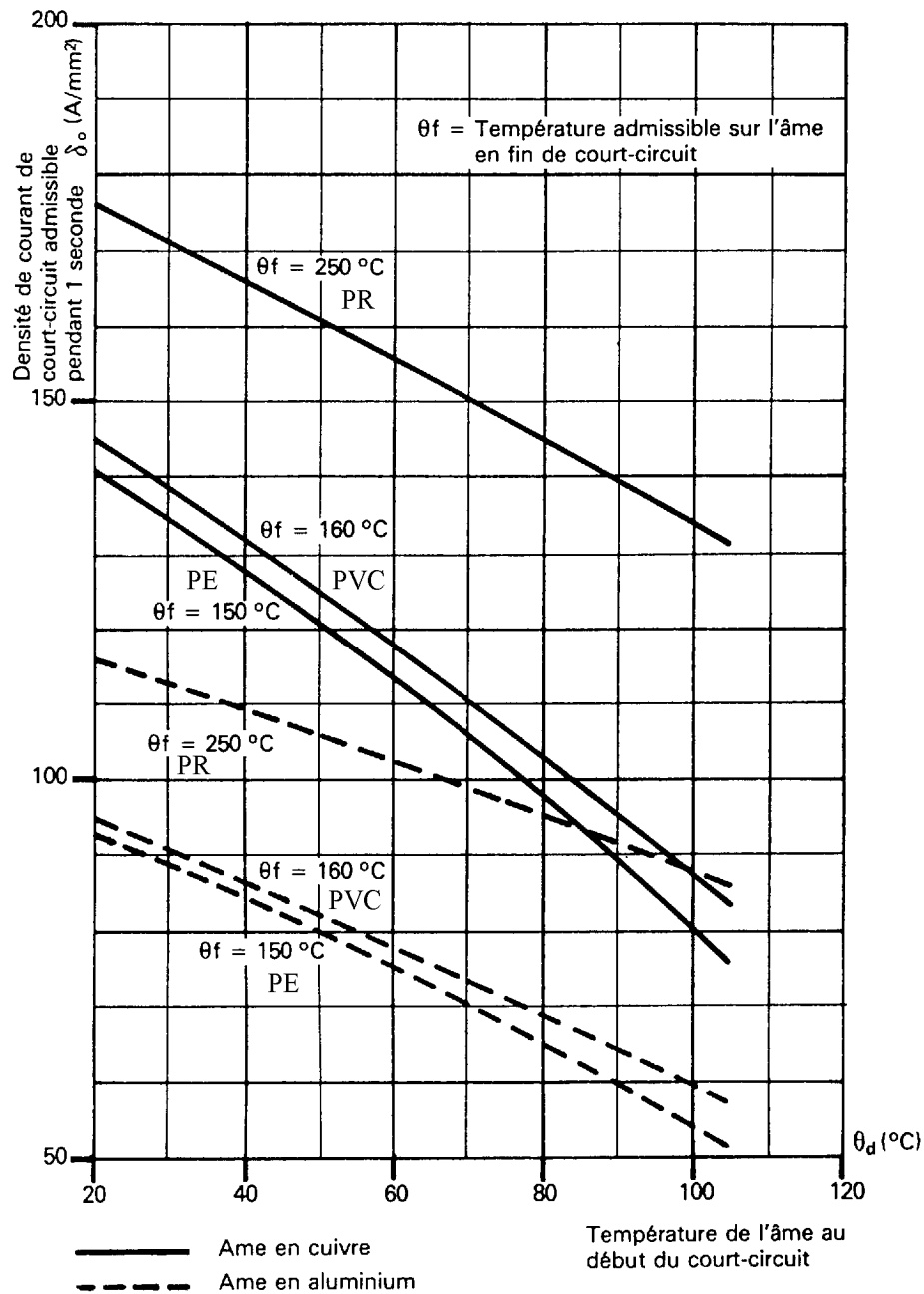


Figure 6-14 : court-circuit dans l'âme

■ méthode simplifiée

Elle suppose que la température du câble avant le court-circuit est égale à la température admissible en régime permanent.

Dans ce cas, la section du conducteur doit satisfaire la condition suivante :

$$S \geq \frac{I_{cc}}{k} \sqrt{t}$$

I_{cc} : courant de court-circuit maximal

t : durée du court-circuit

k : coefficient dont la valeur est donnée dans le tableau 6-35

Pour les conducteurs de protection, le courant à prendre en compte est le courant de défaut à la terre I_d .

| | Isolants | | | |
|---|-----------|-----|-----------|-----|
| | PVC PE | | PR EPR | |
| Conducteurs actifs | | | | |
| - en cuivre | 115 | | 143 | |
| - en aluminium | 74 | | 94 | |
| Conducteurs de protection | a | b | a | b |
| - en cuivre | 143 | 115 | 176 | 143 |
| - en aluminium | 95 | 75 | 116 | 94 |
| - en acier | 52 | — | 64 | — |
| a conducteurs de protection non incorporés aux câbles | | | | |
| b conducteurs de protection incorporés aux câbles | | | | |

Tableau 6-35 : valeurs du coefficient k

6.2.5. Courants de courte durée admissible dans les écrans de câbles à isolation synthétique extrudée (détermination de S_3)

Dans le cas d'un court-circuit phase-écran, la contrainte thermique résultant du passage du courant de défaut I_d pendant un temps t , ne doit pas dépasser la tenue thermique de l'écran du câble. I_d est le courant de défaut à la terre ; la méthode pour déterminer sa valeur est décrite dans le *Guide des protections*, paragraphe 4-2.

