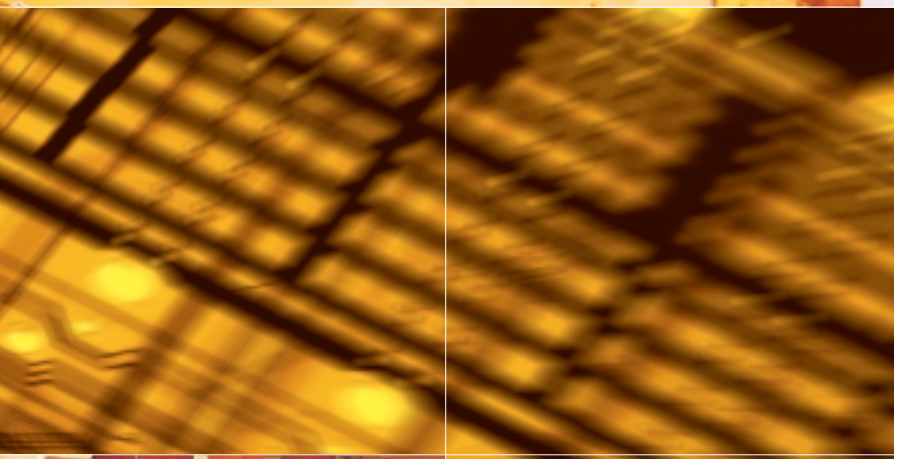
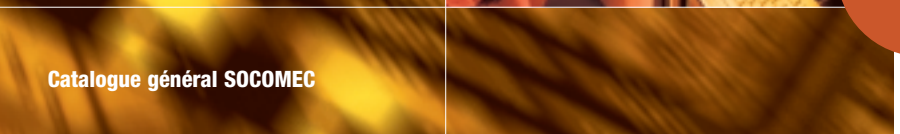




U=RI

GÉNÉRALITÉS

La distribution BT D. 4

Réseaux de communication D. 12

CANALISATIONS

Courants de surcharge D. 14

Courants de courts-circuits D. 21

Contacts directs et indirects D. 29

Chutes de tension D. 36

APPAREILLAGE

Appareils de coupure D. 37

Fusibles D. 43

Système de gestion de l'énergie DIRIS et COUNTIS D. 54

Mesure électrique D. 58

Protection numérique des réseaux D. 60

Protection différentielle D. 62

Contrôle Permanent de l'Isolement D. 69

Limiteur de surtension D. 75

Les parafoudres D. 76

Compensation de l'énergie réactive D. 90

Enveloppes D. 92

Jeux de barres D. 95

Alimentation statique sans interruption (onduleurs) D. 96

CAHIER TECHNIQUE

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)		La deuxième définit la liaison à la terre des masses	
raccordé à la terre	**T**	**T**	raccordées à la terre
isolé de la terre	**I**	**T**	raccordées à la terre
raccordé à la terre	**T**	**N**	raccordées au neutre

Les schémas de liaison à la terre consistent à définir les principes de distribution assurant une protection contre les contacts indirects par une coupure automatique de l’alimentation.

TT : régime “Neutre à la terre”

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

En cas de défaut d’isolement, il y a coupure de tout ou d’une partie 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.

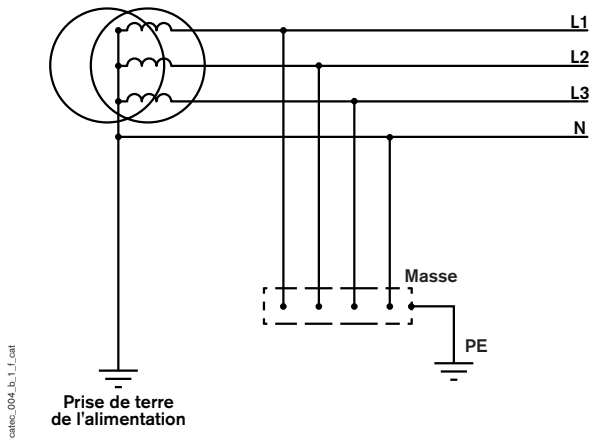


Fig. 1 : schéma TT

TN : régime “Mise au neutre”

Ce principe de distribution est adapté à toute installation admettant une coupure au premier défaut.

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 sectionné. Les conducteurs PEN doivent avoir une section supérieure à 10 mm² en cuivre et à 16 mm² en aluminium et ne pas comprendre d’installations mobiles (câbles souples).

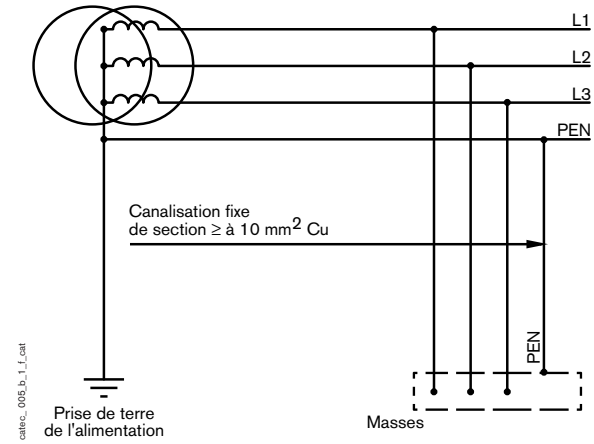


Fig. 2 : schéma TNC

Remarque : la fonction de protection du conducteur PEN est prépondérante à la fonction du neutre.
(Voir fig. 3.)

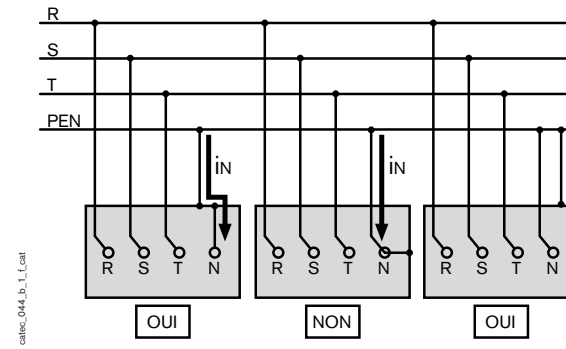


Fig. 3 : connection correcte du PEN

TN : régime "Mise au neutre" (suite)

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 obligatoiremement égales à celles des phases correspondantes.

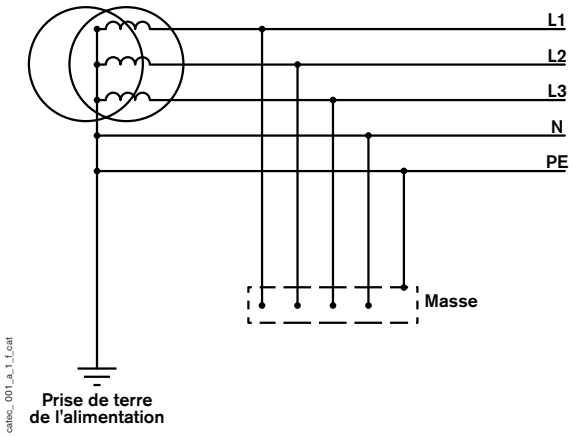


Fig. 1 : schéma TNS

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.

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.

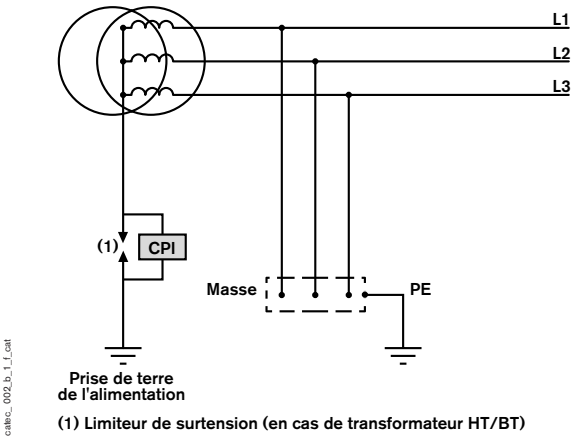


Fig. 2 : schéma IT sans neutre distribué

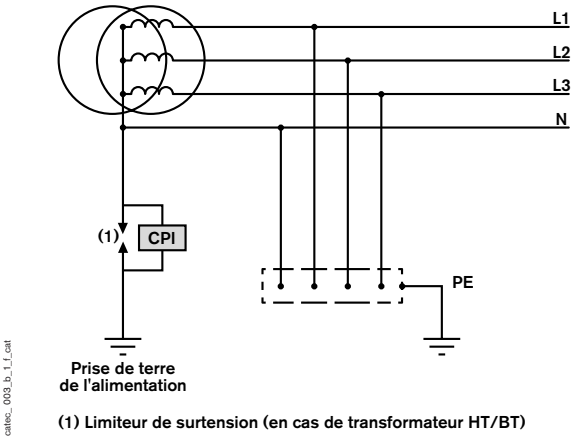


Fig. 3 : schéma IT avec neutre distribué

La distribution B.T.

Tensions, surtensions

Domaines de tension

En Basse Tension, on distingue 2 domaines suivant la norme CEI 60364 (NF C 15-100) et 3 domaines suivant le décret du 14.11.88.

DOMAINE		TENSION NOMINALE Un	
DECRET	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 60 038)

PERIODES	TENSIONS	TOLERANCES
Avant 1983	220 V/380 V/660 V	± 10 %
De 1983 à 2003	230 V/400 V/ 690 V	+ 6 % / - 10 %
Après 2003	230 V/400 V/ 690 V	± 10 %

Tension d'isolement Ui

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

Exemple : dans un réseau 230 V/400 V, il faudra choisir un appareil dont la tension d'isolement U_i ≥ 400 V (voir fig. 1).
Dans un réseau 400 V/690 V, il faudra retenir un appareil dont la tension d'isolement U_i ≥ 690 V.

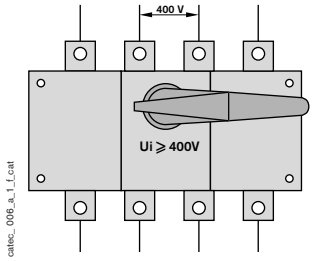


Fig. 1 : dans un réseau 230 V/400 V, il faut choisir des appareils dont la tension d'isolement est ≥ 400 V.

Qualité diélectrique à 50 hz

La qualité diélectrique est exprimée par la tension alternative 50 Hz que l'appareil peut supporter pendant 1 minute :

- entre phases
- entre phase et masse
- entre les pôles ouverts d'une même phase.

Elle caractérise la tenue de l'appareillage aux surtensions du réseau. Celles-ci peuvent résulter, par exemple, d'avaries des enroulements d'un transformateur ou du contournement des bornes HT/BT sous l'effet d'une surtension du réseau HT. Une protection efficace consiste à relier le point neutre du transformateur à la terre ou, au travers d'un limiteur de surtension (voir page D.75).

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 (voir tableau A).

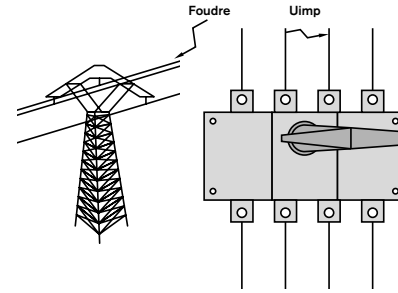


Fig. 2 : tenue de l'appareillage à U_{imp}.

Protection contre les surtensions

La protection contre les surtensions est assurée :

- par le choix de l'appareillage en fonction de U_{imp}. Les normes NF C 15-100 et CEI 60364 définissent 4 catégories d'utilisation :
  - I matériels spécialement protégés : informatique, électronique…
  - II appareils d'utilisation : outillage portatif à programmation mécanique
  - III appareillage situé dans les circuits de distribution, installations fixes, moteurs
  - IV appareillage situé à l'origine de l'installation.

Surtension en kV suivant la classe d'utilisation

Tableau A

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

- par les parafoudres (voir page D.76)

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.

Perturbation des réseaux

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.

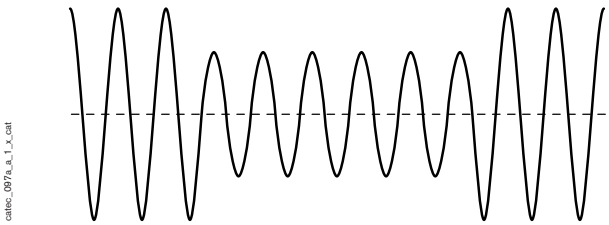


Fig. 1 : creux de tension

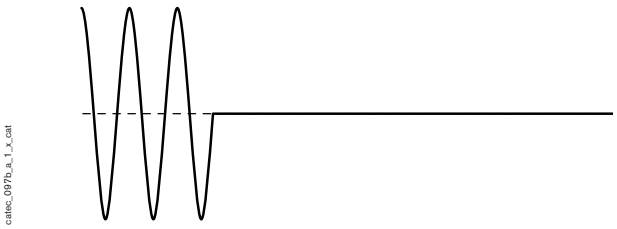


Fig. 2 : coupure

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 D.96)
  - modifier la structure du réseau (voir page D.10)
- Suivant le type de charge :
  - alimentation des bobines de contacteur entre phases
  - augmentation de l'inertie des moteurs
  - utilisation de lampes à réallumage immédiat.

Variations de fréquence

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

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,…

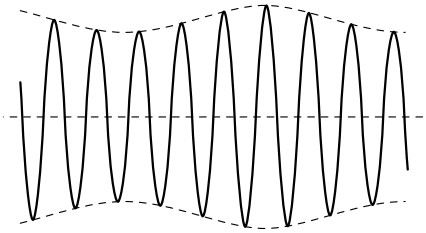


Fig. 3 : flicker

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).

Transitoires

Définition
Les phénomènes transitoires sont essentiellement constitués de surtensions très élevées (jusqu'à 20 kV) 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.

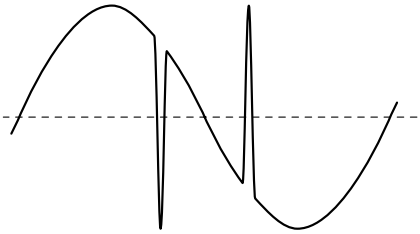


Fig. 4 : transitoire

Les transitoires provoquent :
- des déclenchements intempestifs d'appareils de protection,
- la destruction des équipements électroniques (cartes d'automates, de variateurs de vitesse…),
- le claquage de la gaine isolante des câbles,
- l'échauffement et le vieillissement prématuré des matériels de systèmes informatique.

Solutions
- Construction du matériel suivant la norme CEI 60664-1 : coordination de l'isolement qui assure une tenue à l'onde de choc (voir page D.6). Tout le matériel SOCOMEC est construit suivant cette norme.
- 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.

La distribution B.T.

Perturbation des réseaux (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 arcs, 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.

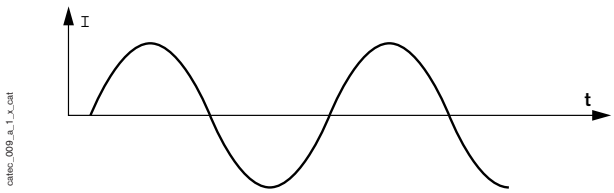


Fig. 1 : courant «sinusoïdal» pur

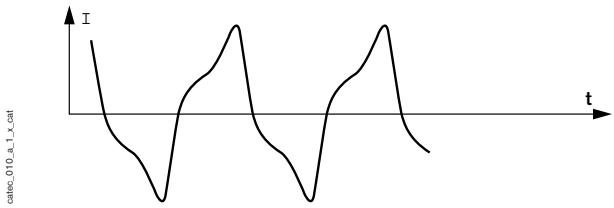


Fig. 2 : courant déformé par des harmoniques

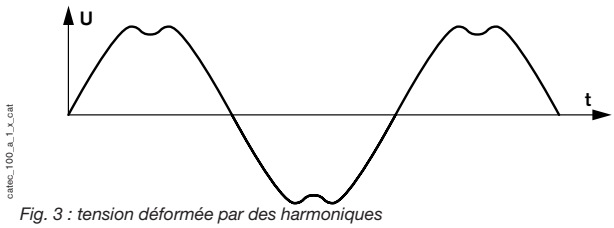


Fig. 3 : tension déformée par des harmoniques

Solutions
- Alimentation des charges perturbantes par ASI (voir page D.97)
- 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 :

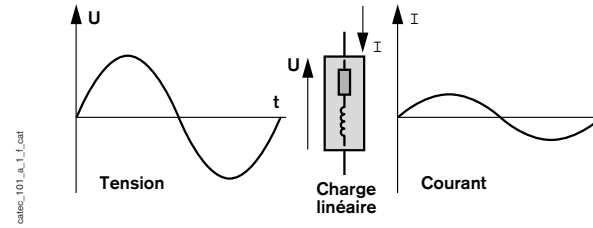


Fig. 4

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

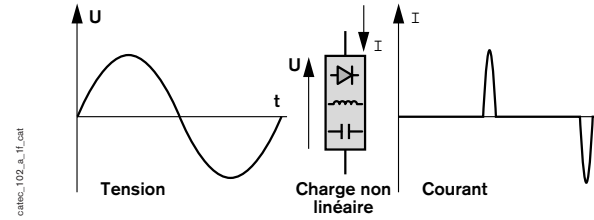


Fig. 5

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

Facteur de crête (fc)
Dans le cas des charges déformantes, la déformation du courant peut être caractérisée par le facteur crête :

$$fc = \frac{I\text{crête}}{I\text{eff}}$$

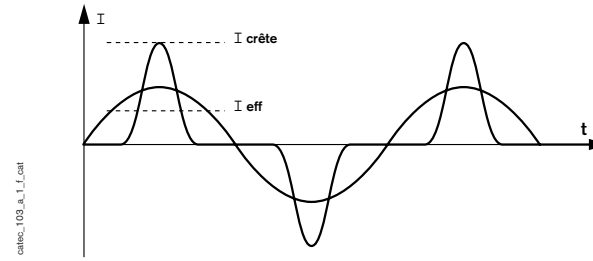


Fig. 6 : facteur de crête : fc = Icrête / Ieff

Exemples de valeurs de fc :
- charge résistive (sinusoïde pure) : $\sqrt{2}$ = 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.

Perturbation des réseaux (suite)

Harmoniques

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).

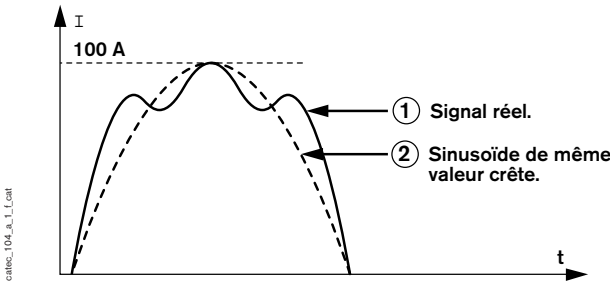


Fig. 1 : perturbation de la mesure

Exemple (fig. 1) : le signal 1 est perturbé par la présence d'une harmonique 3. La valeur efficace d'une sinusoïde de même valeur crête serait : $\frac{100\ A}{\sqrt{2}} = 70\ A$

La vraie valeur efficace vaut 84 A (mesurée avec un appareil adéquat, voir DIRIS page D.54).

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

Courant efficace par phase :

$$I_{eff} = \sqrt{I_n^2 + I_2^2 + I_3^2 + \ldots + I_k^2}$$

In : courant nominal du perturbateur
I_2, I_3,… : courants harmoniques de rang 2, 3,…

Sur le neutre : les courants harmoniques de rangs impairs, multiples de 3 s'additionnent :

$$I_{Neutre} = \sqrt{I_{N3}^2 + I_{N9}^2 + \ldots}$$

$I_{N3} = 3I_3$
$I_{N9} = 3I_9$
etc.

Les valeurs efficaces des courants harmoniques I_2, I_3, 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 : $\frac{180\ kVA}{\sqrt{3} \times 400\ V} = 260\ A$

- Harmoniques calculés : $I_2 =$ 182 A 50 Hz
  $I_3 =$ 146 A 150 Hz
  $I_5 =$ 96 A 250 Hz
  $I_7 =$ 47 A 350 Hz
  $I_9 =$ 13 A 450 Hz
- Les courants harmoniques de rangs plus élevés sont négligeables.

Courant dans une phase :
$I_p = \sqrt{(182)^2 + (146)^2 + \ldots} = 260\ A$

Courant dans le neutre :
$I_{Neutre} = \sqrt{(3 \times 146)^2 + (3 \times 13)^2} = 440\ A$

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

Taux de distorsion et taux d'harmoniques
Taux d'harmoniques global ou taux de distorsion :

$$T = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \ldots I_k^2}}{I_{1eff}}$$

Pour éviter les problèmes liés aux harmoniques, il faut que ce taux soit inférieur à 5 %. Taux de l'harmonique de rang n : valeur efficace de l'harmonique de rang n divisée par la valeur efficace du fondamental. Il doit rester inférieur à 3 %. Cette définition est également valable pour les harmoniques de tension.

La distribution B.T.

Amélioration de la qualité du réseau

Les tolérances généralement admises pour le bon fonctionnement d'un réseau comprenant des charges sensibles aux perturbations (équipement électroniques, matériel informatique,…) sont données dans le tableau ci-dessous :

PARAMETRES DU RESEAU	TOLERANCES
Tension en régime établi (charges constantes)	± 2 %
Tension en régime dynamique (charge variable)	± 10 %
Fréquence	± 1 %
Taux global d'harmoniques	< 5 %
Taux maximal d'un harmonique	< 3 %
Dissymétrie de tension (triphasées)	< 4 %
Déphasage entre tensions simples	120° ± 3°
Microcoupures	< 10 ms

Pour arriver à ces valeurs, on peut recourir à des sources de remplacement et/ou prendre des précautions au niveau de l'installation.

Sources de remplacement

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

TYPES DE SOURCE	PERTURBATIONS ELIMINEES
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 (< 2s avec un SIRCOVER motorisé).
Onduleurs + groupes autonomes	Cette solution couvre tous les types de perturbations évoqués page D.97.

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.

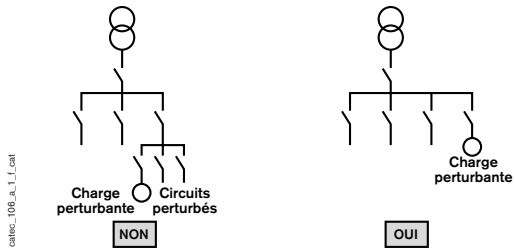


Fig. 1

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 D.51 à D.53 et D.64).

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.

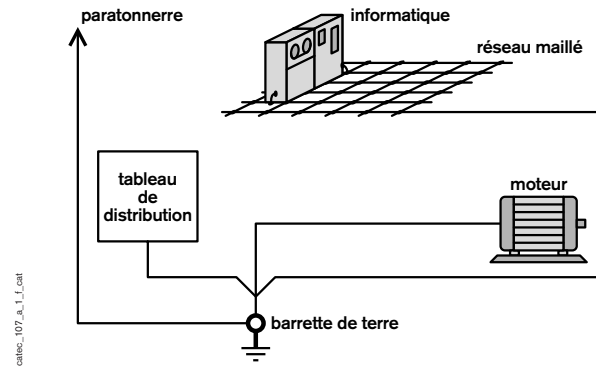


Fig. 2

- 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.

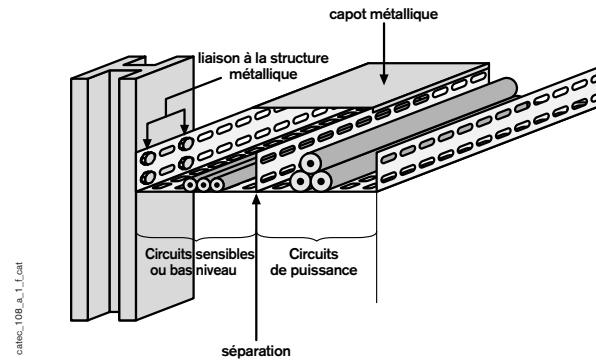


Fig. 3

Influences externes

Degrés de protection IP

Le degré de protection 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 PENETRATION DES CORPS SOLIDES			2e CHIFFRE PROTECTION CONTRE LA PENETRATION DES LIQUIDES			LETTRE ADDITION-NELLE (2)	DEGRES DE PROTECTION
IP	Tests		IP	Tests			DESCRIPTION ABREGEE
0		Pas de protection	0		Pas de protection		
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

En France, la NF C 20010 définissait un troisième chiffre donnant le degré de protection contre les chocs mécaniques. Ce troisième chiffre a disparu au profit d'un degré IK (normes EN 50102, NF C 20015).

Correspondances IK/AG

Energie de choc (J)	0	0,15	0,2	0,225	0,35	0,375	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

Réseaux de communication

La communication numérique

Introduction

Un réseau de communication permet de relier entre eux un certain nombre d'appareils afin d'échanger des informations : mesures, comptage, commande…

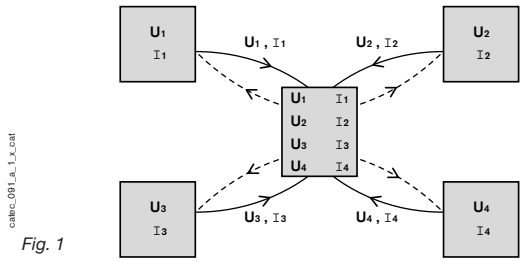


Fig. 1

Transmission ou liaison

Analogique
Le signal transmis est un courant ou une tension.
Exemple : liaison 0-10 V ou 4-20 mA.

Numérique
Le signal est un élément binaire 0 ou 1 appelé bit. L'information est codée sur un ensemble de bits. Chaque type de liaison numérique définit un niveau analogique (niveau de tension : voir tableau A) pour le 0 logique et le 1 logique au départ et à l'arrivée.

Liaison série et liaison parallèle
Dans une liaison série, l'ensemble des bits constituant une information est transmis sur les mêmes fils l'un après l'autre (en série). Elle nécessite 2 ou 3 fils (0V). Dans une liaison parallèle, chaque bit est envoyé sur un support différent. Pour un codage 8 bits, il faudra donc au minimum 8 fils plus 1 fil de masse.

Emission/réception
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 + masse pour une RS485)
- réunis sur une même voie, l'émission et la réception se faisant alternativement dans les deux sens (half duplex en 2 fils + masse)
- réunis sur une même voie, l'émission et la réception se faisant simultanément (full duplex en 2 fils).

Débit
C'est le nombre de bits que peut transmettre une liaison en 1 seconde caractérisée par une unité : le baud (Bd). Pour les liaisons numériques qui nous intéressent, 1 baud = 1 bit par seconde.

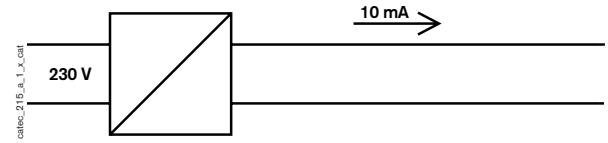
Support
Le support le plus simple est constitué par 2 fils torsadés blindés (paire téléphonique), mais on trouve également les câbles coaxiaux, les fibres optiques ou la transmission hertzienne. Le support dépend du type de transmission retenu et de l'environnement.

Portée
La portée est la distance maximale entre un émetteur et un récepteur permettant l'exploitation correcte d'une transmission.
Exemple : RS485 = 1500 m à 9600 bauds.

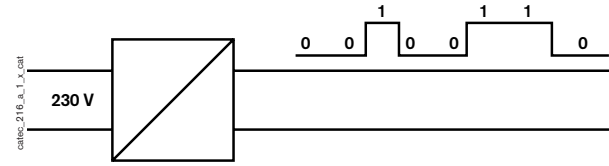
Exemple

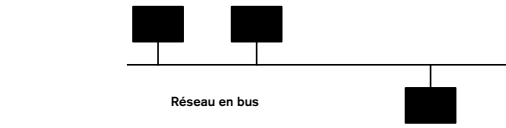
Transmission de l'information résultant d'une mesure : U = 230 V

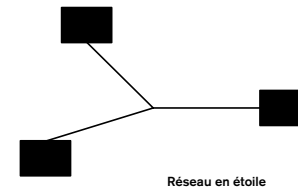
- **Solution 1 :** par la transmission analogique.
  La valeur 230 V est équivalente à un courant de 10 mA (par exemple).



- **Solution 2 :** par la transmission numérique.
  La valeur 230 V est codée sur un ensemble de bits formant le message U = 230 V.
  Le codage se fait sur 8 bits dans notre exemple : 230 V = 00100110







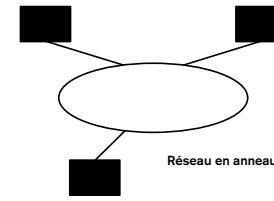


Fig. 2 : topologie des réseaux

Tableau A : comparaison des liaisons

BUS		BOUCLE DE COURANT	RS232-C	RS422-A	RS485
Vitesse maxi (Bauds)		9,6 k	19,2 k	10 M	10 M
Nombre d'émetteurs		multipoint	1	1	1
Nombre de récepteurs		multipoint	1	10	31 récepteurs
Distance maxi (m)		3000	15	1500 (1)	1500 (1)
Tension d'émission	0	0 à 4 mA	+ 5 à + 15 V	+ 2 à + 6 V	+ 5 à + 15 V
	1	20 mA	- 5 à - 15 V	- 2 à - 6 V	- 5 à - 15 V
Seuil de réception	0	5 mA	> + 3 V	> + 0,2 V	> + 0,2 V
	1	10 mA	< - 3 V	< - 0,2 V	< - 0,2 V

(1) 1500 m à 9600 bauds.

La communication numérique (suite)

Protocoles

La communication entre plusieurs appareils nécessite une organisation et un langage commun : le protocole.
Chaque type de liaison a son propre protocole établi par des normes. Par contre, tous les protocoles respectent un découpage en 7 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.

Couche 1 : couche physique
La couche physique est la couche élémentaire du protocole. Elle définit le mode de transmission, le support (câble,…) et la topologie du réseau.
La couche 1 (RS232, RS485) est définie par les normes de l'UIT (Union Internationale des Télécommunications).

Couche 2 : couche liaison
Elle contrôle l'accès au réseau (système maître/esclave par exemple), le contrôle d'adressage (identité de l'émetteur ou du récepteur) et le contrôle des erreurs de transmission.

Couche 3 : réseaux
Elle est définie par l'adressage, le chemin ou les performances du système.

Couche 4 : transport
Elle assure la communication point à point entre l'émetteur et le récepteur et surveille sa qualité.

Couche 5 : session
Elle assure la commande des flux et des mises en mémoire.

Couche 6 : présentation
Elle assure le transcodage, le format, la conversion et l'encodage.

Couche 7 : couche application
La couche application constitue le niveau d'information le plus élevé et permet la communication avec l'utilisateur du système.

