

Protection des personnes : régimes de neutre

Nécessité de la liaison à la terre

L'énergie électrique demeure dangereuse et la majorité des accidents est due aux défauts d'isolement des récepteurs.

La **masse** des récepteurs doit donc être reliée à la terre pour assurer une **tension de contact** la plus faible possible. Quelle que soit la cause de ces défauts, ils présentent des risques pour :

- la vie des personnes,
- la conservation des biens,
- la disponibilité de l'énergie électrique.

Pour la liaison à la terre, plusieurs solutions existent qui se trouvent dans la famille des **Schémas de Liaison à la Terre (SLT)** appelés "régimes de neutre"

Tous assurent la sécurité des personnes contre les contacts indirects avec chacun des avantages et des inconvénients en fonction des besoins de l'utilisateur

Les trois régimes de neutre.

Les 3 régimes	T T	T N	I T
---------------	-----	-----	-----

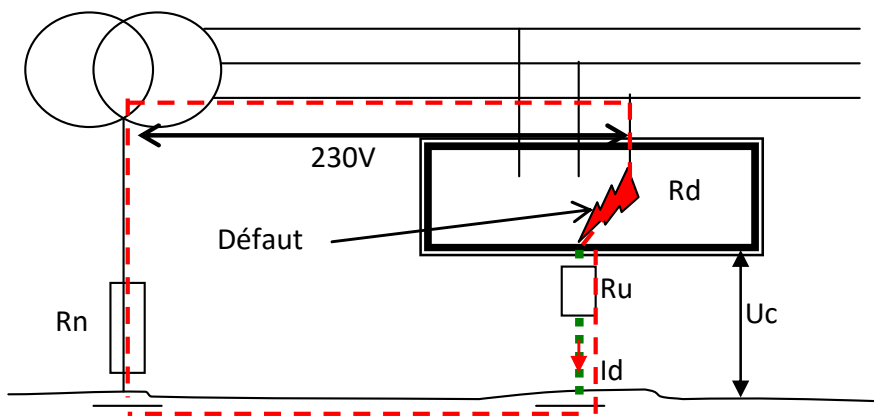
Chaque régime de neutre est identifié grâce à deux lettres :

La **première lettre** indique la situation du neutre du transformateur par rapport à la terre :

- T : pour neutre raccordé à la terre.
- I : pour neutre isolé de la terre.

La **deuxième lettre** indique la situation des masses du récepteur :

- T : pour masse reliée à la terre.
- N : pour masse reliée au neutre.

Régime TTBoucle de Défaut

Résistance de défaut :

$$R_d = 0,1 \, \Omega$$

Résistance de prise de terre :

$$R_n = 10 \, \Omega$$

Résistance de prise de terre des masses :

$$R_u = 10 \, \Omega$$

Danger potentiel et principe de protection :

Lors d'un défaut d'isolement, un courant de défaut circule par la terre :

$$I_d = \frac{V}{R_d + R_n + R_u} = \frac{230}{0,1 + 10 + 10} = 11,4 \, A$$

Et une tension de contact apparaît entre les **masses métalliques et le sol** :

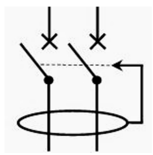
$$U_c = R_u \times I_d = 10 \times 11,4 = 114 \, V$$

Cette tension est potentiellement dangereuse car elle est supérieure à la tension limite

$$U_{\text{limite}} = 50 \, V$$

La coupure de l'installation est obligatoire dès l'apparition du défaut

La protection est assurée par un **dispositif différentiel**



La **sensibilité** de ce DDR dépend de la tension limite de sécurité et de la **résistance de la prise de terre de l'installation (R_a)** : $I\Delta_N = U_{limite}/R_u$

Une bonne prise de terre doit avoir la résistance la plus **faible** possible. Cette résistance dépend de la **nature du sol**

Toute installation **TT** doit être protégée par un **dispositif différentiel résiduel** placé à **l'origine** de l'installation.