Le calcul de la surintensité admissible dans les écrans de câbles dépend de la constitution de cet écran et du type de câble.

En l'absence d'indications, les valeurs des tableaux 6-37, 6-38 et 6-39 peuvent être utilisées. Ces valeurs correspondent à un écran constitué par un ruban de cuivre de 0,1 mm d'épaisseur posé rubané avec un recouvrement de 15 %.

Le tableau 6-36 donne, pour chaque type d'isolant, les températures en service normal et en fin de surintensités retenues pour les calculs de l'échauffement des écrans de câbles.

| Type d'isolant | Température sur écran en service (°C) | Température finale après surintensité (°C) |
|----------------|---------------------------------------|--|
| PR | 70 | 250 |
| EPR | 70 | 250 |
| PE | 60 | 150 |
| PVC | 60 | 160 |

Tableau 6-36 : conditions de température retenues pour le calcul

□ valeurs des courants de surintensités admissibles dans les écrans de câbles

Voir tableaux 6-37, 6-38 et 6-39.

| Tension assignée | 6/10 (12) kV | | | 8,7/15 (17,5) kV | | | 12/20 (24) kV | | | 18/30 (36) kV | | |
|---|--------------|-------|-------|------------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| | 0,5 s | 1 s | 2 s | 0,5 s | 1 s | 2 s | 0,5 s | 1 s | 2 s | 0,5 s | 1 s | 2 s |
| Section du conducteur mm² | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 1 100 | 900 | 650 | 1 350 | 1 000 | 800 | 1 800 | 1 400 | 1 100 | | | |
| 25 | 1 200 | 950 | 700 | 1 400 | 1 050 | 800 | 1 800 | 1 400 | 1 100 | | | |
| 35 | 1 400 | 1 000 | 900 | 1 650 | 1 250 | 1 000 | 1 850 | 1 400 | 1 100 | | | |
| 50 | 1 600 | 1 150 | 1 000 | 1 750 | 1 350 | 1 050 | 1 950 | 1 450 | 1 150 | 2 500 | 1 950 | 1 550 |
| 70 | 1 750 | 1 250 | 1 050 | 1 900 | 1 450 | 1 150 | 2 100 | 1 600 | 1 250 | 2 700 | 2 050 | 1 650 |
| 95 | 1 850 | 1 350 | 1 100 | 2 050 | 1 550 | 1 200 | 2 200 | 1 700 | 1 300 | 2 800 | 2 150 | 1 700 |
| 120 | 1 900 | 1 400 | 1 150 | 2 150 | 1 650 | 1 300 | 2 500 | 1 950 | 1 550 | 3 100 | 2 400 | 1 900 |
| 150 | 2 150 | 1 650 | 1 300 | 2 400 | 1 850 | 1 500 | 2 600 | 2 000 | 1 600 | 3 150 | 2 450 | 1 950 |
| 185 | 2 400 | 1 850 | 1 450 | 2 600 | 2 000 | 1 600 | 2 750 | 2 150 | 1 700 | 3 350 | 2 600 | 2 100 |
| 240 | 2 700 | 2 050 | 1 650 | 2 800 | 2 150 | 1 700 | 3 100 | 2 400 | 1 950 | 3 600 | 2 750 | 2 200 |
| 300 | 2 800 | 2 150 | 1 750 | 3 150 | 2 450 | 1 950 | 3 300 | 2 550 | 2 050 | 3 800 | 2 950 | 2 350 |
| 400 | 3 050 | 2 350 | 1 800 | 3 450 | 2 650 | 2 150 | 3 650 | 2 800 | 2 250 | 4 200 | 3 300 | 2 650 |
| 500 | 3 400 | 2 550 | 1 950 | 3 800 | 2 950 | 2 350 | 4 100 | 3 200 | 2 550 | 4 550 | 3 550 | 2 850 |
| 630 | 3 750 | 3 000 | 2 300 | 4 250 | 3 300 | 2 650 | 4 450 | 3 450 | 2 800 | 4 950 | 3 850 | 3 100 |
| 800 | 4 400 | 3 400 | 2 600 | 4 650 | 3 600 | 2 900 | 4 850 | 3 750 | 3 000 | 5 300 | 4 150 | 3 300 |
| 1 000 | 5 100 | 3 900 | 3 050 | 5 200 | 4 050 | 3 250 | 5 350 | 4 200 | 3 350 | 5 850 | 4 550 | 3 650 |
| 1 200 | 5 350 | 4 100 | 3 300 | 5 450 | 4 250 | 3 400 | 5 650 | 4 400 | 3 550 | 6 150 | 4 800 | 3 850 |
| 1 400 | 5 600 | 4 400 | 3 550 | 5 900 | 4 550 | 3 650 | 6 050 | 4 700 | 3 800 | 6 550 | 5 100 | 4 100 |
| 1 600 | 6 000 | 4 700 | 3 800 | 6 200 | 4 850 | 3 900 | 6 400 | 5 000 | 4 000 | 6 900 | 5 350 | 4 300 |

