CAHIER TECHNIQUE

Solutions pour le contrôle de puissance, la sécurité et l'efficacité énergétique

2017

your energy
our expertise

socomec
Innovative Power Solutions

Sommaire

La distribution B.T.

Schémas des liaisons à la terre (S.L.T.) 4
Tensions, surtensions 6
Qualité de l'énergie 7
Amélioration de la qualité de l'énergie 12
Influences externes 13

Courants de surcharge

Détermination du courant I_2 14
Détermination du courant admissible I_z (suivant NF C 15100 et CEI 60364) 15
Protection des canalisations contre les surcharges par fusibles gG 19

Courants de courts-circuits

Calcul du Icc d'une source 20
Calcul du I_{cc} d'une installation BT 21
Protection des canalisations 26
Protection des canalisations par fusibles 27

Contacts directs et indirects

Protection contre les contacts directs 28
Protection contre les contacts indirects 29
Protection contre les contacts indirects par fusibles 32
Protection contre les contacts indirects par relais différentiel 33

Chutes de tension

Calcul de la chute de tension dans un câble de longueur L 34
Approche dite des "Sections économiques" 34

Appareils de coupure et de sectionnement

Normes produit NF EN 60947 et CEI 60947 35
Normes d'installation CEI 60364 ou NF C 15100 37
Choix d'un appareil de coupure 38
Cas d'utilisation 39
Limites d'utilisation 41

Protection fusible

Caractéristiques générales 42
Limitation du courant de court-circuit 42
Choix d'un fusible "gG" ou "aM" 43
Protection des canalisations contre les surcharges par fusibles gG 46
Protection des canalisations par fusibles 47
Protection contre les contacts indirects par fusibles 48
Courbes caractéristiques des fusibles NF et NH de type gG 49
Courbes caractéristiques des fusibles NF et NH de type aM 51
Choix d'un fusible UR 53
Sélectivité 54

Contrôle et gestion de l'énergie

Introduction 58
Tarification 58
Mesure des grandeurs électriques 59
Comptage d'énergie 59
Surveillance 60
Contrôle commande 60
Qualité de l'énergie 60

La communication industrielle

Communication analogique 61
Communication numérique 62
Le protocole JBUS/MODBUS 63
Le bus RS485 66
Le protocole PROFIBUS 70

Mesure électrique

Équipage ferromagnétique 72
Équipage magnéto-électrique 72
Équipage magnéto-électrique à redresseur 72
Position d'utilisation 72
Utilisation de transformateurs de potentiel 72
Convertisseur de puissance 73
Classe de précision 73
Consommation des câbles en cuivre 73
Transformateur de sommation 74
TI saturables 74
Adaptation des rapports de transformation 74

socomec Innovative Power Solutions

Protection numérique des réseaux

Généralités 75
Fonctions de protection 75
Courbes de protection à temps dépendant 75
Relais de protection 75
Représentation des courbes 75
Équation des courbes 75
Protection du neutre 76
Protection “défaut terre” 76
Courbe de protection à temps indépendant 76
Protection retour de puissance 76
Choix du TI 76

Protection différentielle

Généralités 77
Définitions 78
Applications 79
Mise en œuvre 82

Contrôle Permanent de l’Isolement

Généralités 86
Définitions 87
Cas d’utilisation 88
Raccordement des CPI 91

Limiteur de surtension

Généralités 92
Inductance de limitation de courant 92
Niveau de protection effectif assuré par un limiteur de surtension 92
Tensions nominales d’amorçage à fréquence industrielle 92
Branchement du LS et de l’inductance 92

Les parafoudres

Protection contre les surtensions transitoires 93
Surtensions dues à la foudre 95
Principales réglementations et normes 96
Technologie 98
Constitution interne 100
Principales caractéristiques des parafoudres 100
Choix et implantation des parafoudres de tête 101
Protection d’équipements et parafoudres de distribution 103
Règles et choix des parafoudres 105
Mise en œuvre et maintenance 106

Compensation de l’énergie réactive

Principe de la compensation 107
Calcul de la puissance des condensateurs 111
Choix d’une compensation pour une charge fixe 112

Enveloppes

Effets thermiques 114
Calcul thermique des enveloppes 116
Choix de la climatisation 117

Jeux de barres

Choix de la matière des barres 118
Détermination de Icc crête en fonction de Icc efficace 118
Effet thermique du court-circuit 118
Couples électrochimiques 118

Alimentations statiques sans interruption (onduleurs)

Principe de fonctionnement 119
Communication 123

La distribution B.T.

Schémas des liaisons à la terre (S.L.T.)

Un schéma des liaisons à la terre ou “régime de neutre” dans un réseau BT, est défini par deux lettres :

La **première** définit la liaison à la terre du secondaire du transformateur (très généralement le point-neutre)	raccordé à la terre	T	T	raccordées à la terre	La **deuxième** définit la liaison à la terre des masses
	isolé de la terre	I	T	raccordées à la terre	
	raccordé à la terre	T	N	raccordées au neutre	

TT : régime “Neutre à la terre”

L’utilisation de ce régime de neutre est imposé pour la distribution publique BT en France.

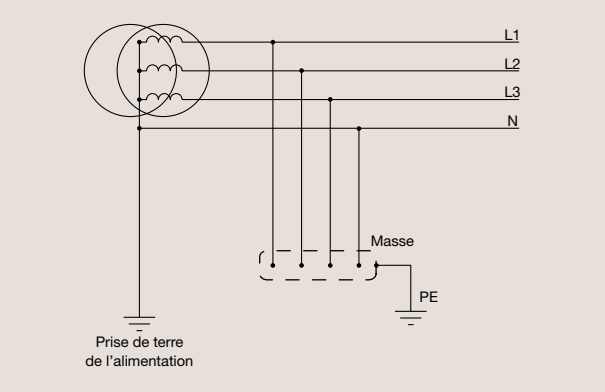
En cas de défaut d’isolement, il y a coupure automatique de tout ou partie de l’alimentation de l’ensemble des récepteurs.

La coupure est obligatoire au premier défaut.

L’ensemble des utilisations doit être équipé d’une protection différentielle instantanée.

La protection différentielle peut être générale ou bien subdivisée, en fonction des types et de l’importance de l’installation.

Ce régime se rencontre dans les cas suivants : domestique, petit tertiaire, petits ateliers, établissements scolaires avec salle de travaux pratiques, etc.



catec 004 b 1 fr cat

TN : régime “Mise au neutre”

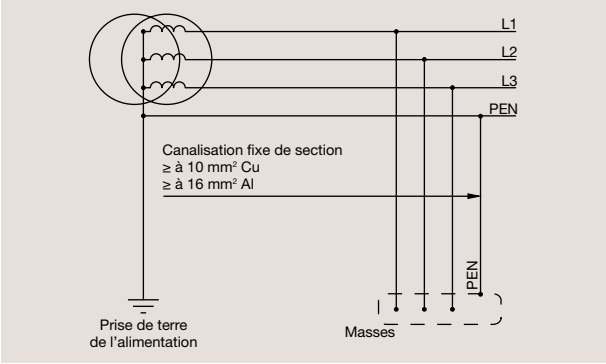
Ce principe de distribution est adapté aux installations admettant une coupure au premier défaut d’isolement.

La mise en œuvre et l’exploitation de ce type de réseau sont économiques, mais nécessitent une installation rigoureuse des circuits de protection.

Les conducteurs du neutre (N) et de protection (PE) peuvent être confondus (TNC) ou séparés (TNS).

Schéma TNC

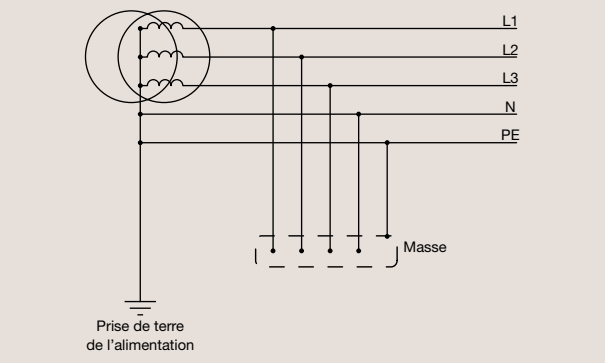
Le conducteur PEN (Protection et Neutre) ne doit jamais être coupé. Les conducteurs PEN doivent avoir une section supérieure ou égale à 10 mm² en cuivre et à 16 mm² en aluminium et ne pas comprendre d’installations mobiles (câbles souples).



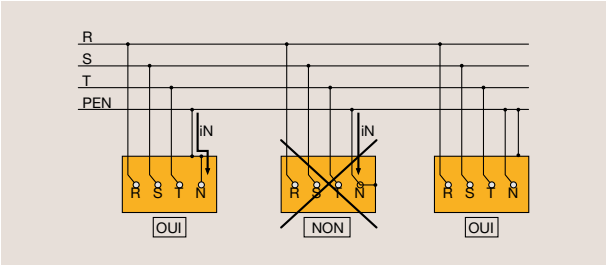
catec 005 c 1 fr cat

Schéma TNS

Un réseau TNS peut être créé en aval d’un réseau TNC, le contraire est interdit. Généralement, les conducteurs de neutre en TNS sont sectionnés, pas protégés et leurs sections sont obligatoirement au moins égales à celles des phases correspondantes.



catec 001 b 1 fr cat



catec 044 c 1 fr cat

La fonction “protection” du conducteur PEN est prépondérante à la fonction “neutre”.

Schéma TNC-S

L’appellation schéma TNC-S désigne une distribution dans laquelle les conducteurs neutres et conducteurs de protection sont confondus dans une partie de l’installation et distincts dans le reste de l’installation.

socomec Innovative Power Solutions

IT : régime “Neutre isolé”

Ce régime de neutre est utilisé lorsque la coupure au premier défaut d’isolement est préjudiciable au bon fonctionnement d’une exploitation ou à la sécurité des personnes.

Son exploitation impose la présence de personnel compétent sur le site pour intervenir rapidement lors de l’apparition du premier défaut d’isolement, pour garantir la continuité d’exploitation avant que ne se développe un éventuel deuxième défaut qui, lui, provoquerait une coupure.

Un limiteur de surtension est obligatoire pour permettre l’écoulement des surtensions à la terre provenant de l’installation Haute Tension (claquage transformateur HT/BT, manœuvres, foudre…).

La protection des personnes est assurée par :

- l’interconnexion et la mise à la terre des masses,
- la surveillance du premier défaut par CPI (Contrôleur Permanent d’Isolement),
- la coupure au deuxième défaut par les organes de protection contre les surintensités ou par les dispositifs différentiels.

Ce régime se rencontre par exemple dans les hôpitaux (salles d’opération) ou dans les circuits de sécurité (éclairage) et dans les industries où la continuité d’exploitation est primordiale, ou lorsque le faible courant de défaut réduit considérablement les risques d’incendie ou d’explosion.

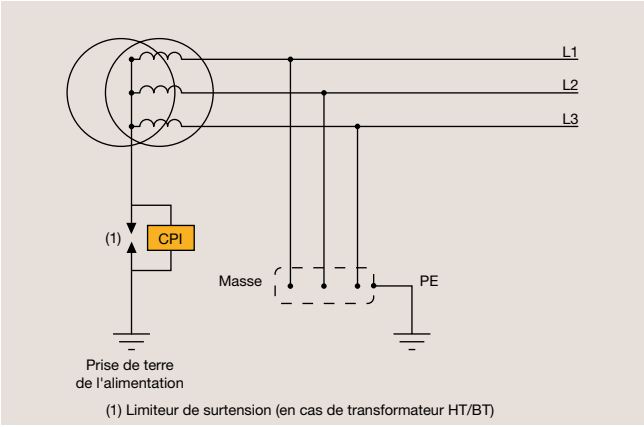


Schéma IT sans neutre distribué.

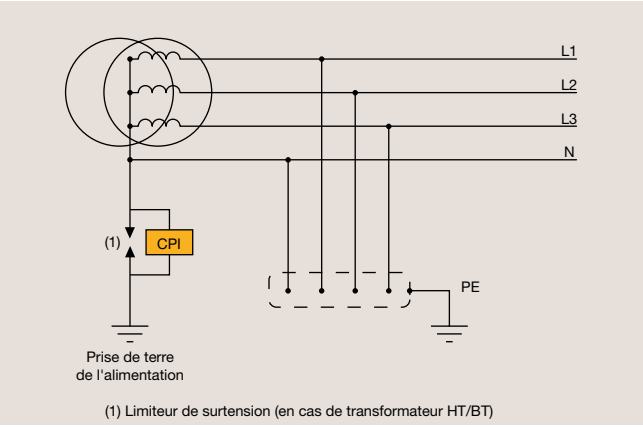


Schéma IT avec neutre distribué.

catec 002 c 1 fr cat

Tensions, surtensions

Domaines de tension

En Basse Tension, on distingue deux domaines suivant la norme CEI 60364 (NF C 15100) et trois domaines suivant le décret du 14.11.88.

Domaine		Tension nominale Un	
Décret	CEI	AC	DC
TBT : Très Basse Tension	I	≤ 50 V	≤ 120 V
BTA : Basse Tension A	II	50 V < U_n ≤ 500 V	120 V < U_n ≤ 750 V
BTB : Basse Tension B	II	500 V < U_n ≤ 1000 V	750 V < U_n ≤ 1500 V

Tension normalisée en AC

En monophasé : 230 V.

En triphasé : 230 V / 400 V et 400 V / 690 V.

Évolution des tensions et des tolérances (CEI 60038)

Périodes	Tensions	Tolérances
Avant 1983	220 V / 380 V / 660 V	± 10 %
De 1983 à 2003	230 V / 400 V / 690 V	+ 6 % / - 10 %
Depuis 2003	230 V / 400 V / 690 V	± 10 %

Protection contre les surtensions transitoires

Elle est assurée par :

Le choix de l'appareillage en fonction de U_{imp}

Les normes NF C 15100 et CEI 60364 définissent quatre catégories d'utilisation :

Catégorie I	Matériels ou composants électroniques dont la tension de tenue aux chocs est faible. Ex : circuits électroniques
Catégorie II	Matériels d'utilisation destinés à être connectés à l'installation électrique fixe du bâtiment. Ex : - outils portatifs… - informatique, TV, Hifi, alarmes, appareils électroménagers à programmation électronique…
Catégorie III	Matériel appartenant à l'installation fixe et autres matériels pour lesquels un plus haut niveau de fiabilité est demandé. Ex : - armoires de distribution… - installations fixes, moteurs…
Catégorie IV	Matériel utilisé à l'origine ou au voisinage de l'origine de l'installation en amont du tableau de distribution. Ex : - capteurs, transformateurs… - matériels principaux de protection contre les surintensités

Surtension en kV suivant la classe d'utilisation

Réseau triphasé	Réseau monophasé	IV	III	II	I
230 V / 400 V	230 V	6	4	2,5	1,5
400 V / 690V		8	6	4	2,5
690 V / 1000 V		Xx			

(Xx) Valeurs proposées par les constructeurs de matériel. À défaut, les valeurs de la ligne ci-dessus peuvent être choisies.

Les parafoudres *(voir page 93)*

N.B. : Les surtensions d'origine atmosphérique ne subissent pas d'atténuation significative en aval dans la plupart des installations.
Par conséquent, le choix des catégories de surtensions des matériels n'est pas suffisant pour se protéger contre les surtensions.
Une étude des risques adaptée doit être réalisée pour définir les parafoudres nécessaires à différents niveaux de l'installation.

Contraintes de tension admissibles à 50 Hz

Les matériels de l'installation B.T. doivent tenir la contrainte de surtension temporaire suivante :

Durée (s)	Contrainte de tension admissible (V)
> 5	U_0 + 250
≤ 5	U_0 + 1200

socomec Innovative Power Solutions

Qualité de l'énergie

Les tolérances généralement admises (EN 50160) pour le bon fonctionnement d'un réseau comprenant des charges sensibles aux perturbations (équipement électronique, matériel informatique…) sont synthétisées dans les rubriques suivantes.

Creux de tension et coupures

Définition

Un creux de tension est une diminution de l'amplitude de la tension pendant un temps compris entre 10 ms et 1 s.
La variation de tension est exprimée en % de la tension nominale (entre 10 et 100 %). Un creux de tension de 100 % est appelé coupure.
Suivant le temps t de coupure, on distingue :
- 10 ms < t < 1 s : les microcoupures dues par exemple à des réenclenchements rapides sur défauts fugitifs…
- 1 s < t < 1 mn : les coupures brèves dues au fonctionnement de protections, à la mise en service d'appareils à fort courant de démarrage…
- 1 mn < t : les coupures longues dues généralement au réseau HT.

Creux de tension selon la norme EN 50160 (condition)

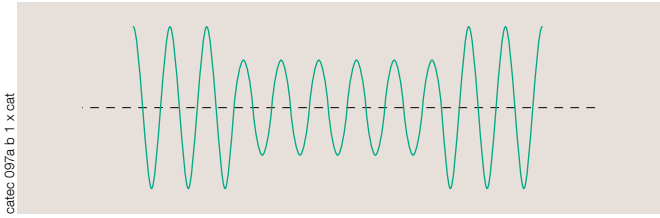
	Tolérances		
	normale	exceptionnelle	en fonction des charges d'exploitation
Nombre	de x 10 à x 1000	1000	élevé
Durée	< 1 s	> 1 s	
Profondeur	< 60 %	> 60 %	entre 10 et 15 %

Coupures brèves selon la norme EN 50160 (par période de un an)

	Tolérances
Nombre	n de x 10 à x 1000
Durée	< 1 s pour 70 % de n

Coupures longues selon la norme EN 50160 (par période de un an)

	Tolérances
Nombre	n de x 10 à x 1000
Durée	> 3 min



Creux de tension.

Coupure.

Conséquence des creux de tension et des coupures

Ouverture de contacteurs (creux > 30 %).
Perte de synchronisme des moteurs synchrones, instabilité des moteurs asynchrones.
Applications informatiques : pertes d'informations…
Perturbation de l'éclairage par lampes à décharge (extinction pour des creux de 50 % pendant 50 ms, le réallumage ne se faisant qu'après quelques minutes).

Solutions

Quel que soit le type de charge :
- utilisation d'une ASI (Alimentation Statique sans Interruption) *voir page 119*,
- modifier la structure du réseau *(voir page 12)*.

Suivant le type de charge :
- alimentation des bobines de contacteur entre phases,
- augmentation de l'inertie des moteurs,
- utilisation de lampes à réallumage immédiat.

Qualité de l'énergie (suite)

Variations de fréquence

Elles sont généralement dues à des défaillances des groupes électrogènes. La solution consiste à utiliser des convertisseurs statiques ou des ASI.

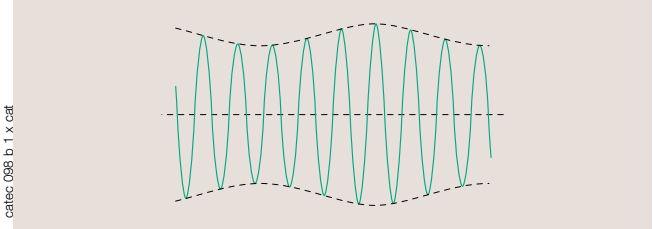
Fréquence en réseau B.T. (U_n = 230V) et réseau HT (1 < U_n ≤ 35 kV) selon la norme EN 50160 (par période de dix secondes)

	Tolérances	
	Réseau interconnecté	Réseau non interconnecté (îles)
99,5 % de l'année	50 Hz ± 1 %	50 Hz ± 2 %
100 % du temps	50 Hz ± 4 % à -6 %	50 Hz ± 15 %

Variation de la tension et Flicker

Définition

Le flicker est un papillotement de la lumière dû à des variations brusques de la tension. Il produit un effet désagréable pour les personnes. Les variations brusques de tension sont dues à des appareils dont la puissance absorbée varie très rapidement : fours à arc, machines à souder, laminoirs…



catec 098 b 1 x cat

Solutions

- ASI (pour les petites charges).
- Inductance ou batterie de condensateurs dans le circuit de la charge.
- Raccordement à un transformateur HT / BT spécifique (fours à arc).

Variation de la tension selon la norme EN 50160 (par période d'une semaine)

x % du nombre d'Un eff moyennées 10 min	Tolérances
95 %	U_n ± 10 %
100 %	U_n + 10 % à U_n - 15 %

Variation rapide de la tension selon la norme EN 50160

	Tolérances
Généralement	5 % de U_n
Éventuellement	10 % de U_n

Effet de papillotement (effet Flicker) selon la norme EN 50160 (par période d'une semaine)

	Tolérances
95 % du temps	P_{LT} ≤ I

Surtensions temporaires (en raison de déplacement du point de la tension composée)

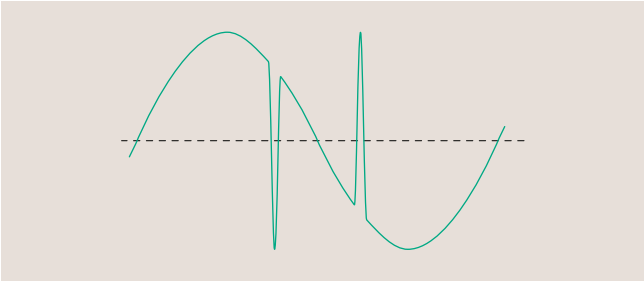
	Tolérances
Défaut amont transfo.	< 1,5 kV

Surtensions transitoires

Définition

Les phénomènes transitoires sont essentiellement constitués de surtensions très élevées et rapides, dues :

- à la foudre,
- aux manœuvres ou aux défauts sur les réseaux HT ou BT,
- aux arcs électriques de l'appareillage,
- aux commutations de charges inductives,
- à la mise sous tension de circuits fortement capacitifs :
  - réseaux de câbles étendus,
  - machines munies de capacités d'antiparasitage.



catec 099 b 1 x cat

	Tolérances
Valeur	généralement < 6 kV
Temps de montée	de µs à x ms

Effets

- Déclenchements intempestifs d'appareils de protection,
- Destruction des équipements électroniques (cartes d'automates, de variateurs de vitesse…),
- Claquage de la gaine isolante des câbles,
- Échauffement et le vieillissement prématuré des matériels de systèmes informatiques.

Solutions

- Mise en œuvre de parafoudre et de limiteurs de surtension.
- Augmentation de la puissance de court-circuit de la source.
- Réalisation correcte des prises de terre des postes HT / BT.

socomec Innovative Power Solutions

Qualité de l'énergie (suite)

Harmoniques

Définition

Les courants ou tensions harmoniques sont des courants ou tensions "parasites" du réseau électrique. Ils déforment l'onde de courant ou de tension et provoquent :

- une augmentation de la valeur efficace du courant,
- la circulation d'un courant dans le neutre pouvant être supérieure au courant de phase,
- la saturation des transformateurs,
- des perturbations dans les réseaux à courants faibles,
- le déclenchement intempestif des appareils de protection…
- des mesures faussées (courant, tension, énergie…).

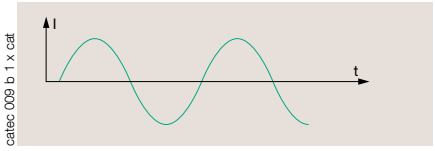
Les courants harmoniques sont dus aux transformateurs d'intensité, aux arcs électriques (fours à arc, soudeuses, lampes fluorescentes ou à décharge) et surtout aux redresseurs et convertisseurs statiques (électronique de puissance). Ces charges sont appelées charges déformantes (voir ci-après). Les tensions harmoniques sont dues à la circulation des courants harmoniques dans les impédances des réseaux et des transformateurs.

Tensions d'harmoniques

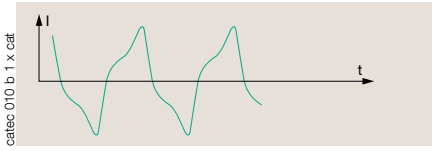
Par période d'une semaine et 95 % des tensions d'harmoniques moyennées 10 min doivent rester inférieures aux valeurs du tableau suivant. Depuis le taux global de distorsion de la tension doit rester inférieur à 8 % (y compris jusqu'au rang conventionnel de 40).

Valeur maximum des tensions d'harmoniques aux points de fournitures en % en U_n.

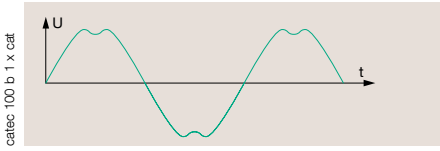
Harmoniques impairs				Harmoniques pairs	
non multiple de 3		multiple de 3			
Rang H	% UC	Rang H	% UC	Rang H	% UC
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6 à 24	0,5
13	3	21	0,5		
17	2				
19 à 25	1,5				



Courant "sinusoïdal" pur.



Courant déformé par des harmoniques.



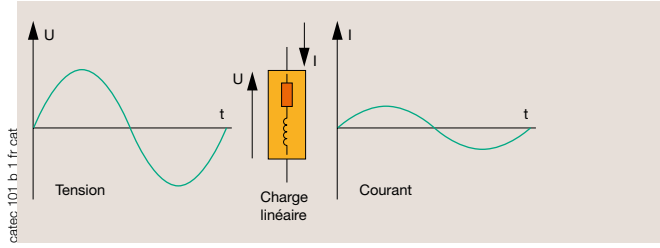
Tension déformée par des harmoniques.

Solutions

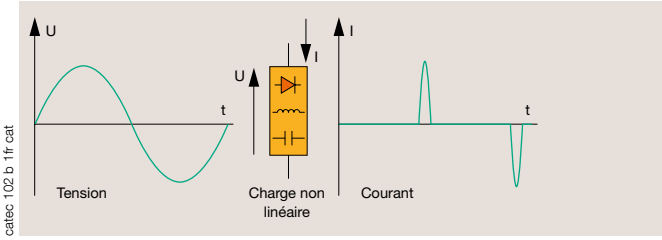
- Inductance en ligne.
- Utilisation de redresseurs
- Déclassement des équipements
- Augmentation de la puissance de court-circuit.
- Alimentation des charges perturbantes par ASI *(voir page 119)*.
- Utilisation de filtres anti-harmoniques.
- Augmentation des sections des conducteurs.
- Surdimensionnement de l'appareillage.

Charges linéaires - charges déformantes

Une charge est dite linéaire lorsque le courant qui la traverse a la même forme que la tension :



Une charge est dite déformante lorsque la forme du courant ne correspond plus à la forme de la tension :



Les charges déformantes conduisent à des valeurs du courant de neutre qui peuvent être très supérieures aux valeurs du courant de phase.

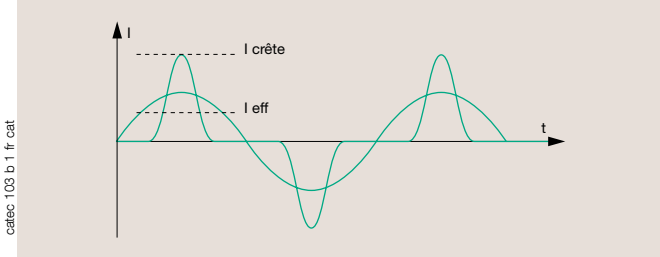
Qualité de l'énergie (suite)

Harmoniques (suite)

Facteur de crête (fc)

Dans le cas des charges déformantes, la déformation du courant peut être caractérisée par le facteur crête :

$$fc = \frac{Icrête}{I_{eff}}$$



Tension déformée par des harmoniques.

Exemples de valeurs de fc :
- charge résistive (sinusoïde pure) : 2 = 1,414,
- unité centrale informatique : 2 à 2,5,
- poste type PC : 2,5 à 3,
- imprimantes : 2 à 3.

Ces quelques valeurs du facteur de crête montrent que l'onde de courant peut être très éloignée de la sinusoïde pure.

Rang de l'harmonique

Les fréquences des harmoniques sont des multiples de la fréquence du réseau (50 Hz). Le multiple est appelé rang de l'harmonique.

Exemple : *le courant harmonique de rang 5 a une fréquence de 5 x 50 Hz = 250 Hz. Le courant harmonique de rang 1 est appelé le courant "fondamental".*

Courants harmoniques présents sur le réseau

Le courant circulant dans le réseau est la somme du courant sinusoïdal pur (appelé "fondamental") et d'un certain nombre de courants harmoniques dépendant du type de charge.

Tableau A : courants harmoniques présents sur le réseau

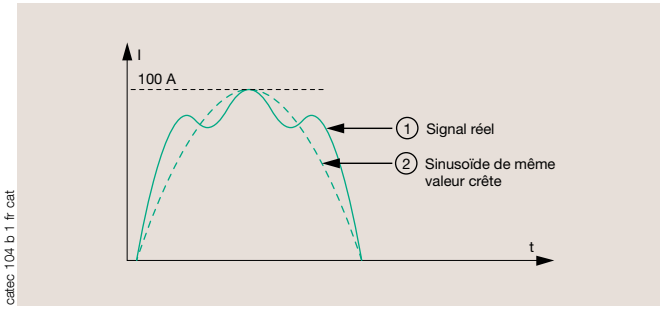
Sources		Rangs des harmoniques																		
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Redresseurs	1 alternance	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	2 alternances		•		•		•		•		•		•		•		•		•	
	3 alternances	•		•	•		•	•		•	•		•	•		•	•		•	•
	6 alternances				•		•				•		•				•		•	
	12 alternances										•		•							
Lampes à décharge			•		•		•		•		•		•		•		•		•	
Fours à arc			•		•		•		•		•		•		•		•		•	

Exemple : une lampe à décharge génère uniquement des courants harmoniques de rangs 3, 5, 7, 9, 11 et 13. Les courants harmoniques de rangs pairs (2, 4, 6…) sont absents.

Perturbation des appareils de mesure

Les appareils de mesure à aiguille de type ferromagnétique (ampèremètres, voltmètres…) sont conçus pour mesurer des grandeurs sinusoïdales d'une fréquence donnée (généralement 50 Hz). De même pour les appareils numériques autres que les appareils à échantillonnage. Ces appareils sont faussés en cas de signal déformé par des harmoniques (voir exemple ci-dessous).

Seuls les appareils donnant une valeur RMS vraie (ou efficace vraie) intègrent les déformations du signal et donnent la valeur efficace réelle (exemple : le DIRIS).



Perturbation de la mesure.

Exemple :

Le signal 1 est perturbé par la présence d'une harmonique 3. La valeur efficace d'une sinusoïde de même valeur crête serait :

$$\frac{100\ A}{2} = 70\ A$$

socomec Innovative Power Solutions

Qualité de l'énergie (suite)

Harmoniques (suite)

Calcul du courant efficace

En général, le calcul du courant efficace ne se fait que sur les 10 à 20 premiers courants harmoniques significatifs.

Par phase

$$I_{eff} = I^2_n + I^2_2 + I^2_3 + \ldots + I^2_k$$

I_n : courant fondamental du perturbateur
I2, I3… : courants harmoniques de rang 2, 3…

Sur le neutre

$$I_{eff\ neutre} = \sqrt{I^2_{N3} + I^2_{N9} + \ldots}$$

Les courants harmoniques de rangs impairs, multiples de 3 s'additionnent.

Les valeurs efficaces des courants harmoniques I2, I3, etc. sont difficiles à déterminer. (Nous consulter en nous précisant le type de charge, le facteur de crête, la puissance de la charge et la tension des réseaux.)

Exemple

Calcul du courant de phase et de neutre dans un réseau alimenté par un redresseur double alternance
- Facteur de crête : 2,5
- Charge 180 kVA : courant efficace 50 Hz équivalent :

$$\frac{180\ \text{kVA}}{\sqrt{3} \times 400\ \text{V}} = 260\ \text{A}$$

Harmoniques calculés :

I2 =	182 A	50 Hz
I3 =	146 A	150 Hz
I5 =	96 A	250 Hz
I7 =	47 A	350 Hz
I9 =	13 A	450 Hz

- Les courants harmoniques de rangs plus élevés sont négligeables.

Courant dans une phase :

$$Ip = \sqrt{(182)^2 + (146)^2 + \ldots} = 260\ \text{A}$$

Courant dans le neutre :

$$I_{Neutre} = \sqrt{(3 \times 146)^2 + (3 \times 13)^2} = 440\ \text{A}$$

Le courant dans le neutre est supérieur au courant par phase. Les sections de raccordement ainsi que le choix de l'appareillage devront en tenir compte.

Taux de distorsion et taux d'harmoniques global

$$T = \frac{\sqrt{I^2_2 + I^2_3 + \ldots + I^2_k}}{I_{eff}}$$

Amélioration de la qualité de l'énergie

Sources de remplacement

Les différents types de sources de remplacement sont décrits dans le tableau ci-dessous :

Types de source	Perturbations éliminées
Groupes tournants alimentés par le réseau	• coupure < 500 ms (suivant le volant d'inertie) • creux de tension • variations de fréquence
ASI	Efficaces contre toutes les perturbations, sauf les coupures longues > 15 mn à 1 heure (suivant la puissance installée et la puissance de l'onduleur)
Groupes générateurs autonomes	Efficaces dans tous les cas, mais avec une interruption de l'alimentation pendant le basculement normal / secours
Onduleurs + groupes autonomes	Cette solution couvre tous les types de perturbations évoqués *(voir page 119)*

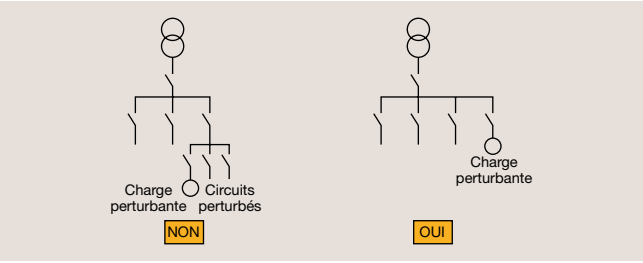
Les sources de secours mettant en œuvre des groupes électrogènes sont classées en plusieurs catégories ou classées selon le délai d'intervention requis avant reprise de la charge :

Catégorie	Délai d'intervention	Démarrage génératrice	Commentaires
D	non spécifié	manuel	Temps de montée en vitesse et puissance dépendant des températures ambiantes et moteur
C	coupure longue ≤ 15 s	à la perte du réseau	Maintien du préchauffage du groupe pour permettre un démarrage immédiat
B	courte coupure ≤ 1 s	rotation permanente	Démarrage rapide du moteur grâce à l'inertie motrice. Moteur en condition de préchauffage
A	sans coupure	couplée à la source	Reprise immédiate de la charge en cas de coupure de l'alimentation réseau.

Précautions d'installation

Isoler les charges perturbantes

- Par un réseau séparé, en partant d'une arrivée HT spécifique (pour des charges importantes).
- Par la subdivision des circuits : un défaut sur un circuit doit affecter le moins possible un autre circuit.
- Par la séparation des circuits comportant des charges perturbantes. Ces circuits sont séparés des autres circuits au niveau le plus haut possible de l'installation BT pour bénéficier de l'affaiblissement des perturbations par l'impédance des câbles.



catec 106 b 1 fr cat

Choisir un régime de neutre adapté

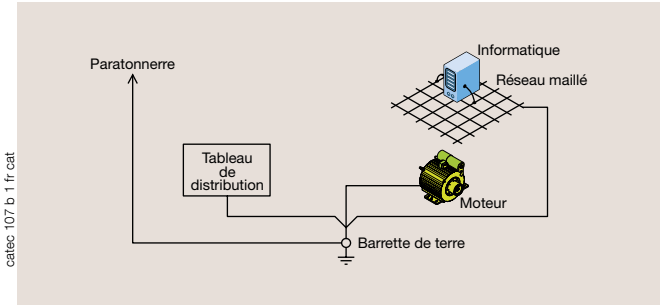
Le régime IT garantit une continuité d'exploitation en évitant, par exemple, l'ouverture des circuits par déclenchement intempestif d'un dispositif différentiel à la suite d'une perturbation transitoire.

Assurer la sélectivité des protections

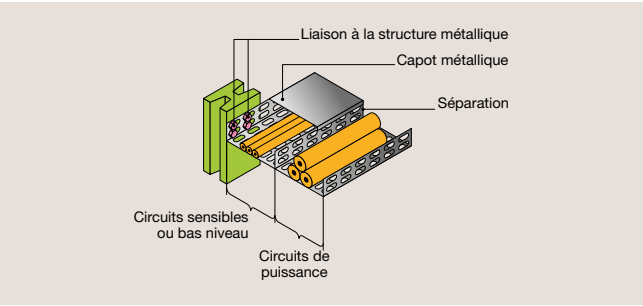
La sélectivité des protections permet de limiter la coupure au circuit en défaut *(voir pages 54 à 57 et 79).*

Soigner la mise en œuvre du réseau des masses

- Par l'établissement de réseaux de masses propres à certaines applications (informatique…) ; chaque réseau étant maillé pour obtenir la meilleure équipotentialité possible (la plus petite résistance entre les différents points du réseau de masse).
- En reliant ces masses en étoile, le plus près possible du piquet de terre.
- En utilisant des chemins de câbles, des goulottes, des tubes, des gouttières métalliques régulièrement reliés à la masse et interconnectés entre eux.
- En séparant les circuits perturbants des circuits sensibles disposés sur les mêmes chemins de câbles.
- En utilisant le plus possible les masses mécaniques (armoires, structures…) pour réaliser des masses équipotentielles.



catec 107 b 1 fr cat



catec 108 b 1 fr cat

Influences externes

Degrés de protection IP

Il est défini par deux chiffres et éventuellement par une lettre additionnelle.
On écrira par exemple : IP55 ou IPxxB (x signifiant : valeur indifférente).

Les chiffres et lettres additionnelles sont définis ci-dessous :

1er chiffre Protection contre la pénétration des corps solides			2e chiffre Protection contre la pénétration des liquides				Degrés de protection
IP 0	Tests	Pas de protection	IP 0	Tests	Pas de protection	Lettre additionnelle(2)	Description abrégée
1	ø 52,5 mm	Protégé contre les corps solides de diamètre supérieur ou égal à 50 mm	1		Protégé contre les chutes verticales de gouttes d'eau (condensation)	A	Protégé contre l'accès avec le dos de la main
2(1)	ø 12,5 mm	Protégé contre les corps solides de diamètre supérieur ou égal à 12 mm	2		Protégé contre les chutes de gouttes d'eau jusqu'à 15° de la verticale	B	Protégé contre l'accès avec un doigt
3	ø 2,5 mm	Protégé contre les corps solides de diamètre supérieur ou égal à 2,5 mm	3		Protégé contre l'eau en pluie jusqu'à 60° de la verticale	C	Protégé contre l'accès avec un outil
4	ø 1 mm	Protégé contre les corps solides de diamètre supérieur ou égal à 1 mm	4		Protégé contre les projections d'eau de toutes directions	D	Protégé contre l'accès avec un fil
5		Protégé contre les poussières (pas de dépôts nuisibles)	5		Protégé contre les jets d'eau de toutes directions à la lance		
6		Totalement protégé contre les poussières	6		Protégé contre les projections d'eau assimilables aux paquets de mer		
Les deux premiers chiffres caractéristiques sont définis de façon identique par les normes NF EN 60529, CEI 60529 et DIN 40050			7	1m 15cm mini	Protégé contre les effets de l'immersion		

Nota

(1) Le chiffre 2 est déterminé par deux essais :
- non pénétration d'une sphère de diamètre 12,5 mm
- non accessibilité du doigt d'épreuve de diamètre 12 mm.

(2) La lettre additionnelle définit l'accès à des parties dangereuses uniquement.

Exemple

Un appareil est muni d'une ouverture permettant l'accès avec un doigt. Il ne sera pas classé IP2x. Par contre, si les parties accessibles au doigt ne sont pas dangereuses (choc électrique, brûlure…), l'appareil pourra être classé xxB.

Degrés de protection contre les chocs mécaniques

Le code IK remplace le 3e chiffre du code IP qui existait dans certaines normes françaises NF EN 62262 / C 20015 (avril 2004).

Correspondances IK / AG

Énergie de choc (J)	0	0,15	0,2	0,35	0,5	0,7	1	2	5	6	10	20
Degré IK	0	1	2	3	4	5	6	7	8		9	10
Classification AG (NF C 15100)			AG1					AG2	AG3			AG4
Ancien 3e chiffre IP	0		1		3			5		7		9

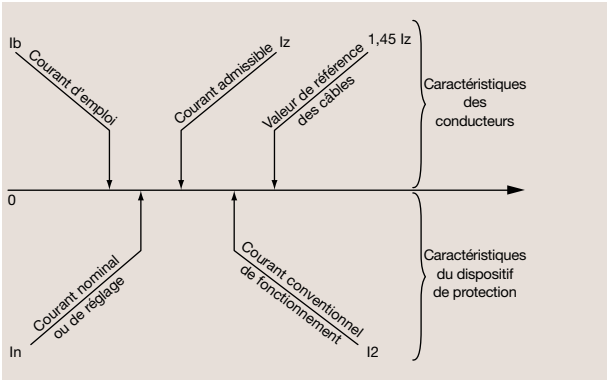
Courants de surcharge

"Des dispositifs de protection doivent être prévus pour interrompre tout courant de surcharge dans les conducteurs du circuit avant qu'il ne puisse provoquer un échauffement nuisible à l'isolation, aux connexions, aux extrémités ou à l'environnement des canalisations" (NF C 15100 § 433, CEI 60364).

Pour cela, on définit les courants suivants :
- **Ib :** courant d'emploi du circuit
- **Iz :** courant admissible du conducteur
- **In :** courant assigné du dispositif de protection
- **I2 :** courant assurant effectivement le fonctionnement du dispositif de protection ; en pratique I2 est pris égal :
- au courant de fonctionnement dans le temps conventionnel pour les disjoncteurs
- au courant de fusion dans le temps conventionnel, pour les fusibles du type gG.

Les conducteurs sont protégés si les deux conditions sont satisfaites :

$$1 : I_b \leq I_n \leq I_z$$
$$2 : I_2 \leq 1{,}45\ I_z$$



cdtec 018 b 1 fr cat

Exemple

Alimentation d'une charge de 150 kW sous 400 V triphasé.
Ib = 216 A courant nécessaire à la charge
In = 250 A calibre du fusible gG protégeant le circuit
Iz = 298 A courant maximal admissible pour un câble 3 x 95 mm^2 suivant le mode de pose et les conditions externes donnés par la méthode exposée dans les pages suivantes
I2 = 400 A courant de fusion du fusible 250 A (1,6 x 250 A = 400 A)

1,45 Iz = 1,45 x 298 = 432 A.

Les conditions 1 et 2 sont bien remplies :
Ib = 216 A ≤ In = 250 A ≤ Iz = 298 A
I2 = 400 A ≤ 1,45 Iz = 432 A.

Détermination du courant I2

Courant assurant le fonctionnement effectif du dispositif de protection

Fusibles gG (CEI 60269-2-1)	Courant I_2
Calibre ≤ 4 A	2,1 I_n
4 A < Calibre < 16 A	1,9 I_n
Calibre ≥ 16 A	1,6 I_n
Disjoncteur industriel	1,45 I_n

Détermination du courant admissible I_z (suivant NF C 15100 et CEI 60364)

Courants admissibles dans les câbles

Le tableau ci-après donne la valeur du courant maximal Iz admissible pour chaque section des câbles cuivre et aluminium. Elles sont à corriger en fonction des coefficients suivants :

- **Km** : coefficient de mode de pose *(page 16)*
- **Kn** : coefficient prenant en compte le nombre de câbles posés ensemble *(voir page 16)*
- **Kt** : coefficient tenant compte de la température ambiante et du type de câble *(voir page 18)*.

Les coefficients Km, Kn et Kt sont déterminés en fonction des catégories d'installation des câbles : B, C, E ou F *(voir page 18)*.
La section retenue doit être telle que :

$$I_z \geq I'_z = \frac{I_b}{K_m \times K_n \times K_t}$$

Les câbles sont classés en deux familles : PVC et PR *(voir tableau page 18)*. Le chiffre suivant donne le nombre de câbles chargés. Les câbles isolés par élastomère (caoutchouc, butyle…) sont classés dans la famille PR.

Exemple : PVC 3 indique un câble de la famille PVC avec 3 conducteurs chargés (3 phases ou 3 phases + neutre).

Tableau A

Catégorie	Iz courant maximal admissible dans les conducteurs (A)								
B	PVC3	PVC2		PR3		PR2			
C		PVC3		PVC2	PR3		PR2		
E			PVC3		PVC2	PR3		PR2	
F				PVC3		PVC2	PR3		PR2
S mm² cuivre									
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
S mm² aluminium									
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	188	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

Détermination du courant admissible I_Z (suivant NF C 15100 et CEI 60364) (suite)

Coefficient K_m

Catégorie	Mode de pose		K_m (a)	(b)	(c)	(d)
B	1. Sous parois thermiquement isolantes		0,77	-	0,70	0,77
	2. Montage apparent, encastré sous paroi ou sous profilé		1	-	0,9	-
	3. Sous vide de construction ou faux plafonds		0,95	-	0,865	0,95
	4. Sous caniveaux		0,95	0,95	-	0,95
	5. Sous goulottes, moulures, plinthes		-	1	-	0,9
C	1. Câbles mono- ou multiconducteurs encastrés directement dans une paroi sans protection mécanique		-	-	-	1
	2. Câbles fixés	• sur un mur	-	-	-	1
		• au plafond	-	-	-	0,95
	3. Conducteurs nus ou isolés sur isolateur		-	1,21	-	-
	4. Câbles sur chemins de câbles non perforés		-	-	-	1
E ou F	Câbles multiconducteurs sur ou Câbles monoconducteurs sur	1. Chemins de câbles perforés	-	-	-	1
		2. Corbeaux, échelles				
		3. Colliers éloignés de la paroi				
		4. Câbles suspendus à un câble porteur				

(a) Conducteur isolé placé dans un conduit.
(b) Conducteur isolé non placé dans un conduit.
(c) Câble placé dans un conduit.
(d) Câble non placé dans un conduit.

Coefficient K_n

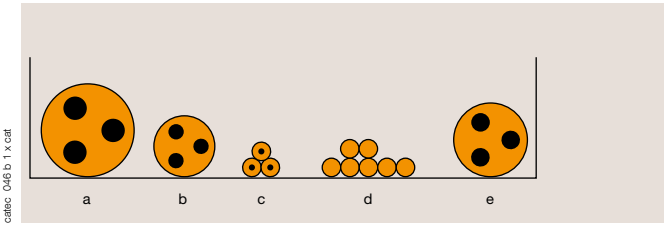
Tableau A

Catégorie	Disposition des câbles jointifs	Facteurs de correction K_n — Nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs: 1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
B, C	Encastrés ou noyés dans les parois	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45	0,40	0,40
C	Simple couche sur les murs ou les planchers ou tablettes non perforées	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		
E, F	Simple couche au plafond	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61			
	Simple couche sur des tablettes horizontales perforées ou tablettes verticales	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72			
	Simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, etc.	1,00	0,88	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78			

Quand les câbles sont disposés en plusieurs couches, il faut multiplier K_n par :

Tableau B

Nombre de couches	2	3	4 et 5	6 à 8	9 et plus
Coefficient	0,80	0,73	0,70	0,68	0,66



Exemple

Sur une tablette perforée sont disposés :
- 2 câbles tripolaires (2 circuits a et b),
- 1 ensemble de 3 câbles unipolaires (1 circuit c),
- 1 ensemble formé de 2 conducteurs par phase (2 circuits d),
- 1 câble tripolaire pour lequel on cherche Kn (1 circuit e).

Le nombre total de circuits est de 6. La méthode de référence est la méthode E (tablette perforée). Kn = 0,55.

NF C 15100 § 523.6

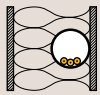
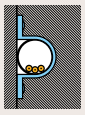
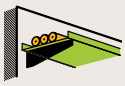
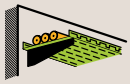
D'une manière générale, il est recommandé de mettre en œuvre le moins possible de câbles en parallèle. Dans tous les cas, leur nombre ne doit pas dépasser quatre. Au-delà, il y a lieu de préférer la mise en œuvre de canalisations préfabriquées.

N.B. : des méthodes particulièrement intéressantes de protection de conducteurs en parallèle contre les surcharges par fusibles sont données dans la publication CEI 60364-4-41.

socomec Innovative Power Solutions

Détermination du courant admissible I_z (suivant NF C 15100 et CEI 60364) (suite)

Modes de pose

Catégorie B - 1							
							
Conducteurs isolés dans des conduits encastrés dans des parois thermiquement isolantes.	Câbles multiconducteurs dans des conduits encastrés dans des parois thermiquement isolantes.	Conducteurs isolés dans des conduits en montage apparent.	Câbles mono- ou multiconducteurs dans des conduits en montage apparent.	Conducteurs isolés dans des conduits-profilés en montage apparent.	Câbles mono- ou multi-conducteurs dans des conduits-profilés en mon-tage apparent.	Conducteurs isolés dans des conduits encastrés dans une paroi.	Câbles mono- ou multiconducteurs dans des conduits encastrés dans une paroi.
Catégorie B - 2							
Conducteurs isolés ou câbles mono- ou multiconducteurs dans des goulottes fixées aux parois : en parcours horizontal.	Conducteurs isolés ou câbles mono- ou multiconducteurs dans des goulottes fixées aux parois : en parcours vertical.	Conducteurs isolés dans des goulottes encastrées dans des planchers.	Câbles mono- ou multiconducteurs dans des goulottes encastrées dans des planchers.	Conducteurs isolés dans des goulottes suspendues.	Câbles mono- ou multiconducteurs dans des goulottes suspendues.		
Catégorie B - 3							
Câbles mono- ou multiconducteurs dans des vides de construction.	Conducteurs isolés dans des conduits dans des vides de construction.	Câbles mono- ou multiconducteurs dans des conduits dans des vides de construction.	Conducteurs isolés dans des conduits-profilés dans des vides de construction.	Câbles mono- ou multiconducteurs dans des conduits- profilés dans des vides de construction.	Conducteurs isolés dans des conduits-profilés noyés dans la construction.	Câbles mono- ou multiconducteurs dans des conduits-profilés noyés dans la construction.	Câbles mono- ou multiconducteurs : • dans les faux-plafonds • dans des plafonds suspendus.
Catégorie B - 4				Catégorie B - 5			
Câbles multiconducteurs encastrés directement dans des parois thermiquement isolantes.	Conducteurs isolés dans des conduits ou câbles multiconducteurs dans des caniveaux fermés, en parcours horizontal ou vertical.	Conducteurs isolés dans des conduits dans des caniveaux ventilés.	Câbles mono- ou multiconducteurs dans des caniveaux ouverts ou ventilés.	Conducteurs isolés dans des moulures.	Conducteurs isolés ou câbles mono- ou multiconducteurs dans des plinthes rainurées.	Conducteurs isolés dans des conduits ou câbles mono- ou multiconducteurs dans les chambranles.	Conducteurs isolés dans des conduits ou câbles mono- ou multiconducteurs dans les huisseries de fenêtres.
Catégorie C - 1		Catégorie C - 2		Catégorie C - 3		Catégorie C - 4	
							
Câbles mono- ou multiconducteurs encastrés directement dans des parois sans protection mécanique complémentaire.	Câbsles mono- ou multiconducteurs encastrés directement dans des parois avec protection mécanique complémentaire.	Câbles mono- ou multiconducteurs, avec ou sans armure : fixés sur un mur.	Câbles mono- ou multiconducteurs, avec ou sans armure : fixés à un plafond.	Conducteurs nus ou isolés sur isolateurs.		Câbles mono- ou multiconducteurs sur des chemins de câbles ou tablettes non perforées.	
Catégories E - 1(1) et F - 1(2)		Catégories E - 2(1) et F - 2(2)		Catégories E - 3(1) et F - 3(2)		Catégories E - 4(1) et F - 4(2)	
							
Sur des chemins de câbles ou tablettes perforées, en parcours horizontal ou vertical.		Sur des corbeaux.	Sur échelles à câbles.	Fixés par des colliers et espacés de la paroi.		Câbles mono- ou multiconducteurs suspendus à un câble porteur ou autoporteur.	

(1) Câbles multiconducteurs. *(2) Câbles monoconducteurs.*

Détermination du courant admissible I_z (suivant NF C 15100 et CEI 60364) (suite)

Coefficient K_t

Tableau C

	Isolants		
Température ambiante (°C)	Élastomère (caoutchouc)	PVC	PR/EPR
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

Exemple

Pour un câble isolé au PVC qui se trouve dans un local où la température ambiante atteint 40 °C. Kt = 0,87.

Identification des câbles

Tableau A :
équivalences entre l'ancienne et la nouvelle appellation (câbles)

Ancienne appellation (norme nationale)	Nouvelle appellation (norme harmonisée)
U 500 VGV	A 05VV - U (ou R)
U 1000 SC 12 N	H 07 RN - F
U 500 SV 0V	A 05 VV - F
U 500 SV 1V	

Tableau B : classification des câbles

Câbles PR		Câbles PVC	
U 1000	R 12 N	FR-N 05	W-U, R
U 1000	R2V	FR-N 05	W-AR
U 1000	RVFV	FR-N 05	VL2V-U, R
U 1000	RGPFV	FR-N 05	VL2V-AR
H 07	RN-F	H 07	VVH2-F
FR-N 07	RN-F	H 07	VVD3H2-F
A 07	RN-F	H 05	VV-F
FR-N 1	X1X2	H 05	VVH2-F
FR-N 1	X1G1	FR-N 05	VV5-F
FR-N 1	X1X2Z4X2	FR-N 05	VVC4V5-F
FR-N 1	X1G1Z4G1	A 05	VV-F
FR-N 07	X4X5-F	A 05	VVH2-F
0,6/1	Torsadés		
FR-N 1	XDV-AR, AS, AU		
H 05	RN-F		
A 05	RN-F		
H 05	RR-F		
A 05	RR-F		

Exemples

On veut alimenter une charge triphasée avec neutre ayant un courant nominal de 80 A (donc Ib = 80 A). Le câble utilisé, de type U 1000 R2V, est posé sur une tablette perforée avec trois autres circuits, à une température ambiante de 40 °C.
Iz doit être tel que :

$$I_z \geq I'_z = \frac{I_b}{K_m \times K_n \times K_t}$$

Détermination de I'z

- mode de pose : E donc Km = 1 (voir tableau *page 16*)
- nombre total de circuits : 4 donc Kn = 0,77 (voir tableau A *page 16*)
- température ambiante : 40 °C donc Kt = 0,91 (voir tableau C).

D'où

$$I'_z = \frac{80\ A}{1 \times 0{,}77 \times 0{,}91} = 114\ A$$

Détermination de Iz

Le câble U 1000 R2V est de type PR (voir tableau B). Le nombre de conducteurs chargés est de 3. Il faut donc se reporter à la colonne PR3 du tableau A *page 15* correspondant à la catégorie E.
Il faut choisir Iz immédiatement supérieur à I'z donc Iz = 127 A ce qui correspond à un câble de 3 x 25 mm² en cuivre, protégé par un fusible gG de 100 A, ou à un câble de 3 x 35 mm² aluminium, protégé par un fusible gG de 100 A.

socomec Innovative Power Solutions

Protection des canalisations contre les surcharges par fusibles gG

La colonne Iz donne la valeur du courant maximal admissible pour chaque section des câbles en cuivre et en aluminium, suivant la norme NF C 15100 et le guide UTE 15105.

La colonne F donne le calibre du fusible gG associé à la section et au type de câble.

Les catégories B, C, E et F correspondent aux différents modes de pose des câbles *(voir page 17)*.

Les câbles sont classés en deux familles : PVC et PR *(voir tableaux page 18)*. Le chiffre placé à la suite donne le nombre de conducteurs chargés (PVC 3 indique un câble de la famille PVC avec 3 conducteurs chargés : 3 phases ou 3 phases + neutre).

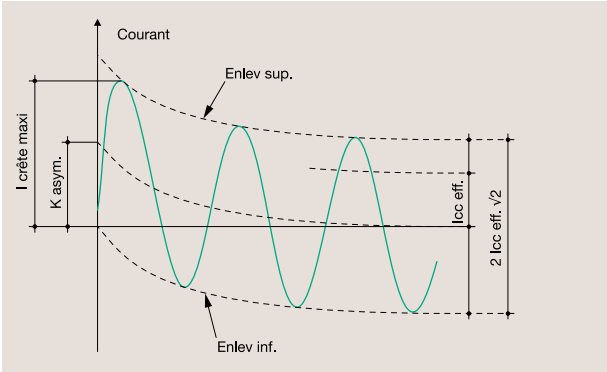
Exemple : un câble PR3 de 25 mm2 cuivre installé en catégorie E est limité à 127 A et protégé par un fusible de 100 A gG.

Catégorie	Courant admissible (I_z) protection fusible associé (F)																	
B	PVC3		PVC2				PR3				PR2							
C			PVC3				PVC2		PR3				PR2					
E					PVC3				PVC2		PR3				PR2			
F							PVC3				PVC2		PR3				PR2	
S mm²																		
Cuivre	Iz	F	Iz	F	Iz	F	Iz	F	Iz	F	Iz	F	Iz	F	Iz	F	Iz	F
1,5	15,5	10	17,5	10	18,5	16	19,5	16	22	16	23	20	24	20	26	20		
2,5	21	16	24	20	25	20	27	20	30	25	31	25	33	25	36	32		
4	28	25	32	25	34	25	36	32	40	32	42	32	45	40	49	40		
6	36	32	41	32	43	40	46	40	51	40	54	50	58	50	63	50		
10	50	40	57	50	60	50	63	50	70	63	75	63	80	63	86	63		
16	68	50	76	63	80	63	85	63	94	80	100	80	107	80	115	100		
25	89	80	96	80	101	80	112	100	119	100	127	100	138	125	149	125	161	125
35	110	100	119	100	126	100	138	125	147	125	158	125	171	125	185	160	200	160
50	134	100	144	125	153	125	168	125	179	160	192	160	207	160	225	200	242	200
70	171	125	184	160	196	160	213	160	229	200	246	200	269	160	289	250	310	250
95	207	160	223	200	238	200	258	200	278	250	298	250	328	250	352	315	377	315
120	239	200	259	200	276	250	299	250	322	250	346	315	382	315	410	315	437	400
150			299	250	319	250	344	315	371	315	399	315	441	400	473	400	504	400
185			341	250	364	315	392	315	424	315	456	400	506	400	542	500	575	500
240			403	315	430	315	461	400	500	400	538	400	599	500	641	500	679	500
300			464	400	497	400	530	400	576	500	621	500	693	630	741	630	783	630
400									656	500	754	630	825	630			840	800
500									749	630	868	800	946	800			1083	1000
630									855	630	1005	800	1088	800			1254	1000
Aluminium																		
2,5	16,5	10	18,5	10	19,5	16	21	16	23	20	24	20	26	20	28	25		
4	22	16	25	20	26	20	28	25	31	25	32	25	35	32	38	32		
6	28	20	32	25	33	25	36	32	39	32	42	32	45	40	49	40		
10	39	32	44	40	46	40	49	40	54	50	58	50	62	50	67	50		
16	53	40	59	50	61	50	66	50	73	63	77	63	84	63	91	80		
25	70	63	73	63	78	63	83	63	90	80	97	80	101	80	108	100	121	100
35	86	80	90	80	96	80	103	80	112	100	120	100	126	100	135	125	150	125
50	104	80	110	100	117	100	125	100	136	125	146	125	154	125	164	125	184	160
70	133	100	140	125	150	125	160	125	174	160	187	160	198	160	211	160	237	200
95	161	125	170	125	183	160	195	160	211	160	227	200	241	200	257	200	289	250
120	188	160	197	160	212	160	226	200	245	200	263	250	280	250	300	250	337	250
150			227	200	245	200	261	200	283	250	304	250	324	250	346	315	389	315
185			259	200	280	250	298	250	323	250	347	315	371	315	397	315	447	400
240			305	250	330	250	352	315	382	315	409	315	439	400	470	400	530	400
300			351	315	381	315	406	315	440	400	471	400	508	400	543	500	613	500
400									526	400	600	500	663	500			740	630
500									610	500	694	630	770	630			856	630
630									711	630	808	630	899	800			996	800

Courants de courts-circuits

Un courant de court-circuit est un courant provoqué par un défaut d'impédance négligeable entre des points d'installation présentant normalement une différence de potentiel. On distingue 3 niveaux de courant de court-circuit :

- le courant de **court-circuit crête** (I_{cc} crête) correspondant à la valeur extrême de l'onde, générant des forces électrodynamiques élevées notamment au niveau des jeux de barres et des contacts ou connexions d'appareillage,
- le courant de **court-circuit efficace** (I_{cc} eff) : valeur efficace du courant de défaut qui provoque des échauffements dans les appareils et les conducteurs et peut porter les masses des matériels électriques à un potentiel dangereux,
- le courant de **court-circuit minimum** (I_{cc} min) : valeur efficace du courant de défaut s'établissant dans des circuits d'impédance élevée (conducteur à section réduite et canalisation de grande longueur…) et dont cette impédance a été en plus augmentée par l'échauffement de la canalisation en défaut. Il est nécessaire d'éliminer rapidement ce type de défaut dit impédant par des moyens appropriés.



catec 131 b 1 fr cat

Calcul du Icc d'une source

Avec 1 transformateur

- Évaluation rapide en fonction de la puissance du transformateur :

Secteurs	I_n	I_{cc} eff
127 / 220 V	S (kVA) x 2,5	I_n x 20
220 / 380 V	S (kVA) x 1,5	I_n x 20

- Évaluation rapide en fonction de la tension de court-circuit du transformateur (u) :

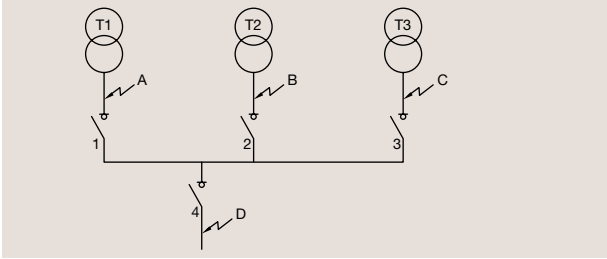
$$I_{cc}\ (\text{A eff}) = \frac{S}{U\sqrt{3}} \times \frac{100}{u} \times k$$

S : puissance (VA)
U : tension composée (V)
u : tension de court-circuit (%)
k : coefficient pour tenir compte des impédances amont (0,8 par exemple).