Temps de coupure maximal des DDR (régime TT)	
Tension alternative de contact présumé	Temps de coupure maximal en (s)
$50V < U_0 \leq 120V$	0,3
$120V < U_0 \leq 230V$	0,2
$230V < U_0 \leq 400V$	0,07
$U_0 > 400V$	0,04

Régime TN

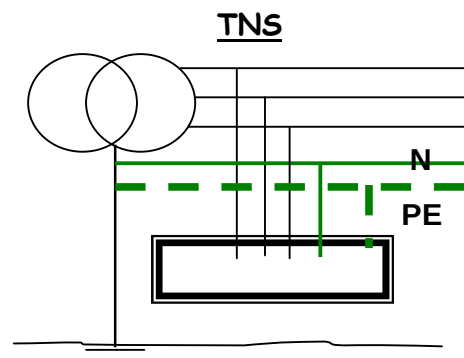
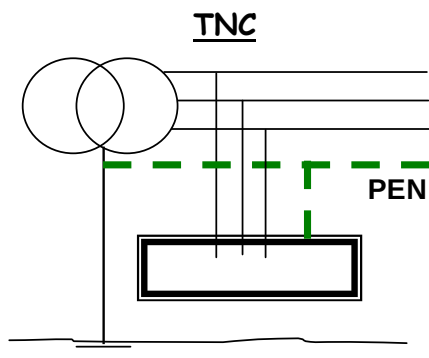
Les deux lettres qui définissent ce schéma TN signifient :

T : Le neutre du transformateur relié à la terre

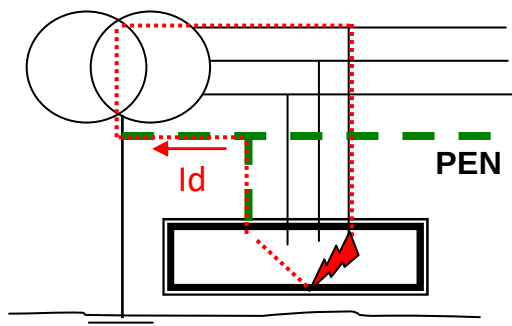
N : Les masses métalliques reliées au neutre

Il existe deux types de schéma TN

- Le **TNC** où le neutre et le conducteur de protection (PE) sont **confondus**. Ce schéma est interdit pour les **faibles sections**.
- Le **TNS** où le neutre et le conducteur de protection (PE) sont **séparés**.



Boucle de Défaut



Les prises de terre du neutre et des masses sont interconnectées.
En cas de défaut, un courant I_d circule dans le conducteur PE ou PEN.

Danger potentiel et principe de protection :

Un défaut d'isolement se traduit par un **court-circuit**.

Le courant de défaut n'est limité que par la **résistance des conducteurs (phase et protection)** :

$$I_{\text{défaut}} = 0,8V / (R_{ph} + R_{pe})$$

Contre les surintensités, les dispositifs doivent répondre dans un temps très court (temps de coupure normalisé).

Tension nominale	Temps de coupure (s)	
	UL= 50 V	UL= 25V
230 V	0,4	0,2
400 V	0,2	0,06

Il faut vérifier que les dispositifs de protection réagissent en un temps **inférieur** à celui imposé par la norme, soit

- pour un disjoncteur : $I_{mag} < 0,8 \cdot V \cdot S_{ph} / \rho \cdot l \cdot (1+m)$ avec $m = S_{ph}/S_{pe}$
(I_{mag} : courant de fonctionnement du déclencheur magnétique).
- pour un fusible : $I_{fusion} < 0,8 \cdot V \cdot S_{ph} / \rho \cdot l \cdot (1+m)$
(I_{fusion} : courant de fusion du fusible).

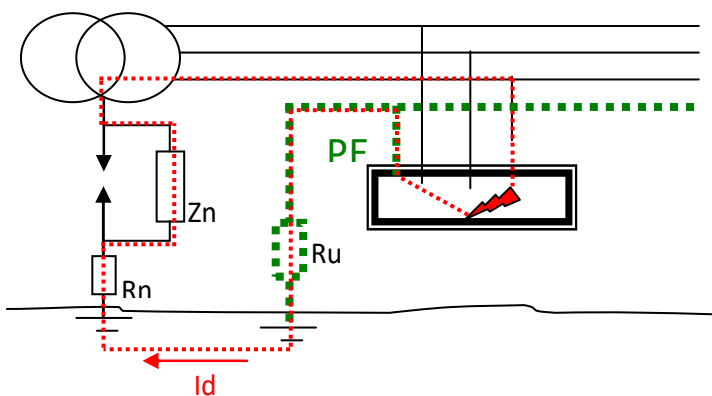
Régime IT

Les deux lettres qui définissent ce schéma **IT** signifient :

I : Le neutre du transformateur est isolé.

T : Les masses métalliques sont reliées à la terre.