Tableau 6-37 : câbles unipolaires ou tripolaires à champ radial à isolants PR ou EPR - courant de court-circuit admissible dans l'écran (A)

| Tension assignée | 6/10 (12) kV | | | 8,7/15 (17,5) kV | | | 12/20 (24) kV | | | 18/30 (36) kV | | |
|---|--------------|-------|-------|------------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| Durée du court-circuit | 0,5 s | 1 s | 2 s | 0,5 s | 1 s | 2 s | 0,5 s | 1 s | 2 s | 0,5 s | 1 s | 2 s |
| Section du conducteur mm² | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 800 | 650 | 490 | 1 000 | 740 | 560 | 1 200 | 870 | 660 | | | |
| 25 | 900 | 700 | 510 | 1 000 | 750 | 570 | 1 200 | 870 | 660 | | | |
| 35 | 1 000 | 750 | 540 | 1 100 | 800 | 600 | 1 200 | 880 | 660 | | | |
| 50 | 1 100 | 800 | 580 | 1 150 | 840 | 640 | 1 250 | 1 000 | 770 | 1 750 | 1 300 | 990 |
| 70 | 1 300 | 920 | 700 | 1 350 | 990 | 760 | 1 450 | 1 100 | 820 | 1 750 | 1 300 | 1 000 |
| 95 | 1 350 | 1 000 | 750 | 1 450 | 1 050 | 820 | 1 550 | 1 150 | 880 | 2 050 | 1 550 | 1 200 |
| 120 | 1 450 | 1 050 | 800 | 1 500 | 1 150 | 860 | 1 650 | 1 200 | 930 | 2 150 | 1 650 | 1 230 |
| 150 | 1 550 | 1 100 | 840 | 1 600 | 1 200 | 910 | 1 700 | 1 300 | 1 000 | 2 250 | 1 700 | 1 300 |
| 185 | 1 650 | 1 150 | 900 | 1 700 | 1 250 | 970 | 2 000 | 1 500 | 1 200 | 2 350 | 1 800 | 1 400 |
| 240 | 1 800 | 1 450 | 1 100 | 2 000 | 1 550 | 1 200 | 2 150 | 1 650 | 1 250 | 2 650 | 2 050 | 1 600 |
| 300 | 2 000 | 1 550 | 1 200 | 2 150 | 1 650 | 1 300 | 2 300 | 1 750 | 1 350 | 2 800 | 2 150 | 1 700 |
| 400 | 2 300 | 1 750 | 1 400 | 2 600 | 2 000 | 1 550 | 2 650 | 2 050 | 1 600 | 3 000 | 2 300 | 1 800 |
| 500 | 2 550 | 1 900 | 1 500 | 2 900 | 2 200 | 1 750 | 3 050 | 2 350 | 1 850 | 3 400 | 2 600 | 2 050 |
| 630 | 2 750 | 2 050 | 1 550 | 3 000 | 2 300 | 1 800 | 3 150 | 2 400 | 1 900 | 3 500 | 2 650 | 2 050 |
| 800 | 3 000 | 2 250 | 1 700 | 3 300 | 2 500 | 2 000 | 3 450 | 2 600 | 2 100 | 3 700 | 2 800 | 2 200 |
| 1 000 | 3 300 | 2 400 | 1 800 | 3 500 | 2 700 | 2 100 | 3 650 | 2 800 | 2 200 | 3 950 | 3 000 | 2 400 |
| 1 200 | 3 550 | 2 550 | 1 900 | 3 700 | 2 850 | 2 200 | 3 850 | 2 950 | 2 300 | 4 200 | 3 200 | 2 550 |
| 1 400 | 3 650 | 2 750 | 2 000 | 3 900 | 3 000 | 2 350 | 4 050 | 3 100 | 2 450 | 4 350 | 3 350 | 2 650 |
| 1 600 | 3 750 | 2 850 | 2 100 | 4 000 | 3 100 | 2 400 | 4 150 | 3 200 | 2 500 | 4 500 | 3 400 | 2 700 |

Tableau 6-38 : câbles unipolaires ou tripolaires à champ radial à isolants PE -
courant de court-circuit admissible dans l'écran (A)

| Section du conducteur mm ² | Durée du court-circuit | | |
|--|------------------------|-------|-------|
| | 0,5 s | 1 s | 2 s |
| 10 | 1 550 | 1 200 | 980 |
| 16 | 1 700 | 1 300 | 1 050 |
| 25 | 1 950 | 1 450 | 1 200 |
| 35 | 2 050 | 1 550 | 1 250 |
| 50 | 2 150 | 1 600 | 1 300 |
| 70 | 2 300 | 1 700 | 1 400 |
| 95 | 2 550 | 1 900 | 1 550 |
| 120 | 2 750 | 2 100 | 1 650 |
| 150 | 2 900 | 2 200 | 1 750 |
| 185 | 3 350 | 2 450 | 2 050 |
| 240 | 3 500 | 2 650 | 2 200 |

Tableau 6-39 : câbles tripolaires à ceinture à isolant PVC de tension assignée 6/6 (7,2 kV) - courant de court-circuit admissible dans l'écran (A)

□ exemple

Considérons un câble unipolaire isolé au PE dans un réseau 10 kV dont le courant de défaut à la terre I_d est limité à 1 000 A.