Avec "n" transformateurs en parallèle

"n" étant le nombre de transformateurs.

- T1 ; T2 ; T3 identiques.
- Court-circuit en A, B ou C, les appareils 1, 2 ou 3 doivent supporter :
  I_{cc} A = (n-1) x Icc d'un transformateur (soit 2 I_{cc}).
- Court-circuit en D, l'appareil 4 doit supporter :
  I_{ccD} = n x I_{cc} d'un transformateur (soit 3 I_{cc}).



catec 132 a 1 x cat

Court-circuit avec plusieurs transformateurs en parallèle.

I_{cc} batteries

Les valeurs de I_{cc} en aval d'une batterie d'accumulateurs sont approximativement :
I_{cc} = 15 x Q (plomb ouvert)
I_{cc} = 40 x Q (plomb étanche)
I_{cc} = 20 x Q (Ni-Cd)
Q (Ah) : capacité en Ampère - heure.

socomec Innovative Power Solutions

Calcul du I_{cc} d'une source (suite)

I_{cc} des groupes générateurs

L'impédance interne d'un alternateur dépend de sa construction. Celle-ci peut être caractérisée par deux valeurs exprimées en % :

la réactance transitoire X'd :

- 15 à 20 % d'un turboalternateur,
- 25 à 35 % pour un alternateur à pôles saillants (la réactance subtransitoire est négligée).

la réactance homopolaire X'o :

On peut l'estimer à 6 % en l'absence d'indications plus précises. On peut calculer :

$$I_{cc3} = \frac{k_3 \times P}{U_0 \times X'd}$$

$$I_{cc2} = 0{,}86 \times I_{cc3}$$

$$I_{cc1} = \frac{k_1 \times P}{U_0\,(2X'd + X'0)}$$

P : Puissance de l'alternateur en kVA
U0 : Tension simple
X'd : Réactance transitoire
k3 = 0,37 pour I_{cc3} max
k3 = 0,33 pour I_{cc3} min
X'0 : Réactance homopolaire
k1 = 1,1 pour I_{cc1} max
k1 = 1,1 pour I_{cc1} min

Exemple :

P = 400 kVA X'd = 30 % X'0 = 6 % U0 = 230 V

$$I_{cc3}\ \max = \frac{0{,}37 \times 400}{230 \times \frac{30}{100}} = 2{,}14\ \text{kA}$$

$$I_{cc1}\ \max = \frac{1{,}1 \times 400}{230 \times \left[2 \times \frac{30}{100} + \frac{6}{100}\right]} = 2{,}944\ \text{kA} \qquad I_{cc2}\ \max = 1{,}844\ \text{kA}$$

Calcul du I_{cc} d'une installation BT

Généralités

Le calcul des courants de court-circuit a pour but de déterminer :

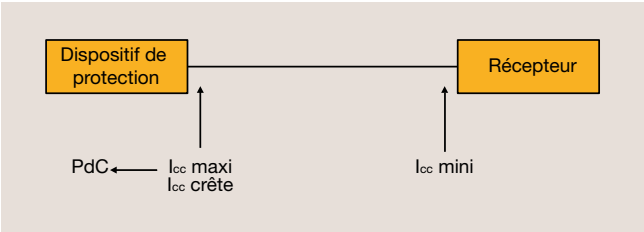
le pouvoir de coupure du dispositif de protection (PdC),

- la section des conducteurs permettant :
  - de supporter la contrainte thermique du courant de court-circuit,
  - de garantir l'ouverture du dispositif de protection contre les contacts indirects dans le temps prescrit par les normes NF C 15100 et CEI 60364,
- la tenue mécanique des supports de conducteur (efforts électrodynamiques).

Le PdC du dispositif de protection est déterminé à partir de Icc maxi calculé à ses bornes.

La section des conducteurs dépend de Icc mini calculé aux bornes du récepteur.

La tenue mécanique des supports des conducteurs est déterminée à partir du calcul de Icc crête déduit du Icc maxi.



Le calcul des courants de court-circuit peut se faire suivant l'une des trois méthodes :

Méthode conventionnelle

Elle permet de calculer I_{cc} mini.

Méthode des impédances

La méthode des impédances consiste à calculer l'impédance **Z** de la boucle de défaut en tenant compte de l'impédance de la source d'alimentation (réseau, batteries, groupe…). Cette méthode est précise et permet de calculer I_{cc} maxi et I_{cc} mini, mais nécessite la connaissance des paramètres du circuit en défaut *(voir page 22)*.

Méthode rapide

La méthode rapide s'applique dans le cas où les paramètres du circuit de défaut ne sont pas tous connus. Le courant de court-circuit I_{cc} est déterminé en un point du réseau, connaissant I_{cc} amont ainsi que la longueur et la section de raccordement au point amont *(voir page 25)*. Cette méthode donne uniquement la valeur de I_{cc} maxi.

catec 133 b 1 fr cat

Calcul du I_{cc} d'une installation BT (suite)

Méthode conventionnelle

Elle donne la valeur de Icc mini à l'extrémité d'une installation qui n'est pas alimentée par un alternateur.

$$I_{cc} = A \times \frac{0{,}8\, U \times S}{2\, \rho\, L}$$

U : tension entre phases en V

L : longueur en m de la canalisation

S : section des conducteurs en mm²

ρ = 0,028 mW.m pour le cuivre en protection fusible
0,044 mW.m pour l'aluminium en protection fusible
0,023 mW.m pour le cuivre en protection disjoncteur
0,037 mW.m pour l'aluminium en protection disjoncteur

A = 1 pour les circuits avec neutre (section neutre = section phase)
1,73 pour les circuits sans neutre
0,67 pour les circuits avec neutre (section neutre = 1/2 section phase)

Pour des sections de câbles supérieures ou égales à 150 mm², il faut tenir compte de la réactance divisant la valeur de I_{cc} par : câble de 150 mm² : 1,15 ; câble de 185 mm² : 1,2 ; câble de 240 mm² : 1,25 ; câble de 300 mm² : 1,3

Méthode des impédances

La méthode des impédances consiste à additionner toutes les résistances R et toutes les réactances X du circuit en amont du court-circuit (voir page suivante), puis à calculer l'impédance Z.

$$Z_{(m\Omega)} = \sqrt{R^2_{(m\Omega)} + X^2_{(m\Omega)}}$$

Cette méthode permet de calculer :

I_{cc3} : courant de court-circuit triphasé

$$I_{cc3} = 1{,}1 \times \frac{U_0}{Z_3}$$

U_0 : tension simple (230 V dans un réseau 230 / 400)
Z_3 : impédance de la boucle triphasée (voir page 24).

I_{cc2} : courant de court-circuit entre 2 phases

$$I_{cc2} = 0{,}86 \times I_{cc3}$$

I_{cc1} : courant de court-circuit monophasé

$$I_{cc1} = 1{,}1 \times \frac{U_0}{Z_1}$$

U_0 : tension simple (230 V dans un réseau 230 / 400)
Z_1 : impédance de la boucle monophasée (voir page 24).

I_{cc} crête

Dans les cas où il est nécessaire de connaître les efforts électrodynamiques, sur un support de barres par exemple, il faut calculer I_{cc} crête :

$$I_{cc\ crête\ (kA)} = I_{cc\ eff\ (kA)} \times \sqrt{2} \times k$$

k : coefficient d'asymétrie donné ci-dessous

k = 1 pour un régime symétrique (cos φ = 1).

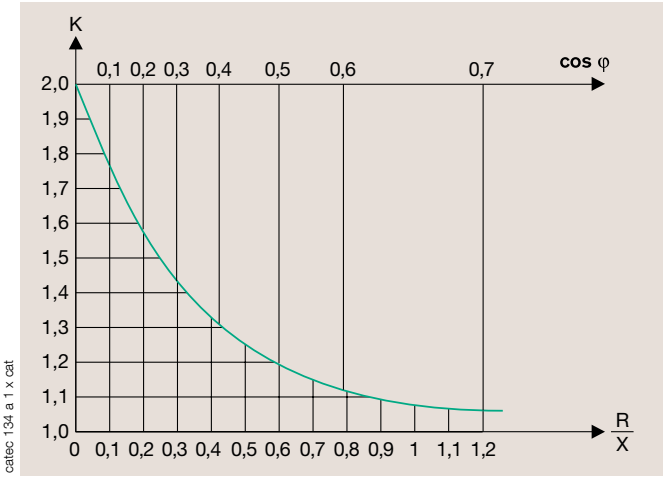


Fig. 1

Nota : on utilisera plus naturellement la valeur de R / X, celle-ci étant davantage exploitable dans ce diagramme.

socomec Innovative Power Solutions

Méthode des impédances (suite)

Détermination des valeurs de "R" et de "X" (réseau) **R = résistance** **X = réactance**

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de R et X pour les différentes parties du circuit jusqu'au point de court-circuit.
Pour calculer l'impédance de la boucle de défaut, il faudra additionner séparément les R et les X *(voir exemple page 24)*.

Schéma | Valeurs de R et X

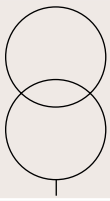
Réseau amont
Valeurs de "R" et "X" en amont des transformateurs HT / BT (400 V) en fonction de la puissance de court-circuit (Pcc en MVA) de ce réseau.

MVA	Réseau	R (mΩ)	X (mΩ)
500	> 63 kV	0,04	0,35
250	> 24 kV près des centrales	0,07	0,7
125	> 24 kV loin des centrales	0,14	1,4

Si la puissance de court-circuit (Pcc) est connue
Uo tension à vide (400 V ou 230 V en AC 50 Hz).

$R_{(m\Omega)} = 0,1 \times X_{(m\Omega)}$

$X_{(m\Omega)} = \dfrac{3,3 \times U_0^2}{P_{cc}\ kVA}$



Transformateurs immergés à secondaires 400 V
Valeurs de "R" et "X" en fonction de la puissance du transformateur.

P (kVA)	50	100	160	200	250	400	630	1000	1250	1600	2000	2500
I_{cc3} (kA)	1,80	3,60	5,76	7,20	9,00	14,43	22,68	24,01	30,03	38,44	48,04	60,07
R (mΩ)	43,7	21,9	13,7	10,9	8,7	5,5	3,5	3,3	2,6	2,0	1,6	1,31
X (mΩ)	134	67	41,9	33,5	26,8	16,8	10,6	10,0	8,0	6,3	5,0	4,01

Conducteurs

$R_{(m\Omega)} = \dfrac{\rho \times l_{(m)}}{S_{(mm^2)}}$ avec $\rho = \dfrac{m\Omega \times mm^2}{m}$

Résistivité ρ en 10^{-6} mΩ.m

	I_{cc} maxi	I_{cc} mini	
		Protection fusible	Protection disjoncteur
Cuivre	18,51	28	23
Aluminium	29,4	44	35

$X_{(m\Omega)} = 0,08 \times l_{(m)}$ (câbles multipolaires ou câbles monopolaires en trèfle)(1)
$X_{(m\Omega)} = 0,13 \times l_{(m)}$ (câbles monopolaires jointifs en nappe)(1)
$X_{(m\Omega)} = 0,09 \times l_{(m)}$ (câbles monoconducteurs séparés)

$X_{(m\Omega)} = 0,15 \times l_{(m)}$ (jeux de barres)(1)

(1) Cuivre et aluminium

Appareil en position fermée

R = 0 et X = 0,15 mΩ

Calcul du I_{cc} d'une installation BT (suite)

Méthode des impédances (suite)

Exemple de calcul I_{cc} maxi

ρ cuivre = 18,51 ρ aluminium = 29,4 U_o = 230 V

				Phases		Neutre		Protection	
				R	X	R	X	R	X
Réseau 250 MVA		R = 0,07 mΩ	X = 0,7 mΩ	0,07	0,7				
Transformateur de 630 kVA		R = 3,5 mW	X = 10,6 mΩ	3,5	10,6				
Câbles : aluminium									
Ph : l = 10 m 4 x 240 mm²		Ph : R = $\frac{29,4 \times 10}{240 \times 4}$ = 0,306 m Ω	X = $\frac{0,13 \times 10}{4}$ = 0,325 m Ω	0,306	0,325				
N : l = 10 m 2 x 240 mm²		N : R = $\frac{29,4 \times 10}{240 \times 2}$ = 0,612 m Ω	X = $\frac{0,13 \times 10}{2}$ = 0,65 m Ω			0,612	0,65		
PE : l = 12 m 1 x 240 mm²		PE : R = $\frac{29,4 \times 12}{240}$ = 1,47 m Ω	X = 0,13 x 12 = 1,56 m Ω					1,47	1,56
Appareil		(protection du transformateur)	X = 0,15 mΩ		0,15				
I_{cc}		**Sous-total : niveau "arrivée" TGBT (∑)**		**3,87**	**11,77**	**0,612**	**0,65**	**1,47**	**1,56**
Jeux de barres cuivre l = 3 m		Icc							
Ph : 2 x 100 x 5		Ph : R = $\frac{18,51 \times 3}{2 \times 100 \times 5}$ = 0,055 m Ω	X = 0,15 x 3 = 0,45 m Ω	0,055	0,45				
N : 1 x 100 x 5		N : R = $\frac{18,51 \times 3}{1 \times 100 \times 5}$ = 0,011 m Ω	X = 0,15 x 3 = 0,45 m Ω			0,11	0,45		
PE : 1 x 40 x 5		PE : R = $\frac{18,51 \times 3}{40 \times 5}$ = 0,277 m Ω	X = 0,15 x 3 = 0,45 m Ω					0,277	0,45
Total au niveau du jeu de barres (∑)				**3,925**	**12,22**	**0,722**	**1,1**	**1,75**	**2,01**

À l'arrivée dans le TGBT

- Impédance de la boucle triphasée :

$$Z_3 = \sqrt{R_{ph}^2 + X_{ph}^2}$$

$Z_3 = \sqrt{(3,87)^2 + (11,77)^2} = 12,39$ mΩ

I_{cc3} maxi = $\frac{1,1 \times 230\ V}{12,39\ m\Omega}$ = 20,5 kA

I_{cc2} maxi = 0,86 x 20,5 kA = 17,6 kA

- Impédance de la boucle monophasée :

$$Z_1 = \sqrt{(R_{ph} + R_n)^2 + (X_{ph} + X_n)^2}$$

$Z_1 = \sqrt{(3,87 + 0,612)^2 + (11,77 + 0,65)^2} = 13,2$ mΩ

I_{cc1} = $\frac{1,1 \times 230\ V}{13,2\ m\Omega}$ = 19,2 kA

Exemple de calcul I_{cc} mini

Le calcul de I_{cc} mini est identique au calcul précédent en remplaçant les résistivités du cuivre et de l'aluminium par :

ρ_{cuivre} = 28 ρ_{alu} = 44

- Impédance de la boucle monophasée phase / neutre :

$Z1 = \sqrt{(4,11 + 1,085)^2 + (12,22 + 1,1)^2} = 14,3$ mΩ

I_{cc1} mini = $\frac{230\ V}{14,3\ m\Omega}$ = 16 kA

- Impédance de la boucle monophasée phase / protection :

$Z1 = \sqrt{(4,11 + 2,62)^2 + (12,22 + 2,01)^2} = 15,74$ mΩ

$I_{cc}1$ mini = $\frac{230\ V}{15,74\ m\Omega}$ = 14,6 kA

À l'arrivée sur le jeu de barre

- Impédance de la boucle triphasée :

$$Z_3 = \sqrt{R_{ph}^2 + X_{ph}^2}$$

$Z_3 = \sqrt{(3,925)^2 + (12,22)^2} = 12,8$ mΩ

I'_{cc3} maxi = $\frac{1,1 \times 230\ V}{12,8\ m\Omega}$ = 19,8 kA

I'_{cc2} maxi = 0,86 x 19,8 kA = 17 kA

$\frac{R}{X} = \frac{3,925}{12,22}$ = 0,32 *(d'après la figure 1 page 22)*, k = 1,4

$$I'_{cc}\ \text{crête} = 19,8 \times \sqrt{2} \times 1,4 = 39,2\ kA$$

Cette valeur de 39,2 kA crête est nécessaire pour définir la tenue dynamique des barres et de l'appareillage.

- Impédance de la boucle monophasée :

$$Z_1 = \sqrt{(R_{ph} + R_n)^2 + (X_{ph} + X_n)^2}$$

$Z_1 = \sqrt{(3,925 + 0,722)^2 + (12,22 + 1,1)^2} = 14,1$ mΩ

I'_{cc1} = $\frac{1,1 \times 230\ V}{14,1\ m\Omega}$ = 18 kA

socomec Innovative Power Solutions

Méthode rapide

Cette méthode rapide, mais approximative, permet de déterminer I_{cc} en un point du réseau connaissant I_{cc} amont ainsi que la longueur et la section de raccordement au point amont (suivant guide UTE 15105).

Les tableaux ci-dessous sont valables pour les réseaux de tension entre phases 400 V (avec ou sans neutre).

Comment procéder ? Dans la partie 1 du tableau (conducteurs cuivre) ou 3 (conducteurs alu), se placer sur la ligne correspondant à la section des conducteurs de phase. Avancer ensuite dans la ligne jusqu'à la valeur immédiatement inférieure à la longueur de la canalisation. Descendre (cuivre) ou monter (alu) verticalement jusqu'à la partie 2 du tableau et s'arrêter à la ligne correspondant à I_{cc} amont. La valeur lue à l'intersection est la valeur de I_{cc} recherchée.

Exemple : I_{cc} amont = 20 kA, canalisation : 3 x 35 mm^2 cuivre, longueur 17 m. Dans la ligne 35 mm^2, la longueur immédiatement inférieure à 17 m est 15 m. L'intersection de la colonne 15 m et de la ligne 20 kA donne I_{cc} aval = 12,3 kA.

Section des conducteurs de phase (mm2)		Longueur de la canalisation en m																						
Cuivre	1,5														1,3	1,8	2,6	3,6	5,1	7,3	10,3	15	21
	2,5												1,1	1,5	2,1	3,0	4,3	6,1	8,6	12	17	24	34
	4												1,7	1,9	2,6	3,7	5,3	7,4	10,5	15	21	30	42
	6											1,4	2,0	2,8	4,0	5,6	7,9	11,2	16	22	32	45	63
	10										2,1	3,0	4,3	6,1	8,6	12,1	17	24	34	48	68	97	137
	16								1,7	2,4	3,4	4,8	6,8	9,7	14	19	27	39	55	77	110	155	219
	25						1,3	1,9	2,7	3,8	5,4	7,6	10,7	15	21	30	43	61	86	121	171	242	342
	35						1,9	2,6	3,7	5,3	7,5	10,6	15	21	30	42	60	85	120	170	240	339	479
	50					1,8	2,5	3,6	5,1	7,2	10,2	14	20	29	41	58	81	115	163	230	325	460	
	70					2,6	3,7	5,3	7,5	10,6	15	21	30	42	60	85	120	170	240	339			
	95				2,5	3,6	5,1	7,2	10,2	14	20	29	41	58	81	115	163	230	325	460			
	120		1,6	2,3	3,2	4,5	6,4	9,1	13	18	26	36	51	73	103	145	205	291	411				
	150	1,2	1,7	2,5	3,5	4,9	7,0	9,9	14	20	28	39	56	79	112	158	223	316	447				
	185	1,5	2,1	2,9	4,1	5,8	8,2	11,7	16	23	33	47	66	93	132	187	264	373	528				
	240	1,8	2,6	3,6	5,1	7,3	10,3	15	21	29	41	58	82	116	164	232	329	465	658				
	300	2,2	3,1	4,4	6,2	8,7	12,3	17	25	35	49	70	99	140	198	279	395	559					
	2 x 120	2,3	3,2	4,5	6,4	9,1	12,8	18	26	36	51	73	103	145	205	291	411	581					
	2 x 150	2,5	3,5	4,9	7,0	9,9	14,0	20	28	39	56	79	112	158	223	316	447	632					
	2 x 185	2,9	4,1	5,8	8,2	11,7	16,5	23	33	47	66	93	132	187	264	373	528	747					
	3 x 120	3,4	4,8	6,8	9,6	13,6	19	27	39	54	77	109	154	218	308	436	616						
	3 x 150	3,7	5,2	7,4	10,5	14,8	21	30	42	59	84	118	168	237	335	474	670						
	3 x 185	4,4	6,2	8,8	12,4	17,5	25	35	49	70	99	140	198	280	396	560							

Icc amont (kA)		I_{cc} au point considéré (kA)																					
Icc	100	93,5	91,1	87,9	83,7	78,4	71,9	64,4	56,1	47,5	39,01	31,2	24,2	18,5	13,8	10,2	7,4	5,4	3,8	2,8	2,0	1,4	1,0
	90	82,7	82,7	80,1	76,5	72,1	66,6	60,1	52,8	45,1	37,4	30,1	23,6	18,1	13,6	10,1	7,3	5,3	3,8	2,7	2,0	1,4	1,0
	80	74,2	74,2	72,0	69,2	65,5	61,0	55,5	49,2	42,5	35,6	28,9	22,9	17,6	13,3	9,9	7,3	5,3	3,8	2,7	2,0	1,4	1,0
	70	65,5	65,5	63,8	61,6	58,7	55,0	50,5	45,3	39,5	33,4	27,5	22,0	17,1	13,0	9,7	7,2	5,2	3,8	2,7	1,9	1,4	1,0
	60	56,7	56,7	55,4	53,7	51,5	48,6	45,1	40,9	36,1	31,0	25,8	20,9	16,4	12,6	9,5	7,1	5,2	3,8	2,7	1,9	1,4	1,0
	50	47,7	47,7	46,8	45,6	43,9	41,8	39,2	36,0	32,2	28,1	23,8	19,5	15,6	12,1	9,2	6,9	5,1	3,7	2,7	1,9	1,4	1,0
	40	38,5	38,5	37,9	37,1	36,0	34,6	32,8	30,5	27,7	24,6	21,2	17,8	14,5	11,4	8,8	6,7	5,0	3,6	2,6	1,9	1,4	1,0
	35	33,8	33,8	33,4	32,8	31,9	30,8	29,3	27,5	25,2	22,6	19,7	16,7	13,7	11,0	8,5	6,5	4,9	3,6	2,6	1,9	1,4	1,0
	30	29,1	29,1	28,8	28,3	27,7	26,9	25,7	24,3	22,5	20,4	18,0	15,5	12,9	10,4	8,2	6,3	4,8	3,5	2,6	1,9	1,4	1,0
	25	24,4	24,4	24,2	23,8	23,4	22,8	22,0	20,9	19,6	18,0	161	14,0	11,9	9,8	7,8	6,1	4,6	3,4	2,5	1,9	1,3	1,0
	20	19,6	19,6	19,5	19,2	19,0	18,6	18,0	17,3	16,4	15,2	13,9	12,3	10,6	8,9	7,2	5,7	4,4	3,3	2,5	1,8	1,3	1,0
	15	14,8	14,8	14,7	14,6	14,4	14,2	13,9	13,4	12,9	12,2	11,3	10,2	9,0	7,7	6,4	5,2	4,1	3,2	2,4	1,8	1,3	0,9
	10	9,9	9,9	9,9	9,8	9,7	9,6	9,5	9,3	9,0	8,6	8,2	7,6	6,9	6,2	5,3	4,4	3,6	2,9	2,2	1,7	1,2	0,9
	7	7,0	7,0	6,9	6,9	6,9	6,8	6,7	6,6	6,5	6,3	6,1	5,7	5,3	4,9	4,3	3,7	3,1	2,5	2,0	1,6	1,2	0,9
	5	5,0	5,0	5,0	5,0	4,9	4,9	4,9	4,8	4,7	4,6	4,5	4,3	4,1	3,8	3,5	3,1	2,7	2,2	1,8	1,4	1,1	0,8
	4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,9	3,9	3,9	3,8	3,8	3,7	3,6	3,4	3,2	3,0	2,7	2,3	2,0	1,7	1,3	1,0	0,8
	3	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,9	2,9	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,2	2,0	1,7	1,5	1,2	1,0	0,8
	2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3	1,2	1,0	0,8	0,7
	1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,38	0,7	0,7	0,6	0,5

Section des conducteurs de phase (mm^2)		Longueur de la canalisation en m																					
Aluminium	2,5														1,3	1,9	2,7	3,8	5,4	7,6	10,8	15	22
	4												1,1	1,5	2,2	3,0	4,3	6,1	8,6	12	17	24	34
	6												1,6	1,7	2,5	3,5	4,9	7,0	9,9	14	20	28	40
	10											1,5	2,1	2,9	4,1	5,8	8,2	11,6	16	23	33	47	66
	16										2,2	3,0	4,3	6,1	8,6	12	17	24	34	49	69	98	138
	25								1,7	2,4	3,4	4,8	6,7	9,5	13	19	27	38	54	76	108	152	216
	35							1,7	2,4	3,3	4,7	6,7	9,4	13	19	27	38	53	75	107	151	213	302
	50						1,6	2,3	3,2	4,5	6,4	9,0	13	18	26	36	51	72	102	145	205	290	410
	70						2,4	3,3	4,7	6,7	9,4	13	19	27	38	53	75	107	151	213	302	427	
	95					2,3	3,2	4,5	6,4	9,0	13	18	26	36	51	72	102	145	205	290	410		
	120					2,9	4,0	5,7	8,1	11,4	16	23	32	46	65	91	129	183	259	366			
	150					3,1	4,4	6,2	8,8	12	18	25	35	50	70	99	141	199	281	398			
	185				2,6	3,7	5,2	7,3	10,4	15	21	29	42	59	83	117	166	235	332	470			
	240		1,6	2,3	3,2	4,6	6,5	9,1	13	18	26	37	52	73	103	146	207	293	414				
	300	1,4	1,9	2,7	3,9	5,5	7,8	11,0	16	22	31	44	62	88	124	176	249	352	497				
	2 X 120	1,4	2,0	2,9	4,0	5,7	8,1	11,4	16	23	32	46	65	91	129	183	259	366	517				
	2 X 150	1,6	2,2	3,1	4,4	6,2	8,8	12	18	25	35	50	70	99	141	199	281	398					
	2 X 185	1,8	2,6	3,7	5,2	7,3	10,4	15	21	29	42	59	83	117	166	235	332	470					
	2 X 240	2,3	3,2	4,6	6,5	9,1	12,9	18	26	37	52	73	103	146	207	293	414	585					
	3 X 120	2,1	3,0	4,3	6,1	8,6	12,1	17	24	34	48	69	97	137	194	274	388	549					
	3 X 150	2,3	3,3	4,7	6,6	9,3	13,2	19	26	37	53	75	105	149	211	298	422	596					
	3 X 185	2,8	3,9	5,5	7,8	11,0	15,6	22	31	44	62	88	125	176	249	352	498	705					
	3 X 240	3,4	4,8	6,9	9,7	13,7	19	27	39	55	78	110	155	219	310	439	621						

Protection des canalisations

Les courants de court-circuit provoquent une contrainte thermique dans les conducteurs. Pour éviter la dégradation des isolants des câbles (qui peut ensuite conduire à des défauts d'isolement) ou une détérioration des supports de barres, il faut utiliser des conducteurs ayant les sections minimales ci-après.

Jeux de barres

L'effet thermique du courant de court-circuit au niveau d'un jeu de barres se traduit par l'échauffement des conducteurs. Cet échauffement doit être compatible avec les caractéristiques des supports de barres.

Exemple : pour un support de barres SOCOMEC (température de barre de 80 °C avant court-circuit).

$$S\ mini.\ (mm^2) = 1000 \times \frac{I_{cc}\ (kA)}{70} \times \sqrt{t\ (s)}$$

S mini. : section minimale par phase

I_{cc} : courant efficace de court-circuit

t : temps de coupure de l'organe de protection.

Voir également le calcul des jeux de barres page 118.

Conducteurs isolés

La section minimale est obtenue par l'expression (NF C 15100) :

$$S\ mini.\ (mm^2) = 1000 \times \frac{I_{cc}\ (kA)}{k} \times \sqrt{t\ (s)}$$

I_{cc} mini : courant de court-circuit mini en kA eff. *(voir page 20)*

t : temps d'ouverture du dispositif de protection en s

k : constante dépendant de l'isolant (voir tableau B).

Tableau B : constante k (NF C 15100)

	Isolants	Conducteurs			
		Cuivre		Aluminium	
Conducteurs actifs ou de protection faisant partie de la canalisation	PVC	115		76	
	PR-EPR	143		94	
Conducteurs de protection faisant partie de la canalisation	PVC	143		95	
	PR-EPR	176		116	
	nus(1)	159(1)	138(2)	105(1)	91(2)

1) Locaux ne présentant pas de risques d'incendie. *2) Locaux présentant des risques d'incendie.*

Pour éviter le calcul, on pourra se reporter au tableau A qui donne le coefficient par lequel il faut multiplier le courant de court-circuit pour obtenir la section minimale.

$$Section\ mini.\ (mm^2) = k_{cc} \times I_{cc}\ mini.\ (kA)$$

Longueur maximale des conducteurs

La section minimale des conducteurs étant déterminée, il faut s'assurer que le dispositif de protection situé en amont des conducteurs s'ouvre en un temps compatible avec la contrainte thermique maximale des conducteurs. Pour cela, il faut que le courant de court-circuit minimum soit suffisant pour déclencher le dispositif de protection. La longueur des conducteurs doit être limitée aux valeurs données par les tableaux A et B *page 27* (fusible).

Tableau A : coefficient Kcc

	Section mini des conducteurs actifs en cuivre		Pour un courant de court-circuit de **1 kA eff** — Section mini des conducteurs de protection cuivre				
			Conducteurs faisant partie de la canalisation		Conducteurs ne faisant pas partie de la canalisation		
Temps de coupure en ms	Isolant PVC	PR-EPR	PVC	PR	PVC	PR	NUE
5	0,62	0,50	0,62	0,50	0,50	0,40	0,45
10	**0,87**	**0,70**	**0,87**	**0,70**	**0,70**	**0,57**	**0,63**
15	1,06	0,86	1,06	0,86	0,86	0,70	0,77
20	**1,37**	**1,10**	**1,37**	**1,10**	**1,10**	**0,89**	**0,99**
35	1,63	1,31	1,63	1,31	1,31	1,06	1,18
50	**1,94**	**1,58**	**1,94**	**1,56**	**1,56**	**1,27**	**1,40**
60	2,13	1,72	2,13	1,72	1,72	1,40	1,54
75	**2,38**	**1,89**	**2,38**	**1,89**	**1,89**	**1,54**	**1,72**
100	2,75	2,21	2,75	2,21	2,21	1,79	1,99
125	**3,07**	**2,47**	**3,07**	**2,47**	**2,47**	**2,00**	**2,22**
150	3,37	2,71	3,37	2,71	2,71	2,20	2,44
175	**3,64**	**2,93**	**3,64**	**2,93**	**2,93**	**2,38**	**2,63**
200	3,89	3,13	3,89	3,13	3,13	2,54	2,81
250	**4,35**	**3,50**	**4,35**	**3,50**	**3,50**	**2,84**	**3,15**
300	4,76	3,83	4,76	3,83	3,83	3,11	3,44
400	**5,50**	**4,42**	**5,50**	**4,42**	**4,42**	**3,59**	**3,98**
500	6,15	4,95	6,15	4,95	4,95	4,02	4,45
1000	**8,70**	**6,99**	**8,70**	**6,99**	**6,99**	**5,68**	**6,29**

Conducteurs aluminium : multiplier les valeurs du tableau par 1,5.

socomec Innovative Power Solutions

Protection des canalisations par fusibles

Longueur maximale des conducteurs protégés par fusibles

Les tableaux A et B donnent les longueurs maximales dans les conditions suivantes :
- circuit triphasé 230 V / 400 V,
- section de neutre = section de phase,
- courant de court-circuit minimal,
- conducteurs en cuivre.

Les tableaux sont valables quel que soit l'isolant des câbles (PVC, PR, EPR). Lorsque deux valeurs sont indiquées, la première correspond aux câbles PVC, la deuxième aux câbles PR/EPR.
Les longueurs sont à multiplier par les coefficients du tableau C pour les autres utilisations.
Câble aluminium : multiplier les longueurs des tableaux par 0,41.

Tableau A : longueurs maximales en m des câbles protégés par fusibles gG.

S (mm²) \ HP C	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
1,5	82	59/61	38/47	18/22	13/16	6/7														
2,5		102	82	49/56	35/43	16/20	12/15	5/7												
4			131	89	76	42/52	31/39	14/17	8/10	4/5										
6				134	113	78	67/74	31/39	18/23	10/12	7/9									
10					189	129	112	74	51/57	27/34	19/24	9/12	7/9	3/4						
16							179	119	91	67	49/56	24/30	18/23	9/11	5/7	3/4				
25								186	143	104	88	59/61	45/53	22/27	13/16	7/9	4/5			
35									200	146	123	86	75	43/52	25/36	14/18	8/11	4/5		
50										198	167	117	101	71	45/74	26/33	16/22	8/11	5/7	
70											246	172	150	104	80	57/60	34/42	17/22	11/14	
95												233	203	141	109	82	62	32/40	20/25	9/11
120													256	179	137	103	80	51/57	32/40	14/18
150													272	190	145	110	85	61	42/48	20/24
185														220	169	127	98	70	56	27/34
240															205	155	119	85	68	43/46

Tableau B : longueurs maximales en m des câbles protégés par fusibles aM.

S (mm²) \ HP C	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
1,5	28/33	19/23	13/15	8/10	6/7															
2,5	67	47/54	32/38	20/24	14/16	9/11	6/7													
4	108	86	69	47/54	32/38	22/25	14/17	9/11	6/7											
6	161	129	104	81	65/66	45/52	29/34	19/23	13/15	9/10	6/7									
10				135	108	88	68	47/54	32/38	21/25	14/16	9/11	6/7							
16						140	109	86	69	49/55	32/38	21/25	14/17	9/11						
25								135	108	86	67	47/54	32/38	21/25	14/16	9/11				
35									151	121	94	75	58/60	38/45	25/30	17/20	11/13	7/9		
50											128	102	82	65	43/51	29/36	19/24	13/15	8/10	
70												151	121	96	75	58/60	38/45	25/30	17/20	11/13
95												205	164	130	102	82	65	43/51	29/34	19/23
120														164	129	104	82	65	44/52	29/35
150															138	110	88	69	55	37/44
185																128	102	80	64	51
240																	123	97	78	62

Tableau C : coefficient de correction pour d'autres réseaux.

Cas d'utilisation	Coefficient
Section du neutre = 0,5 x section phase	0,67
Circuit sans neutre	1,73

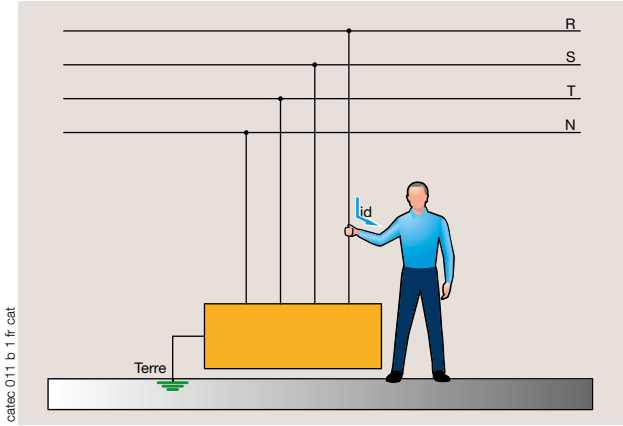
(1) L'entrée du tableau se fait par la section des phases.

Contacts directs et indirects

Protection contre les contacts directs

Définition

Le “contact direct” est le contact d’une personne avec une partie active (phases, neutre) normalement sous tension (jeux de barres, bornes…).



Contact direct.

Moyens de protection

La protection contre les contacts directs est assurée par un des moyens suivants (décret du 14.11.88) :

- mise hors de portée des conducteurs actifs au moyen d’obstacles ou par éloignement,
- isolation des conducteurs actifs,
- barrière ou enveloppe : le degré de protection minimum procuré par l’enveloppe doit être IP2x ou xxB pour les parties actives,
- l’ouverture d’une enveloppe ne doit être possible que dans un des cas suivants :
  - avec l’aide d’un outil ou d’une clé,
  - après mise hors tension des parties actives,
  - si une deuxième barrière IP > 2x ou xxB se trouve à l’intérieur de l’enveloppe *(voir la définition IP page 13)*,
- emploi de dispositifs à courant différentiel-résiduel 30 mA (voir ci-après “Protection complémentaire contre les contacts directs”),
- utilisation de la TBT (Très Basse Tension).

Utilisation de la TBT

L’utilisation de la TBT (Très Basse Tension, *voir définition page 6*) constitue une protection contre les contacts directs et indirects. On peut distinguer :

la TBTS ($U_n \leq 50$ VAC et ≤ 120 VDC)
Très Basse Tension de Sécurité qui doit être :
- produite par une source telle que transformateur de sécurité, onduleur, batteries, groupe générateur…
- complètement indépendante de tout élément susceptible d’être porté à un potentiel différent (terre d’une installation différente, autre circuit…),

la TBTP
Très Basse Tension de Protection identique à la TBTS, mais ayant une liaison à la terre pour des raisons fonctionnelles (électronique, informatique…). L’utilisation de la TBTP entraîne, par rapport à la TBTS, la mise en œuvre de la protection contre les contacts directs à partir de 12 V AC et de 30 V DC (isolation, barrières, enveloppes, NF C 15100 § 414),

la TBTF
Très Basse Tension Fonctionnelle qui regroupe toutes les autres applications de TBT. Elle ne constitue pas une protection contre les contacts directs ou indirects.

Protection complémentaire contre les contacts directs

Quel que soit le régime de neutre, une protection complémentaire contre les contacts directs est assurée, notamment, par l’utilisation de DDR à haute sensibilité ($\leq$ 30 mA).

Les normes NF C 15100 et CEI 60364 imposent notamment l’utilisation de tels dispositifs dans les cas suivants :

- circuits alimentant les socles de prise de courant $\leq$ 32 A,
- installations temporaires, installations foraines,
- installations de chantier,
- salles d’eau, piscines,
- caravanes, bateaux de plaisance,
- alimentation de véhicules,
- établissements agricoles et horticoles,
- câbles et revêtements chauffants noyés dans le sol ou dans les parois d’un bâtiment.

Cette disposition de protection complémentaire contre les contacts directs, selon la norme CEI 60479, n’est plus acceptable lorsque la tension de contact risque d’atteindre 500 V : l’impédance humaine risque de laisser passer un courant dangereux supérieur à 500 mA.

socomec Innovative Power Solutions

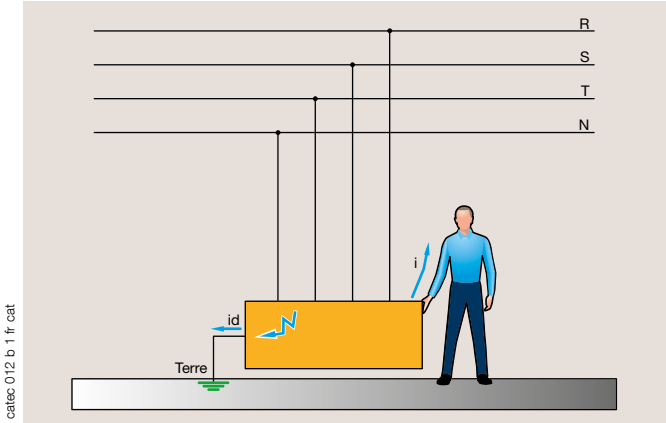
Protection contre les contacts indirects

Définition

Le “contact indirect” est le contact d’une personne avec des masses mises accidentellement sous tension à la suite d’un défaut d’isolement.

La protection contre les contacts indirects peut se faire :

- sans coupure automatique de l’alimentation,
- avec coupure automatique de l’alimentation.



Contact indirect.

Protection sans coupure automatique de l’alimentation

La protection contre les contacts indirects sans coupure automatique de l’alimentation peut être assurée par :

- l’utilisation de la TBT (Très Basse Tension) *(voir page 28),*
- la séparation des masses de telle manière qu’une personne ne puisse être simultanément en contact avec les deux masses,
- la double isolation du matériel (classe II),
- la liaison équipotentielle, non reliée à la terre, de toutes les masses simultanément accessibles,
- la séparation électrique (par transformateur pour des circuits < 500 V).

Protection avec coupure automatique de l’alimentation

La protection contre les contacts indirects, avec coupure automatique de l’alimentation, consiste à séparer de l’alimentation le circuit ou le matériel présentant un défaut d’isolement entre une partie active et la masse.

Pour éviter des effets physiologiques dangereux pour une personne qui viendrait en contact avec la partie en défaut, on limite la tension de contact U_c à une valeur limite U_L.

Cette dernière dépend :

- du courant IL admissible pour le corps humain,
- du temps de passage du courant *(voir page 30),*
- du schéma de liaison à la terre,
- des conditions d’installation.

Tension de contact présumée (V)	Temps de coupure maximal du dispositif de protection (s) U_L = 50 V
25	5
50	5
75	0,60
90	0,45
110	-
120	0,34
150	0,27
220	0,17
230	-
280	0,12
350	0,08
500	0,04

Cette mise hors tension de l’installation se fait différemment selon les schémas des liaisons (régimes de neutre).

Les normes NF C 15100 et CEI 60364 définissent le temps de coupure maximal du dispositif de protection dans des conditions normales (U_L = 50 V). U_L est la tension de contact la plus élevée qui peut être maintenue indéfiniment sans danger pour les personnes (voir tableau).

Protection contre les contacts indirects (suite)

Protection avec coupure automatique de l'alimentation (suite)

En régime TN et IT

Lorsque le réseau n'est pas protégé par un dispositif différentiel, il faut s'assurer de la bonne coordination entre l'organe de protection et le choix des conducteurs. En effet, si l'impédance du conducteur est trop élevée, on risque d'avoir un courant de défaut trop faible qui déclenche le dispositif de protection en un temps supérieur à celui prescrit par la norme NF C 15100. Ce courant provoque alors une tension de contact dangereuse pendant un temps trop long. Pour limiter l'impédance de la boucle de défaut, il faut adapter la section des conducteurs à la longueur donnée de la canalisation.

Nota :

cette protection contre les surintensités avec coupure automatique de l'alimentation n'est efficace qu'en cas de défauts francs. Dans la pratique, un défaut d'isolement peut présenter, là où il s'établit, une impédance non négligeable qui va limiter le courant de défaut.

Un dispositif différentiel de type RESYS ou un ISOM DLRD utilisé en préalarme, est un moyen efficace d'identifier des défauts impédants et de prévenir du maintien de tensions dangereuses.

Temps maximal de coupure

Les normes NF C 15100 et CEI 60364 spécifient un temps de coupure maximal en fonction du réseau électrique et de la tension limite de 50 V.

Tableau A : temps maximal de coupure (en secondes) de l'organe de protection pour les circuits terminaux ≤ 32 A

	$50\ V < U_0 \leq 120\ V$		$120\ V < U_0 \leq 230\ V$		$230\ V < U_0 \leq 400\ V$		$U_0 > 400\ V$	
Temps de coupure (s)	alternatif	continu	alternatif	continu	alternatif	continu	alternatif	continu
Schéma TN ou IT	0,8	5	0,4	5	0,2	0,4	0,1	0,1
Schéma TT	0,3	5	0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1

Cas particulier

En TN, le temps de coupure peut être supérieur au temps donné par le tableau A (tout en restant inférieur à 5 s.) si :

- le circuit n'est pas un circuit terminal et n'alimente pas de charge mobile ou portative > 32 A,
- une des deux conditions suivantes est remplie :
  - la liaison équipotentielle principale est doublée par une liaison équipotentielle identique à la liaison principale
  - la résistance du conducteur de protection Rpe est telle que :

$$Rpe < \frac{50}{U_o} \times (Rpe + Za)$$

U_o : tension simple du réseau

Z_a : impédance comprenant la source et le conducteur actif jusqu'au point de défaut.

Longueur maximale des conducteurs (L en ml)

Elle peut être déterminée par un calcul approché, valable pour des installations alimentées par un transformateur à couplage triangle-étoile ou étoile-zigzag.

$$L = K \frac{U_o \times S}{(1 + m)\, I_d}$$

U_o : tension simple (230 V dans un réseau 230/400 V)

S : section en mm² des conducteurs de phases en TN et IT sans neutre

$m = S/S_{pe}$ (Spe : section du PE ou PEN)

Id : courant de défaut en A

Protection par fusible : courant atteint pour un temps de fusion égal au temps maximum d'ouverture du dispositif de protection (les longueurs maximales sont données dans le tableau B page 25)

K : variable en fonction du régime de neutre et de la nature du conducteur (voir tableau B).

Tableau B : valeurs de K

Schémas / Conducteur	TN	IT	
		sans neutre	avec neutre
Cuivre	34,7	30	17,3
Aluminium	21,6	18,7	11

L'influence des réactances est négligée pour des sections inférieures à 120 mm². Au-delà, il faut majorer la résistance de :

- 15 % pour la section 150 mm²,
- 20 % pour la section 185 mm²,
- 25 % pour la section 240 mm²,
- 30 % pour la section 300 mm².

Pour des sections supérieures : il faut faire un calcul d'impédance exact avec X = 0,08 mΩ/m.

socomec Innovative Power Solutions

Protection contre les contacts indirects (suite)

Protection avec coupure automatique de l'alimentation (suite)

En régime TT

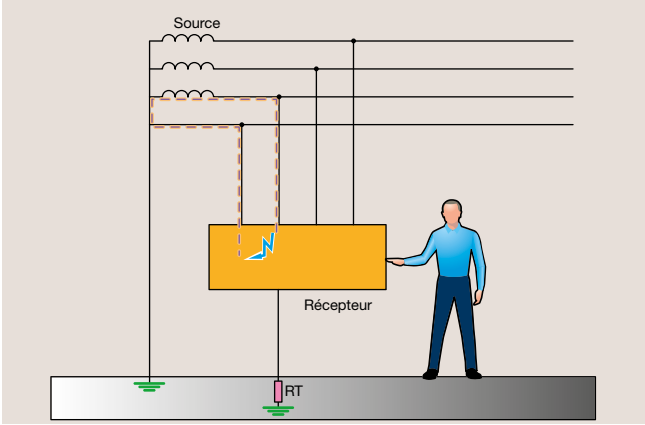
La protection est assurée par des dispositifs différentiels. Dans ce cas, la section et la longueur des conducteurs n'interviennent pas.
Il faut simplement s'assurer que la résistance de la prise de terre est telle que :

$$RT < \frac{U_L}{I_{\Delta n}}$$

UL : tension limite
IΔn : courant de réglage du dispositif différentiel

Exemple :
on peut limiter la tension de contact en cas de défaut à UL = 50 V.
Le dispositif différentiel est réglé à IΔn = 500 mA = 0,5 A.
La résistance de la prise de terre ne devra pas dépasser :

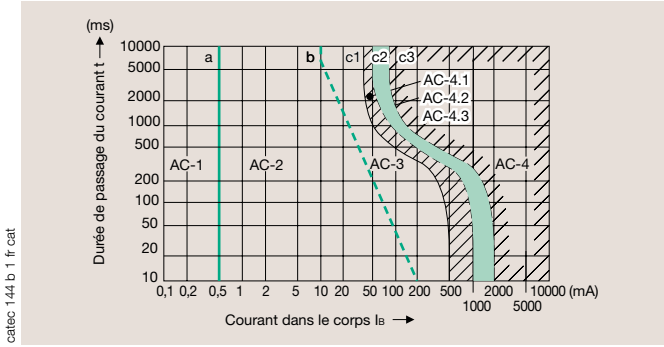
$$R_{T\,maxi} = \frac{50\ V}{0{,}5\ A} = 100$$



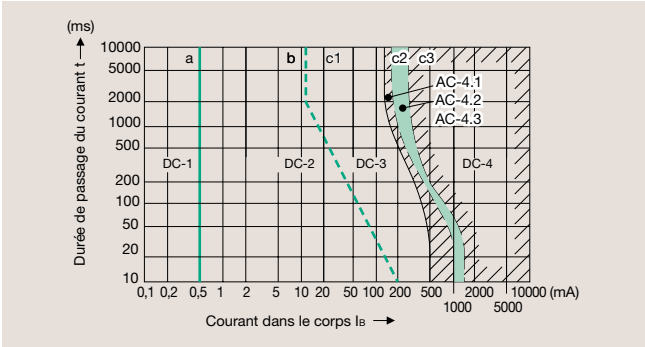
Courant de défaut en régime TT.

Effet du courant électrique sur le corps humain

Le courant passant à travers le corps humain, de par son effet physiopathologique, affecte les fonctions circulatoires et respiratoires pouvant entraîner la mort.



Courant alternatif (15 à 100 Hz).



Courant continu.

Les zones -1 à -4 correspondent aux différents niveaux d'effets :
AC/DC-1 : non-perception,
AC/DC-2 : perception, sans effets physiologiques,
AC/DC-3 : effets réversibles, fortes crispations musculaires,
AC/DC-4 : brûlures graves, fibrillation cardiaque, possibilités d'effets irréversibles.

Protection contre les contacts indirects par fusibles

Longueur maximale des conducteurs protégés par fusibles

La longueur des conducteurs protégés contre les contacts indirects doit être limitée.
Les tableaux B et C donnent une lecture directe des longueurs maximales des conducteurs en cuivre. Elles sont déterminées dans les conditions suivantes :

- réseau 230 / 400 V,
- schéma TN,
- tension de contact maximale UL = 50 V,
- $\frac{Ø\ ph}{Ø\ PE} = m = 1$.

Pour d'autres utilisations, il faut multiplier la valeur lue dans les tableaux B et C par le coefficient du tableau A.

Tableau A

		Coefficient de correction
Conducteur aluminium		0,625
Section PE = 1/2 Section Phase (m = 2)		0,67
Régime IT	sans neutre	0,86
	avec neutre	0,5
Temps de coupure de 5s admis. (circuit de distribution)	pour les canalisations protégées avec des fusibles gG	1,88
	pour les canalisations protégées avec des fusibles aM	1,53

Tableau B : longueurs maximales (en m) des conducteurs protégés par fusibles gG (calibre en A)

S (mm²) \ (A)	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
1,5	53	40	32	22	18	13	11	7	8	4	3									
2,5	88	66	53	36	31	21	18	12	9	7	6	4								
4	141	106	85	58	49	33	29	19	15	11	9	6	6	4						
6	212	159	127	87	73	50	43	29	22	16	14	10	8	6	4					
10	353	265	212	145	122	84	72	48	37	28	23	16	14	10	7	6	4			
16	566	424	339	231	196	134	116	77	59	43	36	25	22	15	12	9	7	5	4	
25	884	663	530	361	306	209	181	120	92	67	57	40	35	24	18	14	11	8	6	4
35		928	742	506	428	293	253	169	129	94	80	56	48	34	26	20	15	11	9	6
50				687	581	398	343	229	176	128	108	76	66	46	35	27	20	15	12	8
70					856	586	506	337	259	189	159	111	97	67	52	39	30	22	17	11
95						795	687	458	351	256	216	151	131	92	70	53	41	29	23	16
120							868	578	444	323	273	191	166	116	89	67	62	37	23	20
150								615	472	343	290	203	178	123	94	71	54	39	31	21
185								714	547	399	336	235	205	145	110	82	64	46	36	24
240									666	485	409	286	249	173	133	100	77	55	44	29
300										566	477	334	290	202	155	117	90	65	51	34

Tableau C : longueurs maximales (en m) des conducteurs protégés par fusibles aM (calibre en A)

S (mm2) \ (A)	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
1,5	28	23	18	14	11	9	7	6	5	4										
2,5	47	38	30	24	19	15	12	9	8	6	5									
4	75	60	48	38	30	24	19	15	12	10	8		6	5	4					
6	113	90	72	57	45	36	29	23	18	14	11	9	7	6	5	4				
10	188	151	121	94	75	60	48	38	30	24	19	15	12	10	8	6	5	4		
16	301	241	193	151	121	96	77	60	48	39	30	24	19	15	12	10	8	6	5	4
25	470	377	302	236	188	151	120	94	75	60	47	38	30	24	19	16	12	9	8	6
35	658	527	422	330	264	211	167	132	105	84	66	53	42	33	26	21	17	13	11	8
50	891	714	572	447	357	285	227	179	144	115	90	72	57	46	36	29	23	18	14	11
70			845	660	527	422	335	264	211	169	132	105	84	67	53	42	33	26	21	17
95				895	716	572	454	358	286	229	179	143	115	91	72	57	45	36	29	23
120					904	723	574	462	362	289	226	181	145	115	90	72	57	45	36	29
150						794	630	496	397	317	248	198	159	126	99	79	63	50	40	32
185							744	586	469	375	293	234	188	149	117	94	74	59	47	38
240								730	584	467	365	292	234	185	146	117	93	73	58	47
300									702	562	439	351	281	223	175	140	11	88	70	56

Exemple : un circuit est constitué d'un câble cuivre 3 x 6 mm² et protégé par un fusible 40 A gG. Sa longueur devra être inférieure à 73 m pour que la protection contre les contacts indirects soit assurée en TN 230 V/400 V.

- si le câble est en aluminium, la longueur maximale est de : 0,625 x 73 m = 45,6 m
- en schéma IT avec neutre et câble aluminium, la longueur est de : 0,625 x 0,5 x 73 m = 22,8 m
- en schéma IT avec neutre, câble aluminium pour une alimentation d'armoire divisionnaire, la longueur est de : 0,625 x 0,5 x 1,88 = 42,8 m.

socomec Innovative Power Solutions

Protection contre les contacts indirects par relais différentiel

En régime TT

La protection différentielle constitue pratiquement le seul moyen de protection contre les contacts indirects pour ce régime.

Pour éviter par exemple une tension de contact supérieure à 50 V, il faut que le courant IΔn soit tel que :

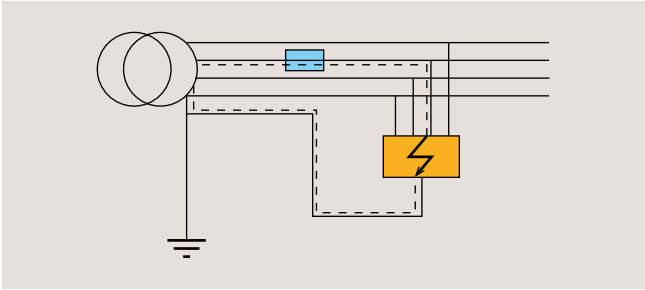
$$I_{\Delta n} \leq \frac{50}{R_p}$$

Rp : résistance de la prise de terre des masses BT en Ω

En cas de prise de terre particulièrement difficile à réaliser dont les valeurs peuvent dépasser la centaine d'ohms (haute montagne, zone aride…), la mise en place d'appareils de haute sensibilité (H.S.) est une réponse à la disposition précédente.

En régime TNS

Dans ce régime, le courant de défaut équivaut à un courant de court-circuit entre phase et neutre. Ce dernier est éliminé par les dispositifs appropriés (fusibles, disjoncteurs…) en un temps compatible avec la protection contre les contacts indirects. Lorsque ce temps ne peut pas être respecté (canalisations trop longues d'où I_{cc} mini. insuffisant, temps de réaction des appareils de protection trop long…), il y a lieu d'accompagner la protection contre les surintensités par une protection différentielle. Cette disposition permet d'assurer une protection contre les contacts indirects, pratiquement quelle que soit la longueur de la canalisation.



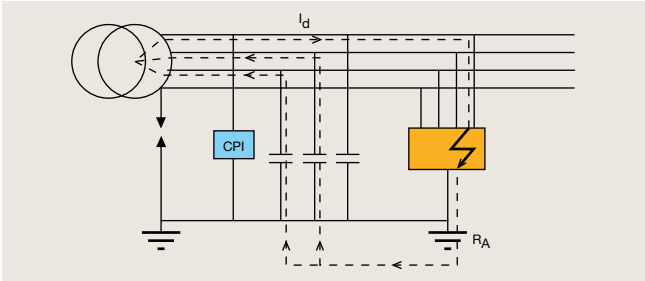
catec 147 b 1 x cat

En régime IT

L'ouverture du circuit n'est normalement pas nécessaire au premier défaut. Une tension de contact dangereuse peut se produire au deuxième défaut, soit sur des masses raccordées sur des prises de terres non interconnectées ou lointaines, soit entre des masses simultanément accessibles raccordées sur une même prise de terre et dont l'impédance des circuits de protection est trop forte.

Pour ces raisons, en régime IT, un dispositif différentiel est obligatoire :

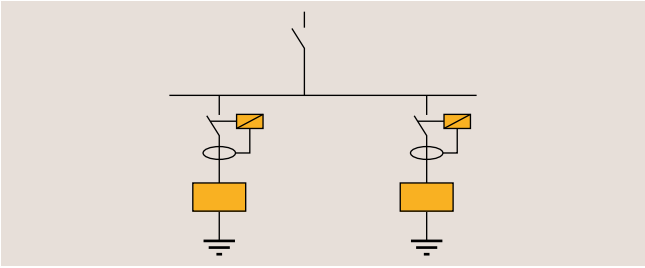
- à l'origine des parties d'installation dont les réseaux de protection ou les masses sont raccordés sur des prises de terre non interconnectées,
- dans la même situation que celle énoncée en TNS (conditions de coupure au deuxième défaut non assurée par les dispositifs de protection contre les surintensités dans les conditions de sécurité exigées).



catec 148 b 1 fr cat

Protection contre les contacts indirects des groupes masses raccordées sur des prises de terre indépendantes

En régime de neutre TT comme en IT, lorsque des masses de matériels électriques sont raccordées sur des prises de terre distinctes en aval d'une même alimentation, chaque groupe de masses doit être protégé respectivement par un dispositif dédié.



catec 149 b 1 x cat

Dispense de protection haute sensibilité (H.S.) sur les prises d'alimentation de matériels informatiques

Accordée par l'arrêté du 08/01/92 relatif à la mise en œuvre de dispositif H.S. sur les prises de courant ≤ 32 A dédiées au matériel informatique, cette dispense a été abrogée par l'article 3 de l'arrêté du 8 décembre 2003 sur les installations réalisées à partir du 1er janvier 2004.

Chutes de tension

La chute de tension est la différence de tension observée entre le point d'origine de l'installation et le point de branchement d'un récepteur.

Pour assurer le bon fonctionnement des récepteurs, les normes NF C 15100 et CEI 60364 définissent une chute de tension maximale (voir tableau A).

Tableau A : NF C 15100 chute de tension maximale

	Éclairage	Autres usages
Alim. directe par réseau public BT	3 %	5 %
Alimentation par poste HT/BT	6 %	8 %

Calcul de la chute de tension dans un câble de longueur L

$$\Delta u = Ku \times I \text{ (Ampères)} \times L \text{ (km)}$$

Tableau B : valeurs de Ku

Section câble mm²	Courant continu	Câbles multiconducteurs ou monoconducteurs en trèfle			Câbles monoconducteurs jointifs en nappe			Câbles monoconducteurs séparés		
		cos 0,3	cos 0,5	cos 0,8	cos 0,3	cos 0,5	cos 0,8	cos 0,3	cos 0,5	cos 0,8
1,5	30,67	4,68	7,74	12,31	4,69	7,74	12,32	4,72	7,78	12,34
2,5	18,40	2,84	4,67	7,41	2,85	4,68	7,41	2,88	4,71	7,44
4	11,50	1,80	2,94	4,65	1,81	2,95	4,65	1,85	2,99	4,68
6	7,67	1,23	1,99	3,11	1,24	1,99	3,12	1,27	2,03	3,14
10	4,60	0,77	1,22	1,89	0,78	1,23	1,89	0,81	1,26	1,92
16	2,88	0,51	0,79	1,20	0,52	0,80	1,20	0,55	0,83	1,23
25	1,84	0,35	0,53	0,78	0,36	0,54	0,78	0,40	0,57	0,81
35	1,31	0,27	0,40	0,57	0,28	0,41	0,58	0,32	0,44	0,60
50	0,92	0,21	0,30	0,42	0,22	0,31	0,42	0,26	0,34	0,45
70	0,66	0,17	0,23	0,31	0,18	0,24	0,32	0,22	0,28	0,34
95	0,48	0,15	0,19	0,24	0,16	0,20	0,25	0,20	0,23	0,27
120	0,38	0,13	0,17	0,20	0,14	0,17	0,21	0,18	0,21	0,23
150	0,31	0,12	0,15	0,17	0,13	0,15	0,18	0,17	0,19	0,20
185	0,25	0,11	0,13	0,15	0,12	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18
240	0,19	0,10	0,12	0,12	0,11	0,13	0,13	0,15	0,16	0,15
300	0,15	0,10	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,15	0,15	0,14
400	0,12	0,09	0,10	0,09	0,10	0,11	0,10	0,14	0,14	0,12

Circuits monophasés : multiplier les valeurs par 2.

Exemple

Un moteur de 132 kW consomme 233 A sous 400 V. Il est alimenté par des câbles cuivre monoconducteurs, jointifs en nappe de section 150 mm² et de longueur 200 mm (0,2 km).

- En marche normale cos φ = 0,8 ; Ku = 0,18
  Δu = 0,18 x 233 x 0,2 = 8,4 V soit 3,6 % de 230 V.
- En démarrage direct cos φ = 0,3 et Id = 5 In = 5 x 233 A = 1165 A ; Ku = 0,13
  Δu = 0,13 x 1165 x 0,2 = 20,3 V soit 8,8 % de 230 V.

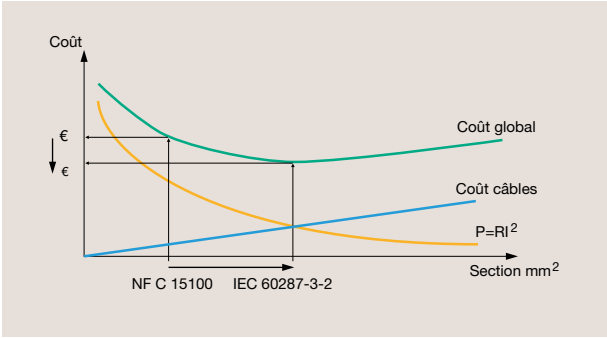
La section du conducteur est suffisante pour respecter les chutes de tension maximales imposées par la norme NF C 15100.

Note

Ce calcul est valable pour 1 câble par phase. Pour n câbles par phase, il suffit de diviser la chute de tension par n.