Boucle de Défaut : Premier défaut



Impédance d'isolement :

$Z_n = 2200 \, \Omega$

$R_n = 10 \, \Omega$

Danger potentiel et principe de protection :

Lors d'un défaut d'isolement, un courant de défaut circule par la terre

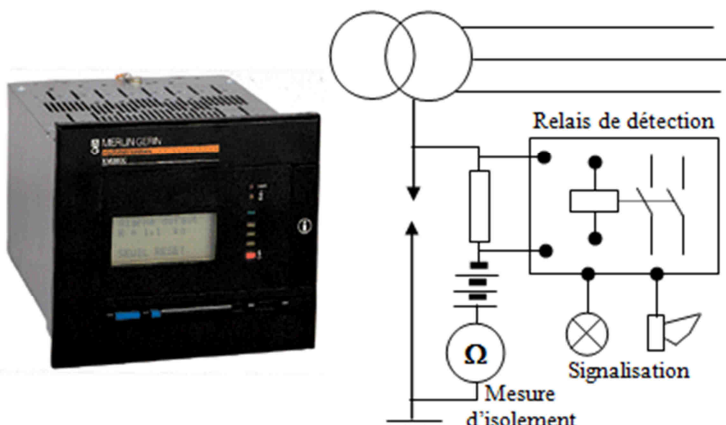
$$I_d = V/Z_{total} = 220/(2200+10+10) = 0,1 \, A$$

Et une tension de contact apparaît entre les masses métalliques et le sol :

$$U_d = R_u \times I_d = 10 \times 0,1 = 1 \, V \Rightarrow \text{Tension non dangereuse pour les personnes}$$

La coupure n'est pas automatique.

Le défaut doit être détecté par le **contrôleur permanent d'isolement (CPI)**.



Cet appareil contrôle en permanence l'isolement du réseau.

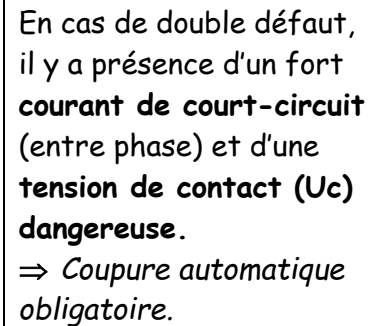
Un générateur injecte du courant continu entre le réseau et la terre.

a) Absence de défaut : le courant continu ne circule pas entre le réseau et la terre.

b) Présence de défaut : un faible courant est débité sur le réseau et le relais actionne les alarmes.

Cet appareil signale l'apparition du 1^{er} défaut

Boucle de Défaut : deuxième défaut



Danger potentiel et principe de protection

Si un deuxième défaut apparaît avant l'élimination du premier défaut, un courant de **court-circuit** s'établit entre phase ou entre phase et neutre et **la coupure est assurée par les protections contre les surintensités**.

Deux cas se présentent :

masses séparées : protection par dispositif différentiel : Régime **TT**.

masses communes : protection contre les surintensités : Régime **TN**

Protection électrique des matériels :

Les différents défauts

Tout élément d'une installation électrique est destiné à commander, transporter ou consommer une énergie électrique. Sous une tension donnée, c'est le courant qui caractérise cette énergie.

Lors d'un fonctionnement normal, le courant qui circule dans le circuit sera inférieur au courant nominal I_N que peuvent supporter les composants.

Un défaut suppose que le fonctionnement est anormal. On peut maintenant dire que, dans certains cas, un défaut se traduit par un courant I_D supérieur au courant nominal I_N : $I_D > I_N$.

Les surcharges :

La surcharge se caractérise par un courant légèrement supérieur à l'intensité nominale: $I_N < I_D < 5 \times I_N$

Elle peut être due à:

- trop d'appareils branchés sur une même prise;
- le remplacement d'un appareil par un appareil plus puissant;
- une erreur dans le choix des composants;
- un blocage ou une charge mécanique trop importante pour un moteur...

Elle a pour conséquence une augmentation de la température des composants de l'installation. Cela entraîne un vieillissement plus rapide des isolants, la détérioration du matériel (fusion des matières) jusqu'à l'incendie.

Pour se protéger, il faudra couper le courant d'autant plus vite que la surcharge est importante (entre 1s et quelques heures).

Les court-circuits :

La surintensité se caractérise par un courant très supérieur à l'intensité nominale: $I_D > 5 \times I_N$

Elle a lieu lorsque 2 conducteurs différents entrent en contact (court-circuit) à la suite:

- d'une erreur de câblage;
- de la déconnexion d'un conducteur;
- de la détérioration des isolants.
- d'une erreur de manipulation pendant une mesure;
- d'une mauvaise manœuvre;
- d'une surcharge.