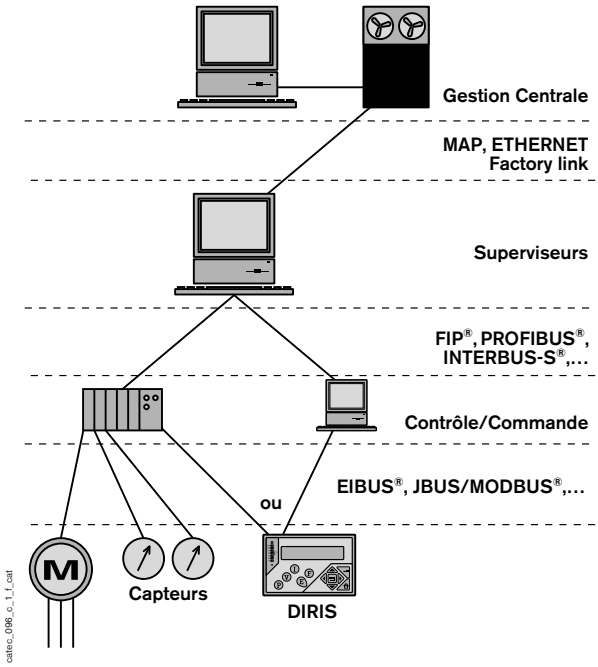


Fig. 1 : exemple de réseau industriel

Le choix du protocole doit se faire en fonction de l'application à réaliser. La distance entre le maître et les esclaves, le nombre de produits sur la liaison et le réseau actuellement implanté sont autant de paramètres qui entreront en compte au moment du choix. Aujourd'hui, plusieurs solutions existent :

Les solutions standards
- pour des transmissions peu complexes entre différentes unités d'entrées et de sorties, on peut utiliser des protocoles comme Can ou ASI (exemple : liaison entre des produits d'une même gamme)
- pour des transmissions entre un ou plusieurs actionneurs ou capteurs avec des PC ou des automates, on peut utiliser des protocoles comme Interbus-S®, Profibus® ou JBUS/MODBUS®
- pour des transmissions entre des PC ou entre des PC et des automates, les industriels font de plus en plus appel au réseau Ethernet avec son protocole TCP-IP. Dans certains cas, en utilisant des interfaces spécifiques, des actionneurs sont raccordés directement sur Ethernet à partir d'interfaces spécifiques.

Les solutions spécifiques
Il existe également des protocoles spécifiques à certains constructeurs. Ces derniers proposent généralement des passerelles permettant la conversion de leur protocole en protocole standard type JBUS/MODBUS® par exemple.

Courants de surcharge

Coordination entre les conducteurs et les dispositifs de protection

Définition

"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 15-100 § 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
- **I_2** : courant assurant effectivement le fonctionnement du dispositif de protection ; en pratique I_2 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 : $\mathbf{Ib \leq I_n \leq Iz}$

2 : $\mathbf{I_2 \leq 1{,}45\ Iz}$

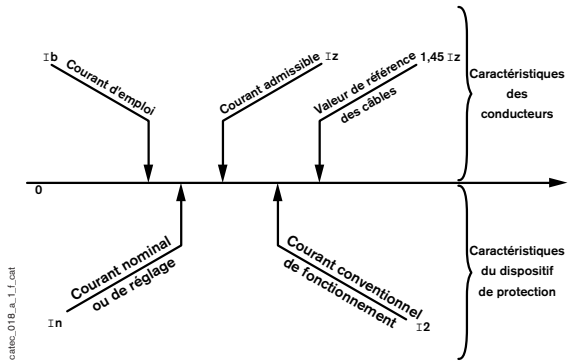


Fig. 1 : coordination entre les conducteurs et les dispositifs de protection

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 mm² suivant le mode de pose et les conditions externes donnés par la méthode exposée dans les pages suivantes

I_2 = 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

I_2 = 400 A ≤ 1,45 Iz = 432 A.

Détermination du courant I_2

Courant assurant le fonctionnement effectif du dispositif de protection :

TYPE DE PROTECTION	COURANT I_2
Fusibles gG (CEI 269-2-1)	
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
DIRIS CP ou P/PS	1,15 I_0

Détermination du courant admissible Iz (suivant NF C 15-100 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 D.16)
- Kn : coefficient prenant en compte le nombre de câbles posés ensemble (voir page D.76)
- Kt : coefficient tenant compte de la température ambiante et du type de câble (voir page D.77).

Les coefficients Km, Kn et Kt sont déterminés en fonction des catégories d'installation des câbles : B,C, E ou F (voir pages D.16 et D.17).

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 D.24). 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									
				I_z 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

Courants de surcharge

Détermination du courant admissible Iz (suite)

Coefficient Km

Suivant norme NF C 15-100 et CEI 60364

CATEGORIE	MODE DE POSE	Km (a)	Km (b)	Km (c)	Km (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 • au plafond	-	-	-	1 0,95
	3 Conducteurs nus ou isolés sur isolateur	-	1,21	-	-
	4 Câbles sur chemins de câbles non perforés	-	-	-	1
E F	Câbles multiconducteurs ou Câbles monoconducteurs sur { 1 - Chemins de câbles perforés 2 - Corbeaux, échelles 3 - Colliers éloignés de la paroi 4 - Câbles suspendus à un câble porteur	-	-	-	1

(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 Kn

Suivant norme NF C 15-100 et CEI 60364

Tableau A

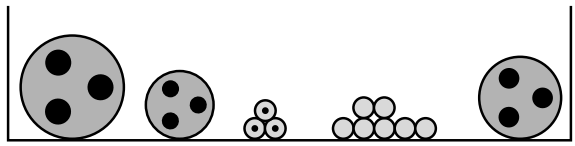
CATEGORIE	DISPOSITION DES CABLES JOINTIFS	FACTEURS DE CORRECTION Kn — NOMBRE DE CIRCUITS OU DE CABLES MULTICONDUCTEURS 1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
B, C	Encastrés ou noyés dans les parois	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45	0,40	0,40
C	Simple couche sur les murs ou les planchers ou tablettes 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		
	Simple couche au plafond	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61			
E, F	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 Kn par :

Tableau B

Nbre 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.

NFC 15-100 § 523.6

D'une manière générale, il est recommandé de mettre en oeuvre 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 oeuvre de canalisations préfabriquées.

PS : Des méthodes particulièrement intéressantes de protection de conducteurs en parallèle contre les surcharges par fusibles sont données dans la publication CEI 60364-4-47.

Détermination du courant admissible Iz (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 multi-conducteurs dans des conduits en montage apparent.

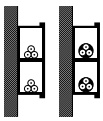
Conducteurs isolés dans des conduits-profilés en montage apparent.

Câbles mono- ou multi-conducteurs dans des conduits-profilés en montage apparent.

Conducteurs isolés dans des conduits encastrés dans une paroi.

Câbles mono- ou multi-conducteurs dans des conduits encastrés dans une paroi.

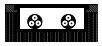
• Catégorie B - 2

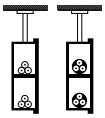

Conducteurs isolés ou câbles mono- ou multi-conducteurs dans des goulottes fixées aux parois :

- en parcours horizontal

- en parcours vertical

Conducteurs isolés dans des goulottes encastrées dans des planchers.


Câbles mono- ou multi-conducteurs dans des goulottes encastrées dans des planchers.


Conducteurs isolés dans des goulottes suspendues.

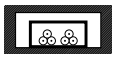
Câbles mono- ou multi-conducteurs dans des goulottes suspendues.

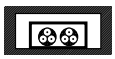
• Catégorie B - 3

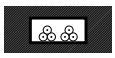
Câbles mono- ou multi-conducteurs dans des vides de construction.

Conducteurs isolés dans des conduits dans des vides de construction.

Câbles mono- ou multi-conducteurs dans des conduits dans des vides de construction.


Conducteurs isolés dans des conduits-profilés dans des vides de construction.

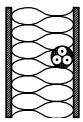

Câbles mono- ou multi-conducteurs dans des conduits- profilés dans des vides de construction.


Conducteurs isolés dans des conduits-profilés noyés dans la construction.

Câbles mono- ou multi-conducteurs dans des conduits- profilés noyés dans la construction.

Câbles mono- ou multi-conducteurs :
- dans les faux-plafonds
- dans des plafonds suspendus.

• Catégorie B - 4


Câbles multiconducteurs encastrés directement dans des parois thermiquement isolantes.

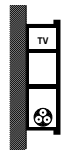
Conducteurs isolés dans des conduits ou câbles multi-conducteurs dans des caniveaux fermés, en parcours horizontal ou vertical.

Conducteurs isolés dans des conduits dans des caniveaux ventilés.

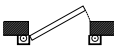
Câbles mono- ou multi-conducteurs dans des caniveaux ouverts ou ventilés.

• Catégorie B - 5

Conducteurs isolés dans des moulures.



Conducteurs isolés ou câbles mono- ou multi-conducteurs 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

Câbles mono- ou multi-conducteurs encastrés directement dans des parois sans protection mécanique complémentaire.

Câbles mono- ou multi-conducteurs encastrés directement dans des parois avec protection mécanique complémentaire.

• Catégorie C - 2

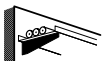
Câbles mono- ou multi-conducteurs, avec ou sans armure :

- fixés sur un mur
- fixés à un plafond.

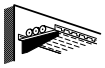
• Catégorie C - 3

Conducteurs nus ou isolés sur isolateurs.

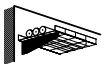
• Catégorie C - 4


Câbles mono- ou multi-conducteurs sur des chemins de câbles ou tablettes non perforées.

• Catégories E - 1(1) et F - 1(2)


- sur des chemins de câbles ou tablettes perforées, en parcours horizontal ou vertical.

• Catégories E - 2(1) et F - 2(2)


- sur des corbeaux,

- sur échelles à câbles.

• Catégories E - 3(1) et F - 3(2)

- fixés par des colliers et espacés de la paroi.

• Catégories E - 4(1) et F - 4(2)

Câbles mono- ou multi-conducteurs suspendus à un câble porteur ou autoporteur.

(1) câbles multiconducteurs
(2) câbles monoconducteurs

Coefficient Kt

Suivant norme NF C 15-100 et CEI 60364

Tableau C

TEMPERATURE AMBIANTE (°C)	ISOLANTS		
	ELASTOMERE (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

TEMPERATURE AMBIANTE (°C)	ISOLANTS		
	ELASTOMERE (CAOUTCHOUC)	PVC	PR/EPR
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.

Courants de surcharge

Détermination du courant admissible Iz (suite)

Identification des câbles

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

ANCIENNE APPELLATION (NORME NATIONALE)	NOUVELLE APPELLATION (NORME HARMONISEE)
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

CABLES PR		CABLES 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

Exemple 1

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.

Quelle section doit-on retenir ?

Iz doit être tel que :

$$Iz > I'z = \frac{Ib}{Km \times Kn \times Kt}$$

- Détermination de I'z
  - mode de pose : E donc Km = 1 (voir tableau p. T.733)
  - nombre total de circuits : 4 donc kn = 0,77 (voir tableau A p. D.16)
  - température ambiante : 40 °C donc Kt = 0,91 (voir tableau C p. D.17)

  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 T.731 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.

Exemple 2

On cherche à déterminer le courant de réglage I_0 d'un DIRIS CP protégeant un circuit composé de 3 phases + neutre dans les conditions suivantes :
- câbles cuivre monoconducteurs, isolation PR, installés sur des corbeaux
- température ambiante : 40 °C
- pas d'autres circuits à proximité
- Ib = 450 A

- Détermination de I'z
  - mode de pose : F donc Km = 1 (voir tableau p. D.16)
  - nombre total de circuits : 1 donc Kn = 1 (voir tableau A p. D.16)
  - température ambiante : 40 °C donc Kt = 0,91 (voir tableau C p. D.17)

  d'où $I'z = \frac{450\ A}{1 \times 1 \times 0{,}91} = 494\ A$

- Détermination de Iz et Io
  - Iz immédiatement supérieur : 506 A
  - section retenue : 185 mm².

Protection des canalisations contre les surcharges par fusibles

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 15-100 et le guide UTE 15-105.
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 D.18).

Les câbles sont classés en deux familles : PVC et PR (voir tableaux p. D.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.

CATEGORIE	COURANT ADMISSIBLE (Iz) PROTECTION FUSIBLE ASSOCIE (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 surcharge

Protection des canalisations contre les surcharges par DIRIS CP

La protection contre les surcharges des conducteurs est assurée lorsque le réglage Is est au plus, égal aux valeurs données dans le tableau A. Le DIRIS CP doit être associé à un organe de coupure.
La colonne Iz donne la valeur du courant maximal admissible pour chaque section des câbles en cuivre et en aluminium. Cette colonne donne également la valeur du courant de réglage Is.
Les catégories B, C, E et F correspondent aux différents modes de pose des câbles (voir page D.17).
Les câbles sont classés en deux familles : PVC et PR (voir tableaux A et B page D.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 PVC 3 de 50 mm² en cuivre, installé en catégorie C, est protégé contre les courants de surcharge par un DIRIS CP dont le courant I_0 est réglé au maximum à 144 A.

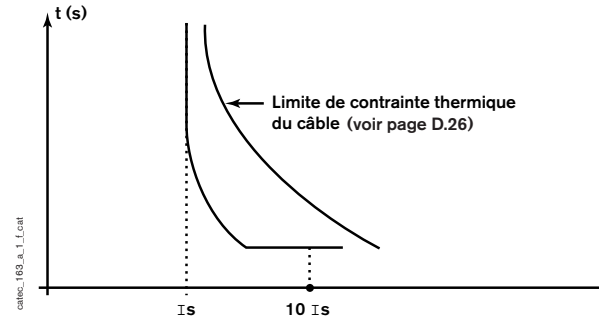


Fig. 1 : protection des câbles par DIRIS CP

Tableau A

CATEGORIE	COURANT MAXIMAL ADMISSIBLE DANS LES CABLES (A)								
B	PVC3	PVC2		PR3		PR2			
C		PVC3		PVC2	PR3		PR2		
E			PVC3		PVC2	PR3		PR2	
F				PVC3		PVC2	PR3		PR2
S mm²									
CUIVRE	Iz = Is	Iz = Is	Iz = Is	Iz = Is	Iz = Is	Iz = Is	Iz = Is	Iz = Is	Iz = Is
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
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	186	197	212	226	245	263	280	300	337
150		227	245	261	283	304	324	346	389
185		259	280	298	323	347	371	397	447
240		305	330	352	382	409	439	470	530
300		351	381	406	440	471	508	543	613
400					526	600	663		740
500					610	694	770		856
630					711	808	899		996

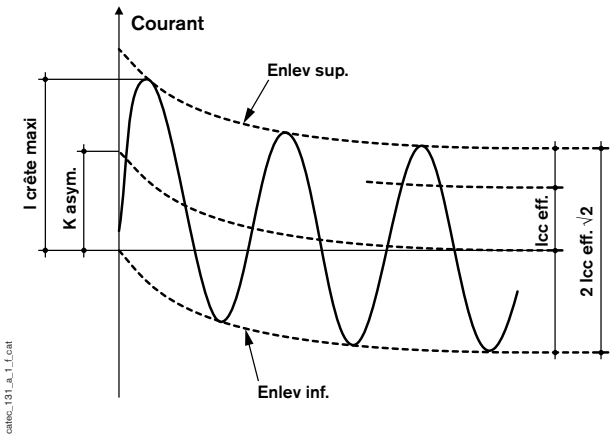
Courants de courts-circuits

Définition

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.



Calcul du I_{cc} d'une source

Avec 1 transformateur

- Evaluation 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**

- Evaluation 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 : cœfficient 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_{ccA} = (n-1) x I_{cc} d'un transformateur.
- Court-circuit en D, l'appareil 4 doit supporter : I_{ccB} = n x I_{cc} d'un transformateur.

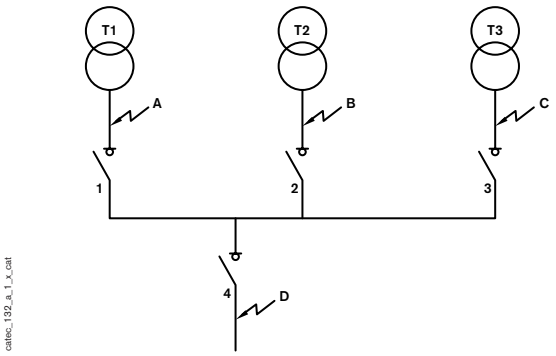


Fig. 1 : court-circuit avec plusieurs transformateurs en parallèle

I_{cc} batteries

Les valeurs de I_{cc} en aval d'une batterie d'accumulateurs sont approximativement :

I_{cc} = 15 x Q (plomb ouverte)
I_{cc} = 40 x Q (plomb étanche)
I_{cc} = 20 x Q (Ca-Ni)
Q (Ah) : capacité en Ampère - heure.

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 :

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

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

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

P : Puissance de l'alternateur en kVA
U_0 : Tension simple
X'd : Réactance transitoire
k_3 = 0,37 pour I_{cc3} max
k_3 = 0,33 pour I_{cc3} min
X'0 : Réactance homopolaire
k_1 = 1,1 pour I_{cc1} max
k_1 = 1,1 pour I_{cc1} min

Exemple : P = 400 kVA X'd = 30 % X'0 = 6 % U_0 = 230 V

$$I_{cc3}\ \text{max} = \frac{0{,}37 \times 400}{230 \times \frac{30}{100}} = 2{,}14\ \text{kA} \qquad I_{cc1}\ \text{max} = \frac{1{,}1 \times 400}{230 \times \left[2 \times \frac{30}{100} + \frac{6}{100}\right]} = 2{,}944\ \text{kA}$$

I_{cc2} max = 1,844 kA

Les faibles courants de court-circuit générés par les groupes électrogènes rendent difficile la protection des circuits par les moyens habituels. SOCOMEC propose à travers le système DIRIS une solution appropriée.

Courants de courts-circuits

Calcul du I_{cc} d'une installation BT

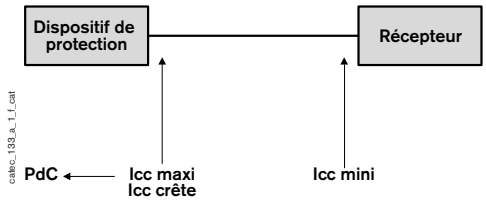
Généralités

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 15-100 et CEI 60364.
- la tenue mécanique des supports de conducteur (efforts électrodynamiques).

Le PdC du dispositif de protection est déterminé à partir de I_{cc} maxi calculé à ses bornes.

La section des conducteurs dépend de I_{cc} mini calculé aux bornes du récepteur.

La tenue mécanique des supports des conducteurs est déterminée à partir du calcul de I_{cc} crête déduit du I_{cc} 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. Voir ci-dessous.
- **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 D.23).
- **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 D.25). Cette méthode donne uniquement la valeur de I_{cc} maxi.

Méthode conventionnelle

Elle donne la valeur de I_{cc} 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 mΩ.m pour le cuivre en protection fusible
0,044 mΩ.m pour l'aluminium en protection fusible
0,023 mΩ.m pour le cuivre en protection disjoncteur
0,037 mΩ.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 = $\frac{1}{2}$ 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 D.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 D.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 :

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

k : coefficient d'asymétrie donné ci-dessous.

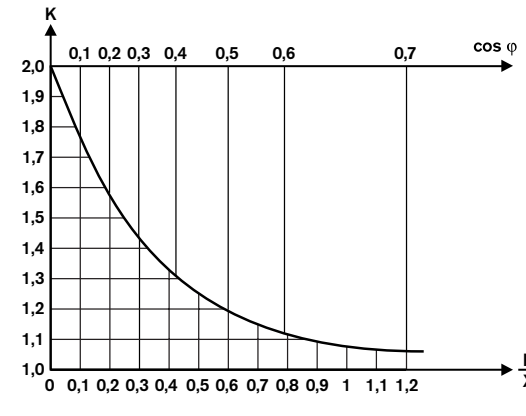


Fig. 1

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

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

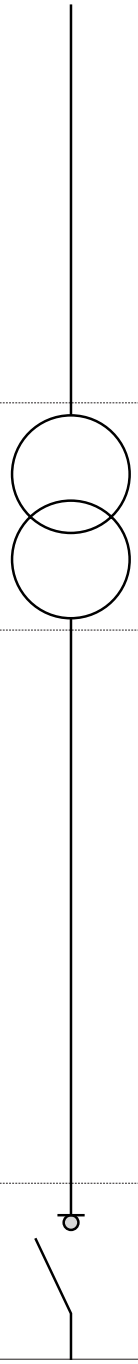
Calcul du I_{cc} d'une installation BT(suite)

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 D.24).

Schéma	Valeurs de R et X



Réseau amont

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

MVA	RESEAU	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).

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

$$X_{(m\Omega)} = \frac{3{,}3 \times U_0^2}{P_{cc}\ \text{kva}}$$

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

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

	RESISTIVITE 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	37

$X_{(m\Omega)} = 0{,}08 \times l_{(m)}$ **(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

Courants de courts-circuits

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

Méthode des impédances (suite)

Exemple de calcul I_{cc} maxi (suite)

ρ cuivre = 18,51
ρ aluminium = 29,4
Uo = 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 mΩ	X = 10,6 mΩ	3,5	10,6				
Câbles : aluminium								
Ph : l = 10 m 4 x 240 mm	Ph : R = $\frac{29,4 \times 10}{240 \times 4}$ = 0,306 mΩ	X = $\frac{0,13 \times 10}{4}$ = 0,325 mΩ	0,306	0,325				
N : l = 10 m 2 x 240 mm	N : R = $\frac{29,4 \times 10}{240 \times 2}$ = 0,612 mΩ	X = $\frac{0,13 \times 10}{2}$ = 0,65 mΩ			0,612	0,65		
PE : l = 12 m 1 x 240 mm	PE : R = $\frac{29,4 \times 12}{240}$ = 1,47 mΩ	X = 0,13 x 12 = 1,56 mΩ					1,47	1,56
Appareil	(protection du transformateur)	X = 0,15 mΩ		0,15				
Icc	Sous-total : niveau "arrivée" TGBT		3,87	11,77	0,612	0,65	1,47	1,56
Jeux de barres cuivre l = 3 m	I'cc							
Ph : 2 x 100 x 5	Ph : R = $\frac{18,51 \times 3}{2 \times 100 \times 5}$ = 0,055 mΩ	X = 0,15 x 3 = 0,45 mΩ	0,055	0,45				
N : 1 x 100 x 5	N : R = $\frac{18,51 \times 3}{1 \times 100 \times 5}$ = 0,11 mΩ	X = 0,15 x 3 = 0,45 mΩ			0,11	0,45		
PE : 1 x 40 x 5	PE : R = $\frac{18,51 \times 3}{40 \times 5}$ = 0,277 mΩ	X = 0,15 x 3 = 0,45 mΩ					0,277	0,45
Total au niveau du jeu de barres :			**3,925**	**12,22**	**0,722**	**1,1**	**1,75**	**2,01**

A l'arrivée dans le TGBT

• Impédance de la boucle triphasée :

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

I_{cc3} maxi = $\frac{1,1 \times 230 \text{ V}}{12,39 \text{ m}\Omega}$ = 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} = $\frac{1,1 \times 230 \text{ V}}{13,2 \text{ m}\Omega}$ = 19,2 kA

A l'arrivée sur le jeu de barre

• Impédance de la boucle triphasée :

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

$I'cc_3$ maxi = $\frac{1,1 \times 230 \text{ V}}{12,8 \text{ m}\Omega}$ = 19,8 kA

$I'cc_2$ 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 D.23, k = 1,4

I'_{cc3} crête = 19,8 x $\sqrt{2}$ x 1,4 = 39,2 kA

Cette valeur de 39,7 kA crête est nécessaire pour définir la tenue dynamique des barres et de l'appareillage.

• Impédance de la boucle monophasée :

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

$I'cc_1$ = $\frac{1,1 \times 230 \text{ V}}{14,1 \text{ m}\Omega}$ = 18 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 :

$Z_1 = \sqrt{(4,11 + 1,085)^2 + (12,22 + 1,1)^2}$ = 14,3 mΩ

• Impédance de la boucle monophasée phase/protection :

$Z_1 = \sqrt{(4,11 + 2,62)^2 + (12,22 + 1,1)^2}$ = 14,92 mΩ

I_{cc1} mini = $\frac{230 \text{ V}}{14,3 \text{ m}\Omega}$ = 16 kA I_{cc1} mini = $\frac{230 \text{ V}}{14,92 \text{ m}\Omega}$ = 15,4 kA

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

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 15-105).

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 mm² cuivre, longueur 17 m. Dans la ligne 35 mm², 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 = 11 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							

I_{cc} amont (kA)	I_{cc} au point considéré (kA)																					
I_{cc} 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 (mm²)	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						

Courants de courts-circuits

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).

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

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 D.95.

Conducteurs isolés

La section minimale est obtenue par l'expression (NF C 15-100) :

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

I_{cc} mini : courant de court-circuit mini en kA eff. (voir page D.21)
t : temps d'ouverture du dispositif de protection en s
k : constante dépendant de l'isolant (voir tableau B).

Conducteurs isolés (suite)

Tableau B : constante k (NF C 15-100)

	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.

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

Exemple

Pour un câble cuivre, isolé au PVC, protégé par un DIRIS P réglé à ts = 100 ms, I_{cc} mini = 22 kA. On lit : kcc = 2,75 pour les conducteurs actifs dans le tableau A. S mini. conducteurs actifs = 2,75 x 22 = 60 mm². On choisira une section de 70 mm². Le même conducteur en aluminium devrait avoir une section mini de 60 mm² x 1,5 = 90 mm².

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 D.27 (fusible).

Tableau A : coefficient Kcc

TEMPS DE COUPURE EN m/s	POUR UN COURANT DE COURT-CIRCUIT DE **1 kA eff**						
	SECTION MINI DES CONDUCTEURS ACTIFS EN CUIVRE		SECTION MINI DES CONDUCTEURS DE PROTECTION CUIVRE				
	ISOLANT ▶ PVC	PR-EPR	CONDUCTEURS FAISANT PARTIE DE LA CANALISATION		CONDUCTEUR NE FAISANT PAS PARTIE DE LA CANALISATION		
			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
25	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.

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**.

HP C / S (mm²)	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**.

HP C / S (mm²)	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(1)
Circuit sans neutre	1,73

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

Courants de courts-circuits

Protection des canalisations par DIRIS CP

Généralités

Le DIRIS CP, associé à un organe de coupure, protège le circuit situé en aval contre les contacts indirects si les conditions suivantes sont respectées :

- le temps d'ouverture du circuit doit être inférieur au temps prescrit par les normes CEI 60364 et NF C 15-100 (voir page D.32). Pour cela ts doit être choisi inférieur à ce temps.

  Exemple : Réseau TN 230/400 V.
  Temps maxi. d'ouverture du circuit : 0,4 s (voir tableau A p. D.32).
  Le temps Tm doit être inférieur à 0,4 s et doit également tenir compte du temps d'ouverture de l'organe de coupure.
- la longueur maximale du circuit à protéger doit être inférieure aux limites du tableau B.

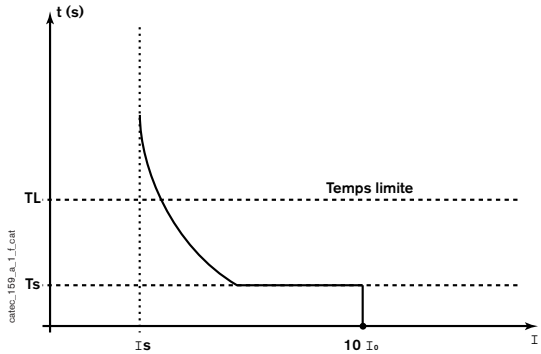


Fig. 1 : protection contre les contacts indirects par DIRIS CP

Longueur maximale des conducteurs

Le tableau B donne les longueurs maximales dans les conditions suivantes :

- circuit triphasé dans un réseau 230/400 V
- courant de court-circuit minimal
- section du neutre = section des phases
- conducteurs en cuivre
- câble aluminium : multiplier les longueurs du tableau B par 0,62.

Ces longueurs sont à multiplier par les coefficients du tableau A pour d'autres utilisations.

Tableau A : coefficient de correction pour d'autres réseaux

CAS D'UTILISATION	COEFFICIENT
Circuit sans neutre	1,73
Section du neutre = 0,5 x section phase	0,67(1)

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

Association DIRIS CP / Fusibles

- Le temps de réglage Ts peut être supérieur à 5 s, la protection étant assurée par les fusibles
- La longueur maximale des câbles protégés doit être lue dans les tableaux A, B et C page D.27 (protection par fusibles).

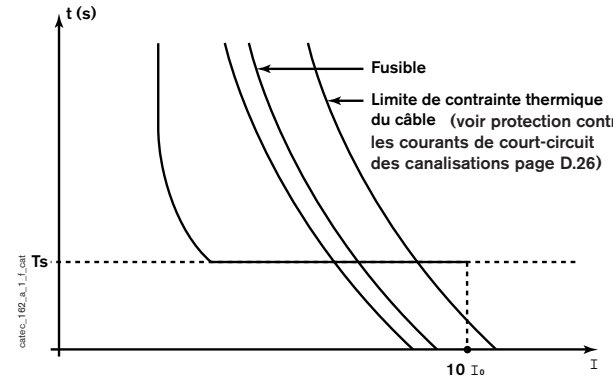


Fig. 2 : protection contre les courts-circuits par DIRIS CP associé aux fusibles

Tableau B : longueurs maximales (en m) des conducteurs protégés par DIRIS CP contre les courts-circuits

SECTIONS PHASES	COURANT Is / Is >>											
	1250	1600	2000	2500	3200	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000
95	481	375	300	240	188	150	120	95	75	60	48	38
120	607	474	349	304	237	190	152	120	95	76	61	47
150	660	516	412	330	258	206	165	131	103	82	66	52
185	780	609	487	390	305	244	195	155	122	97	78	61
240	971	759	607	486	379	304	243	193	152	121	97	76
300	995	912	730	594	456	365	292	232	182	146	117	91
400	1181	923	738	591	461	369	295	234	185	148	117	92

Nota : ces valeurs tiennent compte de la précision du courant Is

Contacts directs et indirects

Protection contre les contacts directs

Définition

Contact d'une personne avec une partie active (phases, neutre) normalement sous tension (jeux de barre, bornes,…).

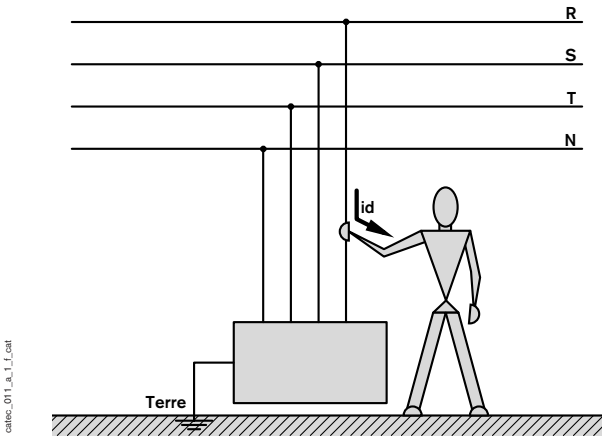


Fig. 1 : contact direct

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 D.11).
- 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 D.6), constitue une protection contre les contacts directs et indirects.