Approche dite des "Sections économiques"

La norme NFC 15100 qui régit l'installation autorise un dimensionnement des canalisations avec des chutes de tension qui peuvent aller jusqu'à 16 % sur des circuits monophasés. Pour la majorité des circuits de distribution, l'usage est d'accepter 8 % correspondant à la proportion d'énergie perdue. La CEI 60287-3-2 propose, pour définir une canalisation, une approche complémentaire qui prend en compte l'investissement et la consommation d'énergie prévisionnelle.



cátec 258 b 1 fr cat

socomec Innovative Power Solutions

Appareils de coupure et de sectionnement

Normes produit NF EN 60947 et CEI 60947

Définitions

Interrupteur (CEI 60947.3 § 2.1)

Appareil mécanique de connexion capable :
- d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales* du circuit, y compris éventuellement les conditions spécifiées de surcharges en service,
- de supporter pendant une durée spécifiée des courants dans des conditions anormales du circuit telles que celles du court-circuit" (un interrupteur peut être capable d'établir des courants de court-circuit mais n'est pas capable de les couper).

** Les conditions normales correspondent généralement à l'utilisation d'un appareillage dans une température ambiante de 40 °C pendant une durée de 8 heures.*

Sectionneur (CEI 60947.3 § 2.2)

Appareil mécanique de connexion qui satisfait, en position d'ouverture, aux prescriptions spécifiées pour la fonction de sectionnement. Il est capable de supporter des courants dans des conditions normales du circuit, et des courants pendant une durée spécifiée dans des conditions anormales.

Sectionneur (définition courante) : appareil n'ayant pas de pouvoir de fermeture et de coupure en charge.

Interrupteur-sectionneur (CEI 60947.3 § 2.3)

Interrupteur qui, dans sa position d'ouverture, satisfait aux conditions d'isolement spécifiques pour un sectionneur.

Interrupteur-sectionneur à fusibles (CEI 60947.3 § 2.9)

Interrupteur-sectionneur dans lequel un ou plusieurs pôles comportent un fusible en série dans un appareil combiné.

Appareils Actions				
Établir	(1)		(1)	(1)
Supporter				
Interrompre				(2)

(1) Seuil non fixé par la norme. (2) Par le fusible.

- *Courant normal*
- *Courant de surcharge*
- *Courant de court-circuit*

Fonctions

Action de séparation des contacts

Cette action est assurée par l'ensemble des appareils dits "aptes au sectionnement", suivant la norme des appareils mécaniques de connexion NF EN 60947-3 ou suivant la NF C 15100 § 536-2.

La vérification suivant la norme NF EN 60947-3 de l'aptitude au sectionnement est réalisée par 3 essais :
- l'essai diélectrique va définir une résistance à l'amorçage (U_{imp} : tension de tenue aux chocs) caractérisant la distance d'ouverture des contacts dans l'air. Généralement U_{imp} = 8 kV pour U_e = 400/690 V,
- la mesure des courants de fuite (I_f) va définir une résistance d'isolement en position ouverte caractérisée en partie par les lignes de fuite. À 110 % de U_e, I_f < 0,5 mA (appareil neuf) et I_f < 6 mA (appareil en fin de vie),
- le contrôle de la robustesse du mécanisme de l'organe de commande et de l'indicateur de position a pour objectif de valider la fiabilité "mécanique" des indications de position. L'essai consiste, appareil bloqué volontairement en "I", à appliquer pour ouvrir l'appareil, une force trois fois supérieure à l'effort normal sur l'organe de commande.

  Le cadenassage de l'appareil en position "0" ne doit pas être possible pendant l'application de l'effort anormal. L'appareil ne doit pas indiquer la position "0" après l'application de la force. Cet essai n'est pas nécessaire lorsqu'il existe un autre moyen que l'organe de commande pour indiquer l'ouverture des contacts : indicateur mécanique, visibilité directe de l'ensemble des contacts…

  Ce troisième essai répond à la définition de la coupure "pleinement apparente" demandée par le décret du 14 novembre 1988 pour assurer la fonction de sectionnement en BTB (500 V < U ≤ 1000 VAC et 750 V < U ≤ 1500 VDC).

  Cette dernière caractéristique est demandée par la NF C 15100, sauf pour la TBTS ou TBTP (U ≤ 50 VAC ou 120 VDC).

Action de coupure en charge et surcharge

Cette action est assurée par des appareils ayant été définis pour établir et couper dans les conditions normales de charge et de surcharge.

Des essais de type permettent de caractériser les appareils aptes à établir et couper des charges spécifiques, ces dernières pouvant avoir des courants d'appel importants sous un cos φ faible (moteur en phase de démarrage ou rotor bloqué).

Ces caractéristiques correspondent aux catégories d'emploi des appareils.

Action de coupure en cas de court-circuit

Un interrupteur n'est pas destiné à couper un courant de court-circuit. Cependant, sa tenue dynamique doit être telle qu'il supporte le défaut jusqu'à son élimination par l'organe de protection associé.

Sur les interrupteurs-fusibles, le court-circuit est coupé par les fusibles *(voir chapitre "Protection fusible" pages 49 et 51)* avec le grand intérêt de limiter les courants de défaut de forte intensité.

Normes produit NF EN 60947 et CEI 60947 (suite)

Caractéristiques

Condition et catégorie d'emploi suivant la norme CEI 60947-3

Tableau A

Catégorie d'emploi		Utilisation	Application
AC-20	DC-20	Fermeture et ouverture à vide.	Sectionneurs [1]
AC-21	DC-21	Charges résistives, y compris surcharges modérées.	Interrupteurs de tête d'installation ou pour récepteurs résistifs (chauffage, éclairage, sauf lampes à décharges…).
AC-22	DC-22	Charges mixtes résistives et inductives, y compris surcharges modérées.	Interrupteurs en circuit secondaire ou pour récepteurs réactifs (batteries de condensateurs, lampes à décharges, moteurs shunts…).
AC-23	DC-23	Charges constituées par des moteurs ou autres charges fortement inductives.	Interrupteurs alimentant un ou plusieurs moteurs ou récepteurs selfiques (électroporteurs, électrofreins, moteurs série…).

(1) Ces appareils sont remplacés aujourd'hui par des interrupteurs-sectionneurs pour des raisons évidentes de sécurité de manœuvre.

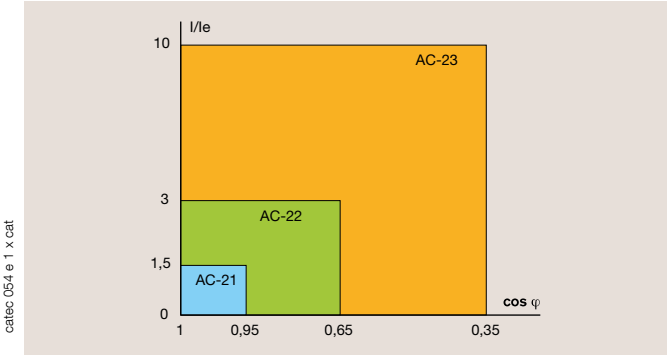
Pouvoirs de coupure et de fermeture

Contrairement aux disjoncteurs pour lesquels ces critères désignent les caractéristiques de déclenchement ou de fermeture sur court-circuit pouvant nécessiter le remplacement de l'appareil, les pouvoirs de coupure et de fermeture pour les interrupteurs correspondent aux valeurs maximales de performance des catégories d'emploi.

Suite à ces utilisations extrêmes, l'interrupteur devra encore assurer ses caractéristiques, notamment en résistance au courant de fuite et en échauffement.

Tableau B

	Établissement		Coupure		Nombre de cycles de manœuvre
	I/I_e	cos φ	I/I_e	cos φ	
AC-21	1,5	0,95	1,5	0,95	5
AC-22	3	0,65	3	0,65	5
AC-23 Ie ≤ 100 A	10	0,45	8	0,45	5
Ie > 100 A	10	0,35	8	0,35	3
	L/R (ms)		L/R (ms)		
DC-21	1,5	1	1,5	1	5
DC-22	4	2,5	4	2,5	5
DC-23	4	15	4	15	5



Endurances électrique et mécanique

La norme fixe le nombre minimal de manœuvres électriques (à pleine charge) et mécaniques (à vide) effectuées par les appareils. Ces caractéristiques définissent la fin de vie théorique de l'appareil qui doit conserver ses caractéristiques, notamment en résistance au courant de fuite et en échauffement. Ces performances sont liées au calibre de l'appareil et à son usage. En fonction de cet usage prévu, il est proposé deux catégories d'emploi complémentaires :

- cat A : manœuvres fréquentes (implantation proche de l'utilisation),
- cat B : manœuvres non fréquentes (implantation en tête d'installation ou en distribution).

Tableau C

I_e (A)	≤ 100	≤ 315	≤ 630	≤ 2500	> 2500
Nb de cycles/heure	120	120	60	20	10
Nb de manœuvres en catégorie A					
sans courant	8500	7000	4000	2500	1500
avec courant	1500	1000	1000	500	500
Total	10000	8000	5000	3000	2000
Nb de manœuvres en catégorie B					
sans courant	1700	1400	800	500	300
avec courant	300	200	200	100	100
Total	2000	1600	1000	600	400

Courant d'emploi I_e

Le courant d'emploi (Ie) est déterminé par les essais d'endurance (mécaniques et électriques) et par les essais de pouvoir de coupure et de fermeture.

Caractéristiques de court-circuit

- Courant de courte durée admissible (Icw) : courant efficace admissible pendant 1 seconde.
- Courant de fermeture sur court-circuit (Icm) : valeur crête du courant que l'appareil peut supporter lorsqu'on le ferme sur un court-circuit.
- Courant de court-circuit conditionnel : courant efficace présumé que l'interrupteur peut supporter lorsqu'il est associé à un fusible ou à un autre dispositif de protection limitant l'intensité et la durée du court-circuit.
- Tenue dynamique : valeur du courant crête que peut supporter le matériel en position fermée.

La caractéristique fixée par la norme est le courant de courte durée admissible (I_{cw}) dont on déduit la tenue dynamique minimale. Cette tenue essentielle correspond à ce que supporte l'interrupteur sans souder.

socomec Innovative Power Solutions

Normes d'installation CEI 60364 ou NF C 15100

Sectionnement § 536-2

Cette fonction exigée par le décret du 14 novembre 1988 (art.9) est destinée à assurer la mise hors tension de tout ou partie de l'installation, en séparant l'installation ou la partie d'installation de toute source d'énergie pour des raisons de sécurité.

Les actions découlant de la fonction de sectionnement se distinguent de la manière suivante :
- **action affectant l'ensemble des conducteurs actifs**,
- **action pouvant être assurée à vide** à condition que soient mises en place des dispositions complémentaires assurant une non coupure du courant d'emploi (contact auxiliaire de précoupure, panneau de signalisation "interdiction de manœuvrer en charge"…). Pour plus de sécurité, aujourd'hui la coupure est assurée par un dispositif ayant un pouvoir de coupure en charge en plus de la caractéristique de séparation,
- **action de séparation de contacts**.

Coupure pour entretien mécanique § 536-4

Cette fonction imposée par le décret du 29 juillet 1992 est destinée à mettre à l'arrêt et à maintenir à l'arrêt une machine pour effectuer des opérations d'entretien mécanique pouvant entraîner un risque de dommage corporel ou lors des arrêts de longue durée.

Il est demandé que l'implantation de ces dispositifs les rende facilement identifiables et appropriés à l'usage prévu.

Les dispositifs de coupure pour entretien mécanique doivent réaliser la fonction de sectionnement et la fonction de coupure d'urgence.

Cette fonction est aussi proposée sous la forme de coffret de coupure locale de sécurité.

Dans ces coffrets, sont mis en œuvre généralement des interrupteurs à coupure visible, cette disposition devant être vérifiée de l'extérieur. L'usage de la coupure visible vient du renforcement de la sécurité procurée aux personnels devant intervenir dans une zone dangereuse, notamment sur site à risques mécaniques très importants où la poignée endommagée ne pourrait plus indiquer de manière sûre la position de l'interrupteur.

Coupure d'urgence § 536-3

Cette fonction exigée par le décret du 14 novembre 1988 (art.10) est destinée à assurer la mise hors tension des circuits terminaux. L'objet de cette fonction étant de mettre hors tension les utilisations pour prévenir des risques d'incendie, de brûlure ou de choc électrique. Une notion liée à cette fonction est la rapidité, la facilité d'accès et d'identification de la commande de l'appareil qui doit agir.

Cette rapidité d'intervention dépend des conditions d'agencement des locaux où sont implantées les installations, des équipements mis en œuvre ou des personnes en présence.

Les actions découlant de la fonction de coupure d'urgence se distinguent de la manière suivante :
- **action devant être assurée en charge**,
- **action devant affecter l'ensemble des conducteurs actifs**.

Arrêt d'urgence CEI 60204 § 10-7

Cette fonction imposée par le décret du 29 juillet 1992 se distingue de la coupure d'urgence par la prise en compte des risques liés aux parties en mouvement des machines.

Les actions découlant de la fonction d'arrêt d'urgence se distinguent de la manière suivante :
- **action devant être assurée en charge**,
- **action devant affecter l'ensemble des conducteurs actifs**,
- **prise en compte du freinage éventuel**.

Commande fonctionnelle § 536-5

L'exploitation rationnelle d'une installation électrique nécessite de pouvoir intervenir localement sans couper l'ensemble de l'installation. Outre la commande sélective, la commande fonctionnelle comprend la commutation, le délestage, etc.

Les actions découlant de la fonction de commande fonctionnelle se distinguent de la manière suivante :
- **action devant être assurée en charge**,
- **action pouvant ne pas affecter l'ensemble des conducteurs actifs** (deux phases sur trois d'un moteur par exemple).

Choix d'un appareil de coupure

Choix en fonction de la tension d'isolement

Elle caractérise la tension d'utilisation maximale de l'appareillage dans des conditions normales du réseau.

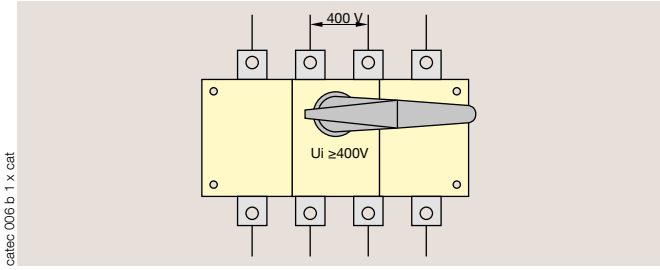


Fig. 1.

Exemple

Dans un réseau 230 V / 400 V, il faudra choisir un appareil dont la tension d'isolement $U_i \geq 400$ V (voir fig.1).

Dans un réseau 400 V / 690 V, il faudra retenir un appareil dont la tension d'isolement $U_i \geq 690$ V.

Essais diélectriques

Pour caractériser la qualité d'isolement diélectrique d'un appareil, la norme CEI 60947-3 prévoit les dispositions suivantes :

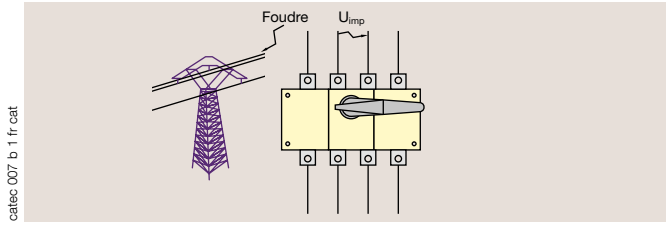
- tenue à U_{imp} sur les appareils neufs avant essais (courts-circuits, endurances…),
- vérification de la tenue diélectrique après ces essais à la tension 1,1 x U_i.

Tension de tenue aux chocs U_{imp}

Elle caractérise l'utilisation d'un appareil dans des conditions anormales du réseau dues aux surtensions en raison :

- de l'action de la foudre sur les lignes aériennes,
- des manœuvres d'appareillage sur les circuits Haute Tension.

Cette caractéristique exprime également une qualité diélectrique de l'appareil (exemple : U_{imp} = 8 kV).



Tenue de l'appareillage à U_{imp}.

Choix en fonction du régime de neutre

Réseau triphasé avec neutre distribué

Régime	Section neutre ≥ section phase	Section neutre < section phase
TT	N R S T	N R S T (1)
TNC	PEN R S T	PEN R S T
TNS	N R S T	
IT avec neutre	N R S T (2)	N R S T (2)

Coupure — Protection

(1) Le neutre n'est pas à protéger si le conducteur de neutre est protégé contre les courts-circuits par le dispositif de protection des phases et si le courant maximal de défaut sur le neutre est très inférieur au courant maximal admissible pour le câble (NF C 15100 § 431.2).

(2) La mise en place d'un fusible sur le neutre doit être obligatoirement associée à un dispositif de détection de fusion de ce fusible, cette détection devant provoquer l'ouverture des phases correspondantes pour éviter le fonctionnement de l'installation sans neutre.

socomec Innovative Power Solutions

Choix d'un appareil de coupure (suite)

Dimensionnement du pôle neutre en fonction de la présence d'harmoniques

Section du Neutre < Section des phases

Présence de courants harmoniques de rang 3 et multiple de 3 dont le taux est inférieur à 15 %.

Section du Neutre = Section des phases

Présence de courants harmoniques de rang 3 et multiple de 3 dont le taux est compris entre 15 et 33 % (distribution pour des lampes à décharge, des tubes fluorescents, par exemple).

Section du Neutre > Section des phases

Présence de courants harmoniques de rang 3 et multiple de 3 dont le taux est supérieur à 33 % (circuits dédiés à la bureautique et à l'informatique par exemple) le § 524.2 de la NFC 15100 propose une section de 1,45 la section des phase.

Utilisations sur réseau à courant continu

Les caractéristiques de courant d'emploi indiquées dans le catalogue général sont définies pour la fig. 1, sauf s'il est précisé "2 pôles en série" (dans ce cas, voir la fig. 2).

Exemple 1 : mise en série des pôles
Un appareil SIRCO 400 A utilisé sur un réseau 500 VDC avec un courant d'emploi de 400 A en catégorie DC-23 doit avoir 2 pôles en série par polarité.

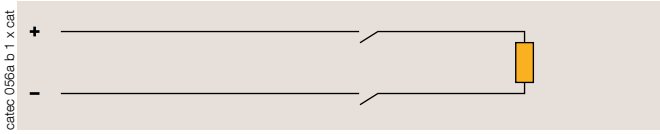
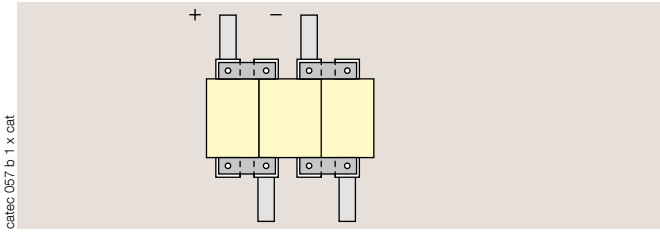


Fig. 1 : 1 pôle par polarité.

Fig. 2 : 2 pôles en série par polarité.

Exemple 2 : mise en parallèle des pôles
Appareil 4 pôles utilisé en 2 x 2 pôles en parallèle.
Précaution de raccordement : assurer une bonne répartition du courant dans les deux branches.



Cas d'utilisation

En protection

En cas d'utilisation d'appareils à déclenchement SIDERMAT, FUSOMAT ou IDE en protection contre les contacts indirects ou contre les courts-circuits, il faut tenir compte du temps d'ouverture de ces appareils. La durée comprise entre la commande et l'ouverture effective des contacts est inférieure à 0,05 s.

En commutation de source

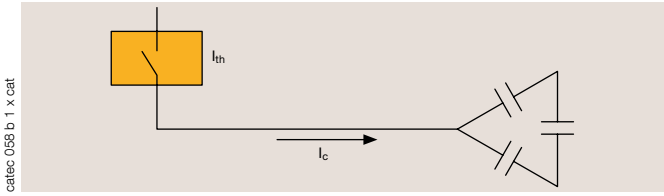
Le temps de manœuvre 0 - I ou 0 - II est de 0,7 à 2,1 s selon les appareils.
Le temps de commutation I - II est de 1,1 à 3,6 s.

Cas d'utilisation (suite)

En amont d'une batterie de condensateurs

Choisir en général un interrupteur dont le calibre est supérieur à 1,5 fois la valeur du courant nominal de la batterie de condensateurs (I_c).

$$I_{th} > 1{,}5\ I_c$$



Au primaire d'un transformateur

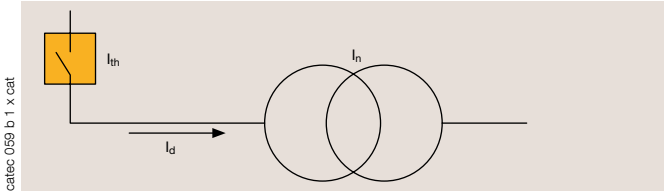
S'assurer que le pouvoir de fermeture de l'interrupteur est supérieur au courant de magnétisation (I_d) du transformateur.

$$\text{Pouvoir de fermeture} > I_{th}$$

Tableau A

P kVA	50	100	160	250	400	630	1000	1250	1600
Id / In	15	14,5	14	13	12	11	10	9	8,5

I_d : courant de magnétisation du transformateur.
In : courant nominal du transformateur.



En amont d'un moteur

En coupure locale de sécurité

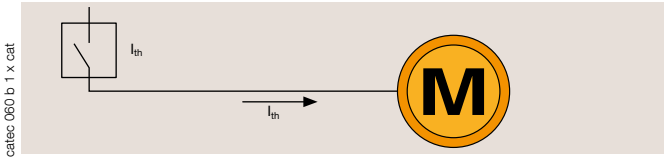
L'interrupteur doit posséder la caractéristique AC-23 au courant nominal du moteur (I_n).

Dans les circuits moteurs à démarrages fréquents

Il est nécessaire de déterminer le courant thermique équivalent (I_{thq}).

Les courants et les temps de démarrage sont très variables selon le type de moteur et l'inertie du récepteur entraîné. Ils se situent, pour un démarrage direct, généralement dans les plages de valeurs suivantes :

- courant crête : 8 à 10 I_n,
- durée du courant crête : 20 à 30 ms,
- courant de démarrage I_d : 4 à 8 I_n,
- temps de démarrage t_d : 2 à 4 s.



Exemples de déclassement en fonction du type de démarrage.

$$I_{thq} = I_n \times K_d \text{ et } I_{th} \geq I_{thq}$$

Tableau B

Type de démarrage	$I_d^{(4)}$ / I_n	$t_d^{(4)}$(s)	n(1)	$K_d^{(2)}$
Direct jusqu'à 170 kW	6 à 8	0,5 à 4	n > 10	$\frac{\sqrt{n}}{3{,}16}$
Y - Δ (I_d/3)	2 à 2,5	3 à 6	n > 85	$\frac{\sqrt{n}}{9{,}2}$
Direct-moteurs à grande inertie(3)	6 à 8	6 à 10	n > 2	$\frac{\sqrt{n}}{1{,}4}$

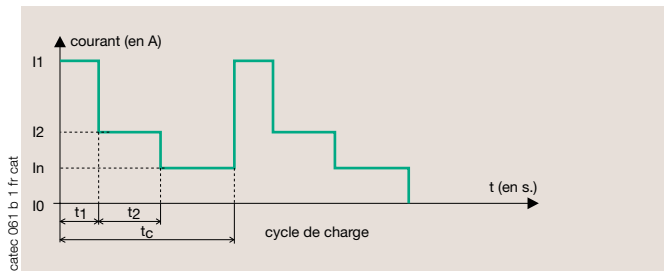
(1) n : nombre de démarrages par heure à partir duquel il faut déclasser le matériel.
(2) K_d : coefficient de démarrage ≥ 1.
(3 Ventilateur, pompes…
(4) Valeurs moyennes très variables selon types de moteurs et de récepteurs.

En cas de surcharges cycliques (hors démarrages)

Pour des récepteurs particuliers (soudeuses, moteurs), générateurs de courant cyclique de pointe, le calcul de l'intensité équivalente (I_{thq}) peut être le suivant :

$$I_{thq} = \sqrt{\frac{(I^2 1 \times t1) + (I^2 2 \times t2) + I_n^2 \times (t_c - [t1 + t2])}{t_c}}$$

I1 : courant d'appel du récepteur.
I2 : courant de surcharge intermédiaire éventuel.
I_n : courant en régime établi.
t1 et t2 : durées respectives en secondes des courants I1 et I2.
tc : durée du cycle en secondes avec une limite inférieure fixée à 30 secondes.



Fonctionnement cyclique.

socomec Innovative Power Solutions

Limites d'utilisation

Certaines conditions d'utilisation imposent de modifier l'intensité thermique par un facteur de correction et de ne pas dépasser la valeur d'utilisation obtenue.

Kt correction due à la température

Température de l'air au voisinage de l'appareil

Tableau A : facteurs de correction en fonction de la température ta

Kt : facteur de correction	
0,9	40 °C < ta ≤ 50 °C
0,8	50 °C < ta ≤ 60 °C
0,7	60 °C < ta ≤ 70 °C

- Méthode rapide.

$$I_{thu} \leq I_{th} \times K_t$$

- Un calcul plus précis peut être effectué en fonction de chaque utilisation : nous consulter.

Utilisation en combiné fusible

- Méthode rapide.
  Un interrupteur doit être déclassé d'un facteur 0,8 lorsque les socles fusibles sont directement raccordés à ses bornes.
  Exemple : un combiné 1250 A sera constitué d'un interrupteur 1600 A et de 3 fusibles 1250 A gG.
- Un calcul plus précis en fonction des différents cas d'utilisation est possible : nous consulter.

Autres déclassements en température

- Interrupteurs-fusibles munis de fusibles UR.
- Service assigné continu. Dans certains cas, un déclassement pour fonctionnement à pleine charge 24 h/24 est nécessaire : nous consulter.

Kf correction due à la fréquence

Tableau B : facteurs de correction en fonction de la fréquence f

Kf : facteur de correction	
0,9	100 Hz < f ≤ 1000 Hz
0,8	1000 Hz < f ≤ 2000 Hz
0,7	2000 Hz < f ≤ 6000 Hz
0,6	6000 Hz < f ≤ 10000 Hz

$$I_{thu} \leq I_{th} \times Kf$$

Ka correction due à l'altitude

Tableau C : facteurs de correction en fonction de l'altitude A

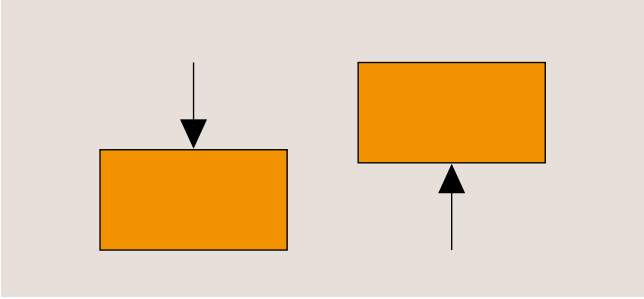
	2000 m < A ≤ 3000 m	3000 m < A ≤ 4000 m
Ue	0,95	0,80
Ie	0,85	0,85

- Déclassement en Ue et Ie valable en alternatif et en continu.
- Pas de déclassement en I_{th}.

Kp correction due à la mise en œuvre de l'appareil

Raccordement amont ou aval

L'ensemble des appareils de la gamme SOCOMEC étant à double coupure par pôle (sauf FUSERBLOC 1250 A, FUSOMAT 1250 A et combinés SIDERMAT), l'alimentation par l'amont ou par l'aval de l'appareil est envisageable sans précaution particulière, hormis les règles de repérage requises lors d'une alimentation par le bas.

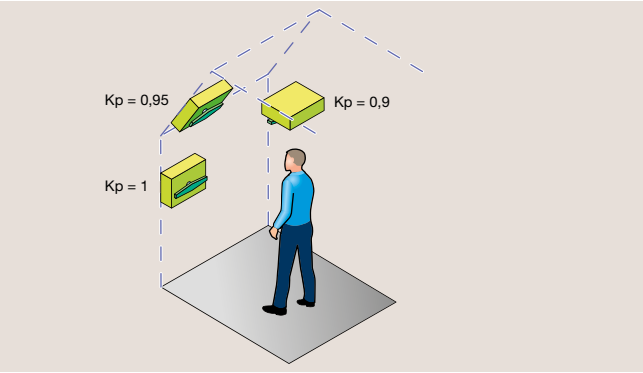


catec 120 b 1 x cat

Sens de montage.

Contrainte de refroidissement

$$I_{thu} \leq I_{th} \times Kp$$



catec 121 b 1 x cat

Déclassement de position.

Protection fusible

Caractéristiques générales

Le rôle d'un fusible consiste à interrompre un circuit électrique lorsqu'il est soumis à un courant de défaut. Il présente en outre l'intérêt de limiter les courants de défaut importants (voir exemple ci-dessous). La caractéristique essentielle du fusible est d'être un appareil de protection fiable, simple et économique.

Les caractéristiques techniques du fusible qui permettent un choix optimal sont :

- Temps de préarc
  Temps qu'il faut à un courant pour amener à l'état de vapeur, après fusion, l'élément fusible.
  Le temps de préarc est indépendant de la tension du réseau.
- Temps d'arc
  Période comprise entre l'instant où apparaît l'arc et son extinction totale (courant nul). Le temps d'arc dépend de la tension du réseau, mais pour les temps de fusion totale > 40 ms, il est négligeable par rapport au temps de préarc.
- Temps de fusion totale
  Somme des temps de préarc et d'arc.
- Pouvoir de coupure
  Valeur du courant de court-circuit présumé que le fusible est capable d'interrompre sous une tension d'emploi spécifiée.
- Contrainte thermique, $\int_0^t I^2\,dt$
  Valeur de l'intégrale du courant coupé sur l'intervalle de temps de fusion totale, exprimée en A2s (Ampère-carré seconde).

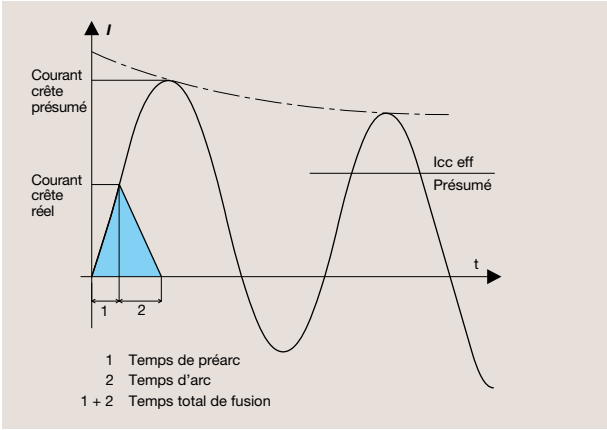
Limitation du courant de court-circuit

Les deux paramètres à considérer pour la limitation du courant de court-circuit sont :

- le courant crête réellement atteint par le courant dans le circuit protégé,
- le courant efficace présumé, qui se développerait s'il n'y avait pas de fusible dans le circuit.

Le diagramme de limitation indique la correspondance entre ces deux paramètres *(voir pages 49 et 51)*. Pour connaître le courant crête qui peut réellement se développer dans un circuit électrique protégé par un fusible, il faut :

- calculer le courant de court-circuit efficace maximum *(voir page 24)*,
- reporter ce courant sur le diagramme de limitation et lire la valeur crête en fonction du calibre du fusible protégeant le circuit.



Remarques : il n'y a limitation que si $t_{préarc}$ < 5 ms (réseau 50 Hz).

Exemple : On souhaite limiter un courant de court-circuit de 100 kA eff. par un fusible 630 A gG.
Le courant eff. présumé de 100 kA eff. conduit à un courant de crête présumé de : 100 x 2,2 = 220 kA.
Le fusible limite en fait le courant crête à 50 kA, ce qui représente 23 % de sa valeur présumée (voir figure 1) ; ceci entraîne une réduction des efforts électrodynamiques à 5 % de la valeur sans protection (voir figure 2) et une diminution de la contrainte thermique qui est limitée à 2,1 % de sa valeur (voir figure 3).

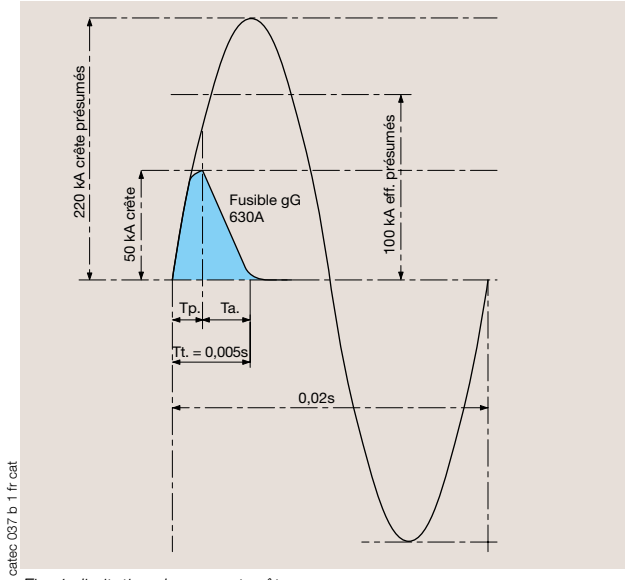


Fig. 1 : limitation du courant crête.

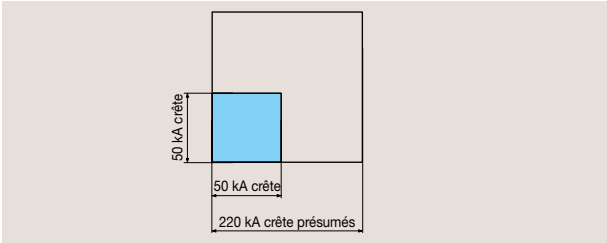


Fig. 2 : limitation des efforts électrodynamiques proportionnelle au carré du courant.

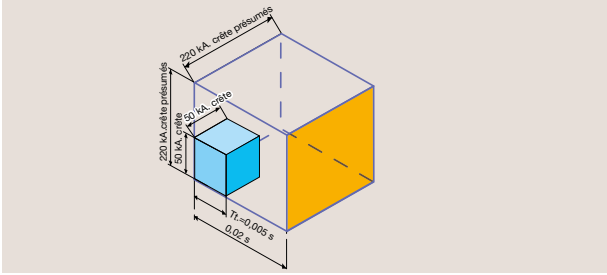


Fig. 3 : limitation de la contrainte thermique I x I x t.

Choix d'un fusible "gG" ou "aM"

Le choix d'une protection doit se faire en fonction de 3 paramètres :
- les caractéristiques du réseau,
- les règles d'installation,
- les caractéristiques du circuit considéré.

Les calculs ci-après n'ont qu'une valeur indicative, veuillez nous consulter lors de vos définitions de matériel en utilisations particulières.

Caractéristiques du réseau

La tension

Un fusible ne peut jamais être utilisé à une tension efficace supérieure à sa tension nominale. Il fonctionne normalement aux tensions inférieures.

La fréquence

- f < 5 Hz : on considère que la tension d'emploi (Ue) est équivalente à une tension continue et U_e = U crête.
- 5 ≤ f < 48 Hz.
- 48 ≤ f < 1000 Hz : pas de déclassement en tension.

$$U_e \leq ku \times U_n$$

f (en Hz)	5	10	20	30	40
ku	0,55	0,65	0,78	0,87	0,94

ku : coefficient de déclassement en tension dû à la fréquence.

Le courant de court-circuit

Après l'avoir déterminé, il faut vérifier que ses valeurs soient inférieures au pouvoir de coupure des fusibles : 120 kA eff.

Règles d'installation

Utilisation d'un fusible sur le neutre *(voir page 38)*.

Schéma des liaisons à la terre

Suivant le régime de neutre, les fusibles auront généralement une ou deux fonctions de protection :
- contre les surintensités : A,
- contre les contacts indirects : B.

Schémas	Protections
TT	A
IT	A + B
TNC	A + B
TNS	A + B

Caractéristiques du circuit

- Limite d'utilisation des fusibles en fonction de la température ambiante (ta) au voisinage de l'appareil.

$$I_{th}\,u \leq Kt \times I_n$$

I_{th} u : intensité thermique d'utilisation : courant permanent maximal que l'appareil accepte pendant 8 heures dans des conditions particulières

I_n : calibre du fusible

Kt : coefficient donné par le tableau ci-dessous.

	Kt			
	Fusible gG		Fusible aM	
ta	Socle fusible	Sur appareillage et combiné	Socle fusible	Sur appareillage et combiné
40°	1	1	1	1
45°	**1**	**0,95**	**1**	**1**
50°	0,93	0,90	0,95	0,95
55°	**0,90**	**0,86**	**0,93**	**0,90**
60°	0,86	0,83	0,90	0,86
65°	**0,83**	**0,79**	**0,86**	**0,83**
70°	0,80	0,76	0,84	0,80

Si le fusible est installé dans une enveloppe ventilée, il faut multiplier les valeurs de Kt par Kv.
- Vitesse de l'air V < 5 m/s Kv = 1 + 0,05
- Vitesse de l'air V ≥ 5 m/s Kv = 1,25

Exemple : un fusible gG monté sur socle est installé dans une enveloppe ventilée
- température dans l'enveloppe : 60 °C
- vitesse de l'air : 2 m/s

Kv = 1 + 0,05 x 2 = 1,1
Kt = 1,1 x 0,86 = 0,95.

Choix d'un fusible "gG" ou "aM" (suite)

Caractéristiques du circuit (suite)

Précaution d'utilisation en altitude > 2000 m

- Pas de déclassement en intensité.
- Le pouvoir de coupure est limité : nous consulter.
- Un déclassement en taille est recommandé.

En amont d'un transformateur de séparation

L'enclenchement sur un transformateur à vide provoque un appel de courant important. Il faudra utiliser un fusible de type aM au primaire qui est plus apte à supporter des surcharges répétées. L'utilisation secondaire sera protégée par des fusibles de type gG.

En amont d'un moteur

La protection contre les surcharges des moteurs est généralement assurée par un relais thermique. La protection des conducteurs d'alimentation du moteur est assurée par les fusibles aM ou gG. Le tableau A indique les calibres des fusibles à associer au relais thermique en fonction de la puissance du moteur.

Nota :
- Le courant nominal d'un moteur est variable d'un constructeur à l'autre. Le tableau A donne des valeurs indicatives.
- Il est préférable d'utiliser des fusibles aM plutôt que des fusibles gG pour cette application.
- En cas de démarrages fréquents ou difficiles (démarrage direct > 7 I_n pendant plus de 2 s ou démarrage > 4 I_n pendant plus de 10 s), il est conseillé de prendre un calibre supérieur à celui indiqué dans le tableau. Il faudra néanmoins s'assurer de la coordination de l'association du fusible avec le discontacteur *(voir page 55).*
- En cas de fusion d'un fusible aM, il est conseillé de remplacer les fusibles des deux autres phases.

Tableau A : protection des moteurs par fusibles aM

Moteur							
400 V tri			500 V tri			Calibres	Taille conseillée
Kw	Ch	In A	Kw	Ch	In A		
7,5	10	15,5	11	15	18,4	20	10 x 38 ou 14 x 51
11	**15**	**22**	**15**	**20**	**23**	**25**	**10 x 38 ou 14 x 51**
15	20	30	18,5	25	28,5	40	14 x 51
18,5	**25**	**37**	**25**	**34**	**39,4**	**40**	**14 x 51**
22	30	44	30	40	45	63	22 x 58
25	**34**	**51**	**40**	**54**	**60**	**63**	**22 x 58**
30	40	60	45	60	65	80	22 x 58
37	**50**	**72**	**51**	**70**	**75**	**100**	**22 x 58**
45	60	85	63	109	89	100	22 x 58
55	**75**	**105**	**80**	**110**	**112**	**125**	**T 00**
75	100	138	110	150	156	160	T 0
90	**125**	**170**	**132**	**180**	**187**	**200**	**T 1**
110	150	205	160	220	220	250	T 1
132	**180**	**245**	**220**	**300**	**310**	**315**	**T 2**
160	218	300				315	T 2
200	**270**	**370**	**250**	**340**	**360**	**400**	**T 2**
250	340	475	335	450	472	500	T 3
315	**430**	**584**	**450**	**610**	**608**	**630**	**T 3**
400	550	750	500	680	680	800	T 4

En amont d'une batterie de condensateurs

Le calibre du fusible doit être supérieur ou égal à deux fois le courant nominal de la batterie de condensateurs (I_C).

$$I_n \geq 2\, I_c$$

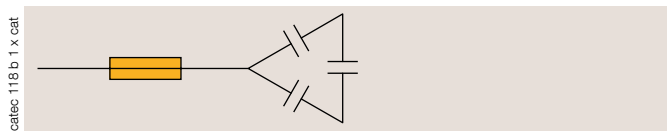


Tableau B : calibre des fusibles pour batterie de condensateurs sous 400 V

Capacité en Kvar	5	10	20	30	40	50	60	75	100	125	150
Fusible gG en A	20	32	63	80	125	160	200	200	250	400	400

socomec Innovative Power Solutions

Choix d'un fusible "gG" ou "aM" (suite)

Caractéristiques du circuit (suite)

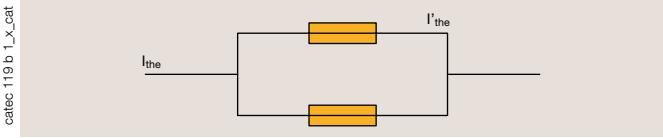
- **En mise en parallèle**
- La mise en parallèle de fusibles n'est possible qu'entre deux fusibles de même taille et même calibre.

$I_{the} = I'_{the} \times 2$

I_{cc} crête limité total = I'_{cc} crête limité total x 1,59

i^2t totale = i'^2t x 2,52

i^2t : contrainte thermique d'un fusible



Utilisation en courant continu

- En courant continu, le temps de préarc est identique au temps de préarc en courant alternatif. Les caractéristiques temps/courant et le diagramme de limitation restent valables pour l'utilisation des fusibles en courant continu. Par contre, le temps d'arc est nettement plus élevé en continu car on ne bénéficie pas du passage à zéro de la tension.
- L'énergie thermique à absorber sera beaucoup plus importante qu'en alternatif. Pour garder une contrainte thermique équivalente au fusible, il faut limiter sa tension d'utilisation.

Tension maximale	
en alternatif	en continu
400 V	260 V
500 V	350 V
690 V	450 V

Utilisation des fusibles de type gG cylindriques.

Taille	Tension	Courant DC	Pouvoir de coupure en DC
10 x 38	500 VAC / 250 VDC	16 A	15 KA
14 x 51	500 VAC / 250 VDC	32 A	15 KA
	690 VAC / 440 VDC	32 A	10 KA
22 x 58	500 VAC / 250 VDC	80 A	15 KA
	690 VAC / 440 VDC	80 A	10 KA

Il est conseillé d'utiliser des fusibles d'une taille supérieure à la taille usuelle, le calibre restant inchangé ; la taille 10 x 38 étant réservée aux circuits ≤ 12 A.
En cas de circuits fortement inductifs, il est recommandé de placer deux fusibles en série sur le pôle +.
Pour les applications photovoltaïques, il est nécessaire de mettre en œuvre des fusibles spécifiques dont les caractéristiques temps / courant et pouvoir de coupure sont dédiées à ces installations. Ces fusibles sont repérés par le symbole gPV et doivent répondre à la norme CEI 60269-6.
Les fusibles de type aM sont inexploitables en courant continu.
Pour des tensions comprises entre 450 et 800 VDC, l'utilisation de fusibles UR est possible : nous consulter pour étude.

Protection des canalisations contre les surcharges par fusibles gG

La colonne I_z donne la valeur du courant maximal admissible pour chaque section des câbles en cuivre et en aluminium, suivant la norme NF C 15100 et le guide UTE 15105.

La colonne F donne le calibre du fusible gG associé à la section et au type de câble.

Les catégories B, C, E et F correspondent aux différents modes de pose des câbles *(voir page 17)*.

Les câbles sont classés en deux familles : PVC et PR *(voir tableaux page 18)*. Le chiffre placé à la suite donne le nombre de conducteurs chargés (PVC 3 indique un câble de la famille PVC avec 3 conducteurs chargés : 3 phases ou 3 phases + neutre).

Exemple : un câble PR3 de 25 mm2 cuivre installé en catégorie E est limité à 127 A et protégé par un fusible de 100 A gG.

Catégorie	Courant admissible (Iz) protection fusible associé (F)																	
B	PVC3		PVC2				PR3				PR2							
C			**PVC3**				**PVC2**		**PR3**				**PR2**					
E					PVC3				PVC2		PR3				PR2			
F							**PVC3**				**PVC2**		**PR3**				**PR2**	
S mm²																		
Cuivre	Iz	F	Iz	F	Iz	F	Iz	F	Iz	F	Iz	F	Iz	F	Iz	F	Iz	F
1,5	15,5	10	17,5	10	18,5	16	19,5	16	22	16	23	20	24	20	26	20		
2,5	**21**	**16**	**24**	**20**	**25**	**20**	**27**	**20**	**30**	**25**	**31**	**25**	**33**	**25**	**36**	**32**		
4	28	25	32	25	34	25	36	32	40	32	42	32	45	40	49	40		
6	**36**	**32**	**41**	**32**	**43**	**40**	**46**	**40**	**51**	**40**	**54**	**50**	**58**	**50**	**63**	**50**		
10	50	40	57	50	60	50	63	50	70	63	75	63	80	63	86	63		
16	**68**	**50**	**76**	**63**	**80**	**63**	**85**	**63**	**94**	**80**	**100**	**80**	**107**	**80**	**115**	**100**		
25	89	80	96	80	101	80	112	100	119	100	127	100	138	125	149	125	161	125
35	**110**	**100**	**119**	**100**	**126**	**100**	**138**	**125**	**147**	**125**	**158**	**125**	**171**	**125**	**185**	**160**	**200**	**160**
50	134	100	144	125	153	125	168	125	179	160	192	160	207	160	225	200	242	200
70	**171**	**125**	**184**	**160**	**196**	**160**	**213**	**160**	**229**	**200**	**246**	**200**	**269**	**160**	**289**	**250**	**310**	**250**
95	207	160	223	200	238	200	258	200	278	250	298	250	328	250	352	315	377	315
120	**239**	**200**	**259**	**200**	**276**	**250**	**299**	**250**	**322**	**250**	**346**	**315**	**382**	**315**	**410**	**315**	**437**	**400**
150			299	250	319	250	344	315	371	315	399	315	441	400	473	400	504	400
185			**341**	**250**	**364**	**315**	**392**	**315**	**424**	**315**	**456**	**400**	**506**	**400**	**542**	**500**	**575**	**500**
240			403	315	430	315	461	400	500	400	538	400	599	500	641	500	679	500
300			**464**	**400**	**497**	**400**	**530**	**400**	**576**	**500**	**621**	**500**	**693**	**630**	**741**	**630**	**783**	**630**
400									656	500	754	630	825	630			840	800
500									**749**	**630**	**868**	**800**	**946**	**800**			**1083**	**1000**
630									855	630	1005	800	1088	800			1254	1000
Aluminium																		
2,5	16,5	10	18,5	10	19,5	16	21	16	23	20	24	20	26	20	28	25		
4	**22**	**16**	**25**	**20**	**26**	**20**	**28**	**25**	**31**	**25**	**32**	**25**	**35**	**32**	**38**	**32**		
6	28	20	32	25	33	25	36	32	39	32	42	32	45	40	49	40		
10	**39**	**32**	**44**	**40**	**46**	**40**	**49**	**40**	**54**	**50**	**58**	**50**	**62**	**50**	**67**	**50**		
16	53	40	59	50	61	50	66	50	73	63	77	63	84	63	91	80		
25	**70**	**63**	**73**	**63**	**78**	**63**	**83**	**63**	**90**	**80**	**97**	**80**	**101**	**80**	**108**	**100**	**121**	**100**
35	86	80	90	80	96	80	103	80	112	100	120	100	126	100	135	125	150	125
50	**104**	**80**	**110**	**100**	**117**	**100**	**125**	**100**	**136**	**125**	**146**	**125**	**154**	**125**	**164**	**125**	**184**	**160**
70	133	100	140	125	150	125	160	125	174	160	187	160	198	160	211	160	237	200
95	**161**	**125**	**170**	**125**	**183**	**160**	**195**	**160**	**211**	**160**	**227**	**200**	**241**	**200**	**257**	**200**	**289**	**250**
120	188	160	197	160	212	160	226	200	245	200	263	250	280	250	300	250	337	250
150			**227**	**200**	**245**	**200**	**261**	**200**	**283**	**250**	**304**	**250**	**324**	**250**	**346**	**315**	**389**	**315**
185			259	200	280	250	298	250	323	250	347	315	371	315	397	315	447	400
240			**305**	**250**	**330**	**250**	**352**	**315**	**382**	**315**	**409**	**315**	**439**	**400**	**470**	**400**	**530**	**400**
300			351	315	381	315	406	315	440	400	471	400	508	400	543	500	613	500
400									**526**	**400**	**600**	**500**	**663**	**500**			**740**	**630**
500									610	500	694	630	770	630			856	630
630									**711**	**630**	**808**	**630**	**899**	**800**			**996**	**800**

socomec Innovative Power Solutions

Protection des canalisations par fusibles

Longueur maximale des conducteurs protégés par fusibles

Les tableaux A et B donnent les longueurs maximales dans les conditions suivantes :
- circuit triphasé 230 V / 400 V,
- section de neutre = section de phase,
- courant de court-circuit minimal,
- conducteurs en cuivre.

Les tableaux sont valables quel que soit l'isolant des câbles (PVC, PR, EPR). Lorsque deux valeurs sont indiquées, la première correspond aux câbles PVC, la deuxième aux câbles PR/EPR.
Les longueurs sont à multiplier par les coefficients du tableau C pour les autres utilisations.
Câble aluminium : multiplier les longueurs des tableaux par 0,41.

Tableau A : longueurs maximales en m des câbles protégés par fusibles gG.

S (mm²) \ HP C	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
1,5	82	59/61	38/47	18/22	13/16	6/7														
2,5		102	82	49/56	35/43	16/20	12/15	5/7												
4			131	89	76	42/52	31/39	14/17	8/10	4/5										
6				134	113	78	67/74	31/39	18/23	10/12	7/9									
10					189	129	112	74	51/57	27/34	19/24	9/12	7/9	3/4						
16							179	119	91	67	49/56	24/30	18/23	9/11	5/7	3/4				
25								186	143	104	88	59/61	45/53	22/27	13/16	7/9	4/5			
35									200	146	123	86	75	43/52	25/36	14/18	8/11	4/5		
50										198	167	117	101	71	45/74	26/33	16/22	8/11	5/7	
70											246	172	150	104	80	57/60	34/42	17/22	11/14	
95												233	203	141	109	82	62	32/40	20/25	9/11
120													256	179	137	103	80	51/57	32/40	14/18
150													272	190	145	110	85	61	42/48	20/24
185														220	169	127	98	70	56	27/34
240															205	155	119	85	68	43/46

Tableau B : longueurs maximales en m des câbles protégés par fusibles aM.

S (mm²) \ HP C	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
1,5	28/33	19/23	13/15	8/10	6/7															
2,5	67	47/54	32/38	20/24	14/16	9/11	6/7													
4	108	86	69	47/54	32/38	22/25	14/17	9/11	6/7											
6	161	129	104	81	65/66	45/52	29/34	19/23	13/15	9/10	6/7									
10				135	108	88	68	47/54	32/38	21/25	14/16	9/11	6/7							
16						140	109	86	69	49/55	32/38	21/25	14/17	9/11						
25								135	108	86	67	47/54	32/38	21/25	14/16	9/11				
35									151	121	94	75	58/60	38/45	25/30	17/20	11/13	7/9		
50											128	102	82	65	43/51	29/36	19/24	13/15	8/10	
70												151	121	96	75	58/60	38/45	25/30	17/20	11/13
95												205	164	130	102	82	65	43/51	29/34	19/23
120														164	129	104	82	65	44/52	29/35
150															138	110	88	69	55	37/44
185																128	102	80	64	51
240																	123	97	78	62

Tableau C : coefficient de correction pour d'autres réseaux.

Cas d'utilisation	Coefficient
Section du neutre = 0,5 x section phase	0,67
Circuit sans neutre	**1,73**

(1) L'entrée du tableau se fait par la section des phases.

Protection contre les contacts indirects par fusibles

Longueur maximale des conducteurs protégés par fusibles

La longueur des conducteurs protégés contre les contacts indirects doit être limitée.
Les tableaux B et C donnent une lecture directe des longueurs maximales des conducteurs en cuivre. Elles sont déterminées dans les conditions suivantes :

- réseau 230 / 400 V,
- schéma TN,
- tension de contact maximale U_L = 50 V,
- $\frac{Ø\ ph}{Ø\ PE} = m = 1$.

Pour d'autres utilisations, il faut multiplier la valeur lue dans les tableaux B et C par le coefficient du tableau A.

Tableau A

		Coefficient de correction
Conducteur aluminium		0,625
Section PE = 1/2 Section Phase (m = 2)		**0,67**
Régime IT	sans neutre	0,86
	avec neutre	0,5
Temps de coupure de 5s admis. (circuit de distribution)	**pour les canalisations protégées avec des fusibles gG**	**1,88**
	pour les canalisations protégées avec des fusibles aM	**1,53**

Tableau B : longueurs maximales (en m) des conducteurs protégés par fusibles gG (calibre en A)

S (mm²) \ (A)	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
1,5	53	40	32	22	18	13	11	7	8	4	3									
2,5	**88**	**66**	**53**	**36**	**31**	**21**	**18**	**12**	**9**	**7**	**6**	**4**								
4	141	106	85	58	49	33	29	19	15	11	9	6	6	4						
6	**212**	**159**	**127**	**87**	**73**	**50**	**43**	**29**	**22**	**16**	**14**	**10**	**8**	**6**	**4**					
10	353	265	212	145	122	84	72	48	37	28	23	16	14	10	7	6	4			
16	**566**	**424**	**339**	**231**	**196**	**134**	**116**	**77**	**59**	**43**	**36**	**25**	**22**	**15**	**12**	**9**	**7**	**5**	**4**	
25	884	663	530	361	306	209	181	120	92	67	57	40	35	24	18	14	11	8	6	4
35		**928**	**742**	**506**	**428**	**293**	**253**	**169**	**129**	**94**	**80**	**56**	**48**	**34**	**26**	**20**	**15**	**11**	**9**	**6**
50				687	581	398	343	229	176	128	108	76	66	46	35	27	20	15	12	8
70					**856**	**586**	**506**	**337**	**259**	**189**	**159**	**11**	**97**	**67**	**52**	**39**	**30**	**22**	**17**	**11**
95						795	687	458	351	256	216	151	131	92	70	53	41	29	23	16
120							**868**	**578**	**444**	**323**	**273**	**191**	**166**	**116**	**89**	**67**	**62**	**37**	**23**	**20**
150								615	472	343	290	203	178	123	94	71	54	39	31	21
185								**714**	**547**	**399**	**336**	**235**	**205**	**145**	**110**	**82**	**64**	**46**	**36**	**24**
240									666	485	409	286	249	173	133	100	77	55	44	29
300										**566**	**477**	**334**	**290**	**202**	**155**	**117**	**90**	**65**	**51**	**34**

Tableau C : longueurs maximales (en m) des conducteurs protégés par fusibles aM (calibre en A)

S (mm²) \ (A)	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
1,5	28	23	18	14	11	9	7	6	5	4										
2,5	**47**	**38**	**30**	**24**	**19**	**15**	**12**	**9**	**8**	**6**	**5**									
4	75	60	48	38	30	24	19	15	12	10	8		6	5	4					
6	**113**	**90**	**72**	**57**	**45**	**36**	**29**	**23**	**18**	**14**	**11**	**9**	**7**	**6**	**5**	**4**				
10	188	151	121	94	75	60	48	38	30	24	19	15	12	10	8	6	5	4		
16	**301**	**241**	**193**	**151**	**121**	**96**	**77**	**60**	**48**	**39**	**30**	**24**	**19**	**15**	**12**	**10**	**8**	**6**	**5**	**4**
25	470	377	302	236	188	151	120	94	75	60	47	38	30	24	19	16	12	9	8	6
35	**658**	**527**	**422**	**330**	**264**	**211**	**167**	**132**	**105**	**84**	**66**	**53**	**42**	**33**	**26**	**21**	**17**	**13**	**11**	**8**
50	891	714	572	447	357	285	227	179	144	115	90	72	57	46	36	29	23	18	14	11
70			**845**	**660**	**527**	**422**	**335**	**264**	**211**	**169**	**132**	**105**	**84**	**67**	**53**	**42**	**33**	**26**	**21**	**17**
95				895	716	572	454	358	286	229	179	143	115	91	72	57	45	36	29	23
120					**904**	**723**	**574**	**462**	**362**	**289**	**226**	**181**	**145**	**115**	**90**	**72**	**57**	**45**	**36**	**29**
150						794	630	496	397	317	248	198	159	126	99	79	63	50	40	32
185							**744**	**586**	**469**	**375**	**293**	**234**	**188**	**149**	**117**	**94**	**74**	**59**	**47**	**38**
240								730	584	467	365	292	234	185	146	117	93	73	58	47
300									**702**	**562**	**439**	**351**	**281**	**223**	**175**	**140**	**11**	**88**	**70**	**56**

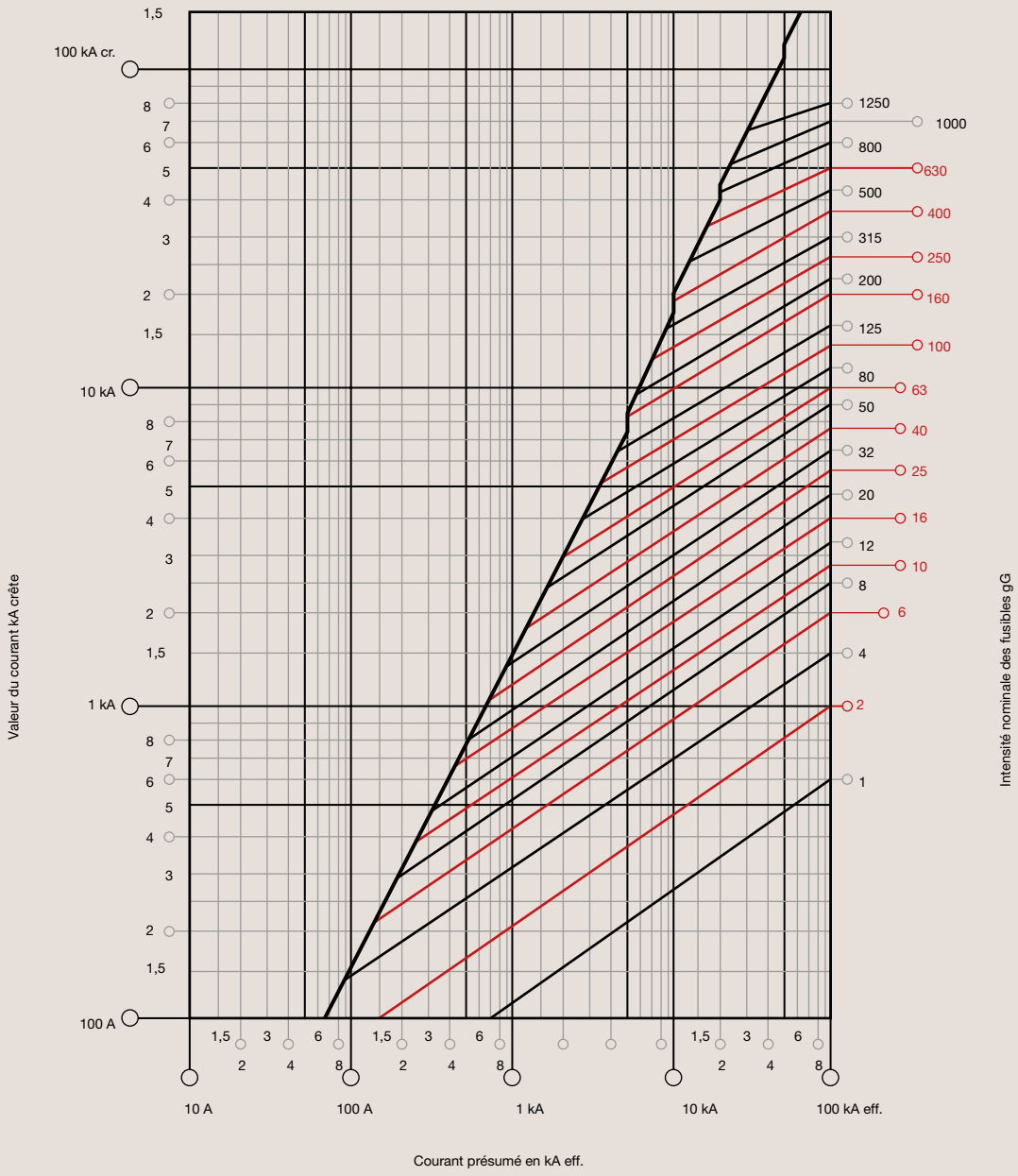
Exemple : un circuit est constitué d'un câble cuivre 3 x 6 mm² et protégé par un fusible 40 A gG. Sa longueur devra être inférieure à 73 m pour que la protection contre les contacts indirects soit assurée en TN 230 V/400 V.