Elle entraîne une élévation très importante de la température des composants, la présence d'arcs électriques (étincelles) qui provoquent souvent un incendie.

Pour se protéger contre les surintensités, il faudra couper le courant instantanément (quelques centièmes de seconde).

Les surcharges et les surintensités sont des risques pour les biens matériels.

Dispositifs de protection

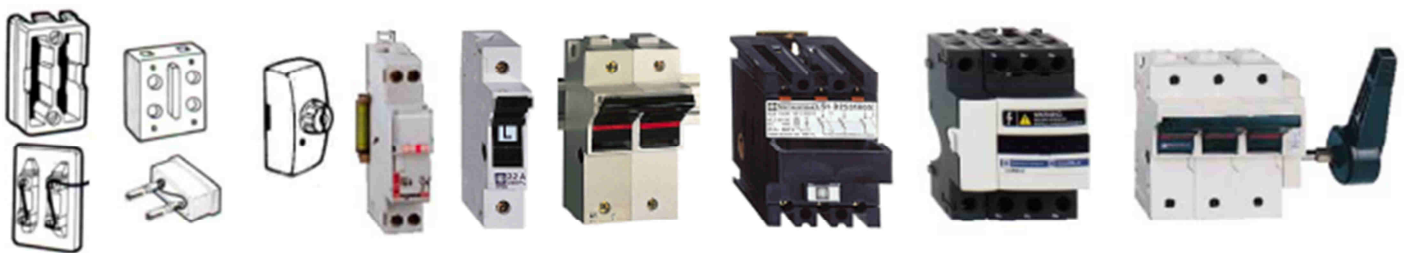
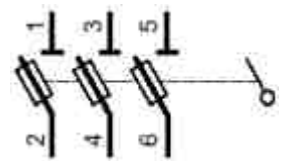
Fusibles

Coupe-circuit ou sectionneur

Le fusible est généralement associé à un coupe circuit ou sectionneur qui permet de l'insérer dans le circuit électrique. Le sectionneur réalise l'isolement entre les circuits en amont et en aval de celui-ci lorsqu'il est en position ouverte.

C'est donc un organe de sécurité qui permettra de mettre hors-tension tout le circuit en aval.

Symbole



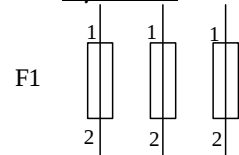
Utilisation domestique

Utilisation industrielle

Fusible

Rôle : Une cartouche fusible sert à protéger l'installation contre les **très fortes surcharges** et surtout contre les **courts-circuits**. Elle permet également la transmission de l'énergie électrique.

Symbole

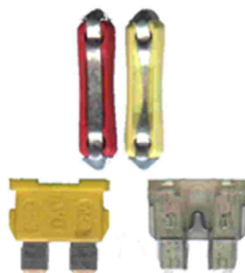
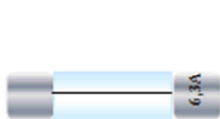


Fusible ultra-rapide

Fusible pour automobiles

Cartouche fusible cylindrique

Cartouche fusible à couteau



Fusibles spéciaux

Fusibles pour utilisation domestique et industrielle

Fonctionnement :

L'élément fusible est constitué d'un fil métallique dans une enveloppe fermée.

Le fusible fond si le courant qui le traverse dépasse la valeur assignée.

Il existe trois types principaux de fusibles :

- **ultra rapide (prosistor)** : protection des semi-conducteurs (**protection contre les courts-circuits**),
- **standard (type gG)** : usage général, protection câbles et tout type de récepteurs (**protection contre les surcharges et les courts-circuits**),
- **lent (type aM accompagnement Moteur)** : démarrage des moteurs, accepte un fort courant de démarrage durant quelques secondes (**protection contre les courts-circuits**).

Caractéristiques des fusibles.

- **Tension nominale** : 250, 400, 500 ou 600V.
- **Courant nominal** : I_n . C'est le calibre du fusible : **c'est l'intensité qui peut traverser indéfiniment un fusible sans provoquer ni échauffement anormal ni fusion.**
- **Courant de non-fusion** : I_{nf} . C'est la valeur du courant qui provoque la fusion du fusible avant la fin du temps conventionnel.
- **Courbe de fusion** : I_f . C'est la valeur du courant qui provoque la fusion du fusible avant la fin du temps conventionnel.
- **Courbe de fonctionnement d'un fusible** : Elle permet de déterminer, pour un temps conventionnel, la valeur du courant de fusion et celle du courant de non-fusion.
- **Pouvoir de coupure** : C'est le courant maximal qu'un fusible peut couper en évitant la formation d'un arc électrique qui pourrait retarder dangereusement la coupure du courant ; Les fusibles possèdent toujours des pouvoirs de coupure élevés (PdC en kA).