On peut distinguer :

- **la TBTS**
  Très Basse Tension de Sécurité qui doit être :
  - produite par une source telle que transformateur de sécurité, onduleur, batteries, groupe générateur,…
  - être 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 quelques restrictions par rapport à la TBTS au niveau de la protection contre les contacts directs à partir de 12V AC et de 30V DC (NF C 15-100 § 414).
- **la TBTF**
  Très Basse Tension Fonctionnelle 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 (≤ 30 mA).

Les normes NF C 15-100 et CEI 60364 imposent notamment l'utilisation de tels dispositifs dans les cas suivants :

- circuits alimentant les socles de prise de courant ≤ 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 500V : l'impédance humaine risque de laisser passer un courant dangereux supérieur à 500mA.

Contacts directs et indirects

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.

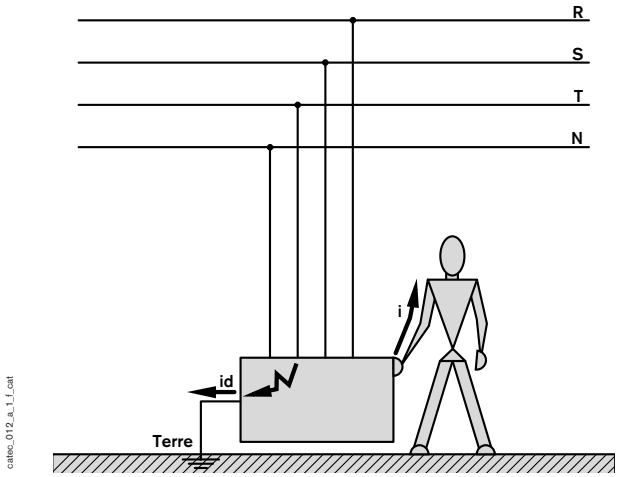


Fig. 1 : contact direct

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 D.29)
- 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 (suite)

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 Uc, à une valeur limite UL.

Cette dernière dépend :

- du courant IL admissible pour le corps humain
- du temps de passage du courant (voir page D.32)
- du schéma de liaison à la terre
- des conditions d’installation.

TENSION DE CONTACT PRESUMEE (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 15-100 et CEI 60364 définissent le temps de coupure maximal du dispositif de protection dans les 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 ci-contre).

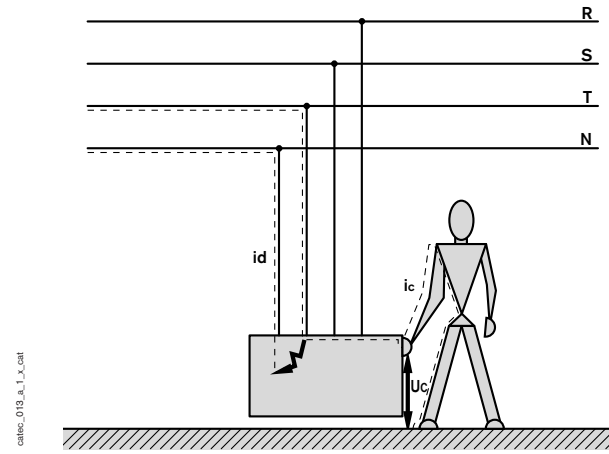


Fig. 2 : tension de contact limite U_L

Protection contre les contacts indirects (suite)

Protection avec coupure automatique de l'alimentation (suite)

• En régime TT

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 :

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

U_L : tension limite
$I_{\Delta n}$: courant de réglage du dispositif différentiel

Exemple : on peut limiter la tension de contact en cas de défaut à U_L = 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 :

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

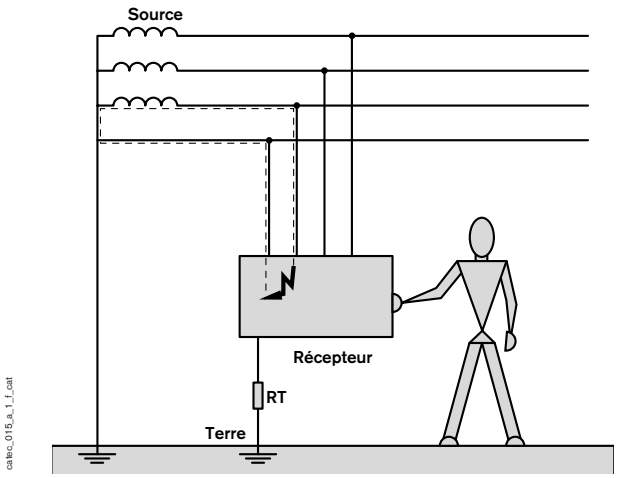


Fig. 1 : courant de défaut en régime TT

• En régime TN et IT

Introduction

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 limité qui déclenche le dispositif de protection en un temps supérieur à celui prescrit par la norme NF C 15-100.

Ce courant provoque alors une tension de contact dangereuse.

Pour limiter l'impédance de la boucle, il faut limiter la longueur des conducteurs pour une section donnée.

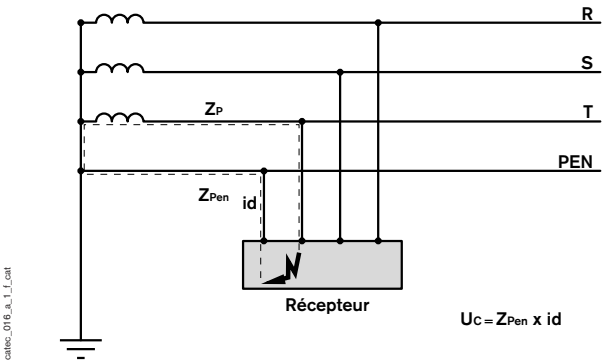


Fig. 2 : courant de défaut en régime TN

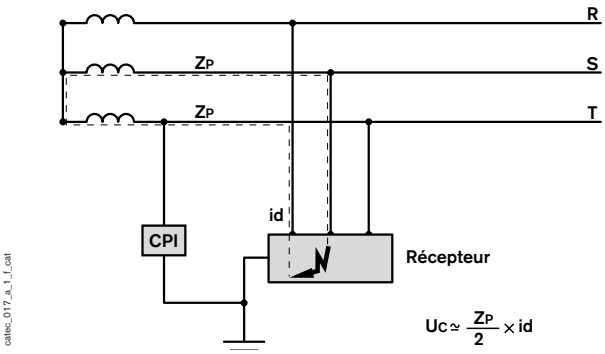


Fig. 3 : courant de défaut en régime IT

Nota : la protection contre les surintensités n'est efficace qu'en présence de défauts francs.

Un dispositif différentiel RESYS ou un DLRD 470 utilisé comme pré-alarme, sont des moyens efficaces et préventifs de défauts impédants et de maintien de tensions dangereuses.

Contacts directs et indirects

Protection contre les contacts indirects (suite)

Protection avec coupure automatique de l'alimentation (suite)

• En régime TN et IT (suite)

Temps maximal de coupure

Pour éviter de se trouver dans une zone ③, ④ ou ⑤ de la figure 1, les normes NF C 15-100 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

TENSION NOMINALE ▼ / REGIME ▶	TN	IT SANS NEUTRE	IT AVEC NEUTRE
U_L ▶	50	50	50
230/400	0,4	0,4	0,8
400/690	0,2	0,2	0,4

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
- le circuit n'alimente pas de matériel ou de prise de courant
- 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

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

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

Uo : tension simple (230 V dans un réseau 230/400)
S : section en mm² des conducteurs de phases en TN et IT sans neutre
m = $^{S}/_{Spe}$ Spe : section du PE ou PEN
Id : courant de défaut en A

Protection par DIRIS CP : Id = Im.

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 p. D.27)

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

Tableau B : valeurs de K

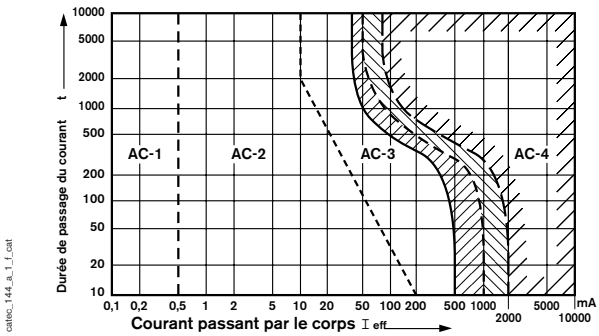
SCHEMA ▶ / CONDUCTEUR ▼		TN SANS NEUTRE	IT AVEC NEUTRE
Cuivre	34,7	30	17,3
Aluminium	21,6	18,7	11

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

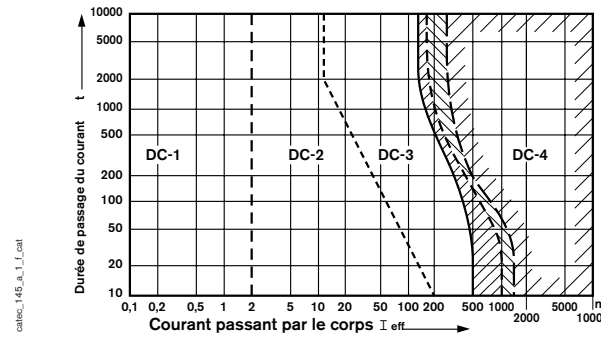
- 15 % pour la section 150 mm²
- 20 % pour la section 185 mm²
- 25 % pour la section 240 mm²
- 30 % pour la section 300 mm²

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

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, et pour des valeurs élevées, provoquer de graves brûlures.



Les zones -1 à -4 correspondent aux différents niveaux d'effets :
AC/DC-1 : non perception
AC/DC-2 : perception
AC/DC-3 : effets réversibles, crispation musculaire
AC/DC-4 : possibilité 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 V/400 V
- schéma TN
- tension de contact maximale U_L = 50 V.

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

Régime IT sans neutre	0,86
Régime IT avec neutre	0,5
Section neutre = 1/2 section phase	0,67
Conducteur aluminium	0,625

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

S (mm²)	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**

S (mm²)	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 0,6 x 73 m = 22,8 m.

Contacts directs et indirects

Protection contre les contacts indirects par DIRIS CP

Généralités

Le DIRIS CP, associé à un organe de coupure, protège le circuit situé en aval contre les contacts indirects si les conditions suivantes sont respectées :

- le temps d'ouverture du circuit doit être inférieur au temps prescrit par la norme CEI 60 364, NF C 15-100 (voir page D.32).
  Pour cela ts doit être choisi inférieur à ce temps.

  Exemple : Réseau TN 230/400 V.
  Temps maxi. d'ouverture du circuit : 0,4 s (voir tableau A p. D.32).
  Le temps Tm doit être inférieur à 0,4 s et doit également tenir compte du temps d'ouverture de l'organe de coupure.
- la longueur maximale du circuit à protéger doit être inférieure aux limites du tableau B.

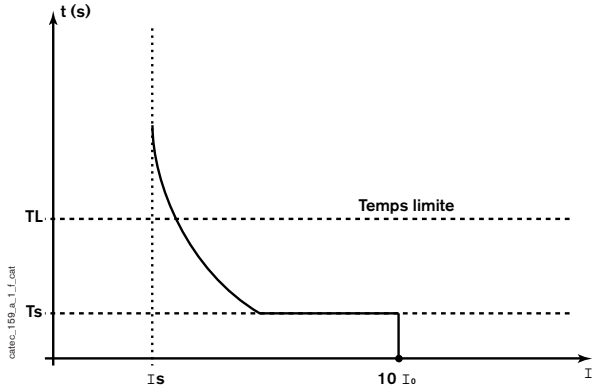


Fig. 1 : protection contre les contacts indirects par DIRIS CP

Par DIRIS CP + fusibles

Lorsque le DIRIS CP est associé à une protection fusible, le temps de déclenchement du DIRIS CP peut être supérieur au temps du tableau A page D.32, si le courant de défaut est assez important pour que la protection soit assurée par les fusibles.

La longueur maximale des conducteurs à ne pas dépasser est donnée par le tableau B page D.33 (protection par fusibles).

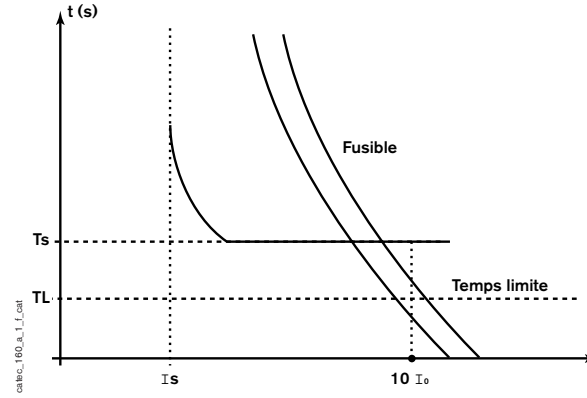


Tableau A : coefficients de correction

Régime IT sans neutre	0,86
Régime IT avec neutre	0,5
Section neutre = 1/2 section phase	0,67
Conducteur aluminium	0,625

Longueurs maximales des conducteurs

Voir calculs page D.32.

Le tableau B donne une lecture directe des longueurs maximales en fonction du courant de réglage Im dans les conditions suivantes :

- réseau 230 V/400 V
- schéma TN
- tension de contact U_L = 50 V.

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

Remarque :
Vérifier que T_M est inférieur aux valeurs du tableau A page D.32.

Tableau B : exemples de longueurs maximales des conducteurs protégés par DIRIS CP

SECTIONS PHASES	COURANTS Is											
	1250	1600	2000	2500	3200	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000
95	276	216	173	138	108	86	69	55	43	35	28	22
120	349	273	218	175	136	109	87	69	55	44	35	27
150	379	296	237	190	148	119	95	75	59	47	38	30
185	448	350	280	224	175	140	112	89	70	56	45	35
240	559	436	349	276	218	175	140	111	87	70	56	44
300	671	524	420	336	262	210	168	133	105	84	67	52

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 :

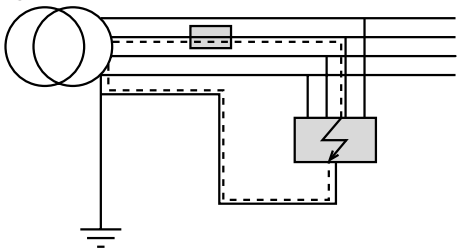
$$I_{\Delta n} \leq \frac{50}{R_p}$$

R_p : résistance de la prise de terre 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.



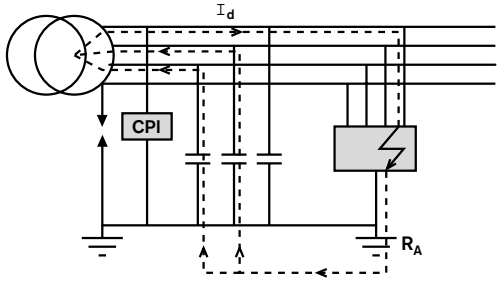
catec_147_a_1_x_cat

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 :

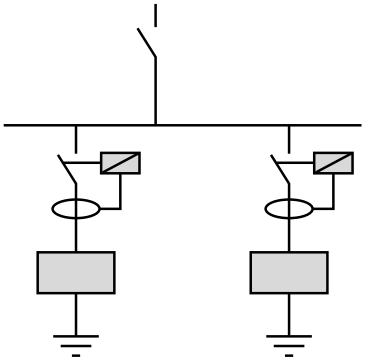
- à l'origine des parties d'installation dont les réseaux de protection ou les masses sont raccordés sur des prises de terre non interconnectées
- dans la même situation que celle énoncée en TNS (conditions de coupure au deuxième défaut non assurée par les dispositifs de protection contre les surintensités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



catec_148_a_1_f_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_a_1_x_cat

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

Le matériel informatique peut présenter des courants de fuite importants, rendant son exploitation en aval d'un dispositif différentiel haute sensibilité, aléatoire.

Une proposition a été faite par le ministère du travail avec l'arrêté du 08/01/92 fixant les modalités pratiques de réalisation des mesures de protection complémentaires contre les contacts directs ; ainsi la mise en place de dispositifs H.S. peut être dérogée pour les prises de courant ≤ 32A alimentant des matériels de classe I, fixes ou semi-fixes dont la coupure non provoquée par un défaut d'isolement, est incompatible avec les exigences de service.

Seul le chef d'établissement peut décider des prises susceptibles de bénéficier de cette dérogation. Ces prises dédiées, sans protection H.S., doivent faire l'objet d'une identification spécifique afin d'interdire leur usage pour des applications autres.

Chutes de tension

Définition

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 15-100 et CEI 364 définissent une chute de tension maximale (voir tableau A).

Tableau A : NF C 15-100 chute de tension maximale

	ECLAIRAGE	AUTRES USAGES
Alim. directe par réseau public BT		
• circuits monophasés	6 %	10 %
• circuits triphasés	3 %	5 %
Alimentation par poste HT/BT		
• circuits monophasés	12 %	16 %
• circuits triphasés	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 CABLE 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, jointif 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 2,1 % de 400 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 7,6 % de 400 V.

La section du conducteur est suffisante pour respecter les chutes de tension maximales imposées par la norme NF C 15-100.

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.

Appareils de coupure

Normes de construction CEI 60 947-1 & CEI 60 947-3

Définitions

Interrupteur (CEI 60 947.3 § 2.1)

"Appareil mécanique de connexion capable :
- d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales (a) 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).

(a) 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 60 947.3 § 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 60 947.3 § 2.3)

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

Interrupteur-sectionneur à fusibles (CEI 60 947.3 § 2.9)

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

APPAREILS / ACTIONS				
Etablir	(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 60 947-3 ou suivant la NF C 15-100 § 536-2.

La vérification suivant la norme NF EN 60 947-3 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. A 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 "O" ne doit pas être possible pendant l'application de l'effort anormal. L'appareil ne doit pas indiquer la position "O" 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 V AC et 750 V < U ≤ 1500 V DC).

  Cette dernière caractéristique est demandée par la NF C 15-100 sauf pour la TBTS ou TBTP (U ≤ 50 V AC ou 120 V DC).

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 fusibles p. D.46 et D.48) avec le grand intérêt de limiter les courants de défaut de forte intensité.

Appareils de coupure

Normes de construction CEI 60 947-1 & CEI 60 947-3 (suite)

Caractéristiques

Condition et catégorie d'emploi suivant la norme CEI 60 947-3
Tableau A

CATEGORIE D'EMPLOI		UTILISATION	APPLICATION
Courant alternatif AC20	Courant continu DC20	Fermeture et ouverture à vide.	Sectionneurs (1)
AC21	DC21	Charges résistives y compris surcharges modérées.	Interrupteurs de tête d'installation ou pour récepteurs résistifs (chauffage, éclairage, sauf lampes à décharges…).
AC22	DC22	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…).
AC23	DC23	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

	ETABLISSEMENT		COUPURE		NOMBRE DE CYCLES DE MANŒUVRES
	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 $I_e \leq 100$ A	10	0,45	8	0,45	5
$I_e > 100$ 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

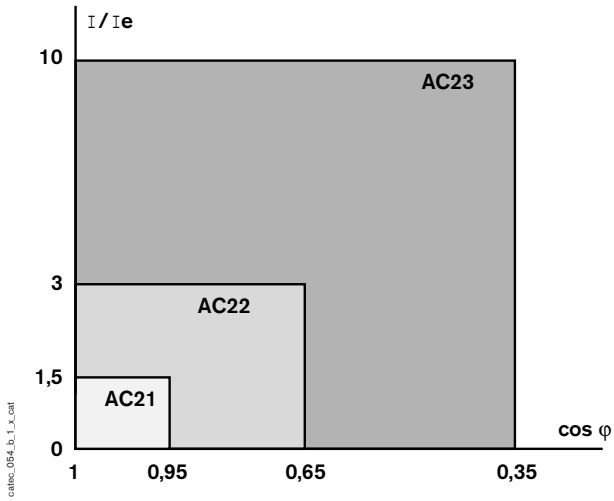


Fig. 1 : pouvoirs de fermeture et de coupure

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 CATEGORIE 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 CATEGORIE B					
sans courant	1700	1400	800	500	300
avec courant	300	200	200	100	100
Total	2000	1600	1000	600	400

Courant d'emploi Ie

Le courant d'emploi (I_e) 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 (I_{cw}) : courant efficace admissible pendant 1 seconde.
- courant de fermeture sur court-circuit (I_{cm}) : 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.

Normes d'installation CEI 60 364 ou NF C 15-100

Sectionnement

Cette fonction exigée par le décret du 14 novembre 1988 (art.9), est destinée à assurer la mise hors tension de toute ou d'une 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 distiguent 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

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 rendent facilement identifiables et appropriés à l'usage prévu.

Les actions découlant de la fonction de coupure pour entretien mécanique se distinguent de la manière suivante : **(NF C 15-100 § 536-4)**

- **action devant être assurée en charge.** Les personnes appelées à intervenir n'ayant pas obligatoirement la qualité d'électricien, la coupure doit pouvoir être effectuée sans précaution du type : s'assurer que la charge est bien arrêtée, que l'appareil possède bien la catégorie d'emploi requise…
- **action de séparation des contacts.** Cette action visant à assurer que l'appareil garantira d'une manière certaine la non-remise sous tension accidentelle de la machine.

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

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 dépendant des conditions d'agencement des locaux où sont implantés 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

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 : **(NF C 15-100 § 536-3)**

- **action devant être assurée en charge**
- **action devant affecter l'ensemble des conducteurs actifs**
- **prise en compte du freinage éventuel**.

Commande fonctionnelle

L'exploitation rationnelle d'une installation électrique, nécessité 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 :

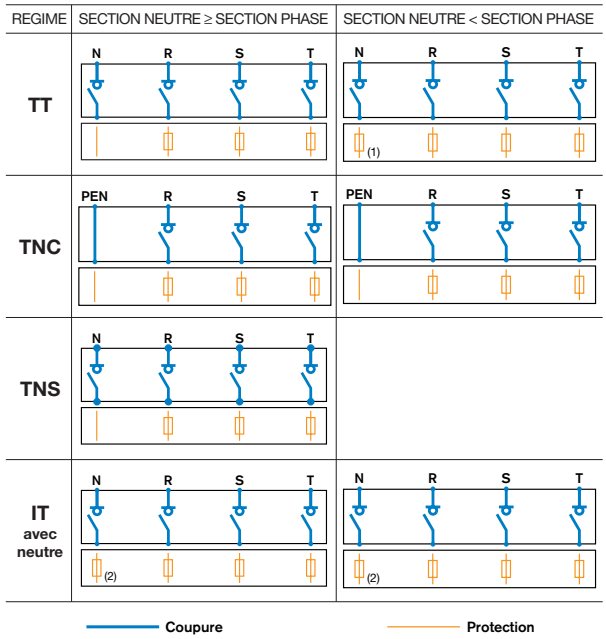
- **action devant être assurée en charge**
- **action pouvant ne pas affecter l'ensemble des conducteurs actifs** (deux phases sur trois d'un moteur par exemple).

Appareils de coupure

Choix d'un appareil de coupure

Choix en fonction du régime de neutre

- **Réseau triphasé avec neutre distribué**



(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 15-100 § 431.2).

(2) La mise en place d'un fusible sur le neutre doit être obligatoirement associé 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.

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 à15 %.

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 15-100 propose une section de 1,45 la section des phase.

Gamme d'appareillage de coupure

Tableau A

APPAREILS	COUPURE APPARENTE	COUPURE VISIBLE	COMMU-TATEURS	COMBINÉS FUSIBLES	APPAREILS A DÉCLEN-CHEMENT	APPAREILS MOTORISÉS
CMP	●	●			●	option
Combiné SIDERMAT	●	●		●	●	
Commutateur SIDER	●	●	●			
Commutateur SIRCO VM	●	●	●			
COMO	●		●			
IDE	●				●	
SIRCO VM	●	●				
SIRCO	●					option
SIDER	●	●				option
SIDER ND	●	●				
SIDERMAT	●	●			●	
SIRCOVER	●		●			
ATyS	●		●			●
FUSERBLOC	●			●		
FUSOMAT	●	●*		●	●	

** sauf pour le calibre 1250 A.*

Utilisations sur réseau à courant continu

Les caractéristiques de courant d'emploi indiquées dans le catalogue général sont définies pour la fig. 2, sauf s'il est précisé «2 pôles en série». Dans ce cas, voir la fig. 3.

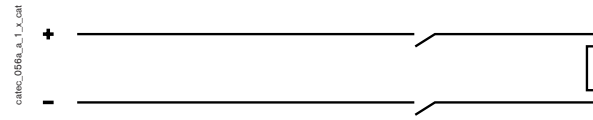


Fig. 2 : 1 pôle par polarité.

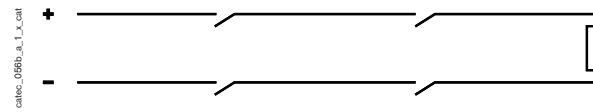


Fig. 3 : 2 pôles en série par polarité.

Exemple 1 : mise en série des pôles
Un appareil SIRCO 400 A utilisé sur un réseau 500 V DC avec un courant d'emploi de 400 A en catégorie DC23 doit avoir 2 pôles en série par polarité.

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

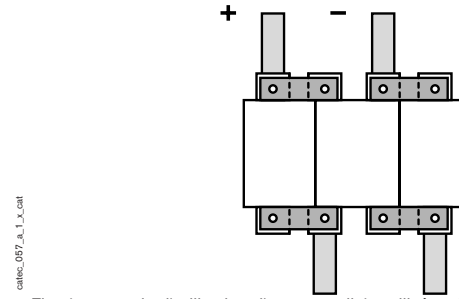


Fig. 4 : exemple d'utilisation d'un appareil 4p utilisé en 2 x 2 pôles en parallèle.

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 O - I ou O - 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.
(voir détail dans chapitre SIRCOVER motorisés).

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 (Ic).

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

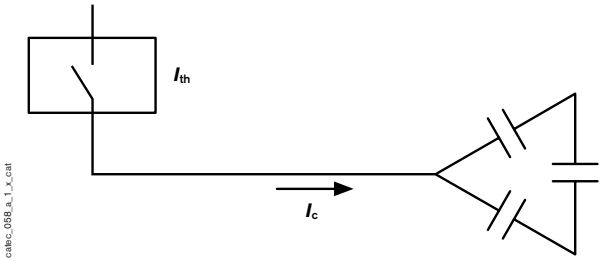


Fig. 1 : interrupteur en amont de condensateurs

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.

$$\text{Pouvoir de fermeture} > I_d$$

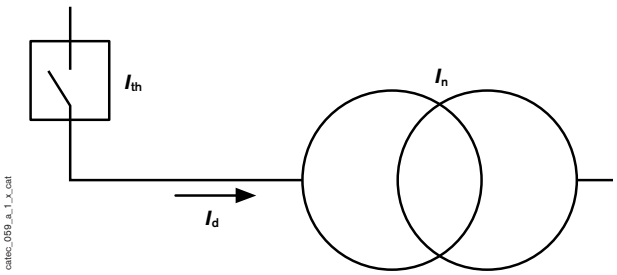


Fig. 2 : interrupteur au primaire d'un transformateur

Tableau A

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

Id : 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 AC23 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 entrainé. 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.

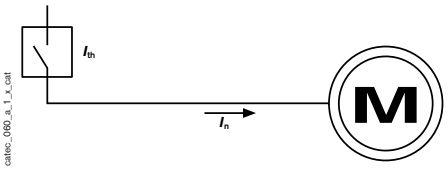


Fig. 3 : interrupteur en amont d'un moteur

Exemples de déclassement en fonction du type de démarrage.

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

Tableau B

TYPE DE DEMARRAGE	$\frac{I_d}{I_n}$ (4)	td (4) (s)	n (1)	Kd (2)
direct jusqu'à 170 kW	6 à 8	0,5 à 4	n > 10	$\frac{\sqrt{n}}{3{,}16}$
Y - Δ (Id/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) Kd : 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 (Ithq) peut être le suivant :

$$I_{thq} = \sqrt{\frac{(I_1^2 \times t_1) + (I_2^2 \times t_2) + I_n^2 \times (tc - [t_1 + t_2])}{tc}}$$

I_1 : courant d'appel du récepteur
I_2 : courant de surcharge intermédiaire éventuel
I_n : courant en régime établi
t_1 et t_2 : durées respectives en secondes des courants I1 et I2
tc : durée du cycle en secondes avec une limite inférieure fixée à 30 secondes.

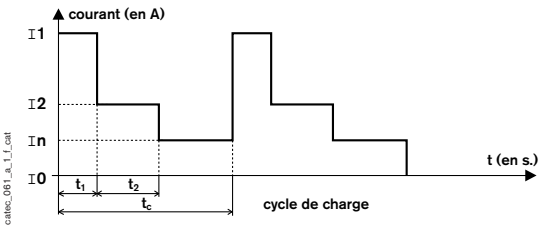


Fig. 4 : fonctionnement cyclique

Appareils de coupure

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
• Méthode rapide.

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

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

• 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
• Dans certains cas, un déclassement pour fonctionnement à pleine charge 24 h/24 est nécessaire. Nous consulter.

Kf correction due à la fréquence

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

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

Ka correction due à l'altitude

• Pas de déclassement en I_{th}
• Déclassement en U_e et i_e valable en alternatif et en continu.

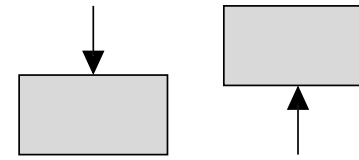
Tableau C : facteurs de correction en fonction de l'altitude A

	2000 m < A ≤ 3000 m	3000 m < A ≤ 4000 m
U_e	0,95	0,80
I_e	0,85	0,85

Kp correction due à la position de l'appareil

Raccordement des interrupteurs
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.

Kp correction due à la position de l'appareil (suite)

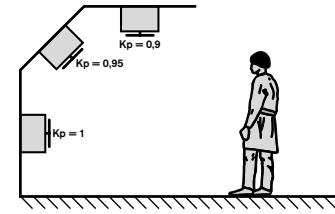


catec_120_a_1_x_cat

Fig. 1 : sens de montage

Montage et sens de pose des interrupteurs

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



catec_121_a_1_x_cat

Fig. 2 : déclassement de position

La rotation suivant le plan de fixation des appareils, est limitée soit dans le sens horaire, soit dans le sens anti-horaire si l'on veut conserver les caractéristiques d'enclenchement indépendant de la manœuvre de l'opérateur.