- si le câble est en aluminium, la longueur maximale est de : 0,625 x 73 m = 45,6 m
- en schéma IT avec neutre et câble aluminium, la longueur est de : 0,625 x 0,5 x 73 m = 22,8 m
- en schéma IT avec neutre, câble aluminium pour une alimentation d'armoire divisionnaire, la longueur est de : 0,625 x 0,5 x 1,88 = 42,8 m.

socomec Innovative Power Solutions

Courbes caractéristiques des fusibles NF et NH de type gG

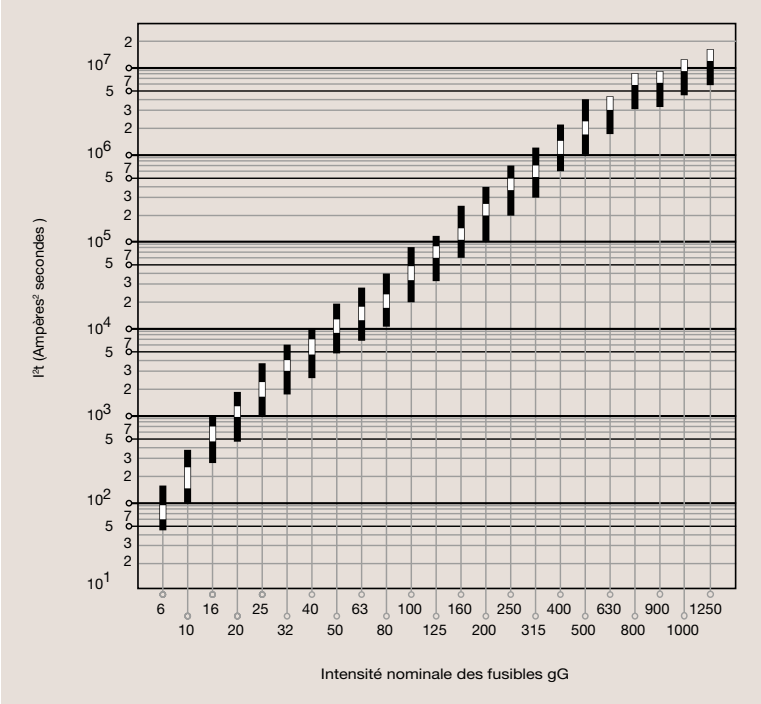
Diagramme de limitation des courants

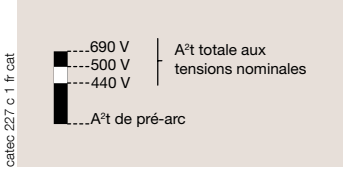


catec 112 f 1 fr cat

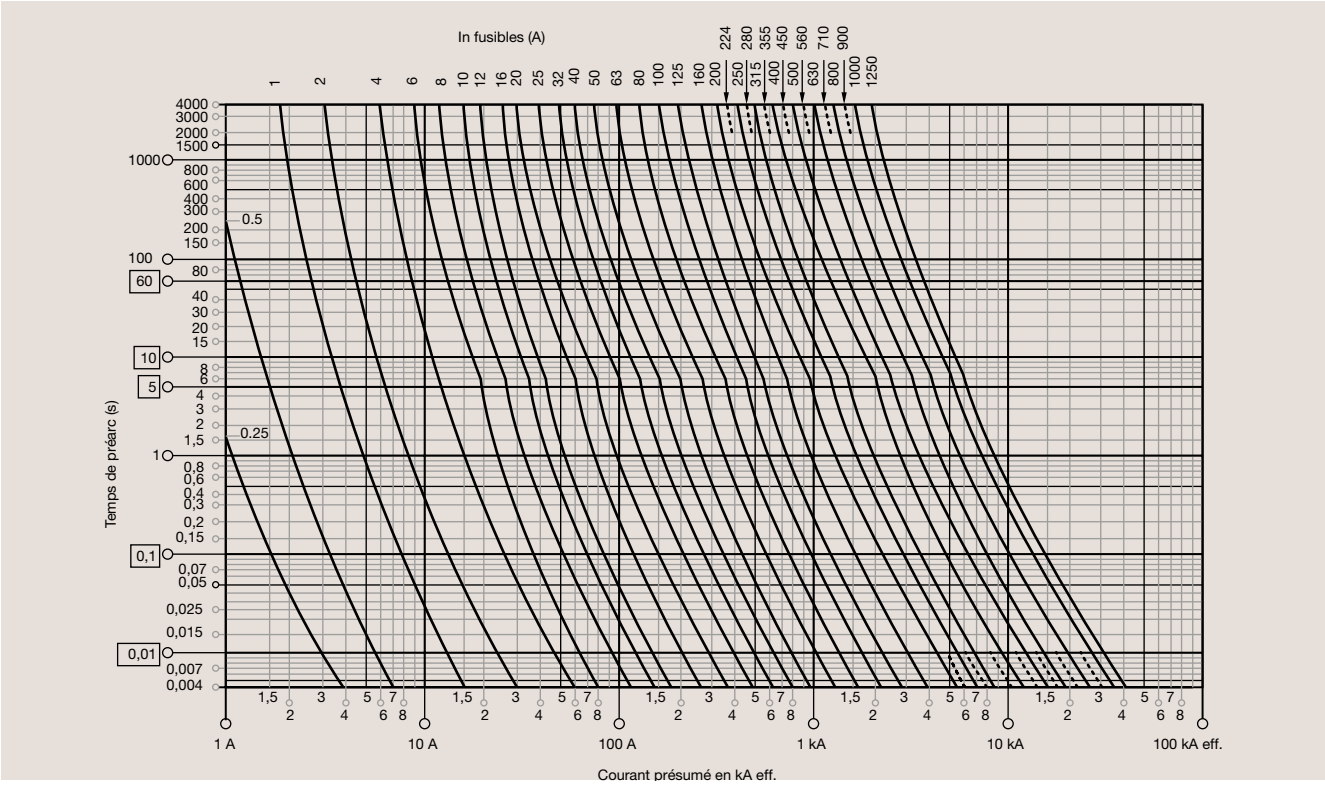
Courbes caractéristiques des fusibles NF et NH de type gG (suite)

Diagramme de limitation des contraintes thermiques





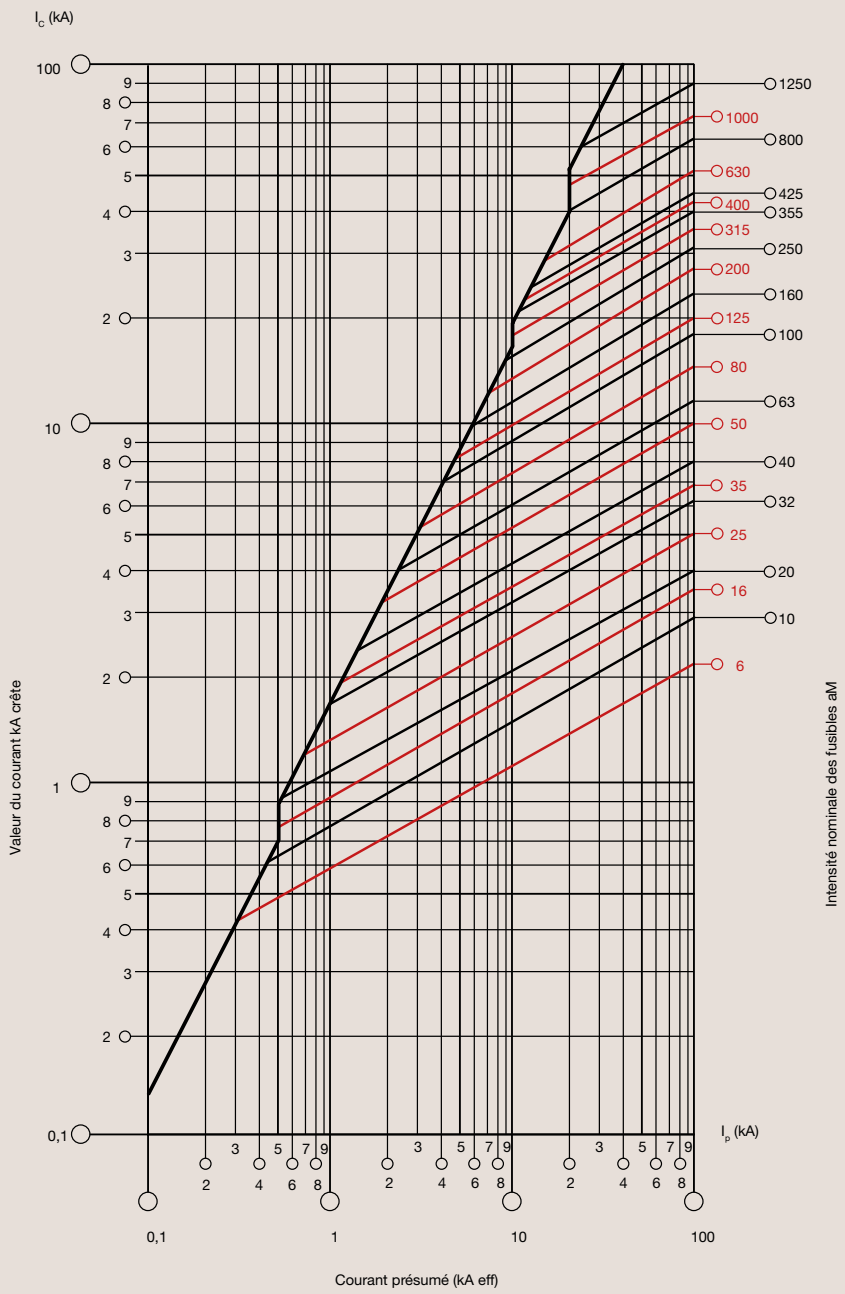
Caractéristiques de fonctionnement temps/courant



socomec Innovative Power Solutions

Courbes caractéristiques des fusibles NF et NH de type aM

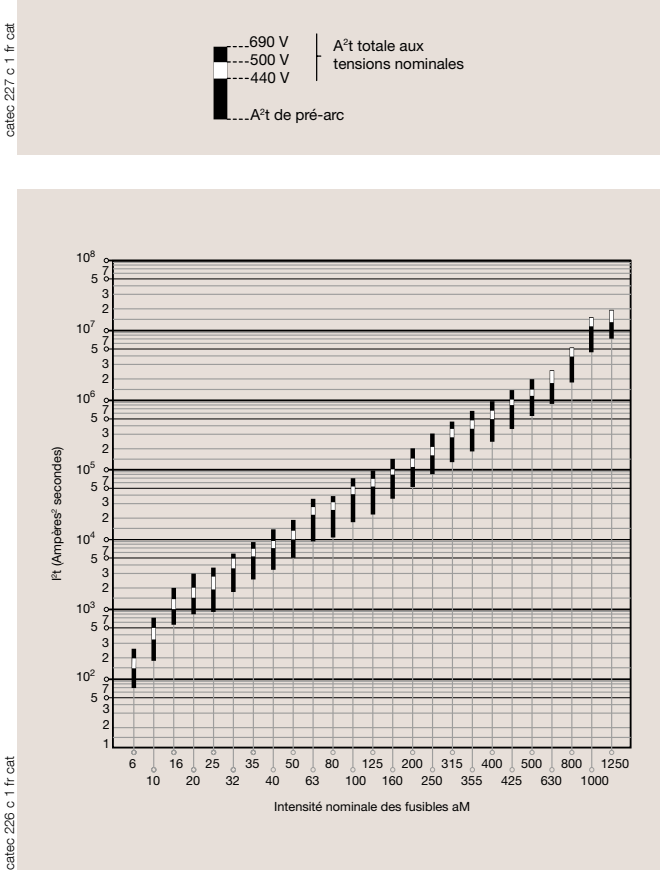
Diagramme de limitation des courants



catec 114 g 1 fr cat

Courbes caractéristiques des fusibles NF et NH de type aM (suite)

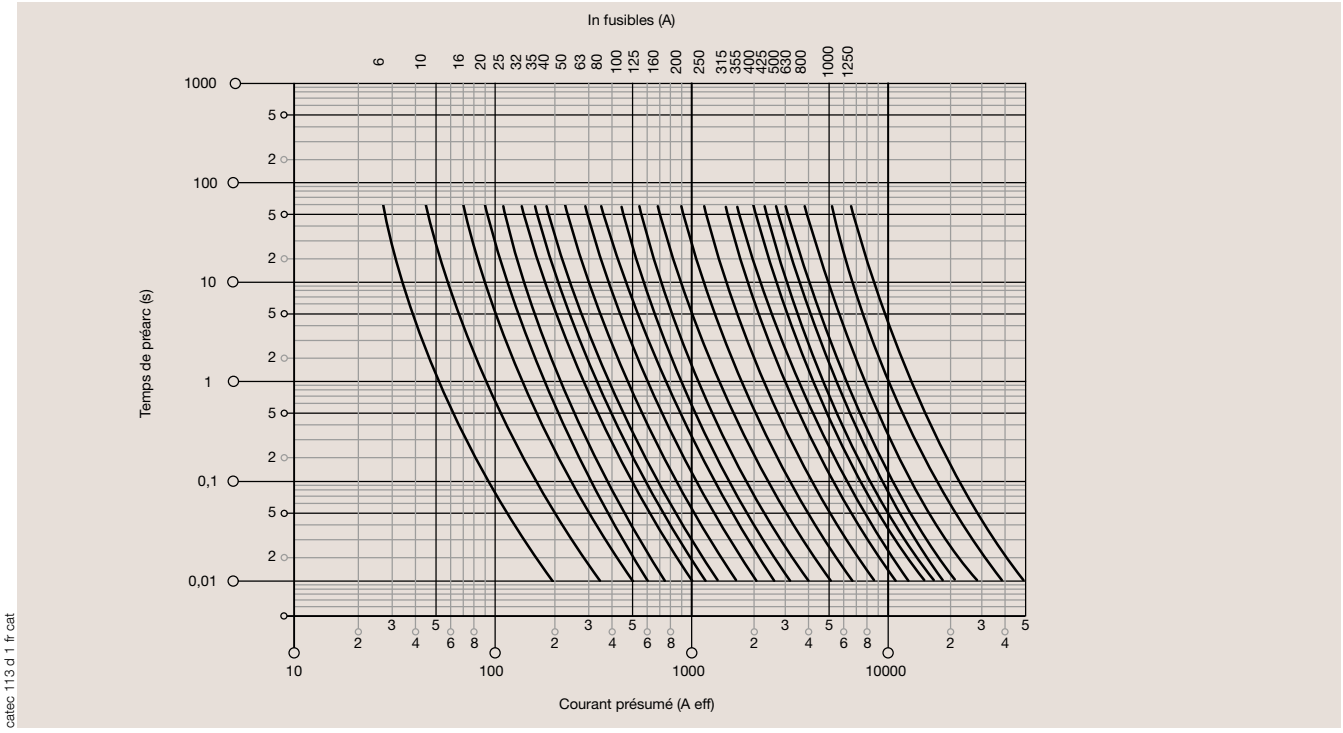
Diagramme de limitation des contraintes thermiques



Puissance dissipée avec percuteur (W)

Courants assignés d'emploi	Taille des fusibles						
In (A)	000	00	0/0S	1	2	3	4
6	0,33		0,42				
10	**0,52**		**0,67**				
16	0,81		0,98				
20	**0,92**		**1,04**				
25	1,08		1,17				
32	**1,42**		**1,67**				
35	1,58		1,72				
40	**1,68**		**1,91**				
50		2,28	2,51				
63		**2,9**	**3,35**	**3,2**			
80		4,19	4,93	4,6			
100		**5,09**	**5,72**	**5,7**			
125		6,29	7,30	6,98	7,6		
160		**7,73**	**9,50**	**9,2**	**9,7**		
200			12,3	13,7	13,9		
224				**14,0**	**14,0**		
250				15,3	17,0		
315					**26,0**	**20,6**	**18,8**
355					25,2	23,9	
400					**29,3**	**26,5**	**23,5**
425						28,3	
500						**35,8**	**34**
630						56,9	49
800							**70**
1000							80
1250							**108**

Caractéristiques de fonctionnement temps/courant



socomec Innovative Power Solutions

Choix d'un fusible UR

Ces fusibles dits ultra rapides assurent la protection contre les courants de court-circuit. Par leur conception, le temps total de fusion est très inférieur à celui des fusibles gG et aM lors des forts courts-circuits.

Leur utilisation est généralement la protection des semi-conducteurs de puissance (i2t UR < i2t du semi-conducteur à protéger).

Leur fonctionnement en surcharge, I ~ 2 In, t ≥ 100 secondes, doit être évité. Si nécessaire, la protection contre les surcharges doit être assurée par un autre dispositif.

La détermination d'un fusible UR fait l'objet d'une démarche rigoureuse qui peut être complexe pour certaines applications. La méthode ci-dessous constitue une première approche.

Veuillez nous consulter pour toute application spécifique.

Contrainte thermique

C'est le premier paramètre à prendre en compte avant le calibre. En effet les fusibles UR sont destinés à la protection des semi-conducteurs. La limite de destruction de ces derniers est donnée par la contrainte thermique maximale admissible. Pour que la protection soit efficace, il faut que la contrainte thermique du fusible soit inférieure de 20 % environ à la contrainte thermique de destruction du semi-conducteur.

Exemple : une diode 30A/400 V supporte au maximum une contrainte thermique de 610 A2s.
La contrainte thermique maximale du fusible UR associé sera de 610 - 20 % = 488 A2s sous 400 V.

Tension

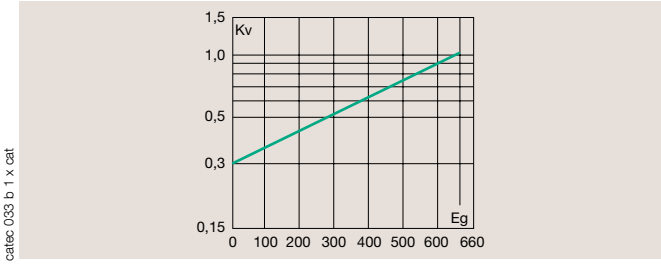
La contrainte thermique est généralement donnée pour 660 V. L'utilisation à une tension différente donne lieu à une correction :

$$(i^2t)\ V = Kv \times (i^2t)\ 660\ V$$

Kv : coeff. de correction de i^2t

Eg : valeur efficace de la tension d'utilisation

Exemple : pour U = 400 V et Kv = 0,6
(i^2t) 400 V = 0,6 x (i^2t) 660 V]



Facteur de correction Kv.

Facteur de puissance

La contrainte thermique indiquée dans le chapitre "Appareillage de coupure B.T." est donnée pour un facteur de puissance de 0,15 (cos φ du circuit en défaut). Pour d'autres valeurs du facteur de puissance, il y a lieu de multiplier la valeur de la contrainte thermique par le coefficient Ky.

Facteur de puissance	0,1	0,15	0,2	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
Ky	1,04	1,00	0,97	0,93	0,90	0,87	0,85	0,82	0,81

Courant nominal

Lorsque la contrainte thermique maximale du fusible est déterminée, il faut prendre en compte la valeur du courant nominal du circuit.

Exemple : dans l'exemple précédent, nous avons déterminé la contrainte thermique maximale du fusible UR : 488 A2s à 400 V.
A 660 V, cette valeur vaut : 488/0,6 = 813 A2s.
Le courant dans le circuit est de 20 A. On retiendra un fusible UR de 25 A et dont i2t à 660 V vaut 560 A2s.

Correction en fonction de la température ambiante

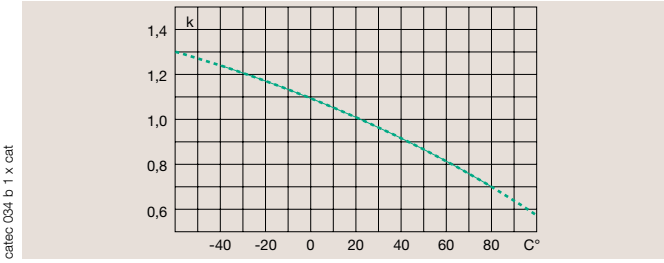
Le calibre d'un fusible UR est donné pour une température ambiante de 20 °C.
Le courant maximum d'utilisation I_b est donné par :

$$I_b = K_{TUR} \times (1 + 0{,}05\ v) \times I_n$$

I_n : intensité nominale du fusible en A

v :vitesse de l'air de refroidissement en m/s

K_{TUR} : coefficient donné par la figure ci-dessous en fonction de la température de l'air à proximité du fusible.



Facteur de correction K_{TUR}

Choix d'un fusible UR (suite)

Association en série

Elle n'est pas recommandée lorsque le courant de défaut est insuffisant pour faire fondre le fusible en moins de 10 ms.

Association en parallèle

La mise en parallèle de fusibles est possible entre deux fusibles de même taille et de même calibre. Elle est généralement assurée par le constructeur (nous consulter).
En cas d'association en parallèle, il faut veiller à ce que la tension d'utilisation ne dépasse pas 90 % de la tension nominale du fusible.

Surcharge cyclique

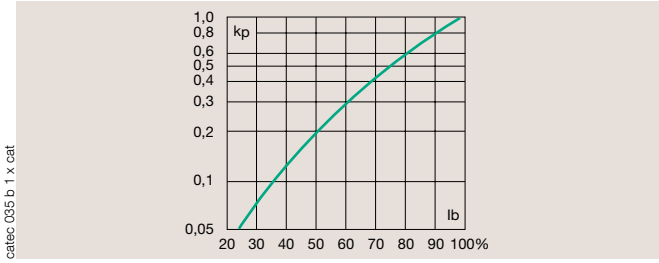
Nous consulter.

Pertes en Watts

- Elles sont données dans la partie "Appareillage de coupure B.T." et correspondent à la puissance dissipée à courant nominal.
- Pour l'utilisation à un courant I_b différent de I_n, il faut multiplier la perte en Watts par le coefficient K_p donné par la figure ci-contre.

K_p : coefficient de correction des pertes

I_b : valeur eff. du courant de charge en % du courant nominal.

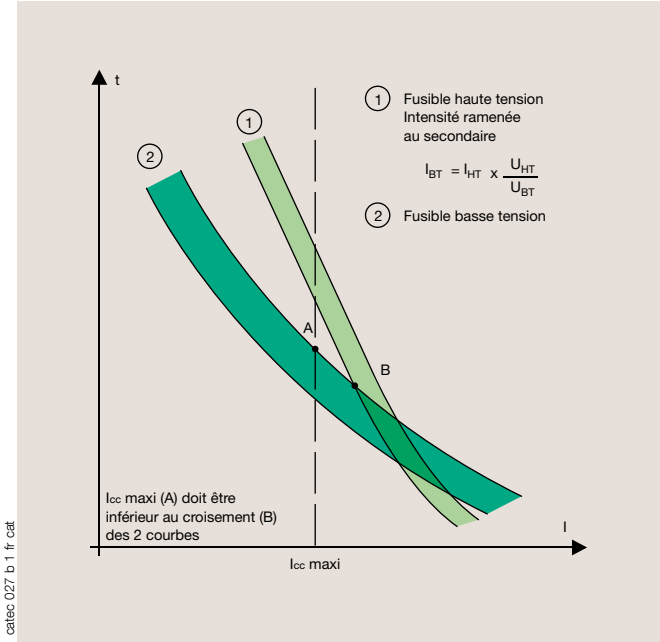


Facteur de correction K_p.

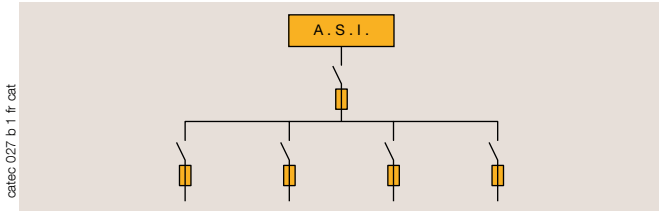
Sélectivité

Sélectivité entre fusibles HT et BT

- Le fonctionnement d'un fusible BT ne doit pas entraîner la fusion du fusible HT placé au primaire du transformateur HT/BT.
- Pour cela, il faut vérifier qu'à aucun moment, le bas de la courbe HT ne rencontre le haut de la courbe BT avant la limite de I_{cc} maxi basse tension *(voir calcul page 23).*



Sur réseau alimenté par ASI (Alimentation Sans Interruption)



La sélectivité des dispositifs de protection a une grande importance sur les réseaux alimentés par ASI où le déclenchement d'une protection ne doit générer aucune perturbation sur le reste du réseau.
La fonction de sélectivité doit tenir compte de deux particularités de ces réseaux :

- courant de défaut faible (de l'ordre de 2 x I_n)
- temps de défaut maximum généralement imposé : 10 ms.

Pour respecter ces critères et assurer une bonne sélectivité, il faut que le courant dans chaque branche, ne dépasse pas les valeurs du tableau ci-dessous.

Protection par	Courant maxi par départ
Fusible gG	$\frac{I_n}{6}$
Fusible UR	$\frac{I_n}{3}$
Petits disjoncteurs	$\frac{I_n}{8}$

socomec Innovative Power Solutions

Sélectivité (suite)

Sélectivité entre fusible et discontacteur

Le fusible est placé en amont du discontacteur. Un discontacteur est un ensemble constitué d'un contacteur et d'un relais thermique.

Les courbes des fusibles associés au discontacteur doivent passer entre les points A et B correspondant à :

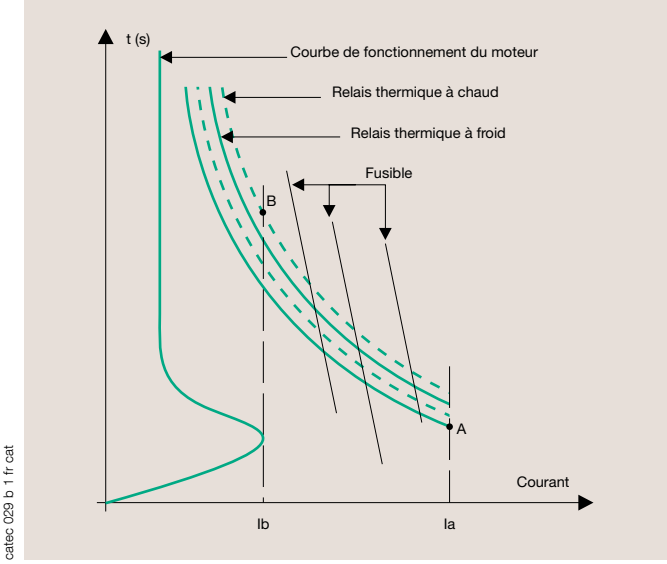
- I_a : limite du pouvoir de coupure du discontacteur,
- I_b : courant maxi de démarrage moteur.

Type de démarrage	I_b (1)	Temps de démarrage(1)
Direct	8 I_n	0,5 à 3 s.
Étoile triangle	2,5 I_n	3 à 6 s.
Autotransformateur	1,5 à 4 I_n	7 à 12 s.
Rotorique	2,5 I_n	2,5 à 5 s.

(1) Valeurs moyennes pouvant fortement varier selon les types de moteurs et de récepteurs.

La contrainte thermique du fusible doit être inférieure à celle supportée par le discontacteur.

Parmi les différents calibres de fusibles possibles, choisir le calibre le plus élevé pour minimiser les pertes par dissipation thermique.

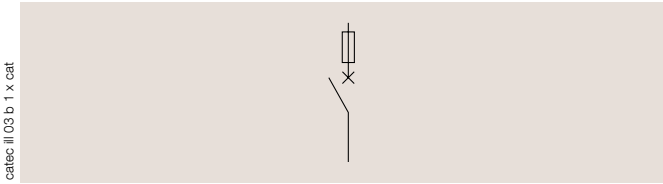


catec 029 b 1 fr cat

Sélectivité entre disjoncteur et fusible

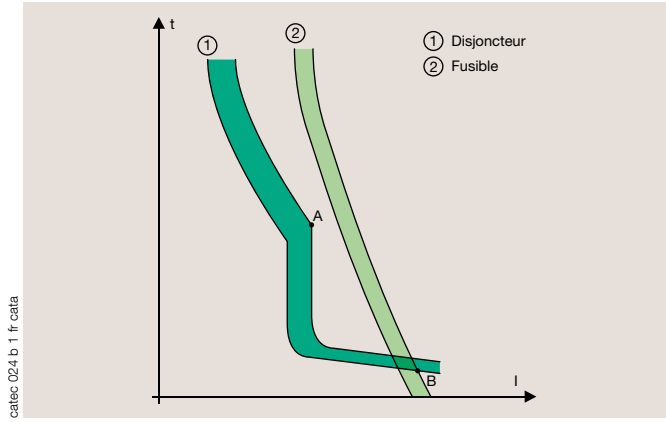
L'association judicieuse d'une protection fusible avec d'autres dispositifs (disjoncteurs…) permet une parfaite sélectivité et constitue une solution optimale sur les plans de l'économie et de la sécurité.

Fusible amont - disjoncteur aval



catec ill 03 b 1 x cat

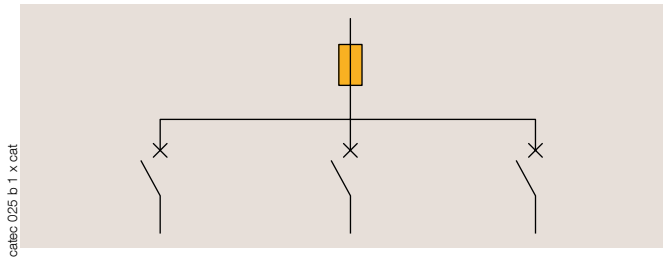
- La courbe de fusion de préarc du fusible doit se situer au-dessus du point A (fig. 1).
- La courbe de fusion totale du fusible doit couper la courbe du disjoncteur avant la valeur I_{cc} (pouvoir de coupure ultime) du disjoncteur.
- Après le point de croisement, la contrainte thermique du fusible doit être inférieure à celle du disjoncteur.
- Les contraintes thermiques du disjoncteur et du fusible doivent toujours être inférieures à celles du câble.



catec 024 b 1 fr cata

Fig. 1

Fusibles gG en amont - plusieurs disjoncteurs en aval



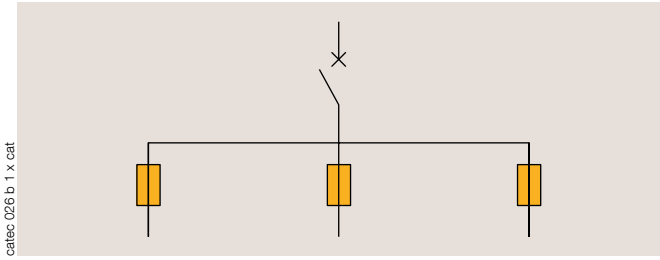
catec 025 b 1 x cat

- Le calibre du fusible doit être supérieur à la somme des courants des disjoncteurs simultanément en charge.
- La courbe de fusion fusible doit être au-dessus du point A (voir fig. 1) du disjoncteur ayant le calibre le plus élevé.
- Le point de croisement B (voir fig. 1) doit être inférieur au pouvoir de coupure ultime le plus faible de tous les disjoncteurs.
- Après le point B, la contrainte thermique totale du fusible doit être inférieure à la contrainte thermique de n'importe lequel des disjoncteurs avals.

Sélectivité (suite)

Sélectivité entre disjoncteur et fusible (suite)

Disjoncteur en amont - plusieurs fusibles en aval



- Les pouvoirs de coupure de tous les fusibles et du disjoncteur doivent être supérieurs au courant de court-circuit maximal pouvant apparaître dans le circuit.
- Le réglage de la partie thermique I_r du disjoncteur doit être tel que : $1{,}05\ I_r \geq I_1 + I_2 + \ldots I_n$.
  $I_1 + I_2 + \ldots I_n$: somme des courants dans chaque branche protégée par fusible.

Le courant de réglage Ir doit en outre répondre à la condition suivante:

$$I_r \geq Kd \times I_n$$

I_n : calibre du fusible du circuit le plus chargé.

Tableau A : valeurs de Kd (suivant CEI 60269-2-1)

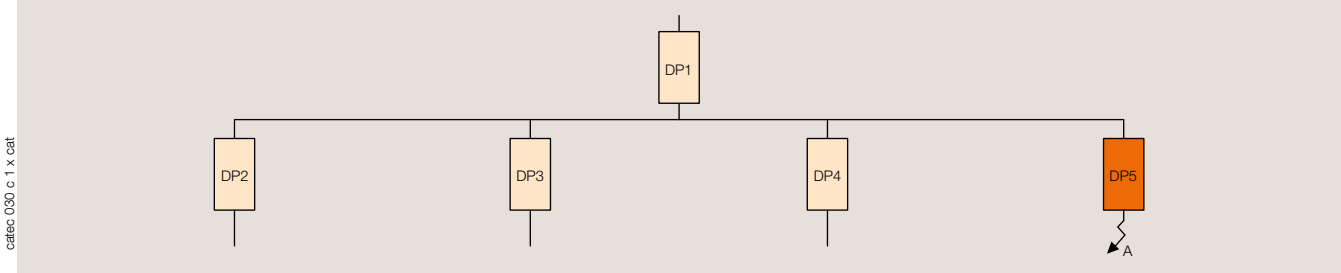
Calibre fusibles gG (In) (A)	Kd
In ≤ 4	2,1
4 < In < 16	1,9
16 ≤ In	1,6

Exemple : le circuit le plus chargé est protégé par un fusible gG de 100 A. Le courant de réglage minimum du disjoncteur amont permettant d'assurer la sélectivité avec le fusible sera : $I_r \geq 1{,}6 \times 100$ A = 160 A.

- La contrainte thermique du fusible de calibre le plus élevé doit être inférieure à la contrainte thermique limitée par le disjoncteur. Celle-ci doit elle-même être inférieure à la contrainte thermique maximale des câbles.
- Valeur minimale de réglage de Im (magnétique) : 8 Kd ≤ Im ≤ 12 Kd.
  Kd est donné par le tableau A.

Généralités

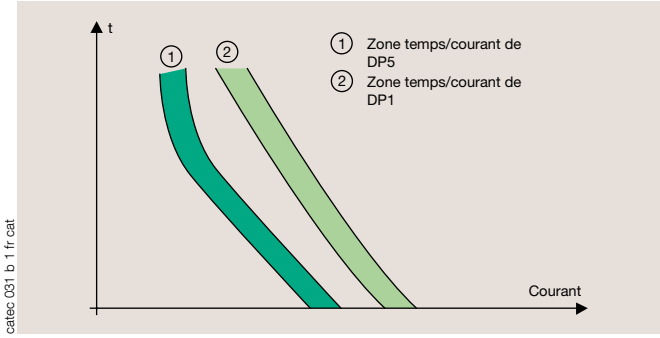
La sélectivité des protections est assurée lorsque, en cas de défaut en un point de l'installation, il y a ouverture du dispositif de protection (DP) situé directement en amont du défaut, sans provoquer l'ouverture d'autres dispositifs dans l'ensemble de l'installation. La sélectivité permet d'avoir une continuité d'exploitation sur le reste du réseau.



Un défaut au point A doit entraîner l'ouverture du dispositif de protection DP5 sans qu'il y ait ouverture des autres DP.

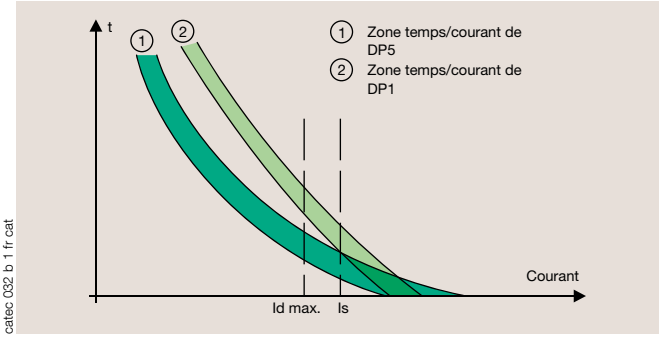
La sélectivité totale

Elle est assurée lorsque les zones temps/courant caractérisant les organes de protection ne se recouvrent pas.



La sélectivité partielle

Elle consiste à limiter la sélectivité des DP dans une partie seulement de leur zone temps-courant. Dans la mesure où le courant de défaut est inférieur au point de croisement des courbes, on se retrouve dans un cas de sélectivité totale.



La sélectivité est assurée dans le cas où le courant de défaut maximum (I_{cc} max) de l'installation est limité à I_d max et I_d max < I_s.

Sélectivité (suite)

Sélectivité entre fusible

Sélectivité fusibles gG et aM

La sélectivité totale est assurée par le choix des fusibles dans les tableaux A et B (suivant CEI 60269-1 et 60269-2-1).
Cependant, dans certains cas d'utilisation, on pourra se limiter à une sélectivité partielle.

Tableau A

Fusibe amont	Fusible aval	
gG	**gG**	**aM**
Calibre (A)		
4	1	1
6	**2**	**1**
8	2	2
10	**4**	**2**
12	4	2
16	**6**	**4**
20		6
25	**10**	**8**
32	16	10
40	**20**	**12**
50	25	16
63	**32**	**20**
80	40	25
100	**50**	**32**
125	63	40
160	**80**	**63**
200	100	80
250	**125**	**125**
315	160	125
400	**200**	**160**
500	315	200
630	**400**	**250**
800	500	315
1000	**630**	**400**
1250	800	500

Tableau B

Fusibe amont	Fusible aval	
aM	**gG**	**aM**
Calibre (A)		
4	4	2
6	**6**	**2**
8	8	4
10	**10**	**6**
12	4	2
16	**16**	**10**
20	20	12
25	**25**	**12**
32	32	20
40	**32**	**25**
50	40	25
63	**50**	**40**
80	63	50
100	**80**	**63**
125	100	80
160	**125**	**100**
200	160	125
250	**160**	**160**
315	200	200
400	**250**	**250**
500	315	315
630	**400**	**400**
800	500	500
1000	**500**	**630**
1250	630	800

Sélectivité fusibles gG / fusibles UR

- gG amont - UR aval
  Le temps de préarc du fusible UR doit être inférieur à la moitié du temps de préarc du fusible gG dans la zone comprise entre 0,1 et 1 s.
- UR amont - gG aval
  Le calibre du fusible UR doit être au moins égal à trois fois le calibre du fusible gG.

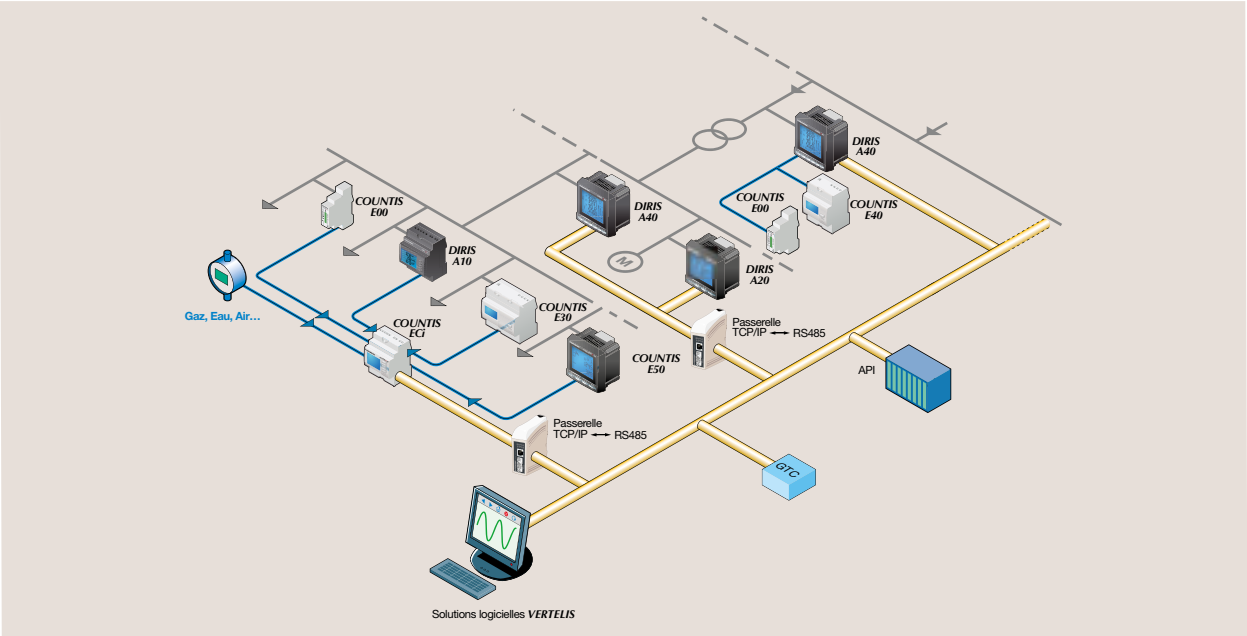
Contrôle et gestion de l'énergie

Introduction

Contrairement à la dernière décennie, nous entrons dans une période où gérer l'énergie est une obligation tant sur le plan environnemental que sur le plan économique. En effet, les coûts d'énergie ont augmenté de façon considérable et ont un impact direct sur le prix de revient des produits et des frais de fonctionnement. Cette nouvelle démarche impose une connaissance approfondie des process, de l'organisation du travail dans l'entreprise et la maîtrise des coûts d'énergie calculés à partir d'une tarification. Celle-ci permettra le calcul du coût de l'énergie en fonction de la période d'utilisation, sachant que l'utilisateur devra s'acquitter d'un abonnement dont le coût sera fonction de la puissance de son installation. Afin de déterminer au mieux sa tarification, l'exploitant devra estimer précisément ses besoins pour mettre en place la tarification la plus adaptée. Dans certains cas, il sera préférable d'avoir quelques dépassements de puissance plutôt que d'avoir un abonnement surdimensionné.

Tarification

Pour apporter à l'exploitant un maximum d'informations nécessaires à l'optimisation de sa tarification et à la maîtrise des consommations, il devra mettre en place aux endroits stratégiques de l'installation électrique (transformateur, moteurs…) des compteurs (type COUNTIS) ou des centrales de mesure (type DIRIS). Ces équipements seront raccordés sur un réseau de communication (voir § communication) pour centraliser et gérer les consommations via un logiciel de supervision.

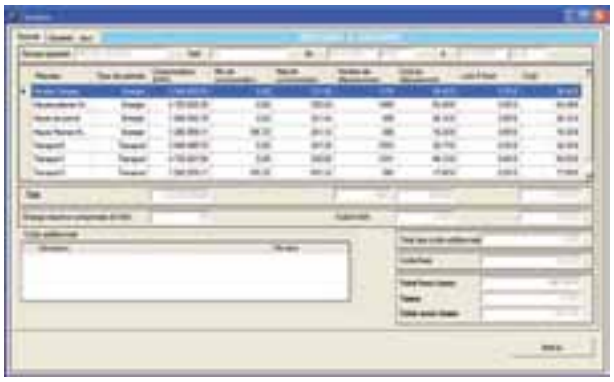


mesur_112_e_1_fr_cat

Une fois ces équipements en place, l'exploitant pourra mettre en place les actions pour :

- délester les circuits de chauffage ou d'éclairage pour éviter les dépassements pendant les heures pleines,
- anticiper le démarrage de certaines machines pendant les heures creuses avant l'arrivée du personnel,
- optimiser et améliorer l'utilisation des automatismes, des sources d'énergie ou encore du fonctionnement des moyens de production.

Dans tous les cas, ces équipements s'adapteront parfaitement à des applications commerciales (éclairage, air conditionné…) ou des applications industrielles. De leur qualité dépendra leur précision de mesure des courants et des tensions et du calcul des énergies.



diris 724 a 1 x cat

socomec Innovative Power Solutions

Mesure des grandeurs électriques

Principe de mesure

Quel que soit le réseau électrique alternatif AC (monophasé, biphasé, triphasé avec ou sans neutre), il est indispensable de mesurer les courants et les tensions. Les courants seront mesurés à partir de transformateurs de courants en veillant au bon raccordement pour éviter toutes erreurs de mesure. Les tensions seront mesurées en direct ou via des transformateurs de tensions pour les réseaux MT et BT notamment.

Vous trouverez ci-dessous les formules utilisées pour aboutir aux résultats concernant :

Courants

$$I1 = i1_{TRMS} \times kTC$$

(kTC étant le rapport du transformateur de courant)

i1, i2, i3 sont calculés directement en TRMS en intégrant les harmoniques jusqu'au rang 51.

Et

$$Isyst = \frac{i1 + i2 + i3}{3}$$

Tensions

$$V1 = v1_{TRMS} \times kTP$$

(kTP étant le rapport du transformateur de tension)

v1, v2, v3 sont calculés directement en TRMS en intégrant les harmoniques jusqu'au rang 51.

Et

$$Vsyst = \frac{v1 + i2 + i3}{3}$$

Puissance active

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T [v1 \times i1]\, dt$$

P1, P2 et P3 sont calculés directement à partir des valeurs TRMS I et V.

Et

$$\sum P = P1 + P2 + P3$$

Puissance apparente

$$S1 = V1 \times I1$$

S1, P2 et P3 sont calculés directement à partir des valeurs TRMS I et V.

Et

$$\sum S = S1 + S2 + S3$$

Puissance réactive

$$\sqrt{Q1 = S1^2 - P1^2}$$

Q1, Q2 et Q3 sont calculés directement à partir de P et S.

Et

$$\sum Q = Q1 + Q2 + Q3$$

Facteur de Puissance

$$PF = \frac{P}{S}$$

PF1, PF2 et PF3 sont calculés directement à partir de T et S.

Fréquence

La mesure de la fréquence est toujours réalisée sur la phase 1.

Comptage d'énergie

Tout système électrique utilisant le courant alternatif met en jeu deux formes d'énergie : l'énergie active (kWh) et l'énergie réactive (kvarh). Dans les processus industriels utilisant l'énergie électrique, seule l'énergie active est transformée au sein de l'outil de production en énergie mécanique, thermique ou lumineuse. Elle peut être positive ou négative si l'installation est capable de produire des kWh (une installation photovoltaïque par exemple).

L'autre, l'énergie réactive, sert notamment à l'alimentation des circuits magnétiques des machines électriques (moteurs, autotransformateurs, etc.). Par ailleurs, certains constituants des réseaux électriques de transport et de distribution (transformateurs, lignes, etc.) consomment également dans certains cas de l'énergie réactive. Pour suivre ces énergies, il est indispensable de prendre en considération la précision qui est intégrée dans un contexte normatif. Le référentiel est le suivant :

Compteur d'énergie active (kWh) :
- IEC 62053-21 en classe 1 ou 2,
- IEC 62053-22 en classe 0,2S ou 0,5S.

Compteur d'énergie réactive (kvarh): IEC 62053-23 en classe 2.

Surveillance

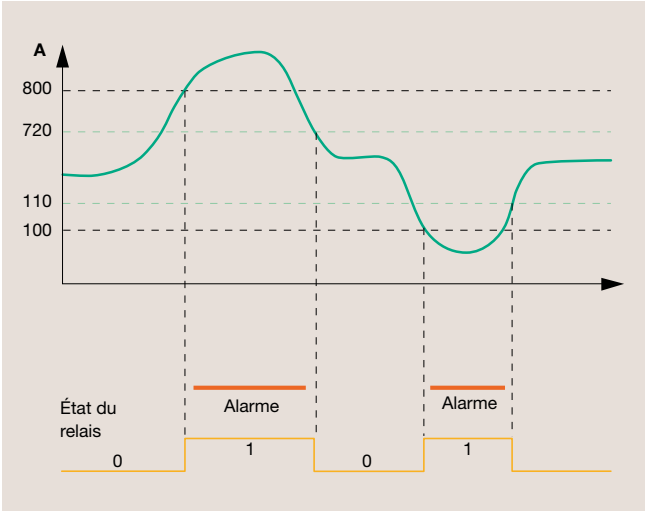
Cette fonction permet de surveiller les principales grandeurs électriques pour :

- protéger les machines,
- détecter les coupures de tension,
- détecter les surcharges anormales de transformateurs, de départs,
- détecter les sous-charges de moteur (rupture de courroie, fonctionnement à vide…).

Pour chaque alarme, on doit programmer :

- le seuil haut > valeur haute de déclenchement,
- le seuil bas > valeur basse de déclenchement,
- l'hystérésis > valeur de retour à l'état normal,
- le relais > mode de travail en NO / NF,
- la temporisation > temporisation à l'enclenchement du relais.

Exemple d'application :
Configuration d'un relais en surveillance des courants avec un déclenchement si I < 100 A et I > 800 A. Avec une hystérésis de 10 % pour le retour à l'état au repos du relais, un mode de travail du relais en NO et sans temporisation.



catec 230 a 1 fr cat

Contrôle commande

À partir d'une liaison numérique raccordée à un PC ou un autre système de supervision (automate…), cette fonction permet :

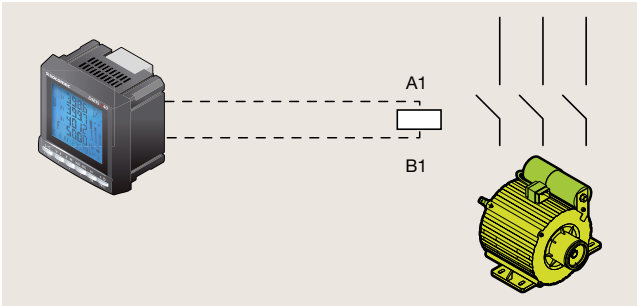
À partir des entrées tout ou rien :

- de comptabiliser les impulsions issues d'un compteur d'électricité, d'eau ou de gaz,
- de comptabiliser le nombre de manœuvres ou de contrôler la position d'un appareil de protection ou d'un inverseur de source.

À partir des sorties relais :

- de commander à distance le changement d'état d'un appareil de protection à déclenchement,
- de commander à distance le démarrage d'un moteur ou d'une rampe d'éclairage,
- de délester des parties de la distribution électrique.

Exemple :
Changement de l'état d'un relais pour commander le démarrage d'un moteur.



catec 231 c 1 x cat

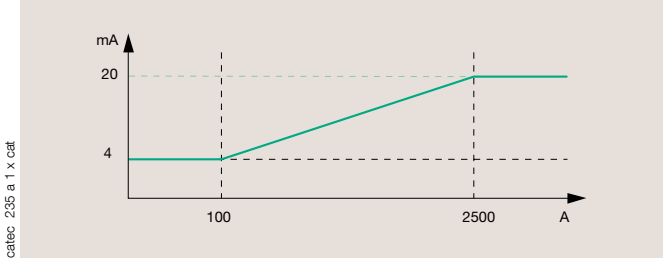
Qualité de l'énergie *(voir page 7)*

Communication analogique

Cette fonction permet de mettre à disposition, d'un automate ou de tout autre système, l'image d'une mesure sous la forme d'un signal 0-20 mA ou 4-20 mA.

Exemple 1

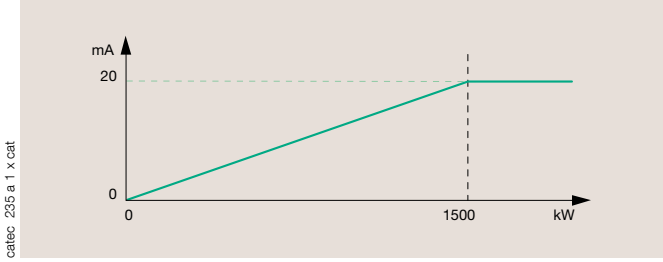
Configuration d'une sortie sur le courant avec 100 A à 4 mA et 2 500 A à 20 mA.



catec 235 a 1 x cat

Exemple 2

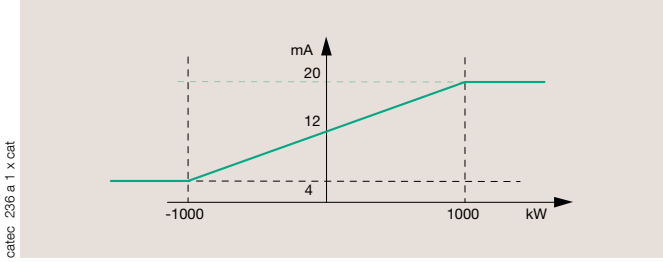
Configuration d'une sortie sur la puissance active totale SP avec 0 kW à 0 mA et 1 500 kW à 20 mA.



catec 235 a 1 x cat

Exemple 3

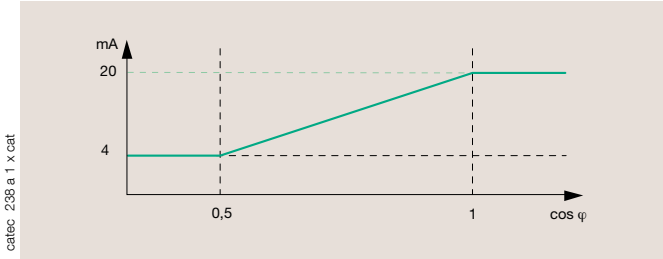
Configuration d'une sortie sur la puissance active totale SP avec -1 000 kW à 4 mA et 1 000 kW à 20 mA.



catec 236 a 1 x cat

Exemple 4

Configuration d'une sortie sur le facteur de puissance inductif SPFL avec 0,5 à 4 mA et 1 à 20 mA.



catec 238 a 1 x cat

Communication numérique

Introduction

Un réseau de communication permet de relier entre eux un certain nombre d'appareils afin d'échanger des informations de mesure, de comptage, de commande ou encore de les programmer avec un ordinateur ou un automate.
La communication entre plusieurs appareils nécessite une organisation et un langage commun : le protocole.

Les couches OSI

Chaque type de liaison a son propre protocole établi par des normes. Par contre, tous les protocoles respectent un découpage en sept niveaux appelés couches OSI. Chaque couche a pour rôle de recevoir des informations élémentaires de la couche inférieure, de les traiter et de fournir des informations plus élaborées à la couche supérieure.

Nos produits utilisent les couches 1, 2 et 7

Poste 1		Poste 2
7 Couche Application	↔	Couche Application 7
6 Couche Présentation	↔	Couche Présentation 6
5 Couche Session	↔	Couche Session 5
4 Couche Transport	↔	Couche Transport 4
3 Couche Réseau	↔	Couche Réseau 3
2 Couche Liaison de données	↔	Couche Liaison de données 2
1 Couche Physique	↔	Couche Physique 1

Couche 1 - Physique

C'est la couche spécifique à la « tuyauterie » du réseau. Elle permet de transformer un signal binaire en un signal compatible avec le support choisi (cuivre, fibre optique, HF, etc.). Cette couche fournit des outils de transmission de bits à la couche supérieure, qui les utilisera sans se préoccuper de la nature du médium utilisé.

Couche 2 - Liaison de données

Cette couche assure le contrôle de la transmission des données. Une trame doit être envoyée ou reçue en s'affranchissant d'éventuels parasites sur la ligne. Le contrôle est effectué au niveau du paquet de bits (trame), au moyen d'un « checksum ».Cette couche fournit des outils de transmission de paquets de bits (trames) à la couche supérieure. Les transmissions sont « garanties » par des mécanismes de contrôle de validité.

Couche 7 - Application

Le rôle de la couche application est de fournir une interface entre l'utilisateur et le réseau.

Les données transmises

Le signal transmis d'un appareil à l'autre est un élément binaire appelé bit. Chaque type de liaison numérique définit un niveau analogique (niveau de tension) pour le 0 logique et le 1 logique. L'information est codée sur un ensemble de bits, le tout formant une trame de communication.

Le support de communication

Cette trame de communication va transiter d'un point à l'autre du bus sur un support appelé média ou médium de communication. Suivant le type de technologie choisie, ce média peut être une paire de fils de cuivre, une liaison Ethernet, du câble coaxial, de la fibre optique, une liaison téléphonique RTC ou GSM, voire même des ondes radio. Ce support dépend du type de transmission retenu et de l'environnement.

Les protocoles

Le protocole de communication définit les règles du langage entre les différents acteurs du dialogue afin que chacun utilise les mêmes règles et se comprenne. Dans certains cas, il sécurise également le dialogue en définissant des moyens de contrôle des trames tels que le CRC.
CAN, PROFIBUS DP, Interbus-S, FIP, EIB, eBUS, MODBUS / JBUS, Open MODBUS ou TCP-IP sont de nombreux protocoles ayant chacun leurs avantages et leurs inconvénients en fonction de l'environnement et des conditions dans lesquels ils doivent être utilisés.
Les produits de la gamme SOCOMEC communiquant utilisent principalement les protocoles JBUS / MODBUS et PROFIBUS DP. Cependant, nous verrons plus loin que nous pouvons également répondre à d'autres protocoles tels que TCP-IP par exemple.

socomec Innovative Power Solutions

Le protocole JBUS/MODBUS

Présentation

Les protocoles JBUS (constructeur April) et MODBUS (constructeur Modicon) sont des protocoles de dialogue créant une structure hiérarchisée (un maître et plusieurs esclaves).

JBUS/MODBUS peut converser en ASCII 7 bits ou en binaire RTU 8bits.

L'avantage du mode RTU est que les données à transmettre prennent moins de place donc moins de temps. En effet, on adresse plus de données en 8 qu'en 7 bits.

Les produits SOCOMEC en protocole JBUS/MODBUS dialoguent en mode RTU (Remote Terminal Unit). Ce type de protocole permet d'interroger, depuis le maître, un ou plusieurs esclaves intelligents. Une liaison multipoints relie entre eux maître et esclaves.

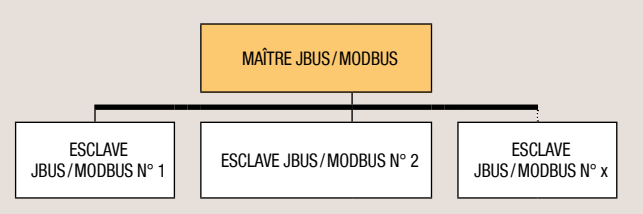
MODBUS/RTU est un protocole sécurisé basé sur le calcul d'un CRC (Cyclical Redundancy Check) ou test de redondance cyclique. Ce CRC calculé sur 16 bits fait partie intégrante du message et il est vérifié par le destinataire.

Deux types de dialogues sont possibles entre maître et esclaves :

- le maître parle à un esclave et attend sa réponse,
- le maître parle à l'ensemble des esclaves sans attente de réponse (principe de la diffusion générale).

Le maître gère les échanges et lui seul en a l'initiative. Ce maître réitère la question lors d'un échange erroné et décrète l'esclave absent après une non-réponse dans un temps enveloppe donné (time-out). Il ne peut y avoir sur la ligne qu'un seul équipement en train d'émettre. Aucun esclave ne peut de lui-même envoyer un message sans y avoir été invité par le maître. Toutes communications latérales (esclave à esclave) ne peuvent exister que si le logiciel du maître a été conçu pour recevoir des données et les renvoyer d'un esclave à l'autre.

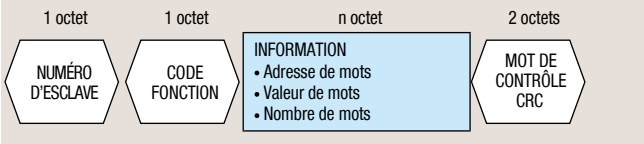
Le maître peut adresser 247 esclaves repérés de l'esclave n° 1 à l'esclave n° 247. Si le maître utilise le numéro d'esclave 0, cela correspond à une diffusion vers tous les esclaves (écriture seulement). Les protocoles JBUS et MODBUS permettent d'accéder aux équipements raccordés sur le même câble.



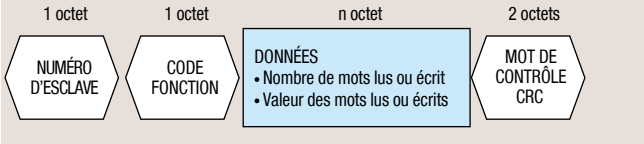
Compositions des trames de communication

Une trame de communication est composée d'une succession d'octets formant un message, chaque octet étant composé de 8 bits. Les données peuvent être stockées sur 1 octet, 1 mot (2 octets), voire même un double mot (4 octets).

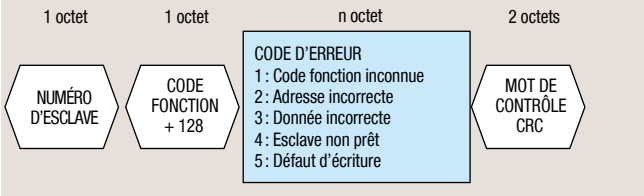
Pour initier le dialogue, le maître doit envoyer **une trame de demande** dont la structure est la suivante :



L'esclave interrogé répond alors à la requête par le biais d'**une trame de réponse** dont la structure est la suivante :



En cas d'erreur dans la trame émise par le maître, l'esclave répond par **une trame d'erreur** dont la structure est la suivante :



Le protocole JBUS/MODBUS (suite)

Exemples de trames de communication

Tous les produits SOCOMEC sont fournis avec une notice contenant leurs tables JBUS/MODBUS. Ces tables permettent de connaître l'adresse où sont stockées les données ainsi que leur format (taille des données et type signé ou non).

Liste des paramètres à visualiser (fonction 3)

Tableau des valeurs affectées des rapports de transformation courant et tension sur 2 mots

Adresse déc.	Adresse hex.	Nombre de mots	Libellé	Unité
50514	C552	2	Tension composée U12	V/100
50516	C554	2	Tension composée U23	V/100
50518	C556	2	Tension composée U31	V/100
50520	C558	2	Tension simple phase 1	V/100
50522	C55A	2	Tension simple phase 2	V/100
50524	C55C	2	Tension simple phase 3	V/100
50526	C55E	2	Fréquence	Hz/100
50528	C560	2	Courant phase 1	mA
50530	C562	2	Courant phase 2	mA
50532	C564	2	Courant phase 3	mA
50534	C566	2	Courant du neutre	mA
50536	C568	2	S puissance active +/-	kW/100
50538	C56A	2	S puissance réactive +/-	kvar/100
50540	C56C	2	S puissance apparente +/-	kVA/100
50542	C56E	2	S facteur de puissance	0,001
			-: capacitif et +: inductif	

Tableau des valeurs non affectées des rapports de transformation courant et tension sur 1 mot*

Adresse déc.	Adresse hex.	Nombre de mots	Libellé	Unité
51281	C851	1	Tension composée U12	V/100
51282	C852	1	Tension composée U23	V/100
51283	C853	1	Tension composée U31	V/100
51284	C854	1	Tension simple phase 1	V/100
51285	C855	1	Tension simple phase 2	V/100
51286	C856	1	Tension simple phase 3	V/100
51287	C857	1	Fréquence	Hz/100
51288	C858	1	Courant phase 1	mA
51289	C859	1	Courant phase 2	mA
51290	C85A	1	Courant phase 3	mA
51291	C85B	1	Courant du neutre	mA
51292	C85C	1	S puissance active +/-	kW/100
51293	C85D	1	S puissance réactive +/-	kvar/100
51294	C85E	1	S puissance apparente +/-	kVA/100
51295	C85F	1	S facteur de puissance	0,001
			-: capacitif et +: inductif	

** Certains appareils tels que le DIRIS ou l'ATyS possèdent une table où l'information est stockée sur 1 seul mot afin de pouvoir être compatible avec un maître JBUS/MODBUS n'acceptant que ce format.*

L'exemple ci-dessous montre la trame que le maître JBUS/MODBUS envoie pour lire une table d'une longueur de 158 mots (0X9E en hexadécimal).