Exemple : Fusible Gg, calibre 16A, $U_n = 500V$, PdC = 20kA.

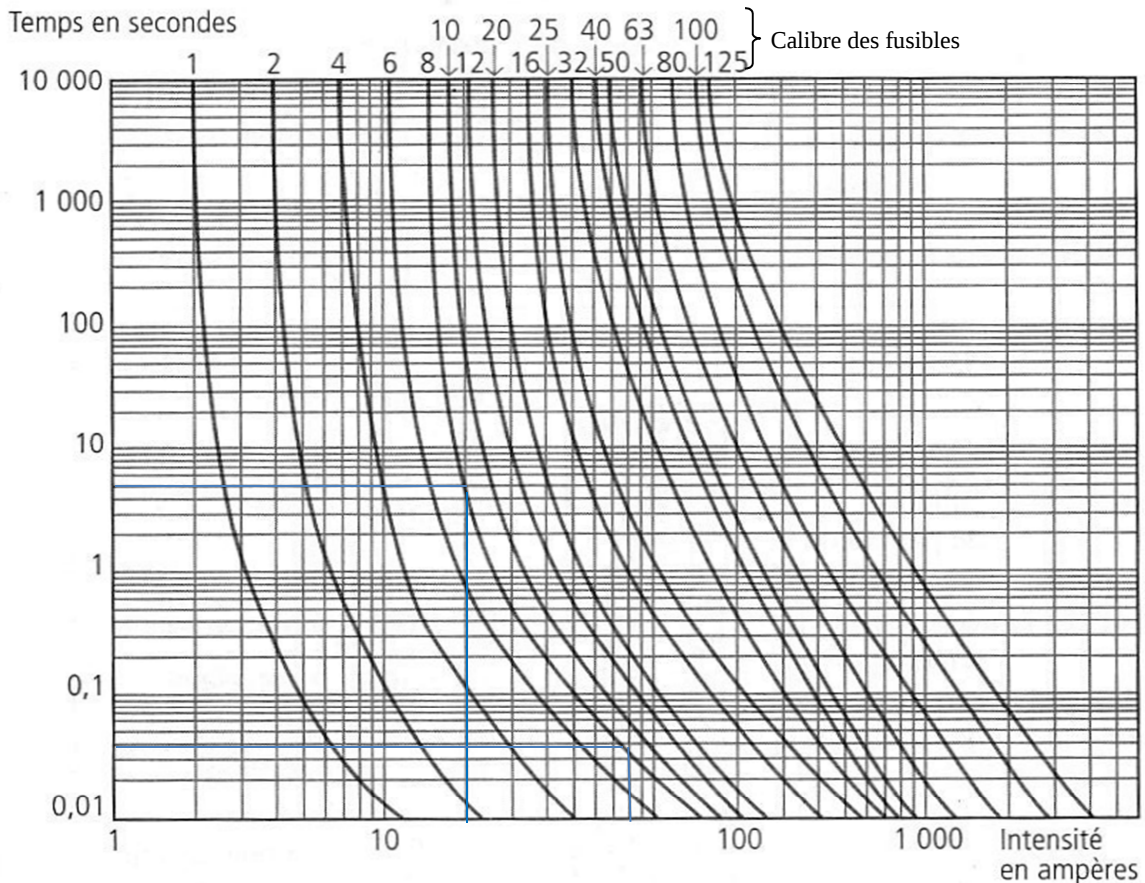
Choix d'un fusible

On choisit le cartouche fusible en fonction des caractéristiques suivantes :

- La classe du fusible : **gG** ou **aM**.
- Le calibre **I_n** ou intensité nominale
- La tension nominale d'emploi (**U_e**).
- La forme et la taille.
- Le Pouvoir de coupure (**$PdC > I_{cc}$**) en kA.
- Eventuellement le système déclencheur.

Courbes de fusion d'une cartouche cylindrique type gG

Elles permettent de déterminer la durée de fonctionnement du fusible en fonction du courant qui le traverse avant sa fusion.