Tableau D

			90° anti-horaire	180°	90° horaire
COMO M, COMO I, IDE, CMP, COMO C			OUI	OUI	OUI
SIRCO VM	VM0, VM2	32 … 40; 125 … 160	OUI	OUI	OUI
	VM1	63 … 125	OUI	OUI	NON
SIRCO	3/4 pôles	40 … 3150 A	NON	OUI	OUI
		4000 A	OUI	OUI	NON
	6/8 pôles	125 … 630 A	OUI	OUI	NON
		800 … 3150 A	NON	OUI	OUI
SIRCO UL		V 60 ... V 400 A	OUI	OUI	OUI
SIDER		50 … 1600 A	NON	OUI	OUI
		ND125 ... ND 500 A	OUI	OUI	OUI
SIDERMAT	Bobine à émission de courant	250 ... 1800A	OUI	OUI	NON
	Bobine à manque de tension	250 ... 1800 A	NON	OUI	OUI
Commuateurs SIRCO VM1	I - 0 - II / I - I+II - II		OUI	OUI	NON
SIRCOVER	I - 0 - II	CD 125 ... CD 630 A	NON	OUI	OUI
		CD 800 … 3150 A	OUI	OUI	NON
	I - I+II - II	CD 125 ... 3150 A	NON	OUI	OUI
	6/8 pôles	CD 125 ... CD 630 A	NON	OUI	NON
SIRCOVER By-Pass	I - 0 - II	CD 125 ... CD 630 A	NON	OUI	OUI
		CD 800 ... 3150 A	OUI	OUI	NON
	I - I+II - II	CD 125 ... CD 630 A	NON	OUI	OUI
		CD 800 ... 3150 A	NON	OUI	OUI
Commuateurs SIDER	40 ... 80 A	NON	OUI	NON	
SIRCOVER Motorisés VS	I - 0 - II	125 ... 1600 A	OUI	OUI	NON
	I - I+II - II	125 ... 1600 A	NON	OUI	OUI
SIRCOVER Motorisés VE	I - 0 - II	250 ... 3150 A	OUI	OUI	NON
	I - I+II - II	250 ... 3150 A	NON	OUI	OUI
ATyS	I - 0 - II / I - I+II - II	125 ... 630 A	NON	OUI	OUI
FUSERBLOC		CD 25 ... 400 A	OUI	OUI	OUI
FUSERBLOC V		400 ... 1250 A	OUI	OUI	OUI
FUSOMAT	Bobine à émission de courant	250 ... 1250 A	OUI	OUI	NON
	Bobine à manque de tension	250 ... 1250 A	NON	OUI	OUI

Caractéristiques générales

Introduction

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 A^2s (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.

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

Le diagramme de limitation indique la correspondance entre ces deux paramètres (voir pages D.46 et D.48).

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 D.22)
- reporter ce courant sur le diagramme de limitation et lire la valeur crête en fonction du calibre du fusible protégeant le circuit.

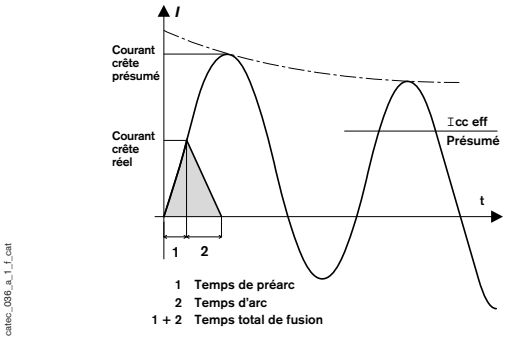


Fig. 1 : limitation du courant de court-circuit.

Limitation du courant de court-circuit (suite)

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 2), ce qui entraîne une réduction des efforts électrodynamiques à 5 % de la valeur sans protection (voir figure 3) et une diminution de la contrainte thermique qui est limitée à 2,1 % de sa valeur (voir figure 4).

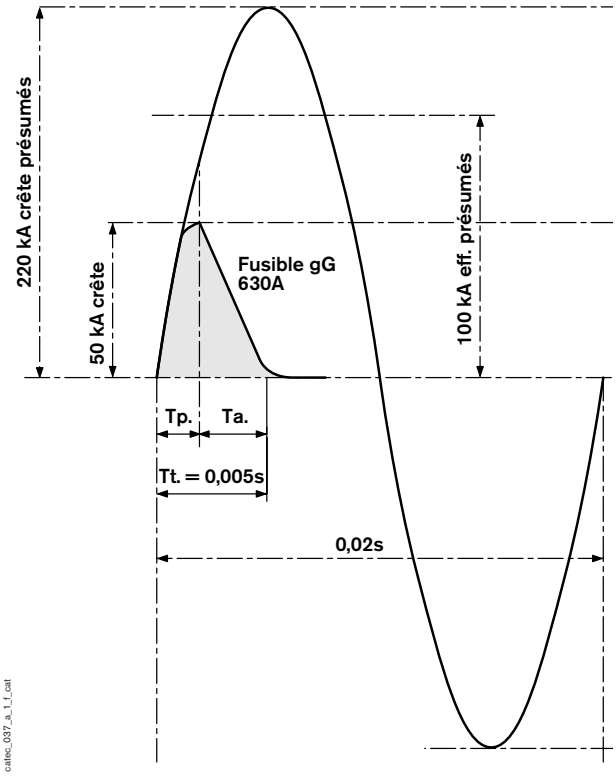


Fig. 2 : limitation du courant crête

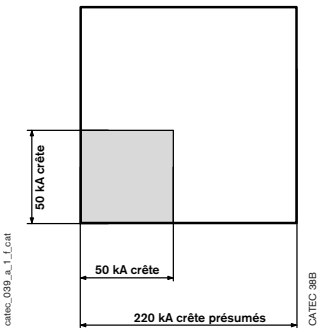


Fig. 3 : limitation des efforts électrodynamiques proportionnelle au carré du courant

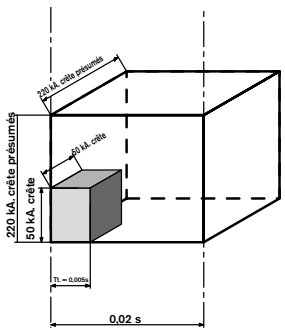


Fig. 4 : limitation de la contrainte thermique I x I x t

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 Ue = U crête.
- **5 ≤ f < 48 Hz :**

$$U_e \leq ku \times U_n$$

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.
- **48 ≤ f < 1000 Hz :** pas de déclassement en tension.

Le courant de court-circuit
Après l'avoir déterminé, il faut vérifier que ses valeurs soient inférieures aux valeurs des pouvoirs de coupure des fusibles :
- 100 kA eff. pour les tailles 14 x 51, 22 x 58, T00, T0, T1, T2, T3, T4, T4A
- 50 kA eff. pour les tailles 10,3 x 38.

Règles d'installation

Utilisation d'un fusible sur le neutre.
Voir p. D.40.

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

SCHEMAS	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.

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

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 COMBINE	SOCLE FUSIBLE	SUR APPAREILLAGE ET COMBINE
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 V
- 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 D.51).
- 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	CALIBRE CONSEILLÉ DE L'INTERRUPTEUR FUSIBLE ASSOCIÉ
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	FUSERBLOC 32 A CD
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	FUSERBLOC 50 A
18,5	25	37	**25**	34	39,4	40	14 x 51	
22	30	44	**30**	40	45	63	22 x 58	FUSERBLOC 100 A ou 125 A
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	FUSERBLOC 160 A
75	100	138	**110**	150	156	160	T 0	
90	125	170	**132**	180	187	200	T 1	FUSERBLOC 250 A
110	150	205	**160**	220	220	250	T 1	
132	180	245	**220**	300	310	315	T 2	FUSERBLOC 400 A
160	218	300				315	T 2	
200	270	370	**250**	340	360	400	T 2	
250	340	475	**335**	450	472	500	T 3	FUSERBLOC 630 A
315	430	584	**450**	610	608	630	T 3	
400	550	750	**500**	680	680	800	T 4	FUSERBLOC 1250 A

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 (Ic).

$$I_n \geq 2\ Ic$$

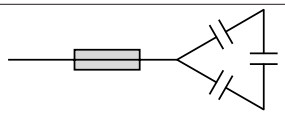
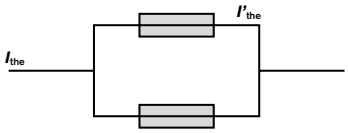


Tableau B :
calibre des fusibles pour batterie de condensateurs sous 400 V

Capacité en Kvar	5	10	20	30	40	50	60
Fusible gG en A	20	32	63	80	125	160	200

Capacité en Kvar	75	100	125	150
Fusible gG en A	200	250	400	400

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



$$I_{the} = I'_{the} \times 2$$
$$I_{cc}\ \text{crête limité total} = I'_{cc}\ \text{crête limité} \times 1{,}59$$
$$i^2t\ \text{totale} = i'^2t \times 2{,}52$$

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

Il est conseillé d'utiliser des fusibles d'une taille supérieure à la taille usuelle, le calibre restant inchangé ; les tailles 10 x 38 et 14 x 51 étant réservées aux circuits ≤ 12 A. En cas de circuits fortement inductifs, il est recommandé de placer deux fusibles en série sur le pôle +.
Les fusibles de type aM sont inexploitables en courant continu.

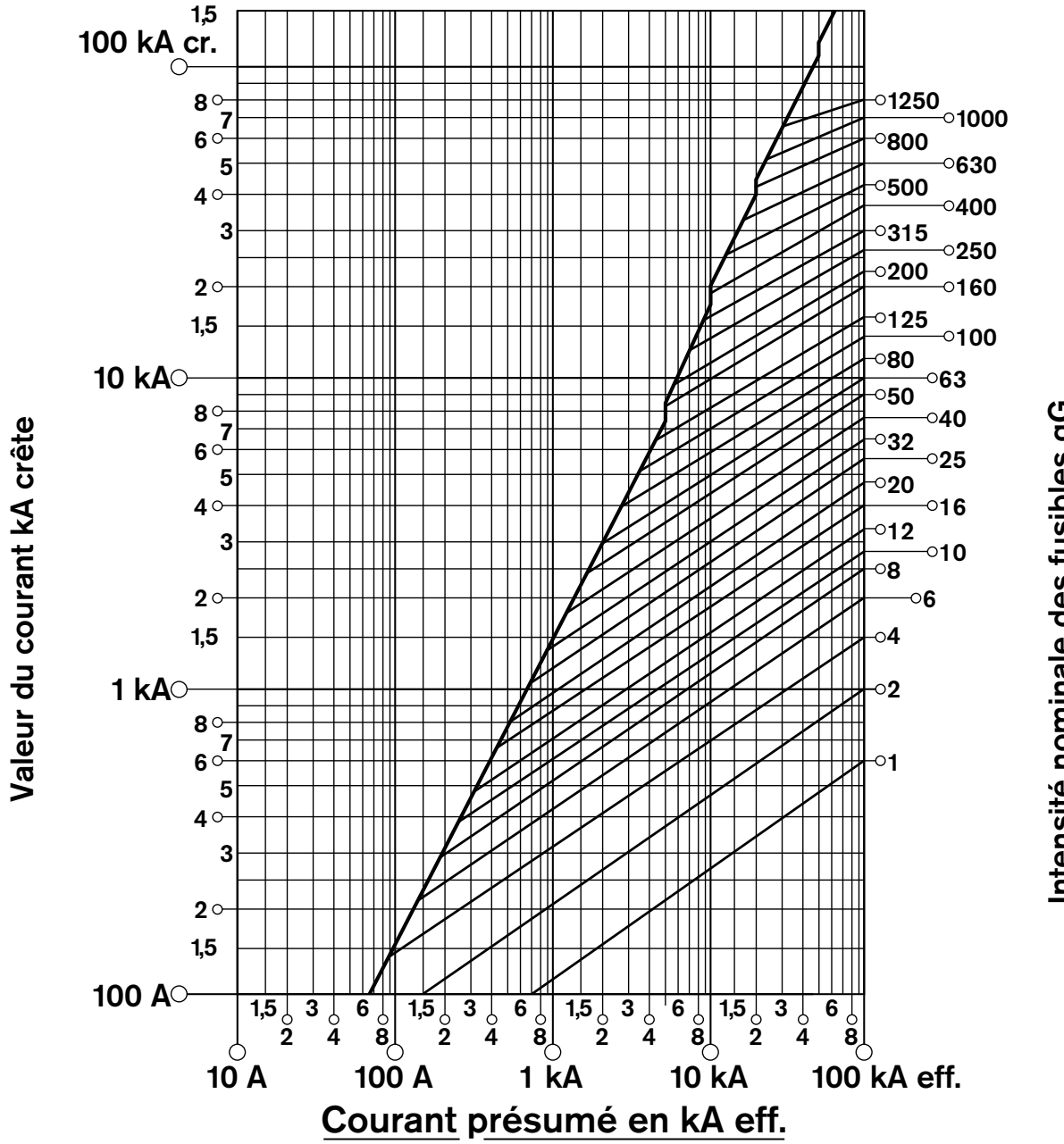
Utilisation des fusibles de type gG cylindriques.

TAILLE DE FUSIBLE	VALEUR À NE PAS DÉPASSER	
	Courant	Tension
8,5 x 31,5	Interdit	
10,3 x 38 ; 14 x 51	12A DC	220V DC
22 x 58	100A DC	220V

Fusibles

Courbes caractéristiques des fusibles gG

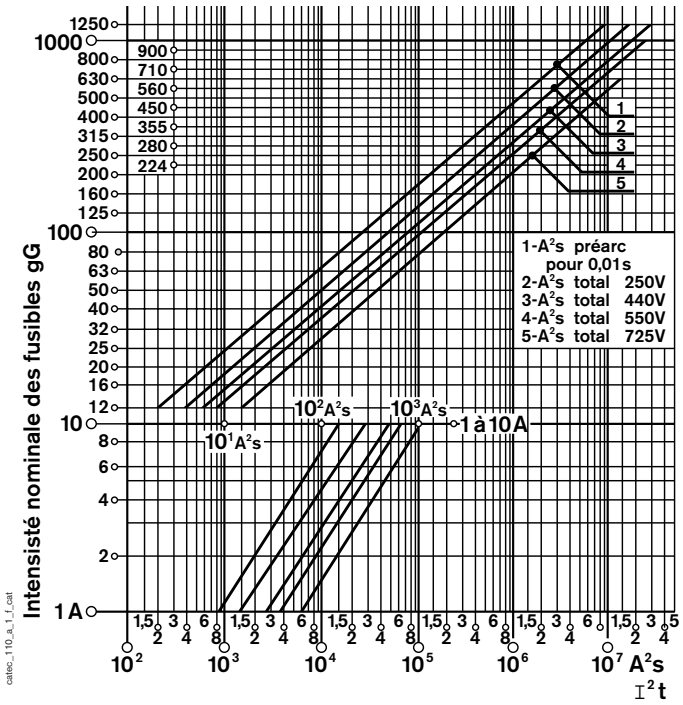
Diagramme de limitation des courants



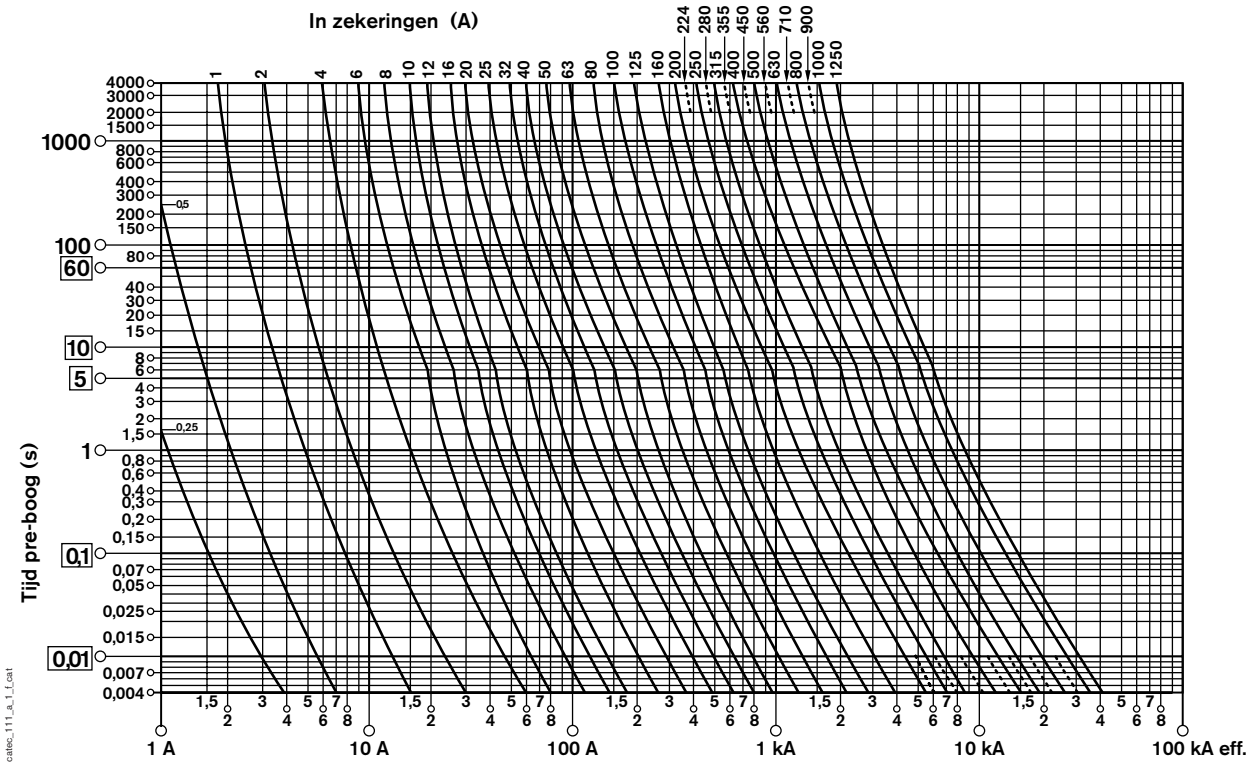
catec_112_b_1_f_cat

Courbes caractéristiques des fusibles gG (suite)

Diagramme de limitation des contraintes thermiques



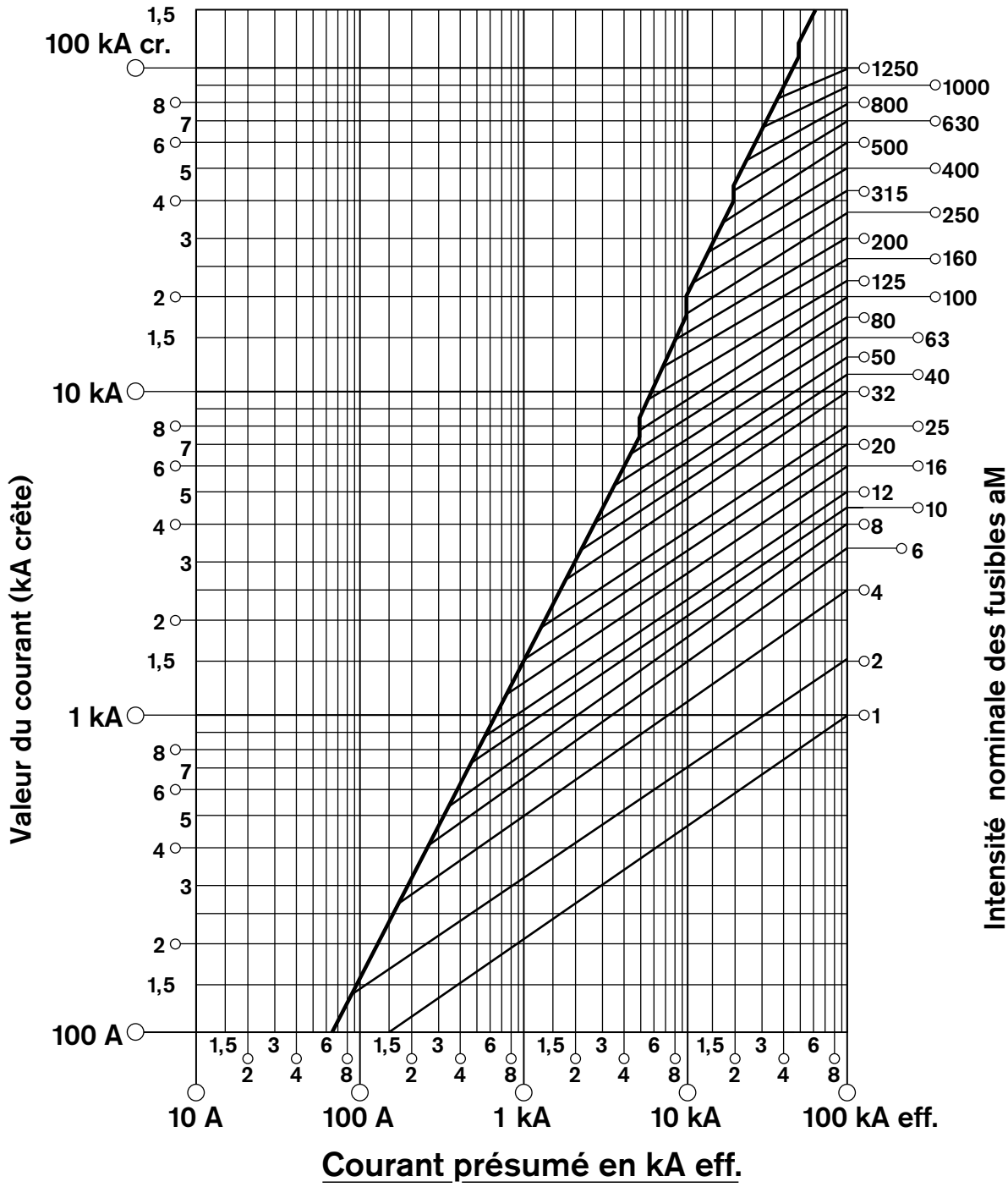
Caractéristiques de fonctionnement temps/courant



Fusibles

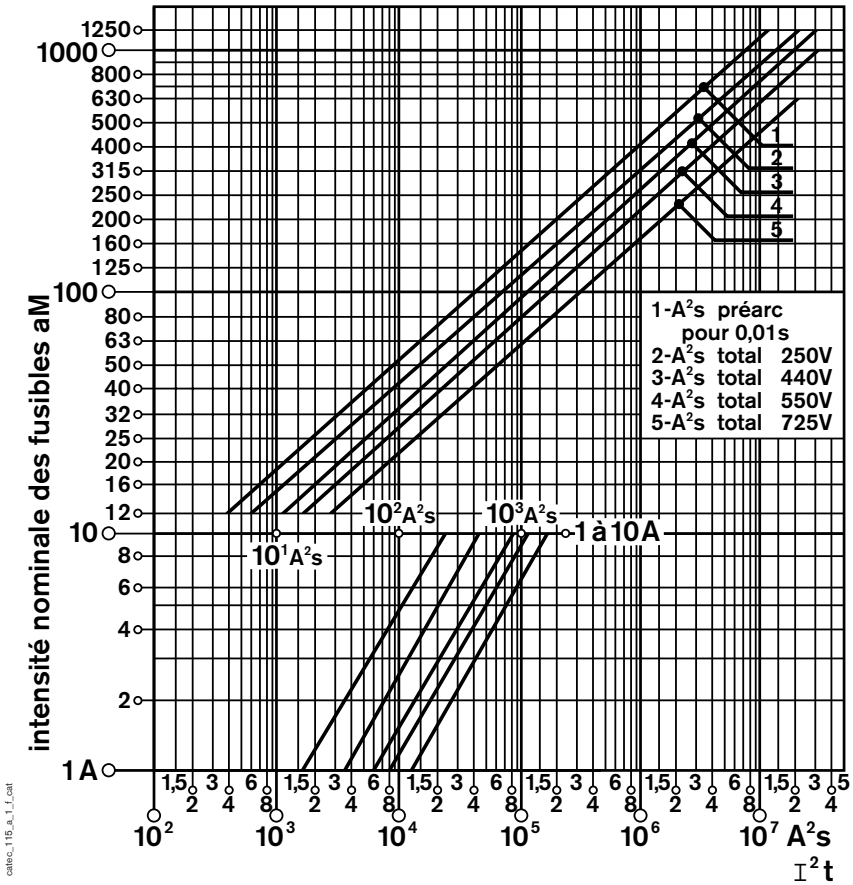
Courbes caractéristiques des fusibles aM

Diagramme de limitation des courants



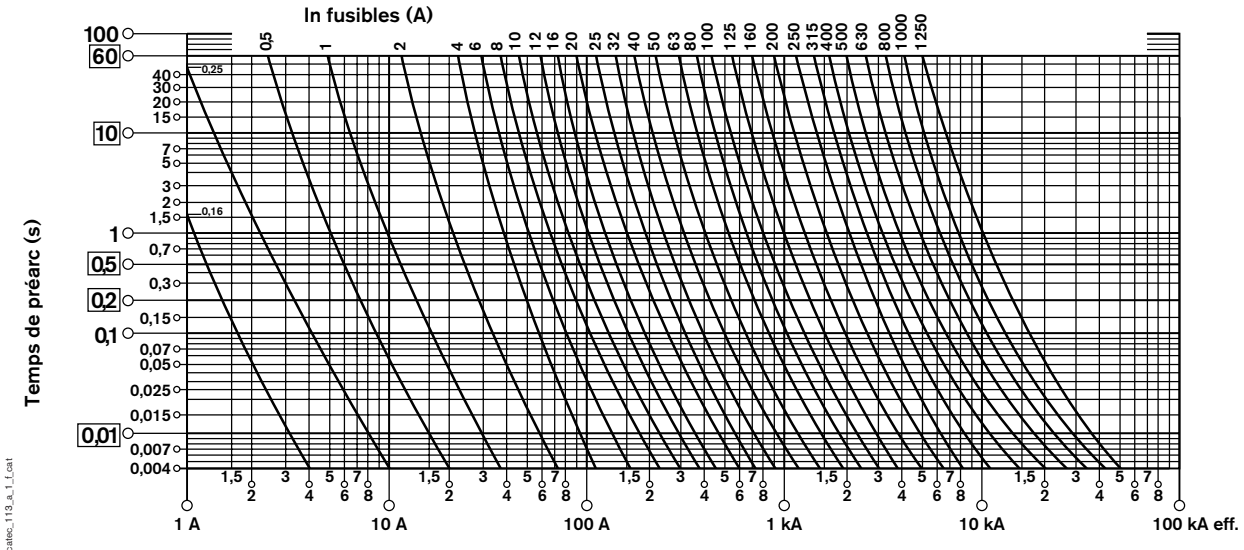
Courbes caractéristiques des fusibles aM (suite)

Diagramme de limitation des contraintes thermiques



catec_115_a_1_f_cat

Caractéristiques de fonctionnement temps/courant



catec_113_a_1_f_cat

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 (i^2t UR < i^2t 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.

Choix du fusible "UR"

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 A^2s. La contrainte thermique maximale du fusible UR associé sera de 610 - 20 % = 488 A^2s sous 400 V.

Tension

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

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

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

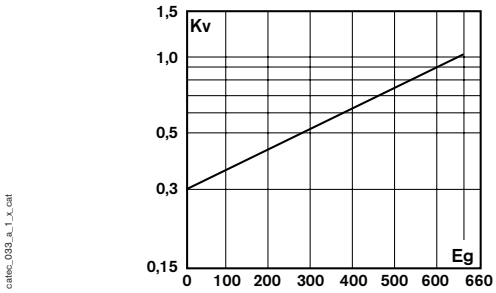


Fig. 1 : facteur de correction Kv

Kv : coeff. de correction de i^2t
Eg : valeur efficace de la tension d'utilisation

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 A^2s à 400 V.
A 660 V, cette valeur vaut : 488/0,6 = 813 A^2s.
Le courant dans le circuit est de 20 A. On retiendra un fusible UR de 25 A et dont i^2t à 660 V vaut 560 A^2s.

Choix du fusible "UR" (suite)

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 fig. 2 en fonction de la température de l'air à proximité du fusible.

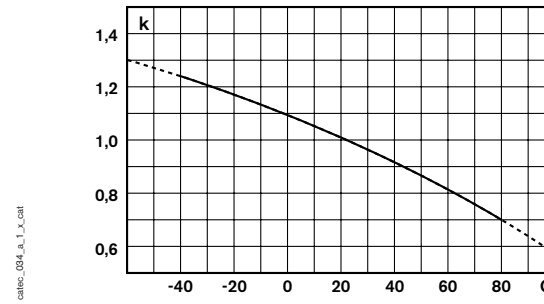


Fig. 2 : facteur de correction K_{TUR}

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 Kp donné par la figure ci-dessous.

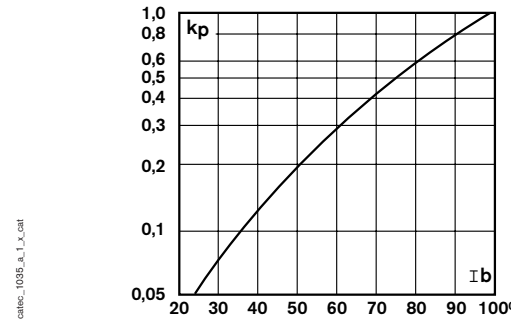


Fig. 3 : facteur de correction K_p

K_p : coefficient de correction des pertes
I_b : valeur eff. du courant de charge en % du courant nominal.

Sélectivité

Sélectivité entre fusibles

Sélectivité fusibles entre BT et HT
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 D.23).

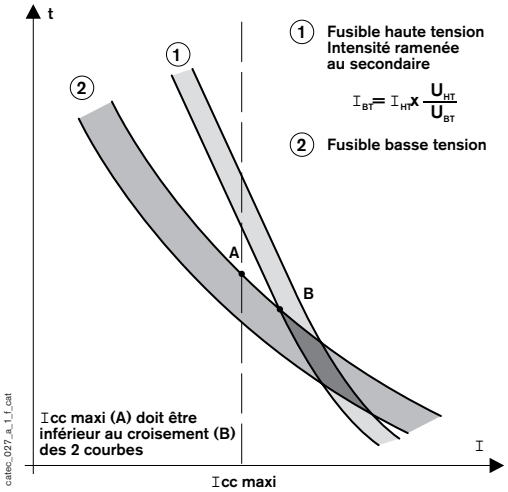


Fig. 1 : sélectivité entre fusibles HT et BT

Sur réseau alimenté par ASI (Alimentation Sans Interruption)

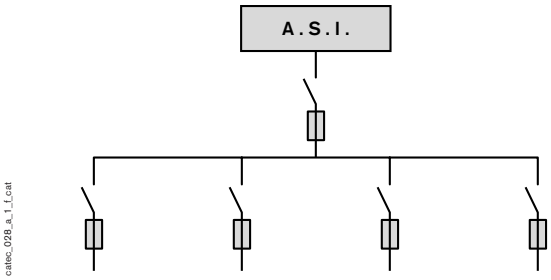


Fig. 2 : réseau alimenté par ASI

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	$\frac{In}{6}$
Fusible UR	$\frac{In}{3}$
Petits disjoncteurs	$\frac{In}{8}$

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.