Esclave	Fonction	Adresse poids fort	Adresse poids faible	Nombre de mots poids fort	Nombre de mots poids faible	CRC 16
05	03	03	00	00	9E	C5A2

Si toutefois on ne désire récupérer que la puissance active, il suffit d'envoyer la trame suivante en hexadécimal :

Esclave	Fonction	Adresse poids fort	Adresse poids faible	Nombre de mots poids fort	Nombre de mots poids faible	CRC 16
02	03	03	16	00	02	25B8

Dans le tableau précédent, on constate que les signes + et - figurent pour cette donnée. Le bit de poids fort permet de connaître le signe de la donnée réceptionnée :
- le bit est à 1 : la valeur est négative,
- le bit est à 0 : la valeur est positive.

Réponse d'un DIRIS pour une puissance positive :

Esclave	Fonction	Nombre d'octets	Valeur poids fort mot 1	Valeur poids faible mot 1	Valeur poids fort mot 2	Valeur poids faible mot 2	CRC 16
02	03	04	00	00	8C	AC	AD8E

8CACh donne 36 012 kW/100 soit 360,12 kW

Réponse d'un DIRIS pour une puissance négative :

Esclave	Fonction	Nombre d'octets	Valeur poids fort mot 1	Valeur poids faible mot 1	Valeur poids fort mot 2	Valeur poids faible mot 2	CRC 16
02	03	04	FF	FF	7B	D3	AA7A

FFFF7BD3h donne -33 837 kW/100 soit -338,37 kW

Pour obtenir ce résultat, il faut faire le complément 1 (prendre l'inverse de la valeur obtenue en binaire) et ajouter 1 au résultat, soit :
- complément à 1 : FFFF7BD3 hexa donne 842C hexa,
- ajout de 1 : 842C hexa + 1 = 33 837 décimale, la valeur étant négative cela donne -33 837 kW/100, soit -338,37 kW.

socomec Innovative Power Solutions

Le protocole JBUS / MODBUS (suite)

Le bus RS485 pour le protocole JBUS / MODBUS

Une transmission est composée d'une émission et d'une réception. Les deux sens de transmission peuvent être :

- séparés sur deux voies distinctes (liaison simplex en 4 fils),
- réunis sur une même voie, l'émission et la réception se faisant alternativement dans les deux sens (half duplex en 2 fils),
- réunis sur une même voie, l'émission et la réception se faisant simultanément (full duplex en 2 fils).

Dans tous les cas, le niveau de tension est appliqué en mode différentiel, c'est-à-dire non référencé par rapport à la masse. C'est la différence de potentiel entre les 2 fils de la voie qui crée le signal.
Le bus RS485 est un bus de terrain. Il a été conçu pour fonctionner dans des environnements industriels difficiles en termes de perturbations électromagnétiques ou autres.

Bien que robuste, ce bus doit respecter les règles de mise en œuvre qui le définissent, afin de fonctionner correctement :

- longueur maximale : 1 200 m pour une vitesse pouvant atteindre 100 kbit / seconde. La longueur peut être augmentée grâce à l'ajout d'un répéteur de ligne RS485 (voir Fig.1),
- nombre maximal d'esclaves JBUS / MODBUS raccordés : 31. Le nombre peut être augmenté grâce à l'ajout d'un répéteur de ligne RS485,
- pas de câblage en étoile,
- mettre les impédances 120 W sur le premier et le dernier des appareils,
- positionner les niveaux de sécurité (résistances de pull-up et de pull-down) qui vont fixer chaque fil du bus à un niveau de tension, notamment lorsque le bus est au repos au niveau de l'interface de communication,
- utiliser un câble ayant des caractéristiques (impédance + capacité) adaptées au type de communication (blindé). Le blindage de ce câble doit être continu tout au long du bus et ne doit être relié à la terre qu'à un seul endroit du bus, afin de ne pas créer d'antenne.

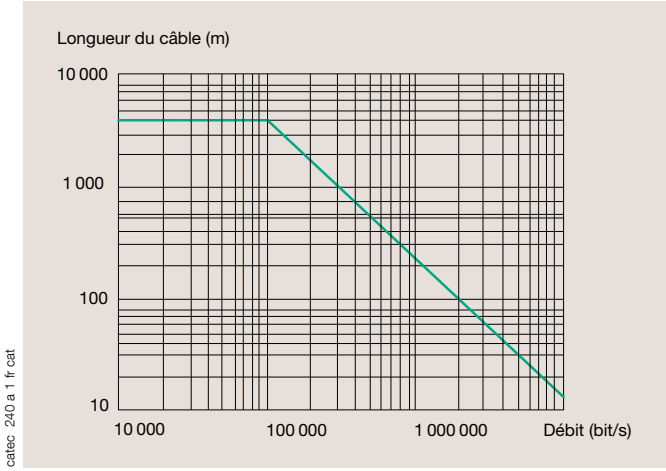


Fig. 1.

Le respect de l'ensemble de ces règles doit permettre l'utilisation du bus RS485 dans des environnements difficiles.

Exemples de câbles préconisés

HELUKABEL : JE-LiYCY Bd SI Industry-Elktronic Cable according to DIN VDE 0815.
BELDEN : 9841 Paired - Low Capacitance Computer Cable for EIA RS-485 Applications.
ALPHA : 6412 Multipair, Foil / Braid shield PE / PVC, low capacitance cable.

Paramétrages

Pour que le maître et les esclaves puissent communiquer, un certain nombre de réglages des caractéristiques des trames de communication doit être effectué. Les paramètres à ajuster sont les suivants :

- le nombre de bits composant chaque octet de la trame (7 ou 8 bits),
- le nombre de bits de stop (1 ou 2),
- la parité (paire, impaire ou sans),
- la vitesse de communication, exprimée en bauds, peut aller de 1 200 bauds à 10 Mbauds. Au-delà de 100 kbds, la longueur maximale du bus est fonction de la vitesse de communication.

Les médias de communication pour le protocole JBUS / MODBUS

D'une façon générale, le maître JBUS / MODBUS est soit un automate associé à un coupleur, soit un ordinateur associé à une interface de communication. SOCOMEC propose toute une gamme de passerelles de communication afin de s'interfacer avec un bus RS485. Le choix de la passerelle utilisée dépend essentiellement de l'environnement dans lequel on désire l'utiliser, mais également de certaines contraintes matérielles et de configuration du réseau.

Ainsi, on peut trouver divers types de passerelles :

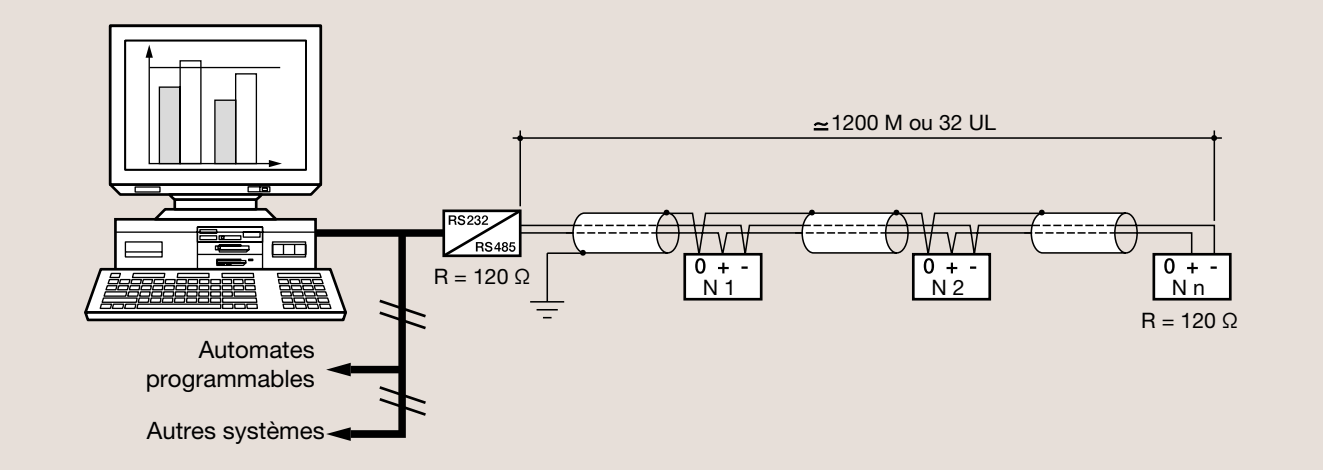
RS232 ⇔ RS485
USB ⇔ RS485
RS232 ⇔ ETHERNET ⇔ RS485
RS232 ⇔ liaison téléphonique RTC ⇔ RS485
RS232 ⇔ liaison téléphonique GSM ⇔ RS485
RS232 ⇔ liaison radio ⇔ RS485
RS232 ⇔ liaison optique ⇔ RS485

Le bus RS485

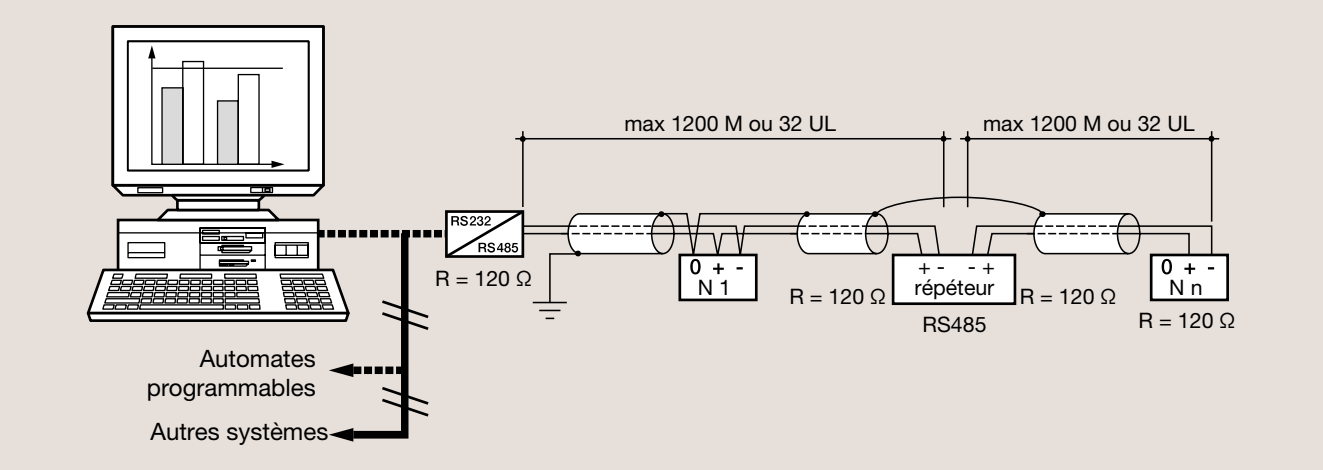
Un bus RS485 est défini par la norme EIA-TIA-485-A et le guide d'application TSB-89-A

Topologie

La topologie recommandée est une topologie en série.



diris 109 g 1 fr cat

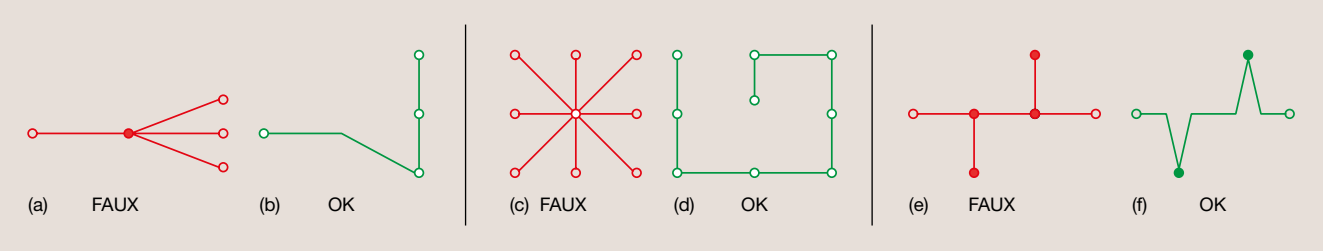


diris 110 g 1 fr cat

UL = unity of loads, voir page correspondante plus bas

La topologie série est celle qui limite le plus les réflexions de signaux.

Exemple : Conversion d'une topologie non adaptée vers une topologie bus adaptée.



catec 261 a 1 fr cat

Pour le schéma (e) on tolère toutefois des dérivations de maximum 30 cm (liaisons verticales sur le schéma (e)).

Le bus RS485 (suite)

Type de câble

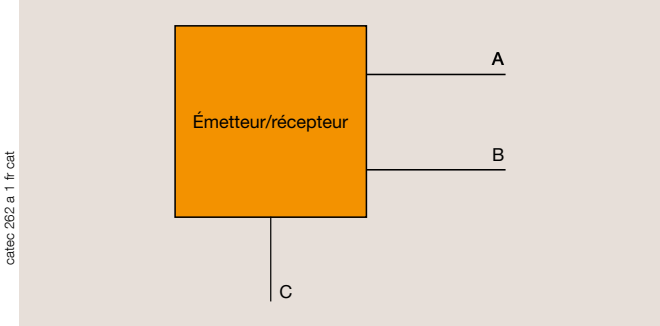
Nous recommandons d'utiliser une paire torsadée blindée (blindage général) de section minimale 0,20 mm² (AWG 24) d'impédance 120 ohms de type L IYCY-CY.

Mise à la terre

Relier le blindage à une seule extrémité à la terre pour garantir l'équipotentialité du blindage.
Aucune autre mise à la terre n'est nécessaire.

Identification bornier SOCOMEC par rapport à la norme RS485

Un émetteur-récepteur RS485 est normativement connecté en 3 points sur le bus.



Les constructeurs peuvent avoir donné d'autres dénominations que A, B et C au niveau des borniers.
Voilà l'interprétation au niveau des borniers SOCOMEC :

- B = +
- A = -
- C = « 0V / NC »

Les émetteurs-récepteurs SOCOMEC ne nécessitent pas de la borne C pour communiquer.
On appliquera les recommandations suivantes :

- dans un réseau 3 fils on raccordera la 3e borne (C) à la borne (OV/ NC)
- dans un réseau 2 fils on utilisera la 3e borne (C) pour réaliser la continuité du blindage.

Principe de raccordement des produits SOCOMEC

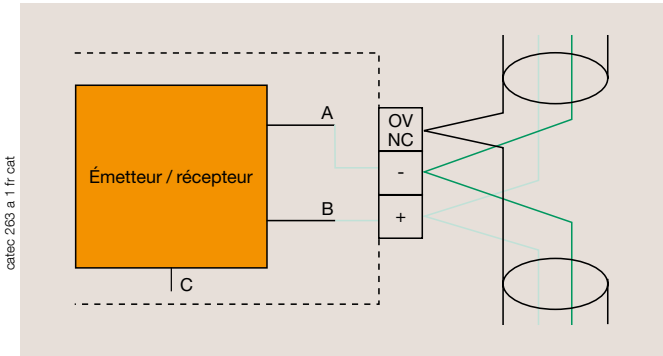


Schéma de raccordement des produits SOCOMEC dans un réseau 2 fils

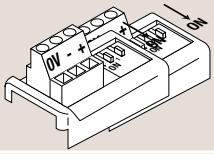
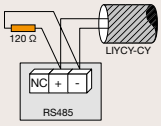
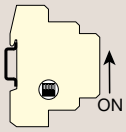
La borne « OV / NC » du bornier SOCOMEC n'est pas connectée à la borne C de l'émetteur-récepteur RS485.
Cette borne isolée peut donc être utilisée pour faciliter la continuité du blindage.

Le bus RS485 (suite)

Résistance de fin de ligne

La résistance de fin de ligne de même valeur que l'impédance de ligne (résistance de 120 ohms) permet de supprimer au maximum la réflexion du signal. Elle doit être placée à chaque extrémité du bus. Elle peut selon les modèles, être directement intégrée dans l'interface.

Activation en pratique sur les produits

Appareil	Résistance de terminaison	
DIRIS A20, A40, A60		Positionner : • les 2 dip switchs à ON pour activer la résistance • les 2 dip switchs à OFF pour désactiver la résistance
DIRIS A10, COUNTIS E		Résistance indépendante fournie avec le produit (pièce détachée). Câblage entre borne + et -.
Countis ECi		Positionner : • les 4 dip switchs à ON pour activer la résistance • les 4 dip switchs à OFF pour désactiver la résistance

À noter qu'en début de ligne elle peut être placée sur un appareil tiers comme une interface ou un automate et non sur le premier esclave

Polarisation du bus

La norme RS485 impose un niveau différentiel de 200 mV pour détection du signal.

Si la ligne RS485 n'est pas polarisée, ce niveau ne sera pas atteint au repos (sans communication sur la ligne) et donc le fonctionnement ne sera pas garanti.

Pour cela, on applique une polarisation à 1 seul endroit du bus. Elle est de préférence appliquée côté maître. Sur certains modèles d'interface, il est possible d'activer cette polarisation de ligne.

Sinon, il faudrait rajouter une alimentation externe. Elle doit garantir un niveau de 250-280 mV sur l'ensemble du bus lorsqu'il n'y a pas de communication qui transite. Une tension de 250-280 mV est un bon compromis. Elle garantit d'être supérieure à 200 mV et toutefois n'entraîne pas une consommation excessive.

Pour vérifier cela, le plus pratique est de positionner la source de polarisation au début du bus (côté interface) et de vérifier le niveau de tension à l'autre extrémité du bus. C'est le cas le plus défavorable : le premier appareil communique avec le dernier. Cette polarisation est intégrée sur les interfaces et les répéteurs SOCOMEC.

Attention, le signe de la tension (U) doit être positif.

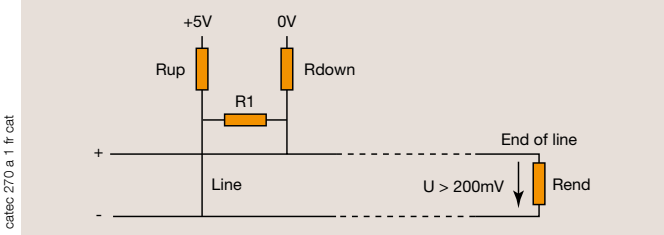


Schéma de principe de la polarisation d'un bus

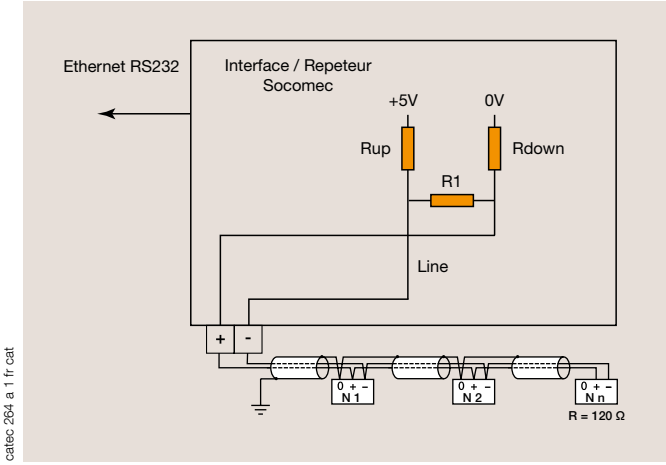


Schéma de raccordement d'un bus avec interfaces SOCOMEC ayant une polarisation intégrée

socomec
Innovative Power Solutions

Le bus RS485 (suite)

Polarisation du bus (suite)

Le dimensionnement

Dans le cas d'une alimentation externe 5V il est nécessaire de rajouter les résistances R_{up}, R_{down} et R_1.

Le dimensionnement de R_{up}, R_1, R_{down}, dépend du niveau exact de la tension d'alimentation et des résistances de ligne.

Des valeurs standard sont de :

R_{up} = R_{down} = 560 ohms (+/- 5 %, ¼ W)

R_1 = 120 ohms (+/- 5 %, ¼ W)

R_{end} = 120 ohms (+/- 5 %, ¼ W)

La méthode de détermination est itérative.

La démarche est de vérifier si avec ces valeurs standard le niveau de tension U en fin de ligne est dans la plage attendue (250 – 280 mV). Si non, on peut jouer sur les valeurs Rup et Rdown entre 390 à 750 ohms pour atteindre cette plage.

On réitère ces actions jusqu'à obtenir une tension conforme.

Limitations

2 limitations sont à prendre en compte dans un réseau RS485

Le nombre maximum d'appareils

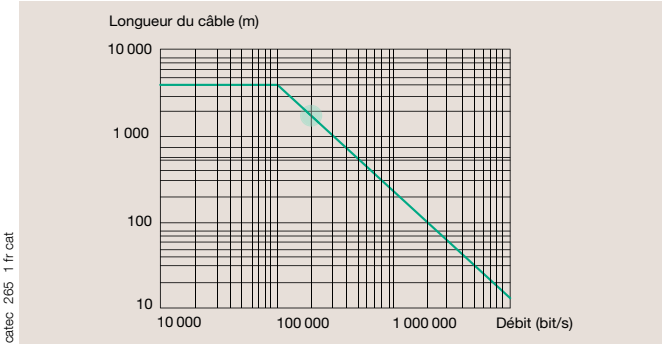
Un émetteur RS485 doit pouvoir communiquer avec maximum 32 unités de charge (32 UL = 32 Unity of Loads).

Appareil	Valeur en UL	Nombre d'appareils pour atteindre 32 UL
DIRIS A10	1	32
DIRIS A20	1	32
DIRIS A40	1	32
DIRIS A60	1	32
Countis Ci	1	32
COUNTIS E53	1	32
COUNTIS E33	1/2	64
COUNTIS E43	1/2	64
COUNTIS E44	1/2	64

Au-delà d'une charge de 32 UL, il faudra utiliser un répéteur.

La distance maximale du bus

La distance maximale pour un débit max jusqu'à 100 kbds est de 1 200 m

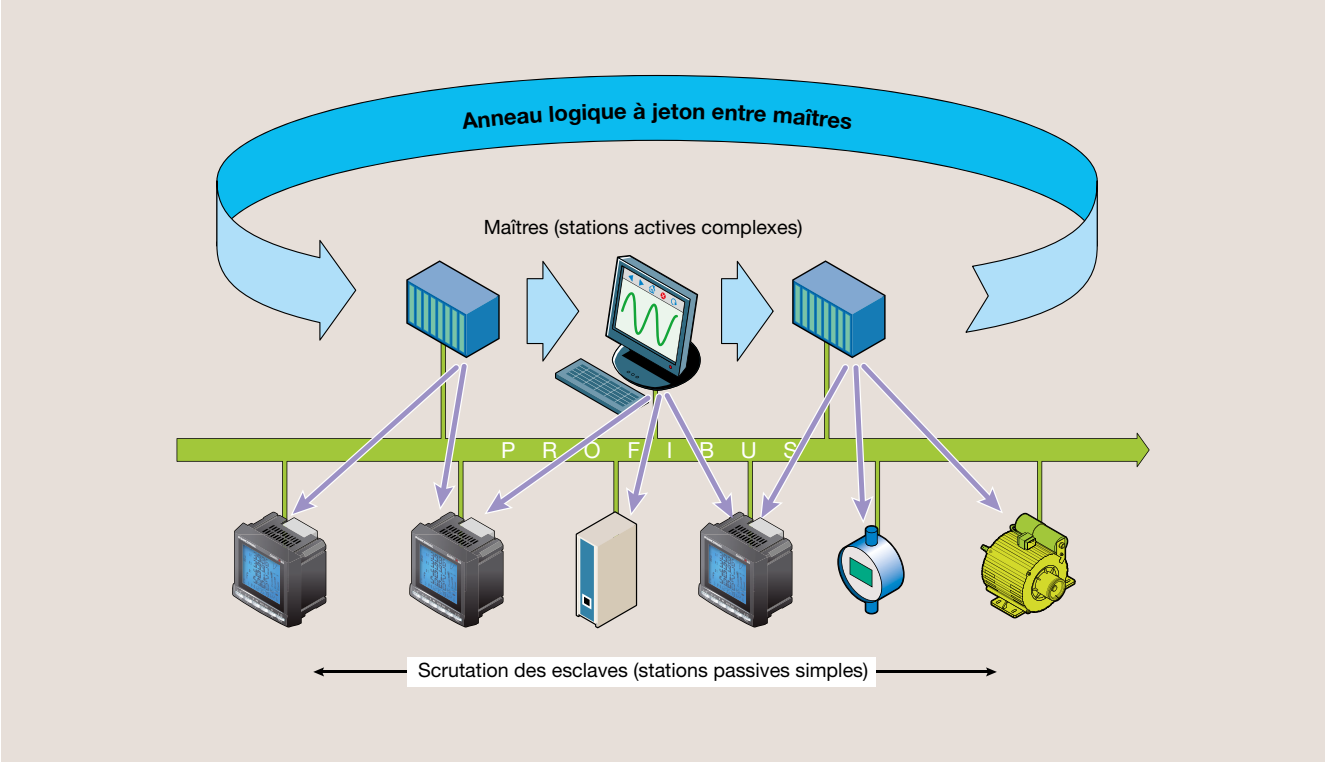


Au-delà, il faut utiliser un répéteur.

Le protocole PROFIBUS

Présentation

Basé sur un principe d'échange cyclique entre maîtres et esclaves, le protocole PROFIBUS permet une communication multi-maîtres et maîtres-esclaves sur un même bus. La méthode utilisée dans ce cas est celle du jeton : le premier maître possède le jeton, réalise les échanges avec les esclaves qu'il désire et passe le jeton au maître suivant qui fait de même.



catec 240 b 1 fr cat

Fichier GSD

Le protocole est basé sur des tables d'échange d'entrées et de sorties. La description de ces tables, appelées également modules, se fait par le biais d'un fichier GSD fourni pour tout esclave PROFIBUS. La notice du module Profibus, complétée de ce fichier GSD, décrit le fonctionnement de l'esclave par rapport à ce protocole.

Les différentes déclinaisons

PROFIBUS DP (Manufacturier) Produits Socomec	PROFIBUS PA (Process)	Commande d'axes sur PROFIBUS (entraînements)	PROFIsafe (Universel)
Profils applicatifs tels que systèmes d'identification	Profils applicatifs tels que équipements PA	Profils applicatifs tels que PROFIdrive	Profils applicatifs tels que PROFIsafe
Pile DP (DP - V0 à V2)	Pile DP (DP - V1)	Pile DP (DP - V2)	Pile DP (DP - V0 à V2)
RS485	MBP 15	RS485	RS485 MBP 15

Comme tout protocole de communication (notamment pour les bus de terrain), PROFIBUS est basé sur le modèle des couches OSI décrites précédemment. Afin de répondre à différentes applications, quatre déclinaisons dites applicatives ont été réalisées, chacune avec leur spécificité.

Les produits de la gamme SOCOMEC ont une certification PROFIBUS DP V0.

De ce fait, il est possible de raccorder ces produits sur un bus PROFIBUS DP.

socomec Innovative Power Solutions

Le protocole PROFIBUS (suite)

Le bus pour le protocole PROFIBUS

La couche 1 du modèle OSI assure la transmission physique des données. Elle définit donc les caractéristiques électriques et mécaniques : type de codage et interface normalisée (RS485).

PROFIBUS spécifie plusieurs versions de couches « physiques » selon les techniques de transmission conformes aux normes internationales CEI 61158 et CEI 61784.
Les différentes versions sont les suivantes :

- transmission RS485,
- transmission MBP,
- transmission RS485-IS,
- transmission fibre optique.

SOCOMEC utilise la liaison RS485 avec les caractéristiques suivantes :
- transmission numérique différentielle,
- débit de 9,6 à 12000 kbits/s,
- support constitué d'une paire torsadée blindée,
- topologie linéaire (sans étoile) avec terminaison de bus,
- 32 stations raccordables avec possibilité d'ajouter des répéteurs.

Afin de sécuriser la transmission, il est fortement recommandé d'utiliser un câble normalisé PROFIBUS.
Plusieurs références sont proposées sur le site suivant : http://www.procentec.com/products/cable/index.php.

Mesure électrique

Équipage ferromagnétique

Il est constitué de deux fers répulsifs (l'un fixe, l'autre mobile et solidaire de l'aiguille), placés à l'intérieur d'une bobine alimentée par le courant à mesurer.

L'équipage ferromagnétique lit la valeur efficace du signal alternatif ; l'influence de la forme d'onde est négligeable. Il est également utilisable sur signal continu, mais au détriment de sa classe de précision.

Sa simplicité en fait un instrument particulièrement adapté pour mesurer les courants alternatifs de tableaux BT.

Équipage magnéto-électrique

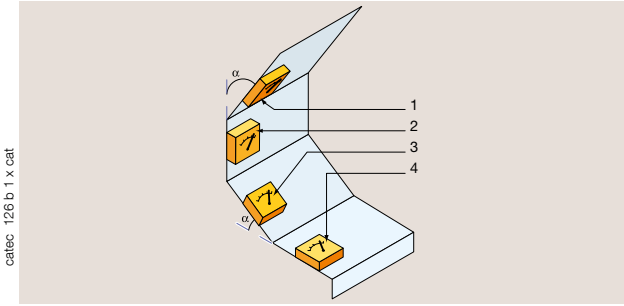
Le courant de mesure parcourt un cadre mobile bobiné, placé dans le champ magnétique d'un aimant permanent. Sous l'action des forces électro-magnétiques exercées sur le cadre, celui-ci pivote selon une loi linéaire.

De faible consommation, c'est l'instrument de mesure par excellence des signaux continus de faible valeur.

Équipage magnéto-électrique à redresseur

Le galvanomètre à cadre mobile étant un appareil polarisé, à courant continu, on rend possible la mesure de grandeurs alternatives par l'adjonction d'un redresseur à diodes.

Position d'utilisation



catec 126 b 1 x cat

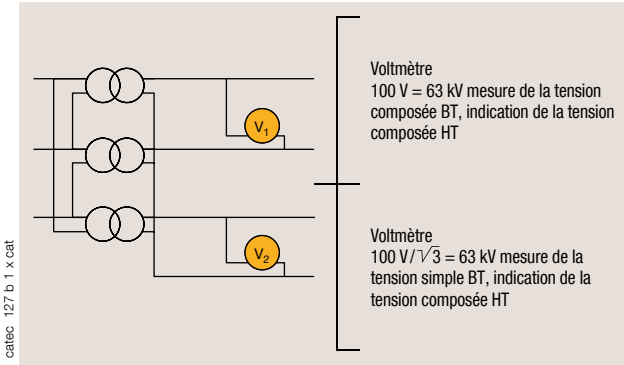
1 : α > 90°
2 : α = 90°
3 : α < 90°
4 : α = 0°

Les indicateurs ROTEX et DIN sont étalonnés, cadrans en position verticale.

L'utilisation dans d'autres positions est possible, sans diminution sensible de leur précision. Sur demande, les indicateurs sont étalonnés pour fonctionner dans une autre position donnée (à préciser lors de la commande).

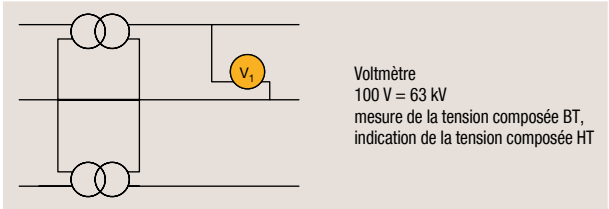
Utilisation de transformateurs de potentiel

Montage de 3 TP :
réseau 63 kV - TP 63 kV / 100 V / $3\sqrt{}$



catec 127 b 1 x cat

Montage en « V » de 2 TP : réseau 63 kV - TP : 63 kV / 100 V
(utilisation : mesure des 3 tensions avec 2 TP)



catec 128 b 1 x cat

socomec Innovative Power Solutions

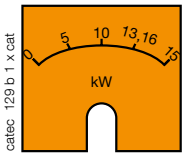
Convertisseur de puissance

Exemple
Étalonnage d'un convertisseur de puissance active : TI 20 / 5 A, U = 380 V, réseau triphasé, cos j = 1. Étalonnage de base :
P' (convertisseur) = UI cos j $\sqrt{3}$ = 380 V x 5 A x 1 x 1,732 = 3290 W donc avec le TI de 20 A : P = 3290 W x 20 / 5 = 13,16 kW
sortie convertisseur : 0 mA = 0 % ; 20 mA = 100 % de charge.

- Étalonnage pour afficheur numérique, relais de seuil, ou GTC : un afficheur numérique peut s'étalonner pour afficher 13,16 kW à 20 mA, il n'est donc pas nécessaire de modifier l'étalonnage du convertisseur.
- Étalonnage pour indicateur à aiguille (échelle utilisée : 0 à 15 kW) calibré à 20 mA en fond d'échelle : l'appareil associé n'est pas réglable, l'étalonnage du convertisseur se fera de manière suivante :

$$P' \text{ (convertisseur)} = \frac{15 \text{ kW}}{13{,}16 \text{ kW}} \times 3290 \text{ W} = 3750 \text{ W pour 20 mA}$$

$$I' \text{ (sortie convertisseur)} = \frac{13{,}16 \text{ kW}}{15 \text{ kW}} \times 20 \text{ mA} = 17{,}55 \text{ mA}$$



3290 W = > 13,16 kW => 17,55 mA
3750 W => 15 kW => 20 mA

Classe de précision

- **Un appareil de mesure analogique** est caractérisé par un indice de classe (ou classe de précision). Il représente l'erreur maximale exprimée en centièmes de la plus grande indication que peut donner l'appareil.

Exemple : un ampèremètre avec 50 divisions, classe 1,5
L'erreur sera de $\frac{1{,}5}{100}$ x 50 soit : 0,75 division
- soit pour un ampèremètre de 20 A : 20/50 x 0,75 = 0,3 A
- soit pour un ampèremètre de 400 A : 400/50 x 0,75 = 6 A

- **Un appareil numérique** (ou digital) peut indiquer une valeur de ± 1 unité du dernier chiffre du nombre affiché, en plus de la précision réelle des éléments constitutifs de l'appareil.

Exemple : un indicateur 3 digits (999 points), précision 0,5 %, raccordé sur un TC 400/5 A, affichage 400 A.
- (a) erreur intrinsèque 400 x $\frac{0{,}5}{100}$ soit ± 2 A
- (b) erreur d'affichage 1 digit, soit ± 1 A
- valeurs extrêmes de lecture : (a) + (b) = ± 3 A (à charge nominale).

- **Un transformateur d'intensité** (TI) est caractérisé par sa classe de précision.
Cette erreur varie en fonction de la charge de la manière suivante :

Erreur (± % de In)								
Niveau de charge		0,1 I_n	0,2 I_n	0,5 I_n	I_n	1,2 I_n	5 I_n	10 I_n
Classe	0,5	1,0	0,75		0,5			
	1	2,0	1,50		1,0			
	3			3	3	3		
	5			5	5	5		
	5P5				5		5	
	5P10				5			5

Exemple : les TI 5P5 sont utilisés en mesure de courant de circuit de moteur et assurent une précision de ± 5 % à 5 I_n.

Consommation des câbles en cuivre

La consommation des câbles est à prendre en compte pour définir la puissance du TI ou du convertisseur à choisir, afin d'assurer le bon fonctionnement de la chaîne de mesure (L : distance simple entre le TI et l'indicateur).

$$\text{Pertes en VA} = \frac{I^2 \text{ (en A)} \times 2}{S \text{ (en mm}^2\text{)} \times 56} \times L \text{ (en m)}$$

Pertes dans les câbles en VA(1) - Pour TI 5 A

S (mm²) \ L (en m)	1	2	5	10	20	50	100
1,0	0,89	1,79	4,46	8,93	17,9	44,6	89,3
2,5	0,36	0,71	1,79	3,57	7,14	17,9	35,7
4,0	0,22	0,45	1,12	2,23	4,46	11,2	22,3
6,0	0,15	0,30	0,74	1,49	2,98	7,44	14,9
10	0,09	0,18	0,45	0,89	1,79	4,46	8,93

Pertes dans les câbles en VA(1) - Pour TI 1 A

S (mm²) \ L (en m)	1	2	5	10	20	50	100
1,0	0,04	0,07	0,18	0,36	0,71	1,79	3,57
2,5	0,01	0,03	0,07	0,14	0,29	0,71	1,43
4,0	-	0,02	0,04	0,09	0,18	0,45	0,89
6,0	-	-	0,03	0,06	0,12	0,30	0,60
10	-	-	0,02	0,04	0,07	0,18	0,36

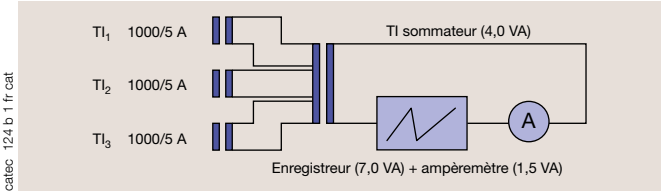
(1) Seule la composante active des pertes est prise en compte.

Transformateur de sommation

Les TI de sommation permettent d'additionner les valeurs efficaces de plusieurs courants alternatifs d'une même phase ; ces courants pouvant avoir des cos j différents.

Un TI sommateur se définit par :

- le nombre de TI à connecter (les TI ayant le même rapport de transformation),
- la puissance nominale de l'utilisation.



catec 124 b 1 fr cat

Exemple : 3 circuits à contrôler pour une sortie sur un enregistreur et un indicateur :

- (a) Bilan de puissance à fournir par le TI sommateur :
  (ampèremètre + enregistreur + perte circuit de mesure)
  P' = 1,5 VA + 7,0 VA + 1,5 VA = 10,0 VA,
- (b) Bilan de puissance à fournir par les TI :
  P = P' + consommation propre du TI sommateur
  P = 10,0 VA + 4,0 VA = 14,0 VA ; soit P/3 par TI.

TI saturables

Les TI saturables assurent l'alimentation des relais thermiques de faible puissance en les protégeant contre les surintensités dues aux démarrages fréquents des moteurs (les TI saturables n'existent qu'en sortie 1 A).

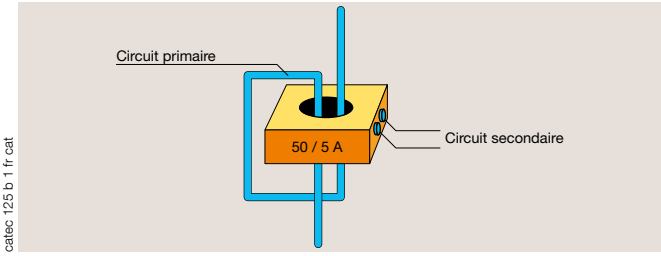
SOCOMEC distingue deux types de TI saturables :

- les TI dont la saturation commence à 4 I_n pour des démarrages normaux (ex. pompes),
- les TI dont la saturation commence à 1,5 I_n pour des démarrages sévères (ex. ventilateurs sans registres).

Adaptation des rapports de transformation

Pour des courants nominaux inférieurs à 50 A, il est possible d'utiliser des TI à câbles passants ayant un courant primaire plus élevé à la place des TI à primaires bobinés ; ceci en faisant passer la ligne primaire plusieurs fois au travers du TI.

Outre l'économie, cette méthode permet d'adapter les différents rapports de transformation (rendement et précision de mesure constants).



catec 125 b 1 fr cat

Exemple : courant primaire du TI 50 A.

Courant primaire à mesurer	Nombre de passages
50 A	1
25 A	2
10 A	5
5 A	10

socomec Innovative Power Solutions

Protection numérique des réseaux

Généralités

Le DIRIS protection, en plus des fonctions de mesure, comptage, surveillance des alarmes et communication, assure une fonction de protection contre les surintensités. Pour assurer cette fonction, le DIRIS dispose d'un module permettant de régler une courbe de déclenchement.

Le courant I_0 est calculé par somme vectorielle des trois courants de phase I_1, I_2, I_3 ou mesuré directement sur la quatrième entrée courant. La quatrième entrée peut être connectée au neutre par un transformateur de courant ou connectée à un TORE homopolaire pour la mesure des courants de fuite à la terre.

Le seuil se fait par le choix d'une courbe à temps dépendant (SIT, VIT, EIT ou UIT), ou une courbe à temps indépendant DT.

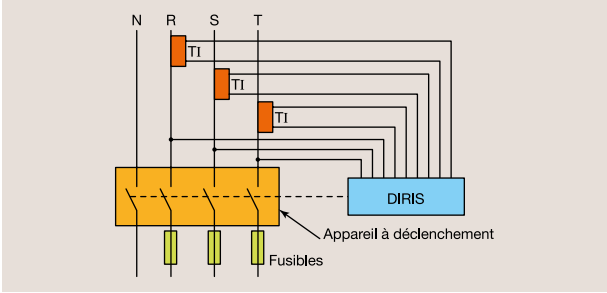
Toutes les mesures des courants sont effectuées en TRMS.

La protection contre les courants de défaut est assurée par comparaison entre les courants mesurés et la courbe de protection prédéfinie.

Fonctions de protection

Protection magnétique sur I1, I2, I3, In :	I >>	code ANSI : 50
Protection thermique sur I1, I2, I3, In :	I >	code ANSI : 51
Protection magnétique sur la composante homopolaire I0 :	I0 >>	code ANSI : 50 N
Protection thermique sur la composante homopolaire I0 :	I0 >	code ANSI : 51 N
Protection à maximum de courant directionnel :	Idir	code ANSI : 67
Sélectivité logique		code ANSI : 68
Protection retour de puissance active	> rP	code ANSI : 37

Le DIRIS protection assure la protection des circuits électriques. Il doit obligatoirement être associé à un organe de coupure assurant l'ouverture dans les temps conventionnels *(voir page 30)*.



Synoptique du système de coupure.

Courbes de protection à temps dépendant

Code ANSI 50 phases ou 50 N (neutre ou terre) - selon la norme CEI 60255-3 et BS 142. Ces courbes sont généralement utilisées pour la programmation du **seuil bas** (surcharge).

Pour programmer le seuil bas, il faut choisir une courbe, définir un seuil I_s (en pourcentage) et un temps T_s qui correspond au temps de coupure pour un défaut qui serait égal à 10 I_s.

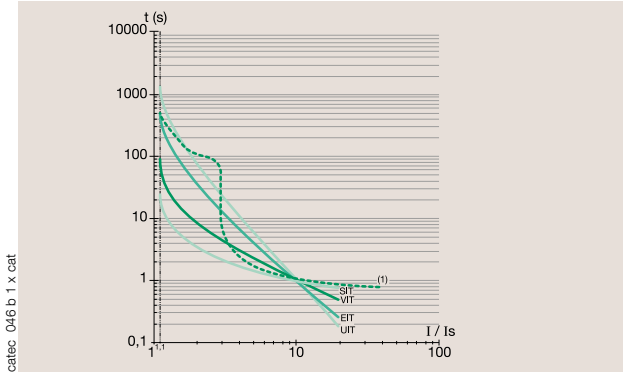
Le seuil I_s est la valeur du courant pour laquelle il n'y a pas de déclenchement. Le déclenchement intervient après un dépassement de courant supérieur à 1,1 I_s et au terme de la temporisation T_s.

Les courbes, seuils et temporisations sont identiques pour les courants de phases et le courant homopolaire I_0 ou de neutre I_n.

Relais de protection

En cas de dépassement du seuil et au terme de la temporisation, un relais RT s'enclenche sur un défaut phase. Cette commande de fermeture de relais peut être bloquée au cas où l'organe de coupure est un interrupteur fusible, afin de respecter ses pouvoirs de coupure. Cette limite est fixée à 7 I_n. Le relais RT est reseté par la touche « R » du clavier.

Représentation des courbes



Courbe configurable.

Équation des courbes

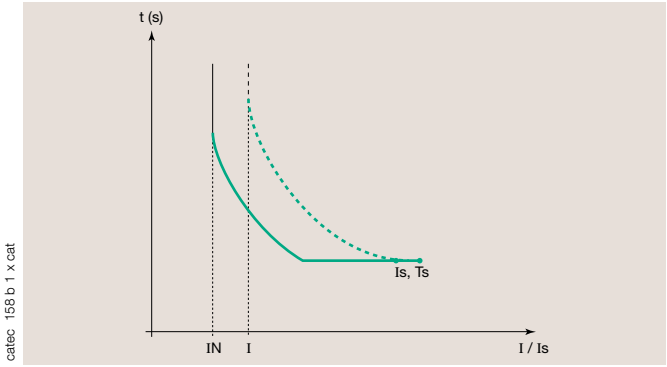
Courbe à temps inverse (SIT) :	$t = T_s \times \frac{47{,}13 \times 10^{-3}}{(I/I_s)^{0{,}02} - 1}$
Courbe à temps très inverse (VIT) :	$t = T_s \times \frac{9}{(I/I_s) - 1}$
Courbe à temps extrêmement inverse (EIT) :	$t = T_s \times \frac{99}{(I/I_s)^2 - 1}$
Courbe à temps ultra inverse (UIT) :	$t = T_s \times \frac{315{,}23}{(I/I_s)^{2{,}5} - 1}$

La courbe "UIT" peut être reconfigurée point par point par l'utilisateur, à l'aide de la liaison RS485.

Protection du neutre

La protection du neutre s'obtient par translation de la courbe de protection des phases :

- les temps ts sont identiques,
- les courants sont divisés par un coefficient KN.

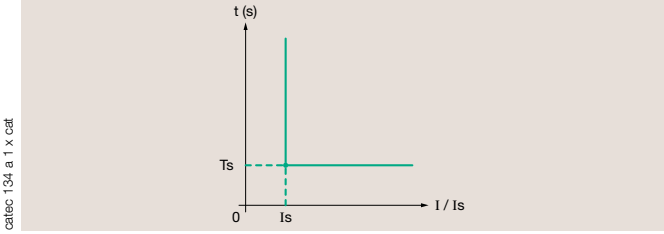


Protection "défaut terre"

Cette protection est configurée comme pour les courants de phases.

La protection « défaut terre » est une protection contre les courants de défaut de terre importants. Elle ne constitue pas une protection des personnes (contacts directs ou indirects), mais une prévention contre l'incendie ou l'assèchement des prises de terre.

Courbe de protection à temps indépendant



Code ANSI 50 phases 50 N Terre - selon la norme CEI 60255-3 et BS 142. Cette courbe est utilisée pour la programmation du seuil haut (court-circuit). Elle peut aussi servir à la programmation du seuil bas si la courbe à temps dépendant n'a pas été retenue. Pour programmer le ou les seuils indépendants, il faut choisir la courbe à temps indépendant (DT), définir un seuil et une temporisation.

Temps indépendant (DT) avec :

$0{,}1\ I_n < I_s < 15\ I_n$

$0{,}02s < T_s < 30\ s$

$0{,}02s < T_s < 300\ s$

avec I_n = courant nominal.

Protection retour de puissance

Code ANSI 37

C'est la détection d'un seuil de puissance active négative sur les trois phases associée à une temporisation.

Pour cela, il faut programmer un seuil en valeur absolue compris entre 5 % et 110 % de Sn, et une temporisation comprise entre 1 et 60 s.

Il y a détection d'un retour de puissance dès que les conditions suivantes sont remplies :

- P < 0 et IPI > 10 % de Q, soit un angle compris entre 96° et 264°,
- U > 70 % de Un (tension nominale) sur les 3 phases,
- I > I_n/20 sur les 3 phases (soit 250 mA si I_n = 5 A et 50 mA si I_n = 1 A),
- P > rP (seuil programmé en valeur absolue).

Choix du TI

La classe préconisée minimale du TI de protection est 5P 10 (précision de 5 % à 10 In).

Choix de la puissance du TI en VA

- La classe du TI (5P 10, 10P 10…) est garantie pour une charge maximale donnée en VA.
- Le DIRIS représente une charge de 1,5 VA à laquelle il faut ajouter les pertes dues aux câbles de liaison.

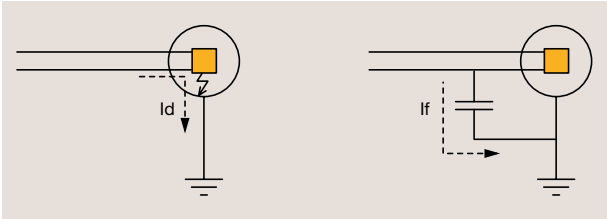
Exemple :
Courant nominal : 275 A
Le choix se porte sur un TI 300 A/1 A P.
La charge maximale de ce TI est de 4 VA par exemple.
Le TI est raccordé par câble de 2 x 2,5 mm² d'une longueur de 10 m.
Perte en VA du câble (voir page 73) : 3,57 VA.
Charge totale : 1,5 VA (DIRIS) + 3,57 VA = 5,07 VA.
Le TI ne convient pas : il faut soit diminuer la longueur du câble, soit augmenter sa section ou passer à un TI dont la charge admissible est supérieure à 5,07 VA.

socomec Innovative Power Solutions

Protection différentielle

Généralités

Un courant de défaut à la terre est un courant qui s'écoule à la terre lors d'un défaut d'isolement (Id). Un courant de fuite à la terre est un courant qui s'écoule des parties actives de l'installation à la terre, en l'absence de tout défaut d'isolement (If).



catec 217 b 1 x cat

Un Dispositif à courant Différentiel Résiduel (DDR) défini par la TR CEI 60755 est destiné à détecter les courants de fuite ou de défaut survenant généralement en aval de leur point d'installation.

Les principaux types de dispositifs différentiels sont :

- les disjoncteurs différentiels,
- les interrupteurs différentiels,
- les relais différentiels qui ne sont pas intégrés dans l'appareil de coupure.

SOCOMEC, constructeur spécialisé, propose une gamme complète de relais différentiels qui vont pouvoir répondre à chaque cas de façon adaptée.

Le relais différentiel a deux finalités :

- couper l'installation lorsqu'il est associé à un appareil de coupure à déclenchement automatique,
- signaler un courant de fuite ou de défaut lorsqu'il est utilisé comme relais de signalisation.

Signaler

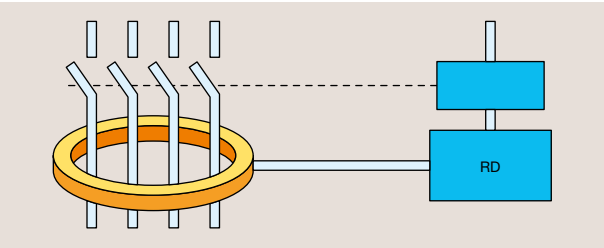
Signaler lorsqu'un courant de fuite ou de défaut à la terre est détecté et reste à un niveau autorisant néanmoins une action de maintenance préventive.

La signalisation différentielle est constituée :

- d'un tore, entourant les conducteurs actifs du circuit à surveiller qui détecte le courant résiduel lorsque la somme des courants en ligne n'est plus nulle,
- d'un dispositif d'analyse et de mesure du courant différentiel qui, à l'aide de ses LED d'alarme, ses relais de sortie ou sa sortie numérique, va alerter les opérateurs.

Certaines applications peuvent requérir les deux fonctions, couper et signaler, simultanément.

Couper l'installation



catec 130 b 1 x cat

Une protection différentielle est constituée dans ce cas :

- d'un tore, entourant les conducteurs actifs du circuit à protéger qui détecte le courant résiduel lorsque la sommation des courants en ligne n'est plus nulle,
- d'un dispositif d'analyse et de mesure du courant différentiel qui délivre le signal d'alarme,
- d'un organe de coupure de l'alimentation qui est déclenché par le relais d'alarme.

Lorsqu'un danger apparaît (choc électrique, incendie, explosion, dysfonctionnement d'une machine…), une coupure automatique de l'alimentation assure une ou plusieurs des fonctions suivantes :

- la protection contre les contacts indirects,
- la limitation des courants de fuite,
- la protection complémentaire contre les contacts directs,
- la sauvegarde de l'équipement ou de la production,
- etc.

Les relais différentiels peuvent être associés, sous certaines conditions, à des contacteurs, des disjoncteurs ou aux interrupteurs et interrupteurs-fusibles à déclenchement de la gamme SIDERMAT, FUSOMAT et INOSYS LBS SOCOMEC.

Définitions

Courant différentiel-résiduel assigné IΔn

Le courant différentiel-résiduel assigné, noté IΔn, est la valeur maximale du courant différentiel qui doit provoquer le fonctionnement du dispositif. Sa valeur exprime communément la sensibilité ou le réglage du DDR (exemple : DDR 30 mA). Un DDR peut, du point de vue des normes de produits différentiels, déclencher à partir de la moitié de son courant différentiel résiduel assigné.

Les appareils SOCOMEC, grâce à la mesure RMS, vont pouvoir supporter des courants allant jusqu'à 80 % (en classe A) du courant résiduel assigné. Cette précision autorise des courants de fuite plus importants pour un même niveau de protection et permet ainsi une meilleure sélectivité.

Les valeurs de courant IΔn sont classées suivant trois classes de sensibilité :

Sensibilités	Réglages IΔn
Basse Sensibilité	30 A
	10 A
	5 A
	3 A
Moyenne Sensibilité	1 A
	500 mA
	300 mA
	100 mA
Haute sensibilité	≤ 30 mA

Temps de coupure

Le rapport technique TR CEI 60755 propose les valeurs préférentielles suivantes de durée de coupure maximale exprimé en secondes pour les dispositifs différentiels destinés à la protection contre les chocs électriques en cas de défaut de type contacts indirects :

		Valeurs de durée de coupure		
Classe	In (A)	IΔn s	2 IΔn s	5 IΔn s
TA	n'importe quelle valeur	2	0,2	0,04
TB	≥ 40 A seulement	5	0,3	0,15

La classe TB tient compte des associations d'un relais différentiel avec un appareil de coupure séparé. Pour la protection contre les contacts indirects, la norme d'installation NFC 15100 admet un temps de coupure au plus égal à 1s pour un circuit de distribution, sans tenir compte de la tension de contact si une sélectivité est jugée nécessaire. En distribution terminale, les dispositifs différentiels utilisés pour la protection des personnes doivent être du type instantané.

Types de relais différentiels

Le rapport technique TR CEI 60755 définit trois types d'utilisation pour les DDR en fonction du type de réseau :

Type de relais différentiels	Symbole	Exemple de courant de défaut	
Type AC		ΔI AC t	L'appareil assure un déclenchement avec des courants différentiels résiduels, alternatifs sinusoïdaux.
Type A		ΔI t	L'appareil assure un déclenchement avec des courants différentiels résiduels, alternatifs sinusoïdaux ou des courants différentiels résiduels continus pulsés dont la composante continue reste inférieure à 6 mA pendant un intervalle de temps d'au moins 150° à la fréquence assignée.
Type B		ΔI t	L'appareil assure un déclenchement avec des courants différentiels identiques aux appareils de classe A, mais aussi pour des courants différentiels provenant de circuits redresseurs : - simple alternance avec charge capacitive produisant un courant continu lisse, - triphasé simple ou double alternance, - monophasé double alternance entre phases, - quelconque qui charge une batterie d'accumulateurs.

socomec Innovative Power Solutions

Définitions (suite)

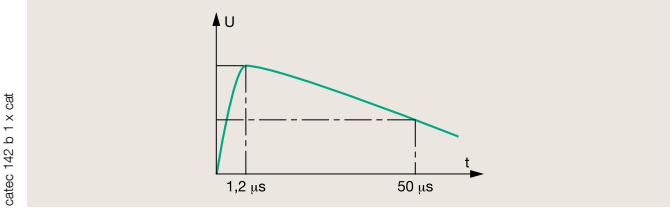
Compatibilité électromagnétique (CEM)

Les DDR déclenchent parfois pour des raisons autres que la présence d'un défaut d'isolement. Les causes sont variées : orages, manœuvre des appareils haute tension, courants de court-circuit, démarrages des moteurs, allumages de tubes fluorescents, fermetures sur charges capacitives, champs électromagnétiques, décharges électrostatiques.

Les DDR présentant une immunité suffisante contre ces perturbations sont repérés par le symbole ci-contre.

Selon la norme NF C 15100 § 531.2.1.4, les DDR doivent être choisis de façon à limiter les risques de déclenchement intempestifs dus aux perturbations CEM. À ce titre, les produits de la gamme RESYS SOCOMEC présentent une immunité renforcée aux perturbations électromagnétiques, notamment grâce à leur principe de mesure TRMS.

Les alimentations auxiliaires des relais différentiels SOCOMEC, fortement immunisées, évitent les déclenchements intempestifs ou les destructions des composants en cas de surtensions ayant pour origine la foudre ou une manœuvre HT (figure ci-contre).



Le principe de mesure par échantillonnage numérique du signal différentiel et le choix des matériaux des tores assurent une bonne tenue des relais différentiels en cas de passage d'une onde de courant transitoire se produisant lors de la fermeture de circuits fortement capacitifs (Fig. a), ou lors d'un amorçage en cas de claquage diélectrique suite à une surtension (Fig. b).

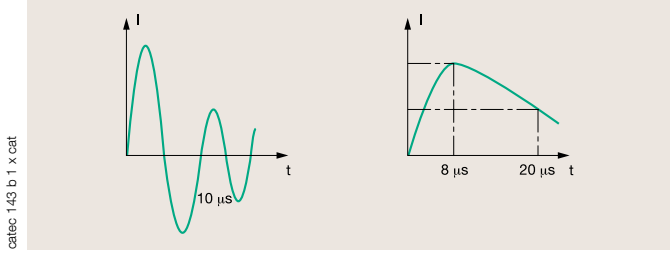


Fig. a. *Fig.b.*

Applications

Protection d'une installation

Sélectivité totale (sélectivité verticale)

Elle est destinée à éliminer le courant de défaut uniquement dans la partie de l'installation dans laquelle se trouve le défaut. Pour cela, il faut réunir deux conditions :

1. Le temps de fonctionnement du DDR aval (t_{fB} fig. 2) doit être inférieur au temps de non fonctionnement du dispositif amont (tnf A). Une solution simple pour respecter cette condition consiste à utiliser des DDR de type S. Le retard du DDR amont devra être supérieur au retard du DDR aval (fig. 1).
2. La sensibilité du DDR aval IΔn B doit être inférieure à la moitié de la sensibilité du DDR amont IΔn A (voir fig. 1 et 2).

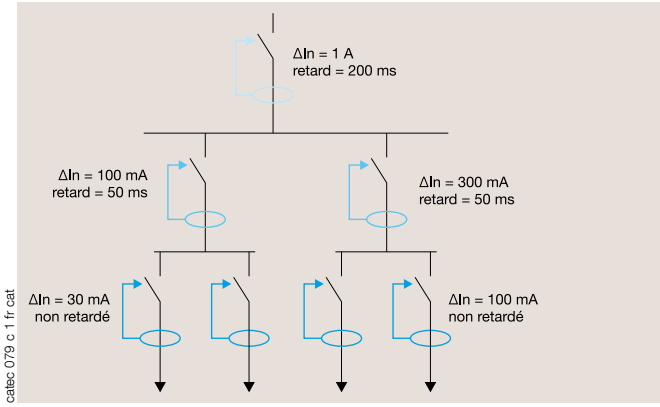


Fig. 1.

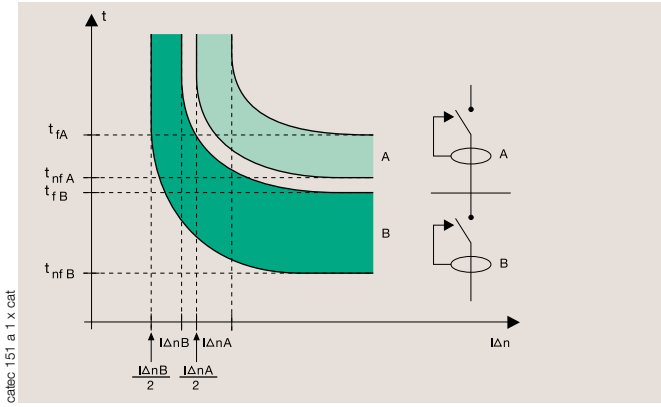
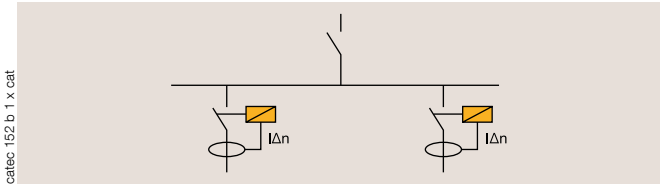


Fig. 2.

Applications (suite)

Protection d'une installation (suite)

Sélectivité horizontale



En distribution de type TT, un dispositif différentiel général (IΔn) n'est pas obligatoire en amont des départs différentiels divisionnaires dans la mesure où l'ensemble de la mise en œuvre, jusqu'aux bornes amont de ces derniers, répond aux dispositions relatives à la classe II ou par isolation supplémentaire lors de l'installation.

Protection des moteurs

Un défaut d'isolement qui affecte un bobinage de moteur va avoir des effets qui peuvent être classés à deux niveaux :

- destruction du bobinage, le moteur peut être réparé,
- destruction du circuit magnétique, le moteur est détruit.

La mise en place d'un dispositif différentiel qui limite le courant de défaut à moins de 5 % de I_n garantit la non-perforation des magnétiques et la sauvegarde du moteur. Certains gros moteurs pouvant présenter un déséquilibre des courants ou des courants de fuite en phase de démarrage, il est admis de prévoir une neutralisation du relais différentiel pendant cette phase sous certaines conditions.

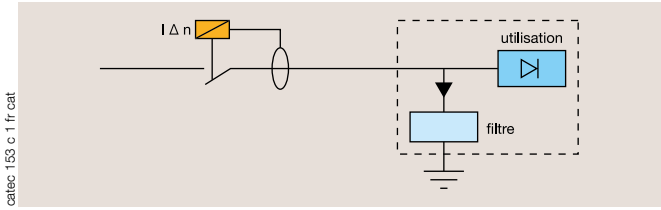
Courant de fuite des équipements

Les matériels de traitement de l'information, selon les normes EN et CEI 60950, peuvent être source de courant de fuite en raison des dispositifs particuliers de filtrage qui y sont associés.

Il est admis des courants de fuite capacitifs de 3,5 mA pour des circuits de prises de courant et 5 % (sous certaines conditions) pour des circuits d'installation fixe.