Exercice sur une cartouche gG 8A :

Donner le temps de fonctionnement pour un courant de : 8, 20, 70A (utiliser les courbes ci-dessus).

8A $\rightarrow \infty$ s ; 20A $\rightarrow 5$ s ; 70A $\rightarrow 0,04$ s

Disjoncteurs

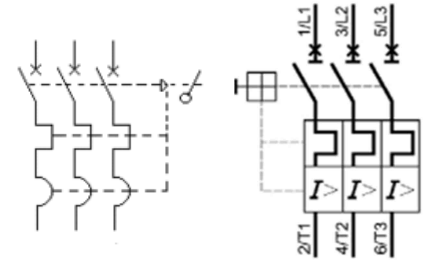
Fonction :

Organe de commande et de protection, les disjoncteurs sont pratiquement tous magnétothermiques, c'est-à-dire composé d'un déclencheur thermique (protection contre les **surcharges**) et d'un déclencheur magnétique (protection contre les **courts-circuits**).

Il possède un « pouvoir de coupure » et agit directement sur le circuit de puissance.

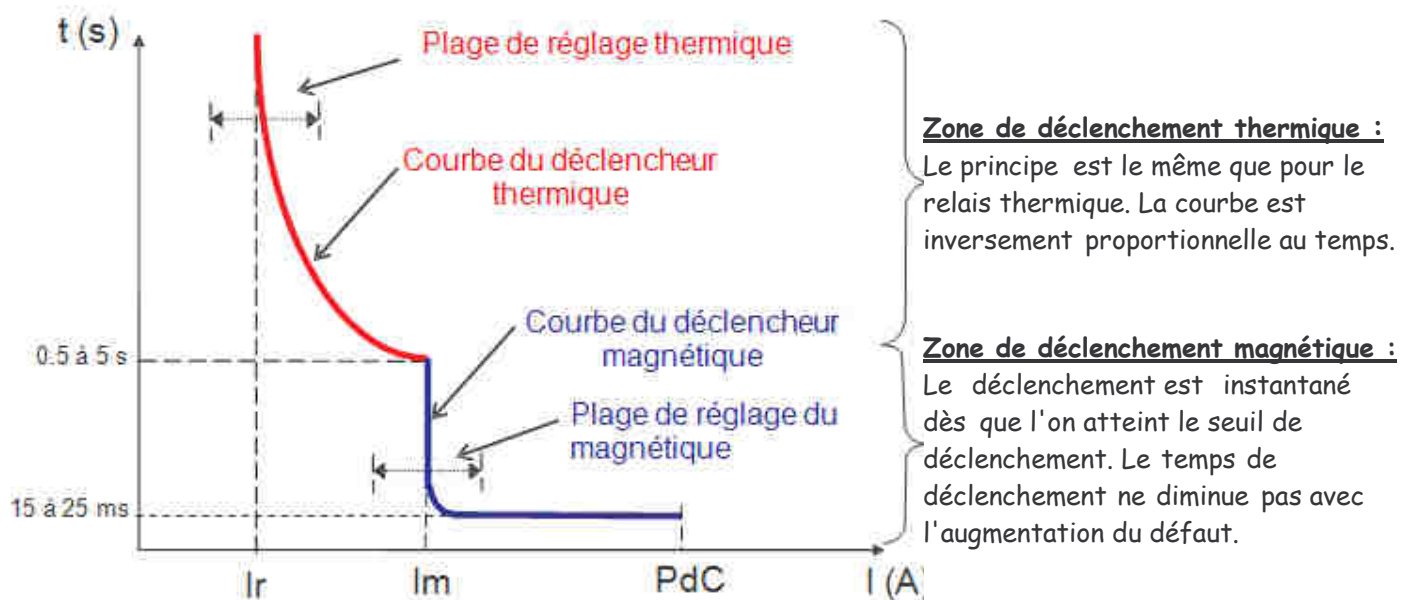
S'il est différentiel, il permet d'ouvrir le circuit en cas de détection d'un courant de défaut.

Symbole :



Courbe de déclenchement :

La courbe de déclenchement résulte de l'association de la courbe de déclenchement du relais thermique et de la courbe de déclenchement du relais magnétique.



Courant de réglage : I_r ou I_{rth} c'est le courant maximal que peut supporter le disjoncteur sans déclenchement du dispositif thermique (de 0,7 à 1 I_n).

Courant magnétique : I_m C'est le courant de fonctionnement du déclencheur magnétique en cas de court-circuit (de 2,5 à 15 I_n).