Selon le tableau 6-38, la section minimale du conducteur dépend de la durée du court-circuit :

- pour $t = 0,5 \text{ s}$, $S_{\min} = 35 \text{ mm}^2$
- pour $t = 1 \text{ s}$, $S_{\min} = 95 \text{ mm}^2$
- pour $t = 2 \text{ s}$, $S_{\min} = 240 \text{ mm}^2$.

La section S3 est choisie en fonction de I_d et de la durée du court-circuit prise égale au temps le plus long pour éliminer le défaut (par exemple, la temporisation de la protection de secours).

6.2.6. Vérification des chutes de tension

Les chutes de tension dans les câbles moyenne tension des réseaux industriels sont en général négligeables.

Bien que la norme C 13-220 ne prévoit pas la vérification des chutes de tension et ne fixe pas les valeurs admissibles, il nous semble utile de donner la méthode de calcul pouvant être appliquée notamment pour les canalisations de longueur importante.

Pour un circuit triphasé, la chute de tension (tension simple) est calculée par la formule :

$$\Delta V = \left(\rho_1 \frac{L}{S} \cos \varphi + \lambda L \sin \varphi \right) I_B$$

ρ_1 : résistivité du conducteur en service normal, soit 1,25 fois celle à 20 °C

$$\rho_1 = 0,0225 \Omega \text{ mm}^2 / m \text{ pour le cuivre ; } \rho_1 = 0,036 \Omega \text{ mm}^2 / m \text{ pour l'aluminium}$$

L : longueur de la canalisation, en mètre

S : section des conducteurs, en mm²

$\cos \varphi$: facteur de puissance ; en l'absence d'indications précises, on peut prendre $\cos \varphi = 0,8$ ($\sin \varphi = 0,6$)

I_B : courant maximal d'emploi en A

λ : réactance linéique de la canalisation, en Ω / m .

Les valeurs de λ en HTA sont :

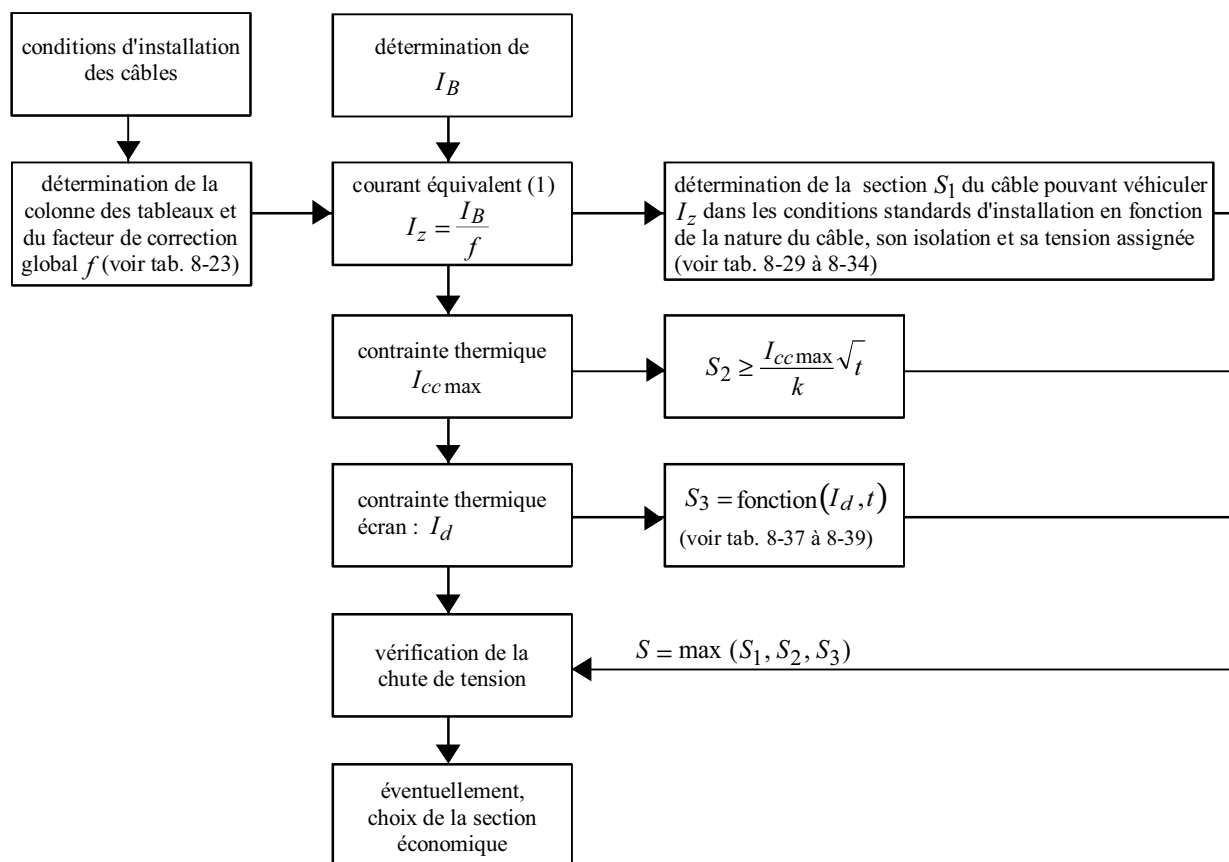
- $0,08 \times 10^{-3} \Omega / m$ pour les câbles tripolaires
- $0,15 \times 10^{-3} \Omega / m$ pour les câbles unipolaires