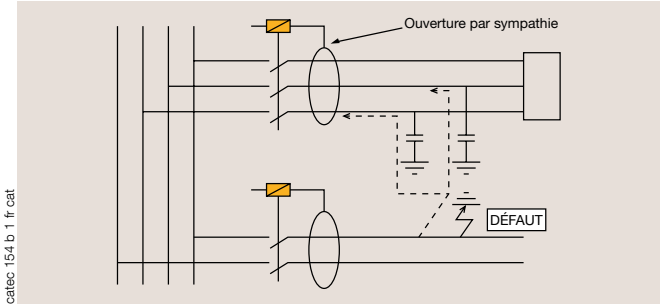
La norme EN 50178 sur les Équipements Électroniques (EE) utilisés dans les installations de puissance admet des courants de fuite maximum de 3,5 mA AC et 10 mA DC pour un EE.

En cas de dépassement de ces valeurs, il est nécessaire de mettre en œuvre des dispositions complémentaires telles que, par exemple, doubler le conducteur de protection, couper l'alimentation en cas de rupture du PE, mettre en place un transformateur qui assure une isolation galvanique, etc.



Raccordement des CPI (cas général).

Effet de "sympathie"



Une solution pour limiter cet effet est de temporiser les appareils différentiels.

Un défaut d'isolement important qui affecte un départ peut se reboucler par les capacités de fuite d'un autre départ et provoquer le déclenchement de ce dernier sans qu'il y ait eu de dégradations de l'isolement du circuit concerné.

Ce phénomène sera particulièrement fréquent sur les départs qui présentent des capacités de fuite potentiellement importantes ou si le défaut apparaît sur une canalisation de grande longueur.

socomec Innovative Power Solutions

Applications (suite)

Protection contre l'incendie

Le paragraphe 422.1.7 des normes NF C 15100 et CEI 60364 préconise l'emploi de DDR à IΔn ≤ 300 mA pour protéger les locaux présentant des risques d'incendie (locaux BE2).

Emplacements à risque d'explosion

En schéma TT ou TN, la norme NF C 15100 § 424.10 stipule une protection des canalisations par DDR 300 mA dans les locaux à risque d'explosion de type BE3.

Planchers rayonnants

Les éléments chauffants pour plancher rayonnant doivent être protégés par un DDR avec Idn < ou = 500 mA, de manière à éviter la destruction des revêtements métalliques (NF C 15100 § 753.4.1.1).

Surveillance des courants différentiels

Systèmes de localisation de défauts résiduels

La résistance d'isolement est un facteur important, pour ne pas dire déterminant, dans la disponibilité et la sécurité d'exploitation d'une installation électrique. Elle représente en effet une priorité absolue dans les mesures de sécurité préconisées en matière électrique. De nombreuses études ont démontré qu'environ 90 % des défauts d'isolement sont des défauts à long terme, seuls 10 % des défauts surviennent brusquement. Or, les dispositifs de sécurité généralement utilisés, comme les disjoncteurs différentiels, tiennent uniquement compte de ces 10 %, alors qu'aucune mesure préventive n'est prise pour les défauts évoluant lentement.

Les causes de dégradation du niveau d'isolement sont des facteurs courants : humidité, vieillissement, encrassement, raisons climatiques.

La liste des incidences potentielles des défauts d'isolement est très longue et leurs gravités diverses : elles peuvent être simplement gênantes, fâcheuses, voire même dangereuses :

- coupure intempestive de l'installation, interruption du processus de production important,
- commandes erronées à la suite de plusieurs défauts d'isolement. L'apparition simultanée de deux défauts d'isolement peut simuler le signal d'un dispositif de commande. Les automates programmables ou les relais miniatures sont par exemple très sensibles et répondent à des courants même très faibles,
- risque d'incendie dû à des dissipations de puissance suite à des défauts d'isolement fortement résistants : une dissipation de 60 W à l'endroit du défaut est une valeur déjà considérée comme dangereuse pouvant entraîner des risques d'incendie,
- recherche longue et fastidieuse du défaut d'isolement, en particulier lorsque ce dernier se compose de plusieurs défauts mineurs,
- des courants différentiels faibles, en raison de défauts d'isolement de forte impédance, ne sont pas détectés. Il en résulte une baisse progressive de la résistance d'isolement.

Dans tous les cas de figure, les défauts d'isolement engendrent des coûts. Des recherches ont démontré que la fréquence des défauts est croissante entre la source d'alimentation, le réseau de distribution principal et les distributions secondaires, jusqu'aux utilisations connectées.

Voilà pourquoi les normes en vigueur exigent un contrôle régulier de la résistance d'isolement. Mais ces contrôles répétés restent ponctuels et n'excluent en rien l'apparition éventuelle de défauts.

Les conceptions modernes intègrent cependant la notion de maintenance planifiée et préventive. Cela nécessite une surveillance intelligente et permanente du niveau d'isolement. Elle constitue le seul moyen préventif de protection contre les défauts d'isolement.

Le système de recherche de courants différentiels DLRD 460 a été conçu à cet effet. En tant que dispositif de signalisation – et non de coupure – pour systèmes TNS et TT (réseaux mis à la terre), ils complètent les dispositifs classiques de protection contre les courants différentiels.

Le système DLRD 460 surveille de manière sélective les différents départs d'un réseau. Le seuil de détection du courant différentiel est configurable individuellement pour chaque départ. En outre, l'utilisateur peut configurer un seuil d'avertissement (préalarme). Le système signale immédiatement tout dépassement de la valeur préréglée. De tels dispositifs permettent :

- la maintenance préventive par détection rapide (simultanée sur 12 départs par boîtiers) des défauts de toute nature (mesure des courants de type AC, A et B),
- une signalisation sans coupure : pas d'interruption des process,
- la réduction des coûts par une localisation rapide des défauts,
- l'information et l'exploitation centralisées par communication Profibus DP, Modbus, TCP/IP (via passerelle dédiée),
- une extension en fonction des évolutions de votre installation (jusqu'à 1080 départs).

Mise en œuvre

Toute installation présente un courant de fuite à la terre dû essentiellement aux fuites capacitives des conducteurs et aux condensateurs d'antiparasitage ou de filtrage CEM, par exemple des matériels de classe I.

La somme de ces courants de fuite peut faire déclencher des DDR haute sensibilité. Le déclenchement est possible à partir de IΔn/2 (IΔn x 0,80 pour les appareils SOCOMEC RESYS M et P) sans que la sécurité des personnes ne soit menacée.

Les courants de fuite peuvent être limités par :

- l'utilisation de matériels de classe II,
- les transformateurs de séparation,
- la limitation du nombre de récepteurs protégés par un même DDR.

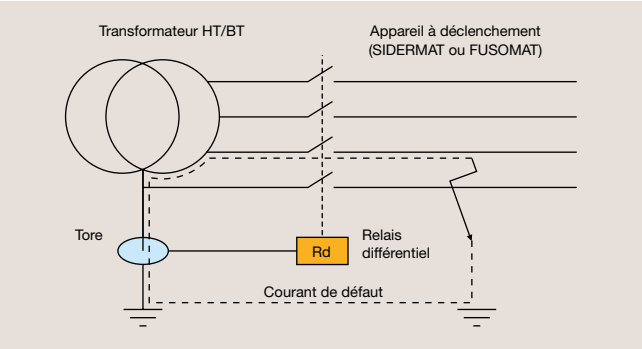
Amélioration de la fonctionnalité des DDR

Mise en œuvre à l'origine de l'installation TT

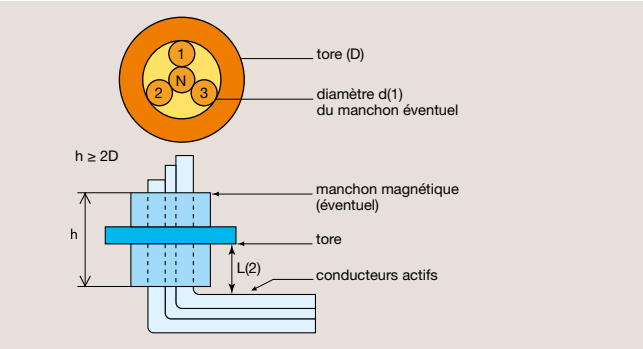
À l'origine de l'installation TT (et uniquement dans ce cas), il est possible de remplacer le tore de détection placé autour des conducteurs actifs par un tore unique, placé sur le conducteur reliant le neutre du transformateur HT/BT à la terre. Cette disposition permet de gagner en immunité aux perturbations et présente l'avantage d'être plus économique.

Augmentation de l'immunité aux perturbations d'un tore par :

- la disposition symétrique des conducteurs de phase autour du conducteur neutre,
- l'utilisation d'un tore de diamètre au moins égal à 2 fois le diamètre du cercle formé par les conducteurs : D ≥ 2d,
- le rajout éventuel d'un manchon magnétique d'une hauteur au moins égale à 2D.



catec 082 b 1 fr cat



catec 083 d 1 fr cat

(1) d = le centrage des câbles dans un tore est garant de la non-saturation locale du tore. Un tore saturé provoque des déclenchements intempestifs.

(2) L = distance entre le tore et le coude des câbles.

Indication des conditions de test des dispositifs différentiels

Un marquage complémentaire est à prévoir pour indiquer à l'utilisateur que le test doit être actionné régulièrement (une périodicité de 3 à 6 mois est recommandée).

Choix du dispositif différentiel selon la nature de la protection à assurer

La norme NF C 15100 § 531.2.3 préconise un choix selon la nature de la protection à assurer :

- protection contre contacts indirects (sensibilité à choisir en fonction des tensions de contacts admissibles),
- protection complémentaire contre contacts directs (IΔn 30 mA),
- protection contre les risques d'incendie IΔn (300 mA).

Choix du dispositif différentiel en régime IT

La norme NF C 151 00 § 531.2.4.3

Afin d'éviter des déclenchements intempestifs des DDR de protection contre les contacts indirects, pour les DDR à moyenne sensibilité, la valeur du courant différentiel résiduel assigné de l'appareil (IΔn) doit être supérieure au double de la valeur du courant de fuite (If) qui circule lors d'un premier défaut **IΔn > 2 x If**.

socomec Innovative Power Solutions

Mise en œuvre (suite)

Choix du dispositif différentiel selon les principes d'alimentation auxiliaire

Le niveau de compétence des exploitants et la destination de l'installation vont, selon la norme CEI 60364, orienter le choix des dispositifs de protection différentiels selon le type de fonctionnement lié au principe d'alimentation.

	Choix possible en fonction du type d'installation	
Nature du dispositif différentiel	Personnel non averti (BA1)	Essayées et vérifiées par du personnel au moins averti (BA4)
À source auxiliaire indépendante du réseau	NON	OUI
À fonctionnement indépendant de la tension du réseau	OUI	OUI
À fonctionnement dépendant de la tension du réseau ou de toute source auxiliaire à sécurité positive	NON	OUI
À fonctionnement dépendant de la tension du réseau non à sécurité positive	NON	OUI sauf circuits PC 16 A
À fonctionnement dépendant de la tension d'une source auxiliaire non à sécurité positive	NON	OUI sauf circuits PC 16 A et signalisation d'un défaut de source aux.

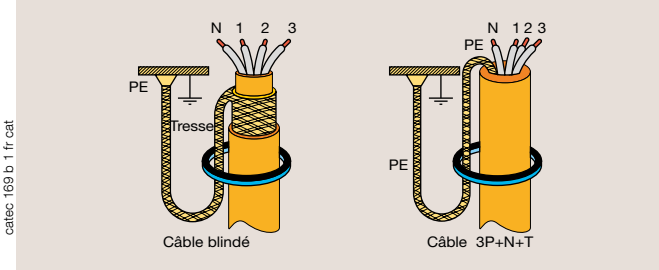
Note : un transformateur raccordé sur le réseau ne constitue pas une source auxiliaire indépendante du réseau.

Caractéristiques d'un dispositif différentiel à source auxiliaire

- Surveillance indépendante de la tension du circuit surveillé.
- Adapté aux réseaux à fluctuation importante et rapide.
- Surveillance indépendante du courant de charge (à-coup de courants non équilibré, couplage de charges inductives).
- Meilleure immunité au déclenchement en cas de défauts transitoires (temps d'intégration de l'ordre de 30 ns alors qu'un appareil à propre courant risque de déclencher en quelques ms).

Précautions à la mise en œuvre de tores sur des câbles armés

Câble armé : isoler électriquement la boîte de raccordement, et la relier à la terre.



catec 169 b 1 fr cat

Choix du type de différentiels en fonction des charges

Les matériels sont de plus en plus munis de dispositifs redresseurs (diodes, thyristors…). Les courants de défaut à la terre en aval de ces dispositifs comportent une composante continue susceptible de désensibiliser les DDR.

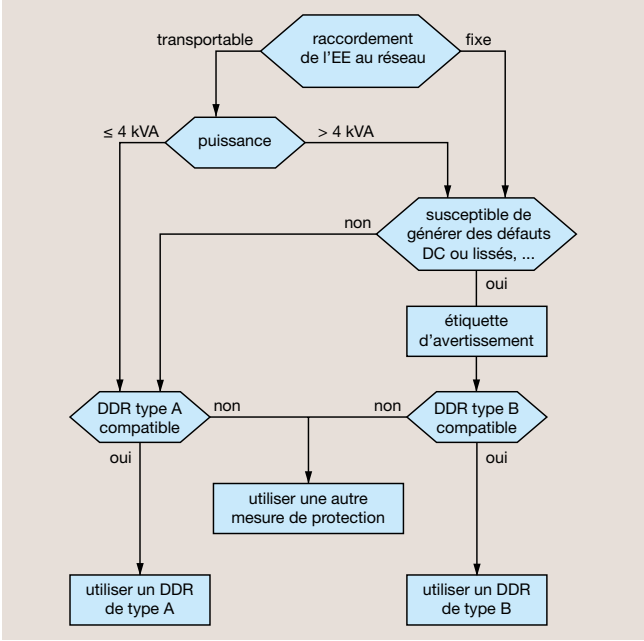
Les appareils différentiels doivent être de la classe adaptée aux charges (voir chapitre définition des classes).

La norme EN 50178 prescrit l'organigramme suivant qui définit les exigences requises lors de l'utilisation d'un EE derrière un dispositif différentiel (EE : équipement électronique).

Les EE transportables, dont la puissance apparente assignée d'entrée n'excède pas 4 kVA, doivent être conçus pour être compatibles avec des DDR de type A (protection contre les contacts directs et indirects).

Les EE qui risquent de générer une composante continue du courant de défaut risquant d'entraver le fonctionnement des protections différentielles, doivent obligatoirement être accompagnés d'une étiquette d'avertissement le précisant.

Quand les DDR ne peuvent être compatibles avec les EE à protéger, d'autres mesures de protection doivent être adaptées, comme par exemple : séparer l'EE de son environnement par une isolation double ou renforcée, ou isoler l'EE du réseau à l'aide d'un transformateur…



catec 155 b 1 fr cat

Mise en œuvre (suite)

Choix du type de différentiels en fonction des charges (suite)

La norme EN 61800-5-1 propose un choix de classe de DDR en fonction de l'électronique interne des récepteurs.

	Classe exigée	Montage	Courant de secteur normal	Courant à la terre de défaut
1	≥ A	Monophasé L N PE	t	t
2	B	Monophasé avec Mirage L N PE	t	t
3	B	Monophasé en étoile triphasé L1 L2 L3 N PE	t	t
4	≥ A	Pont redresseur à double alternance L N PE	t	t
5	≥ A	Pont redresseur mixte à double alternance L N PE	t	t
6	B	Pont redresseur mixte à double alternance entre phases L1 L2 N PE	t	t
7	B	Pont redresseur triphasé L1 L2 L2 PE	t	t
8	≥ AC	Gradateur à commande de phase L N PE	t	t
9	≥ AC	Gradateur à commande par train d'onde L N PE	t	t

socomec Innovative Power Solutions

Mise en œuvre (suite)

Charges « industrielles »

Les appareils les plus répandus sont de classe AC ; la réalité des installations industrielles justifie l'usage d'appareils de classe A au minimum.

Charges de type variateur de vitesse

Ce type de charge étant très fluctuant, des relais de classe B, indépendants de la tension et du courant, vont être encore plus particulièrement adaptés pour prévenir des risques.

Regroupement des utilisations en fonction du type de charge

Les installations doivent regrouper les types d'appareils qui provoquent des défauts identiques.
Si des charges sont susceptibles de générer des composantes continues, elles ne devront pas être raccordées en aval de dispositifs prévus pour protéger des charges ne générant, en défaut, que des composantes alternatives ou redressées pulsées.

Signalisation ou préalarme d'une fuite ou d'un défaut

Dans les installations où la continuité de service est un impératif et où la sécurité des biens et des personnes est particulièrement exposée, les défauts d'isolement constituent un risque majeur qu'il est particulièrement important de prendre en compte.

Cette fonction de signalisation peut être assurée suivant deux démarches :

1. la coupure automatique de l'alimentation pour des impératifs de protection (protection contre les contacts directs, indirects ou limitation du courant de fuite) est assurée par des dispositifs différentiels, la fonction de signalisation peut être assurée par les relais de préalarme qui sont incorporés à certains relais différentiels. Ces produits avec préalarme répondent à la recommandation du § 531.2.1.3 demandant de limiter la somme des courants de fuite présumés à un tiers du courant de fonctionnement assigné.
2. la coupure automatique de l'alimentation pour des impératifs de protection (protection contre les contacts directs, indirects ou limitation du courant de fuite) est assurée par d'autres dispositifs, comme par exemple des dispositifs de protection contre les surintensités. Le contact d'alarme des relais peut alors être utilisé uniquement pour signaler un courant différentiel.

La signalisation des défauts d'isolement de façon préventive optimise l'exploitation d'une installation électrique en permettant :

- d'anticiper une réparation de machine avant que le process ne soit arrêté sur défaut,
- de localiser des défauts d'isolement en régime de neutre TNS,
- de prévenir les risques d'incendie, d'explosion…,
- d'anticiper le fonctionnement d'un appareil de protection contre les surintensités et ainsi éviter le remplacement du fusible ou le vieillissement du disjoncteur,
- de maîtriser les courants de fuite et ainsi réduire les courants homopolaires dans les circuits de protection, la génération de champs électromagnétiques particulièrement perturbants,
- etc.

Contrôle Permanent de l'Isolement

Généralités

Introduction

Les normes NF C 15100 (§ 411.6.3) et CEI 60364 imposent l'utilisation d'un Contrôleur Permanent d'Isolement (CPI) en régime IT :

"Un contrôleur permanent d'isolement doit être prévu pour indiquer l'apparition d'un premier défaut d'une partie active à la masse ou à la terre ; il doit actionner un signal sonore ou un signal visuel."

Ces CPI doivent répondre à la norme NF EN 61557-8.

SOCOMEC offre un large choix de CPI au travers de la gamme ISOM.

Les CPI doivent avoir des principes de mesure choisis en fonction de la nature des circuits à surveiller :

- ceux qui appliquent un courant de mesure continue sur des installations à courants alternatifs uniquement (aucune présence de redresseurs qui risquerait de générer une composante continue en cas de défaut aval),
- ceux qui appliquent un courant de mesure alternative sur des installations à courants alternatifs et continus (présence de redresseurs sans isolation galvanique amont).

Certains CPI SOCOMEC sont équipés d'un dispositif de mesure AMP (dit à impulsions codées), qui permet une surveillance dans tous les cas de mesure et en particulier sur les installations où les utilisations vont générer des composantes qui vont inhiber les signaux de mesure des CPI. Ces utilisations sont par exemple les variateurs de vitesse, ou tout autre équipement à alimentation électronique de puissance.

Principe de fonctionnement

La plupart des CPI injectent un courant de mesure dans la boucle formée par les conducteurs actifs et la terre (fig. 1). Une augmentation du courant de mesure traduit une baisse de l'isolement du circuit. Le courant de mesure est comparé avec le seuil d'alarme des CPI.

Le bon fonctionnement des CPI de la gamme ISOM ne nécessite pas un courant de mesure élevé.

L'impédance de 1 kW traditionnellement ajoutée entre le circuit à surveiller et la terre (neutre impédant) est inutile pour les CPI SOCOMEC.

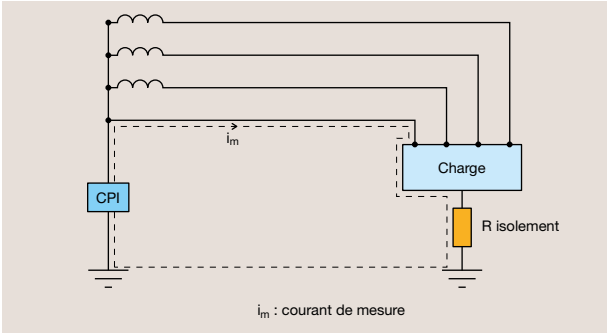


Fig. 1 : mesure de la résistance d'isolement d'une installation par un CPI.

Réglages

La norme NF C 15100 § 537.1.3 propose un seuil de prévention réglé à 50 % de l'isolement de l'installation et un seuil d'alarme à moins de 1 kW.

Le choix de seuils d'isolement plus élevés est garant d'une bien meilleure gestion de la continuité de service.

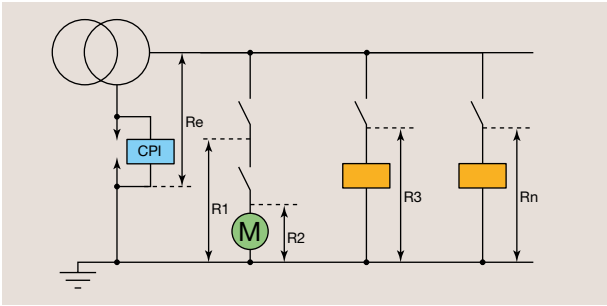
Ce choix de réglages plus adaptés permet :

- d'anticiper la recherche de défaut à partir de plusieurs dizaines de kW et de garantir une meilleure gestion préventive des défauts,
- de limiter la circulation de courants de fuite pouvant provoquer les déclenchements des différentiels haute sensibilité.

Lors d'une mise en service d'un CPI dans une installation, il faut bien prendre en compte que cet appareil va mesurer l'isolement global de l'installation, soit la somme des conductances (ou résistance en parallèle) de fuite individuelle de chaque départ.

$$\frac{1}{Re} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{Rn} \quad (R1, R2, Rn \geq 0{,}5\ M\Omega)$$

Remarque : le CPI peut indiquer une baisse de résistance d'isolement sans qu'il y ait de défaut franc (présence d'humidité après une mise hors tension prolongée par exemple). La mise en route de l'installation permettra de remonter le niveau de l'isolement.



socomec Innovative Power Solutions

Définitions

Réseau iloté

Un réseau iloté est caractérisé par :

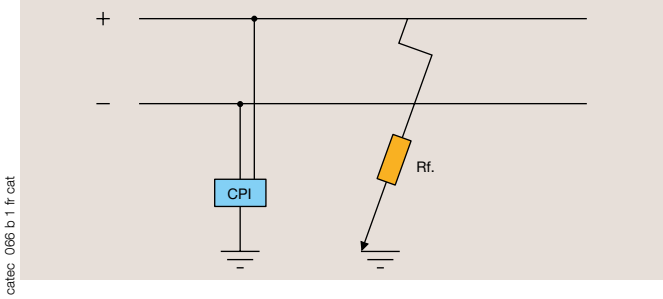
- un récepteur unique ou des récepteurs de même type (moteurs, éclairage de sécurité…),
- un circuit peu étendu (capacité de fuite faible) et bien localisé (atelier, bloc opératoire…),
- un circuit bien défini (charges AC ou DC uniquement).

Réseau global

À l'inverse, un réseau global présente une variété de récepteurs et de redresseurs (présence de courants alternatifs et continus). Le réseau est souvent un réseau étendu (capacité de fuite élevée).

Défaut asymétrique (réseau DC)

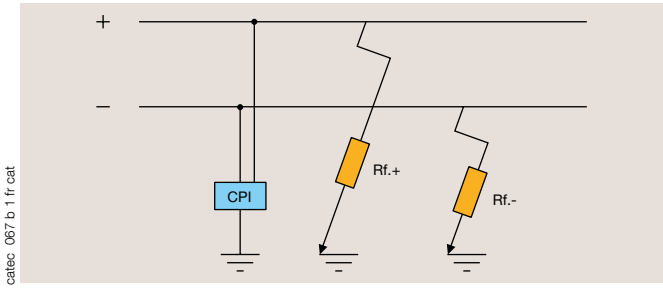
Un défaut asymétrique n'affecte qu'une polarité du réseau.



Défaut symétrique (réseau DC)

Un défaut symétrique affecte les deux polarités du réseau. Ce type de défaut se développe souvent dans un circuit où les longueurs respectives des conducteurs + et - sont comparables.

Les normes CEI 61557-8 et EN 61557-8 imposent depuis fin 1997 que les circuits DC soient surveillés par des CPI capables de détecter des défauts symétriques.



Résistance d'isolement de l'installation électrique

C'est le niveau d'isolement de l'installation par rapport à la terre. Il doit être supérieur aux valeurs de la norme NF C 15100.

Tableau A : valeurs mini de la résistance d'isolement (NF C 15100 - § 612.3) hors tension d'une utilisation

Tension nominale du circuit (V)	Tension d'essai en courant continu (V)	Résistance d'isolement (mΩ)
TBTS et TBTP	250	≥ 0,25
≤ 500 V	500	≥ 0,5
> 500 V	1 000	≥ 1,0

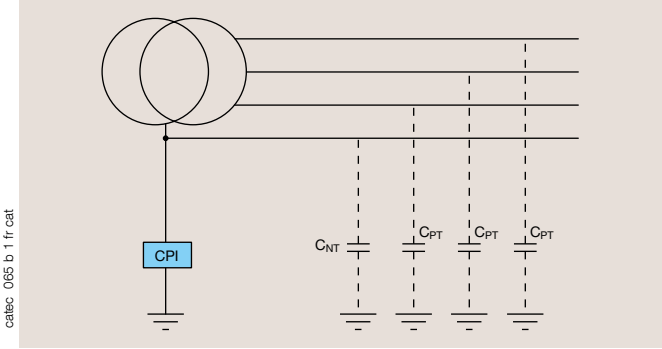
Isolement des récepteurs

- Rf Moteur > 0,5 MW
- Rf > x MW selon norme produit.

Capacité de fuite d'un conducteur par rapport à la terre

Lorsque deux conducteurs sont soumis à une différence de potentiel (tension), ils présentent entre eux un effet capacitif dépendant de leur forme géométrique (longueur, forme), de l'isolant (air, PVC…) et de la distance qui les sépare.

Cette propriété physique a pour effet de provoquer un courant de fuite capacitif entre les conducteurs d'un réseau et la terre. Ce courant est d'autant plus important que le réseau est étendu.

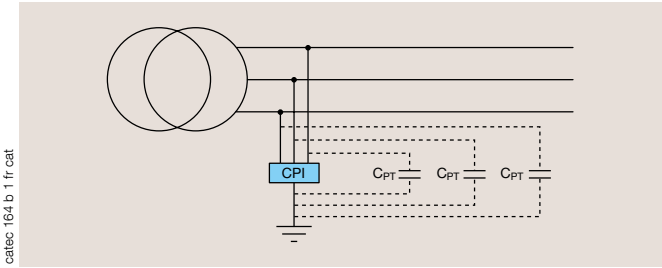


Capacité de fuite à la terre d'un réseau alternatif.

Capacité maximale de fuite

C'est la somme de la capacité de fuite à la terre d'un réseau et de la capacité des condensateurs installés dans les matériels électroniques, informatiques…

La capacité maximale de fuite est un paramètre important pour le choix d'un CPI. Il est à noter que la capacité globale de fuite a considérablement augmenté du fait des filtres CEM (de l'ordre de quelques centaines de nF pour un filtre).



Cas d'utilisation

Locaux à usage médical CPI HL

Ces locaux nécessitent des dispositions particulièrement strictes liées à la continuité d'exploitation du réseau électrique et à la protection des patients et des utilisateurs de matériel médical.

La norme NF C 15211

Cette norme décrit les prescriptions destinées à assurer la sécurité électrique des personnes dans les locaux à usage médical, en tenant compte des risques particuliers dus aux traitements effectués dans ces locaux et des prescriptions relatives à l'alimentation électrique des locaux.

Applicabilité

Les dispositions de cette norme sont applicables pour les ouvrages dont la date du permis de construire est postérieure au 31 janvier 2007.

Le schéma IT médical

La norme définit la mise en place de niveaux de criticité de certaines activités médicales, avec – pour corollaire – le classement des locaux dédiés en groupe 0, 1 et 2. Suite à la décision du chef d'établissement de classer certains locaux en groupe 2, la distribution électrique sera réalisée selon les règles du régime IT.

Locaux directement concernés

- Salle d'opération,
- Poste de réanimation,
- Imagerie interventionnelle.

Les conséquences du schéma IT médical

- Mise en place d'un transformateur d'isolement conforme à la norme NF EN 61558-2-15 avec une puissance limitée à 10 kVA maximum. Généralement de type monophasé 230 VAC, sa tension composée ne doit pas excéder 250 V en cas de secondaire triphasé.
- Les transformateurs ISOM TRM réalisent cette séparation entre le réseau de distribution général de l'établissement hospitalier et la distribution électrique dédiée aux locaux où la sécurité du patient ne doit pas être compromise en cas de défaut d'isolement.
- Mise en place d'un CPI spécialement prévu avec les caractéristiques suivantes :
  - résistance interne AC ≥ 100 kW,
  - tension de mesure ≤ 25 VDC,
  - courant de mesure ≤ 1 mA,
  - adaptation du principe de mesure à la nature des récepteurs, notamment en cas de présence de composantes continues (charges électroniques),
  - réglages du CPI à 150 kW.

Il est particulièrement important de choisir des CPI fonctionnant suivant le principe de mesure à impulsions codées. Ils garantissent une mesure optimale, notamment dans les salles d'opération généralement équipées de matériel aux alimentations à découpage sans transformateur de séparation galvanique.

- Surveillance obligatoire des surcharges et des élévations de température du transformateur.
  Le CPI ISOM HL intègre des entrées courant et température permettant de centraliser – au même titre que l'alarme liée à une baisse de l'isolement – une surcharge et une surchauffe du transformateur d'isolement. Les informations sont disponibles sur le bus RS485 en sortie du CPI.
- Obligation d'alerter le personnel médical avec alarme sonore et visuelle et de reporter cette alarme dans un emplacement surveillé en permanence. Les reports d'alarme ISOM RA permettent de récupérer les informations délivrées par le CPI HL (défaut d'isolement, surcharge et surchauffe transformateur) et de déporter ces informations de manière claire et lisible au niveau du bloc opératoire. Ils peuvent également être déportés vers le local technique de surveillance (communication par bus RS485).

Autres solutions associées

En régime IT, la norme NF C 15100 § 537.3 recommande fortement l'association d'un système de recherche de défaut au CPI. Cette logique s'applique également au régime IT médical, démarche accentuée compte tenu de l'urgence et du contexte critique des locaux à usage médical et des interventions qui y sont pratiquées.

Le système de localisation de défaut ISOM DLD associé à l'injecteur fixe dédié au schéma IT médical ISOM INJ avec courant de détection limité à 1 mA garantissent une localisation rapide du départ en défaut.

SOCOMEC propose également la fourniture d'armoires dédiées à la distribution électrique dans les locaux à usage médical. La prestation s'étend de l'étude complète, la réalisation, la fourniture des composants principaux (transformateurs, onduleurs, systèmes de commutation de sources, appareils de mesure, de protection et enveloppe) jusqu'à la mise en service et la formation associée.

socomec Innovative Power Solutions

Cas d'utilisation (suite)

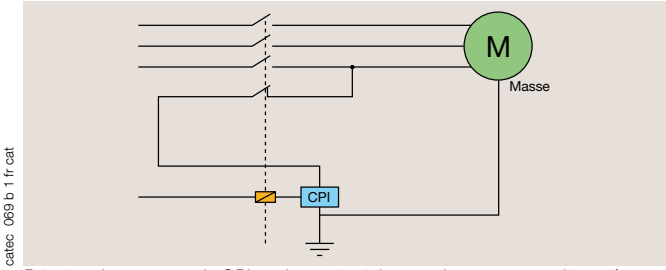
Surveillance de l'isolement de moteurs hors tension (exemple CPI SP 003)

La surveillance de l'isolement des moteurs hors tension constitue une mesure préventive quand les besoins de sécurité et de disponibilité des matériels présentent un caractère obligatoire :

- cycles critiques dans les process industriels,
- moteurs stratégiques ou gros moteurs.

Dans une installation dite de sécurité, un CPI doit obligatoirement (selon NF C 15100 § 561.2) assurer la surveillance de l'isolement des matériels :

- équipements de sécurité : moteurs de pompe d'incendie,
- installation de désenfumage.



Principe de montage : le CPI est hors circuit lorsque le moteur est alimenté.

Réglage du CPI de surveillance moteur hors tension

Le seuil d'alarme aura une valeur généralement supérieure à 1 MW qui peut être donnée par le premier seuil du CPI.

Le moteur ne doit plus être utilisé lorsque la résistance d'isolement est inférieure à 300 kW, dans ce cas le second seuil du CPI de type SP peut assurer la coupure préventive pour éviter de démarrer un moteur en défaut.

Les CPI de type SP sont spécialement étudiés pour le contrôle de l'isolement hors tension, ils constituent également un moyen de localisation rapide de défauts fugitifs grâce à leur fonction de mémorisation (exemples : moteurs d'aiguillages, grues portuaires à process rapide).

Surveillance installations et emplacements particuliers

- Dans les emplacements à risque d'explosion (BE3), selon la norme NF C 15100 § 424.8, il est admis d'utiliser un CPI pour surveiller l'isolement des circuits de sécurité alimentés par câble de type CR1. Cette surveillance peut se faire sous tension ou hors tension.
- Sur un chantier dont l'installation est en schéma IT selon le § 704.312.2, la surveillance de l'isolement par CPI est obligatoire.
- Pour assurer la protection contre les courants de défauts des dispositifs chauffants, l'impédance du CPI ainsi que les caractéristiques des DDR doivent être choisies de manière à assurer la coupure au premier défaut selon le § 753.4.1.

Surveillance de variateurs de vitesse

La surveillance de variateurs de vitesse doit prendre en compte les basses fréquences générées par ces derniers.

Seuls des CPI et des dispositifs de recherche ayant des principes de mesure utilisant des signaux codés ou différents de ceux générés par les variateurs, peuvent assurer correctement dans le temps leur fonction.

Groupes électrogènes mobiles

La protection des circuits alimentés par des groupes générateurs mobiles est souvent difficile à réaliser, soit parce que la réalisation d'une prise de terre n'est pas possible (groupes portables, secours d'urgence…), soit parce que la prise de terre ne peut être considérée comme valable (impossibilité de mesurer la résistance…).

Cette protection est souvent assurée par des DDR 30 mA qui présentent le désavantage des déclenchements intempestifs *(voir page 39)*. Dans les cas où la continuité d'exploitation est impérative pour des raisons de sécurité, on peut recourir à l'utilisation d'un CPI (voir fig. 1).

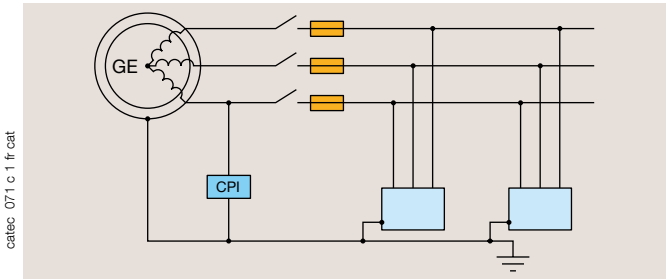


Fig. 1 : utilisation d'un CPI pour un circuit alimenté par groupe électrogène.

La masse du groupe n'est pas reliée au point milieu du générateur, mais au réseau constitué par les masses interconnectées des matériels. Le CPI s'intercale entre cette masse et une phase. Ce dispositif répond à l'article 39 du décret du 14.11.88 sur la séparation des circuits et au chapitre 413.2.3. de la norme NF C 15100. Les appareils classiques peuvent parfaitement convenir si leur mise en œuvre intègre les contraintes d'environnement (vibration, tropicalisation, résistance aux hydrocarbures…).

Surveillance par DLD des départs avec fortes perturbations

Basses fréquences

Le § 537.3 de la norme NF C 15100 recommande fortement l'utilisation de DLD de manière à localiser le défaut et ainsi minimiser le temps consacré à la recherche. La norme à considérer est la NF EN 61557-9. Les DLD SOCOMEC (DLD 460-12) sont compatibles avec cette norme. Ils présentent un dispositif de synchronisation par bus RS485 qui permet une localisation rapide, même sur des réseaux fortement perturbés. La localisation des défauts dans ce type de circuits est maîtrisée par la synchronisation des injections du courant de recherche et des analyses par les localisateurs.

Hautes fréquences

Le localisateur central dispose d'une fonction de validation des mesures en renouvelant à la demande les cycles d'analyse.

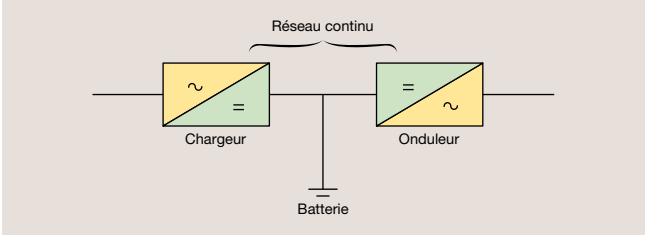
Forts courants homopolaires

Les tores DLD sont équipés d'origine de diodes d'écrêtement maîtrisant les éventuelles surtensions au secondaire.

Cas d'utilisation (suite)

Réseaux alimentés par ASI

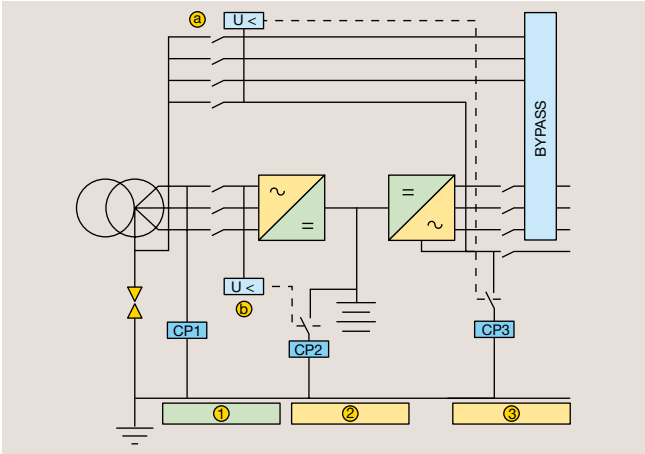
Les systèmes d'Alimentation Statique sans Interruption (ASI) comportent une partie « courant continu ». Il est exigé (UTE C 15402) de regrouper l'installation alimentée en courant continu dans un même local, de manière à assurer la protection par une équipotentialité des masses. Dans les cas où il n'est pas possible de respecter cette imposition, il est nécessaire de mettre en place un CPI qui surveille le bon isolement de l'installation alimentée en courant continu.



catec 068 b 1 fr cat

Autres critères généraux de la mise en œuvre des ASI

- Ne pas avoir en même temps deux CPI qui surveillent des réseaux interconnectés galvaniquement (notamment pendant les phases de Bypass).
- Prévoir la mise en place de CPI adapté en fonction du réseau surveillé.

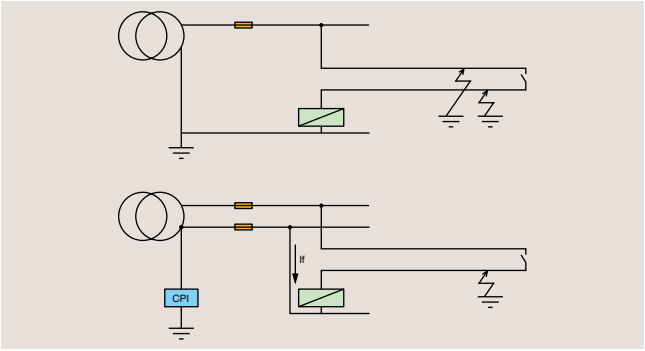


catec 166 b 1 fr cat

1. CPI qui peut surveiller des circuits avec des composantes continues et de fortes capacités de fuite.
2. CPI qui peut surveiller des circuits DC avec des défauts symétriques.
3. CPI qui peut surveiller des circuits AC nota (a) et (b), dispositif d'asservissement évitant la mise en parallèle de CPI sur des réseaux non isolés galvaniquement.

Surveillance des circuits de commande et de signalisation

Généralement alimentés par des transformateurs de séparation, ces circuits doivent assurer le non-enclenchement intempestif de circuits de puissance. Une solution classique proposée par les normes et règlements est de réaliser une distribution en schéma TN (point commun bobine à la terre). Une autre disposition répond à ces impératifs, en intégrant le non-raccordement à la terre du secondaire associé à la mise en place d'un CPI.
Cette solution prévient les risques de shuntage des organes de commande par un défaut d'isolement. Ce défaut pouvant être à la fois suffisant pour commander les actionneurs et trop faible pour déclencher la protection contre les surintensités.



catec 068 b 1 fr cat

Ces risques sont plus importants sur les nouveaux équipements pour deux principales raisons :
- les tensions d'utilisation sont faibles et ne favorisent pas l'affranchissement des défauts,
- les seuils de fonctionnement des auxiliaires de commande évoluent vers quelques dizaines de mA (microrelais, automates, optocoupleurs…).

Comparé à une solution de mise à la terre, l'usage d'un réseau isolé associé à un CPI présente le double avantage de ne pas déclencher au premier défaut, et d'assurer une surveillance préventive du vieillissement de l'ensemble.

Réglage du CPI

$$Zm = \frac{U}{ir}$$

U : tension d'alimentation maximale du circuit de commande.
ir : courant de retombée du plus petit relais.
Zm : impédance de réglage du CPI

Des systèmes de recherche de défaut types DLD 260 et portatifs DLD 3204 permettent d'effectuer la localisation préventive des défauts d'isolement, sans changer l'état des organes de commande ou de fonctionnement, grâce à un courant de recherche limité à 1 mA.

socomec Innovative Power Solutions

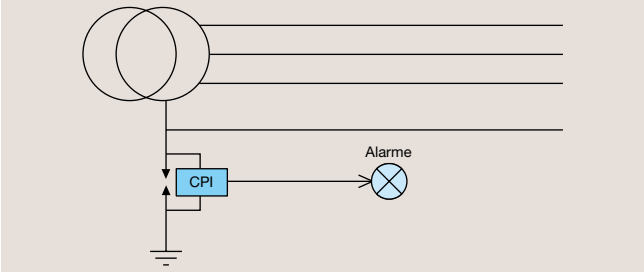
Raccordement des CPI

Cas général

Le raccordement d'un CPI se fait habituellement entre le point neutre du transformateur situé à l'origine de l'installation IT et la terre.

L'installation doit être complétée par un dispositif d'alarme et une protection contre les surtensions (si transformateur HT/BT).

L'emploi des CPI ISOM ne nécessite pas d'impédance de 1 kW en parallèle *(voir "Principe de fonctionnement", page 86)*.



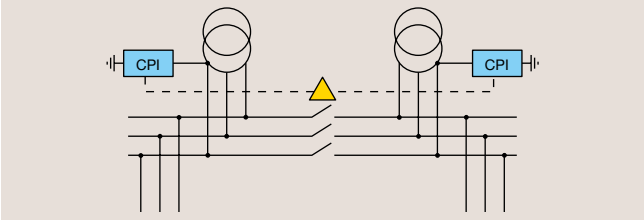
catec 072 b 1 fr cat

Alimentation par plusieurs transformateurs en parallèle

L'utilisation d'un CPI commun à deux sources n'est plus admise selon la norme NF C 15100 § 537.1.2.

Il est nécessaire d'installer un CPI par source et de veiller à ce qu'ils soient « interverrouillés » électriquement.

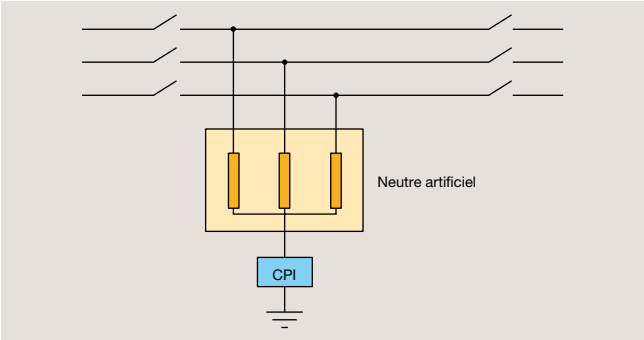
Les CPI SOCOMEC présentent à cet effet des entrées/sorties et/ou des bus (suivant modèle) de manière à inhiber l'un ou l'autre CPI dans ce mode de fonctionnement.



catec 076 d 1 fr cat

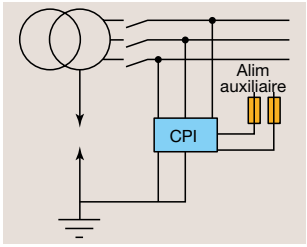
Surveillance d'un réseau hors tension

Utilisation d'un neutre artificiel.



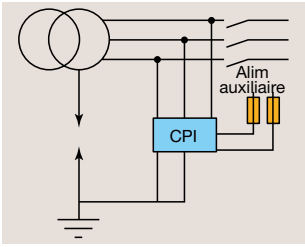
catec 075 b 1 fr cat

Raccordement et protection des circuits de mesure des CPI



catec 167 b 1 fr cat

Fig. 1 : branchement du CPI après l'interrupteur général.



catec 168 b 1 fr cat

Fig. 2 : branchement du CPI avant l'interrupteur général.

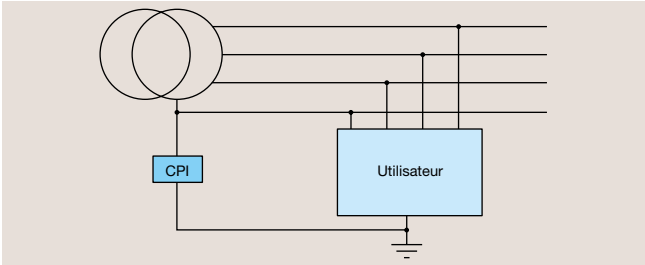
La protection contre les courts-circuits n'est pas autorisée par le texte de la norme NF C 15100 pour éviter un risque de non-mesure, mais suppose une mise en œuvre appropriée pour éviter les risques de courts-circuits (pas de trajet de conducteurs sur arêtes vives de jeux de barres et conducteurs surisolés).

L'auto-surveillance du raccordement au réseau de la plupart des CPI SOCOMEC rend la disposition précédente caduque.

- Le branchement du CPI avant l'interrupteur de couplage du transformateur, évite des asservissements entre CPI en cas de couplage de réseau (fig. 2).
- Le branchement du CPI après l'interrupteur de couplage du transformateur, permet la mesure préventive hors tension du réseau (signal de mesure présent sur les phases et ne nécessitant pas de rebouclage par les enroulements du transformateur) (fig. 1).

Accessibilité au neutre

Dans ce cas, le CPI est inséré entre le point neutre du transformateur et la prise de terre des masses la plus proche, ou à défaut la prise de terre du neutre.



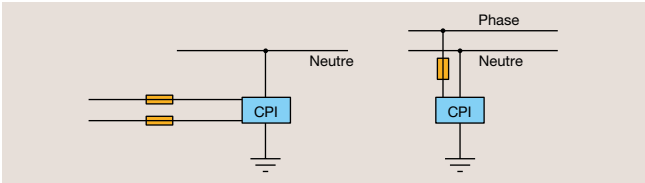
catec 073 c 1 fr cat

Raccordement des CPI : terre non accessible.

Ce type de raccordement évite également la mise en œuvre de protection sur le conducteur de mesure en CPI (la surintensité de type court-circuit étant peu probable).

Branchement de l'alimentation auxiliaire

Certains CPI sont dotés d'une alimentation auxiliaire. Celle-ci leur permet d'être insensibles aux variations de tension. Les entrées de l'alimentation auxiliaire doivent être protégées :



catec 073 c 1 fr cat

Limiteur de surtension

Généralités

Le limiteur de surtension (L.S.) répond aux articles 5 et 34 du décret du 14.11.88. Il a pour fonction l'écoulement à la terre des surtensions et des courants de défaut.

Protection surtension

Le LS assure l'écoulement à la terre des surtensions arrivant par le réseau HT.

Les amorçages accidentels entre les circuits HT et BT risquent de porter le potentiel de l'installation BT à une valeur dangereuse par rapport à la terre.

En cas de détection de ce type de défaut, le LS court-circuite définitivement le neutre et la terre, permettant ainsi de protéger le réseau BT. Après fonctionnement en limiteur de surintensité, il faut changer le LS, notamment en schéma IT, pour permettre au contrôleur d'isolement de reprendre correctement la surveillance.

Inductance de limitation de courant

Bien que les limiteurs puissent supporter des courants de défaut 40 kA / 0,2 sec., il est toujours préférable, dans les installations de grande puissance, de limiter à 10 ou 15 kA l'intensité afin de tenir compte de l'éventualité d'un 2e défaut sur le jeu de barres, auquel cas l'intensité de court-circuit phase neutre pourrait dépasser 20 kA. Cette limitation est réalisée à l'aide d'inductances spécifiques.

Niveau de protection effectif assuré par un limiteur de surtension

		Limiteur connecté entre neutre et terre		Limiteur connecté entre phase et terre	
Tension nominale de l'installation (V)	Contrainte de tension admissible U_0 + 1200 (V)	Tension nominale du limiteur (V)	Niveau de protection effectif (V)	Tension nominale du limiteur (V)	Niveau de protection effectif (V)
127/220	1330	250	880	250	970
230/400	1430	440	1330	(*)	(*)
400/690	1600	440	1500	(*)	(*)
580/1000	1780	440	1680	(*)	(*)

(*) Les limiteurs de tension normalisés ne permettent pas la protection en tension.

Tensions nominales d'amorçage à fréquence industrielle

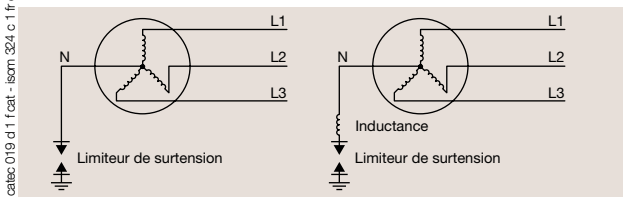
Tension nominale du limiteur (V)	Tension nominale de non-amorçage (V)	Tension nominale d'amorçage à 100 % (V)
250	400	750
440	700	1100

Les valeurs de tensions nominales d'amorçage des limiteurs de surtension sont conformes à la norme NF C 63-150.

Branchement du LS et de l'inductance

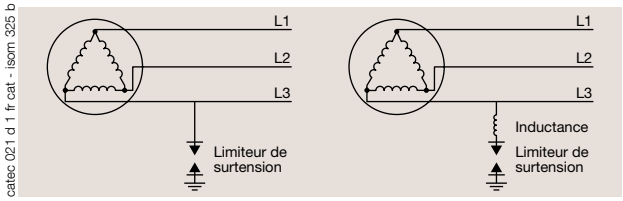
La borne terre doit être reliée soit :

- à l'ensemble interconnecté des masses et des éléments conducteurs de l'installation,
- à une prise de terre distante de valeur appropriée.



catec 019 d 1 fr cat - isom 324 c 1 fr cat

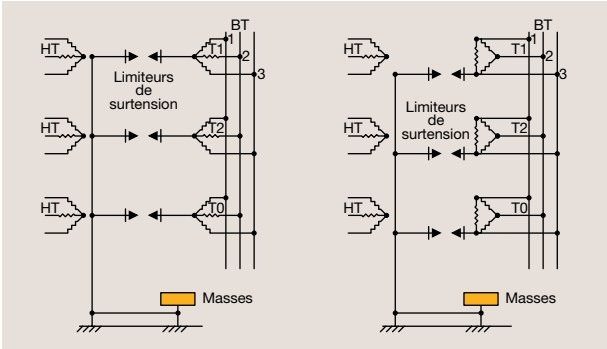
Un seul transformateur - neutre accessible.



catec 021 d 1 fr cat - isom 325 b 1 fr cat

Un seul transformateur - neutre non accessible.

Si plusieurs transformateurs sont en parallèle, il faut prévoir un LS pour chaque transformateur. Pour les installations à neutre non accessible, veiller à raccorder l'ensemble des LS sur la même phase.



catec 020 c 1 fr cat catec 022 c 1 fr cat

"n" transformateurs en parallèle - neutre accessible.

"n" transformateurs en parallèle - neutre non accessible.

socomec Innovative Power Solutions

Les parafoudres

Protection contre les surtensions transitoires

La bonne qualité de l'alimentation basse tension d'un site industriel ou tertiaire est vitale puisque commune à l'ensemble des équipements.

Une approche globale des phénomènes perturbateurs est donc extrêmement importante pour la fiabilité générale de l'installation.

Parmi l'ensemble des phénomènes pouvant perturber le fonctionnement des équipements raccordés aux réseaux, l'agression "surtensions" doit être prise en compte, car elle est à l'origine d'effets secondaires particulièrement perturbateurs, voire destructeurs.

Indépendamment des surtensions dues à la foudre, les surtensions industrielles sont également une réalité.

Une protection systématique contre les surtensions est donc recommandée pour tout type d'installation électrique, comme en témoignent de nombreuses destructions ou pannes récurrentes inexpliquées de matériels d'exploitation.

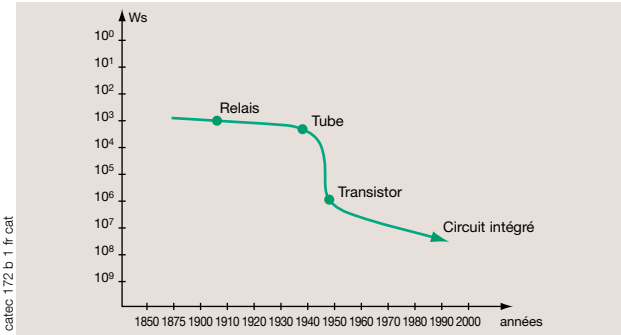
Contraintes d'exploitation et susceptibilités des équipements

La nécessité d'assurer une protection systématique s'explique avec les facteurs suivants :

- susceptibilité croissante des équipements,
- prolifération des équipements sensibles,
- tolérance minimum aux interruptions de service,
- coûts d'indisponibilité prohibitifs,
- sensibilisation accrue des compagnies d'assurances sur les phénomènes surtensions.

Effets sur les composants électroniques

La courbe ci-dessous montre la diminution croissante de la robustesse des matériels due à l'évolution des technologies : en conséquence, les problèmes de fiabilité sur perturbations transitoires ne vont qu'en augmentant.



Puissance admissible en fonction des technologies.

- Destruction (partielle ou totale) :
- des métallisations des composants,
- des triacs / thyristors,
- des circuits intégrés sensibles (MOSFET).
- Perturbations de fonctionnement : blocages de programmes, erreurs de transmission, arrêts d'exploitation.
- Vieillissement accéléré ou destruction différée : réduction importante de la durée de vie des composants.

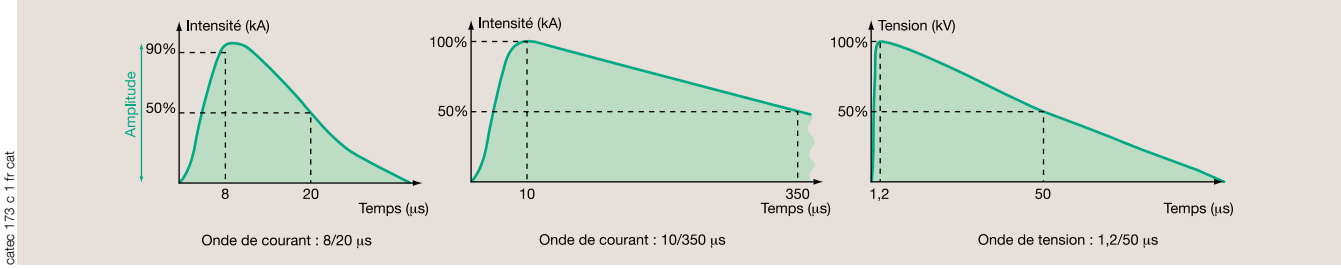
Surtensions transitoires

Les parafoudres SURGYS® sont des dispositifs destinés à assurer une protection des matériels et des installations électriques, en limitant les surtensions de type "transitoires".

Une surtension transitoire est une élévation de tension, généralement de forte amplitude (plusieurs kV) et de courte durée (quelques microsecondes à quelques millisecondes), par rapport à la tension nominale d'un réseau ou circuit électrique.

Protection contre les surtensions transitoires (suite)

Ondes normalisées



Définition des ondes de tension ou de courant transitoires.

Les surtensions transitoires dans les réseaux à basse tension et les circuits à courants faibles (réseaux de communication, boucles de courant, lignes téléphoniques), sont dues à différents événements et peuvent être classées principalement selon deux natures :

- surtensions industrielles (ou assimilées et liées à l'activité humaine),
- surtensions de foudre.

Surtensions industrielles transitoires

De plus en plus nombreuses dans les réseaux actuels, ces surtensions industrielles transitoires se décomposent en :

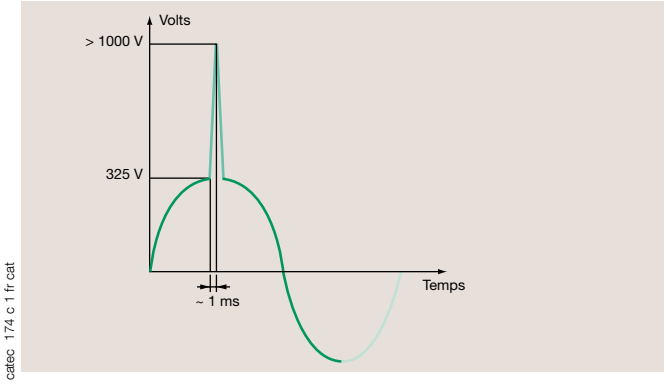
- surtensions de manœuvre et de commutation,
- surtensions d'interaction entre réseaux.

Origines des surtensions de manœuvre

Certaines surtensions sont dues à des actions intentionnelles sur le réseau de puissance, telles que la manœuvre d'une charge ou d'une capacité ou sont liées à des fonctionnements automatiques tels que :

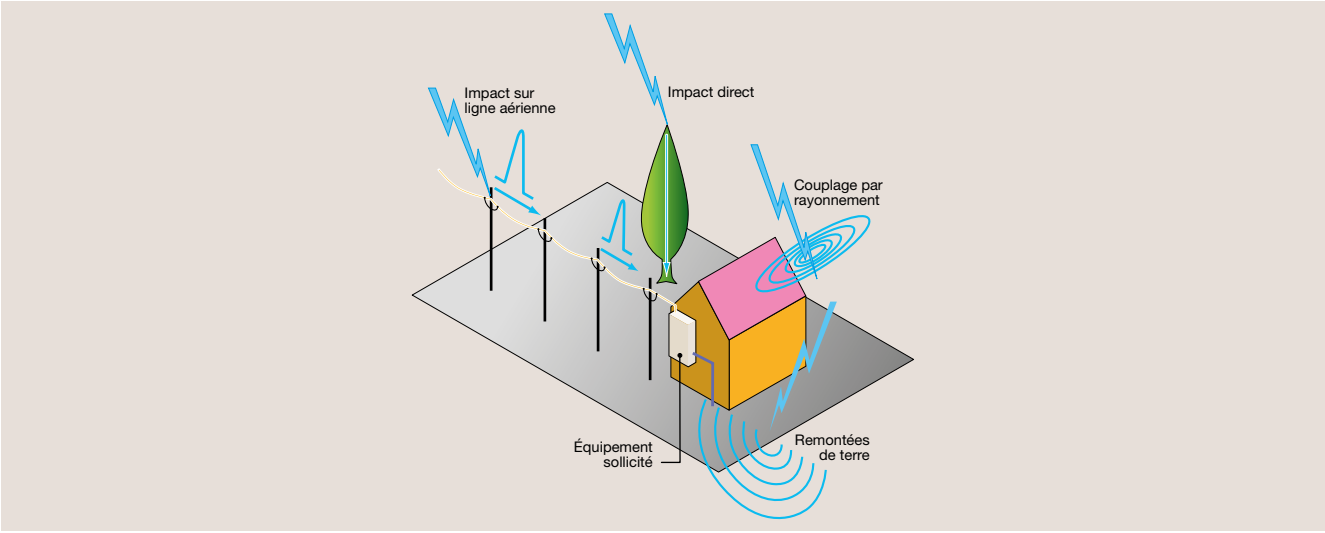
- ouverture/fermeture de circuit par les organes de manœuvre,
- phases de fonctionnement (démarrage, arrêts brusques, allumage d'appareils d'éclairage…),
- surtensions de commutation en électronique (électronique de puissance).

D'autres surtensions sont dues à des événements non intentionnels tels que des défauts dans l'installation, et à leur élimination via l'ouverture inopinée des organes de protection (dispositifs différentiels, fusibles et autres appareils de protection contre les surintensités).



Surtension suite à une fusion de fusible.

Surtensions dues à la foudre



catec 175 b 1 fr cat

Les surtensions d'origine atmosphérique sont issues de sources non contrôlées et leur sévérité au point d'utilisation est fonction de nombreux paramètres déterminés par le point d'impact de la foudre et la structure des réseaux.

L'impact de foudre sur une structure crée des destructions spectaculaires, mais néanmoins très localisées. La protection contre l'impact direct de foudre est assurée par des dispositifs "paratonnerres" et n'est pas traitée dans ce document.
Un impact de foudre génère des surtensions qui se propagent via tous types de canalisations électriques (réseaux d'énergie, liaisons téléphoniques, bus de communication…), de canalisations métalliques ou d'éléments conducteurs de longueurs significatives.
Les conséquences de la foudre, c'est-à-dire les surtensions induites sur les installations et les matériels, peuvent être perceptibles dans un rayon de 10 km.
Ces surtensions peuvent être classées selon leur point d'impact : coups de foudre directs, proches, ou lointains. Pour les coups de foudre directs, les surtensions sont dues à l'écoulement du courant de foudre dans la structure concernée et ses prises de terre. Pour les coups de foudre proches, les surtensions sont induites dans les boucles et en partie liées à l'élévation du potentiel de terre due à l'écoulement du courant de foudre.
Pour les coups de foudre lointains, les surtensions sont limitées à celles induites dans les boucles. Les apparitions des surtensions dues à la foudre et leurs caractéristiques sont de nature statistique et de nombreuses données sont encore incertaines.