Les normes définissent 5 types de courbes de déclenchement :

	courbe B	courbe C	courbe D	courbe Z	courbe MA
Déclenchement	3 à 5 In	5 à 10 In	10 à 14 In	2.4 à 3.6 In	12.5 In
Utilisation	protection des générateurs, des câbles de grande longueur et des personnes dans les régimes IT et TN	applications courantes	protection des circuits à fort appel de courant	protection des circuits électroniques	protection des départs moteurs

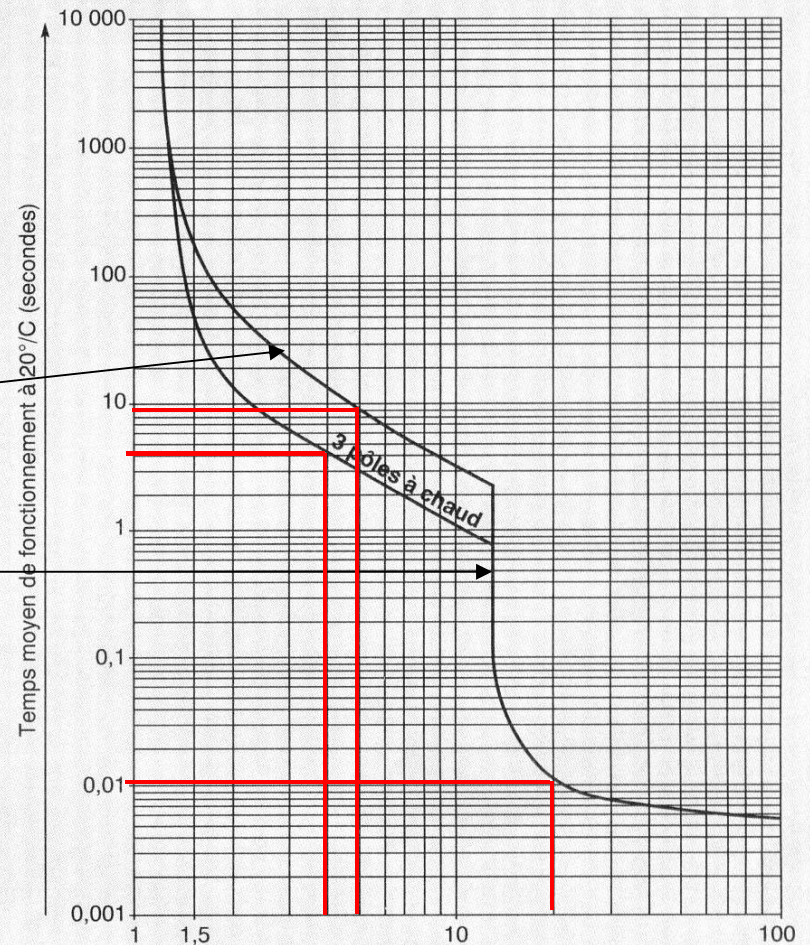
Courbe de déclenchement d'un disjoncteur magnétothermique

Temps de déclenchement d'un disjoncteur réglé pour un courant nominal I_n :

Pour une surcharge de 4 à 5 I_n , le relais déclenchera entre 4 et 9 s.

Pour une surcharge de 20 I_n , le relais déclenchera en 10 ms.

Courbe de déclenchement magnéto-thermique



Partie thermique
(Protection contre les surcharges)

Partie magnétique
(Protection contre les courts circuits)

Critères de choix :

Le choix d'un disjoncteur en basse tension s'effectue en fonction du circuit à protéger et en fonction des critères suivants :

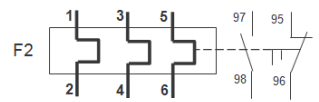
- Le calibre I_n ou intensité assignée : Le choix du calibre se fait en relation avec l'intensité admissible dans la canalisation (se fera en Terminale) selon les règles de la norme C15-100.
- La tension nominale d'emploi (U_e).
- Le Pouvoir de coupure ($PdC > I_{cc}$) en kA.
- Le nombre de pôles protégés.
- Choix du bloc déclencheur : Il dépend du circuit que l'on doit protéger.
 - Choix de la courbe de déclenchement en fonction des récepteurs que l'on protège (pour les disjoncteurs divisionnaires).
 - Détermination de I_r et I_m pour des disjoncteurs autres que divisionnaires.