On définit la chute de tension relative :

$$\frac{\Delta V}{V_n}$$

n tension simple nominale

6.2.7. Détermination pratique de la section minimale d'un câble moyenne tension
(voir fig. 6-15)



(1) I_z est un courant équivalent qui, dans les conditions standards d'installation, provoque le même effet thermique que I_B dans les conditions réelles d'installation

Figure 6-15 : logigramme de détermination de la section minimale d'un câble en moyenne tension

6.2.8. Conditions de mise à la terre des écrans de câbles

■ câbles unipolaires

Le passage d'un courant dans l'âme du câble donne naissance à une tension induite dans l'écran. Cette tension dépend de la disposition géométrique des câbles, de la longueur et du courant véhiculé :

$$E_0 = 0,145 \times \log_{10} \left(\frac{2a}{d} \right) \times \ell \times I$$

a : distance entre axes des câbles (mm)

d : diamètre moyen de l'écran (mm)

ℓ : longueur de la liaison (km)

I : intensité transitée dans l'âme (A).

Pour des longueurs importantes de liaison, E_0 peut atteindre des valeurs dangereuses pour les personnes. La norme prévoit la mise à la terre de l'écran aux deux extrémités lorsque E_0 risque de dépasser la limite de **50 V en régime permanent**.

Par contre, la mise à la terre de l'écran aux deux extrémités donne lieu à des courants de circulation en permanence dans l'écran.

Pour une mise à la terre de l'écran à une seule extrémité, lors d'un court-circuit, le potentiel induit sur la deuxième extrémité peut être très élevé et faire claquer l'isolation de l'écran au niveau du raccordement. Il faudra donc prendre les précautions nécessaires.

□ calcul du courant de circulation dans l'écran

Lors d'un régime permanent équilibré (ou d'un court-circuit triphasé), la tension induite, dans un écran mis à la terre aux deux extrémités fait circuler un courant à travers le circuit formé par (voir fig. 6-16) :

- l'écran lui-même
- les prises de terre
- la terre.

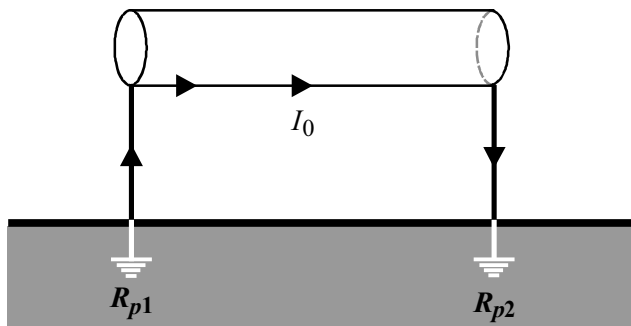


Figure 6-16 : courant de circulation dans l'écran

Ce courant est donné par la formule :

$$I_0 = \frac{E_0}{|Z|}$$

Z : impédance totale du circuit écran - prises de terre - terre

$$Z = (R_e + R_{p1} + R_{p2} + R_T) + jL\omega$$

avec :

- R_e : résistance de l'écran
- R_{p1}, R_{p2} : résistances des prises de terre
- R_T : résistances de la terre
- L : inductance totale du circuit

Pour la détermination de L et R_T , la terre peut être considérée comme étant un conducteur fictif de résistance R_T situé à une distance D de la surface du sol tel que :

$$R_T = \frac{\omega \mu_0}{8} = 0,05 \Omega / km$$

$$D = \frac{2 \sqrt{e \rho}}{\gamma \sqrt{\omega \mu_0}}$$

- e : 2,718 ($\ln e = 1$)
- γ : constante d'Euler = 1,718
- ρ : résistivité du sol
- $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$: perméabilité magnétique du vide

Pour un sol moyen de résistivité $\rho = 100 \Omega \cdot m$ et une fréquence $f = 50 \text{ Hz}$, l'application numérique donne $D = 935 \text{ m}$.

La valeur de l'inductance du circuit écran-terre est donnée par la formule :

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{2D}{d}\right)$$

\ln : logarithme népérien

d : diamètre moyen de l'écran

En pratique, L est toujours voisin de $2 \times 10^{-3} \text{ H/km}$, soit $L\omega \cong 0,63 \Omega/\text{km}$.