Toutes les régions ne sont pas identiquement exposées et il existe généralement pour chaque pays une carte qui indique la densité de foudroiement (Ng = nombre annuel d'impacts de foudre au sol par km2, NK = niveau kéraunique, Ng = Nk/10).
En France, le nombre de coups de foudre qui frappent annuellement le sol est compris entre 1 et 2 millions. La moitié de ces coups de foudre touchant directement le sol ont une amplitude inférieure à 30 kA, et moins de 5 % dépassent 100 kA.

Protection contre les effets directs de la foudre

La protection passe par la tentative de maîtriser le point d'impact en attirant la foudre sur un ou plusieurs points précis (les paratonnerres), éloignés des emplacements à protéger, et qui écoulent les courants impulsionnels à la terre.
Plusieurs technologies de paratonnerres sont disponibles et peuvent être : à tiges, à cages maillées, à fils tendus, ou encore à dispositifs d'amorçage. La présence de paratonnerres sur une installation augmente le risque et l'amplitude des courants impulsionnels dans le réseau de terre. L'installation de parafoudres est donc nécessaire pour éviter d'augmenter les dégâts sur l'installation et les équipements.

Protection contre les effets indirects par parafoudres

Les parafoudres SURGYS®, en protégeant contre les surtensions transitoires, assurent également la protection contre les effets indirects de la foudre.

Conclusion

Indépendamment des considérations statistiques sur la foudre et des recommandations correspondantes des normes d'installation en évolution, la protection contre les surtensions par parafoudres s'impose aujourd'hui systématiquement pour tout type d'activité, industrielle ou tertiaire. Dans ces dernières, les équipements électriques et électroniques sont stratégiques et de valeurs significatives, et non pondérables comme peuvent l'être certains équipements domestiques.

Principales réglementations et normes (liste non exhaustive)

Avant-propos

Le présent cahier technique ne se substitue en aucun cas aux règlements et normes en vigueur, auxquels il convient de se référer dans tous les cas de figure.

Réglementations ou recommandations imposant l'installation d'une protection contre les effets de la foudre

Obligation stricte

- Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) soumises à autorisation (arrêté du 15 janvier 2008 et sa circulaire d'application du 24 avril 2008 relatifs à la protection contre la foudre de certaines installations classées)*
- Dépôts nouveaux d'engrais simples solides à base de nitrates (arrêté du 10 janvier 1994)
- Centres de tri de déchets ménagers prétriés, de déchets industriels et commerciaux assimilés (circulaire DPPR 95-007 du 5 janvier 1995)
- Installations spécialisées d'incinération et installations de co-incinération de certains déchets industriels spéciaux (arrêté du 10 octobre 1996)
- Installations de réfrigération employant l'ammoniac comme frigorigène (arrêté du 16 juillet 1997)
- Installations Nucléaires de Base (INB) (arrêté du 31 décembre 1999)
- Silos et installations de stockage de céréales, de graines, de produits alimentaires ou autres produits organiques dégageant des poussières inflammables (arrêté du 15 juin 2000)
- Lieux de culte : clochers, tours et minarets (arrêté du 16 septembre 1959)
- Immeubles de Grande Hauteur (IGH) (arrêtés du 24 novembre 1967 et du 18 octobre 1977)
- Établissements pyrotechniques (décret du 28 septembre 1979)
- Hôtels-restaurants d'altitude (arrêté du 23 octobre 1987)

** Cet arrêté mentionne clairement les obligations à respecter et les actions à mener :*
- procéder à une analyse du risque foudre pour identifier les équipements et installations dont une protection doit être assurée,
- réaliser en conséquence une étude technique,
- protéger l'installation en conformité avec l'étude,
- procéder aux vérifications des protections foudre mises en œuvre,
- tout en étant qualifié par un organisme compétent dans le domaine.

Lieux pour lesquels des dispositions de protection sont conseillées

- Salles de spectacle de type multiplex
- Structures métalliques ouvertes recevant du public en zone touristique
- Rassemblement de quelque nature que ce soit en plein air, recevant un public important et se déroulant sur plusieurs jours
- Maisons de retraite (circulaires des 29 janvier 1965 et 1er juillet 1965)
- Établissements militaires divers (norme MIL/STD/1 957A par exemple)
- Entrepôts couverts de matières combustibles, toxiques ou explosives (circulaire du 4 février 1987 et arrêté type n° 183 ter)
- Ateliers d'extraction d'huile (instruction du 22 juin 1988)
- Industries pétrolières (guide GESIP 94/02)
- Industries chimiques (document UIC de juin 1991)

socomec Innovative Power Solutions

Principales réglementations et normes (liste non exhaustive) (suite)

Normes relatives aux parafoudres

Normes d'installation

Jusqu'en 2002, l'emploi des parafoudres pour la protection des matériels connectés au réseau basse tension n'était pas obligatoire, seules certaines recommandation pouvaient être énoncées.

Norme NF C 15100 (décembre 2002)

- Section 4-443 "Surtensions d'origine atmosphérique ou dues aux manœuvres". Cette section définit les niveaux d'obligation et d'utilisation des parafoudres.
- Section 7-771.443 : "Protections contre les surtensions d'origine atmosphérique (parafoudres)". Section similaire à la section 4-443, mais applicable aux locaux d'habitation.
- Section 5-534 : "Dispositifs de protection contre les perturbations de tension" : contient les règles générales de sélection et de mise en œuvre des parafoudres Basse Tension.

Guide d'utilisation UTE C 15443

Ce guide donne des informations plus complètes pour le choix et la mise en œuvre des parafoudres, et introduit une méthode d'évaluation de risque permettant de déterminer un niveau de recommandation pour les parafoudres. Ce guide contient aussi une section sur les parafoudres pour réseaux de communication.

Guide installations photovoltaïques UTE C 15712

Ce guide précise, au-delà de la NF C 15100, les conditions de protection et d'installation des générateurs photovoltaïques.
Sont stipulés entre autres, les conseils pratiques de choix et de mise en œuvre des produits parafoudre.

Obligation et recommandation d'emploi des parafoudres

Les sections 4-443 et 7-771.443 de la NF C 15100 définissent les situations déterminant l'utilisation obligatoire des parafoudres :

1 - L'installation est équipée de paratonnerre : parafoudre obligatoire, à l'origine de l'installation. Il doit être de type 1 avec un courant I_{imp} de 12,5 kA minimum.

2 - L'installation est alimentée par un réseau Basse Tension aérien et le niveau kéraunique local Nk est supérieur à 25 (ou Ng supérieur à 2,5) : parafoudre obligatoire, à l'origine de l'installation. Il doit être de type 2 avec un courant I_n de 5 kA minimum.

3 - L'installation est alimentée par un réseau Basse Tension aérien et le niveau kéraunique local Nk est inférieur à 25 (ou Ng inférieur à 2,5) : parafoudre non obligatoire.*

4 - L'installation est alimentée par un réseau Basse Tension souterrain : parafoudre non obligatoire.*

(*) Néanmoins la norme précise que : "…une protection contre les surtensions peut être nécessaire dans les situations où un plus haut niveau de fiabilité ou un plus haut risque est attendu".

Sections 443 et 534 de la NF C 15100

Elles sont basées sur les concepts suivants :

- les parafoudres doivent être installés selon les règles de l'art. Ils doivent être coordonnés entre eux et avec les appareillages de protection de l'installation,
- les parafoudres doivent être conformes à la NF EN 61643-11 afin de garantir plus particulièrement une fin de vie sans risque pour les installations et les personnes.

Dans le cas d'installations industrielles complexes ou d'installations particulièrement exposées aux risques de foudroiement, des mesures complémentaires peuvent s'imposer.
Les installations classées, soumises à autorisation (ICPE) relevant de l'arrêté du 15 janvier 2008 et de la circulaire d'application du 24 avril 2008, doivent faire l'objet d'une étude préalable du risque foudre.

Extraits du guide UTE C 15443

Ce guide UTE C 15443 stipule les règles permettant le choix et l'installation des parafoudres.

Avant-propos

"Les appareils électriques comportant des composants électroniques sont aujourd'hui largement utilisés à la fois dans les installations industrielles tertiaires et domestiques. De plus, un grand nombre de ces appareils restent en état de veille permanente et assurent des fonctions de contrôle ou de sécurité. La tenue réduite de ces appareils aux surtensions a donné une importance accrue à la protection des installations électriques à basse tension, et notamment à l'utilisation des parafoudres pour leur protection contre les surtensions conduites par la foudre et transmises à travers le réseau électrique."

Technologie

Le parafoudre : terminologie

Le vocable “parafoudre”, même s’il est étymologiquement confus, définit l’ensemble des dispositifs de protection des équipements contre les surtensions transitoires, qu’elles soient d’origine foudre ou provenant des réseaux (surtensions de manœuvre).
Les parafoudres sont adaptés aux différents types de réseaux filaires pénétrant dans les installations :

- réseaux d’énergie,
- lignes et réseaux de télécommunications,
- réseaux informatiques,
- radiocommunications.

Quelques définitions

Courant de suite

Courant fourni par le réseau d’énergie électrique et s’écoulant dans le parafoudre après passage du courant de décharge. Ne concerne que les parafoudres ayant un courant de suite (par exemple, les parafoudres avec éclateurs à air ou à gaz).

Courant de fuite

Courant électrique qui, dans des conditions normales de fonctionnement, s’écoule à la terre ou dans des éléments conducteurs.

Surtension temporaire (U_T)

Valeur maximale efficace acceptable par le parafoudre et correspondant à une surtension à fréquence industrielle due à des défauts sur le réseau BT.

Niveau de protection (U_P)

Tension crête aux bornes du parafoudre dans les conditions normales de son fonctionnement. Cette performance de protection du parafoudre doit être inférieure à la tension de tenue aux chocs du matériel à protéger.

Tension maximale en circuit ouvert (U_{oc})

Tension maximale de l’onde combinée acceptable (maxi = 20 kV / uniquement parafoudre de type 3).

Tenue aux courts-circuits (généralement I_{cc})

Courant maximal de court-circuit que le parafoudre peut supporter.

Courant nominal de décharge (I_n)

Valeur crête d’un courant de forme d’onde 8 / 20 s’écoulant dans le parafoudre. Ce courant peut passer plusieurs fois sans l’endommager. Cette caractéristique est un critère de choix pour les parafoudres de type 2.

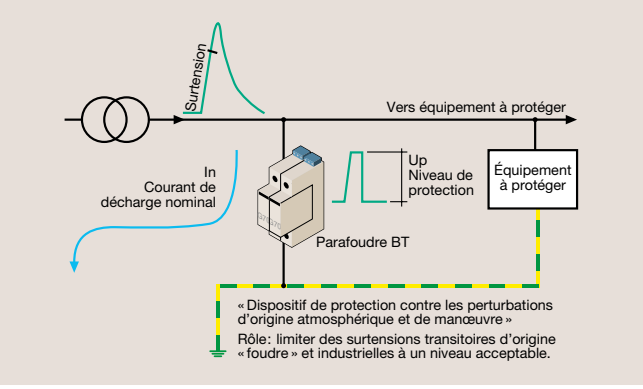
Courant de choc (I_{imp})

Généralement de forme 10 / 350, pour lequel sont testés les parafoudres de type 1.

Courant maximal de décharge (I_{max})

Valeur crête de courant d’onde 8 / 20 que peut écouler le parafoudre de type 2 sans modification de ses caractéristiques et sans assurer nécessairement le niveau de protection U_p et donc la protection du matériel à protéger. Cette valeur est une conséquence du choix de I_n et est donnée dans la fiche technique du constructeur.

Principe de fonctionnement et rôle des parafoudres

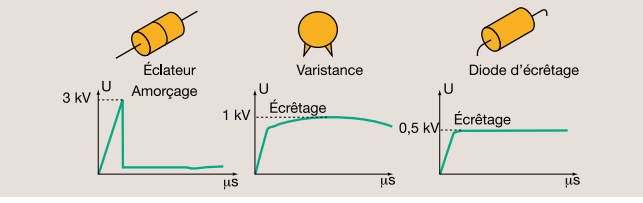


Technologie des parafoudres

Afin de répondre efficacement aux contraintes imposées par ces différents réseaux, plusieurs technologies de parafoudres sont disponibles.
Ainsi, les parafoudres peuvent comporter différents composants internes :

- les éclateurs,
- les varistances,
- les diodes d’écrêtage.

Ces composants ont pour but de limiter rapidement les tensions apparaissant à leurs bornes : cette fonction est obtenue par modification brutale de leur impédance à un seuil de tension déterminé.



Fonctionnement des composants “parafoudre”.

Deux comportements sont possibles :

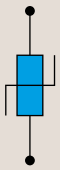
- **Amorçage** : le composant passe de l’état de très haute impédance au quasi court-circuit, c’est le cas des éclateurs,
- **Écrêtage** : après un seuil de tension déterminé, le composant, passant en faible impédance, limite la tension à ses bornes (varistances et diodes d’écrêtage).

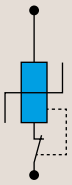
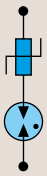
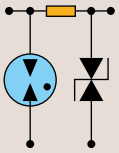
socomec Innovative Power Solutions

Technologie (suite)

Principales technologies

Ces familles comportent plusieurs variantes et sont susceptibles d'être associées entre elles afin de procurer des performances optimisées. Ci-dessous, la description des principales technologies (ou des associations de technologies) utilisées.

Éclateur à air	Éclateur encapsulé	Éclateur à gaz	Varistance
			
Dispositif constitué, généralement, de deux électrodes placées face à face et entre lesquelles se produit un amorçage (suivi d'un courant de suite) dès qu'une surtension atteint une certaine valeur. Sur des réseaux d'énergie, afin d'interrompre rapidement le courant de suite, le principe du soufflage d'arc est utilisé, ce qui a pour conséquence finale une expulsion, vers l'extérieur, de gaz chauds : ce comportement nécessite une mise en œuvre particulière.	Éclateur à air où l'extinction du courant de suite s'effectue sans expulsion de gaz : ceci se fait, généralement, au détriment de la capacité de coupure du courant de suite.	Éclateur dans une enveloppe hermétique, remplie d'un mélange de gaz rare sous une pression contrôlée. Ce composant est généralement utilisé et bien adapté à la protection des réseaux de télécommunications. Ce composant est notamment caractérisé par son très faible courant de fuite.	Composant non linéaire (résistance variable en fonction de la tension) à base d'oxyde de zinc (ZnO) permettant de limiter la tension à ses bornes : ce fonctionnement en écrêtage permet d'éviter le courant de suite, ce qui rend ce composant particulièrement adapté à la protection des réseaux d'énergie (HT et BT).

Varistance à déconnecteur thermique	Éclateur / Varistance	Diode d'écrêtage	Éclateur / Diode d'écrêtage
			
Varistance équipée d'un dispositif auxiliaire destiné à déconnecter le composant du réseau en cas d'échauffement excessif : ce comportement est indispensable pour garantir une fin de vie contrôlée des varistances raccordées sur le réseau électrique.	Association en série de composants, conçue pour bénéficier des avantages des deux technologies : pas de courant de fuite et faible Up (éclateur) et pas de courant de suite (varistance).	Diode de type Zener (limitation de tension) dotée d'une structure particulière pour optimiser son comportement en écrêtage sur des surtensions transitoires. Ce composant est caractérisé par un temps de réponse particulièrement rapide.	Association en parallèle d'éclateur(s) à gaz et de diode(s) d'écrêtage ; ce qui permet de bénéficier de la capacité d'écoulement de l'éclateur et du temps de réponse rapide de la diode. Une telle association nécessite un élément de découplage en série afin que la coordination de fonctionnement des composants de protection soit assurée.

Technologies de la gamme SURGYS®

Type	Varistance	Éclateur à gaz	Diode d'écrêtage
G140-F	•		
G40-FE	•	•	
G70	•		
D40	•		
E10	•		
RS-2		•	•
mA-2		•	•
TEL-2		•	•
COAX		•	

Constitution interne

Dispositifs de déconnexion

Conformément aux normes “Parafoudre BT”, les parafoudres SURGYS® sont équipés de sécurités thermiques internes qui déconnecteront la fonction protection du réseau en cas de fonctionnement anormal (échauffement excessif dû à un dépassement des caractéristiques du produit). Dans ce cas, l’utilisateur sera averti du défaut par le basculement au rouge de l’indicateur en face avant du module défectueux, qu’il conviendra alors de remplacer. De plus, pour supporter les défauts de type courants de courts-circuits ou des surtensions temporaires, les parafoudres doivent impérativement être raccordés au réseau basse tension par des dispositifs de déconnexion extérieurs et spécifiques aux parafoudres.

Cette déconnexion extérieure est à réaliser à l’aide de fusibles Socomec adaptés et indiqués dans les pages produits correspondantes du présent catalogue.

Le montage des fusibles sous interrupteurs-fusibles Socomec améliore la sécurité et facilite, en exploitation, certaines interventions comme par exemple des mesures d’isolement.

Télésignalisation

La majorité des parafoudres SURGYS® est équipée d’un contact de “télésignalisation”. Cette fonction, qui autorise le contrôle à distance de l’état du parafoudre, est particulièrement intéressante dans les cas où les produits sont difficilement accessibles ou sans surveillance.

Le système est constitué d’un contact auxiliaire type inverseur actionné en cas de modification d’état du module de protection.

L’exploitant peut ainsi vérifier en permanence :

- le bon fonctionnement des parafoudres,
- la présence des modules enfichables,
- la fin de vie (déconnexion) des parafoudres.

Cette fonction de “télésignalisation” permet donc de choisir un système de signalisation (indicateur de fonctionnement ou de défaut), adapté à son installation via différents moyens tels que voyant, buzzer, automatismes, transmissions.

Principales caractéristiques des parafoudres

Définition des caractéristiques

Les principaux paramètres définis par les normes “parafoudres” vont permettre à l’utilisateur du produit de déterminer les performances et l’utilisation du parafoudre :

- tension maximale de régime permanent (U_c) : tension maximale acceptable par le parafoudre,
- courant nominal de décharge (I_n) : courant impulsionnel de forme 8/20 µs pouvant être écoulé 15 fois, sans altération, par le parafoudre lors de l’essai de fonctionnement,
- courant maximal de décharge (I_{max}) : courant impulsionnel de forme 8/20 µs pouvant être écoulé une fois, sans altération, par le parafoudre de type 2,
- courant de choc (I_{imp}) : courant impulsionnel de forme 10/350 µs pouvant être écoulé une fois, sans altération par le parafoudre de type 1,
- niveau de protection (U_p) : tension qui caractérise l’efficacité du parafoudre. Cette valeur est supérieure à la tension résiduelle (U_{res}) apparaissant aux bornes du parafoudre lors du passage du courant nominal de décharge (I_n),
- courant de court-circuit interne admissible (I_{cc}) : valeur maximale de courant 50 Hz pouvant transiter dans le parafoudre lors d’un défaut de celui-ci.

Ces différents paramètres vont donc permettre de dimensionner le parafoudre par rapport au réseau sur lequel il sera connecté (U_c et I_{cc}), par rapport au risque (I_n et I_{max}) et enfin, par rapport à l’efficacité souhaitée et/ou au type d’équipement à protéger (U_p).

Vérification de U_c

Suivant la norme NF C 15100 section 534, la tension maximale de fonctionnement U_c du parafoudre connecté en mode commun doit être sélectionnée comme suit :

- en régime TT ou TN : $U_c > 1{,}1 \times U_n$,
- en régime IT : $U_c > V3 \times U_n$.

Les parafoudres SURGYS® étant compatibles avec tous les régimes de neutre, leur tension U_c en mode commun est de 440 VAC.

Vérification de U_p, I_n, I_{max} et I_{imp}

Le niveau de protection U_p doit être choisi le plus bas possible, tout en respectant la tension U_c imposée.

Les courants de décharge I_n, I_{max} et I_{imp} sont choisis en fonction du risque : voir guide de choix du catalogue parafoudres SURGYS®.

socomec Innovative Power Solutions

Choix et implantation des parafoudres de tête

Les types de parafoudres Basse Tension

Les parafoudres sont définis par la norme NF EN 61643-11 en 2 types de produits, correspondant à des classes d'essai. Ces contraintes spécifiques dépendent essentiellement de la localisation du parafoudre dans l'installation et des conditions extérieures.

Parafoudres de type 1

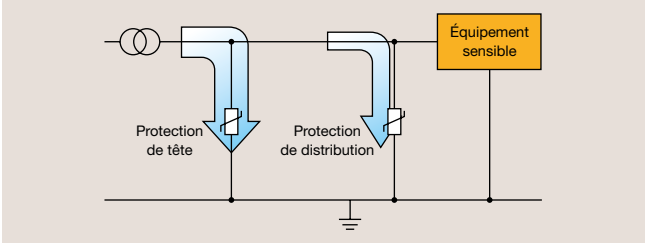
Ces dispositifs sont conçus pour être utilisés sur des installations où le risque "Foudre" est très important, notamment en cas de présence de paratonnerre sur le site. La norme NF EN 61643-11 impose que ces parafoudres soient soumis aux essais de Classe 1, caractérisés par des injections d'ondes de courant de type 10/350 µs (I_{imp}), représentatives du courant de foudre généré lors d'un impact direct. Ces parafoudres devront donc être particulièrement puissants pour écouler cette onde très énergétique.

Parafoudres de type 2

Destinés à être installés en tête d'installation, généralement au niveau du TGBT, sur des sites où le risque d'impact direct est considéré comme inexistant, les parafoudres "Primaires" de type 2 protègent l'ensemble de l'installation. Ces parafoudres sont soumis à des tests en onde de courant 8/20 µs (I_{max} et I_n). Si les matériels à protéger sont éloignés de l'origine de l'installation, des parafoudres de type 2 devront être installés à proximité de ces matériels
(voir paragraphe "Coordination entre parafoudres de tête et de distribution", page 104).

Parafoudres de tête d'installation BT

Les parafoudres de la gamme SURGYS® se déclinent en parafoudres de tête et en parafoudres de distribution.
Les parafoudres de tête protègent l'ensemble d'une installation BT en dérivant la plus grande partie des courants, engendrant les surtensions directement à la terre.
Les parafoudres de distribution assurent la protection des équipements en écoulant l'énergie restante à la terre.



catec 209 b 1 fr cat

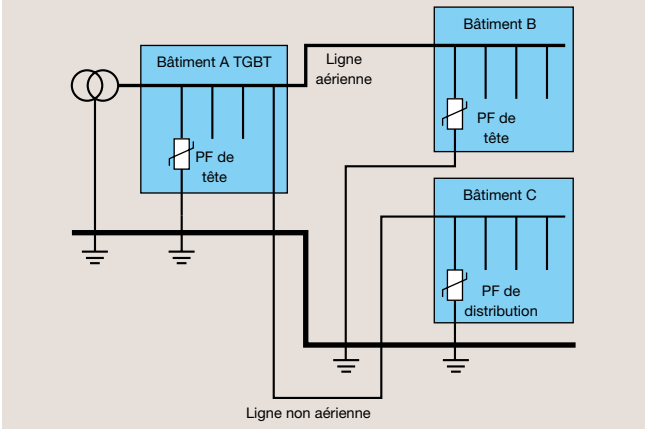
Choix du parafoudre de tête

Dans tous les cas, les parafoudres de tête sont à installer immédiatement en aval de l'appareil général de commande (AGCP).
Les courants de décharge que ces parafoudres doivent pouvoir écouler en cas de surtensions peuvent être très importants et leur choix se fait généralement en vérifiant que ces courants de décharges (I_n, I_{max}, I_{imp}) sont adaptés aux évaluations de risques théoriques pratiqués, par exemple, par certains bureaux d'études spécialisés.
Le tableau de sélection suivant donne des indications pratiques permettant de sélectionner directement le parafoudre de tête, compte tenu des performances des SURGYS®.

Exemples d'installation type		Parafoudre de tête SURGYS®
• Présence de paratonnerre • Sites exposés (altitude…) • Plan d'eau • Lignes THT • Bâtiment avec structures métalliques étendues, ou à proximité de cheminées ou avec des éléments à effet de pointe	Type 1	SURGYS G140F
• Présence de paratonnerre et TGBT de longueur < 2 m et équipé de matériel sensible	Type 1	SURGYS G40-FE
• Arrivée enterrée • Site non exposé • Surtensions de manœuvre	Type 2	SURGYS G70

Implantation des parafoudres de tête d'installation

Les parafoudres de tête sont placés :
- au niveau d'un TGBT (fig. 1),
- au niveau du tableau électrique général du bâtiment, en cas de ligne aérienne exposée à la foudre.



catec 210 b 1 fr cat

Fig. 1 : choix du parafoudre de tête ou de distribution.

Choix et implantation des parafoudres de tête (suite)

Présence de paratonnerre(s) et parafoudres de tête

La présence de paratonnerre (structure destinée à capter la foudre et à écouler son courant par un chemin privilégié à la terre), sur ou à proximité d'une installation, va contribuer à augmenter l'amplitude des courants impulsionnels : en cas d'impact direct sur le paratonnerre, le potentiel de terre va subir une élévation très importante et une partie du courant de foudre va être dérivée dans le réseau BT, en transitant par le parafoudre.

De ce fait, l'utilisation simultanée de parafoudres de type 1 avec les paratonnerres est obligatoire dans le cadre de la norme NF C 15100. La connexion au réseau de terre est à prévoir par un conducteur de section minimale 10 mm^2.

Coordination avec l'AGCP

L'Appareil Général de Commande et de Protection (AGCP) de l'installation (disjoncteur de branchement) est toujours placé en amont du parafoudre. Il doit être coordonné au parafoudre pour limiter les déclenchements intempestifs lors du fonctionnement de celui-ci. En schéma TT, les mesures d'amélioration passent essentiellement par le choix du dispositif différentiel général de type S (sélectif) qui permet d'écouler plus de 3 kA en onde 8/20 µs sans déclencher.

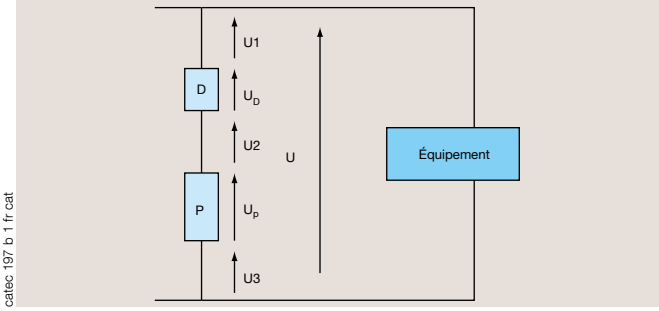
En fin de vie éventuelle du parafoudre, on doit privilégier la continuité de service de l'installation, c'est-à-dire essayer d'assurer la sélectivité entre l'AGCP et le déconnecteur associé du parafoudre.

Note : la protection du point "neutre" éventuel est à prévoir. La détection de fusion du fusible du neutre n'a pas obligation d'entraîner la coupure des phases correspondantes car dans le cas particulier d'un parafoudre, la "charge" est équilibrée et ne risque pas de générer une surtension fonctionnelle en cas de disparition du neutre.

Qualité des raccordements des parafoudres

La qualité de raccordement du parafoudre au réseau est primordiale pour garantir l'efficacité de la fonction protection.

Lors de l'écoulement du courant de décharge, l'ensemble de la branche parallèle sur laquelle est raccordé le parafoudre est sollicité : la tension résiduelle (U) aux bornes du matériel à protéger sera égale à la somme de la tension résiduelle du parafoudre (U_p) + la chute de tension (U1 + U2 + U3) dans les conducteurs de raccordement + la chute de tension (U_D) dans le dispositif de déconnexion associé.



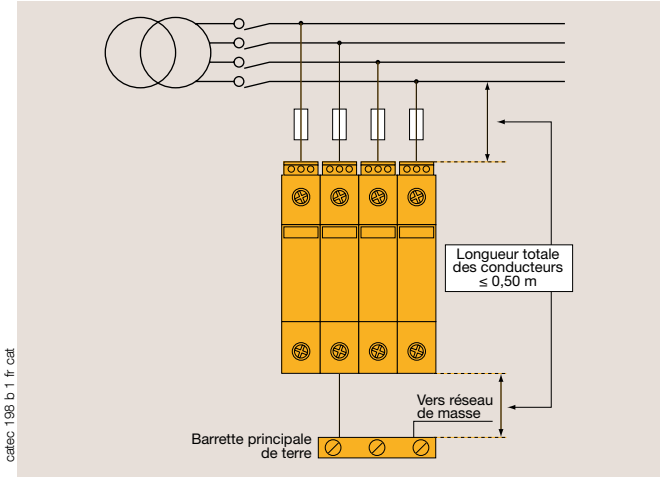
Tension aux bornes de l'équipement.

Sections de raccordement

Les conducteurs de terre des parafoudres doivent avoir une section minimale de 4 mm^2 534.1.3.4 de la norme NF C 15100. En pratique, la même section est retenue pour les conducteurs de connexion au réseau.

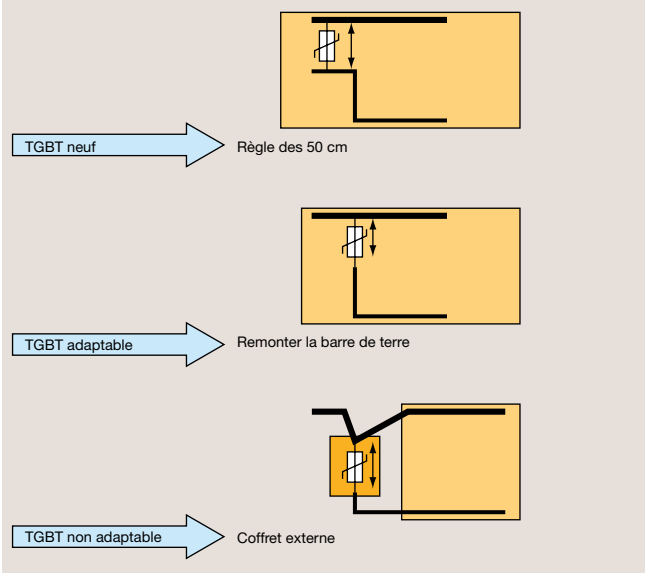
Règle des 50 cm

Afin de diminuer la tension (U), il conviendra de réduire au minimum les longueurs des conducteurs de raccordement, la valeur conseillée de (L1 + L2 + L3) étant de 0,50 m maximum.



Distance SURGYS®/TGBT.

Mise en œuvre des parafoudres de tête



Mise en œuvre selon les conditions d'installation.

socomec Innovative Power Solutions

Protection d'équipements et parafoudres de distribution

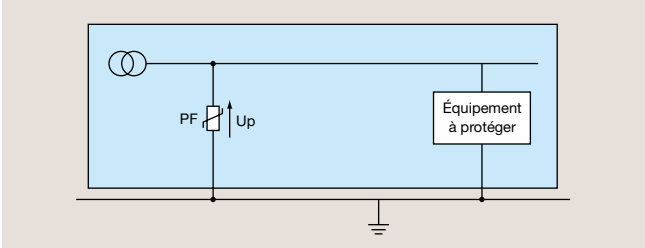
Protection d'équipements et choix du parafoudre

Pour assurer une protection efficace des équipements contre les surtensions, un parafoudre SURGYS® de distribution doit être installé au plus près des équipements à protéger.

Les parafoudres de distribution installés au plus près des équipements à protéger doivent avoir un niveau de protection coordonné à la tenue aux chocs du matériel à protéger :

U_p du parafoudre < tension assignée de tenue aux chocs de l'équipement à protéger*.

** Sous réserve d'une mise en œuvre correcte (voir page précédente).*



catec 212 b 1 fr cat

Tenue diélectrique des équipements

Les différents types de matériels sont classés en quatre catégories. Ils correspondent à quatre niveaux de tenue aux chocs de surtension acceptable pour les équipements.

	Exemples de matériels avec une tenue aux chocs			
	très élevée	élevée	normale	réduite
Réseaux triphasés	• compteurs tarifaires • appareils de télémesure	• appareils de distribution : disjoncteurs interrupteurs • matériels industriels	• appareils électro-domestiques • outils portatifs	• matériels avec circuits électroniques
Tension nominale de l'installation (V)	Tension assignée de tenue aux chocs (kV)			
230/440	6	4	2,5	1,5
400/690/1000	8	6	4	2,5

Mode commun et mode différentiel

Mode commun

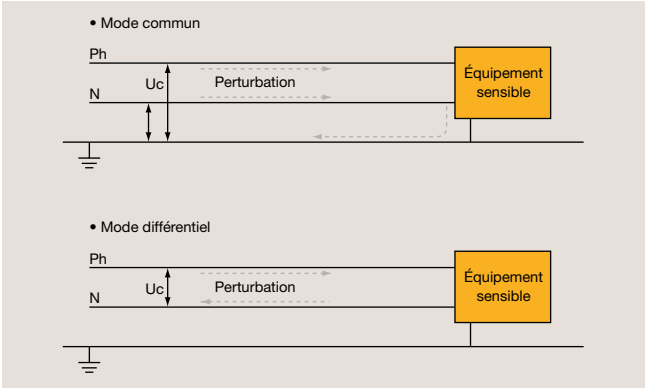
Les surtensions apparaissent entre chaque conducteur actif et la masse. Les courants vont dans la même direction dans les deux lignes et retournent à la terre par la connexion de mise à la terre (Ph/T, N/T).

Les surtensions en mode commun sont dangereuses en raison du risque de claquage diélectrique.

Mode différentiel

Les surtensions apparaissent entre conducteurs actifs (Ph/N, Ph/Ph). Le courant, via la phase, traverse le récepteur et se reboucle par le neutre.

Ces surtensions sont particulièrement dangereuses pour les équipements électroniques.



catec 213 b 1 fr cat

Protection en mode commun

En règle générale, les parafoudres se connectent entre conducteurs actifs (phases et neutre) et la barrette générale de terre du tableau électrique ou le conducteur général de protection approprié (PE).

Les parafoudres de distribution SURGYS® D40 et E10 assurent la protection en mode commun des équipements.

Ce mode de protection convient généralement pour les schémas de liaisons à la terre suivants :

- réseau TNC,
- réseau IT à masses reliées.

Protection d'équipements et parafoudres de distribution (suite)

Protection en mode différentiel

Pour protéger contre les surtensions de mode différentiel, c'est-à-dire pouvant apparaître entre phases et neutre, deux solutions sont possibles :

- utiliser des parafoudres unipolaires supplémentaires à ceux utilisés pour le mode commun et les raccorder entre chaque phase et le neutre,
- utiliser des parafoudres possédant une protection en mode différentiel intégré tels les SURGYS® type D40 MC/MD ou E10 MC/MD.

Ce mode de protection est notamment recommandé dans les cas suivants :

Réseau TT

Des surtensions en mode différentiel peuvent apparaître du fait de la dissymétrie possible entre les prises de terre du neutre et les mesures BT ; en particulier dans le cas où la résistance de la prise de terre de l'usager serait élevée (> 100 ohms) par rapport à la prise de terre du point neutre.

Réseau TNS

Des surtensions en mode différentiel peuvent apparaître du fait de la longueur de câblage entre le transformateur et la tête d'installation BT.

Coordination entre parafoudres de tête et de distribution

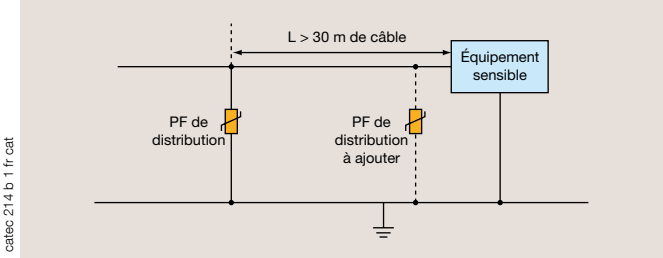
Afin que chaque parafoudre assure sa fonction respective d'écoulement, le parafoudre de tête évacue la plus grande partie de l'énergie, alors que le parafoudre de distribution va assurer l'écrêtage en tension au plus près de l'utilisation à protéger.

Cette coordination n'est possible que si la répartition d'énergie entre les deux parafoudres est contrôlée à travers une impédance. Cette impédance peut être assurée soit par 10 m de canalisation, soit par une inductance de couplage L1 pour les distances inférieures.

Distance parafoudre et équipement

La longueur du conducteur entre le parafoudre et le matériel à protéger influe sur l'efficacité de protection. En effet, une longueur trop importante va générer des oscillations (réflexions de l'onde de surtension incidente), ce qui aura pour conséquence, dans le pire des cas, de doubler le niveau de protection U_p aux bornes du matériel à protéger.

La recommandation est donc de maintenir une longueur inférieure à 30 m entre parafoudre et matériel, ou de recourir à la coordination de parafoudres (voir paragraphe "Coordination entre parafoudres").



Cas d'un équipement éloigné.

Règles et choix des parafoudres

À l'instar des accès basse tension, les entrées "courants faibles" (Télécom, lignes modem, transmissions de données, réseaux informatiques, boucles de courants…) des équipements sont extrêmement sensibles aux surtensions transitoires. La susceptibilité très élevée des matériels connectés à une ligne "courant faible" est due à la conjonction de deux phénomènes :

- tenue en "claquage" des circuits nettement plus faible que celle des circuits basse tension,
- surtension supplémentaire apparaissant entre circuits à courants faibles et circuits basse tension, notamment par couplage.

Afin de garantir une fiabilité de fonctionnement aux systèmes, il est donc vital de protéger aussi, en plus de l'accès énergie, ce type de connexions.

Normes parafoudres courants faibles

Norme "Produit"

Norme NF EN 61643-21 : ce document définit des essais à appliquer aux parafoudres courants faibles.

Les paramètres testés sont similaires à ceux des parafoudres BT, à l'exclusion des essais typiques des réseaux BT 50 Hz (courant de courts-circuits, surtensions temporaires…). Par contre, des tests supplémentaires en qualité de transmission (atténuation…) sont requis.

Norme "Sélection et Installation"

Norme CEI 61643-22 : information sur la technologie des parafoudres pour courants faibles, sur les méthodes de sélection et les recommandations d'installation.

Les parafoudres SURGYS® pour courants faibles

SOCOMEC propose une gamme de parafoudres pour liaison courant faible au format modulaire pour une implantation simplifiée dans les armoires normalisées. La fonction "parafoudre" est débrochable pour optimiser la maintenance et le contrôle.

Les schémas utilisés dans les parafoudres SURGYS® pour ligne courant faible sont basés sur l'association d'éclateurs à gaz tripolaires et de diodes d'écrêtage rapides, ce qui permet d'obtenir les caractéristiques suivantes :

- courant de décharge nominal (sans destruction) en onde 8/20 µs > 5 kA,
- temps de réponse de la protection < 1 ns,
- tension résiduelle adaptée à la tenue de l'équipement,
- continuité de service,
- sécurité de fonctionnement par mise en court-circuit en cas de défaut permanent.

L'utilisation systématique d'éclateurs à gaz tripolaires assure, grâce à la simultanéité d'amorçage des trois électrodes, une protection optimisée.

L'ensemble de ces caractéristiques est indispensable pour obtenir une fiabilité optimale de l'équipement protégé, quelle que soit la perturbation incidente.

Estimation du risque

Il n'y a pas d'obligation de mise en œuvre des parafoudres sur les liaisons à courants faibles, même si le risque est croissant. Il est donc nécessaire d'estimer le risque en analysant quelques paramètres simples :

	Utilisation de parafoudres SURGYS®	
	recommandée*	optionnelle
	Liaisons télécom	
Distribution	aérienne	souterraine
Historique "incident"	> 1	0
Équipement	alimenté 50 Hz	non alimenté
Importance de l'équipement	vitale	secondaire
Transmission des données		
Distribution	extérieure	interne
Historique "incident"	> 1	0
Longueur ligne	> 30 m	< 30 m
Environnement électromagnétique	dense	faible
Importance de l'équipement	vitale	secondaire

** Recommandée si l'installation répond à au moins un de ces critères.*

Mise en œuvre et maintenance

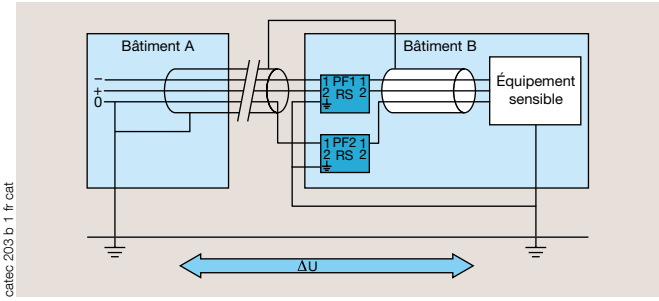
Installation

Localisation

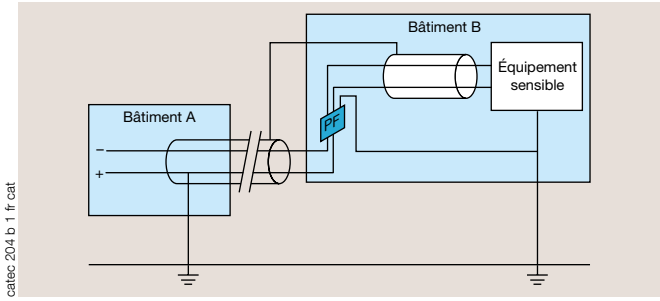
Pour optimiser l'efficacité de la protection, les parafoudres doivent être correctement positionnés ; ils se placent donc :

- dans le cas d'une ligne extérieure : à l'entrée de l'installation, c'est-à-dire au niveau du répartiteur ou du boîtier de raccordement d'entrée, afin de dériver les courants impulsionnels le plus rapidement possible,
- dans le cas de liaisons intérieures : à proximité immédiate des équipements à protéger (exemple : dans coffret de raccordement de l'équipement).

Dans tous les cas, l'équipement protégé doit être proche du parafoudre (longueur de conducteur "parafoudre / équipement" inférieure à 30 m). Si cette règle ne peut être respectée, il faudra installer une protection "secondaire" à proximité de l'équipement (coordination de parafoudres).



Liaison RS à 3 fils (avec fil 0 V).



Liaison RS à 2 fils.

Connexion au réseau des masses

La longueur de connexion du parafoudre au réseau des masses de l'installation doit être la plus courte possible (inférieure à 50 cm) afin de limiter les chutes de tension additionnelles qui pénaliseraient l'efficacité de protection. La section de ce conducteur doit être de 2,5 mm^2 minimum.

Câblage

Les câbles protégés contre les surtensions (en aval du parafoudre) et non protégés (en amont du parafoudre) doivent être physiquement séparés (exemple : pas de circulation en parallèle dans la même goulotte), afin de limiter les couplages.

Maintenance

Les parafoudres pour réseaux à courants faibles SURGYS® ne nécessitent aucune maintenance ou remplacement systématique ; ils sont conçus pour supporter des ondes de choc importantes sans destruction et de façon répétitive.

Fin de vie

Néanmoins, une destruction peut intervenir en cas de dépassement des caractéristiques du parafoudre. La mise hors service de sécurité intervient dans les cas suivants :

- contact prolongé avec une ligne d'énergie,
- choc "foudre" exceptionnellement violent.

Dans ce cas, le parafoudre se met en court-circuit définitivement, protégeant ainsi l'équipement (par mise à la terre) et indiquant sa destruction fonctionnelle (interruption de ligne) : l'utilisateur devra alors procéder au remplacement du module débrochable du parafoudre SURGYS®.
En pratique, la fin de vie d'un parafoudre TEL sur une ligne téléphonique se traduit pour l'utilisateur par un téléphone qui semble toujours occupé.
L'opérateur (France Télécom) verra la mise à la terre de la ligne et en informera l'abonné.

Compensation de l'énergie réactive

Principe de la compensation

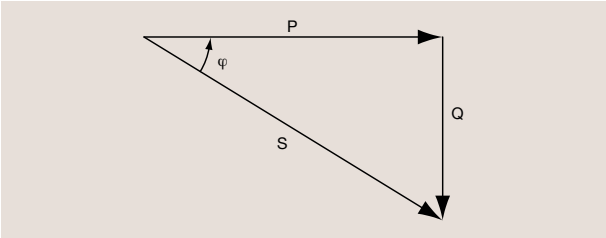
L'amélioration du facteur de puissance d'une installation consiste à installer une batterie de condensateurs, source d'énergie réactive.
La batterie de condensateurs de puissance diminue la quantité d'énergie réactive fournie par la source.
La puissance de la batterie de condensateurs à installer se calcule à partir de la puissance active de la charge et du déphasage (tension / courant) avant et après compensation.

Nature des puissances mises en jeu dans une installation sans harmoniques

Les récepteurs électriques traditionnels utilisent deux types de puissances pour fonctionner :

- la puissance active (P) qui est transformée en puissance mécanique, thermique ou lumineuse,
- la puissance réactive (Q) qui est inhérente au fonctionnement interne d'une machine électrique (magnétisation d'un moteur ou d'un transformateur…).

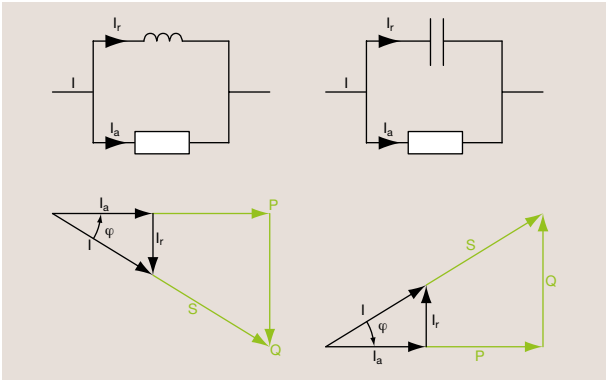
La somme vectorielle de ces puissances est appelée puissance apparente (S). Elle est fournie par les sources d'alimentations de l'installation.



catec 242 a 1 x cat

Le courant apparent (I) consommé par une installation électrique se décompose donc en deux composantes :

- une composante (I_a) en phase avec la puissance active,
- une composante (I_r) déphasée de 90° par rapport à la composante active ; déphasée de 90° en arrière pour une charge inductive et de 90° en avant pour une charge capacitive.



catec 243 a 1 fr cat

Le facteur de puissance

C'est le rapport de la puissance active sur la puissance apparente :

$$Fp = \frac{P}{S}$$

Si l'installation ne comporte pas ou peu d'harmoniques ce rapport est proche du cos φ.
Cette notion peut s'exprimer également sous la forme du Tan φ.

$$\text{Tan}\,\varphi = \frac{Q}{P}$$

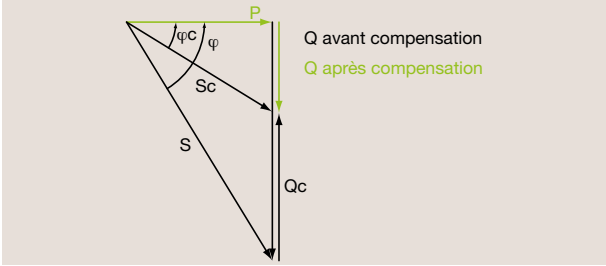
Ce rapport donne la proportion de la puissance réactive que doit fournir le transformateur pour une puissance active donnée.

La compensation de l'énergie réactive

La puissance réactive peut être fournie directement :

- au niveau de l'installation,
- au niveau de chaque récepteur.

La puissance réactive peut être fournie par des batteries de condensateurs connectées directement sur l'installation de l'utilisateur.



catec 245 a 1 fr cat

Choix technico-économique de la compensation

Optimiser le facteur de puissance permet :

- d'éviter de payer des pénalités au fournisseur de l'énergie électrique,
- d'augmenter la puissance disponible du transformateur,
- de diminuer la section des câbles,
- de diminuer les pertes en lignes,
- de réduire les chutes de tensions.

Principe de la compensation (suite)

Technologie de la compensation en basse tension

La compensation est généralement réalisée avec des condensateurs mis en batterie.

Batterie de compensation fixe

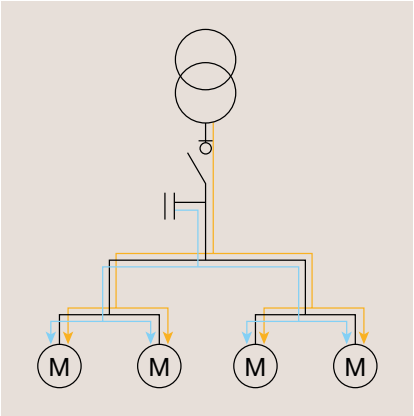
Ce type de batterie est utilisé lorsque la puissance réactive à compenser est constante. Elle est particulièrement adaptée à la compensation individuelle.

Batterie de compensation automatique

Ce type de batterie permet d'adapter la compensation en fonction de la variation de l'énergie électrique de l'installation.
Ce type de compensation évite de fournir une puissance réactive supérieure au besoin de l'installation lorsque celle-ci est à faible charge. En effet, une surcompensation est déconseillée car elle augmente la tension de service d'une installation.

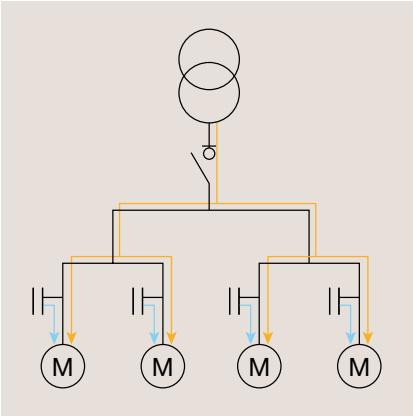
Où compenser ?

Compensation globale



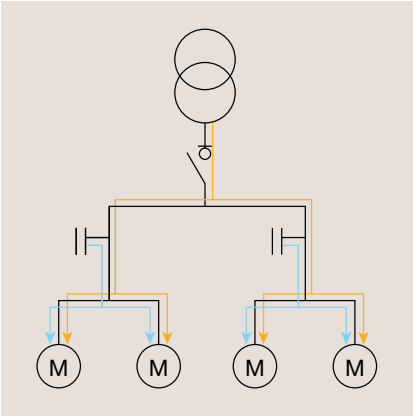
cosys 003 b 1 x cat

Compensation individuelle



cosys 005 b 1 x cat

Compensation par secteur



cosys 004 b 1 x cat

Énergie active Énergie réactive

Remarques
- La compensation globale ou par secteur est souvent plus économique et permet d'éviter les problèmes liés aux harmoniques.
- La compensation individuelle est la solution qui réduit globalement le plus les pertes en ligne.

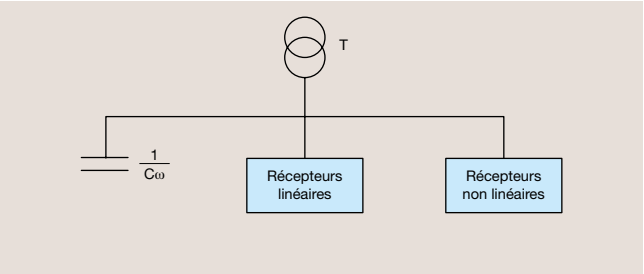
La compensation et les harmoniques

La puissance d'une batterie de compensation est toujours dimensionnée pour compenser le courant fondamental de l'installation, c'est-à-dire le courant qui est à la même fréquence que le réseau de distribution.
Cependant, la plupart des installations électriques véhiculent des courants harmoniques.
Ces courants harmoniques peuvent être importants pour les fréquences comprises généralement entre 150 Hz et 450 Hz.
Les batteries de condensateurs connectées sur de tels réseaux sont sensibles à ces courants.

Le phénomène de résonance

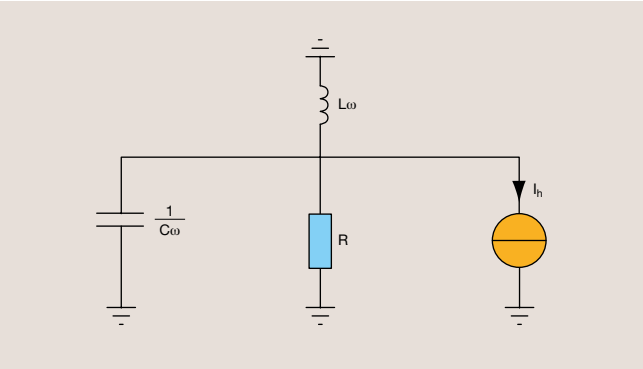
Considérons une installation électrique composée :

- d'un transformateur T,
- d'une batterie fixe de condensateurs ($Z = 1/C\omega$),
- de récepteurs linéaires non générateurs de courants harmoniques,
- de récepteurs non linéaires générateurs de courants harmoniques.



catec 246 a 1 fr cat

Vue des courants harmoniques, la modélisation simplifiée de l'installation est la suivante :



catec 247 a 1 x cat

socomec
Innovative Power Solutions

Principe de la compensation (suite)

Le phénomène de résonance (suite)

Modélisation de l'installation sans la batterie de compensation

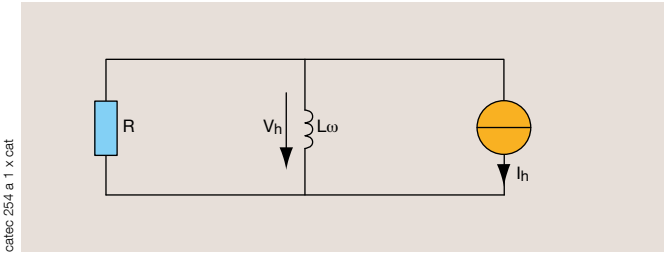
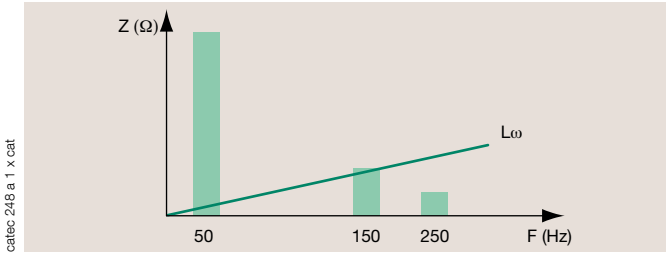


Schéma monophasé équivalent.



Impédance équivalente de l'installation électrique sans batterie de compensation.

Note : les courants harmoniques imposés par les charges non linéaires génèrent des chutes de tensions Vh dans l'impédance du transformateur. Ces tensions harmoniques entraînent à leur tour une déformation de la tension d'alimentation des récepteurs, ce qui explique le mécanisme de propagation de la pollution harmonique sur les réseaux.

Modélisation de l'installation avec la batterie de compensation

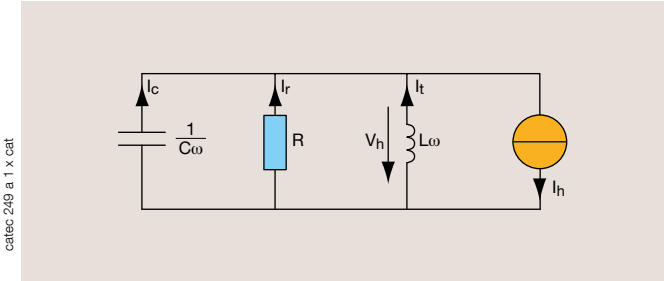
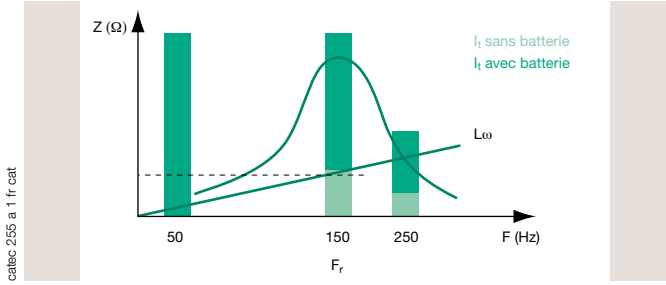


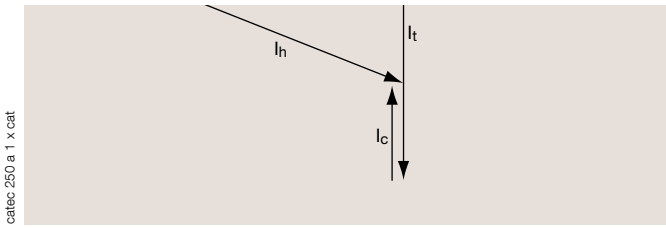
Schéma monophasé équivalent avec batterie de compensation.



Impédance équivalente de l'installation électrique avec batterie de compensation.

Impédance équivalente de l'installation

Elle présente un pic d'impédance. La fréquence correspondant à ce pic est appelée fréquence de résonance.
À la fréquence de résonance, l'impédance de l'installation peut devenir importante. On montre alors que si des courants harmoniques imposés par les charges non linéaires existent et ont une fréquence proche de la résonance de l'installation, ces courants sont amplifiés et circulent dans les condensateurs et le transformateur.



Représentation vectorielle des courants à travers les différents éléments de l'installation électrique.

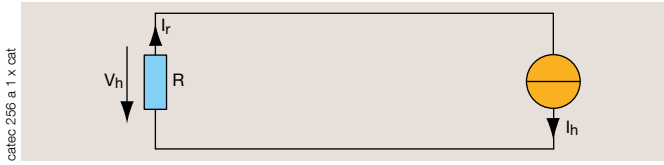
Amplification d'un courant d'harmoniques

Exemple d'un courant harmonique de rang N dont la fréquence correspond à la fréquence de résonance de l'installation (calcul de l'impédance totale du schéma équivalent d'un circuit RLC en parallèle).

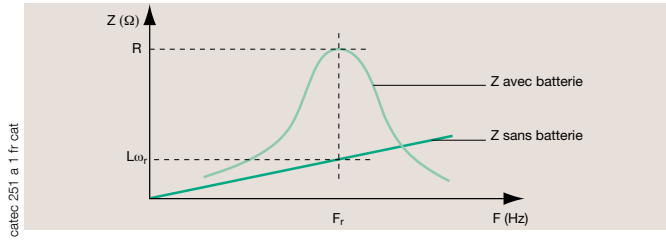
$$Z = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{R^2} + \left(C - \frac{1}{L}\right)^2}}$$

À la fréquence de résonance (r) : $C = \frac{1}{L\omega}$

Avec Z = R



$V_h = R\ I_h$



Principe de la compensation (suite)

Amplification d'un courant d'harmoniques (suite)

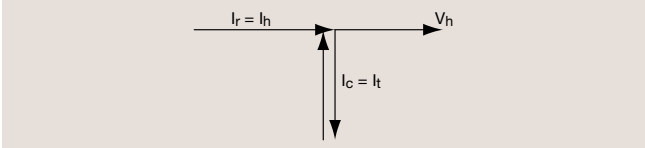
Cependant, le transformateur et la batterie étant toujours présents, calculons les courants qui transitent dans ces éléments.

Calcul des courants qui transitent dans le transformateur et la batterie de compensation

$$I_t = \frac{V_h}{L\omega_r} = \frac{I_h R}{L\omega_r} = K I_h$$

Facteur d'amplification à la résonance : $K = R/L\omega r$.

Courants harmoniques à la fréquence Fr



$$I_c = C\omega_r V_h = RC\omega_r I_h = K I_h$$

On constate donc une amplification du courant harmonique de rang N dans le transformateur et dans les condensateurs.
Selon le facteur d'amplification K, le phénomène de résonance peut provoquer :

- un courant circulant dans les condensateurs qui peut dépasser très largement le courant nominal de la capacité et conduire à la détérioration des capacités par échauffement,
- une surcharge anormale du transformateur et des câbles qui alimentent l'installation,
- une dégradation de la forme sinusoïdale de la tension qui peut provoquer à son tour des dysfonctionnements de récepteurs.

Le rang de résonance peut être calculé de la manière suivante (formule simplifiée) :

$$N = \frac{F_r}{F_0} = \sqrt{\frac{S_{cc}}{Q_c}}$$

S_{cc} : puissance de court-circuit du transformateur
Q_c : puissance capacitive enclenchée
F_r : fréquence de résonance
F_0 : fréquence du réseau électrique

$$N = \frac{F_r}{F_0} = \sqrt{\frac{S_n \times 100}{U_{cc}}}$$

$S_{cc} = S_n \times 100 / U_{cc}$
S_n : puissance du transformateur
U_{cc} : tension de court-circuit du transformateur

Le courant harmonique de fréquence F_r présent sur l'installation sera amplifié dans les condensateurs et dans le transformateur de :

$$K = \frac{\sqrt{S_{cc} Q_c}}{P}$$

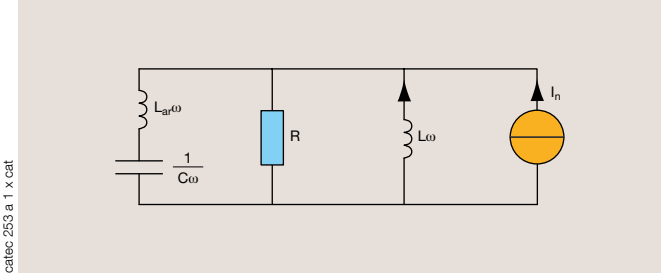
S_{cc} : puissance de court-circuit du transformateur
Q_c : puissance capacitive enclenchée
P : puissance active des récepteurs linéaires

En pratique, N ne dépasse pas 10 du fait des impédances de câble qui ne sont pas prises en compte dans cette modélisation. Il est essentiel de retenir que les condensateurs connectés sur une installation peuvent amplifier les courants harmoniques existants, mais n'en génèrent pas.

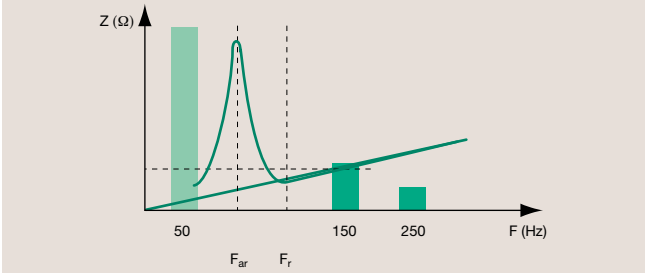
Note : l'amplification d'un courant harmonique de fréquence égale à la fréquence de résonance est maximale.
Les autres courants harmoniques seront amplifiés dans de moindres proportions.
Lors d'une étude complète de résonance, il convient de calculer l'amplification pour chaque rang d'harmonique et de diminuer la valeur efficace totale circulant dans le transformateur et le condensateur.