Relais thermique

Fonction

Le relais thermique permet de protéger le moteur contre les **surcharges**. Il ne possède pas de "pouvoir de coupure", il intervient seulement sur le circuit de commande. C'est à dire qu'il donne l'ordre aux contacts auxiliaires qui lui sont associés et qui sont insérés dans le circuit de commande, d'ouvrir celui-ci. Comme il ne protège pas contre les courants de court-circuit, il doit obligatoirement être accompagné d'un fusible

Symbole



Caractéristiques électriques

Son principe est basé sur l'effet thermique du courant. Il agit grâce à des bilames qui se déforment en fonction du courant qui les traversent. Un courant important qui traverse un bilame chauffe celui-ci et vient alors agir sur un contact. Le relais protège les moteurs contre :

- les surcharges (augmentation anormale du courant pendant un temps assez long),
- les coupures de phase où les déséquilibres de celles-ci.

Choix d'un relais thermique:

On choisit le relais thermique en fonction des caractéristiques suivantes :

- Le courant de réglage (I_r) : sa valeur dépend de la valeur du courant d'emploi (I_e) qui doit être comprise dans la plage de réglage du relais thermique. I_r est réglé soit sur I_e , soit sur $1,05 \times I_e$.
- La tension nominale (U_e).
- Le fonctionnement différentiel: Pour protéger l'équipement contre la marche en monophasé, le relais thermique doit être différentiel.
- La compensation en température : En cas d'utilisation dans un environnement froid ou chaud, il faudra que le relais thermique soit compensé.
- La classe de fonctionnement : Selon les durées de démarrage des moteurs, nous disposons de trois classes de relais thermiques.
 - Classe 10 : **déclenchement normal** (démarrage de 4 à 10s).
 - Classe 20 : **déclenchement faiblement temporisé** (de 6 à 20s).
 - Classe 30 : **déclenchement fortement temporisé** (jusqu'à 30s).

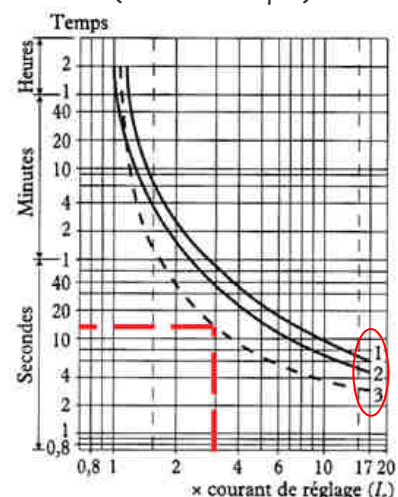
Courbe de déclenchement :

Pour chaque classe de fonctionnement, le constructeur nous donne une courbe de déclenchement.

Par exemple, si une surcharge de $3 \times I_r$ apparaît sur la ligne d'alimentation d'un moteur, pour un fonctionnement équilibré à chaud, le relais thermique classe 20 A déclenchera au bout de : **15s**.

Nous pouvons observer, sur cette courbe, que l'intensité minimale de déclenchement est égale à $1,15 \times I_r$. Cela veut dire que le relais thermique ne déclenchera pas lorsque $I = I_r$ mais lorsque $I = 1,15 \times I_r$.

Courbe de déclenchement LR2-D Classe 20 A
(Télemécanique)



1. Fonctionnement équilibré 3 phases, sans passage préalable du courant (à froid).
2. Fonctionnement sur les 2 phases, sans passage préalable du courant (à froid).
3. Fonctionnement équilibré 3 phases après passage prolongé du courant de réglage (à chaud).

Dispositifs de protection moyenne tension

Destinés à la protection des réseaux de distribution, et des postes de transformation.

Fusibles moyenne tension

Caractéristiques :

- tension assignée : 3,6 - 7,2 - 12 - 17,5 - 24 - 36 kV ;
- pouvoir de coupure : 20 - 32 - 40 - 50 - 63 kA ;
- courant assigné: 6,3 - 10 - 16 - 20 - 25 - 31,5 - 40 - 50 - 63 - 80 - 100 - 125 - 160 - 200 - 250 A.



Fusibles MT Fusarc de chez Schneider Electric

Disjoncteur moyenne tension

Ces disjoncteurs utilisent la coupure dans l'hexafluorure de soufre (SF6) pour l'isolement et la coupure.

Caractéristiques :

- tension assignée : 7,2 - 17,5 - 24 - 36 kV ;
- courant de courte durée admissible : 12,5 - 16 - 20 - 25 kA ;
- courant assigné : 400 - 630 - 1 250 A.



Disjoncteur moyenne tension pour l'intérieur de chez Schneider Electric