□ exemple

Considérons un câble unipolaire 20 kV en aluminium de section 300 mm^2 , isolé au PE, de longueur $\ell = 3 \text{ km}$, enterré dans un sol de résistivité $\rho = 100 \Omega \cdot m$, dont les caractéristiques sont les suivantes :

- $I_{admissible} = 500 \text{ A}$
- $d = 33,5 \text{ mm}$
- $a = 38,5 \text{ mm}$
- $R_e = 0,45 \Omega/\text{km}$

Il est installé dans un réseau tel que :

- $I_B = 400 \text{ A}$
- $I_{cc} = 8 \text{ kA}$
- $R_{p1} = R_{p2} = 0,2 \Omega$

- La tension induite en régime permanent est :

$$E_0 = 0,145 \times \log_{10}\left(\frac{2a}{d}\right) \times I_B \times \ell = 63 \text{ V}$$

La limite de 50 V est dépassée, il faut donc mettre l'écran à la terre aux deux extrémités.

- Le courant de circulation dans l'écran est dans ce cas :

$$I_0 = \frac{E_0}{|Z|}$$

La valeur de l'inductance du circuit écran-terre est :

$$L = \frac{4 \pi 10^{-7}}{2 \pi} \ln \left(\frac{2 \times 935}{0,0335} \right) = 2,18 \times 10^{-3} \text{ H / km}$$

L'impédance totale est :

$$Z = (0,45 \times 3 + 2 \times 0,05 \times 3) + j 2,18 \times 10^{-3} \times 314 \times 3$$

on a alors : $|Z| = 2,79 \Omega$

d'où : $I_0 = \frac{63}{2,79} = 22,5 \text{ A}$

Nota : si on néglige l'impédance des prises de terre, le courant de circulation dans l'écran est indépendant de la longueur de la liaison.

- La tension induite en cas de court-circuit est :

$$E_{0cc} = 0,14 \times \log_{10} \left(\frac{2a}{d} \right) \times I_{cc} \times \ell = 1 260 \text{ V}$$

Le courant de circulation dans l'écran est alors :

$$I_{0cc} = 450 \text{ A}$$

Ce courant doit être supporté par l'écran pendant la durée maximale du court-circuit. C'est le cas puisqu'il peut supporter 1 350 A pendant 2 s (voir tableau 6-38).

Nota : si la longueur de la liaison était de 2 km, on mettrait l'écran à la terre à une seule extrémité. La tension induite dans l'écran lors du court-circuit sera alors égale à 840 V. Il faut dans ce cas vérifier que l'isolement de l'écran au niveau du boîtier de raccordement est suffisant.

- Evaluation des pertes W_e dans l'écran

$$W_e = R_e I_0^2$$

pour $R_e = 0,45 \Omega / km$, $L = 3 km$ et $I_0 = 22,5 A$

$$W_e = 0,45 \times 3 \times (22,5)^2 = 683 W$$

Les pertes dans l'âme sont :

$$W_a = R_a \times I_B^2$$

R_a : résistance de l'âme

Pour un conducteur en aluminium de section $S = 300 mm^2$, $R_a = 0,1 \Omega / km$

d'où $W_a = 0,1 \times 3 \times (400)^2 = 48 kW$

On détermine le rapport $\frac{W_e}{W_a} = 1,5 \%$

Les pertes dans l'écran représentent 1,5 % des pertes dans l'âme. Elles peuvent, dans ce cas, être négligées pour la détermination du courant maximal admissible par le câble.

□ effet thermique dans les écrans de câbles

Lorsque l'écran est mis à la terre aux deux extrémités, la circulation permanente du courant induit dans l'écran provoque un échauffement supplémentaire dans le câble et réduit par conséquent son intensité admissible.

Généralement, ce phénomène n'est à prendre en compte que pour les câbles de section supérieure à 240 mm².

On peut appliquer la règle suivante :

- écran mince et sans armure, pour $S > 1000 mm^2$ le courant admissible est réduit de 5 %
- écran non mince et sans armure, le courant admissible est à réduire de :
 - . 5 % pour $240 mm^2 \leq S \leq 800 mm^2$
 - . 10 % pour $S > 800 mm^2$
- câbles avec écran et armure, le courant admissible est à réduire de :
 - . 5 % pour $240 mm^2 \leq S \leq 400 mm^2$
 - . 10 % pour $500 mm^2 \leq S \leq 800 mm^2$

. 15 % pour $S > 800 \text{ mm}^2$

■ câbles tripolaires

Pour les câbles tripolaires à champ radial dont l'écran métallique entoure les 3 âmes, le champ électromagnétique est nul en régime équilibré.

En régime normal de fonctionnement, il n'y a pas de courant de circulation dans l'écran.

6.2.9. Exemple d'application

On se propose de déterminer la section des conducteurs de la canalisation $C1$ insérée dans le réseau illustré par la figure 6-17.

La canalisation $C1$ est constituée de trois câbles unipolaires triphasés 6/10 (12) kV en aluminium isolés au PR, posés directement dans un caniveau fermé dans une température de $35\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La temporisation de la protection contre les courts-circuits entre phases est : $t = 0,2\text{ s}$.