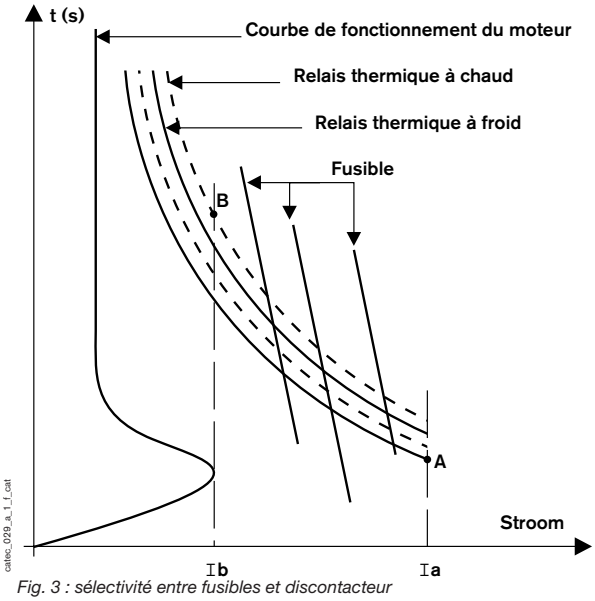


Fig. 3 : sélectivité entre fusibles et discontacteur

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 DEMARRAGE	I_b(1)	TEMPS DE DEMARRAGE(1)
Direct	8 I_n	0,5 à 3 s.
Etoile triangle	2,5 I_n	3 à 6 s.
Statorique	4,5 I_n	7 à 12 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.

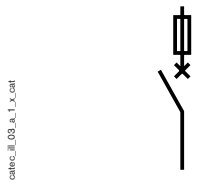
La contrainte thermique du fusible doit être inférieure à celle supportée par le discontacteur.
Parmi les différents calibres de fusibles possibles, choisir le calibre le plus élevé pour minimiser les pertes par dissipation thermique.

Sélectivité (suite)

Sélectivité entre disjoncteur et fusible

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

Fusible amont - disjoncteur aval



- 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.

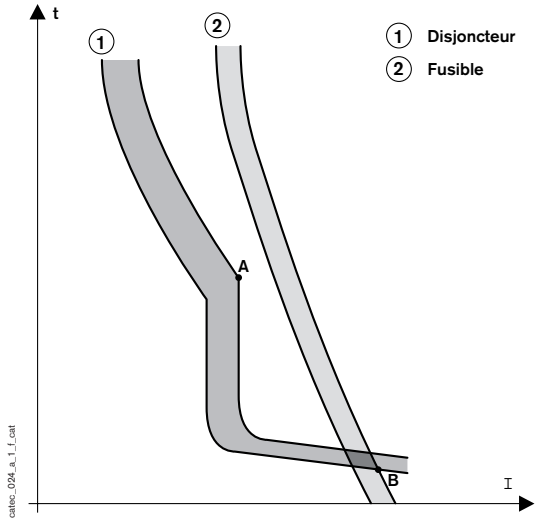
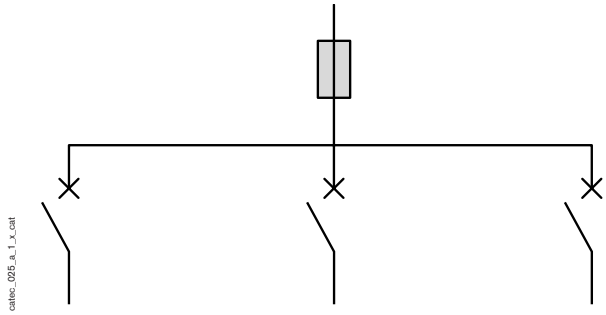


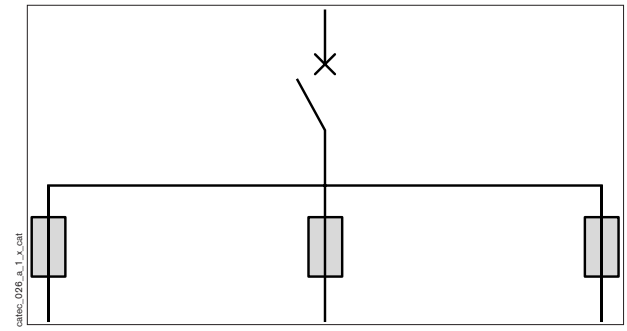
Fig. 1 : sélectivité fusible/disjoncteur

Fusibles gG en amont - plusieurs disjoncteurs en aval



- 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.

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 Ir du disjoncteur doit être tel que : $1{,}05\ Ir \geq I_1 + I_2 + \ldots I_n$.

  $I_1 + I_2 + \ldots I_n$: somme des courants dans chaque branche protégée par fusible.
- Le courant de réglage Ir doit en outre répondre à la condition suivante :

$$I_r \geq Kd \times I_n$$

In : calibre du fusible du circuit le plus chargé.

Tableau A : valeurs de Kd (suivant CEI 269-2-1)

CALIBRE FUSIBLES gG (I_n) (A)	Kd
$I_n \leq 4$	2,1
$4 < I_n < 16$	1,9
$16 \leq I_n$	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) :
  $8\ Kd \leq I_m \leq 12\ Kd$.
  Kd est donné par le tableau A.

Sélectivité (suite)

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.

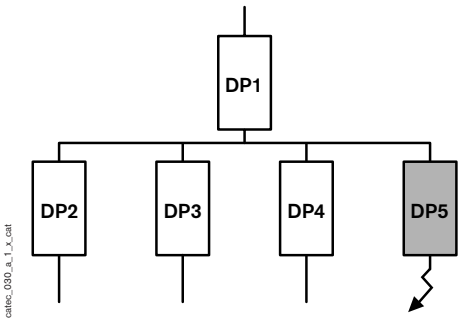


Fig. 1 : un défaut au point A doit entraîner l'ouverture du dispositif de protection DP5 sans qu'il y ait ouverture des autres DP.

- La sélectivité totale est assurée lorsque les zones temps/courant caractérisant les organes de protection ne se recouvrent pas.

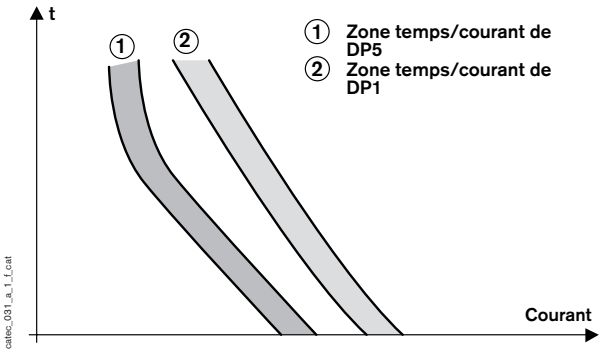


Fig. 2 : sélectivité totale

- La sélectivité partielle 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.

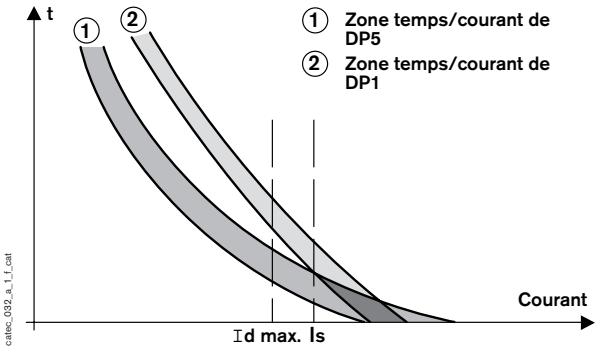


Fig. 3 : sélectivité partielle.
La sélectivité est assurée dans le cas où le courant de défaut maximum (I_{cc} max) de l'installation est limité à Id max et Id max < Is.

Sélectivité entre fusibles

Sélectivité fusibles gG et aM
La sélectivité totale est assurée par le choix des fusibles dans les tableaux A et B (suivant CEI 60 269-1 et 60 269-2-1).
Cependant, dans certains cas d'utilisation, on pourra se limiter à une sélectivité partielle.

Tableau A

FUSIBLE AMONT	FUSIBLE AVAL	
gG	gG	aM
Calibres (A)		
4	1	1
6	2	2
8	2	2
10	4	2
12	4	2
16	6	4
20	10	6
25	16	8
32	20	10
40	25	12
50	32	16
63	40	20
80	50	25
100	63	32
125	80	40
160	100	63
200	125	80
250	160	125
315	200	125
400	250	160
500	315	200
630	400	250
800	500	315
1000	630	400
1250	800	500

Tableau B

FUSIBLE AMONT	FUSIBLE AVAL	
aM	gG	aM
Calibres (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 DIRIS et COUNTIS

Fonctions et applications

Introduction

Le système COUNTIS est destiné au comptage d'énergie. Le système DIRIS est destiné à la mesure des grandeurs électriques, au comptage et à la gestion d'énergie[1], à la surveillance, au contrôle/commande et à la protection des installations.
Toutes ces fonctions peuvent être centralisées sur un PC avec le logiciel CG ou un autre système (automate par exemple) via une liaison RS485 protocole JBUS/MODBUS/PROFIBUS.

Mesure

Quel que soit le réseau (mono, bi et triphasé), les DIRIS mesurent le courant (à partir d'1, 2 ou 3 TC) et la tension V AC entre phases ou au-dessus à partir de TP) permet de calculer :
- les valeurs TRMS [2] des courants
- les valeurs TRMS [2] des tensions
- la puissance active (W) sur 2 ou 4 quadrants (DIRIS M avec option et CMv2)
- la puissance réactive (Q) avec l'indication du signe (L pour inductive et C pour capacitive) et grâce à la formule suivante : $\sqrt{S^2 - P^2}$
- la puissance apparente (VA)
- le facteur de puissance (FP) avec l'indication du signe (L pour inductive et C pour capacitive) et grâce à la formule suivante : FP = P/S.

La fréquence (Hz) sera mesurée sur la phase 1 du réseau.

Comptage

Le comptage d'énergie active (kWh) et réactive (kvarh) est calculé à partir de la puissance active et réactive. Ils sont le reflet de la consommation d'une installation électrique. Le Countis est destiné au comptage d'énergie active sur 2 quadrants. Le Diris est destiné au comptage d'énergie active et réactive sur 2 ou 4 quadrants.
A partir d'entrées TOR, il est possible de comptabiliser des kWh en fonction d'un signal externe (exemple : horloge EDF) ou des impulsions provenant de compteurs (eau, gaz, électricité…) ou d'autres systèmes (appareils de coupure…). En plus, le CMv2 met à disposition 8 sous-compteurs déclenchés par une date et/ou une heure de début et de fin.
Exemples : tous les jours de 8 heures à 12 heures
ou du 01/01/99 à 2 heures au 01/02/99 à 2 heures
L'énergie est mise à disposition sur 1 sortie impulsions programmable pour les kWh (Countis et Diris) et une 2e sortie impulsions programmable pour les kvarh.

Gestion de l'énergie

La gestion d'énergie est basée sur l'intégration de la puissance active sur une période déterminée par le fournisseur d'énergie. En France, cette période est de 10 minutes et en Belgique ou en Allemagne de 15 minutes. Pour réaliser cette fonction, il est nécessaire d'utiliser un produit capable d'intégrer cette valeur en fonction d'une synchronisation interne (horloge du Diris) ou externe (TOP EDF) et de la stocker (mémoire FIFO) pour éviter une communication permanente avec le système de centralisation.
Le CM possède une capacité mémoire de 8 jours en puissances 10 minutes et 12 jours en puissances 15 minutes. Le CMv2 possède une mémoire de 28 jours en puissances 10 minutes et de 42 jours en puissances 15 minutes.
Le rapport entre ces valeurs et la tarification (voir ci-contre) permet de :
- dresser un bilan tarifaire complet indiquant les kWh consommés par période de tarification
- d'analyser une courbe de charge
- de réaliser une fonction de simulation tarifaire.

En France, la tarification de l'énergie est fonction de la puissance installée chez l'utilisateur :

TARIFICATION	PUISSANCE	OPTION DE BASE	OPTION EJP
Tarif bleu	Jusqu'à 36 kVA	Option de base, 2 possibilités : • prix unique du kWh • heures pleines/heures creuses	396 heures (22 jours x 18 heures) de période de pointe par an
Tarif jaune	De 36 kVA à 250 kVA	Option de base caractérisée par : • version utilisation longue (> 2400 h/an) et utilisation courte • 4 périodes tarifaires : - HPH (heures pleines hiver) - HCH (heures creuses hiver) - HPE (heures pleines été) - HCE (heures creuses été) • pénalités en cas de dépassement de la puissance souscrite	4 périodes tarifaires : • heures de pointe mobile (PM) • heures d'hiver hors effacement (HH) • heures pleines d'été (HPE) • heures creuses d'été (HCE)
Tarif vert		Durée d'utilisation : • très longues utilisations (TLU) • longues utilisations (LU) • moyennes utilisations (MU) • courtes utilisations (CU)	
• A5	De 250 kW à 10 MW	5 périodes tarifaires : • pointe (P)[1] (décembre/janvier/février) • heures pleines hiver[1] • heures creuses hiver • heures pleines été • heures creuses été [1] Dans ces périodes : facturation de l'énergie réactive Er si Er ≥ 0,4 Ea (Energie active). **Voir système COSYS**.	• Idem tarif jaune, mais pointes mobiles beaucoup plus coûteuses • Même facturation de l'énergie réactive
• A8	De 1 MW à 10 MW	8 périodes tarifaires : 5 périodes du tarif A5 + • heures pleines de demi-saison (mars et novembre) • heures creuses de demi-saison (HCD) • juillet-août (JA)	6 périodes tarifaires : idem EJP tarif vert A5 + • heures de demi-saison hors effacement (HD) • juillet-août (JA)
• B	De 10 MW à 40 MW	Idem A8	Idem A8
• C	≥ 40 MW	Idem A8	Idem A8

(1) Le comptage visualise en temps réel la consommation depuis la mise sous tension. La gestion s'appuie sur un historique des puissances 10 minutes.

(2) La valeur TRMS est également appelée RMS vraie. Voir § perturbation des appareils de mesure.

Fonctions et applications (suite)

Surveillance

Le système DIRIS permet de configurer des alarmes en tension, en courant, en puissance active, en facteur de puissance et en fréquence.

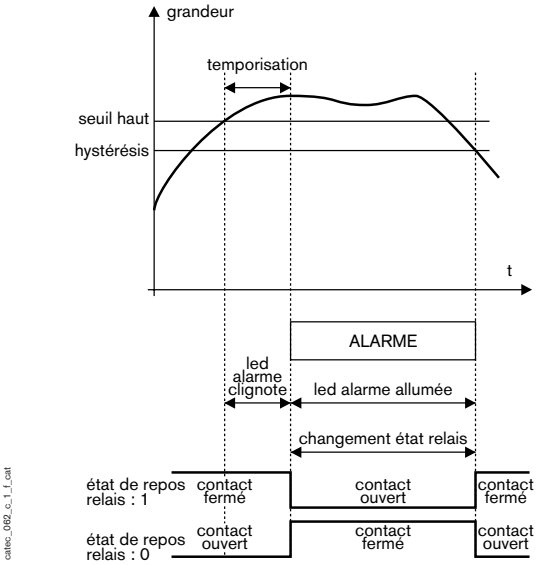


Fig. 1 : surveillance d'un seuil haut

Chaque alarme est caractérisée par une programmation :

- de seuil :
  Le seuil d'alarme peut être un seuil haut (dépassement supérieur : surtension, surintensité…) ou un seuil bas (dépassement inférieur : chute de tension…).
  - réglage du seuil haut : 0 à 1,4 I_n
  - réglage du seuil bas : 0 à (seuil haut-hystérésis)

Application :
- protection de machines dangereuses en cas de manque de tension sur le réseau
- surveillance de l'intensité d'un moteur. Une sous-intensité révèle une modification de la charge (rupture de courroie…)
- surveillance d'un manque de tension

- de l'hystérésis
- de la temporisation
- de l'état au repos du relais :
  - 0 : ouvert au repos
  - 1 : fermé au repos

  La position fermée au repos permet une sécurité positive de l'alarme : le relais s'ouvre en cas d'absence d'alimentation auxiliaire du DIRIS, ce qui correspond à une alarme.

  La position ouverte au repos permet une sécurité négative de l'alarme : le relais se ferme en cas d'absence d'alimentation auxiliaire du DIRIS, ce qui correspond à une alarme.

Remarques :

Pour chaque grandeur à surveiller, le DIRIS :
- vérifie la cohérence des configurations
- garde en mémoire les dernières alarmes par grandeur avec :
  - le temps de dépassement
  - la date et l'heure
  - les valeurs maximales atteintes.

Contrôle commande

Pour contrôler et commander, il est nécessaire de pouvoir piloter un ensemble d'entrées et de sorties. Le Diris peut à l'aide de 8 entrées TOR et de 2 à 6 sorties relais, permettre à un exploitant de délocaliser la gestion de son exploitation. En effet, les entrées TOR, raccordées à des contacts auxiliaires, transmettent l'information de position (ouvert : fermé) et le nombre de manœuvres (maintenance). Les sorties relais piloteront toute une série d'actionneurs (interrupteurs à déclenchement, contacteurs,…) pour délester une distribution ou stopper un process de fabrication. Ce pilotage à distance se fait facilement en utilisant une liaison série RS485 directement raccordée à un PC (logiciel Controle Vision par exemple) ou un autre système (automate…).

Communication

Voir § Réseaux de Communication.

Contrôle et gestion de l'énergie
DIRIS et COUNTIS

Communication : généralités

Description

Les DIRIS et COUNTIS peuvent être connectés à tout système (automate, PC, …) fonctionnant avec un réseau RS485 et le protocole JBUS/ MODBUS®.

La fonction communication permet :
- la lecture à distance des grandeurs mesurées par le système DIRIS et leur traitement par PC ou autre
- la lecture des configurations (mesures, alarmes,…)
- la configuration à distance (rapports de transformation, alarmes,…).

Couche physique : RS485
- *Liaison série* sur 3 fils + masse (voir aussi installation de la liaison ci-après)
- *Débits configurables :* 1200, 2400, 4800, 9600 ou 19200 bauds
- *Topologie :* réseau en bus, jusqu'à 31 appareils sur une même liaison. Pour connecter plus de 31 produits, on peut utiliser des répéteurs RS485 (nous consulter).
- *Portée maximale :* 1500 m à 9600 bauds. Pour des distances supérieures, on utilise des répéteurs ou des éclateurs RS485 (nous consulter).

Couche liaison
- Fonctionnement en mode maître/esclave :
  Le maître (superviseur, automate,…)
  - pose des questions ou émet une commande à chaque DIRIS ou autre terminal (esclave) qui répond ou exécute la commande
  - reconnaît chaque esclave en l'identifiant par un numéro appelé adresse. L'adresse de chaque DIRIS peut être fixée entre 1 et 255.
- La couche liaison assure également le contrôle des messages transmis, permettant de déceler d'éventuelles erreurs de transmission.

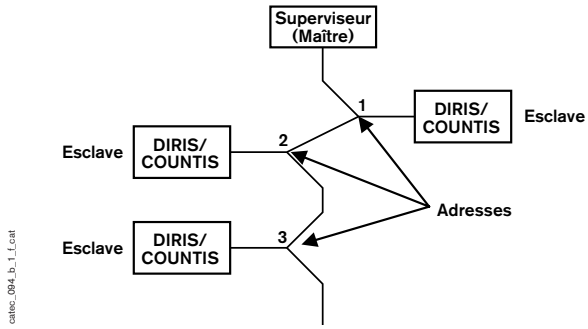


Fig. 1 : fonctionnement en maître/esclave

Protocole
Jbus/Modbus est utilisé en mode RTU (Remote Terminal Unit) avec des caractères hexadécimaux composés au minimum de 8 bits. Ce protocole implique un dialogue maître-esclave pouvant fonctionner par rapport à 2 principes :
- le maître dialogue avec un esclave et attend sa réponse
- le maître dialogue avec tous les esclaves les uns après les autres sans attendre leur réponse.

Le dialogue est identifié en trame de communication. Une trame est composée de :

Adresse de l'esclave	Code de la fonction	Adresse du message	Taille du message CRC16

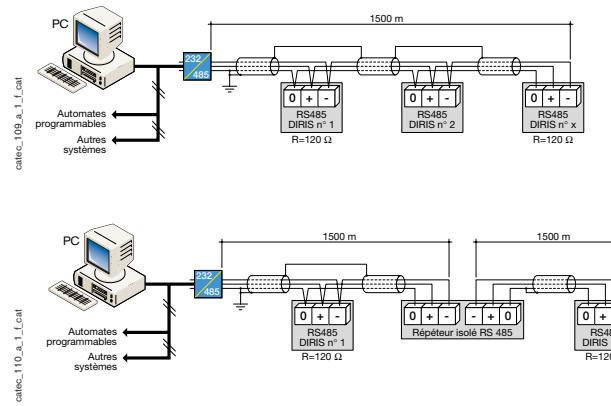
Pour exploiter les informations, nos produits mettent à disposition 4 fonctions :
Fonction 3 : pour la lecture de N mots (maximum 128 mots)
Fonction 6 : pour l'écriture d'un mot
Fonction 8 : pour le diagnostic des échanges (à partir des compteurs 1, 3, 4, 5 et 6)
Fonction 16 : pour l'écriture de N mots.

Raccordement de la liaison RS485

Les produits DIRIS et COUNTIS communiquent par une liaison série EIA 485 (RS485) 3 fils actifs (L1, L2 et 0 V), avec ou sans blindage. Sur la même liaison RS485, on peut connecter jusqu'à 31 appareils plus le maître (automate ou micro-ordinateur) muni d'une interface RS485.

Le nombre d'appareils peut être augmenté sur un réseau de communication en utilisant des répéteurs (maximum 255 par canal de communication).

Nous recommandons l'utilisation d'une paire torsadée avec un fil de masse. Dans un environnement très perturbé nous conseillons l'utilisation d'un câble blindé 3 fils en reliant le blindage à la terre à une extrémité seulement.



Aux 2 extrémités de la liaison RS485, il faut impérativement avoir une charge résistive de 120 Ohms qui est intégrée dans chaque DIRIS.

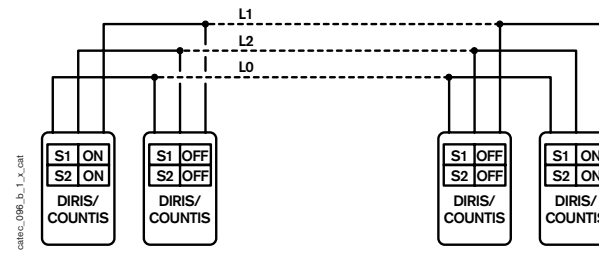


Fig. 3 : exemple de raccordement des DIRIS

Nous conseillons d'utiliser un câble de type :
- LIYCY : 2 paires torsadées avec blindage général (section mini de 0,34 mm²)
- LIYCY-CY : 2 paires torsadées avec blindage par paire plus blindage général (section mini de 0,34 mm²)

Nota : tous les produits connectés sur la même liaison RS485 doivent avoir une adresse (adresse JBUS/MODBUS®) différente.

Trame de communication

Tableau d'adressage : exemple DIRIS M

Lecture des informations (fonction 3)

ADRESSE EN HEXA.	NOMBRE DE MOTS (1)	LIBELLE	UNITE
700	1	0 pour un TC avec un secondaire de 1 A 1 pour un TC avec un secondaire de 5 A	A
701	1	courant phase 1	0,1 A
703	1	courant phase 2	0,1 A
705	1	courant phase 3	0,1 A
707	1	courant du neutre	0,1 A
709	1	tension simple phase 1	0,1 V
70B	1	tension simple phase 2	0,1 V
70D	1	tension simple phase 3	0,1 V
70F	1	tension composée U1-2	0,1 V
711	1	tension composée U2-3	0,1 V
713	1	tension composée U3-1	0,1 V
715	1	puissance active	0,1 kW
717	1	puissance réactive	0,1 kvar
719	1	puissance apparente	0,1 kVA
71B	1	facteur de puissance	/
71D	1	fréquence	0,1 Hz
71F	1	I1 max	0,1 A
721	1	I2 max	0,1 A
723	1	I3 max	0,1 A
725	1	P max	0,1 kW
727	1	énergie active + (4 digits du haut)*	kWh
729	1	énergie active + (3 digits du bas)*	
72B	1	énergie réactive + (4 digits du haut)*	kvarh
72D	1	énergie réactive + (3 digits du bas)*	
72F	1	énergie active (4 digits du haut)*	kWh
731	1	énergie active (3 digits du bas)*	
733	1	énergie réactive (4 digits du haut)*	kvarh
735	1	énergie réactive (3 digits du bas)*	
737	1	signe P 0 =+ et 1 =-	/
738	1	signe de Q et de PF 0 =+ et 1 =-	/

(1) Taille de cette zone : 30 mots ou 1E en hexadécimale (avec l'option 4 quadrants) - 24 mots ou 18 en hexadécimale (sans l'option 4 quadrants)

** : position des digits sur l'afficheur*

Exemple

Pour lire 3650 kWh il est nécessaire d'envoyer le message suivant :

Esclave	Fonction	Adresse poids fort	Adresse poids faible	Nombre de mots poids fort	Nombre de mots poids faible	CRC 16
05	03	07	27	00	02	74F0

Réponse du DIRIS M :

Esclave	Fonction	Nombre d'octets	Valeur de poids fort	Valeur de poids faible	CRC 16
05	03	04	0003	028A	CF34
			3	**650 kWh**	

Exemple

Pour visualiser toutes les valeurs en une seule interrogation, il est nécessaire d'envoyer la trame suivante :

Esclave	Fonction	Adresse poids fort	Adresse poids faible	Nombre de mots poids fort	Nombre de mots poids faible	CRC 16
05	03	07	00	00	1E	C532

Ecriture des appareils (fonction 6 ou 16)

ADRESSE EN HEXA.	NOMBRE DE MOTS (1)	LIBELLE	UNITE
100	1	primaire du TC	1 A
102	1	poids de la sortie impulsions	10 Wh
104	1	type de réseau : 0 : 3 L-b 1 : 3 Lnb 2 : 4 L-b 3 : 4 Lnb	/
105	1	fréquence 0 : 50 Hz et 1 : 60 Hz	Hz
106	1	temps d'intégration de la puissance	1 minute
107	1	temps d'intégration du courant	1 minute
108	1	clignotement des paramètres	500 ms
10A	1	clignotement des mesures	500 ms
500	1	reset	/

(1) Taille de cette zone : 9 mots ou 9 en hexadécimale

Recommandations

Après modification des paramètres, il faut impérativement faire une sauvegarde en utilisant l'adresse 500.

Exemple

Configuration d'un primaire de TC de 10 A pour le DIRIS numéro 5 :

Esclave	Fonction	Adresse poids fort	Adresse poids faible	Nombre de mots poids fort	Nombre de mots poids faible	CRC 16
05	06	01	00	00	0A	09B5

Réponse du DIRIS : identique au message envoyé.

Mesure électrique

Guide d'installation

Équipage ferro-magnétique

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 ferro-magnétique 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

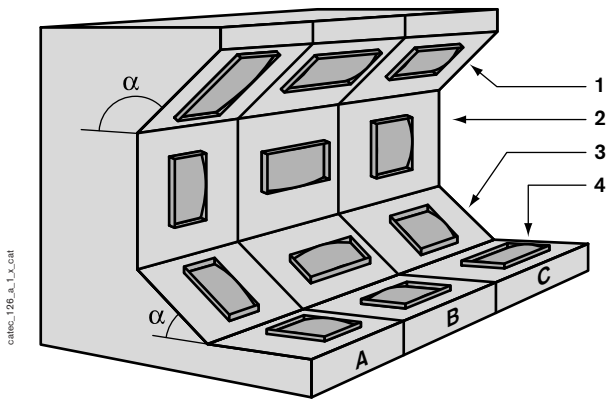
Le courant de mesure parcourt un cadre mobile bobiné, placé dans le champ magnétique d'un aimant permanent. Sous l'action des forces électro-magnétiques exercées sur le cadre, celui-ci pivote selon une loi linéaire.
De faible consommation, c'est par excellence l'instrument de mesure des signaux continus 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

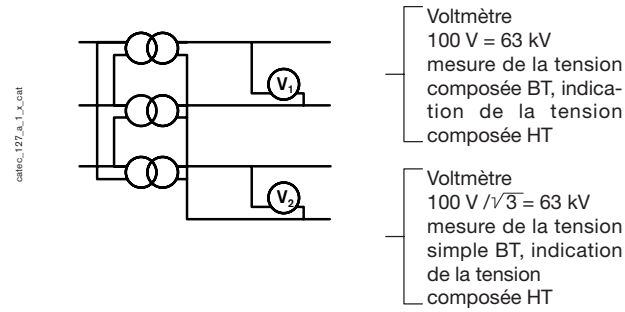
Les indicateurs ROTEX et DIN sont étalonnés, cadrans en position verticale. L'utilisation dans d'autres positions est possible, sans diminution sensible de leur précision. Sur demande, les indicateurs sont étalonnés pour fonctionner dans une autre position donnée (à préciser lors de la commande).



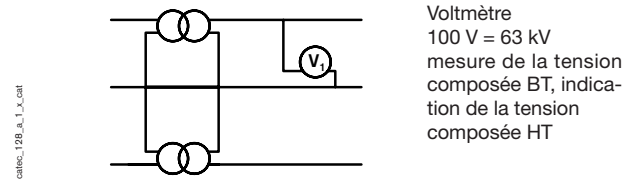
1 : α > 90° 3 : α < 90°
2 : α = 90° 4 : α = 0°

Utilisation de transformateurs de potentiel

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



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



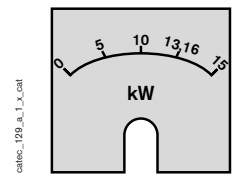
Convertisseur de puissance

Exemple : étalonnage d'un convertisseur de puissance active :
TI 20 / 5 A, U = 380 V, réseau triphasé, cos φ = 1.
Etalonnage de base :
P' (convertisseur) = UI cos φ $\sqrt{3}$ = 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.

- Etalonnage 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.
- Etalonnage 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 :

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

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



3290 W => 13,16 kW => 17,55 mA

3750 W => 15 kW => 20 mA

Guide d'installation (suite)

Classe de précision

- **Un appareil de mesure analogique** est caractérisé par un indice de classe (ou classe de précision). Il représente l'erreur maxi 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 amp. de 20 A : 20/50 x 0,75 = 0,3 A
  - soit pour un amp. 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 I_n)						
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.

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

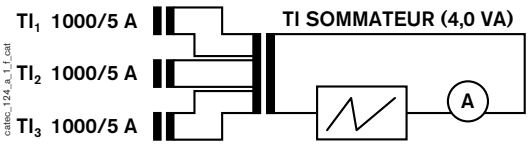
L : distance simple entre le TI et l'indicateur.

PERTES DANS LES CABLES EN VA(1) Pour TI 5 A							
L (en m)	1	2	5	10	20	50	100
S (mm²)							
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 CABLES EN VA(1) Pour TI 1 A							
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) n'est prise en compte que la composante active des pertes.

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



enregistreur (7,0 VA) + ampèremètre (1,5 VA)

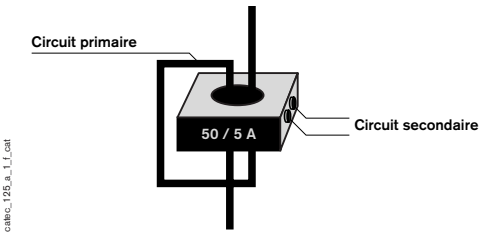
- (a) Bilan de puissance à fournir par le TI sommateur :
  (ampèremètre + enregistreur + perte circuit de mesure)
  P' = 1,5 VA + 7,0 VA + 1,5 VA = 10,0 VA
- (b) Bilan de puissance à fournir par les TI :
  P = P' + consommation propre du TI sommateur
  P' = 10,0 VA + 4,0 VA = 14,0 VA ; soit P/3 par TI.