Protéger les batteries de compensation des effets de la résonance

On comprend alors pourquoi, en présence de courants harmoniques, il faut protéger les batteries de compensation des effets de la résonance. Pour cela, on insère en série avec les capacités des inductances anti-harmoniques. L'objectif est d'accorder la valeur de l'inductance de telle sorte que le pic de résonance ne se trouve pas sur les courants harmoniques existants.



Impédance équivalente de l'installation avec batterie de compensation protégée contre les effets des courants harmoniques.



Impédance équivalente de l'installation et spectre des courants harmoniques présents sur l'installation.

socomec Innovative Power Solutions

Calcul de la puissance des condensateurs

Coefficient K

Le tableau ci-dessous donne, en fonction du cos j du réseau avant compensation et celui désiré après compensation, un coefficient à appliquer à la puissance active par multiplication pour trouver la puissance de la batterie de condensateurs à installer. En outre, il permet de connaître les valeurs de correspondance entre cos φ et tg φ.

Qc = P (kW) x K

Avant compensation		Coefficient K à appliquer à la puissance active pour relever le facteur de puissance cos φ ou tg φ aux niveaux suivants													
		tg φ	0,75	0,59	0,48	0,46	0,43	0,40	0,36	0,33	0,29	0,25	0,20	0,14	0,0
tg j	cos j	cos φ	0,80	0,86	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1
2,29	0,40		1,557	1,691	1,805	1,832	1,861	1,895	1,924	1,959	1,998	2,037	2,085	2,146	2,288
2,22	0,41		1,474	1,625	1,742	1,769	1,798	1,831	1,840	1,896	1,935	1,973	2,021	2,082	2,225
2,16	0,42		1,413	1,561	1,681	1,709	1,738	1,771	1,800	1,836	1,874	1,913	1,961	2,022	2,164
2,10	0,43		1,356	1,499	1,624	1,651	1,680	1,713	1,742	1,778	1,816	1,855	1,903	1,964	2,107
2,04	0,44		1,290	1,441	1,558	1,585	1,614	1,647	1,677	1,712	1,751	1,790	1,837	1,899	2,041
1,98	0,45		1,230	1,384	1,501	1,532	1,561	1,592	1,628	1,659	1,695	1,737	1,784	1,846	1,988
1,93	0,46		1,179	1,330	1,446	1,473	1,502	1,533	1,567	1,600	1,636	1,677	1,725	1,786	1,929
1,88	0,47		1,130	1,278	1,397	1,425	1,454	1,485	1,519	1,532	1,588	1,629	1,677	1,758	1,881
1,83	0,48		1,076	1,228	1,343	1,370	1,400	1,430	1,464	1,497	1,534	1,575	1,623	1,684	1,826
1,78	0,49		1,030	1,179	1,297	1,326	1,355	1,386	1,420	1,453	1,489	1,530	1,578	1,639	1,782
1,73	0,50		0,982	1,232	1,248	1,276	1,303	1,337	1,369	1,403	1,441	1,481	1,529	1,590	1,732
1,69	0,51		0,936	1,087	1,202	1,230	1,257	1,291	1,323	1,357	1,395	1,435	1,483	1,544	1,686
1,64	0,52		0,894	1,043	1,160	1,188	1,215	1,249	1,281	1,315	1,353	1,393	1,441	1,502	1,644
1,60	0,53		0,850	1,000	1,116	1,144	1,171	1,205	1,237	1,271	1,309	1,349	1,397	1,458	1,600
1,56	0,54		0,809	0,959	1,075	1,103	1,130	1,164	1,196	1,230	1,268	1,308	1,356	1,417	1,559
1,52	0,55		0,769	0,918	1,035	1,063	1,090	1,124	1,156	1,190	1,228	1,268	1,316	1,377	1,519
1,48	0,56		0,730	0,879	0,996	1,024	1,051	1,085	1,117	1,151	1,189	1,229	1,277	1,338	1,480
1,44	0,57		0,692	0,841	0,958	0,986	1,013	1,047	1,079	1,113	1,151	1,191	1,239	1,300	1,442
1,40	0,58		0,665	0,805	0,921	0,949	0,976	1,010	1,042	1,076	1,114	1,154	1,202	1,263	1,405
1,37	0,59		0,618	0,768	0,884	0,912	0,939	0,973	1,005	1,039	1,077	1,117	1,165	1,226	1,368
1,33	0,60		0,584	0,733	0,849	0,878	0,905	0,939	0,971	1,005	1,043	1,083	1,131	1,192	1,334
1,30	0,61		0,549	0,699	0,815	0,843	0,870	0,904	0,936	0,970	1,008	1,048	1,096	1,157	1,299
1,27	0,62		0,515	0,665	0,781	0,809	0,836	0,870	0,902	0,936	0,974	1,014	1,062	1,123	1,265
1,23	0,63		0,483	0,633	0,749	0,777	0,804	0,838	0,870	0,904	0,942	0,982	1,030	1,091	1,233
1,20	0,64		0,450	0,601	0,716	0,744	0,771	0,805	0,837	0,871	0,909	0,949	0,997	1,058	1,200
1,17	0,65		0,419	0,569	0,685	0,713	0,740	0,774	0,806	0,840	0,878	0,918	0,966	1,007	1,169
1,14	0,66		0,388	0,538	0,654	0,682	0,709	0,743	0,775	0,809	0,847	0,887	0,935	0,996	1,138
1,11	0,67		0,358	0,508	0,624	0,652	0,679	0,713	0,745	0,779	0,817	0,857	0,905	0,966	1,108
1,08	0,68		0,329	0,478	0,595	0,623	0,650	0,684	0,716	0,750	0,788	0,828	0,876	0,937	1,079
1,05	0,69		0,299	0,449	0,565	0,593	0,620	0,654	0,686	0,720	0,758	0,798	0,840	0,907	1,049
1,02	0,70		0,270	0,420	0,536	0,564	0,591	0,625	0,657	0,691	0,729	0,769	0,811	0,878	1,020
0,99	0,71		0,242	0,392	0,508	0,536	0,563	0,597	0,629	0,663	0,701	0,741	0,783	0,850	0,992
0,96	0,72		0,213	0,364	0,479	0,507	0,534	0,568	0,600	0,634	0,672	0,712	0,754	0,821	0,963
0,94	0,73		0,186	0,336	0,452	0,480	0,507	0,541	0,573	0,607	0,645	0,685	0,727	0,794	0,936
0,91	0,74		0,159	0,309	0,425	0,453	0,480	0,514	0,546	0,580	0,618	0,658	0,700	0,767	0,909
0,88	0,75		0,132	0,282	0,398	0,426	0,453	0,487	0,519	0,553	0,591	0,631	0,673	0,740	0,882
0,86	0,76		0,105	0,255	0,371	0,399	0,426	0,460	0,492	0,526	0,564	0,604	0,652	0,713	0,855
0,83	0,77		0,079	0,229	0,345	0,373	0,400	0,434	0,466	0,500	0,538	0,578	0,620	0,687	0,829
0,80	0,78		0,053	0,202	0,319	0,347	0,374	0,408	0,440	0,474	0,512	0,552	0,594	0,661	0,803
0,78	0,79		0,026	0,176	0,292	0,320	0,347	0,381	0,413	0,447	0,485	0,525	0,567	0,634	0,776
0,75	0,80			0,150	0,266	0,294	0,321	0,355	0,387	0,421	0,459	0,499	0,541	0,608	0,750
0,72	0,81			0,124	0,240	0,268	0,295	0,329	0,361	0,395	0,433	0,473	0,515	0,582	0,724
0,70	0,82			0,098	0,214	0,242	0,269	0,303	0,335	0,369	0,407	0,447	0,489	0,556	0,698
0,67	0,83			0,072	0,188	0,216	0,243	0,277	0,309	0,343	0,381	0,421	0,463	0,530	0,672
0,65	0,84			0,046	0,162	0,190	0,217	0,251	0,283	0,317	0,355	0,395	0,437	0,504	0,645
0,62	0,85			0,020	0,136	0,164	0,191	0,225	0,257	0,291	0,329	0,369	0,417	0,478	0,620
0,59	0,86				0,109	0,140	0,167	0,198	0,230	0,264	0,301	0,343	0,390	0,450	0,593
0,57	0,87				0,083	0,114	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,317	0,364	0,424	0,567
0,54	0,88				0,054	0,085	0,112	0,143	0,175	0,209	0,246	0,288	0,335	0,395	0,538
0,51	0,89				0,028	0,059	0,086	0,117	0,149	0,183	0,230	0,262	0,309	0,369	0,512
0,48	0,90					0,031	0,058	0,089	0,121	0,155	0,192	0,234	0,281	0,341	0,484

Exemple : puissance de l'installation = 653 kW ; cos φ mesuré dans l'installation : cos φ = 0,70 soit tg φ = 1,02
cos φ désiré : cos φ = 0,93 soit tg φ = 0,4 ; Qc = 653 x 0,625 = 410 kvar.

Choix d'une compensation pour une charge fixe

Compenser un moteur asynchrone

Le cos phi des moteurs est très mauvais à vide ou à faible charge. Pour éviter ce type de fonctionnement, il est possible de raccorder directement la batterie de condensateurs aux bornes du moteur, en prenant les précautions suivantes :

Lors du démarrage du moteur

Si le moteur démarre à l'aide d'un appareil spécial (résistance, inductance, dispositif étoile / triangle, auto-transformateur), la batterie de condensateurs ne doit être mise en service qu'après le démarrage.

Pour les moteurs spéciaux

Il est recommandé de ne pas les compenser (pas à pas, à 2 sens de marche…).

En cas d'auto-excitation

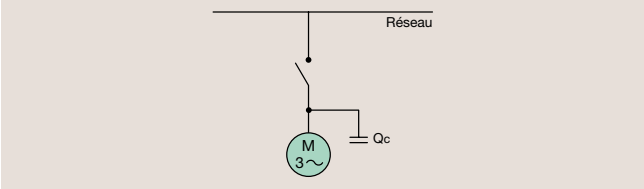
Lors des coupures des moteurs avec des charges de grande inertie, un phénomène d'auto-excitation du moteur par la batterie de compensation peut entraîner de fortes surtensions. Pour éviter cela, il faut vérifier la relation suivante :

$$\text{Si } Q_c \leq 0{,}9 \times I_o \times U_n \times \sqrt{3}$$

I_o : courant à vide du moteur (kA)

Q_c : puissance de la batterie (kvar)

U_n : tension nominale (400 V)



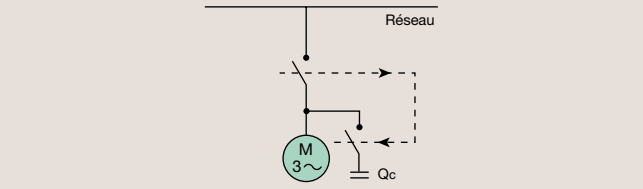
cosys 007 b 1 fr cat

$$\text{Si } Q_c \geq 0{,}9 \times I_o \times U_n \times \sqrt{3}$$

I_o : courant à vide du moteur (kA)

Q_c : puissance de la batterie (kvar)

U_n : tension nominale (400 V)



cosys 008 b 1 fr cat

Tableau A : valeur indicative de la puissance des batteries de condensateurs à ne pas dépasser pour éviter l'auto-excitation du moteur

Moteur triphasé 400 V					
		Puissance maxi (kvar)			
Puissance nominale		Vitesse de rotation maxi (tr / min)			
kW	ch	3000	1500	1000	750
8	11	2	2	3	
11	**15**	**3**	**4**	**5**	
15	20	4	5	6	
18	**25**	**5**	**7**	**7,5**	
22	30	6	8	9	10
30	**40**	**7,5**	**10**	**11**	**12,5**
37	50	9	11	12,5	16
45	**60**	**11**	**13**	**14**	**17**
55	75	13	17	18	21
75	**100**	**17**	**22**	**25**	**28**
90	125	20	25	27	30
110	**150**	**24**	**29**	**33**	**37**
132	180	31	36	38	43
160	**218**	**35**	**41**	**44**	**52**
200	274	43	47	53	61
250	**340**	**52**	**57**	**63**	**71**
280	380	57	63	70	79
355	**482**	**67**	**76**	**86**	**98**
400	544	78	82	97	106
450	**610**	**87**	**93**	**107**	**117**

Protections du moteur

Lorsque la protection est en amont du dispositif de compensation du moteur, il faut l'adapter. En effet, à fonctionnement égal du moteur, le courant passant dans la protection sera plus faible car la batterie de compensation fournit l'énergie réactive.

Tableau B : coefficient de réduction du réglage de la protection si la puissance de la batterie de condensateurs est égale à la puissance maximale indiquée dans le tableau A

Vitesse (tr / min)	Coefficient de réduction
750	0,88
1000	**0,90**
1500	0,91
3000	**0,93**

socomec Innovative Power Solutions

Choix d'une compensation pour une charge fixe (suite)

Compenser un transformateur

Un transformateur consomme de l'énergie réactive pour assurer la magnétisation de ses enroulements. Le tableau ci-dessous indique les consommations courantes (pour plus de précisions, consulter le fabricant du transformateur).

Exemple : À cos phi 0,7, 30 % de la puissance du transformateur est indisponible en raison de l'énergie réactive qu'il doit produire.

Puissance nominale transformateur	Puissance en kvar de la compensation		
	Transformateur fonctionnant		
kVA	À vide	Charge 75 %	Charge 100 %
100	3	5	6
160	**4**	**7,5**	**10**
200	4	9	12
250	**5**	**11**	**15**
315	6	15	20
400	**8**	**20**	**25**
500	10	25	30
630	**12**	**30**	**40**
800	20	40	55
1000	**25**	**50**	**70**
1250	30	70	90
2000	**50**	**100**	**150**
2500	60	150	200
3150	**90**	**200**	**250**
4000	160	250	320
5000	**200**	**300**	**425**

Lors de la définition d'une installation de compensation, prévoir un condensateur fixe correspondant à la consommation interne du transformateur chargé à 75 %.

Quelques facteurs de puissance

Valeurs indicatives de facteurs de puissance pour les machines les plus courantes consommant de l'énergie réactive.

Récepteur		Cos j	Tg j
Moteurs asynchrones	à vide	0,17	5,80
	chargés à 25 %	0,55	1,52
	chargés à 50 %	0,73	0,94
	chargés à 75 %	0,80	0,75
	chargés à 100 %	0,85	0,62
Lampes	à incandescence	env. 1	env. 0
	à fluorescence	env. 0,5	env. 1,73
	à décharge	0,4 à 0,6	env. 2,29 à 1,13
Fours	à résistance	env. 1	env. 0
	à induction compensée	env. 0,85	env. 0,62
	à chauffage diélectrique	env. 0,85	env. 0,62
Machines à souder à résistances		0,8 à 0,9	0,75 à 0,48
Postes statiques monoph. de soudage à l'arc		env. 0,5	env. 1,73
Groupes rotatifs de soudage à l'arc		0,7 à 0,9	1,02 à 0,48
Transformateurs-redresseurs de soudage à l'arc		0,7 à 0,9	1,02 à 0,48
Fours à arc		0,8	0,75
Redresseurs de puissance à thyristors		0,4 à 0,8	2,25 à 0,75

Enveloppes

Effets thermiques

Puissance dissipée par les appareils

Les puissances nominales sont données pour le courant Ith (calibre nominal dans le tableau ci-dessous).
Pour le courant d'emploi de l'appareil, on aura :

$$P = P_N \times \left[\frac{I_e}{I_{th}}\right]^2$$

P : puissance dissipée en W.
P_N : puissance nominale dissipée en W (voir tableau ci-dessous).
I_e : courant d'emploi de l'appareil.
I_{th} : calibre de l'appareil.

Caractéristiques thermiques

Détermination de l'élévation de température

$$\Delta T\ (°K) = \frac{P\ (W)}{K \times S\ (m^2)}$$

P : puissance dissipée à l'intérieur de l'enveloppe (appareillage, connexions, câbles…).

ΔT : élévation de température en °K.

S : surface libre de l'enveloppe (on ne compte pas les surfaces en regard des murs ou d'autres obstacles).

K : coefficient d'échange de chaleur.
K = 4 W/m² °C pour les coffrets polyester.
K = 5,5 W/m² °C pour les coffrets métalliques.

Lorsque l'armoire ou le coffret sont munis d'ouies de ventilation, appliquer la norme CEI 60890 pour le calcul, ou nous consulter.

Détermination de l'échangeur air/air : *voir page 116*.

Détermination du ventilateur

En cas de ventilation forcée, le débit d'air D nécessaire est :

$$D\ (m^3/h) = 3{,}1 \times \left[\frac{P}{\Delta T} - (K \times S)\right]$$

Les ventilateurs sont proposés en accessoire dans la gamme CADRYS.

• Détermination de la résistance de chauffage

Elle est nécessaire quand il faut éviter la condensation à l'intérieur de l'armoire. La puissance Pc de la résistance est donnée par :

$$Pc\ (W) = (\Delta T \times K \times S) - P$$

Détermination du climatiseur : *voir page 116*.

Puissance dissipée en W/pôle par l'appareillage

	Calibres (A)	16	20	25	32	40	63	63	80	100	100	125	160	200	200	250	250	315	400	500
SIRCO M	Taille de boîtier	M1						M2			M3									
	Puissance dissipée (W/pôle)	0,15	0,25	0,4	0,6	0,9	2,4	1,5	2,4	4	4,3	7,1								
SIRCO MV	Taille de boîtier										MV									
	Puissance dissipée (W/pôle)										5	7	9							
SIRCO	Taille de boîtier											B3			B4					
	Puissance dissipée (W/pôle)											1,8	3	4,8	4	5,8	-	9,5	14,4	14,4
SIRCO AC	Taille de boîtier														B4					
	Puissance dissipée (W/pôle)														4	6				
SIDER	Taille de boîtier											ND 36 mm					ND 60 mm			
	Puissance dissipée (W/pôle)											12	-	24	-	36	48	58		
SIDERMAT	Taille de boîtier															1				
	Puissance dissipée (W/pôle)															-	8,2	-	15,6	-
SIRCO MC PV (1)	Taille de boîtier			1																
	Puissance dissipée (W/pôle)			4,97	-	15,61														
SIRCO MV PV (1)	Taille de boîtier							MV												
	Puissance dissipée (W/pôle)							0,97	1,56	-	2,43	4,5	6,3							
SIRCO PV (1)	Taille de boîtier										B4 (2)						B4 (2)			
	Puissance dissipée (W/pôle)										0,8	-	2				4,7	8		

(1) 1 circuit PV à 1000 VDC.
(2) Appareil 500 VDC/P.
(3) Appareil 250 VDC/P.

socomec Innovative Power Solutions

Effets thermiques (suite)

Caractéristiques thermiques (suite)

Puissance dissipée en W/pôle par l'appareillage (suite)

	Calibres (A)	315	400	500	630	800	800	1000	1250	1000	1250	1600	1800	2000	2500	3200	4000	5000
SIRCO	Taille de boîtier	B5					B6			B7				B8			B9	
	Puissance dissipée (W/pôle)	7,6	10,8	16	30,9	30,9	39,7	44,7	-	-	85	122	161	140	205	340	420	480
SIRCO AC	Taille de boîtier	B5			B6						B7			B8			B9	
	Puissance dissipée (W/pôle)	9,6	12,8	20	24,8	-	40	52,2	80		58	95		340			500	
SIDER	Taille de boîtier		ND 66 mm		6						7							
	Puissance dissipée (W/pôle)		41	58	20,7	-	32				42,5	102						
SIDERMAT	Taille de boîtier	1					2				3							
	Puissance dissipée (W/pôle)	-	-	-	45		66,4				80	113	?					
SIRCO PV (1)	Taille de boîtier	B4 (3)			B5 (3)						B6 (3)			B7 (3)				
	Puissance dissipée (W/pôle)	10	20	30	40	70					32			80				

(1) 1 circuit PV à 1000 VDC.

(2) Appareil 500 VDC/P.

(3) Appareil 250 VDC/P.

	Calibres (A)	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	1800	2000	2500	3200	4000
FUSERBLOC	Puissance dissipée (W/pôle)	4,6 (CD)	-	7,1	10,4	-	15	18	22	33	39	55,3	57	-	118	131	-	234	-	-	-	-	-	-
FUSOMAT	Puissance dissipée (W/pôle)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,3	-	50	-	83,5	-	-	222	-	-	-	-	-	-
ATyS	Puissance dissipée (W/pôle)	-	-	-	-	-	-	1,9	3,2	4,1	5,9	7,8	15,1	17	32,4	41,7	46,9	93,3	122	153	178	255	330	-
ATyS M	Puissance dissipée (W/pôle)	-	0,6	-	1,2	2,2	4	5	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Exemple : une armoire est constituée d'un interrupteur général (FUSERBLOC 4 x 630 A) et de plusieurs départs. Le courant nominal est de 550 A.

- Puissance dissipée à 630 A (tableau ci-dessus) : 97,7 x 3 = 293 W
- Puissance dissipée à 550 A :

$$293 \times \left[\frac{550}{630}\right]^2 = 223\ W$$

La puissance totale dans l'armoire (appareillage, câbles…) atteint 400 W. Dimensions de l'armoire : H = 2000 mm, P = 600 mm, L = 800 mm.
L'armoire est située entre deux autres armoires et contre le mur. La surface libre sera : S (m^2) = 2 x 0,8 (avant) + 0,6 x 0,8 (haut) = 2,08 m^2

- Élévation de température dans l'armoire :

$$\Delta T = \frac{400\ W}{5{,}5 \times 2{,}08\ m^2} = 35\ °C$$

Pour une température ambiante de 35 °C, on obtient : T = 35 °C + 35 °C = 70 °C
Pour se limiter à une température maximale T de 55 °C (ΔT = 20 °C), il faut une ventilation de débit :

$$D = 3{,}1 \times \left[\frac{400}{20} - 5{,}5 \times 2{,}08\right] = 26{,}5\ m^3/h$$

Coffrets polyester

Les coffrets sont utilisables dans les E.R.P. (Établissements Recevant du Public). L'arrêté ministériel du 25.06.80 impose des enveloppes auto-extinguibles (tenue à 750 °C minimum au fil incandescent suivant NF C 20445).

	COMBIESTER		
Type de coffret	couvercle transparent	couvercle opaque	MINIPOL
Tenue au fil incandescent	960 °C	850 °C	960 °C

Effets thermiques (suite)

Protection contre les effets thermiques (suivant NF C 15100)

Les températures des matériels électriques sont limitées aux valeurs du tableau ci-dessous :

Parties accessibles	Matières	T (°) max
Organes de commande manuelle	Métalliques	55
	Non métalliques	65
Prévues pour être touchées mais non destinées à être tenues à la main	Métalliques	70
	Non métalliques	80
Non destinées à être touchées en service normal	Métalliques	80
	Non métalliques	90

Calcul thermique des enveloppes

Hypothèse

a) Définir la température interne maximum à l'armoire qui est imposée par le composant le plus sensible

b) Définir la température interne maximum du milieu ambiant (externe à l'armoire)

c) Définir les dimensions de l'enveloppe

où Ti (°C) = Température interne

Ta (°C) = Température ambiante

H - L - P (m) = Hauteur - Largeur - Profondeur

Puissance apportée par les composants

Appareillage SOCOMEC

Voir détail des puissances dissipées au courant nominal *(page 114)*

$$Pd = P_{nom} \times \left[\frac{I_e}{Ith}\right]^2$$

P_{nom} (W) : Puissance nominale

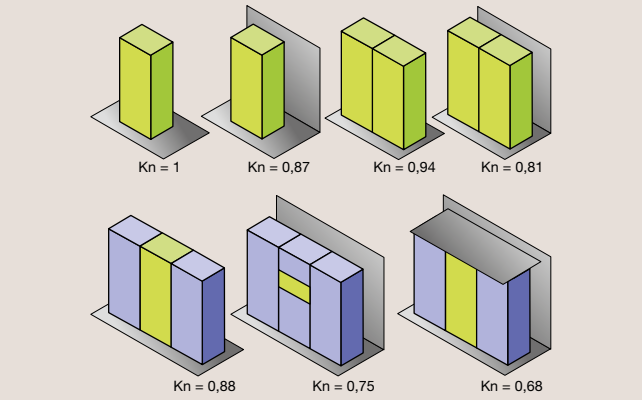
P_d (W) : Puissance dissipée au courant d'emploi

I_e (A) : Courant d'emploi

I_{th} (A) : Courant nominal

Surface d'échange corrigée

a) Définir le facteur de correction Kn (fonction du mode de pose)



catec 136 d 1 x cat

b) Surface corrigée

$$S = Kn\,(1{,}8 \times H \times (L + P) + 1{,}4 \times L \times P)$$

Puissance nécessaire pour maintenir la température dans l'enveloppe

$$Pn\ (W) = Pd - K \times S \times (Ti\ max - Ta\ max)$$

$K = 5{,}5\ W/m^2/°C$ pour une enveloppe en tôle peinte

$K = 4\ W/m^2/°C$ pour une enveloppe en polyester

$K = 3{,}7\ W/m^2/°C$ pour une enveloppe en acier inoxydable

$K = 12\ W/m^2/°C$ pour une enveloppe en aluminium

Pn (W) : Puissance nécessaire

Choix du mode de régulation

a) Ventilation

Choisir le ventilateur dont le débit est directement supérieur à la valeur calculée.

$$Débit\ (m^3/h) = \frac{3{,}1 \times Pn}{Ti\ max - Ta\ max}$$

Nota : cette solution n'est envisageable que si Ti max - Ta max > 5 °C.

b) Échangeur air / air

Choisir l'échangeur dont la puissance spécifique est directement supérieure à la valeur calculée.

$$Puiss.\ spécifique\ (W/°K) = \frac{Pn}{Ti\ max - Ta\ max}$$

Nota : cette solution n'est envisageable que si Ti max - Ta max > 5 °C.

c) Climatiseur

Choisir le climatiseur dont la puissance frigorifique est directement supérieure à la puissance nécessaire (Pn).

d) Résistance de chauffage

Choisir la résistance de chauffage dont la puissance est directement supérieure à la valeur calculée.

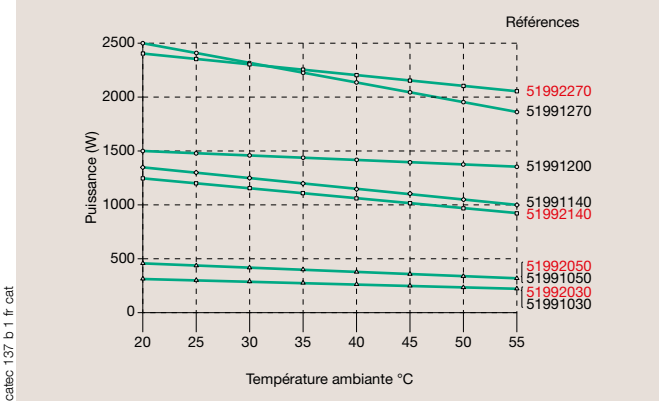
$$Pc\ (W) = [(Ti\ max - Ta\ max) \times K \times S] - Pn$$

socomec Innovative Power Solutions

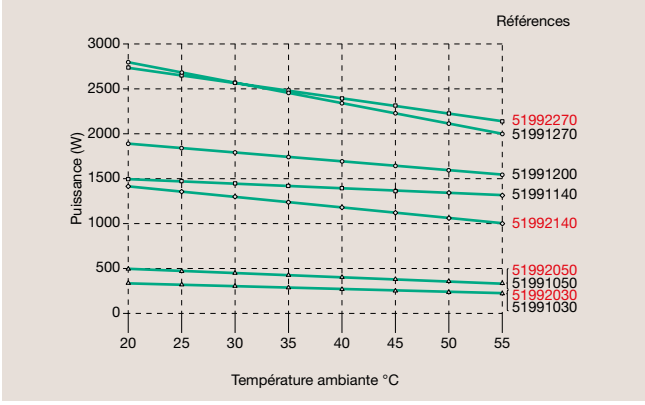
Choix de la climatisation

Les courbes ci-dessous déterminent le choix du climatiseur à partir de la température souhaitée dans l'armoire, de la température ambiante et de la puissance nécessaire *(voir calcul page 116).*

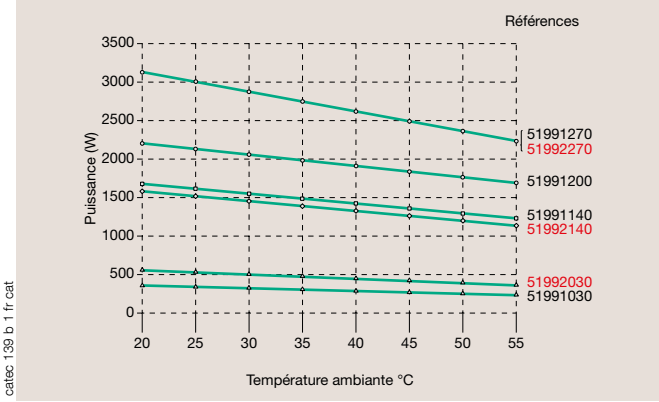
Température souhaitée dans l'armoire = 25 °C



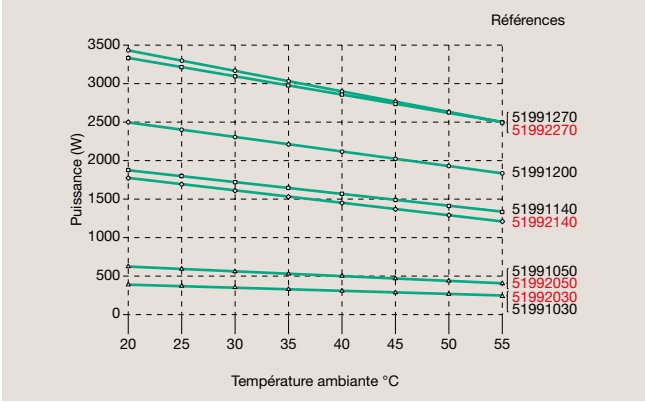
Température souhaitée dans l'armoire = 30 °C



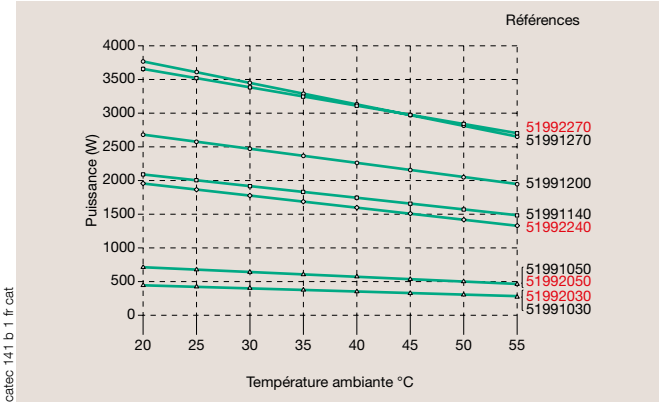
Température souhaitée dans l'armoire = 35 °C



Température souhaitée dans l'armoire = 40 °C



Température souhaitée dans l'armoire = 45 °C



■ Montage en toiture

■ Montage en facade

Exemple

Température interne max (Ti max)	25 °C
Température ambiante max (Ta max)	45 °C
Puissance nécessaire (Pn)	2000 W

Jeux de barres

Choix de la matière des barres

Tableau A: constantes physiques du cuivre et de l'aluminium

	Cuivre	Aluminium
Normes	EN 1652/NFA 51-100	HN 63 J 60, CNET 3072.1, qualité 6101T5
Type	**ETP-H12 (EN 1652) Cu A1 (NFA 51-100)**	**alliage Al Mg Si étamé 15 µm**
Masse volumique	8890 kg/m^3	2700 kg/m^3
Coefficient de dilatation linéaire	**17 x 10^{-6} par °C (17 x 10^{-3} mm/m)**	**23 x 10^{-6} par °C (23 x 10^{-3} mm/m)**
Résistance minimale à la rupture	250 N/mm^2	150 N/mm^2
Résistivité à 20 °C	**≤ 18 mW mm^2/m**	**≤ 30 mW mm^2/m**
Module d'élasticité	120000 N/mm^2	67000 N/mm^2

Détermination de Icc crête en fonction de Icc efficace

Tableau B: suivant CEI 61439-1

Valeurs efficaces du courant de court-circuit	n
I ≤ 5 kA	1,5
5 kA < I ≤ 10 kA	**1,7**
10 kA < I ≤ 20 kA	2
20 kA < I ≤ 50 kA	**2,1**
50 kA < I	2,2

$$I_{cc} \text{ crête} = n \times I_{cc} \text{ eff}$$

Effet thermique du court-circuit

Le courant de court-circuit provoque un échauffement des barres. La température finale de la barre doit être inférieure à 160 °C pour ne pas détériorer le support de barre. La contrainte thermique doit être telle que:

$$(I_{cc})^2 \times t \leq K_E^2 S^2$$

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

t: durée du court-circuit (généralement égale au temps de coupure du dispositif de protection).

S: section de la barre en mm^2.

K_E: coefficient donné par le tableau C en fonction de la température Tf de la barre en fonctionnement normal (avant le court-circuit).

Tableau C

Tf	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
KE	89,2	84,7	80,1	75,4	70	65,5	60,2	54,6	48,5	41,7

Couples électrochimiques

Pour éviter des échauffements excessifs dus aux couples électrochimiques (corrosion), il faut éviter de raccorder des conducteurs ayant des potentiels électrochimiques supérieurs à 300 mV (voir tableau D).

Tableau D

	Argent	Cuivre	Alu	Étain	Acier	Laiton	Nickel
Argent	oui	oui	non	non	non	oui	oui
Cuivre	**oui**	**oui**	**non**	**oui**	**non**	**oui**	**oui**
Alu	non	non	oui	oui	oui	non	non
Étain	**non**	**oui**	**oui**	**oui**	**oui**	**oui**	**non**
Acier	non	non	oui	oui	oui	non	non
Laiton	**oui**	**oui**	**non**	**oui**	**non**	**oui**	**oui**
Nickel	oui	oui	non	non	non	oui	oui

Exemple: on ne pourra pas raccorder directement une barre aluminium et une barre cuivre. Il faudra par exemple, intercaler une barre en aluminium étamée:

- Alu/Étain → OUI
- Étain/Cuivre → OUI

socomec Innovative Power Solutions

Alimentations statiques sans interruption (onduleurs)

En raison de l'automatisation croissante des équipements, il est aujourd'hui nécessaire de protéger les traitements informatiques de données et les processus industriels d'éventuelles pertes d'alimentation par la mise en place d'ASI, appelées aussi onduleurs.

La plupart des équipements électroniques sont sensibles aux perturbations de tension, qu'il s'agisse d'un ordinateur ou de tout équipement à commande numérique doté d'un microprocesseur.

Ce type d'équipement exige une ASI pour assurer une alimentation stable et fiable et éviter ainsi des pertes de données, une détérioration du matériel ou tout simplement une perte de contrôle de processus industriels coûteux et souvent dangereux.

Principe de fonctionnement

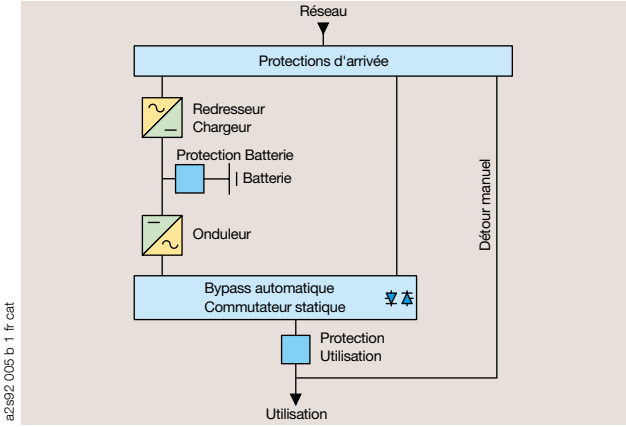
Fonctions

Une ASI a deux fonctions principales pour assurer la protection d'un équipement :

- la régulation de la sortie alternative afin d'obtenir une tension sinusoïdale parfaite, à la fréquence requise,
- la compensation des absences du réseau par l'énergie stockée dans une batterie.

L'entrée d'une ASI est connectée au réseau alternatif. La tension alternative est convertie en tension continue par un redresseur. Cette tension continue alimente l'onduleur et charge la batterie.

Dans le cas d'une coupure d'alimentation, la batterie prend le relais et assure l'alimentation de l'onduleur. Ce dernier reconvertit la tension continue en tension alternative parfaite. Cette sortie alternative alimente finalement les utilisations connectées.



Synoptique d'une ASI.

Technologie

Dans la partie onduleur (convertisseur continu/alternatif), le courant continu est converti par un système d'interrupteurs électroniques afin de produire une onde alternative sinusoïdale.

Les progrès de la technologie du découpage en électronique de puissance ayant permis de remplacer les thyristors par des transistors bipolaires, puis par des IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistors), il a été possible d'augmenter la fréquence de découpage.

Les impulsions plus courtes permettent une reconstitution plus précise de la sinusoïde de sortie, ce qui permet une meilleure réponse au problème de l'alimentation des charges non linéaires.

Bypass

Le bypass est un interrupteur statique qui transfère automatiquement les utilisations directement sur le réseau et déconnecte l'onduleur dans le cas d'une surcharge (par ex. démarrage des moteurs) ou dans le cas d'une défaillance de l'onduleur.

Le retour des utilisations sur l'onduleur se fait automatiquement lorsque tous les paramètres sont à nouveau dans les limites des tolérances définies. L'interrupteur statique, composé de thyristors, permet une commutation sans coupure.

Les ASI ont un MTBF (temps moyen entre deux défauts) important, car une défaillance supposerait à la fois un défaut de l'ASI et un défaut du bypass.

Principe de fonctionnement (suite)

Batteries

Les batteries les plus communément utilisées sont celles à plomb étanche. Ce type de batterie peut être installé dans le même local que l'ASI. Le remplissage de l'électrolyte n'est pas nécessaire et la batterie peut être installée sur des racks ou dans des armoires.

La batterie au plomb ouvert est une alternative. Cependant, elle doit être placée sur des chantiers accessibles pour permettre un remplissage régulier de l'électrolyte (une fois par an). En outre, l'installation nécessite un local batteries conforme aux normes (ventilation…).

Les batteries nickel cadmium sont plus coûteuses, mais sont réputées pour leur longue durée de vie et leur fiabilité. Elles sont généralement utilisées pour des applications ou dans des environnements particulièrement contraignants et peuvent être installées sur des racks ou dans des armoires.

La taille de la batterie dépend de l'autonomie souhaitée. Elle se situe en général entre 10 et 30 minutes. Certaines batteries permettent une autonomie bien plus longue, pouvant atteindre quelques heures. Dans ce cas, le redresseur doit être dimensionné en conséquence.

Le choix de l'autonomie de la batterie dépend en principe du temps nécessaire au groupe de secours pour démarrer (en tenant compte de plusieurs éventuels démarrages ratés).

En cas d'absence de groupe de secours, l'autonomie est définie par rapport à la durée anticipée maximale d'une coupure d'alimentation ou au temps nécessaire pour arrêter proprement l'équipement.

Les spécifications d'une ASI dépendent de sa puissance (par ex. 20 kVA ou 800 kVA), de l'autonomie batterie requise (par ex. 15 minutes) et de sa conception d'entrée ou de sortie mono ou triphasée. Les critères de qualité d'une ASI sont les suivants :

- sa capacité à alimenter des charges non linéaires (on constate des facteurs de crête de courant importants dans la plupart des équipements électroniques modernes),
- ses caractéristiques en matière de « pollution » électrique :
  - harmoniques du réseau nécessitant un redresseur à faible réinjection,
  - émissions électromagnétiques,
- sa capacité à filtrer du réseau les perturbations causées par les charges non linéaires,
- son rendement élevé : il dépend de la technologie de découpage (les pertes en puissance sont coûteuses). Le meilleur rendement est obtenu par l'utilisation de la technologie IGBT avec une régulation numérique.

Limitation des harmoniques

Les ASI utilisent pour la plupart un redresseur à pont de Graetz pour convertir le réseau alternatif d'entrée en continu. Il se compose de deux thyristors par phase, ce qui représente un total de six thyristors pour une entrée triphasée, suivis d'un filtre.

Un redresseur 6 pulses classique (chaque impulsion correspondant à un thyristor) génère un taux d'harmonique de l'ordre de 30 %, en courant sur le réseau qui l'alimente.

Certaines configurations des réseaux de distribution basse tension, en particulier en présence d'un groupe électrogène, imposent des contraintes particulières au niveau des réinjections harmoniques en amont du redresseur.

Pour répondre à ces besoins, certaines ASI possèdent une version comportant un redresseur « propre » avec un très faible taux de réinjection harmonique. Performant, il ne génère que 5 % d'harmoniques en courant. Cette performance est indépendante des variations possibles des caractéristiques du réseau, en fréquence et en impédance, ainsi que du taux d'utilisation de l'ASI.

La technologie utilisée par le redresseur « propre » le rend compatible avec les systèmes de filtrage ou de compensation du facteur de puissance (batterie de condensateurs de rephasage) existants sur le réseau.

C'est pourquoi la solution du redresseur « propre » est particulièrement indiquée si votre réseau comporte des groupes électrogènes.

Une autre solution consiste à utiliser un redresseur 12 pulses à double pont. Il se compose de deux ponts à thyristors en parallèle (12 thyristors au total) et d'un transformateur d'entrée qui déphase de 30° un pont par rapport à l'autre, réduisant ainsi la distorsion de courant à moins de 10 %.

Les redresseurs 12, 18 ou même 24 pulses (3 % de distorsion) peuvent facilement être mis en place dans le cas de deux ASI en parallèle ou plus, simplement en utilisant un transformateur de déphasage en amont de chaque unité ASI 6 pulses.

Le filtre passif est souvent proposé comme alternative à moindre coût. Il fonctionne selon le principe de résonance avec une inductance et un condensateur conçus théoriquement de sorte à pouvoir supprimer les harmoniques. Or, les tests montrent que l'impédance changeante et inattendue du réseau réduit malheureusement de manière significative l'efficacité du filtre.

Plus grave encore, la moindre variation de fréquence du réseau, comme cela est souvent le cas avec un groupe de secours, aurait pour conséquence d'amplifier les harmoniques au lieu de les supprimer.

Or, c'est justement lorsque l'on utilise un groupe de secours qu'il est important de limiter les harmoniques.

socomec Innovative Power Solutions

Principe de fonctionnement (suite)

Charges non linéaires

La capacité d'une ASI à alimenter des charges non linéaires dépend de la technologie utilisée dans la partie onduleur.

La plupart des ordinateurs modernes et équipements électroniques utilisent des alimentations à découpage avec des diodes tirant du courant seulement pendant une petite fraction de la période. Il peut en résulter des facteurs de crête du courant supérieurs à 3.

C'est la technologie IGBT, associée à la régulation numérique retenue par SOCOMEC, qui permet la meilleure adaptation d'une ASI à l'alimentation des charges non linéaires.

Il est important d'associer le facteur crête à alimenter, à la tension de distorsion. La tension de distorsion maximale admissible correspondante (certaines ASI peuvent fournir des crêtes de courant mais aux dépens d'une tension distordue, ce qui n'est pas admissible pour de nombreuses charges).

Exemple : facteur de crête de 3,0 avec moins de 3 % de distorsion en charge.

Réduction des perturbations électromagnétiques

Les normes relatives aux perturbations électromagnétiques sont de plus en plus strictes pour la plupart des équipements électriques, y compris les ASI. Les perturbations peuvent être conduites en amont ou en aval, par l'intermédiaire des câbles électriques. Pour les atténuer, des filtres spéciaux sont disponibles.

Les perturbations électromagnétiques peuvent également être émises, affectant ainsi d'autres équipements électroniques.

La structure mécanique des ASI SOCOMEC UPS est basée sur le principe de la cage de Faraday et chaque accès est filtré. L'ensemble répond ainsi aux normes civiles ou militaires en matière de CEM (Compatibilité ÉlectroMagnétique).

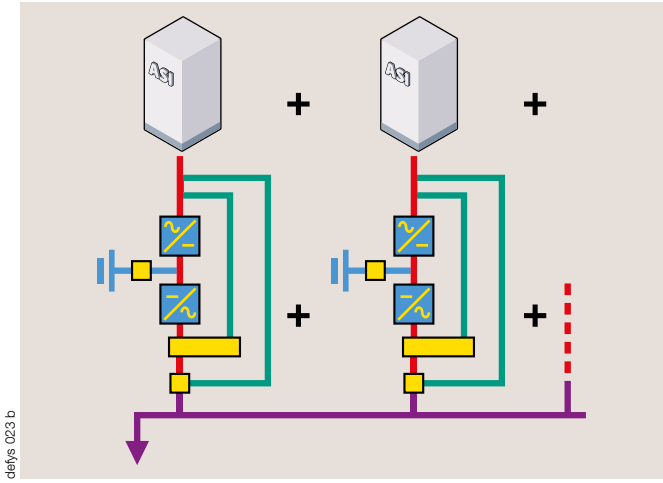
ASI en parallèle

La mise en parallèle de deux ou plusieurs ASI permet d'augmenter la puissance fournie ou d'assurer la redondance. Différentes architectures sont proposées pour la mise en parallèle des ASI.

C'est une approche modulaire, selon laquelle chaque ASI a son propre bypass. Elle offre une grande flexibilité en permettant le rajout ultérieur de modules pour augmenter la puissance sans redimensionner le bypass centralisé.

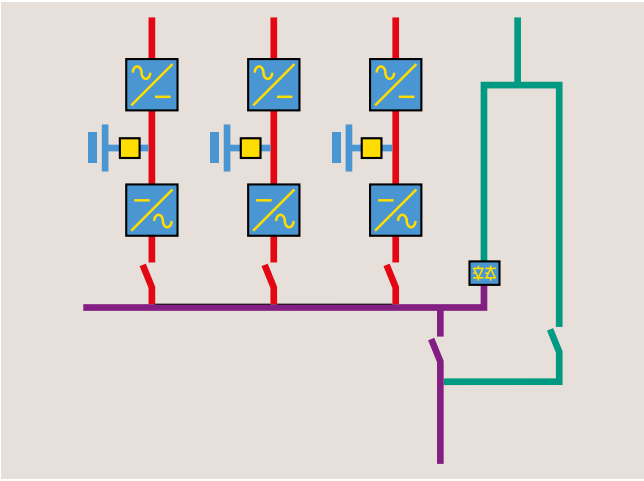
Le couplage sur une armoire bypass centralisée utilise un commutateur statique défini pour la puissance initiale du système avec une capacité de court-circuit élevée.

Cette architecture est adaptée pour l'extension de puissance et permet d'assurer la redondance du système.



defys 023 b

ASI en parallèle modulaire.



defys 024 b

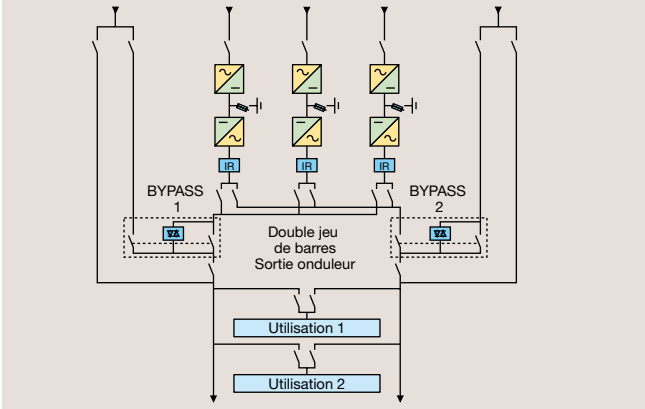
ASI en parallèle avec bypass centralisé.

Principe de fonctionnement (suite)

Double jeu de barres en sortie

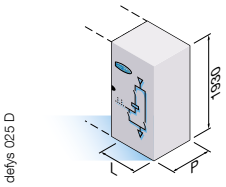
La plupart des gros systèmes sont pourvus de deux ASI ou plus en parallèle avec deux ou plusieurs charges.
Une autre option qui peut s'avérer très utile est le double jeu de barres de sortie, avec un ou même deux bypass.
Il permet une plus grande flexibilité pour :

- connecter n'importe quelle ASI à n'importe quelle charge,
- relier un nouvel équipement à une ASI, en assurant une indépendance totale par rapport à la charge initiale qui continue à être alimentée par l'autre ASI (on évite ainsi d'éventuels courts-circuits au niveau du nouvel équipement qui affecteraient l'équipement existant),
- profiter de doubles circuits de distribution, réduisant ainsi de manière significative le MTTR (temps moyen pour réparer) en cas de court-circuit.



Redondance par double jeu de barres.

Multi bypass

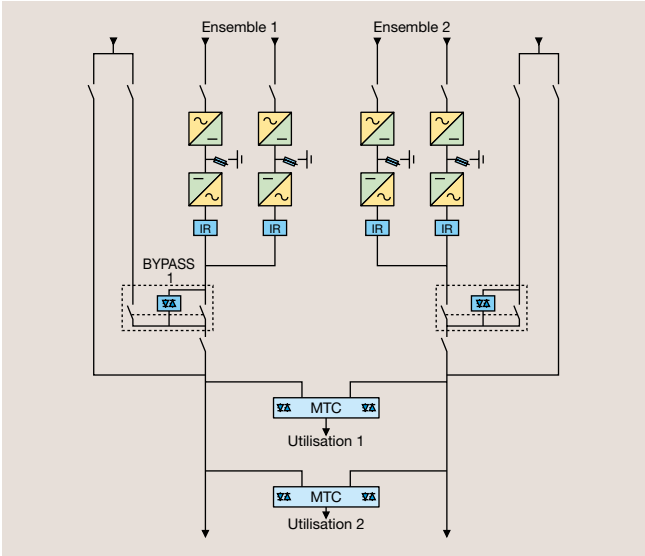


ASI en parallèle modulaire.

Pour une plus grande souplesse d'exploitation, la solution exclusive SOCOMEC UPS réalise la séparation fonctionnelle des groupes d'utilisation, le délestage sélectif pour favoriser les utilisations les plus critiques, la maintenance sélective, l'extension progressive et fractionnée, le choix du calibre de chaque bypass.

Module de Transfert de Charge (MTC)

Pour certains équipements électroniques sensibles tels que ceux connectés au système de sécurité d'un processus industriel, il est nécessaire de prévoir des sources ASI totalement redondantes. Cela signifie deux ASI séparées, dotées chacune d'un bypass propre et de deux systèmes de distribution séparés.
SOCOMEC UPS a pour cela développé un Module de Transfert de Charge intelligent (MTC), capable de détecter un défaut d'alimentation et de transférer automatiquement la charge d'une source vers l'autre sans aucune coupure, en utilisant un commutateur statique. Une redondance totale est assurée, même en cas de défaut grave de la deuxième source (court-circuit, incendie…).
Un nombre important d'utilisations électroniques sensibles, ayant chacune son Module de Transfert de Charge, peut être alimenté sur le même double système de distribution redondant.
Les Modules de Transfert de Charge sont utilisés avec beaucoup de succès dans le tertiaire (banques, assurances…) et dans l'industrie (retraitement de déchets nucléaires, salles de contrôle des raffineries, transmissions de télécommunication par satellite…).



Redondance totale avec Modules de Transfert de Charge.

Conceptions particulières

Les ASI sont utilisées dans un certain nombre d'environnements industriels dont certains sont très contraignants.
Voici quelques exemples auxquels SOCOMEC UPS a répondu :

- renforcement spécial antisismique pour des centrales nucléaires,
- armoires pouvant résister aux explosions pour des ASI embarquées sur des navires de la Marine nationale,
- machines étanches à la poussière et aux liquides pour des sites industriels exposés,
- unités en shelter pour le transport aéroporté,
- ASI protégées contre l'humidité pour les plates-formes pétrolières off-shore.

socomec Innovative Power Solutions

Communication

Télégestion

Un choix complet pour communiquer

Les ASI sont aujourd'hui intégrées dans la chaîne des équipements industriels ou considérées comme de véritables périphériques informatiques. À ce titre, les ASI doivent communiquer leurs états et données électriques. Différents interfaces et logiciels sont utilisés.

Coffret télégestion

La télésignalisation et la télécommande près de l'exploitant

Installé dans le local technique ou à proximité du système informatique, un coffret équipé d'un écran-clavier donne accès aux fonctions du tableau de bord de l'ASI.

Contacts de télésignalisation

Le report à distance des états et la gestion des informations externes

Les ASI mettent à disposition des exploitants des contacts « tout ou rien » configurables à partir de l'ensemble des informations disponibles dans l'équipement. Des entrées d'informations externes sont disponibles pour gérer le fonctionnement avec un groupe électrogène (désynchronisation), l'arrêt de la recharge batterie, l'arrêt d'urgence et d'autres possibilités configurables.

Liaison série

La communication de tous les paramètres et des commandes

La liaison série établit la communication avec les systèmes GTC (Gestion Technique Centralisée). Toutes les informations de la base de données des ASI, états, mesures, alarmes ainsi que les commandes sont transmises par une liaison série RS232, RS422, RS485 protocole JBUS/MODBUS.

Communication avec les serveurs

L'arrêt automatique des systèmes d'exploitation

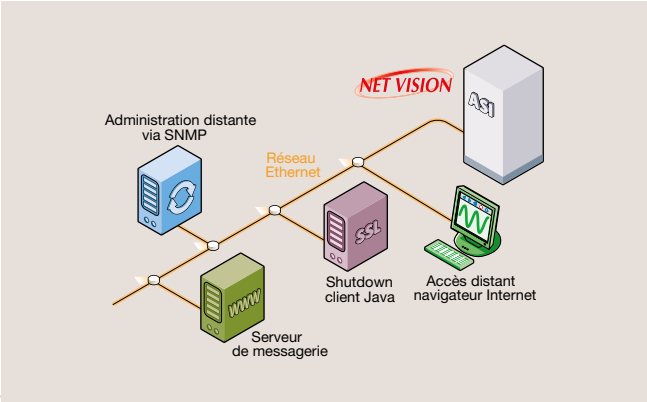
Les ASI, associées au logiciel UPS VISION, dialoguent avec les équipements informatiques. Lors d'une absence du réseau électrique, les utilisateurs seront avertis du fonctionnement sur batterie. Avant la fin de l'autonomie, UPS VISION arrêtera proprement les systèmes d'exploitation. L'agent SNMP d'UPS VISION permet de surveiller l'ASI comme tout périphérique d'un réseau informatique.

Connexion sur les réseaux

La connexion directe sur ETHERNET

NET VISION permet de connecter directement l'ASI sur un réseau ETHERNET en tant que périphérique intelligent surveillé par une station d'administration SNMP. Il donne accès aux informations sous forme de pages HTML avec un synoptique animé par un applet JAVA.

À partir d'un navigateur INTERNET (WEB browser), l'administrateur réseau peut en INTRANET configurer, superviser, administrer l'ASI. NET VISION assure également la fonction d'arrêt automatique des systèmes d'exploitation des serveurs.



logic 003 c fr

Socomec proche de vous

EN FRANCE

BORDEAUX
(16 - 17 - 24 - 33 - 40 - 47 - 64 - 86)
5, rue Jean-Baptiste Perrin
ZI, Parc d'activités Mermoz
33320 Eysines
info.bordeaux@socomec.com

Critical Power
Tél. 05 57 26 42 19
Fax 05 62 89 26 17

Power Control & Safety / Energy Efficiency
Tél. 05 57 26 85 00
Fax 05 56 36 25 42

GRENOBLE
(07 - 38 - 73 - 74)
17, avenue du Granier
38240 Meylan
info.grenoble@socomec.com

Critical Power
Tél. 04 76 90 95 99
Fax 04 72 14 01 52

Power Control & Safety / Energy Efficiency
Tél. 04 76 90 52 53
Fax 04 76 41 08 62

LILLE
(02 - 59 - 60 - 62 - 80)
Parc de la Cimaise
8, rue du Carrousel
59650 Villeneuve d'Ascq
info.lille@socomec.com

Critical Power
Tél. 03 20 61 22 84
Fax 03 20 91 16 81

Power Control & Safety / Energy Efficiency
Tél. 03 20 61 22 80
Fax 03 20 91 16 81

LYON
(01 - 03 - 21 - 39 - 42 - 43 - 58 - 63 - 69 - 71)
Le Mas des Entreprises
15/17 rue Émile Zola
69153 Décines-Charpieu Cedex
info.lyon@socomec.com

Critical Power
Tél. 04 78 26 66 56
Fax 04 72 14 01 52

Power Control & Safety / Energy Efficiency
Tél. 04 78 26 66 57
Fax 04 78 26 65 96

MARSEILLE - CORSE - MONACO
(04 - 05 - 06 - 13 - 20 - 26 - 30 - 83 - 84)
Parc d'Activité Europarc Sainte Victoire
Le Canet - Bât. N° 7
13590 Meyreuil
info.marseille@socomec.com

Critical Power
Tél. 04 42 52 84 01
Fax 04 42 52 48 60

Power Control & Safety / Energy Efficiency
Tél. 04 42 59 61 98
Fax 04 42 52 46 14

METZ
(08 - 10 - 51 - 52 - 54 - 55 - 57 - 88)
62, rue des Garennes
57155 Marly
info.metz@socomec.com

Critical Power
Tél. 03 88 57 45 50
Fax 03 88 57 45 69

Power Control & Safety / Energy Efficiency
Tél. 03 87 62 55 19
Fax 03 87 56 16 98

NANTES
(22 - 29 - 35 - 44 - 49 - 53 - 56 - 79 - 85)
5, rue de la Bavière - Erdre Active
44240 La Chapelle-sur-Erdre
info.nantes@socomec.com

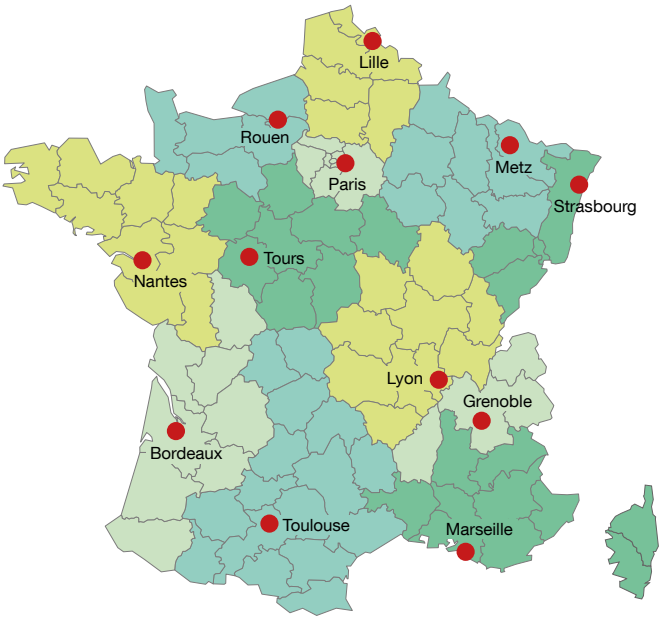
Critical Power
Tél. 02 40 72 94 70
Fax 02 28 01 20 84

Power Control & Safety / Energy Efficiency
Tél. 02 40 72 94 72
Fax 02 40 72 88 23

PARIS - ÎLE-DE-FRANCE
(75 - 77 - 78 - 91 - 92 - 93 - 94 - 95)
Z.I. de la Pointe - 95, rue Pierre Grange
94132 Fontenay-sous-Bois Cedex
info.paris@socomec.com

Critical Power
Tél. 01 45 14 63 70
Fax 01 48 77 31 12

Power Control & Safety / Energy Efficiency
Tél. 01 45 14 63 40
Fax 01 48 75 50 61



ROUEN
(14 - 27 - 50 - 61 - 76)
155 rue Louis Blériot
76230 Bois-Guillaume
info.rouen@socomec.com

Critical Power
Tél. 02 40 72 94 70
Fax 02 28 01 20 84

Power Control & Safety / Energy Efficiency
Tél. 02 35 61 15 15
Fax 02 35 60 10 44

STRASBOURG
(25 - 67 - 68 - 70 - 90)
1, rue de Westhouse
67230 Benfeld
info.strasbourg@socomec.com

Critical Power
Tél. 03 88 57 45 50
Fax 03 88 57 45 69

Power Control & Safety / Energy Efficiency
Tél. 03 88 57 41 30
Fax 03 88 57 42 78

TOULOUSE
(09 - 11 - 12 - 15 - 19 - 23 - 31 - 32 - 34 - 46 - 48 - 65 - 66 - 81 - 82 - 87)
Rue Guglielmo Marconi - Z.A. Triasis
31140 Launaguet
info.toulouse@socomec.com

Critical Power
Tél. 05 62 89 26 26
Fax 05 62 89 26 17

Power Control & Safety / Energy Efficiency
Tél. 05 62 89 26 10
Fax 05 62 89 26 19

TOURS
(18 - 28 - 36 - 37 - 41 - 45 - 72 - 89)
La Milletière - 7 allée Colette Duval
37100 Tours
info.tours@socomec.com

Critical Power
Tél. 01 45 14 63 70
Fax 01 48 77 31 12

Power Control & Safety / Energy Efficiency
Tél. 02 47 41 64 84
Fax 02 47 41 94 92

SIÈGE SOCIAL

GROUPE SOCOMEC
SAS SOCOMEC au capital de 10 686 000 €
R.C.S. Strasbourg B 548 500 149
B.P. 60010 - 1, rue de Westhouse
F-67235 Benfeld Cedex - FRANCE
Tél.+33 3 88 57 41 41
Fax +33 3 88 74 08 00
info.scp.isd@socomec.com

VOTRE CONTACT

www.socomec.fr

your energy
our expertise

ENERGY SPECIALIST SINCE 1922

socomec
Innovative Power Solutions

Document non contractuel. © 2016, Socomec SAS. Tous droits réservés. - Document imprimé sur papier issu de forêts gérées durablement. - papiers Avec Ecofolio tous les papiers se recyclent.
Réf: dcg_112 05 1 - 07/16 - Photo: Martin Bernhart - Réalisation : SOCOMEC