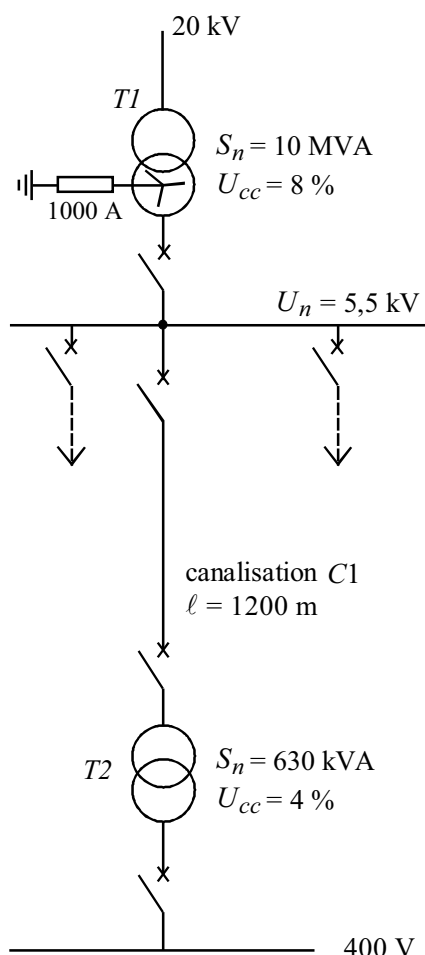


Figure 6-17 : schéma d'une installation

■ détermination du courant maximal d'emploi I_B

La canalisation $C1$ alimente uniquement le transformateur $T2$ de puissance 630 kVA.

Le courant I_B est donc pris égal au courant nominal du transformateur :

$$I_B = I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} U_n} = \frac{630 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 5,5 \times 10^3} = 66 \text{ A}$$

■ facteurs de correction et choix de S_1

La pose directe dans un caniveau fermé correspond au mode de pose $L4$ (voir tableau 6-23). La colonne (3) des tableaux de courant admissible doit être utilisée.

Les facteurs de correction à appliquer sont :

- mode de pose : $f_0 = 0,8$
- température ambiante (voir tableau 6-24) : $f_1 = 0,96$
- groupement de plusieurs câbles (voir tableau 6-28) : $f_5 = 1$

Le facteur de correction global est : $f = 0,8 \times 0,96 = 0,77$

Le courant équivalent que le câble doit pouvoir véhiculer dans les conditions standards d'installation est :

$$I_z = \frac{I_B}{f} = 86 \text{ A}$$

Le tableau 6-31 (colonne (3), PR, aluminium) donne une section minimale $S_1 = 16 \text{ mm}^2$ qui a un courant admissible $I_0 = 95 \text{ A}$.

■ vérification des contraintes thermiques (S_2)

En négligeant l'impédance amont au transformateur et l'impédance de la liaison transformateur - jeu de barres, le courant de court-circuit maximal à l'origine du câble est égal au courant de court-circuit du transformateur.

L'impédance du transformateur $T1$ est :

$$Z_{T1} = \frac{U_n^2}{S_n} \times \frac{U_{cc}}{100} = \frac{(5,5 \times 10^3)^2}{10 \times 10^6} \times \frac{8}{100} = 0,242 \Omega$$

Le courant de court-circuit maximal est donc :

$$I_{cc} = 1,1 \frac{U_n}{\sqrt{3} Z_{T1}} = 1,1 \times \frac{5,5 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 0,242} = 14,4 \text{ kA} \quad (\text{voir Guide des protections § 4.2.1})$$

La section des conducteurs satisfaisant à la contrainte du court-circuit est :

$$S_2 \geq \frac{I_{cc}}{k} \sqrt{t}$$

$k = 94$: valeur du coefficient correspondant à un conducteur en aluminium isolé au PR (voir tableau 6-35)

$t = 0,2 \text{ s}$: durée du court-circuit égale à la temporisation de la protection

d'où
$$S_2 \geq 69 \text{ mm}^2$$

La section minimale à retenir est donc $S_2 = 70 \text{ mm}^2$

■ vérification de la contrainte thermique de l'écran du câble (S_3)

Le réseau de distribution 5,5 kV a un régime de neutre avec résistance de limitation du courant à 1 000 A.

Le courant de défaut est alors :

$$I_d = \frac{V_n}{R_N} + I_C \quad (\text{voir Guide des protections § 4.3.2})$$

V_n : tension simple du réseau

R_N : résistance de limitation

I_C : courant capacitif du réseau 5,5 kV ($I_C = 3 j C \omega V_n$)

Le courant capacitif d'un réseau industriel est de l'ordre de quelques ampères à quelques dizaines d'ampères, il est donc négligeable devant le courant de limitation à 1 000 A.

On a donc $I_d = 1\,000\text{ A}$

On suppose que l'écran doit pouvoir supporter le courant de défaut pendant 2 secondes, afin de tenir compte de la temporisation maximale de la protection contre les défauts phase-terre et d'éventuels réenclenchements.

La section du conducteur satisfaisant la contrainte thermique de l'écran du câble est alors :

$$S_3 = 50\text{ mm}^2 \quad (\text{voir tableau 6-37})$$

■ vérification des chutes de tensions

La chute de tension est donnée par la formule :

$$\Delta V = \left(\rho_1 \frac{\ell}{S} \cos \varphi + \lambda \ell \sin \varphi \right) I_B$$

$$\ell = 1200 \text{ m} ; S = 70 \text{ mm}^2 ; \lambda = 0,15 \times 10^{-3} \text{ } \Omega / \text{ m} ; I_B = 66 \text{ A} ; \rho_1 = 0,036 \text{ } \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{ m}$$

On suppose que la charge du câble a un $\cos \varphi = 0,6$ ($\sin \varphi = 0,8$)

$$\text{d'où} \quad \Delta V = \left(0,036 \times \frac{1200}{50} 0,8 + 0,15 \times 10^{-3} \times 1200 \times 0,6 \right) \times 66$$

$$\Delta V = 53 \text{ V}$$

$$\text{La chute de tension relative est : } \frac{\Delta V}{V_n} = \frac{53}{\left(\frac{5500}{\sqrt{3}} \right)} = 1,7 \%$$

Malgré une longueur de liaison très importante pour un réseau industriel, la chute de tension est acceptable.