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 In pour démarrages normaux (ex. pompes)
- les TI dont la saturation commence à 1,5 In pour 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).



Exemple : courant primaire du TI 50 A.

COURANT PRIMAIRE A MESURER	NOMBRE DE PASSAGES
50 A	1
25 A	2
10 A	5
5 A	10

Protection numérique des réseaux

Fonction des DIRIS protection

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 3 courants 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 la 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 thermique sur I_1, I_2, I_3, I_n :	$I >$	Code ANSI : 50
Protection magnétique sur I_1, I_2, I_3, I_n :	$I >>$	Code ANSI : 51
Protection thermique sur la composante homopolaire I_0 :	$I_0 >$	Code ANSI : 50 N
Protection magnétique sur la composante homopolaire I_0 :	$I_0 >>$	Code ANSI : 51 N
Protection à maximum (DIRIS CP) de courant directionnel :	I_{dir}	Code ANSI : 67
Sélectivité logique		Code ANSI : 68
Protection retour de puissance (DIRIS Ptm)	> 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 D.32).

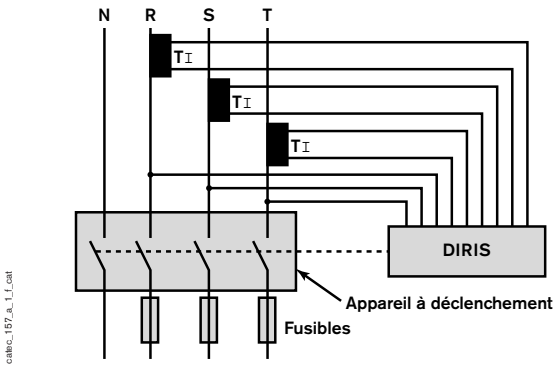


Fig. 1 : synoptique du système de coupure

Courbes de protection à temps dépendant

Code ANSI 50 phases 50 N Terre - selon la norme CEI 255-3 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 Is 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 I_0.

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

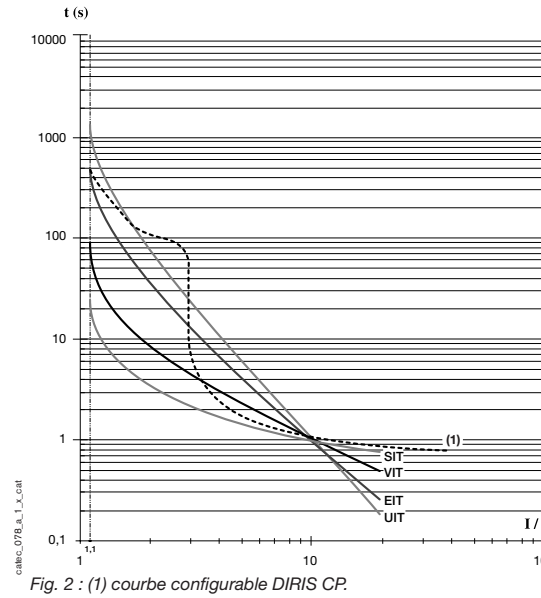


Fig. 2 : (1) courbe configurable DIRIS CP.

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 (DIRIS CP).

Fonction des DIRIS protection (suite)

Protection du neutre (DIRIS CP/CPS)

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.

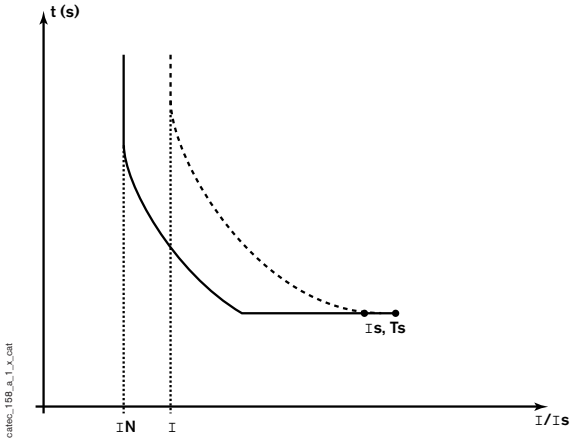


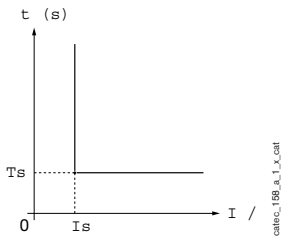
Fig. 3 : courbe de protection du neutre

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

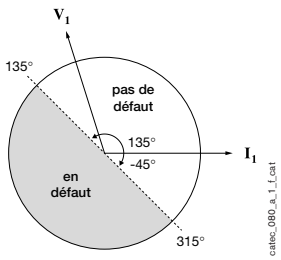
Code ANSI 51 phases 51 N Terre - selon la norme CEI 255-3 et BS 142. Cette courbe est utilisée pour la programmation du **seuil haut** (court-circuit). Elle peut aussi servir à la programmation du seuil bas si la courbe à temps dépendant n'a pas été retenue.
Pour programmer le ou les seuils indépendants, 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 (DIRIS Ptm)
0,02s < T_s < 300 s (DIRIS CP)
avec I_n = courant nominal.



Protection à maximum de courant directionnel DIRIS CP

Code ANSI 67
Pour qu'il y ait une détection de défaut Idir, il faut trois conditions :
- un déphasage V1, I1 compris entre 135° et 315°,
- un courant sur au moins une des trois phases supérieur au seuil Idir,
- la tension supérieure à 5 % de la tension nominale.

avec : 0,5 I_n < I < 3 I_n
0,04 s < T < 6 s



Protection retour de puissance (DIRIS Ptm)

Code ANSI 37.
C'est la détection d'un seuil mini de puissance active négative sur les 3 phases associé 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 minimum 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).

Protection DDMM (DIRIS CP)

Ce dispositif sert notamment à la détection d'absence de phase (DDMM).

Choix du TI

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

Choix de la puissance du TI en VA
- la classe du TI (5P 10, 10P10,…) 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.

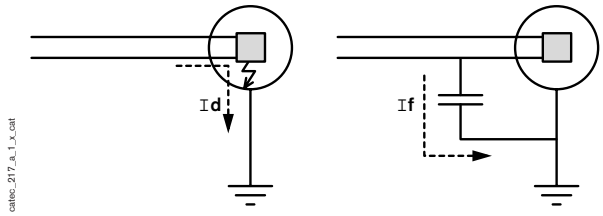
La charge maximale de ce TI est de 4 VA par exemple.
Le TI est raccordé par câble de 2 x 2,5 mm² d'une longueur de 10 m.
Perte en VA du câble (voir page D.59) : 3,57 VA.
Charge totale : 1,5 VA (DIRIS) + 3,57 VA = 5,07 VA.

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.

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).



Un Dispositif à courant Différentiel Résiduel (DDR) défini par la CEI 755 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.
Les relais différentiels ont 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 lignes 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 numériques va alerter les opérateurs.

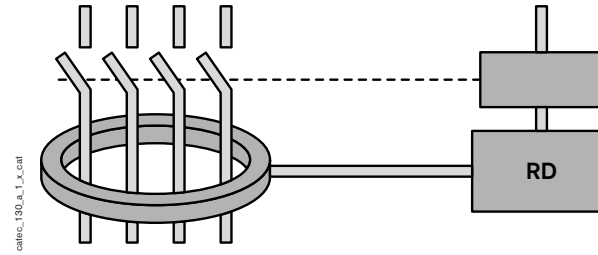
Certaines applications peuvent requérir les deux fonctions, couper et signaler, simultanément.

Couper l'installation

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 lignes 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 et FUSOMAT 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 75 % (en classe AC) 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 :

SENSIBILITES	REGLAGES IΔn
BASSE SENSIBILITE	20 A
	10 A
	5 A
	3 A
MOYENNE SENSIBILITE	1 A
	500 mA
	300 mA
	100 mA
HAUTE SENSIBILITE	≤ 30 mA

Temps de coupure

La norme 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 :

CLASSE	In (A)	VALEURS DE DUREE DE COUPURE 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.

Classes de relais différentiels

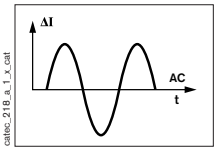
La norme NF C 15-100 associe un type de DDR en fonction de son comportement face à l'**influence des composantes continues**
- Classe AC
- Classe A
- Classe B

La norme CEI 60755 définit trois classes d'utilisation pour les DDR en fonction du type de réseau :

- **classe AC** symbole :

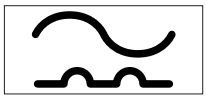
exemple de courant de défaut :

L'appareil assure un déclenchement avec des courants différentiels résiduels, alternatifs sinusoïdaux.

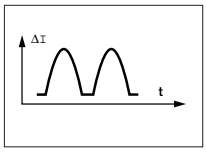


Classes de relais différentiels (suite)

- **classe A** symbole :



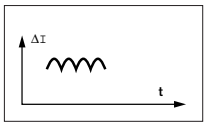
exemple de courant de défaut :



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.

- **classe B** symbole :

exemple de courant de défaut :

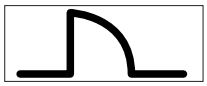


l'appareil assure un déclenchement avec des courants différentiels identiques aux appareils de classe A mais aussi pour des courants différentiels provenant de circuits redresseurs :
- simple alternance avec charge capactive produisant un courant continu lisse,
- triphasé simple ou double alternance,
- monophasé double alternance entre phases,
- quelconque qui charge une batterie d'accumulateurs.

Compatibilité électromagnétique (CEM)

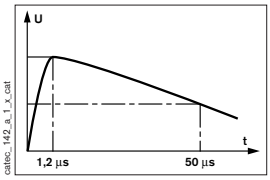
Les DDR déclenchent parfois pour des raisons autres que la présence d'un défaut d'isolement. Les causes sont variées : orages, manœuvre des appareils haute tension, courants de court-circuit, démarrages des moteurs, allumages de tubes fluorescents, fermetures sur charges capacitives, champs électromagnétiques, décharges électrostatiques.

Les DDR présentant une immunité suffisante contre ces perturbations sont repérés par le symbole.

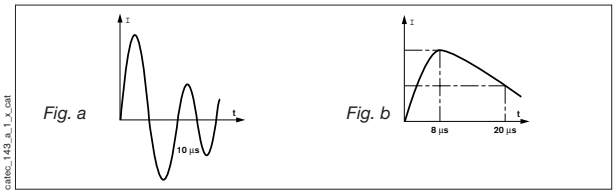


Selon la norme NF C 15-100 § 531.2.1.4, les DDR doivent être choisis de façon à limiter les risques de déclenchement intempestifs dus aux perturbations CEM. A ce titre, les produits de la gamme Resys Socomec présentent une immunité renforcée aux perturbations électromagnétiques notamment grâce à son principe de mesure RMS.

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 (figure a) ou lors d'un amorçage en cas de claquage diélectrique suite à une surtension (figure b).



Protection différentielle

Application

Protection d'une installation

• Sélectivité totale (sélectivité verticale)

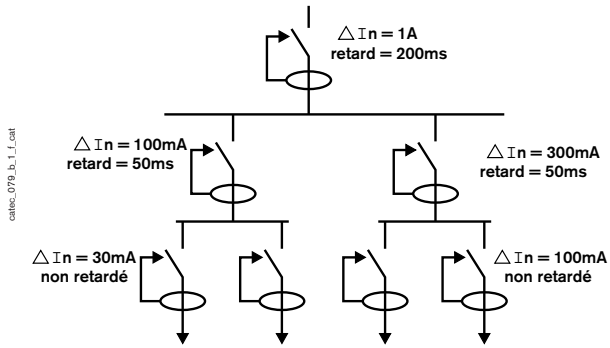


Figure 1

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} figure 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 classe S (retard réglable). Le retard du DDR amont devra être supérieur au retard du DDR aval (figure 1).
2. La sensibilité du DDR aval IΔn B doit être inférieure à la moitié de la sensibilité du DDR amont IΔn A (voir figures 1 et 2).

Protection d'une installation (suite)

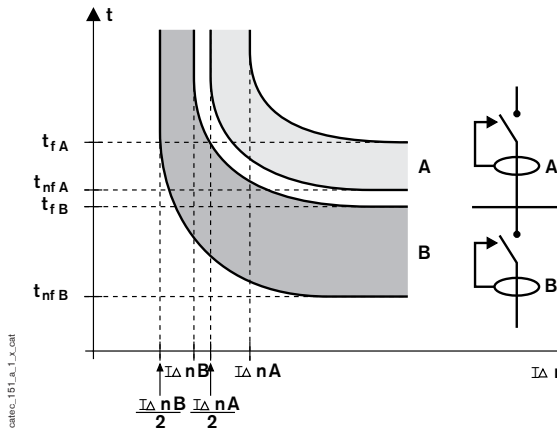
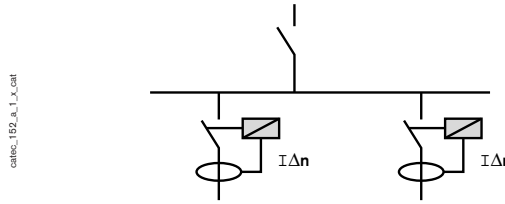


Figure 2

• Sélectivité horizontale

Cette disposition consiste à placer sous certaines conditions des dispositifs différentiels pouvant être de même (IΔn) au même niveau d'une distribution (à l'intérieur d'un même tableau, d'un tableau adjacent ou raccordé avec un câble de type U1000, …) en se dispensant de mettre en œuvre un dispositif différentiel général.



En distribution de type TT, un dispositif différentiel général 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.

Application (suite)

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 In garantit la non-perforation des magnétiques et la sauvegarde du moteur. Certain 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 Equipements Electroniques (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.

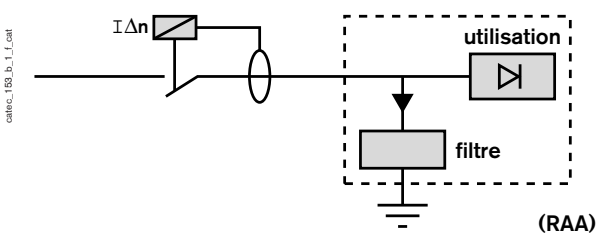
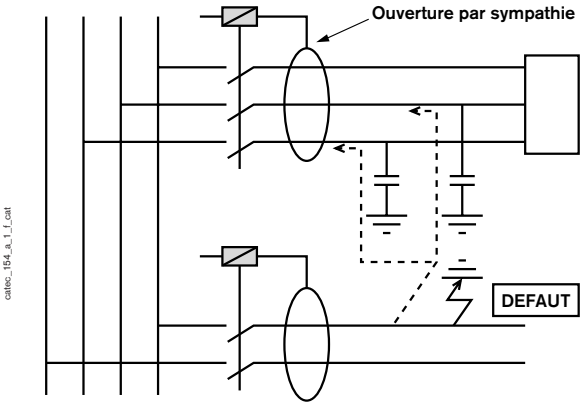


Fig. 1 : raccordement des CPI : cas général

Effet de "sympathie"

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 que le défaut apparaît sur une canalisation de grande longueur.



Une solution pour limiter cet effet est de temporiser les appareils différentiels.

Protection contre l'incendie

Le paragraphe 422.1.10 des normes NF C 15-100 et CEI 60 364 préconisent l'emploi de DDR à IΔn ≤ 300 mA pour protéger les locaux présentant des risques d'incendie (locaux BE2).

Emplacement à risque d'explosion

En schéma TT ou TN, la norme NF C 15-100 § 424.10 stipule une protection des canalisations par DDR 300mA 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 15-100 § 753.4.1.1).

Protection différentielle

Mise en œuvre

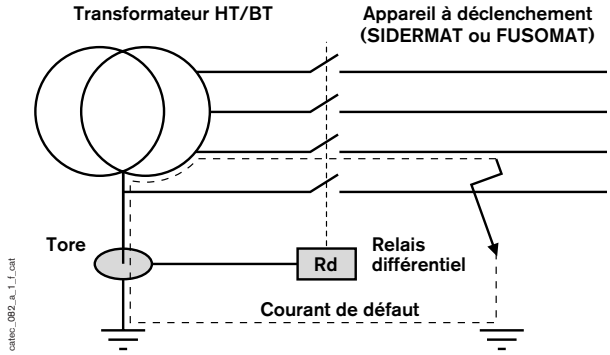
Toute installation présente un courant de fuite à la terre dû essentiellement aux fuites capacitives des conducteurs et aux condensateurs d'antiparasitage ou de filtrage CEM par exemple des matériels de classe I.

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 0,75 pour les appareils SOCOMEC RESYS E et M) sans que la sécurité des personnes ne soit menacée.

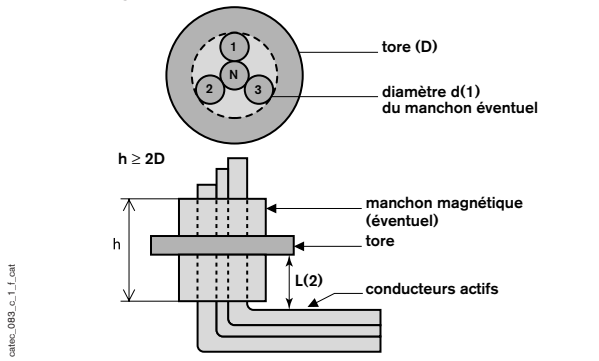
Les courants de fuite peuvent être limités par :
- l'utilisation de matériels de classe II
- les transformateurs de séparation
- les circuits alimentés par ASI
- la limitation du nombre de récepteurs protégés par un même DDR.

Amélioration de la fonctionnalité des DDR

- Mise en œuvre à l'origine de l'installation TT.
  A 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 : Δ ≥ 2d
  - le rajout éventuel d'un manchon magnétique d'une hauteur au moins égale à 2D.



(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 15-100 § 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 (Idn 30mA)
- Protection contre les risques d'incendie Idn (300mA).

Choix du dispositif différentiel en régime IT

La norme NF C 15-100 § 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 (IDn) doit être supérieure au double de la valeur du courant de fuite (If) qui circule lors d'un premier défaut **IDn > 2 x If.**

Choix du dispositif différentiel selon les principes d'alimentation auxiliaires

Le niveau de compétence des exploitants et la destination de l'installation vont, selon la CEI 60 364, orienter le choix des dispositifs de protection différentiels selon le type de fonctionnement lié au principe d'alimentation.

NATURE DU DISPOSITIF DIFFERENTIEL	CHOIX POSSIBLE EN FONCTION DU TYPE D'INSTALLATION	
	PERSONNEL NON AVERTI (BA1)	ESSAYEES ET VERIFIEES 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.

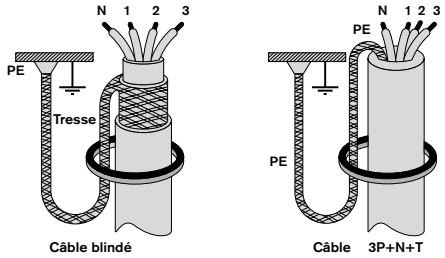
Caractéristiques d'un dispositif différentiel à source auxiliaire

- 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).

Mise en œuvre (suite)

Précautions mise en œuvre de tores sur des câbles armés

- Câble armé : isoler électriquement la boîte de raccordement, et la relier à la terre.



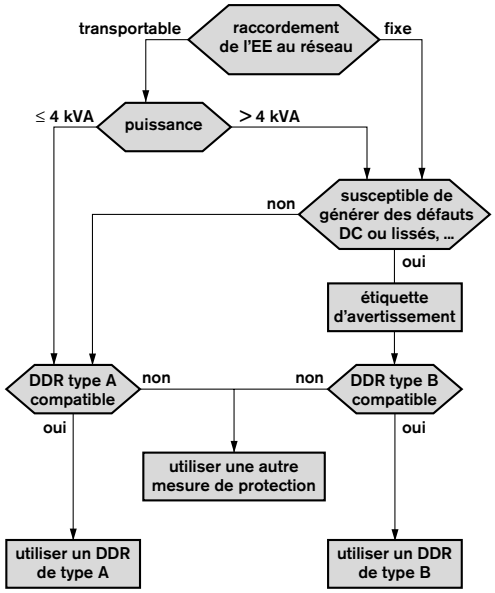
catec_169_a_1_f_cat

Choix de la classe des 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).



catec_155_a_1_f_cat

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…

Choix de la classe des différentiels en fonction des charges

La norme EN 61008-5 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		
2	B	Monophasé avec Mirage		
3	B	Monophasé en étoile triphasé		
4	≥A	Pont redresseur à double alternance		
5	≥A	Pont redresseur mixte à double alternance		
6	B	Pont redresseur mixte à double alternance entre phases		
7	B	Pont redresseur triphasé		
8	≥AC	Gradateur à commande de phase		
9	≥AC	Gradateur à commande par train d'ombre		

catec_224_a_1_f_cat

Protection différentielle

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 fluctuante, des relais de classe B, indépendants de la tension et du courant, vont être encore plus particulièrement adaptés pour prévenir des risques de déclenchement intempestif.

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 pré-alarme 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 pré-alarme qui sont incorporés à certains relais différentiels (RESYS MP, EP, B,… de SOCOMEC). Ces produits avec pré-alarme répondre 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 (RESYS MS, M, E,… de SOCOMEC) peut alors être utilisé uniquement pour signaler un courant différentiel.

La signalisation des défauts d'isolement de façon préventive procure d'infinies possibilités dans l'optimisation d'une installation électrique :

- anticiper une réparation de machine avant que le process ne soit arrêté sur défaut
- localiser des défauts d'isolement en régime de neutre TNS
- prévenir des risques d'incendie, d'explosion,…
- anticiper le fonctionnement d'un appareil de protection contre les surintensités et ainsi éviter le remplacement du fusible ou le vieillissement du disjoncteur
- 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 15-100 (§ 537.1.1), CEI 60 364 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.

Les CPI trouvent également des applications dans de nombreux cas (voir cas d'utilisation pages D.70 et D.75). SOCOMEC offre un large choix de CPI à travers 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 un 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 insolation galvanique amont)

Certains CPIs Socomec 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 kΩ traditionnellement ajoutée entre le circuit à surveiller et la terre (neutre impédant) est pratiquement inutile pour les CPI SOCOMEC.

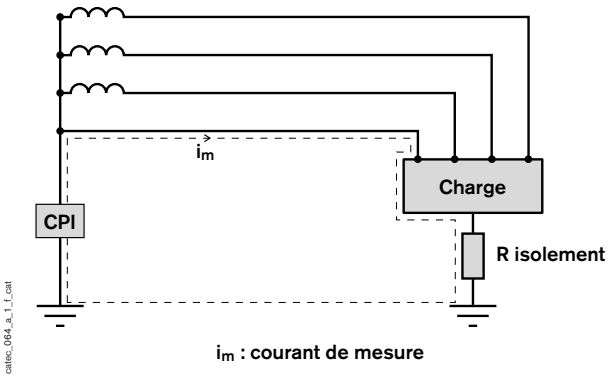


Fig. 1 : mesure de la résistance d'isolement d'une installation par un CP

Réglages

La norme NF C15 100 § 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 1kohm.

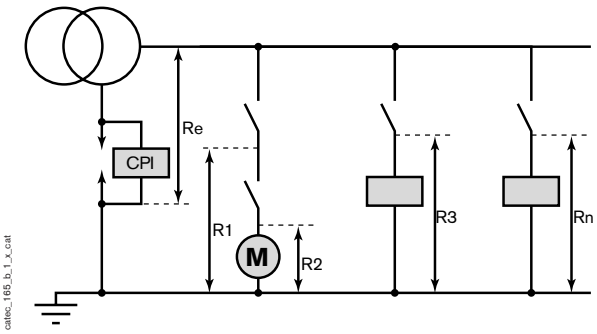
Le choix de seuils d'isolement plus beaucoup plus élevés est garant d'une bien meilleure gestion de la continuité de service.

Ce choix de réglages plus adaptés permet :

-d'anticiper la recherche de défaut à partir de plusieurs dizaines de kohm et garantie une meilleure gestion préventive des défauts.

- limite la circulation de courants de fuite pouvant provoquer les déclenchements des différentiels hausse 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 résistances 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.

Contrôle Permanent de l'Isolement

Définitions

Réseau îloté

Un réseau îloté 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

A 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.

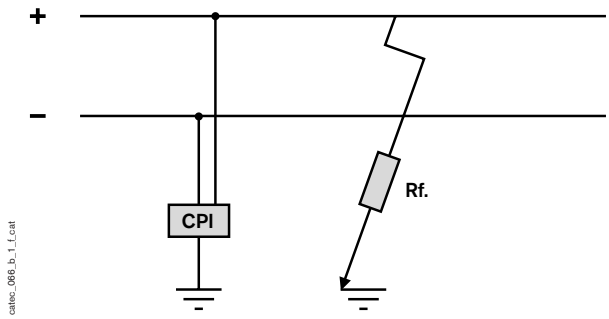


Fig. 1 : défaut asymétrique

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 97 que les circuits DC soient surveillés par des CPI capables de détecter des défauts symétriques.

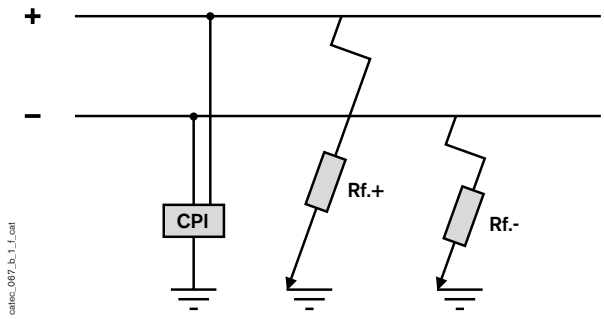


Fig. 2 : défaut symétrique

Résistance d'isolement de l'installation électrique

C'est le niveau d'isolement de l'installation par rapport à la terre. Il doit être mesuré régulièrement par les organismes de contrôle et être supérieur aux valeurs de la norme NF C 15-100.

Tableau A : valeurs mini de la résistance d'isolement (NF C 15-100) hors tension

TENSION NOMINALE DU CIRCUIT (V)	TENSION D'ESSAI EN COURANT CONTINU (V)	RESISTANCE D'ISOLEMENT (MΩ)
TBTS et TBTP	250	≥ 0,25
≤ 500 V	500	≥ 0,5
> 500 V	1000	≥ 1,0

Isolement des récepteurs

- Rf Moteur > 0,5 MΩ
- Rf > x MΩ 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.

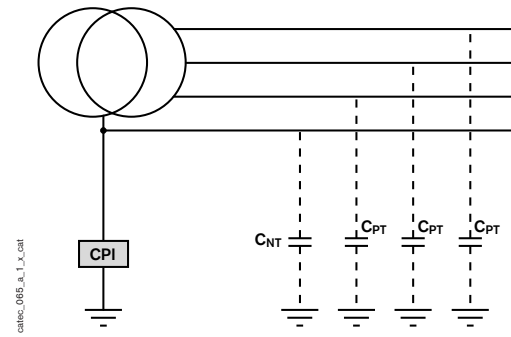
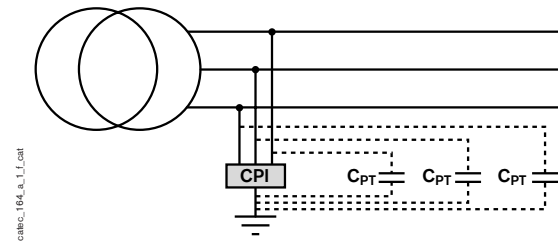


Fig. 2 : capacité de fuite à la terre d'un réseau alternatif

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.



Cas d'utilisation

Locaux à usage médical CPI HL 765

Ces locaux nécessitent des dispositions particulièrement strictes liées à la continuité d'exploitation du réseau électrique et la protection des patients et des utilisateurs de matériel médical.

ISOM HM et HL sont des CPI spécialisés pour la surveillance de ce type d'installation. Ils répondent à la publication "Dispositions générales relatives à l'appareillage électrique d'usage médical" émise par le comité 62 A de la CEI.

De plus les CPI HL 765 fonctionnent suivant le principe de mesure à impulsions codées qui garantissent un fonctionnement optimal notamment dans les salles d'opérations généralement équipées aujourd'hui de matériel aux alimentations à découpage sans transformateur de séparation galvanique.

Tableau A

	NFC 15-211	HM 765
Courant maximal de mesure	1 mA	0,05 mA
Tension maximale de mesure	25 V	12 V
Impédance interne du CPI	> 100 kΩ	> 240 kΩ

La résistance mini de réglage de seuil qui est de 50 kΩ suivant la norme NFC 15-211 correspond au seuil mini de réglage des ISOM HM et HL garantissant ainsi par construction, la sécurité de l'opéré en cas de mauvais réglage du CPI.
Pour des salles d'opération importantes, les systèmes de recherche fixe DLD 204 et portatif DLD 3204 permettent de respecter la valeur maximale du courant de recherche de 1 mA exigée par la norme NFC 15-211.
Socomec propose une gamme complète de CPI pour usage médical HL765, HL322.
Tous ces produits sont compatible à la norme NF C 15-211.
Selon la norme CEI 60364-7-710 : (traduction internationale de la norme Française NF C 15-100)
- le CPI doit être conforme à la norme CEI 61557-8
- surveillance des surcharges et des élévations de température du transformateur associé au schéma IT médical
- le transformateur doit être conforme à la norme CEI 60558-2-15

Le CPI Socomec HL 765 est compatible à cette norme.

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

De plus dans ce une installation dite de sécurité, un CPI doit obligatoirement (selon NF-C 15-100 §561.2) assurer la surveillance de l'isolement des matériels :
- équipements de sécurité : moteurs de pompe d'incendie
- installation de désenfumage.

Surveillance de l'isolement de moteurs hors tension (exemple CPI SP 003) (suite)

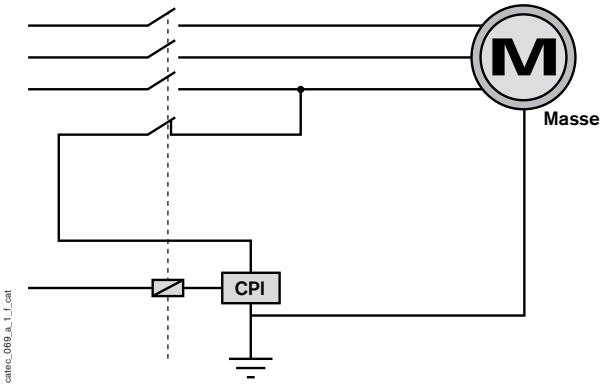


Fig. 2 : principe de montage : le CPI est hors circuit lorsque le moteur est alimenté

Réglage du CPI de surveillance moteur hors tension
Le seuil d'alarme aura une valeur généralement supérieure à 300 kOhms.
Le moteur ne doit plus être utilisé lorsque la résistance d'isolement est inférieure à 500 kΩ.
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 le NF C15-100 § 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 choisis de manière à assurer la coupure au premier défaut selon le § 753.4.1.

Surveillance de variateurs de vitesses

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.

Contrôle Permanent de l'Isolement

Cas d'utilisation (suite)

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 D.41). 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. 3).

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 du chapitre 413.2.3. de la norme NF C 15-100.

Le modèle ISOM GE 110 est spécialement conçu à cet effet, néanmoins les appareils classiques peuvent également parfaitement convenir si leur mise en œuvre intègre les contraintes d'environnement (vibration, tropicalisation, résistance aux hydrocarbures…).

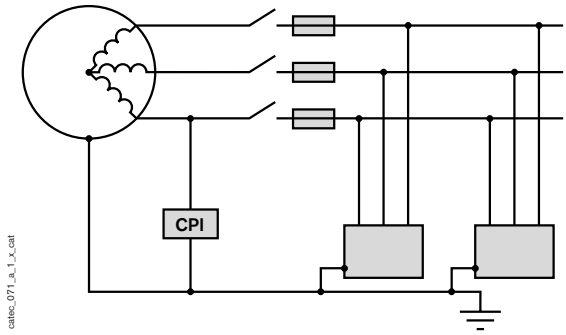


Fig. 3 : utilisation d'un CPI pour un circuit alimenté par groupe électrogène

Surveillance par DLD des départs avec fortes perturbations

Basses fréquences

Le §537.3 de la norme NF C 15-100 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 470-12 et INJ470) sont compatibles à 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.

Réseaux alimentés par ASI

Réseaux alimentés par ASI

Les systèmes d'Alimentation Statique sans Interruption (ASI) comportent une partie "courant continu".

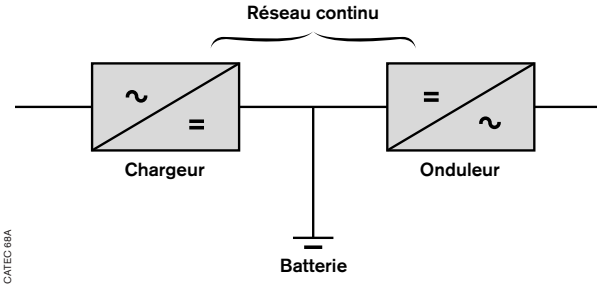
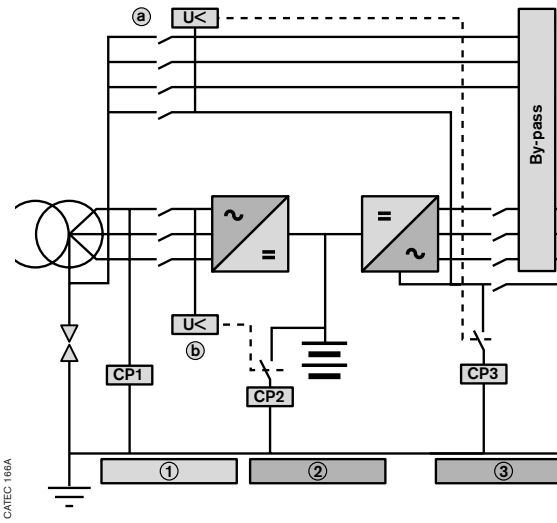


Fig. 3 : CPI sur réseau alimenté par ASI

Il est exigé (UTE C 15-402) 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.

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 by-pass)
- Prévoir la mise en place de CPI adapté en fonction du réseau surveillé.



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.

Cas d'utilisation (suite)

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 des 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.

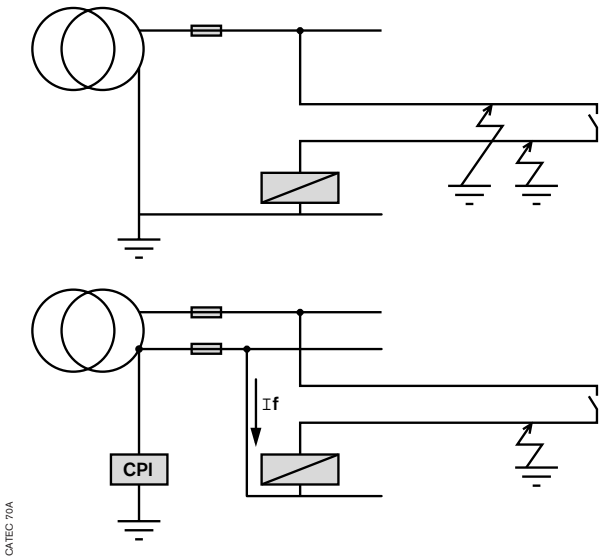


Fig. 1 : surveillance de l'isolement des circuits de commande

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 (micro-relais, automates, opto-coupleurs,…).

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 204 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 1mA.

Contrôle Permanent de l'Isolement

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 kΩ en parallèle (voir principe de fonctionnement page D.69).

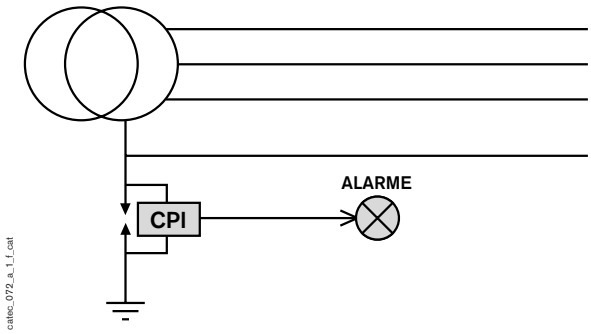


Fig. 1 : raccordement des CPI : cas général

Alimentation par plusieurs transformateurs en parallèle

L'utilisation d'un CPI commun à deux sources n'est plus admis selon la NF C 15 100 § 537.1.2.

Il est nécessaire d'installer 1 CPI par source et veiller qu'ils soient "inter verrouillés" électriquement.

Les CPI Socomec présentent à cet effet des entrée/sorties et/ou des bus (suivant modèle) de manière à inhiber l'un ou l'autre CPI dans ce mode de fonctionnement.

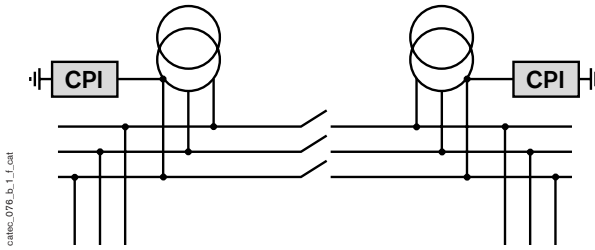


Fig. 6 : plusieurs transformateurs en parallèle

Surveillance d'un réseau hors tension

Utilisation d'un neutre artificiel (voir page B.137).

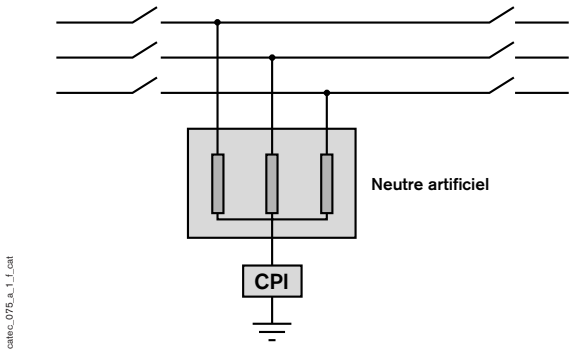


Fig. 5 : surveillance d'un réseau hors tension

Raccordement et protection des circuits de mesure des CPI

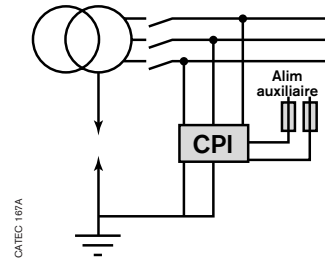


Fig. 3 : branchement du CPI après l'interrupteur général

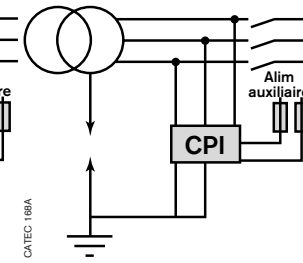


Fig. 4 : branchement du CPI avant l'interrupteur général

La protection contre les courts-circuits n'est pas autorisée par le texte de la NFC 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 transfo, évite des asservissements entre CPI en cas de couplage de réseau (fig. 4)
- le branchement du CPI après l'interrupteur de couplage du transfo, 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 transfo) (fig. 3).

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.

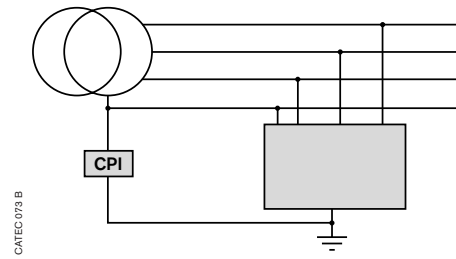


Fig. 2 : raccordement des CPI : terre non-accessible

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 :

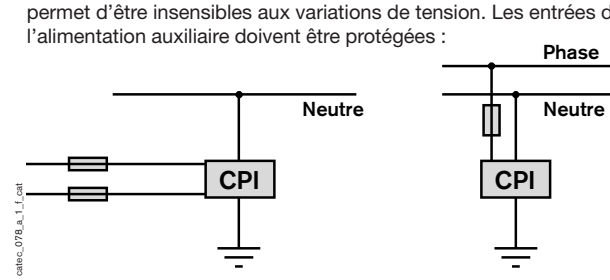


Fig. 7 : branchement de l'alimentation auxiliaire

Limiteur de surtension

Guide d'installation

Généralités

Le Limiteur de Surtension répond aux paragraphes 4 et 5 de l'article 5 et à l'article 34 du décret du 14.11.88. Il a pour fonction l'écoulement à la terre des surtensions et des courants de défaut.

Fonction parafoudre

Le LS assure l'écoulement à la terre des surtensions arrivant par le réseau HT.

Fonction écoulement des surintensités

Les surintensités sont dues aux amorçages accidentels entre les circuits HT et BT. Elles 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 court-circuit de 40 kA / 0,2 sec., il est toujours préférable, dans les installations de grande puissance, de limiter à 10 ou 15 kA l'intensité du courant de court-circuit afin de tenir compte de l'éventualité d'un défaut sur le jeu de barres, auquel cas, l'intensité de court-circuit phase neutre pourrait dépasser 20 kA. Il n'est pas admissible en matière de sécurité de ne pas tenir compte de l'éventualité d'un défaut à la terre sur un jeu de barres. Cette limitation est réalisée à l'aide d'inductances spécifiques.

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.

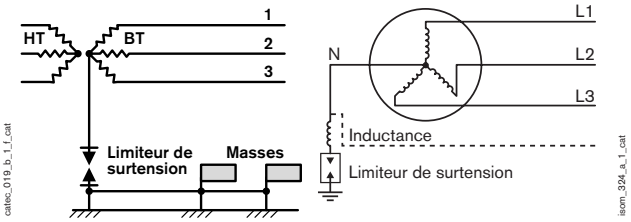


Fig. 1 : un seul transformateur - neutre accessible

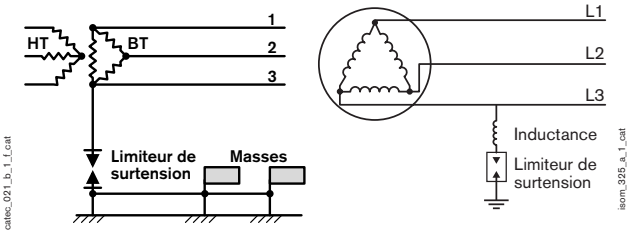


Fig. 2 : un seul transformateur - neutre non accessible

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.

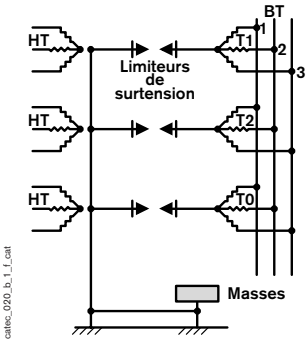


Fig. 3 : n transformateurs en parallèle - neutre accessible

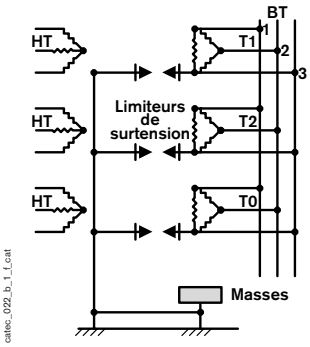


Fig. 4 : n transformateurs en parallèle - neutre non accessible

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 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.

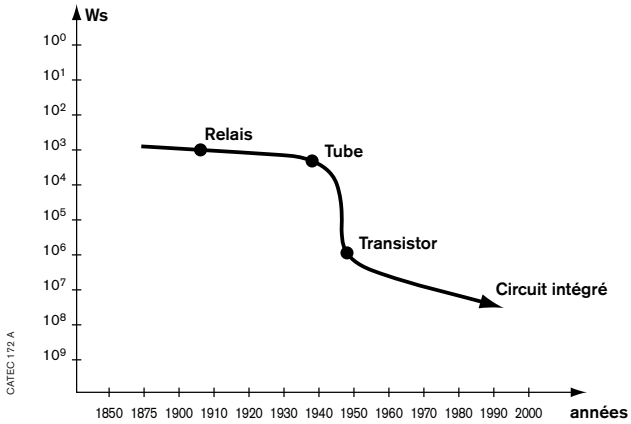


Fig. 1 : puissance admissible en fonction des technologies

- 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.

Ondes normalisées

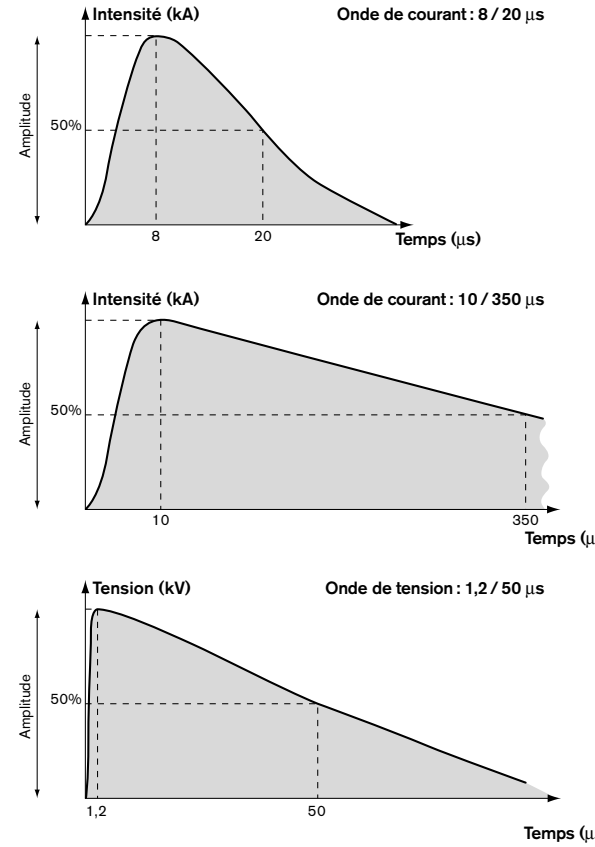


Fig. 2 : définition des ondes de tension ou de courant transitoires

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.

Protection contre les surtensions transitoires (suite)

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).

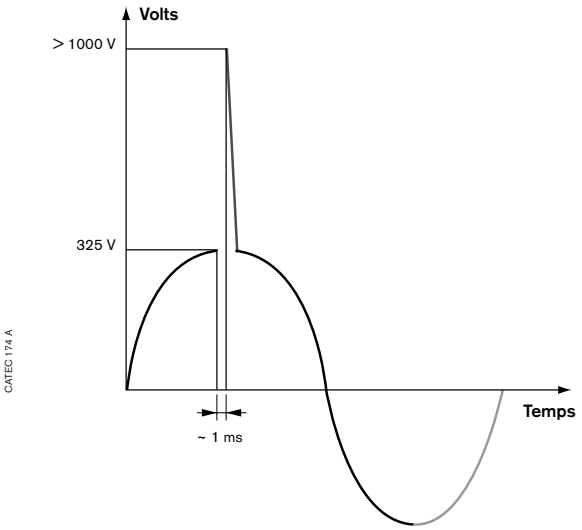


Fig. 1 : surtension suite à une fusion de fusible

Les parafoudres

Surtensions dues à la foudre

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.

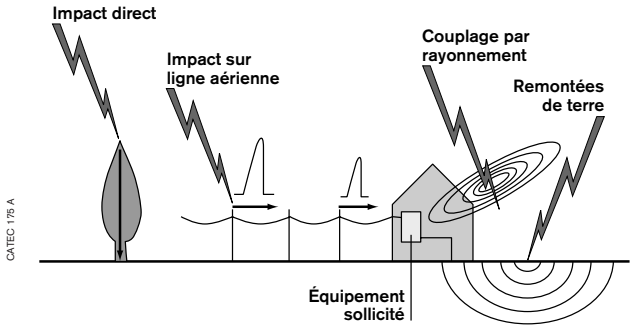


Fig. 1 : types d'agression « foudre » sur une installation

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 tout type 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 km^2, 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.

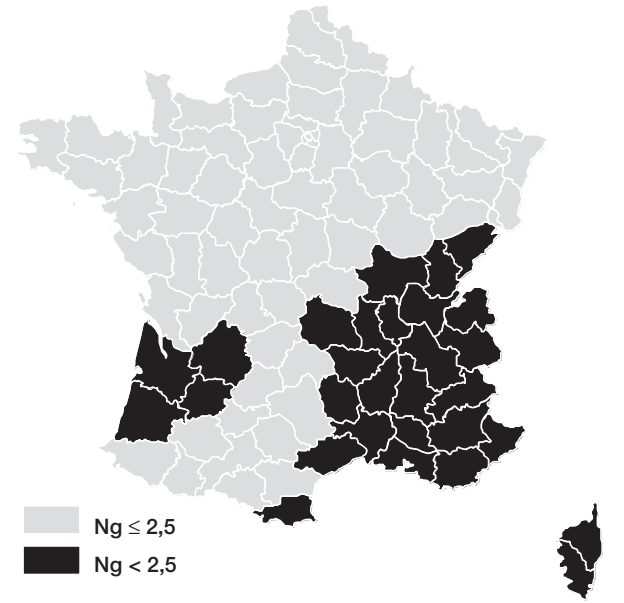


Fig. 2 : densité de foudroiement Ng

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 28 janvier 1993 et ses circulaires d'application)
- 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)

*** NB : Les installations classées, soumises à autorisation (ICPE) relevant de l'arrêté et de la circulaire du 28 janvier 1993, doivent faire l'objet d'une étude préalable du risque foudre.**

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 1 juillet 1965)
- Établissements militaires divers (norme MIL /STD /1 957A par exemple)
- Entrepôts couverts de matières, combustibles, toxiques ou explosives (circulaire du 04 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).

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 pouvait être énoncées.

Norme NF C15-100 (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" :

Contient les règles générales de sélection et de mise en œuvre des parafoudres Basse Tension.

Guide d'utilisation UTE C 15-443 (à paraître) :

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.

Autre Document

- Guide Foudre UTE/SEE

Obligation et recommandation d'emploi des parafoudres

Les sections 4-443 et 7-771.443 de la NFC 15-100 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 Iimp 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 In 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 15-100

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 et de la circulaire du 28 janvier 1993, doivent faire l'objet d'une étude préalable du risque foudre.

Extraits du guide UTE C 15-443 :

Ce guide UTE C 15-443 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 reste en état de veille permanente et assure 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 .»

Les parafoudres

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.

Principe de fonctionnement et rôle des parafoudres

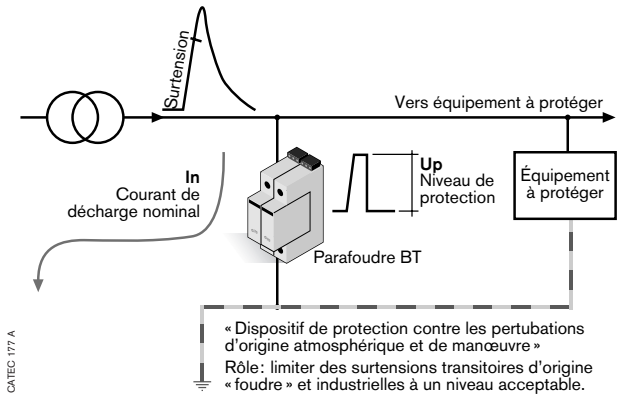


Fig. 1 : fonctionnement d'un parafoudre

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.

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.

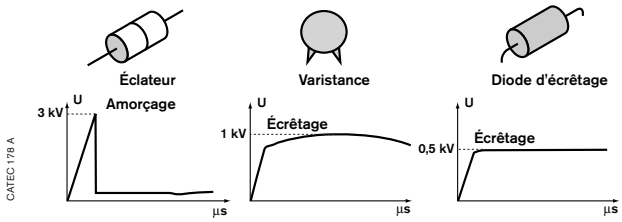


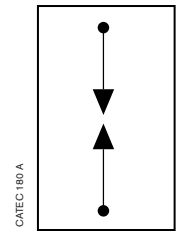
Fig. 2 : fonctionnement des composants « parafoudre »

Principales technologies

Ces familles comportent plusieurs variantes et sont susceptibles d'être associées entre elles afin de procurer des performances optimisées.

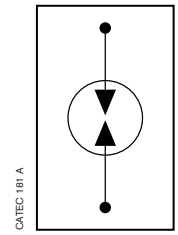
Ci-dessous, la description des principales technologies (ou des associations de technologies) utilisées.

Éclateur à air



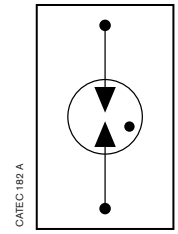
Dispositif constitué, généralement, de deux électrodes placées face à face et entre lesquelles se produit un amorçage (suivi d'un courant de suite) dès qu'une surtension atteint une certaine valeur. Sur des réseaux d'énergie, afin d'interrompre rapidement le courant de suite, le principe du soufflage 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 encapsulé



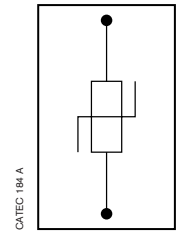
Éclateur à air où l'extinction du courant de suite s'effectue sans expulsion de gaz : ceci se fait, généralement, au détriment de la capacité de coupure du courant de suite.

Éclateur à gaz



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.

Varistance

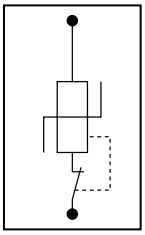


Composant non-linéaire (résistance variable en fonction de la tension) à base d'oxyde de zinc (ZnO) permettant de limiter la tension à ses bornes : ce fonctionnement en écrêtage permet d'éviter le courant de suite, ce qui rend ce composant particulièrement adapté à la protection des réseaux d'énergie (HT et BT).

Technologie (suite)

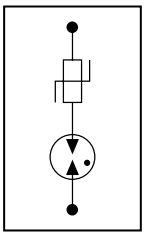
Principales technologies (suite)

Varistance à déconnecteur thermique



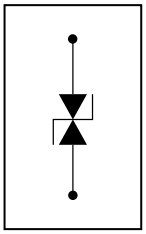
Varistance équipée d'un dispositif auxiliaire destiné à déconnecter le composant du réseau en cas d'échauffement excessif : ce comportement est indispensable pour garantir une fin de vie contrôlée des varistances raccordées sur le réseau électrique.

Éclateur /Varistance



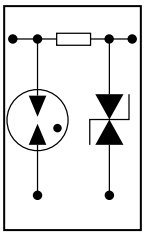
Association en série de composants, conçue pour bénéficier des avantages des deux technologies : pas de courant de fuite et faible Up (éclateur) et pas de courant de suite (varistance).

Diode d'écrêtage



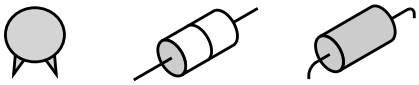
Diode de type Zener (limitation de tension) dotée d'une structure particulière pour optimiser son comportement en écrêtage sur des surtensions transitoires. Ce composant est caractérisé par un temps de réponse particulièrement rapide.

Éclateur /Diode d'écrêtage



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®

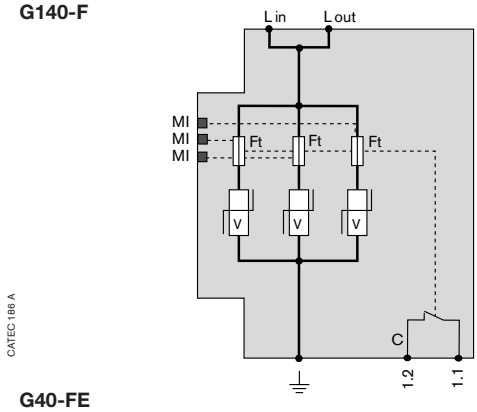


Type	Varistance	Éclateur à gaz	Diode d'écrêtage
G140-F	●		
G40-FE	●	●	
G70	●		
D40	●		
D30	●	●	
RS		●	●
mA		●	●
TEL		●	●

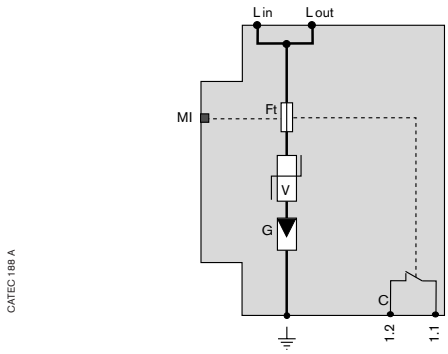
Les parafoudres

Constitution interne

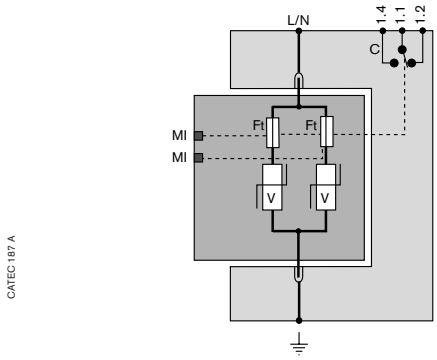
G140-F



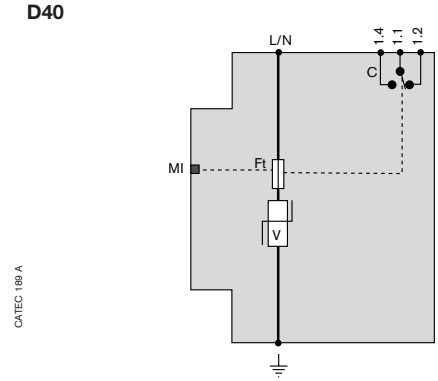
G40-FE



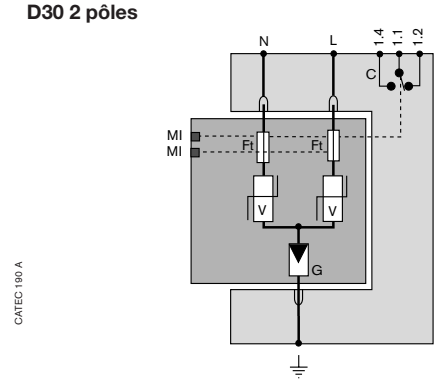
G70



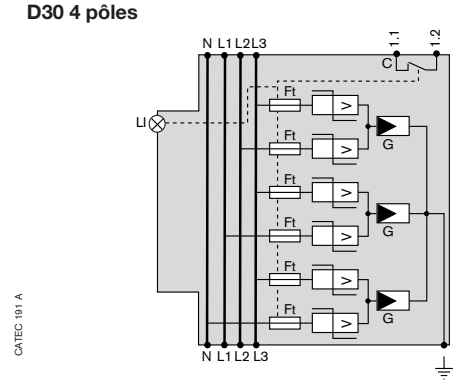
D40



D30 2 pôles



D30 4 pôles



Légendes communes à tous les appareils :

V : varistance
G : éclateur à gaz
Ft : fusible thermique
C : contact de télésignalisation
MI : indicateur de déconnexion
LI : indicateur lumineux

Constitution interne (suite)

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 par 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 (Uc) : tension maximale acceptable par le parafoudre
- courant nominal de décharge (In) : 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 (Imax) : courant impulsionnel de forme 8 /20 µs pouvant être écoulé une fois, sans altération, par le parafoudre de Type 2
- courant de choc (Iimp) : courant impulsionnel de forme 10 /350 µs pouvant être écoulé une fois, sans altération par le parafoudre de Type 1
- niveau de protection (Up) : tension qui caractérise l'efficacité du parafoudre. Cette valeur est supérieure à la tension résiduelle (Ures) apparaissant aux bornes du parafoudre lors du passage du courant nominal de décharge (In)
- courant de court-circuit interne admissible (Icc) : 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 (Uc et Icc), par rapport au risque (In et Imax) et enfin, par rapport à l'efficacité souhaitée et /ou au type d'équipement à protéger (Up).

Vérification de Uc

Suivant la norme NF C15-100 section 534, la tension maximale de fonctionnement Uc du parafoudre connecté en mode commun doit être sélectionnée comme suit :

- en régime TT ou TN : Uc > 1,5 x Un
- en régime IT : Uc > V3 x Un.

Les parafoudres **SURGYS®** étant compatibles avec tous les régimes de neutre, leur tension Uc en mode commun est de 440 V AC.

Vérification de Up, In, Imax et Iimp

Le niveau de protection Up doit être choisi le plus bas possible, tout en respectant la tension Uc imposée.

Les courants de décharge In, Imax et Iimp sont choisis en fonction du risque : voir guide de choix du catalogue parafoudres **SURGYS®.**

Les parafoudres

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 imposent que ces parafoudres soient soumis aux essais de Classe 1, caractérisés par des injections d'ondes de courant de type 10/350 µs (Iimp), 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 8/20µs (Imax et In).

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”.

Parafoudres de tête d'installation BT

Les parafoudres de la gamme **SURGYS®** se déclinent en parafoudres de tête et en parafoudres de distribution.

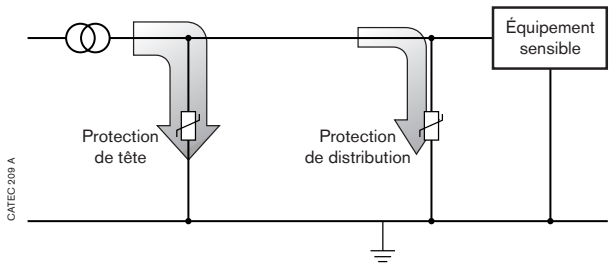


Fig. 1 : principe général de cascade des parafoudres

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.

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 (In, Imax, Iimp) 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. 2)
- au niveau du tableau électrique général du bâtiment, en cas de ligne aérienne exposée à la foudre.