■ choix de la section technique

Les calculs effectués donnent les sections suivantes :

$$S_1 = 16 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = 70 \text{ mm}^2$$

$$S_3 = 50 \text{ mm}^2$$

La section technique à retenir est donc :

$$S = 70 \text{ mm}^2$$

6.3. Calcul de la section économique

Les méthodes décrites dans les chapitres 6-1 et 6-2, conduisent aux choix de la section technique des canalisations, satisfaisant les différentes contraintes thermiques, de chutes de tension et de protection des personnes.

Mais il peut être utile de tenir compte du critère économique, basé sur le coût d'investissement et les frais d'exploitation, pour la recherche d'une section optimale.

Le coût de l'investissement se compose essentiellement :

- du coût du câble, fonction linéaire de la section S et de la longueur L
soit $K_1 L + K_2 L S$
- du coût des travaux de génie civil et de pose, fonction de la longueur et indépendant de la section dans un intervalle limité soit $K_3 L$.

Les frais d'exploitation comportent :

- les pertes Joule dans le câble
- les frais d'entretien.

Pour le calcul de la section économique, on ne tient compte que des pertes Joule w relatives à la canalisation :

$$w = n \times \rho \frac{L}{S} \times I^2 \frac{H C}{1000} \quad \text{Francs.}$$

n : nombre de conducteurs actifs

ρ : résistivité du conducteur en service normal, soit 1,25 fois celle à 20 °C.

$\rho = 0,0225 \Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$ pour le cuivre ; $\rho = 0,036 \times \Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$ pour l'aluminium

L : longueur de la liaison

S : section des conducteurs

I : courant véhiculé, supposé constant, en A

H : nombre d'heure d'utilisation de la liaison (pour une année $H = 8760$)

C : coût du kWh, F/kWh.

Le coût d'investissement et le coût des pertes w n'ont pas la même échéance, il est nécessaire de les rendre homogène afin d'effectuer leur sommation. Ceci peut se faire par exemple en actualisant les coûts d'exploitation payés à la fin des années successives, c'est-à-dire en les ramenant à l'époque de l'achat de la liaison.

Si N (années) est la durée d'amortissement prévu pour la liaison et, si le prix de l'énergie et la charge de la liaison sont supposés constants pendant toute la période, la somme des valeurs actualisées des pertes Joule est :

$$W = w \left[\frac{1}{1+t} + \frac{1}{(1+t)^2} + \dots + \frac{1}{(1+t)^N} \right] = w \times \frac{(1+t)^N - 1}{t(1+t)^N}$$

t étant le taux d'actualisation envisagé.

On peut écrire $W = \frac{w}{A}$, avec $A = \frac{t(1+t)^N}{(1+t)^N - 1}$

Le coût total est donc :

$$P(S) = K_3 + K_1 \ell + K_2 \ell S + n \rho \frac{\ell}{S} I^2 \frac{H C}{1000 \times A}$$

La fonction $P(S)$ passe par un minimum $\left(\frac{\partial P}{\partial S} = 0 \right)$

pour une section $S_0 = I \sqrt{\frac{n \rho H C}{K_2 A \times 1000}}$

Pour un calcul approché on peut utiliser la formule suivante :

$$S_0 = \frac{K I}{100} \sqrt{\frac{H C}{A}}, \text{ mm}^2$$

avec $K = 1$ pour le cuivre et 1,8 pour l'aluminium.

La valeur de la section économique à retenir est la valeur normalisée la plus proche de S_0 .

■ exemple

On reprenant les éléments de l'exemple d'application du § 6.2.8 :

- courant d'emploi $I_B = 66 \text{ A}$
- coût de l'énergie : $C = 0,4 \text{ F/kWh}$
- conducteur en aluminium , $K = 1,8$
- taux d'actualisation de 8 %
- durée d'amortissement $N = 20 \text{ ans}$
- nombre d'heures d'utilisation $H = 3\,800 \text{ heures.}$

$$A = \frac{0,08 \times (1 + 0,08)^{20}}{(1 + 0,08)^{20} - 1} = 0,102$$

$$S_0 = \frac{66 \times 1,8}{100} \sqrt{\frac{3\,800 \times 0,4}{0,102}} = 145 \text{ mm}^2$$

La section économique est la valeur normalisée la plus proche de S_0 , soit $S = 150 \text{ mm}^2$.

En pratique, la section économique est souvent supérieure à la section technique.

■ avantages du surdimensionnement des câbles

- Amélioration de la qualité de la tension en régime normal, et réduction de l'amplitude des à coups de tension lors du démarrage des moteurs ou autres.
- Présence d'une réserve de puissance offrant des possibilités d'extensions éventuelles.