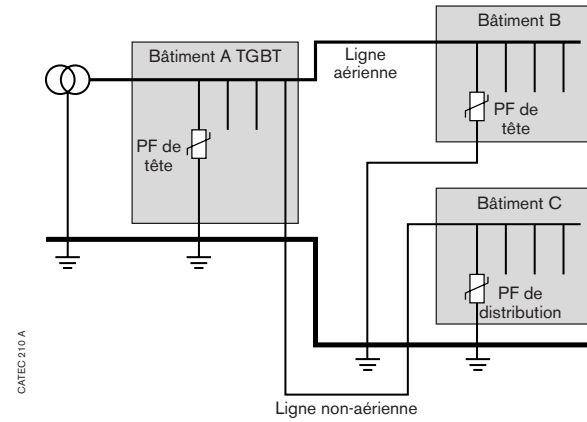


Fig. 2 : choix du parafoudre de tête ou de distribution

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 15-100.

La connexion au réseau de terre est à prévoir par un conducteur de section minimale 10 mm².

Choix et implantation des parafoudres de tête (suite)

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.

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 sollicitée : la tension résiduelle (U) aux bornes du matériel à protéger sera égale à la somme de la tension résiduelle du parafoudre (Up) + la chute de tension (U1 + U2 + U3) dans les conducteurs de raccordement + la chute de tension (U_D) dans le dispositif de déconnexion associé.

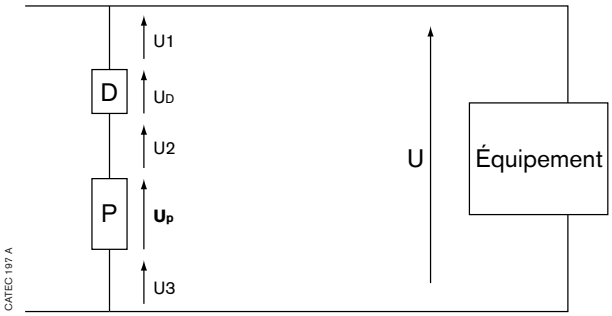


Fig. 1 : tension aux bornes de l'équipement

Sections de raccordement

Les conducteurs de terre des parafoudres doivent avoir une section minimale de 4 mm² en cuivre, et de 10 mm² en présence de paratonnerre (§ 534.1.3.4 de la norme NF C 15-100).

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.

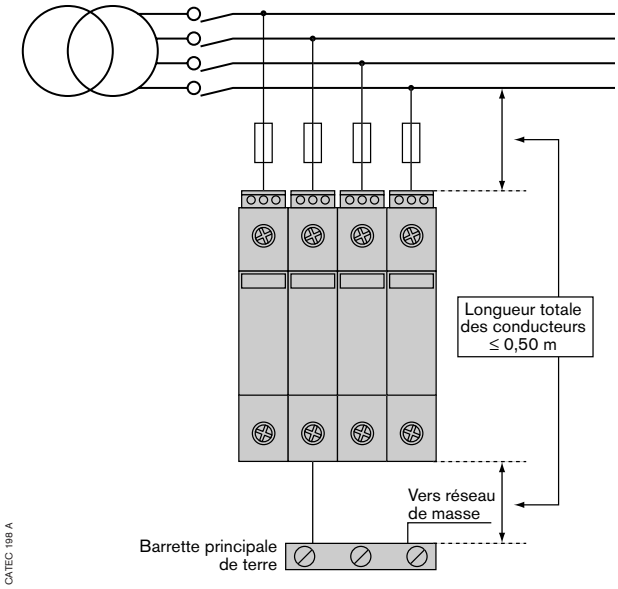


Fig. 2 : distance SURGYS® / TGBT

Mise en œuvre des parafoudres de tête

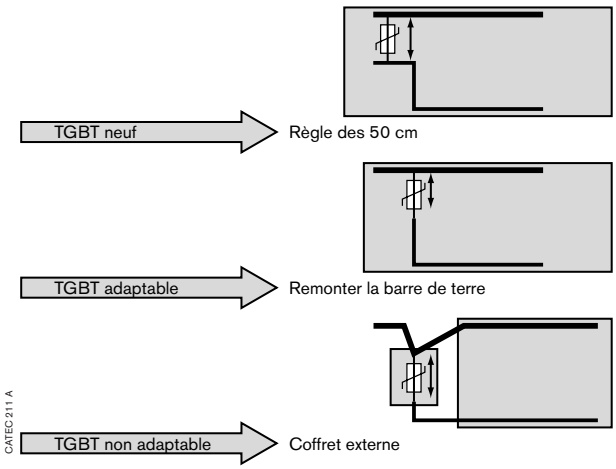


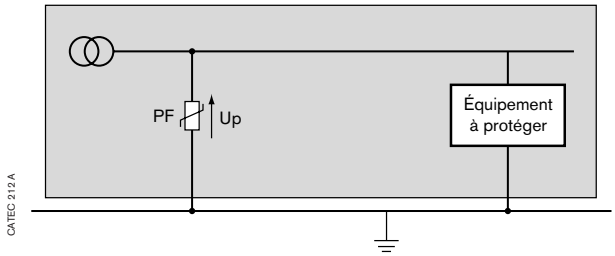
Fig. 3 : mise en œuvre selon les conditions d'installation

Les parafoudres

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 au chocs du matériel à protéger :

U_p du parafoudre < tension assignée de tenue aux chocs de l'équipement à protéger*

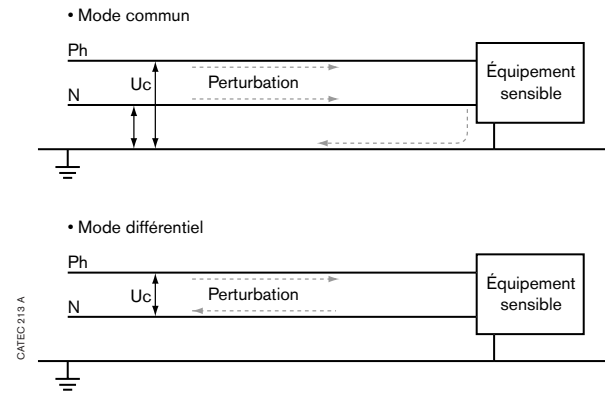
** sous réserve d'une mise en œuvre correcte (voir page précédente)*

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.

Réseaux triphasés	Exemples de matériels avec une tenue aux chocs			
	très élevée	élevée	normale	réduite
	• 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.

Protection d'équipements et parafoudres de distribution (suite)

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** 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 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 **D30**.

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.

• Réseau IT réseau de masses BT séparées

Ce type de réseau se rencontre sur des sites très étendus, comportant plusieurs bâtiments avec des prises de terre des masses BT non interconnectées.

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 Up 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 »).

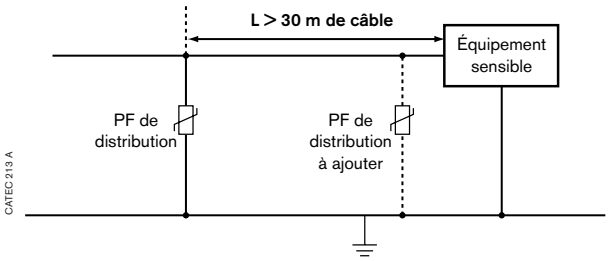


Fig. 1 : cas d'un équipement éloigné

Les parafoudres

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 »

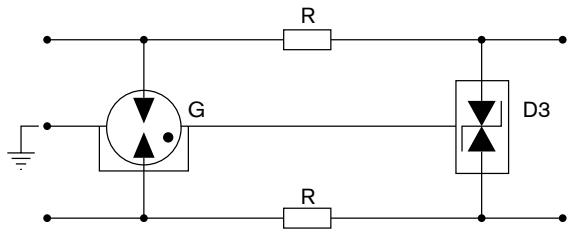
Projet CEI 61643-22 : information sur la technologie des parafoudres pour courants faibles, sur les méthodes de sélection et les recommandations d'installation.

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.



CATEC 202 A

G : éclateur à gaz
R : résistance
D3 : diode d'écrêtage tripolaire

Fig. 1 : schéma type pour parafoudres à courants faibles

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 optimum 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).

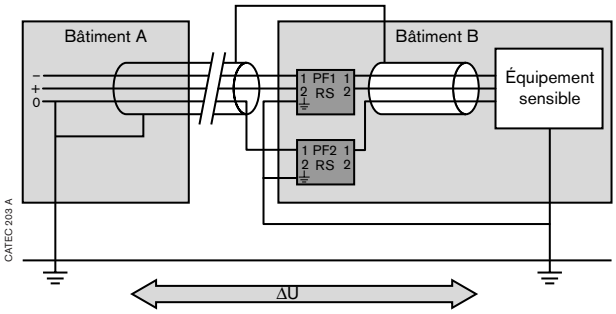


Fig. 1 : liaison RS à 3 fils (avec fil 0 V)

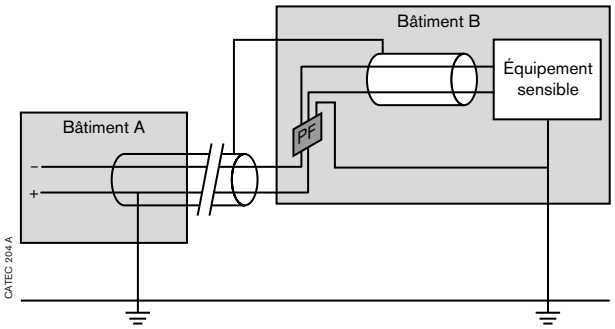


Fig. 2 : liaison RS à 2 fils

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 mm² 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

Calcul de la puissance des condensateurs

Coefficient K

Le tableau ci-dessous donne en fonction du cos φ 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 φ	**cos φ**	**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.

Quelques facteurs de puissance

Valeurs indicatives de facteurs de puissance pour les machines les plus courantes consommant de l'énergie réactive.

Récepteur		Cos phi	Tg phi
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 1,3

Récepteur		Cos phi	Tg phi
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

Choix d'une compensation pour une charge fixe

Compenser un moteur asynchrone

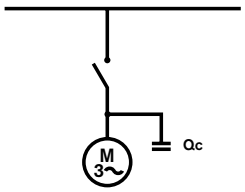
Le cos phi des moteurs est très mauvais à vide ou à faible charge. Pour éviter ce type de fonctionnement il est possible de raccorder directement la batterie de condensateurs aux bornes du moteur, en prenant les précautions suivantes :

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 :

- Si $Qc \leq 0{,}9 \times Io \times Un \times \sqrt{3}$
  Io courant à vide du moteur (kA)
  Qc puissance de la batterie (kvar)
  Un : tension nominale (400 V)
  Dans ce cas, le raccordement de l'équipement peut être réalisé de la façon suivante :

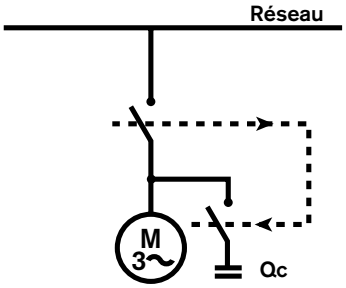


cosy_007_a_1_x_cat

Tableau A :
Valeur indicative de la puissance des batteries de condensateurs à ne pas dépasser pour éviter l'auto-excitation du moteur.

MOTEUR TRIPHASÉ 400V					
PUISSANCE NOMINALE		PUISSANCE MAXI (kvar)			
		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

- Si $Qc \geq 0{,}9 \times Io \times Un \times \sqrt{3}$
Dans ce cas le raccordement de l'équipement peut être réalisé de la façon suivante :



cosy_008_a_1_f_cat

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

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	A 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 %.

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 :

$$P = P_N \times \left[\frac{I_e}{Ith} \right]^2$$

P : puissance dissipée en W.
PN : puissance nominale dissipée en W (voir tableau ci-dessous).
Ie : courant d'emploi de l'appareil.
Ith : 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 890 pour le calcul, ou nous consulter.

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 :

$$Pc\ (W) = (\Delta T \times K \times S) - P$$

Les puissances des résistances de chauffage proposées dans la gamme CADRYS sont :
15 W - 30 W - 45 W - 75 W et 150 W.

Détermination de l'échangeur air/air : voir page D.67.

Détermination du climatiseur : voir page D.68.

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-dessous) : 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 (m²) = 2 x 0,8 (avant) + 0,6 x 0,8 (haut) = 2,08 m²

- Elévation 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. (Etablissements 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 20-445).

TYPE DE COFFRET	COMBIESTER COUVERCLE		MINIPOL	MAXIPOL
	TRANSPARENT	OPAQUE		
Tenue au fil incandescent	960 °C	850 °C	960 °C	960°C

Protection contre les effets thermiques

(Suivant NF C 15-100)

Les températures des matériels électriques sont limitées aux valeurs du tableau ci-dessous :

PARTIES ACCESSIBLES	MATIERES	T (°) max
Organes de commande manuelle	Métalliques Non métalliques	55 65
Prévues pour être touchées mais non destinées à être tenues à la main	Métalliques Non métalliques	70 80
Non destinées à être touchées en service normal	Métalliques Non métalliques	80 90

Puissance dissipée en W/pôle par l'appareillage

Calibres (A)	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	1800	2000	2500	3150	4000
SIRCO	-	0,6	-	2	2,6	3	1,8	3	4	5,8	7,6	10,8	16	30,9	39,2	45	85	122	153	178	255	444	916
SIRCO VM	0,9	1,3	-	1,2	2,1	3,1	5,7	3,3	5,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SIDER	-	-	1	-	2,9	-	1,5	-	3,4	-	-	12,9	17	20,7	32	-	42,5	102	-	-	-	-	-
SIDERMAT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,2	-	15,6	-	45	66,4	-	80	113	-	-	-	-	-
FUSERBLOC	4,7 (CD)	-	7,3	9	-	14,5	20	23	25,4	41	-	60	-	100	143,4	-	215	-	-	-	-	-	-
FUSOMAT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,3	-	50	-	83,5	-	-	222	-	-	-	-	-	-

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

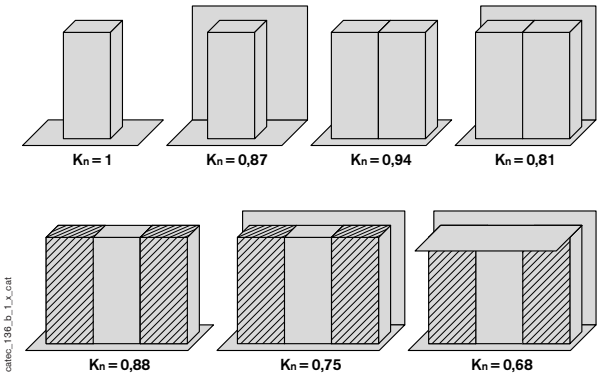
Voir détail des puissances dissipées au courant nominal dans le "Cahier Technique" (page D.92)

$$Pd = Pnom \times \left[\frac{I_e}{Ith} \right]^2$$

où Pnom (W) : Puissance nominale
Pd (W) : Puissance dissipée au courant d'emploi
Ie (A) : Courant d'emploi
Ith (A) : Courant nominal

Surface d'échange corrigée

a) Définir le facteur de correction Kn (fonction du mode de pose)



b) Surface corrigée

$$S = Kn\,(1{,}8 \times H \times (L + P) + 1{,}4 \times H \times P)$$

Puissance nécessaire pour maintenir la température dans l'enveloppe

$$Pn\ (W) = Pd - K \times S \times (Ti\ max - Ta\ max)$$

où K = 5,5 W/m²/ °C pour une enveloppe en tôle peinte
K = 4 W/m²/ °C pour une enveloppe en polyester
K = 3,7 W/m²/ °C pour une enveloppe en acier inoxydable
K = 12 W/m²/ °C pour une enveloppe en aluminium
Pn (W) : Puissance nécessaire

Choix du mode de régulation

a) Ventilation (voir page C.138)

Choisir le ventilateur dont le débit est directement supérieur à la valeur calculée.

Nota : cette solution n'est envisageable que si Ti max - Ta max > 5 °C

$$Débit\ (m^3/h) = \frac{3{,}1 \times Pn}{Ti\ max - Ta\ max}$$

b) Echangeur air/air (voir page C.148)

Choisir l'échangeur dont la puissance spécifique est directement supérieure à la valeur calculée.

Nota : cette solution n'est envisageable que si Ti max - Ta max > 5 °C

$$Puiss.\ spécifique\ (W/\ °K) = \frac{Pn}{Ti\ max - Ta\ max}$$

c) Climatiseur (voir page C.144)

Choisir le climatiseur dont la puissance frigorifique est directement supérieure à la puissance nécessaire (Pn) Voir tableau ci-contre.

d) Résistance de chauffage (voir page C.152)

Choisir la résistance de chauffage dont la puissance est directement supérieure à la valeur calculée.

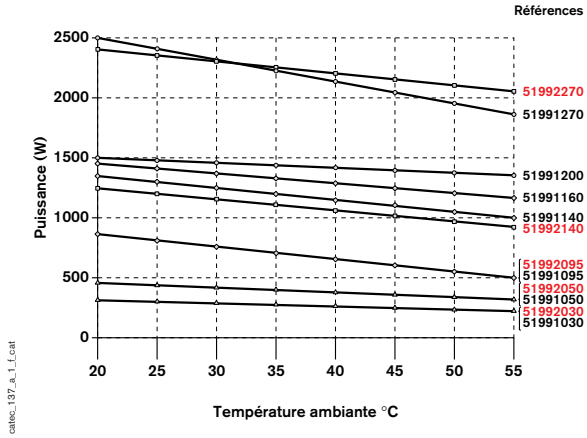
$$Pc\ (W) = [(Ti\ max - Ta\ max) \times K \times S] - Pn$$

Enveloppes

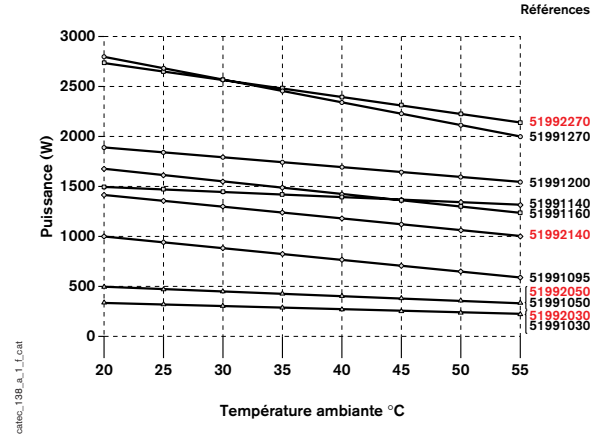
Choix de la climatisation

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 D.93).

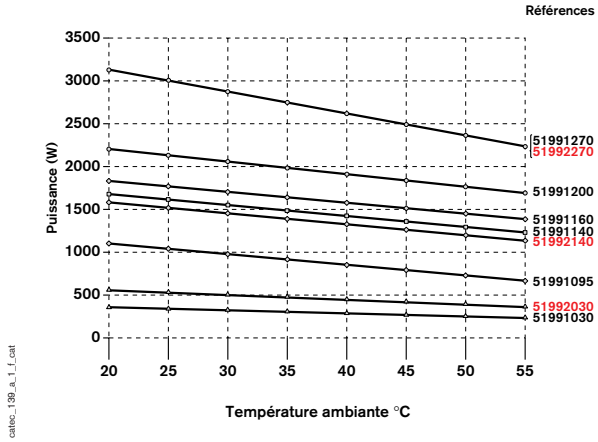
Température souhaitée dans l'armoire = 25 °c



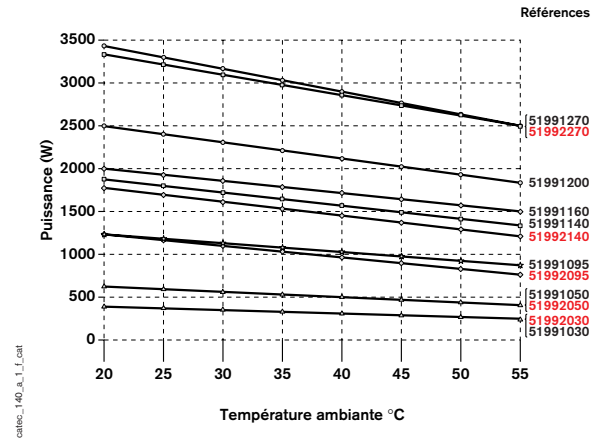
Température souhaitée dans l'armoire = 30 °c



Température souhaitée dans l'armoire = 35 °c

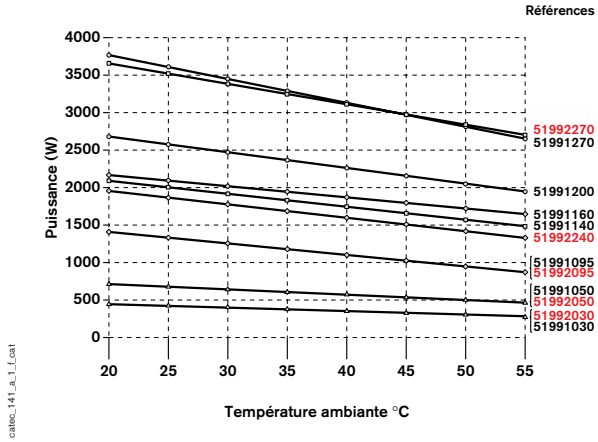


Température souhaitée dans l'armoire = 40 °c



■ Montage en toiture
■ Montage en façade

Température souhaitée dans l'armoire = 45 °c



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	C31-510 et A51-434	C31-520, HN 63 J 60, CNET 3072.1, qualité 6101T5
Type	Demi-dur	Alliage Al Mg Si étamé 15 µm
Masse volumique	8890 kg/m³	2700 kg/m³
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/mm²	150 N/mm²
Résistivité à 20 °C	≤ 18 mΩ mm²/m	≤ 30 mΩ mm²/m
Module d'élasticité	120 000 N/mm²	67 000 N/mm²

Détermination de I_{cc} crête en fonction de I_{cc} efficace

Tableau B

Suivant CEI 60439-1

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 mm².
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
K_E	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).

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/Etain → OUI
- Etain/Cuivre → OUI

Tableau D

	ARGENT	CUIVRE	ALU	ETAIN	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
ETAIN	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

Alimentation statique sans interruption (onduleurs)

Introduction

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.

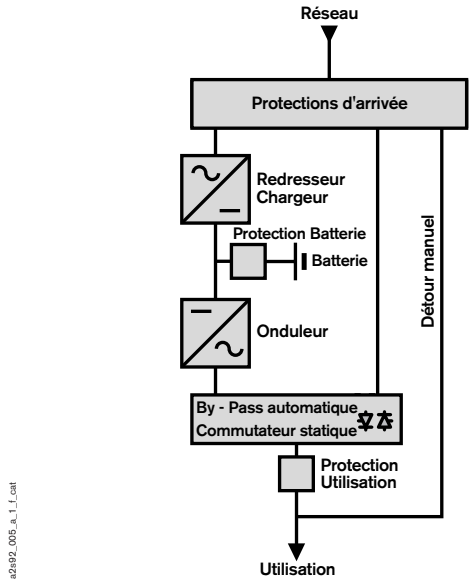


Fig. 1 : synoptique d'une ASI

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.

Principe de fonctionnement (suite)

By-pass

Le by-pass 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 by-pass.

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,

Principe de fonctionnement (suite)

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 qu 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 fracteur 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 telle 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.

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 SICON, 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 SICON 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 ElectroMagnétique).

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.

Une approche modulaire, selon laquelle chaque ASI a son propre by-pass. Elle offre une grande flexibilité en permettant le rajout ultérieur de modules pour augmenter la puissance sans redimensionner le by-pass centralisé.

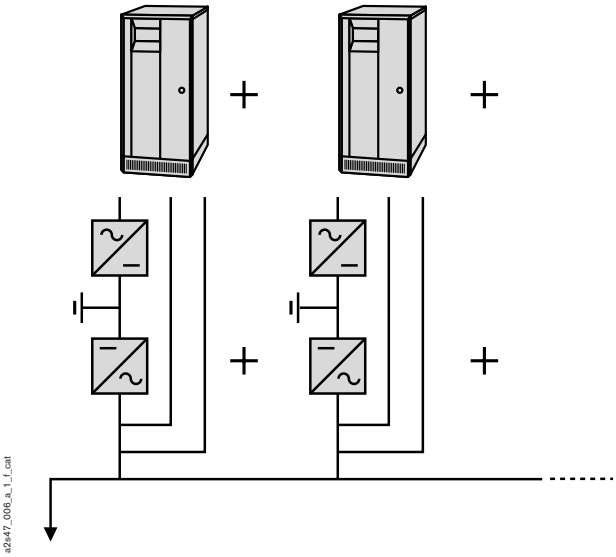


Fig. 1 : ASI en parallèle modulaire

Le couplage sur une armoire by-pass centralisée utilisant 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.

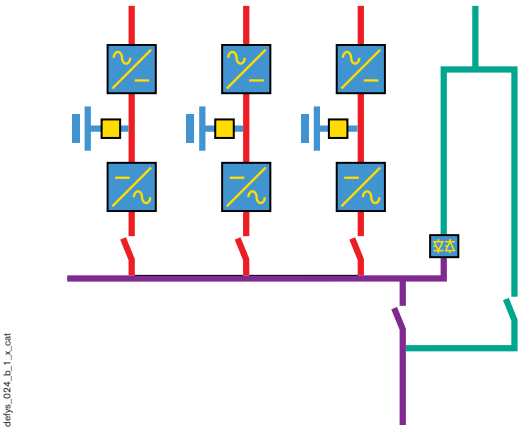


Fig. 1 : ASI en parallèle avec by-pass centralisé

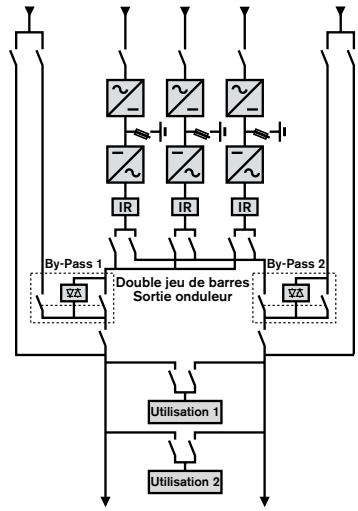
Alimentation statique sans interruption (onduleurs)

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 by-pass. 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.

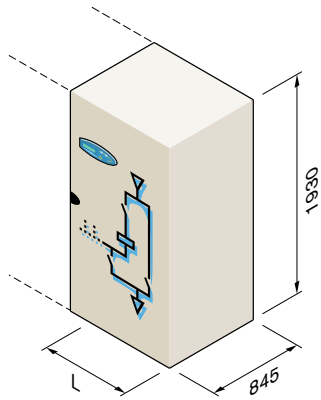


a2s92_007_a_1_f_cat

Fig. 2 : redondance par double jeu de barres

Multi by-pass

Pour une plus grande souplesse d'exploitation, la solution exclusive SOCOMEC SICON 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 by-pass.



delys_025_b_1_f_cat

Fig. 1 : ASI en parallèle modulaire

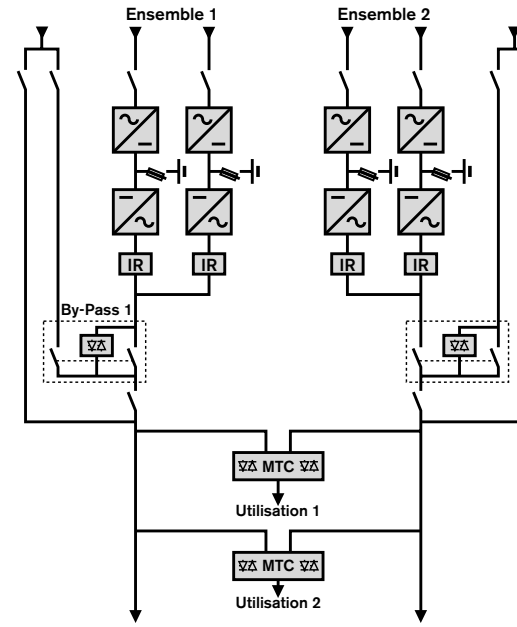
Module de Transfert de Charge (MTC)

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 by-pass propre et de deux systèmes de distribution séparés.

SOCOMEC SICON 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'utilsations 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,…).



a2s92_008_a_1_f_cat

Fig. 3 : 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 SICON 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.

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. A 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

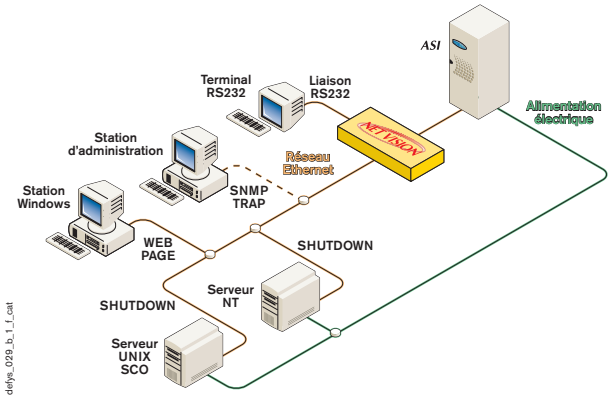
Les ASI, associés au logiciel UPS VISION, dialoguent avec les équipements informatiques. Lors d'une absence du réseau électrique, les utilisateurs seront avertis du fonctionnement sur batterie. Avant la fin de l'autonomie, UPS VISION arrêtera proprement les systèmes d'exploitation. L'agent SNMP d'UPS VISION permet de surveiller l'ASI comme tout périphérique d'un réseau informatique.

Connexion sur les réseaux

La connexion directe sur ETHERNET

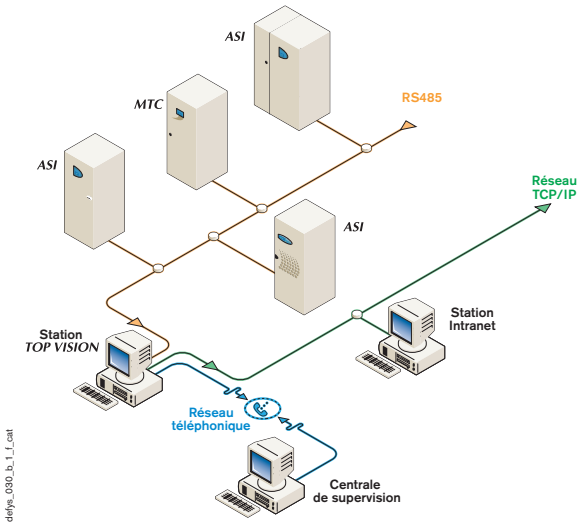
NET VISION permet de connecter directement l'ASI sur un réseau ETHERNET en tant que périphérique intelligent surveillé par une station d'administration SNMP. Il donne accès aux informations sous forme de pages HTML avec un synoptique animé par un applet JAVA.

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.



Surveillance sur une station NT

L'ensemble des données sous Windows NT

Le logiciel TOP VISION permet de superviser une ou plusieurs ASI mais aussi les autres équipements SOCOMEC SICON UPS installés sur le site. Un synoptique général donne accès aux informations concernant les états, les alarmes, les mesures, les courbes de puissances consommées, l'historique des événements. Il autorise aussi les commandes (sécurisées par code d'accès). Il intègre un serveur WEB qui donne l'accès à distance à toute station connectée au réseau INTRANET.

TOP VISION centralise l'ensemble des informations de tous les équipements pour les transmettre via le réseau téléphonique vers la centrale de supervision SOCOMEC SICON UPS).